

PROCEEDINGS CONFERENCE ON DESIGN MANUFACTURE ENGINEERING AND ITS APPLICATION

**“Peran Desain, Manufaktur dan Aplikasinya dalam
Menghadapi Revolusi Industri 4.0”**



9 772654 863003

**PROCEEDINGS CONFERENCE ON DESIGN MANUFACTURE
ENGINEERING AND ITS APPLICATION
(CDMA) 2018**

***“Peran Desain, Manufaktur dan Aplikasinya dalam Menghadapi
Revolusi Industri 4.0”***

Gedung Direktorat Lt. 3
Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

22 September 2018

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA

**PROCEEDINGS CONFERENCE ON DESIGN MANUFACTURE
ENGINEERING AND ITS APPLICATION
(CDMA) 2018**

“Peran Desain, Manufaktur dan Aplikasinya dalam Menghadapi Revolusi Industri 4.0”

Penanggung Jawab:

Ir. Eko Julianto, M.Sc., MRINA.

Dewan Redaksi:

Adi Wirawan Husodo, ST., MT.
George Endri Kusuma, ST., Msc. Eng.

Sekretaris Redaksi:

Fais Hamzah, ST., MT.

Anggota Redaksi:

Pranowo Sidi, ST., MT.
Ali Imron AS, ST., MT.
Farizi Rachman., S.Si., M.Si.
Tri Andi Setiawan, S.ST., MT.
Dian Asa Utari, S.S., M.Pd.

Reviewer:

Dr. Diah Susanti, ST., MT.
Yusuf Pradesar, ST., MT., Msc.Eng.
Anda Iviana Juniani, ST., MT.
Dr. Muh. Anis Mustaghfirin, ST., MT.
Dr. Eng. I Putu Sindhu Asmara, ST., MT.
Dr. I Putu Artha Wibawa. ST., MT., Ph. D.

Editor dan Layout:

Nurul Maulidah A.
M. Febri Ariyanto
Handika Furqon
Wega Tama Adi Setya
Nawaf Tri Hamdani
Aji Purnomo

Pelaksana Teknis:

Widyka Kidunging Pangadhuh

Penerbit:

Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya
Jurusan Teknik Permesinan Kapal Gedung Direktorat Lt. 2
Jalan Teknik Kimia, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp: +62315947186 Fax: +62315942877
E-mail: ppnshimatdm@gmail.com

Cetakan pertama, November 2018

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb.
Salam sejahtera bagi kita semua,

Puji syukur kita panjatkan kehadiran Allah Tuhan Yang Maha Esa, atas ijinNya acara prosiding “*2nd Conference on Design and Manufacturing and its Application (CDMA) 2018*” ini dapat terselenggara sesuai yang diharapkan. Acara *proceeding* ini merupakan implementasi nyata Tri Dharma Perguruan Tinggi khususnya pada unsur pendidikan dan dilaksanakan sebagai wujud kepedulian Teknik Desain dan Manufaktur-PPNS serta partisipasi nyata civitas akademika untuk meningkatkan kualitas atau mutu pendidikan Teknik Desain dan Manufaktur-PPNS.

Ucapan terimakasih kami haturkan kepada Direktur PPNS, Ketua Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Koordinator Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, dan segenap panitia pengarah serta pelaksanayang telah bersedia meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran hingga terselenggaranya acara ini. Kepada seluruh peserta acara, kami juga mengucapkan selamat mengikuti serangkaian acara ini. Peserta diharapkan dapat memahami makna penting kegiatan ini dan dapat meningkatkan kapasitas keilmuan yang dimiliki sehingga kelak dapat menindaklanjuti dengan karya nyata bermanfaat. Akhir kata, kami mohon maaf jika selama pelaksanaan acara ini terdapat hal-hal yang kurang berkenan.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Surabaya, 21 September 2018

Penulis

KATA SAMBUTAN KOORDINATOR PROGRAM STUDI TEKNIK DESAIN DAN MANUFAKTUR

Assalamualaikum Wr. Wb., salam sejahtera bagi kita semua,

Puji syukur kita panjatkan kehadirat Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa, yang telah melimpahkan rahmatNya sehingga kita dapat hadir dalam acara prosiding “*Proceedings Conference on Design Manufacture Engineering and its Application (CDMA) 2018*”, yang diselenggarakan oleh Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur-PPNS. Kegiatan seminar tahun ini merupakan penyelenggaraan kedua dari Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur yang akan diadakan secara rutin setiap tahun.

Tema acara prosiding yang kedua ini adalah “*Peran Desain, Manufaktur dan Aplikasinya dalam Menghadapi Revolusi Industri 4.0*”. Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur didirikan untuk menjawab tantangan dan kebutuhan industri rekayasa, khususnya industri rekayasa desain dan manufaktur, yang mana peranan dari perancangan produk dan proses manufaktur merupakan hal yang paling penting dan sangat mendasar. Hampir semua produk yang kita jumpai tidak bisa terlepas dari unsur desain dan manufaktur. Semakin tinggi kualitas produk, semakin tinggi pula tingkat akurasi desain, proses maupun peralatan manufakturnya. Dimasa mendatang produk dengan kualitas tinggi menjadi suatu keharusan. Sebagaimana bisa dilihat dari beragamnya produk yang beredar dipasar dengan desain bentuk yang unik dan futuristik. Tentu saja hal ini merupakan tuntutan pasar, tantangan dan sekaligus peluang yang sangat besar bagi program studi Teknik Desain dan Manufaktur. Kini sudah saatnya kita tunjukkan bahwa kita mampu menjawab tantangan ini.

Saya ucapkan terima kasih dan penghargaan kepada para undangan, pembicara utama, pemakalah maupun peserta yang telah berpartisipasi dan mendukung terselenggaranya acara ini. Terima kasih dan penghargaan juga saya sampaikan kepada seluruh panitia penyelenggara yang telah berupaya keras untuk kesuksesan acara. Akhir kata, saya berharap seluruh peserta dapat berperan aktif dalam kegiatan. Semoga bermanfaat untuk kemajuan ilmu pengetahuan dan lingkungan.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Surabaya, 21 September 2018
Koordinator Program Studi
Teknik Desain dan Manufaktur

Fais Hamzah, ST., MT.
NIP. 196005171988031003

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN REDAKSI	ii
KATA PENGANTAR	iii
KATA SAMBUTAN KOORDINATOR PROGRAM STUDI TEKNIK DESAIN DAN MANUFAKTUR	iv
DAFTAR ISI	v

PERANCANGAN PRODUK DAN PROSES MANUFAKTUR

Analisa Konstruksi pada Modifikasi Penambahan Panjang <i>BackhoeDeck</i> LCB.Brahma Galaxy di PT.Dok Pantai Lamongan Sandy Amrullah, Budianto, dan Rizal Indrawan	1
Desain <i>Armrest</i> dan Fasilitas <i>Footcycling</i> dalam Pengembangan Kursi Roda sebagai Alat Rehabilitasi Penderita Stroke Alfan Faiz Hidayatullah, Anda Iviana Juniani, dan Dhika Aditya Purnomo	5
Desain dan Analisa <i>Press Tool Front Plate 3TP038</i> menggunakan <i>Software CAD/CAE</i> pada Perusahaan Manufaktur <i>Loudspeaker</i> Dinda Aksari, Pranowo Sidi, dan Bayu Wiro Karuniawan	11
Pembuatan dan Pengujian Paket Modular untuk <i>Speed Test</i> Kapal pada Tahap <i>Sea Trial</i> Kharismawan Dwi Febrianto, Budianto, dan Fais Hamzah	17
Perancangan dan Pembuatan Mesin <i>Roll Press Cutting</i> Otomatis Penggiling Adonan Mie Rosita Dewi Pratiwi, Tri Tiyasmihadi, dan Pranowo Sidi	21
Perancangan dan Pembuatan Sistem Kemudi Pada Mobil Roda Tiga Lud Lailah Lulu'atul L., Sudiyono, dan Fipka Bisono	25
Perancangan dan Pembuatan Sistem Pengereman Pada Mobil Minimalis Roda Tiga Farihatul Jannah, Sudiyono, dan Tri Andi Setiawan	31
Perancangan Jok Ergonomis Dalam Fabrikasi Mobil Minimalis Roda Tiga M Faiz Fazlur Rahman, Anda Iviana Juniani, dan Tri Andi Setiawan	37
Perancangan Kerangka Belakang Mobil Minimalis Roda Tiga Muhammad Rifai, Wahyudi, dan Tri Andi Setiawan	43

Perancangan Mobile Crane Kapasitas 2 Ton Sebagai Sarana Penunjang Galangan Reparasi	
Bagus Fatahillah, I Putu Sindhu Asmara, dan Ali Imron	47
Perancangan <i>Progressive Dies</i> Pelat untuk <i>Draft Mark</i> Kapal	
M. Jundy Auzan Fanony, Pranowo Sidi, dan Budianto	51
Perancangan Toilet DU - 3E Bagi Masyarakat Indonesia	
Melindawati Muchtar, Anda Iviana Juniani, dan Wiediartini	55
Perencanaan <i>Design Engine</i> pada Mobil Minimalis Roda Tiga	
Rezky Fardhan Fahrezy, George Endri Kusuma, dan Tri Andi Setiawan	65
Proses Produksi Pembuatan dan Perakitan Mesin Pencacah Plastik	
Vinky Try Octavia, Muhamad Ari, dan Fipka Bisono	69
Rancang Bangun Alat Pengujian Tekanan (<i>Burst Test</i>) pada Produk Plastik <i>Tube Garnier 100ml</i> dengan Sistem Elektropneumatik	
Ahmad Bagus Asmara Dana, Heroe Poernomo, dan Rizal Indrawan	75
Rancang Bangun Anti <i>Rust Electric Control</i> pada Mesin CNC	
M. Zia'ulhaq Iqramullah, Fipka Bisono, dan Fais Hamzah	79
Rancang Bangun <i>Converter Kit LPG (Liquefied Petroleum Gas)</i> Pada Mobil Minimalis Roda Tiga	
Mohammad Jauhar Firdaus, George Endri Kusuma, dan Tri Andi Setiawan	83
Rancang Bangun Dua Sistem untuk Vakum dan Kompresi dalam Satu Alat yang Digunakan untuk <i>Vacuum Infusion</i> pada Laminasi Kapal Fiber	
Aristi Hanifah Fauziyyah, Heroe Poernomo, dan Gaguk Suhardjito	87
Rancang Bangun <i>Exhaust System</i> pada Mobil Minimalis Roda Tiga	
Ahyad Bagus Nur H., Ali Imron, dan Tri Andi Setiawan	91
Rancang Bangun <i>Jig and Fixture Survival Knife</i> Untuk Proses <i>Taper Grinding</i> Pada Mesin <i>Grinding</i>	
Agung Husada Setiyo Nugroho., Tri Tiyasmihadi, dan Ali Imron	97
Rancang Bangun Mesin <i>Crusher</i> Plastik	
M. Nur Aslam Hardan P, Moh. Miftachul Munir, dan Rizal Indrawan	101
Rancang Bangun Mesin Destilator Pengubah Limbah Plastik Menjadi Minyak	
Pandam Eko Prihatmoyo, Deni Dermawan, dan Fipka Bisono	105
Rancang Bangun Mesin Pengereng Bibit Jahe Merah Menggunakan Sistem <i>Blower</i> di PT YRS	
Yasmin Anisah, Fais Hamzah, dan Tri Tiyasmihadi	111

- Rancang Bangun Mesin *Stapler* Siku Kayu Fleksibel Dua Sisi dengan Sistem Elektropneumatik Pada Perusahaan Manufaktur Mebel**
Kholiqul Misbah, Heroe Poernomo, dan Rizal Indrawan 117
- Rancang Bangun *Vacuum Clamp* Sebagai Teknologi Pendukung dalam Pengerjaan Kayu pada Mesin CNC Router 3 Axis**
Yogi Setiawan, Fais Hamzah, dan Fipka Bisono 123

PERANCANGAN EKSPERIMEN DAN REKAYASA KUALITAS

- Analisa Nilai Pertambahan Panjang Material ST37 Pada CNC Mesin *Bending* TRUMPF TruBend 5050 Menggunakan Metode *Full Factorial***
Zaqi Asshidiqi, Wahyudi, dan Farizi Rachman 129
- Analisa Pengaruh Unsur Terhadap Kekerasan *High Manganese Steel* Menggunakan Metode Regresi Linier Berganda**
Ervita Rahma Budiarti, Budianto, dan Nurvita Arumsari 133
- Analisa Pengendalian Kualitas Proses Produksi Botol pada Departemen *Blow Molding* di Industri *Packaging***
Neoninsa Risma R., Renanda Nia Rachmadita., dan Farizi Rachman 139
- Analisis Kekuatan terhadap Rencana Struktur Penyangga *Helideck* pada Bangunan Lepas Pantai**
Erlina Kusumawati, Muhamad Ari, dan Dhika Aditya Purnomo 145
- Analisis Nilai Efektivitas pada Mesin *Gas Cutting* Koike Sanso Kogyo Type IK-2000 CE HI-82 dengan Metode *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) pada Perusahaan Manufaktur Alat Transportasi**
Devianti Kusuma Hardinata, Renanda Nia Rachmadita, dan Aditya Maharani 149
- Identifikasi Kegagalan Mesin CNC JOBS LINX 30 COMPACT menggunakan Metode *Root Cause Analysis* dan *Failure Mode and Effect Analysis***
Shintha Lailatul Maghfiroh, Anda Iviana Juniani, dan Nurvita Arumsari 155
- Optimasi Kekerasan Baja S45C pada Proses *Hardening* Helical Gear Menggunakan Metode Taguchi**
Rikma Mila Ilmaya, Pranowo Sidi, dan Farizi Rachman 159
- Optimasi Parameter 3D Printing Terhadap Keakuratan Dimensi dan Kekasaran Permukaan Produk Menggunakan Metode *Taguchi Grey Relational Analysis***
Andik Aris Setiawan, Bayu Wiro Karuniawan, dan Nurvita Arumsari 165
- Optimasi Parameter Proses *Blow Moulding* Terhadap Ketebalan dan Dimensi *Snap* pada Botol dengan Metode *Taguchi Grey Relational Analysis***
Miftah Ahsanul Anhar, Fipka Bisono, dan Nurvita Arumsari 169

Optimasi Parameter Proses <i>Injection Molding</i> Terhadap <i>Inner Snap Diameter</i> dan <i>Netto Produk Pot Cream 10 Gram</i> Metode <i>Response Surface</i>	
Dharu Fadillansyah Putra, Pranowo Sidi, dan Nurvita Arumsari	173
Optimasi <i>Setting</i> Parameter Mesin <i>Plasma Cutting</i> terhadap Kekasaran Permukaan dan Lebar Pemotongan pada Aluminium 5083 Menggunakan Metode <i>Taguchi</i>	
Adelia Al Sakina, Bachtiar, dan Farizi Rachman	177
Penentuan Interval Perawatan Komponen Kritis <i>CNC Flame Plasma Cutting Machine</i> Menggunakan Metode <i>Reliability Centered Maintenance (RCM)</i>	
Rekadian Arif, Anda Iviana Juniani, dan Rizal Indrawan	183
Pengendalian Kualitas Untuk Mengurangi <i>Botol Bocor</i> Pada Departemen <i>Blow Molding</i> Di Industri <i>Packaging</i>	
Nadia Rizki Ariyani, Renanda Nia Rachmadita, dan Aditya Maharani	189
Pengukuran Tingkat Ketidaksesuaian Ketebalan Dinding Galon (<i>Jugs</i>) Melalui Pendekatan <i>Statistical Process Control (SPC)</i>	
Daisykarenas Siwi, Anda Iviana Juniani, dan Wiediartini	195
Perencanaan Penempatan <i>Engine</i> Pada Mobil Minimalis Roda Tiga	
Pradita Eko Kuncahyo, Tri Andi Setiawan, dan Rizal Indrawan	201
Studi Maksimal Cekam Pada Ragum Hidrolik	
Indra Harwanto P., Pranowo Sidi, dan Budianto	205

PERENCANAAN, PENGENDALIAN, DAN PERSEDIAAN PRODUKSI

Analisa Penentuan Harga Pokok Produksi Pada Fabrikasi <i>Skid Winch System</i> dengan Metode <i>Job Order Costing</i> (Studi Kasus Pada Perusahaan Manufaktur dan Konstruksi)	
Rinda Fitriana, Rina Sandora, dan RA. Norromadani Yuniati	211
Analisa Perhitungan Harga Pokok Produksi <i>Bogie 1014</i> dengan Metode <i>Time Driven Activity Based Costing (TDABC) Analysis</i> (Studi Kasus Pada Perusahaan Manufaktur Alat Transportasi)	
Rinda Wahyu Aningrum, Renanda Nia Rachmadita, Aditya Maharani	215
Analisis TPM pada Mesin <i>Press Fine Blanking 1100 Ton</i> dengan Metode <i>OEE</i> di Perusahaan <i>Manufacturing Press Part</i>	
Muhammad Johan Rifa'i, Bayu Wiro Karuniawan, dan Fipka Bisono	221
Desain Proses Produksi <i>Survival Knife</i> dengan Metode <i>Operation Process Chart</i> di Perusahaan Manufaktur	
Amelia Laksmi, Renanda Nia Rachmadita, dan Rina Sandora	227

Efisiensi Biaya dan Penjadwalan Proyek melalui Pendekatan <i>Critical Path Method</i> (Studi Kasus Pembuatan dan Pemasangan 1 Unit Standart Gilingan IV)	
Eunike Endah Wulandari, Renanda Nia Rachmadita, dan M. Choirul Rizal	231
Estimasi Harga Pokok Produksi Roll Gilingan Dengan Metode <i>Job Order Costing</i> dalam Penentuan Harga Jual (Studi Kasus Pada Perusahaan Manufaktur Khususnya Workshop 4)	
Regita Palupi, Rina Sandora, dan RA. Norromadani Yuniati	237
Optimasi Waktu Siklus Produksi Kemasan Produk Botol <i>Toner</i> 200 ml Pada Proses <i>Blow Molding</i> Dengan Metode <i>Respon Surface</i>	
Akhzam Samyvikar, Bayu Wiro Karuniawan, dan Farizi Rachman	243
Penentuan <i>Critical Waste</i> pada Produksi <i>Camshaft</i> menuju <i>Lean Manufacturing Process</i>	
Ira Anggraeni, Anda Iviana Juniani, dan M. Choirul Rizal	247
Penentuan Harga Pokok Produksi <i>Aircraft Cabin Part (Pocket Spring)</i> Dengan Pendekatan <i>Time Driven Activity Based Costing</i> (Studi Kasus Pma Unit Gmf Aeroasia Tbk.)	
Ahmad Rizal Fawzi, Renanda Nia Rachmadita, dan Aditya Maharani	251
Perencanaan Jadwal Induk Produksi Pada Produk <i>Nas Shoes</i> Dengan Menggunakan Metode Perencanaan Agregat Di Perusahaan <i>Furniture</i>	
Anisya Kusumaningrum, Renanda Nia Rachmadita, dan Rina Sandora	257
Perhitungan Kapasitas Produksi dalam Penyusunan <i>Master Production Schedule</i> pada Divisi <i>Manufacturing Mould Shop</i>	
Lutvi Ade Septian, Anda Iviana Juniani, dan Dhika Aditya Purnomo	263
<i>Redesign</i> Tata Letak Fasilitas Produksi <i>Gear</i> Sebagai Upaya Pengendalian <i>Over Transportation</i>	
Inggit Novita Putri, Renanda Nia Rachmadita, dan Dhika Aditya Purnomo	269

Analisa Konstruksi Pada Modifikasi Penambahan Panjang *BackhoeDeck* LCB.Brahma Galaxy

Sandy Amrullah^{1*}, Budianto², dan Rizal Indrawan³

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.^{1,3}

Program Studi Teknik Perancangan dan Konstruksi Kapal, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia²

E-mail: landakandy@gmail.com^{1*}

Abstract – The barge backhoe deck is planned to be modified to add length so that analysis is needed regarding the strength of the structure, considering that most coal loading and unloading processes take place on the backhoe deck, so the safety of the backhoe deck structure is very important. In this study, we will find out how much stress occurs on the backhoe deck by using the Finite Element Method as the media of analysis. From the results of the simulation and analysis it is known that the maximum voltage that occurs when the backhoe is not operating is equal to 24 MPa, and when the backhoe is operating that is equal to 27.43 MPa. The maximum deflection when the backhoe is not operating is 60.99 mm, and when the backhoe is operating that is 68.6 mm. Factor of safety when the backhoe is not operating is 9.6 and when the backhoe is operating is 8.5. Based on the simulation the maximum voltage value is still below the permit voltage in the manual calculation, namely 166 Mpa. The deflection value of the simulation results is also still below the maximum deflection value that is permitted in the manual calculation of 70 mm. The factor of safety value according to BKI can be concluded that the construction of the backhoe deck is declared safe in loading when the backhoe is not operating or when the backhoe is operating because it meets the safety factor requirements that the safety factor value must be more than 1.

Keywords: Backhoe Deck, Deflection, FEM (Finite Element Method), Stress

1. PENDAHULUAN

Saat ini perkembangan industri batubara telah maju pesat, hal tersebut tidak lepas dari semakin meningkatnya kebutuhan akan batubara, selain itu semakin banyaknya tambang batubara yang ditemukan dan digali juga memberikan andil yang besar bagi perkembangan industri batubara. Dengan banyaknya tambang yang digali, para pelaku industri mencoba berbagai inovasi untuk meningkatkan produksi batubara mereka dengan waktu yang relatif lebih cepat dan tepat agar kebutuhan dunia akan batubara bisa terpenuhi. Total sumberdayabatubara di Indonesia diperkirakan mencapai 105 miliar ton, dimana cadangan batu bara diperkirakan 21 miliar ton. Tambang batu bara utama berlokasi di Sumatera Selatan, Kalimantan Timur dan Kalimantan Selatan. Produksi batu bara meningkat sebesar 16% per tahun selama 5 tahun terakhir. Saat ini, 75% dari total produksi batu bara di ekspor, terutama ke Jepang, Taiwan, Korea Selatan dan Eropa (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral). Produksi batubara itu sendiri tidak lepas dari peran LCB (*Loading Conveyor Barge*) yang merupakan salah satu jenis kapal yang berfungsi sebagai alat angkut tanpa memiliki *engine* sebagai tenaga penggerak. Layaknya kapal-kapal lain, *Loading Conveyor Barge* dalam perancangannya juga harus mengalami evaluasi

terhadap kekuatan dari konstruksinya. Salah satunya adalah konstruksi *backhoe deck*. Konstruksi *backhoe deck* terhubung pada bagian main deck. Faktor keselamatan dari konstruksi ini sangat diutamakan karena sebagian besar proses *loading* batubara berlangsung di *deck* tersebut. Untuk memenuhi faktor keselamatan tersebut, *backhoe deck* harus memiliki struktur penyangga yang kuat dan sesuai dengan material yang diijinkan. Untuk mengetahui apakah rencana struktur konstruksi *backhoe deck* tersebut aman sesuai dengan kriteria maka perlu mengkaji tentang kekuatan struktur dari konstruksi tersebut dengan melakukan perhitungan manual serta simulasi pembebanan dengan menggunakan Metode Elemen Hingga.

2. METODOLOGI

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah Metode Elemen Hingga yang mana metode tersebut diperuntukkan untuk mengetahui berapa besar tegangan dan defleksi maksimum yang terjadi pada modifikasi penambahan panjang *backhoe deck*. Langkah-langkah pelaksanaan penelitian ini adalah sebagai berikut :

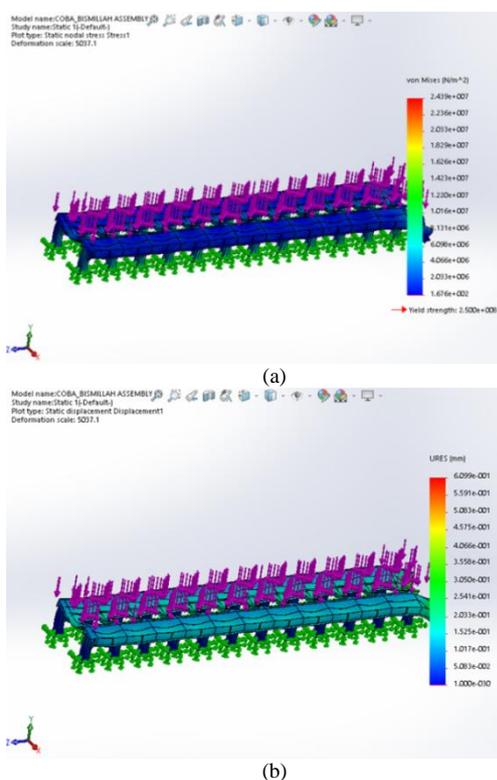
1. Perhitungan secara manual terkait tegangan dan defleksi maksimum yang diijinkan.

2. Pembuatan model struktur konstruksi *backhoe deck*.
3. Melakukan tahap *meshing*.
4. Melakukan simulasi pembebanan.
5. Analisis tegangan dan defleksi.

Setelah dilakukan perhitungan tegangan dan defleksi maksimum yang diijinkan selanjutnya adalah pembuatan model struktur konstruksi *backhoe deck*, yang mana permodelan tersebut dibuat di *software* solidwork. Selanjutnya adalah melakukan *meshing*, dimana ukuran elemen mesh yang kecil akan menghasilkan kualitas *mesh* yang tinggi, dan akan membuat analisis lebih akurat. Apabila proses *meshing* berhasil maka selanjutnya adalah melakukan simulasi pembebanan serta menganalisis tegangan dan defleksi yang terjadi.

3. ANALISA DAN PEMBAHASAN

Perhitungan tegangan, defleksi, dan yang lainnya dilakukan pada tahapan ini, dimana untuk mengetahui besar tegangan yang diterima oleh *backhoe deck* maka perlu dilakukan perhitungan dengan mengalikan berat *backhoe* dengan *safety factor* dan gravitasi. Hasil perhitungan itu kemudian dimasukkan ke tahap input data pembebanan pada *software* solidwork selaku *software* berbasis elemen hingga yang dipakai pada penelitian ini. Setelah itu dilakukan analisis dan didapatkan dengan hasil sebagai berikut : Hasil analisa tegangan dan defleksi maksimum pada variasi pembebanan 1 atau *backhoe* tidak sedang beroperasi.

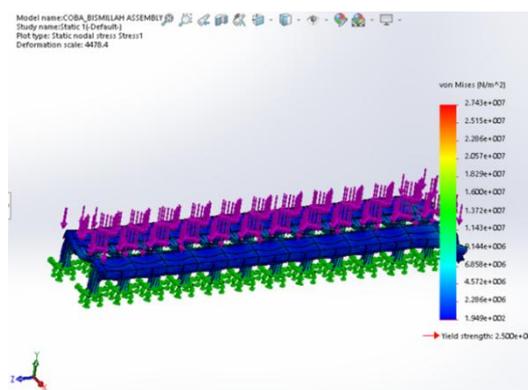


Gambar 1. hasil analisa tegangan (a) dan gambar hasil analisa defleksi (b)

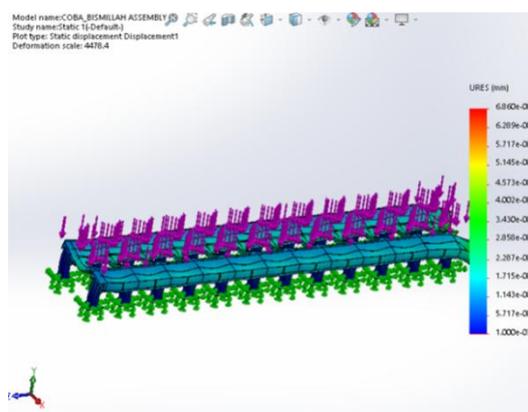
Pada simulasi variasi pembebanan 1 atau saat *backhoe* sedang tidak beroperasi didapatkan nilai tegangan maksimum yang terjadi sebesar 24.390.000 N/m² dan tegangan minimal yang terjadi sebesar 167,6 N/m².

Defleksi maksimal yang terjadi dari hasil simulasi ketika *backhoe* sedang tidak beroperasi adalah sebesar 60,99 mm.

Hasil analisa tegangan dan defleksi maksimum pada variasi pembebanan 2 atau saat *backhoe* sedang beroperasi adalah sebagai berikut :



(a)



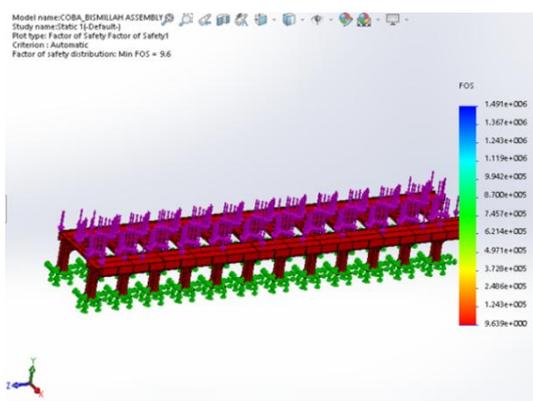
(b)

Gambar 2. hasil analisa tegangan (a) dan gambar hasil analisa defleksi (b)

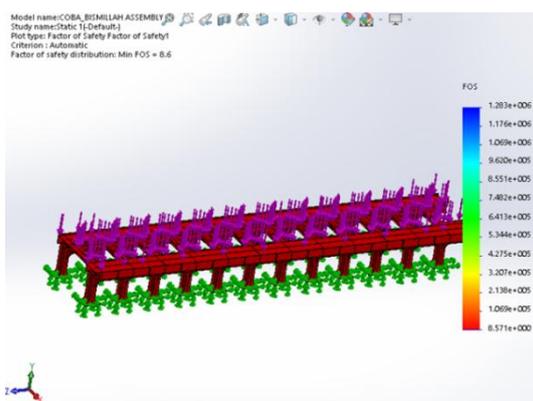
Pada simulasi variasi pembebanan 2 atau saat *backhoe* sedang beroperasi didapatkan nilai tegangan maksimum yang terjadi sebesar 27.430.000 N/m² dan tegangan minimal yang terjadi sebesar 194,9 N/m².

Defleksi maksimal yang terjadi dari hasil simulasi ketika *backhoe* sedang tidak beroperasi adalah sebesar 68,6 mm.

Hasil analisa *safety factor* pada variasi pembebanan 1 dan 2 adalah sebagai berikut :



(a)



(b)

Gambar 3. factor of safety variasi pembebanan 1 (a) dan factor of safety variasi pembebanan 1 (b)

Factor of safety dari hasil simulasi pada variasi pembebanan 1 yaitu sebesar 9,6. Dan *Factor of safety* dari hasil simulasi pada variasi pembebanan 2 yaitu sebesar 8,5.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

1. Besar tegangan maksimal yang terjadi ketika *backhoe* sedang tidak beroperasi yaitu sebesar 24 Mpa, dan ketika *backhoe* sedang beroperasi yaitu sebesar 27,43 Mpa. Keduanya dinyatakan aman karena nilai tegangan maksimum dari hasil simulasi *software* masih dibawah nilai tegangan ijin pada perhitungan manual yaitu sebesar 166 Mpa.
2. Besar defleksi maksimal ketika *backhoe* sedang tidak beroperasi yaitu sebesar 60,99 mm, dan ketika *backhoe* sedang beroperasi yaitu sebesar 68,6 mm. Keduanya dinyatakan aman karena nilai defleksi maksimum dari hasil simulasi masih dibawah nilai defleksi maksimal yang diijinkan yaitu 70 mm.
3. *Factor of safety* ketika *backhoe* sedang tidak beroperasi adalah sebesar 9,6 dan ketika *backhoe* sedang beroperasi adalah sebesar 8,5. Berdasarkan kedua hasil *factor of safety* menurut BKI dapat

disimpulkan bahwa konstruksi *backhoe deck* dinyatakan aman dalam pembebanan ketika *backhoe* sedang tidak beroperasi maupun ketika *backhoe* sedang beroperasi karena memenuhi persyaratan *safety factor* yaitu nilai *safety factor* harus lebih dari 1.

4.2 Saran

1. Pada penelitian selanjutnya sebaiknya efek pengelasan dan getaran tidak diabaikan agar hasil analisis lebih mendekati pada kondisi aktualnya
2. Pada penelitian selanjutnya, untuk memberikan informasi ilmiah yang lebih lengkap mengenai kekuatan pada konstruksi *backhoe deck* sebaiknya dilakukan juga analisis fatigue.

4. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Budianto (2015). *Analisis Kekuatan Struktur pada Kapal Wisata Sungai Kalimas*. **Jurnal KAPAL**, Vol. 12, Issue 1 page 9-18, Universitas Diponegoro.
- [2] Budianto, M.T. Wahyudi, U Dinata, Ruddianto and M.M. Eko.P (2018). *Strength Analysis on Ship Ladder Using Finite Element*. **Journal of Physic : Conference Serries**, Vol.953. Conference 1. Page 012043. English
- [3] Budianto & Arninputranto, W. (2017). *Pembuatan Software Deck Load Calculation untuk Informasi Kekuatan Lokal Kapal*. Seminar MASTER PPNS, 2(1), 49-56
- [4] El-Reedy, M.A. (2015). **Marine Structural Design Calculation**. Elsevier, USA.
- [5] Gere, J. dan Timoshenko, S.(1972). **MekanikaBahan**. Jilid 1 dan 2 EdisiKeempat. Erlangga, Jakarta.
- [6] Mulyatno, I. PdanPratama, A.(2011). *Analisa Kekuatan Konstruksi Car Deck Pada Kapal KM. Dharma Ferry 3 dengan Metode Elemen Hingga*. **Jurnal KAPAL**, Vol. 8, No.2.
- [7] Mustafa (2012). *KajiNumerik Dan EksperimentalLendutanBalok Baja Karbon St 60 DenganTumpuanEngsel – Rol*. **JurnalMekanikal**, Vol. 3 No. 1: 221-230 ISSN 2086 – 3403, Palu.
- [8] Popov, E. P.(1978). **Mechanics of Material**.2nd edition, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, USA.
- [9] Saroyo, G.A. (2002). **Mekanika**. Salemba Teknik, Jakarta.

- [10] Souisa, M.(2011). *Analisis Modulus Elastisitas Dan Angka Poisson Bahan Dengan Uji Tarik*. **Jurnal Barekeng**, Vol. 5 No. 2 Hal. 9 – 14, Ambon.
- [11] Zaki, MY. Mulyatno, I.P. Yudho, H. (2016). *Analisa Kekuatan Modifikasi Main Deck Akibat Penggantian Mooring Winch Pada Kapal Accomodation Work Barge 5640 DWT Dengan Metode Elemen Hingga*. **Jurnal Teknik Perkapalan**, Vol. 4 No.1

Desain *Armrest* dan Fasilitas *Footcycling* dalam Pengembangan Kursi Roda sebagai Alat Rehabilitasi Penderita Stroke

Alfan Faiz Hidayatullah^{1*}, Anda Iviana Juniani², Dhika Aditya Purnomo³

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.^{1,2,3}
E-mail: alfanfaiz10@gmail.com^{1*}

Abstract – Every year more than 36 million people worldwide die from non-communicable diseases or 63% of all deaths. The cause is cardiovascular disease stroke and coronary heart disease. In Indonesia itself according to the diagnosis of Nakes in 2013 estimated that 2,137,941 people affected by stroke. According to some experts who argue that appropriate therapy for stroke patients in addition to exercise can also run with cycling. In Indonesia, there is no wheelchair for rehabilitation in accordance with anthropometry and community needs. It needs a breakthrough innovation concept of wheelchair design in accordance with function for rehabilitation to keep right position of hand and training foot muscle accordance with the wishes and anthropometry of Indonesia society. The method for performing this static bike design analysis is the Ulrich method for the process of design concepts and the RULA method for bicycle ergonomic analysis. The design of static bike is done by anthropometry analysis, ergonomic analysis and strength analysis by using CATIA software. The resulting design based on user rehabilitation needs has several additional functions and components such as armrest, footcycling, and pedal safeguard. With the addition of these functions and components, will further maximize the rehabilitation process of stroke patients in wherever and whenever.

Keywords : Rehabilitation, RULA, Stroke, Ulrich, Wheelchair.

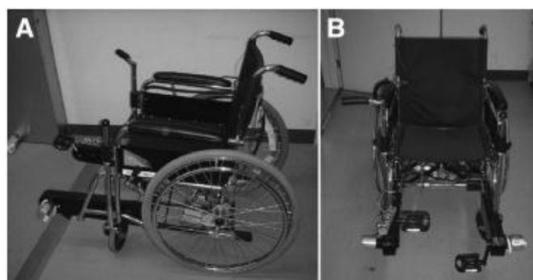
1. PENDAHULUAN

Berdasarkan diagnosis tenaga kesehatan (Nakes) pada tahun 2013, setiap tahunnya lebih dari 36 juta orang meninggal karena Penyakit Tidak Menular (PTM) (63% dari seluruh kematian). Lebih dari 9 juta kematian yang disebabkan oleh penyakit tidak menular atau penyakit kardiovaskuler terjadi sebelum usia 60 tahun. Banyak macam penyakit kardiovaskuler, tetapi yang paling umum dan paling terkenal adalah penyakit jantung koroner dan stroke. Penderita penyakit stroke di Indonesia tahun 2013 sebanyak 1.236.825 orang (7,0 per 1000 penduduk), sedangkan berdasarkan diagnosis Nakes / gejala diperkirakan sebanyak 2.137.941 orang (12,1 per 1000 penduduk). Penerapan bersepeda dalam pendekatan rehabilitasi stroke telah menunjukkan hasil yang menjanjikan. Latihan bersepeda sederhana dan berulang, dapat diterapkan untuk berbagai pasien, dan biaya rendah serta teknologi portabel (David Barbosa, 2015).

Terdapat inovasi yang dilakukan oleh beberapa orang peneliti untuk mengembangkan sebuah konsep kursi roda. Salah satu contohnya sebuah konsep yang dibuat oleh Seki dan Colleagues yang mengembangkan sebuah perangkat kursi roda bersepeda. Sistem mengayuh diaplikasikan pada posisi pijakan kaki dari kursi roda standar seperti pada gambar 1. Perangkat ini berupa

sebuah kursi roda yang saat ini belum ada di Indonesia.

Butuh dikembangkan sebuah kursi roda untuk rehabilitasi stroke yang dapat menyesuaikan dengan semua keadaan dari penderita dimana pada bagian *armrest* dapat menjaga posisi tangan dan *footcycling* untuk melatih otot kaki. Rancangan ini diharapkan nantinya mampu menjadi referensi dalam pembuatan kursi roda untuk rehabilitasi penderita stroke masyarakat Indonesia.



Gambar 1. Konsep Perangkat Ergometer Seki dan Colleagues (Barbosa, dkk, 2015)

2. METODOLOGI

Secara garis besar penelitian yang ditujukan untuk mendesain sebuah konsep kursi roda untuk rehabilitasi penderita stroke adalah sebagai berikut :

1. Kajian produk
 Mengkaji sebuah produk yang memiliki fungsi dan kegunaan sama dengan apa yang hendak kita konsep, atau bisa dibilang mencari *product existing*. Tujuan dari mengkaji produk perbandingan ini adalah mencari kelemahan dan kelebihan untuk kita kembangkan lagi pada konsep produk yang hendak kita kembangkan.
2. Penyusunan daftar kebutuhan
 Pada awal tahap penyusunan daftar kebutuhan ini adalah pencarian dokter ahli rehabilitasi medik bertujuan untuk memberikan pengetahuan tambahan bagi peneliti berkaitan dengan penderita stroke ataupun berkaitan dengan proses rehabilitasi. Setelah menemukan dokter yang ahli dalam bidang rehabilitasi medis maka selanjutnya adalah mewawancarai beberapa dokter ahli yang bersedia untuk membantu penelitian ini, dengan diberikan beberapa pertanyaan yang diberikan langsung oleh peneliti.
 Daftar kebutuhan yang telah didapatkan dengan cara wawancara kepada dokter ahli, merupakan syarat dan harapan yang harus ada pada konsep produk baru yang hendak kita buat nantinya. Atau harapan dan syarat yang pasien stroke butuhkan dalam menjadi spesifikasi produk kita nantinya.
3. Membuat konsep desain
 Spesifikasi produk yang telah ada maka selanjutnya diterapkan pada konsep desain produk. Dalam pembuatan konsep produk ini tentunya tidak hanya satu dua konsep desain saja. Semakin banyak konsep yang telah dibuat maka akan semakin memperkaya sebuah pilihan konsep nantinya. Proses menganalisis fungsi dan kekuatan bisa dengan bantuan dari *software catia*. Apabila dua kriteria fungsi dan kekuatan terpenuhi maka dapat dilanjutkan pada tahap selanjutnya yaitu penyaringan konsep.
4. Penyaringan konsep
 Penyaringan konsep ini dilakukan dengan tujuan untuk membandingkan kriteria dari konsep desain yang kita buat dengan kriteria konsep produk *existing*. Apabila konsep desain produk yang kita buat tidak lebih dari 6 konsep, maka melangkah pada pemilihan konsep.
5. Pemilihan konsep
 Pada tahap ini adalah tahapan terakhir untuk menentukan konsep produk mana yang nantinya akan kita pilih dan akan dikembangkan.

6. Analisis kekuatan

Suatu konsep desain yang telah terpilih, tidak dapat langsung dipilih. Konsep desain yang telah ada harus melalui tahapan analisis kekuatan. Konsep desain harus dipastikan keamanan dari kekuatannya ataupun keamanan dari ergonominya. Apabila analisis ini tidak terpenuhi maka konsep desain yang telah ada harus dirubah agar kekuatannya sesuai dengan yang diharapkan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam studi ini, menggunakan metode *Ulrich* untuk mengetahui kebutuhan pasien stroke. mewawancarai beberapa dokter ahli untuk memberikan informasi dan membagi penanggung jawab untuk tiap-tiap kebutuhan pasien stroke dalam melakukan proses rehabilitasi seperti pada tabel 1.

Tabel 1: *Cutommer Need*

S/H	Daftar Kebutuhan Produk		Penanggung Jawab
	Pengembangan Kursi Roda untuk Rehabilitasi Penderita Stroke		
S/H	Uraian Kebutuhan		
S	1.	Mudah dipindahkan	Tim Desain
S	2.	Multifungsi (Dapat melatih pergerakan kaki)	Tim Desain
S	3.	Mudah dalam penggunaan dan perawatan	Tim Desain dan Manufaktur
	4.	Kuat	Tim Desain dan Manufaktur
S	a.	Menahan beban	
S	b.	Awet	
	5.	Ergonomi dan Keamanan	
S	a.	Resiko cedera tubuh kecil (3)	Tim Desain
S	b.	Terdapat pengaman lengan tangan	
S	c.	Pedal pengayuh terdapat pengaman	
S	6.	<i>Armrest</i> dapat diatur ketinggiannya	Tim Desain
S	7.	<i>Footcycling</i> dapat diatur ketinggiannya	Tim Desain
H	8.	Dalam penyimpanannya dapat dilipat	Tim Desain

Keterangan : S = Syarat
 H = Harapan

Langkah selanjutnya adalah membuat sebuah konsep desain kursi roda dari kebutuhan yang telah ada menggunakan bantuan *software CATIA V5R14*. Pada penelitian ini membuat 2 buah konsep, yang membedakan dari kedua konsep ini terletak pada pengaturan jarak pedal pengayuh dengan kursi. Untuk material kerangka yang digunakan tidak berbeda yaitu ASTM A36. Adapun dua konsep desain seperti pada gambar 2 dan 3 berikut ini.



Gambar 2. Konsep desain 1



Gambar 3. Konsep desain 2



Gambar 4. Konsep desain 3

Setelah membuat 3 buah konsep kursi roda dilakukan pemilihan konsep dengan tahapan penilaian konsep. Pada metode Ulrich untuk pemilihan konsep terdapat dua tahapan yaitu penyaringan konsep dilanjutkan dengan penilaian konsep. Namun pada penelitian ini hanya dilakukan penilaian konsep tanpa penyaringan konsep karena hanya ada 3 konsep saja yang dipilih. Dari penilaian masing-masing konsep dengan bobot kriteria yang ditetapkan, dapat dipilih konsep terbaik, yaitu konsep dengan nilai akhir yang paling tinggi. Adapun pemilihan konsep pada sepeda statis ini seperti pada tabel 2 dibawah ini.

Tabel 2a: Pemilihan konsep

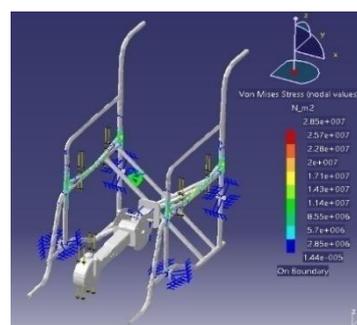
Kriteria seleksi	Bobot (%)	Konsep			
		Konsep 1		Konsep 2	
		Rate	Skor bobot	Rate	Skor bobot
Kegunaan	30%	4	1.2	4	1.2
Kuat dan Aman	25%	3	0.75	3	0.75
Ergonomis	25%	3	0.75	3	0.75
Fleksibel	20%	2	0.4	2	0.4
Bobot total	100%				
Nilai absolut			3.1		3.1
Nilai relative			24.8%		24.8%

Tabel 2b: Pemilihan konsep

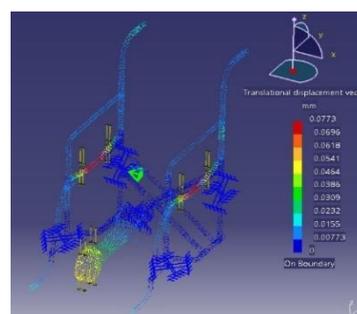
Kriteria seleksi	Bobot (%)	Konsep			
		Konsep 3		Existing	
		Rate	Skor bobot	Rate	Skor bobot
Kegunaan	30%	4	1.2	3	0.9
Kuat dan Aman	25%	3	0.75	3	0.75
Ergonomis	25%	3	0.75	3	0.75
Fleksibel	20%	3	0.6	3	0.6
Bobot total	100%				
Nilai absolut			3.3		3
Nilai relative			26.4%		24%

Dari hasil evaluasi yang telah dilakukan, seperti yang ditunjukkan oleh tabel 2, dimana nilai absolut atau relatif dari konsep 3 adalah paling besar, yaitu 3.3 (26.4 % dari total nilai bobot). Oleh karena itu konsep 3 seperti pada gambar 4 dipilih untuk dikembangkan.

Konsep yang telah terpilih maka akan dilanjutkan dengan menganalisis kekuatan kerangka, analisis kekuatan ini menggunakan beban maksimal (SWL) 150 kg atau 1470 N. Namun beban maksimal ini masih ditambah dengan *safety factor*, dan faktor desain. Material pada kerangka yang digunakan adalah ASTM A36. Analisis kekuatan kerangka ini menggunakan bantuan *software Catia V5*. Hasil yang diperoleh dinyatakan aman dan memenuhi syarat seperti pada gambar 5 dibawah ini.



Gambar 5. Hasil analisis kekuatan kerangka



Gambar 6. Perubahan bentuk kerangka

Berdasarkan analisis diatas dapat dilihat pada tegangan terbesar yang diterima oleh kerangka ini adalah sebesar $2,85e \times 10^7$ N/m² atau sama dengan 28,5 Mpa. Sedangkan material yang digunakan adalah ASTM A36 yang memiliki *yield strength* sebesar 250 Mpa, maka dapat dipastikan kerangka ini aman untuk digunakan. Adapun perubahan bentuk yang dialami oleh kerangka konsep 3 seperti pada gambar 6. Pada gambar tersebut yang mengalami perubahan bentuk hanya pada bagian penyangga kursi dengan perubahan yang paling ekstrim adalah 0,07mm.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh penulis dengan mengamati proses rehabilitasi, mewawancarai beberapa dokter dan ahli fisioterapi, serta dilandasi teori – teori dan alat – alat yang digunakan berkaitan dengan penelitian maka dapat disimpulkan bahwa perlu adanya pengembangan kursi roda sebagai alat rehabilitasi penderita stroke. Kursi roda dari produk yang telah ada dan yang telah digunakan di rumah sakit masih belum memiliki fungsi untuk melatih otot kaki bagi penderita stroke. Adapun uraian diatas dapat disimpulkan bahwa :

1. Kursi roda yang digunakan untuk proses rehabilitasi penderita stroke harus sesuai dengan kriteria penderita stroke. Pada pasien yang mengalami hemiplegia harus diberikan pengaman pada tangan (*Armrest*) agar tidak mengalami subluksasi. Pada bagian kaki, kursi roda di difasilitasi *footcycle* dimana dapat melatih otot kaki. dari ketiga konsep yang telah dibuat, dipilih desain konsep terbaik yaitu desain konsep 3 dimana konsep tersebut memiliki nilai ergonomi yang lebih baik yaitu 2,5 dari konsep lainnya, berarti konsep 3 memiliki kemungkinan timbul cedera sangat rendah. konsep 3 memiliki nilai absolut paling tinggi yaitu 4.2 (29,06% dari total nilai bobot) dari konsep lainnya, sehingga konsep 3 yang paling baik dalam melatih otot kaki dan menjaga posisi tangan untuk rehabilitasi penderita stroke.
2. Saat melakukan proses rehabilitasi tentu membutuhkan posisi yang sesuai dengan fisik penderita stroke, aman dan nyaman. Pada konsep 3, aspek yang dapat disesuaikan dengan antropometri masyarakat indonesia di terapkan pada bagian *armrest* dan fasilitas *footcycling* dimana bagian tersebut dapat diatur ketinggiannya sesuai dengan dimensi tangan dan dimensi panjang kaki pada saat duduk. Desain kursi roda konsep 3 ini sudah melewati tahap Analisa kerangka dimana pembebanan maksimal yaitu 150 kg dan didapat nilai tegangan yang diterima oleh kerangka tersebut sebesar 28,5 Mpa yang

dibandingkan nilai *yield strength* material ASTM A36 sebesar 250 Mpa dipastikan kerangka konsep 3 sangat aman digunakan. Penambahan pengaman pada *armrest* dan *footcycling* membuat posisi tangan terjaga agar tidak jatuh bagi penderita hemiplegia dan menjaga posisi kaki terikat pada bagian pedal membuat penderita stroke aman dalam menggunakan alat ini. Konsep 3 dinyatakan nyaman dari Analisa ergonomi yang telah dilakukan yang sesuai dengan antropometri masyarakat indonesia.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Barbosa, D., C. P. Santos dan M. Martins (2015). *The Application of Cycling and Cycling Combined with Feedback in the Rehabilitation of Stroke Patients: A Review*, **Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases** Vol. 24 : pp 253-273.
- [2] Batan, I. M. L dan P. Joko(2013). *Perancangan Sepeda Pasca Stroke*. **JURNAL TEKNIK POMITS** Vol. 2, No. 1, pp. 1-6.
- [3] Imansyah, K. A.(2016). Perancangan Sepeda *Fixie* Lipat dan Analisa Konsep Desain Terbaik. **Tugas Akhir**. Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
- [4] Juniani, A.I, L. Handoko dan D. Kurniasih (2015).*Analisa dan perancangan alat Bantu Terapi Stroke dengan Menggunakan Qfd-Ahp dan Fast serta Memperhatikan Prinsip Ergonomi*. **Laporan Penelitian Dosen**, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
- [5] Kharisma, C.(2010). *Pengembangan Produk*, tersedia : <http://lib.ui.ac.id> (12 Januari 2018).
- [6] Liem, Y. K. Hatta, Pujiono dan Tasripan.(2012). Rancang Bangun Kursi Roda Elektrik Menggunakan Perintah Suara Berbasis Aplikasi Android. **JURNAL TEKNIK POMITS** Vol. 1, No. 1, pp.1-6
- [7] Marasinta, I. S(2015). Penatalaksanaan Fisioterapi pada Subluksasi *Acromioclavicular Joint Dextra* di RSUD Sragen. **Tugas Akhir**. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [8] Nurmianto E.(2004). **Ergonomi Konsep Dasar dan Aplikasinya**,Guna Widya, Surabaya.
- [9] Pusat Data dan Informasi Kementerian Kesehatan RI. 2014. Situasi Kesehatan Jantung, tersedia : <http://www.depkes.go.id/article/view/15021800003/situasi-kesehatan-jantung.html> (21 Desember 2016).

- [10] Sholeh A.(2017). Analisa Desain Sepeda Statis untuk Rehabilitasi Penderita Stroke. **Tugas Akhir**. Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
- [11] Ulrich, K. T. dan S. D. Eppinger (2001). **Perancangan dan Pengembangan Produk**, Salemba Teknika, Jakarta.
- [12] Wildani, M. H, I .Rosdiana, dan K. Wirastuti (2009).*Pengaruh Fisioterapi Terhadap Kekuatan Otot Extremitas pada Penderita Stroke Non Hemoragik*. **Pengaruh Fisioterapi dan Kekuatan Otot** vol 2 , No. 2, pp 197.
- [13] Winstein, C. J., J. Stein dan V. Chair (2016). **Guidelines for Adult Stroke Rehabilitation and Recovery**. the American Heart Association, Dallas

Desain dan Analisa *Press Tool Front Plate 3TP038* menggunakan *Software CAD/CAE* pada Perusahaan Manufaktur *Loudspeaker*

Dinda Aksari^{1*}, Pranowo Sidi², dan Bayu Wiro Karuniawan³

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.^{1,2,3}
E-mail: dindaaksari22@yahoo.com^{1*}

Abstract – *Loudspeaker Manufacturing Company is one of the companies engaged in the manufacture of loudspeakers that make components and assemblies for loudspeakers. One part of the loudspeaker is the front plate with tool number 03TP038 which is produced with a press system through two separate procedures and is carried out with two separate tools and work stations. This causes the production process to be less efficient. Press tool design and analysis using CAD / CAE software is an effort made to optimize the production process by designing the press tool into a progressive tool. As well as the strength analysis in the design is used as a determination of feasibility, as well as improvements to the press tool. The results of the study that the Front Plate 3TP038 Press Tool design can be made into a progressive tool by performing the required calculations. The simulation results obtained the maximum value of von Mises stress on the piercing punch $\varnothing 14.18$ mm is 244.1 Mpa deflection 0.0187 mm, piercing punch $\varnothing 2.08$ mm is 539.9 Mpa deflection 0.05034, punch fillet R0.3 mm is 72.29 MPa deflection 0.004137, punch fillet R0.3 mm bottom is 406.9 Mpa deflection 8.196e-004 mm, Blanking Punch $\varnothing 40.67$ mm is 194.3 Mpa deflection 0.007589, dies at 283.5 Mpa deflection is 0.003973 where the value does not exceed the yield strength value of D2 Steel material which is 2150 Mpa.*

Keywords : *finite element method, front plate, loudspeaker, press tool*

1. PENDAHULUAN

Salah satu industri manufaktur *loudspeaker* swasta di Surabaya telah memproduksi berbagai macam variasi *drivers* untuk *loudspeaker*. Proses manufaktur yang umum digunakan industri manufaktur *loudspeaker* adalah dengan menggunakan sistem *press* baik menggunakan mesin *press* mekanik maupun mesin *press* hidrolik. Dalam membuat suatu *press tool* yang terdiri pada umumnya meliputi proses perhitungan, desain, dan analisa pada desain *press tool*. *Press tool* yang menjadi objek penelitian kali ini adalah *press tool* untuk produksi *top plate* atau *front plate*. *Top Plate* atau *front plate* merupakan sebuah komponen pada *loudspeaker* yang berfungsi untuk membantu proses timbulnya medan magnet yang menggetarkan *voice coil* sehingga *loudspeaker* dapat menimbulkan suara. Dalam proses produksi *front plate* ini terbagi menjadi dua bagian yakni proses yang dikenal dengan proses plang, untuk pembuatan diameter dalam dan diameter luar, serta proses tindik yang merupakan proses pembuatan 4 tonjolan pada sisi dalam *front plate*. Dalam studi kasus ini, industri manufaktur *loudspeaker* tersebut mendesain *press tool*-nya dengan jenis *simple press tool* sehingga dua prosedur tersebut diproses dengan *press tool* yang berbeda di stasiun kerja yang berbeda. Hal tersebut menyebabkan proses produksi menjadi kurang optimal dan kurang efisien dikarenakan waktu produksi lebih lama akibat material harus

berpindah-pindah stasiun kerja. Permasalahan tersebut dapat diminimalisir dengan mengubah jenis *simple press tool* menjadi *progressive tool*, dimana *press tool* mampu untuk melakukan sejumlah operasi pemotongan atau pembentukan dalam beberapa stasiun kerja yang pada setiap langkah penekanan menghasilkan beberapa jenis pengerjaan dan setiap stasiun kerja dapat berupa proses pemotongan atau pembentukan yang berbeda (Budiarto pada Saputra, 2015). *Press tool* yang akan menjadi objek studi kasus kali merupakan *press tool* dengan *tool number 3TP038* dimana material *front plate* yang akan diproduksi adalah *hot rolled steel* dengan ketebalan 2mm. Berdasarkan hal tersebut, dilakukan desain *press tool* dengan jenis *progressive tool* dan analisa terhadap desain yang akan dibuat untuk mengetahui tegangan atau *stress*, serta defleksi pada *press tool* dengan menggunakan *loadcase* yang disesuaikan dengan hasil perhitungan gaya potong. Data tersebut akan dinyatakan kelayakan desain dan material *press tool* dalam nilai *von misses stress* tidak melebihi dari tegangan ijin material yang digunakan.

2. METODOLOGI

Loudspeaker merupakan transduser elektromagnetik yang mengubah sinyal listrik menjadi sinyal bunyi (Beranek pada Wibowo, 2016). Sebuah *loudspeaker* bekerja dengan cara menggetarkan diafragma.. Diafragma berbentuk

kerucut terpancung, dan dirakit bersama dengan spider dan voice coil. Voice coil akan mengalami gerakan maju-mundur ketika ada arus yang berfluktuasi dan berinteraksi dengan medan magnet yang dihasilkan oleh magnet yang ada pada loudspeaker. Bergetarnya diafragma ini akan mengakibatkan bergetarnya udara yang ada di sekitar diafragma sehingga terbentuklah gelombang bunyi. Front Plate bersama dengan yoke dan bottom plate melengkapi rangkaian magnetik..

Menurut Budiarto pada Saputra (2015), Press tool adalah alat bantu pembentukan/ pemotongan produk dari bahan dasar lembaran yang operasinya menggunakan mesin press. Progressive Tool adalah perkakas yang dirancang untuk melakukan sejumlah operasi pemotongan atau pembentukan dalam beberapa stasiun kerja pada setiap langkah penekanan menghasilkan beberapa jenis pengerjaan dan setiap stasiun kerja dapat berupa proses pemotongan atau pembentukan yang berbeda.

Beberapa jenis pemotongan ditinjau dari hasil pemotongannya, terdapat proses piercing yang menghasilkan ukuran lubang atau ukuran dalam, sedangkan proses blanking akan menghasilkan ukuran luar atau produk/blank. Agar ukuran produk yang dihasilkan sesuai dengan harapan, maka ukuran die akan dibuat lebih kecil dari ukuran benda kerja. Untuk menentukan ukuran piercing punch dan piercing die dapat diketahui melalui persamaan sebagai berikut:

$$d_1 = d + f$$

$$d_2 = d + f + 2s$$

Dimana:

- d_1 = Piercing punch
- d_2 = Piercing die
- d = diameter atau ukuran produk piercing
- f = Spring back
- $2s$ = Allowance

Untuk menentukan ukuran blanking punch dan blanking die dapat diketahui melalui persamaan sebagai berikut:

$$D_1 = D - f - 2s$$

$$D_2 = D - f$$

Dimana:

- D_1 = Blanking punch
- D_2 = Blanking die
- D = diameter atau ukuran produk blanking
- f = Spring back
- $2s$ = Allowance

Sebelum material strip dipotong, perlu diperhatikan mengenai ukuran dari strip yang dipilih. Jarak antar sisi tepi dan jarak potong yang harus dihitung terlebih dahulu. Berikut adalah ketentuan yang dapat digunakan sebagai dasar dalam perhitungan lay-out scrip strip-nya.

Apabila tebal material lebih dari 0,6 mm, maka untuk menghitung jarak sisi tepinya digunakan persamaan berikut.

$$a = t + 0,015 \cdot D$$

Dimana:

- a = jarak sisi tepi
- D = lebar produk yang akan dipotong
- t = tebal material
- b = jarak antar potongan

Sedangkan nilai dari b atau jarak antar potongan dapat dilihat pada Tabel 1. berikut.

Tabel 1: Jarak antar Potongan (b) dengan Tebal Plat Lebih dari 0,6mm

$t > 0,6 \text{ mm}$	$b \text{ (mm)}$
0,6 s.d. 0,8 mm	0,8
0,8 s.d. 3 mm	1
> 3 mm	3

Sumber : Moerbani dan Riyadi, 2005

Tebal dari mattress atau dies dapat diketahui dengan menggunakan persamaan sebagai berikut,

$$H = \sqrt[3]{\frac{F_{tot}}{g}}$$

Dalam perhitungan gaya pemotongan besar kekuatan geser (τ_b) menurut Moerbani dan Riyadi (2005) adalah 80% dari batas tegangan tarik material (σ_b), sehingga,

$$F = L_{pot} \times 0,8 \sigma_b$$

Sedangkan nilai dari gaya stripper (F_s) menurut Moerbani dan Riyadi (2005) diperoleh 10% dari (1) gaya potong (F). (2)

Dalam menentukan pegas digunakan persamaan-persamaan berikut:

$$F_a = F_s/n$$

Dimana:

- F_a = Gaya tiap pegas (N)
- F_s = Gaya stripper (N)
- n = Jumlah pegas yang direncanakan

Setelah diperoleh nilai gaya yang dibebankan pada masing-masing spring, selanjutnya adalah menentukan langkah spring. Langkah spring (3) dapat diperoleh melalui penjumlahan dari pre-tension, tebal material, panjang punch masuk plat stripper dan panjang punch yang masuk dies. (4)

Kemudian setelah diketahui gaya yang bekerja pada masing-masing spring dan langkah spring, maka selanjutnya adalah mencari nilai konstanta untuk menentukan tipe dari spring yang digunakan. Konstanta dapat diketahui melalui persamaan sebagai berikut ;

$$Konstanta = F_a / \text{Langkah Spring}$$

Dimana:

- F_a = Gaya tiap pegas (N)

Langkah selanjutnya adalah melakukan analisa menggunakan *Finite Element Method*. *Finite Element Method* (FEM) atau metode elemen hingga adalah metode numerik yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan teknik dan problem matematis dari suatu gejala phisis. Analisis *press tool* menggunakan *software* bermetode berdasarkan Metode Elemen Hingga atau *Finite element method* (FEM). Ketika metode elemen hingga diterapkan untuk bidang analisis tertentu (seperti analisis *stress* atau tegangan, analisis termal, atau analisis getaran) sering disebut sebagai analisis elemen terbatas (FEA). Sehingga FEA adalah alat yang paling umum untuk menganalisis *stress* dan analisis struktur (J. Ed Akin pada Prayoga, 2009).

Tegangan adalah suatu ukuran intensitas pembebanan yang dinyatakan oleh gaya dibagi oleh luas di tempat gaya tersebut bekerja. Komponen tegangan pada sudut yang tegak lurus pada bidang ditempat bekerjanya gaya tersebut disebut tegangan langsung, dan merupakan tegangan tarik atau *tensile* (positif), atau tegangan tekan atau *compressive* (negatif). Satuan untuk tegangan tersebut adalah N/mm² atau Megapascal (MPa) menurut MJ Iremonger pada Prayoga (2016). Tegangan normal adalah tegangan yang terjadi ketika gaya yang diterapkan tegak lurus terhadap luas penampang material, sehingga *principal stress* adalah nilai ekstrim dari tegangan normal yang terjadi pada material. Von Mises *stress* adalah resultan dari semua tegangan yang terjadi diturunkan dari *principal axis* dan berhubungan dengan *principal stress*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Nilai dari gaya potong (Fpot) dan gaya stripper (Fs) dari masing-masing pengerjaan berdasarkan perhitungan menggunakan persamaan (7) dan (8) terdapat pada Tabel 2. sebagai berikut:

Tabel 2: Gaya Potong dan Gaya Stripper pada *Punching* dan *Blanking*

NP	Keterangan	Keliling (mm)	Tebal Material (mm)	Luas Potong (mm ²)	Fpot (N)	Fs (N)
1	Pilot Pin	7,85	2	15,70	3391,20	339,12
2	Pilot Pin	7,85	2	15,70	3391,20	339,12
3	Lingkaran Ø14.1	44,274	2	88,55	19126,37	1912,64
4	Fillet R 0.3	46,158	0,4712	21,75	4697,92	469,79
5	Lingkaran Ø2	6,28	1,3	8,16	1763,42	440,86
6	Lingkaran Ø2	6,28	1,3	8,16	1763,42	440,86
7	Lingkaran Ø2	6,28	1,3	8,16	1763,42	440,86
8	Lingkaran Ø2	6,28	1,3	8,16	1763,42	440,86
9	Blanking Ø41	128,74	2	257,48	55615,68	5561,57
					Σ Fpot =	Σ Fs =
					93165,85	9316,59

Sumber: Hasil Perhitungan, 2018

Sehingga gaya potong total F_{tot} yang diperlukan dalam proses pemotongan produk *front plate* dapat diketahui dengan menjumlahkan seluruh gaya potong pada masing-masing proses.

Ukuran *piercing punch* (d1) dan *piercing die* (d2) untuk lubang dengan ukuran diameter 14.1 mm dengan tebal material 2mm dimana memiliki nilai *spring back* (f) sebesar 0.08 mm dan *allowance* (2s) sebesar 0.25 mm adalah sebagai berikut:

$$d1 = d + f \qquad d2 = d + f + 2s$$

$$d1 = 14.1 + 0.08 \qquad d2 = 14.1 + 0.08 + 0.25$$

$$d1 = 14.18 \text{ mm} \qquad d2 = 14.43 \text{ mm}$$

Sedangkan ukuran *piercing punch* (d1) dan *piercing die* (d2) untuk lubang dengan ukuran diameter 2 mm dengan tebal material 2mm dimana memiliki nilai *spring back* (f) sebesar 0.08 mm dan *allowance* (2s) sebesar 0.25 mm adalah sebagai berikut:

$$d1 = d + f \qquad d2 = d + f + 2s$$

$$d1 = 2 + 0.08 \qquad d2 = 2 + 0.08 + 0.25$$

$$d1 = 2.08 \text{ mm} \qquad d2 = 2.33 \text{ mm}$$

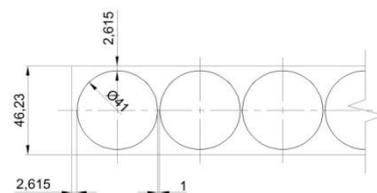
Ukuran *blanking punch* (D1) dan *blanking die* (D2) untuk lubang dengan ukuran diameter 41 mm dengan tebal material 2mm dimana memiliki nilai *spring back* (f) sebesar 0.08 mm dan *allowance* (2s) sebesar 0.25 mm adalah sebagai berikut:

$$D1 = D - f - 2s \qquad D2 = D - f$$

$$D1 = 41 - 0.08 - 0.25 \qquad D2 = 41 - 0.08$$

$$D1 = 40.67 \text{ mm} \qquad D2 = 40.92 \text{ mm}$$

Pembuatan *lay-out scrap strip* disesuaikan berdasarkan ketebalan material. Dimana diketahui tebal material (t) sebesar 2mm dan diameter blanking (D) sebesar 41 mm, sehingga dapat diketahui nilai *a* sebesar 2.615 mm Sedangkan untuk material dengan ketebalan 0.8 s.d 3 mm nilai *b* yang diperbolehkan sebesar 1 mm. Sedangkan penyusunan *lay-out strip* berdasarkan nilai diatas dapat dilihat pada **Gambar 1** .sebagai berikut.



Gambar 1. Lay-out strip yang digunakan

Tebal dari *matress* atau *dies* dapat diketahui dengan menggunakan persamaan (2.8) sebagai berikut, Dimana total gaya potong (F_{tot}) yang diperoleh berdasarkan **Tabel 2**. adalah sebesar 93165.85 N, dengan *g* merupakan gaya gravitasi yang besarnya 9.81 m/s², sehingga:

$$H = \sqrt[3]{\frac{93165.85 \text{ N}}{9.81 \text{ m/s}^2}}$$

$$H = \sqrt[3]{9497.029}$$

$$H = 21.17 \text{ mm} \approx 21 \text{ mm}$$

Dari hasil di atas diketahui tebal maksimum dies adalah 21mm, maka digunakan *dies* dengan ketebalan 20 mm. Sedangkan hasil dari perhitungan titik berat disajikan dalam **Tabel 3.** sebagai berikut;

Tabel 3: Perhitungan Titik Berat Pada Punching dan Blanking

NP	Keterangan	Keliling (mm)	X (mm)	Y (mm)	IX (mm ²)	IY (mm ²)
1	Pilot Pin	15,7	1,85	1,85	29,05	29,05
2	Pilot Pin	15,7	41,15	44,38	646,06	696,77
3	Lingkaran Ø14.1mm	44,274	64,5	23,12	2855,67	1023,61
4	Lingkaran Fillet R3	46,158	107,5	23,12	4961,99	1067,17
5	Lingkaran Ø2	6,28	140,5	23,12	882,34	145,19
6	Lingkaran Ø2	6,28	105,5	33,12	662,54	207,99
7	Lingkaran Ø2	6,28	160,5	23,12	1007,94	145,19
8	Lingkaran Ø2	6,28	105,5	13,12	662,54	82,39
9	Blanking	128,74	193,5	23,12	24911,19	2976,47
		Σ L = 275,692			Σ LX = 36619,31	Σ LY = 6373,84
		X0 = $\frac{\Sigma IX}{\Sigma l}$	132,83			
		Y0 = $\frac{\Sigma IY}{\Sigma l}$	23,12			

Sumber: Hasil Perhitungan, 2018

Dalam menentukan spring atau pegas yang akan digunakan, dengan menentukan gaya yang akan dibebankan pada masing-masing *spring*. Karena jumlah *spring* yang direncanakan sebanyak 4 buah, maka:

$$F_a = F_s/n$$

$$F_a = 13895.78543/4$$

$$F_a = 3473,9463 N$$

Kemudian setelah diketahui gaya yang bekerja pada masing-masing spring, maka selanjutnya adalah mencari nilai konstanta untuk menentukan tipe dari spring yang digunakan. Dengan langkah *spring* sebesar 11 mm, konstanta dapat diketahui melalui perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Konstanta} = F_a/\text{Langkah Spring}$$

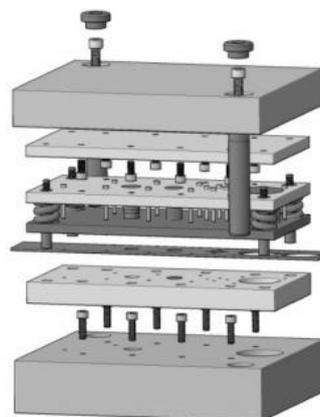
$$\text{Konstanta} = 3473.9463 N/11 mm$$

$$\text{Konstanta} = 347,3946 N/mm$$

Berdasarkan perhitungan diatas, mengacu pada kalatog Spring MISUMI halaman 837, maka digunakan konstanta sebesar 412 N/mm, sehingga spesifikasi dari *spring* yang akan digunakan adalah sebagai berikut;

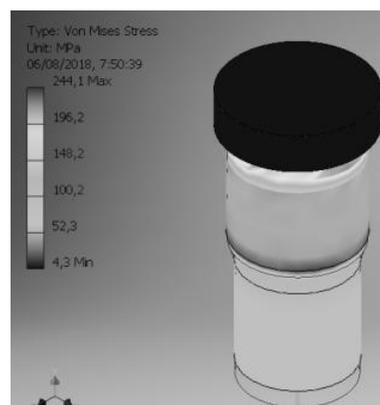
- Jenis Spring = Coil Spring SWG 20-25
- DiamaterLuar = 20 mm
- Diameter Dalam = 10 mm
- Panjang Spring = 25 mm

Desain yang telah dibuat secara keseluruhan dengan tampak *isometry* 3 dimensi yang telah di *assembly* ditunjukkan pada **Gambar 2.** di bawah ini.



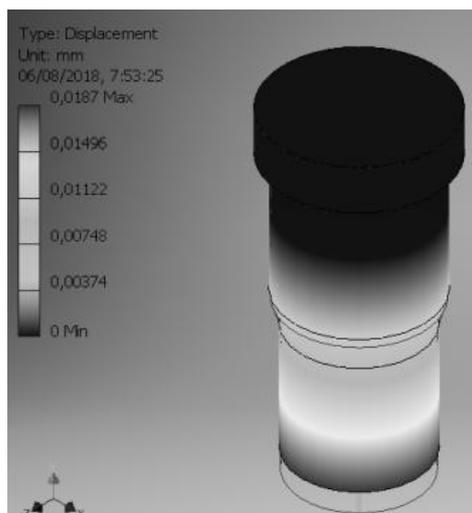
Gambar 2. Rancangan Press Tool

Analisis berupa simulasi pembebanan dilakukan untuk menentukan besar dari tegangan maksimum dan defleksi atau *displacement* yang terjadi pada model *press tool* yang telah dibuat. Pada penelitian kali ini dilakukan simulasi terhadap *press tool* pada bagian *punch* dan *dies* dengan material yang digunakan adalah *D2 Steel*. Dari proses simulasi akan dihasilkan nilai tegangan *von mises* dan *displacement* atau defleksi. Pada penelitian yang dilakukan oleh Ardianto, dkk (2012) menyatakan bahwa apabila nilai tegangan *von misses* melebihi tegangan luluh (*yield strength*) dari material, maka analisa dianggap gagal. Berikut adalah contoh hasil dari simulasi tegangan *von Mises* untuk *piercing punch* Ø14.18 mm dapat dilihat pada **Gambar 3.**



Gambar 3. Hasil analisa von Mises Stress pada Piercing Punch Ø14.18 mm

Dari hasil simulasi di atas diperoleh nilai maksimum *von Mises stress* pada *piercing punch* Ø14.18 mm adalah 244.1 Mpa dimana nilai tersebut tidak melebihi nilai *yield strength* dari material *D2 Steel* yakni sebesar 2150 Mpa. Sedangkan nilai defleksi/*displacement* sebesar 0.0187 mm dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil analisa defleksi/displacement pada Piercing Punch Ø14.18 mm

Akhir, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

- [4] Saputra, K. (2015). Rancang Bangun Press Tool Pembuat Side Rubber sebagai Komponen Chute di PT. Bukit Asam (Pesero) Tbk. Dengan Power Hidrolik (Perhitungan Biaya Produksi). **Laporan Akhir**, Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang
- [5] Wibowo, Imam T. (2016). Rancang Bangun Loudspeaker Enclosure untuk Mengefisienkan Kinerja Loudspeaker. **S1 Thesis**, Universitas Negeri Yogyakarta.

4. KESIMPULAN

Berikut adalah kesimpulan yang di dapat dari penelitian yang telah dilakukan:

1. Desain *Press Tool Front Plate 3TP038* dapat dibuat menjadi *progressive tool* dengan melakukan perhitungan yang dibutuhkan. Penggambaran desain dilakukan dengan mengacu pada katalog yang disesuaikan dengan hasil perhitungan,
2. Dari hasil simulasi diperoleh nilai maksimum *von Mises stress* pada *piercing punch* Ø14.18 mm adalah 244.1 Mpa, *piercing punch* Ø2.08 mm adalah 539.9 Mpa, *punch fillet* R0.3 mm adalah 72.29 Mpa, *punch fillet* R0.3 mm bawah adalah 406.9 Mpa, *Blanking Punch* Ø40.67 mm adalah 194.3 Mpa, *dies* sebesar 283.5 Mpa dimana nilai tersebut tidak melebihi nilai *yield strength* dari material *D2 Steel* yakni sebesar 2150 Mpa.
3. Sedangkan nilai defleksi/*displacement* *piercing punch* Ø14.18 mm sebesar 0.0187mm, *piercing punch* Ø2.08 mm sebesar 0.05034mm, *punch fillet* R0.3 mm sebesar 0.004137 mm, *punch fillet* R0.3 mm bawah sebesar 8.196e-004 mm, *Blanking Punch* Ø40.67 mm sebesar 0.007589 mm, *dies* sebesar 0.003973 mm.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ardianto, C, Raharjo, WW, Surojo, E (2012) . *Perancangan Progressive Dies Komponen Ring M7*. **Mekanika**, Vol.11 No.1, pp. 37-40
- [2] Moerbani, JB dan ST. N.G Riyadi (2005). **Mengenal Perkakas Potong Punching Tool 1**. Politeknik ATMI, Surakarta.
- [3] Prayoga, R. (2016). Analisa Kekuatan Struktur dan Estimasi Usia Fatigue Life pada Konstruksi Overhead Crane Tipe Double Girder Berkapasitas SWL 10 Ton. **Tugas**

Pembuatan dan Pengujian Paket Modular untuk *Speed Test* Kapal pada Tahap *Sea Trial*

Kharismawan Dwi Febrianto^{1*}, Budianto², Fais Hamzah³

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.^{1,3}

Program Studi Teknik Perancangan dan Konstruksi Kapal, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.²

E-mail: kharismafbrn@gmail.com^{1*}

Abstract – One of the performance tests that must be carried out by the ship before launch is the progressive speed test. In doing the required speed test GPS-based devices. In previous research has been designed a software sea trial tracker that is able to process data from GPS devices quickly and efficiently. This study aims to create a device that can be used to support sea trial tracker software and make it easier for testers to perform a performance test with a portable and efficient device design which is then expected to be widely used in the ship performance test process. The device manufacturing process is carried out starting from the design stage of the design with the help of CAD software, component planning, and the assembly stage. The device testing method will be done directly at the sea trial stage and the test results will be compared with the results of hullspeed analysis using maxsurf software to determine the success of device function. Based on the results of the creation and testing of a modular performance package, this device is able to be used to support the sea trial tracker software as evidenced by the speed test on the sea trial. Modular package that is made using a battery with a capacity of 12V 3.5Ah which is able to supply the power needs of the device for 4-9 hours of use and is equipped with a battery charger that is able to charge the battery from empty to full within 25 minutes. Comparison between the results of a modular package test and the results of the maxsurfhullspeed software analysis shows the results that meet the 10% validation limit that has been determined, so that the modular package is capable of being used in a ship speed test.

Keywords: GPS (global positioning system), modular package, progressive speed test, sea trial, sea trial tracker

1. PENDAHULUAN

Industri Maritim di Negara kita sedang dalam tahap menuju era perkembangan yang pesat, ditandai dengan banyak munculnya galangan-galangan kapal yang memproduksi kapal dan peralatan pendukungnya. Kapal yang diproduksi oleh galangan-galangan tersebut salah satunya harus lolos uji *performance* pada saat tahap *sea trial* untuk memastikan kesesuaian spesifikasi teknis yang sudah ditentukan serta menentukan layak tidaknya kapal-kapal tersebut dioperasikan. Diantara uji *performance* yang dilakukan adalah *progressive speed test* yang tujuan utamanya yaitu untuk mengukur kecepatan kapal dalam kondisi operasi yaitu saat kapal berjalan terus menerus tanpa berhenti dalam waktu tertentu. Dalam melakukan pengujian tersebut diperlukan perangkat GPS untuk mendapatkan data posisi kapal per satuan waktu yang kemudian digunakan untuk mengetahui kecepatan.

Pada penelitian sebelumnya telah dirancang *software sea trial tracker* yang mampu mengolah data posisi dari perangkat GPS untuk menghasilkan informasi hasil dari *speed test*. Sebelum adanya penelitian *software sea trial tracker*, untuk mendapatkan informasi kecepatan

kapal pada saat *progressive speed test* dilakukan dengan cara mencatat setiap posisi kapal per satuan waktu tertentu, dengan cara ini dirasa tidak efisien dan rawan kesalahan pencatatan karena masih dilakukan secara manual. Permasalahan metode manual yang dilakukan tersebut yang mengakibatkan proses pengujian kapal sebagai hasil produksi menjadi lebih lambat dan tidak efisien.

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan merancang dan membuat alat yang mampu dipasangkan dengan *software sea trial tracker* agar dapat berfungsi sebagai alat bantu untuk melakukan *speed test kapal*, serta mempermudah pihak penguji dalam melakukan *speed test* dengan desain alat yang portabel dan efisien. Selain melakukan perancangan dan pembuatan, dalam penelitian ini juga dilakukan pengujian dari paket modular dengan cara melakukan *speed test* yang selanjutnya hasil berupa kecepatan dari pengujian paket modular akan dibandingkan dengan hasil analisis *hullspeed* menggunakan *software maxsurf pro* untuk memastikan keberhasilan fungsi dari paket modular yang telah dibuat.

2. METODOLOGI

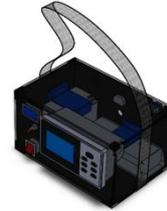
Secara garis besar penelitian yang dilakukan untuk merancang paket modular *speed test* adalah sebagai berikut :

- a. Observasi dan Studi Literatur
 Studi literatur dimaksudkan untuk mendapatkan kumpulan – kumpulan informasi atau data sebagai bahan acuan dalam pembuatan tugas akhir. Jenis metode pengambilan data dengan cara mengumpulkan data – data serta informasi melalui buku, jurnal – jurnal skripsi maupun mendatangi dan melakukan tanya jawab dengan beberapa koresponden.
- b. Identifikasi Masalah
 Pada tahapan ini dapat diidentifikasi beberapa masalah yang ditemui dalam proses *speed test* kapal pada tahap *sea trial*, yaitu:
 1. Proses pengambilan data yang kurang efisien saat *speed test*.
 2. Belum adanya perangkat yang mudah digunakan dan efisien untuk melakukan *speed test*.
 3. Perlu dilakukannya pengujian paket modular dengan membandingkan hasil pengujian dengan hasil analisis kecepatan menggunakan *software maxsurf hullspeed*.
- c. Pengumpulan Data.
 Setelah observasi lapangan, identifikasi masalah dan studi literatur dilaksanakan tahapan selanjutnya adalah pengumpulan data. Yang mana pengumpulan data pada tahapan ini untuk mengumpulkan data yang didapatkan dari observasi, studi literatur, dan identifikasi masalah, yaitu:
 1. Perangkat utama yang digunakan untuk pengambilan data kecepatan kapal yaitu perangkat GPS berbasis satelit.
 2. Kapal yang digunakan untuk sarana pengujian alat yaitu kapal nelayan dengan diketahui spesifikasi teknis serta dilakukan pengukuran lebar pada setiap WL dan setiap *station* lambung kapal.
- d. Analisis Kecepatan Kapal Dibantu Komputer.
 Dilakukan beberapa tahap untuk melakukan analisis kecepatan menggunakan *software*, yaitu:
 1. Pembuatan *Lines Plan* dilakukan untuk menggambarkan kapal yang sudah diukur kedalam bentuk gambar garis untuk mempermudah proses pemodelan kapal.
 2. Pemodelan kapal dibantu komputer dilakukan dengan menggunakan *software maxsurf pro*. Dari penggambaran *lines plan*, dilakukan pemodelan 3 dimensi dengan menggunakan acuan dari gambar *lines plan*.
 3. Analisis kecepatan kapal yang dilakukan menggunakan *software maxsurf hullspeed*, dengan menggunakan hasil pemodelan 3 dimensi dan metode analisis yang digunakan yaitu metode *holtrop*.

- e. Perencanaan dan Perancangan Alat.
 Meliputi hal yang berkaitan dengan perencanaan desain, sistem, dan perancangan alat.

1. Konsep Desain

Pemilihan desain dan sistem terbaik dengan metode konsep desain sesuai dengan spesifikasi yang sudah ditentukan.



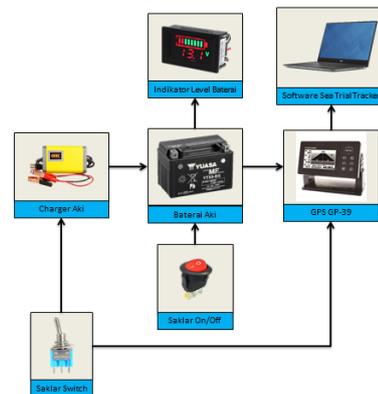
Gambar 1. Desain Paket Modular Speed Test

Komponen yang digunakan:

- Box Akrilik
- Perangkat GPS
- Saklar on/off
- Saklar Switch
- Indikator Baterai
- Baterai Aki
- Charger Aki
- Penahan Baterai dan Aki
- Konektor db9 RS-422
- Konektor Power
- Strap Pengangkat

2. Perencanaan Sistem

Perencanaan sistem dan kebutuhan dari komponen dari sistem yang digunakan.



Gambar 2. Blok Diagram Paket Modular Speed Test

Perhitungan kebutuhan daya perangkat.

$$Ah = I \times t \quad (1)$$

Dimana :

Ah = kapasitas baterai aki (Ah)

I = kuat arus (Ampere)

t = waktu (hours)

Perhitungan kebutuhan *charger* baterai.
 $t_{charging} =$

$$\frac{\text{Kapasitas Aki} + 20\% (\text{diefisiensi aki})}{I_{charger}} \quad (2)$$

Dimana :

Kapasitas Aki = (Ah)

$t_{charging}$ = waktu pengisian aki (hours)

$I_{charger}$ = kapasitas arus *charger* (Ampere)

f. Pengujian Alat.

Pengujian paket modular dilakukan dengan melakukan *speed test* pada *sea trial* untuk mengetahui fungsi alat dan menda patkan data kecepatan dari kapal untuk dilakukan validasi dengan hasil analisis *hullspeed*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil analisis kecepatan kapal yang dilakukan dengan software *maxsurf hullspeed* didapatkan data kecepatan dan daya kapal seperti berikut:

Tabel 1: Data Hasil Analisis *Maxsurf Hullspeed* Kecepatan dan Daya Kapal.

No	Daya	Kecepatan
1	2 HP	4,806 knots
2	4 HP	6,024 knots
3	6 HP	6,420 knots
4	8 HP	6,794 knots

Dari perancangan paket modular didapat beberapa hasil, yaitu:

- GPS yang digunakan dalam paket modular yaitu GPS Furuno GP-39
- Kebutuhan baterai yang diperlukan untuk paket modular yaitu 12VDC 3Ah
- Charger baterai yang dibutuhkan untuk mengisis daya baterai yaitu dengan kapasitas 10 Ampere

Hasil pengujian paket modular pada *speed test* didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 2:Data Hasil Pengujian Paket Modular pada *Speed Test*.

No	Daya	Kecepatan
1	2 HP	4,33 knots
2	4 HP	5,66 knots
3	6 HP	6,4 knots
4	8 HP	6,4 knots

Perbandingan antara hasil analisis kecepatan menggunakan *maxsurf hullspeed* dengan hasil pengujian kecepatan menggunakan paket modular sebagai berikut.

Tabel 3:Perbandingan Hasil Analisis *Maxsurf Hullspeed* dengan Hasil Pengujian Paket Modular.

Daya	<i>Maxsurf Hullspeed</i>	Hasil <i>Sea Trial</i>	Validasi 10%	Selisih
25%	2 HP	4,806 knots	0,4806	0,476
50%	4 HP	6,024 knots	0,6024	0,364
75%	6 HP	6,420 knots	0,642	0,02
100%	8 HP	6,794 knots	0,6794	0,394

Dari hasil perbandingan antara kecepatan kapal hasil analisis *maxsurf hullspeed* dan pengujian kecepatan pada *sea trial* dengan menggunakan paket modular diketahui seperti ditunjukkan pada Tabel selisih dari setiap pengujian menunjukkan angka kurang dari batas validasi 10%.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembuatan paket modular *speed test* yang sudah dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa poin sebagai berikut.

- Proses penelitian dilakukan menggunakan kapal nelayan yang selanjutnya dilakukan penggambaran lines plan menggunakan software autocad, pemodelan 3D menggunakan software *maxsurf pro*, dan analisis kecepatan kapal menggunakan software *maxsurf hullspeed* dengan metode analisis yang digunakan yaitu metode holtrop.
- Penentuan desain dan sistem dari paket modular dilakukan dengan metode pemilihan konsep yang menghasilkan konsep desain ke-3 sebagai desain dan sistem terbaik untuk selanjutnya dilakukan pembuatan dan perakitan paket modular *speed test* menggunakan akrilik tebal 5cm sebagai bahan dari box casing dengan komponen utama yang digunakan berupa perangkat berbasis GPS dengan tipe Furuno GP-39 yang dipasangkan dengan power supply berupa baterei aki 12VDC 3,5Ah sebagai sumber daya dan charger aki 12V 10A sebagai pengisi daya baterai aki.
- Proses pengujian paket modular pada *sea trial* dilakukan di perairan pantai kenjeran Surabaya dengan menguji 4 daya motor kapal yaitu 25%, 50%, 75%, dan 100% pada jalur lurus untuk mengetahui masing-masing kecepatan rata-rata yang dihasilkan.
- Berdasarkan hasil perbandingan antara kecepatan kapal hasil analisis *maxsurf hullspeed* dengan pengujian kecepatan pada *sea trial* dengan menggunakan paket modular diketahui selisih dari setiap pengujian menunjukkan angka kurang dari batas validasi 10%.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Afif, M. T. dan I. A. P. Pratiwi. (2015). *Analisis Perbandingan Baterai Lithium-ion, Lithium-polymer, Lead Acid dan Nickel-metal Hydride Pada Penggunaan Mobil Listrik – Review*. **Jurnal Rekayasa Mesin**, Vol. 6, No. 2, Hal. 95-99, Universitas Brawijaya, Malang.
- [2] Alisongo, A. (2014). Pendeteksi dan Pelacakan Keberadaan Manusia Menggunakan Global Positioning System (GPS) berbasis Android Melalui Google Map Server. **Tugas Akhir**, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang.
- [3] Budianto. (2016). *Analisis Fatigue pada Struktur Kapal Penangkap Ikan 30 GT*. **Jurnal Kelautan : Indonesian Journal of Marine Science and Technology**, Vol. 9, Issue 2, Hal. 137-143, Universitas Trunojoyo, Madura.
- [4] Budianto & Suhardjito, G. (2017). Pembuatan Rescue Boat 2 In 1 untuk Wilayah Sungai Brantas. Seminar MASTER PPNS, 2(1), 235-240.
- [5] Miftahuddin, N. (2014). **Sea Trial Procedures by LR (Lloyd's Register)**. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [6] Nomura, M. dan T. Yamazaki. (1977). **Fishing Technique 1**. Japan International Cooperation, Tokyo.
- [7] Nuskhana, D. (2009). Model Perancangan Kapal Penangkap Ikan Berbasis Daya Puli Sumber Daya Ikan Studi Kasus Selat Malaka. **Tesis**, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [8] Rosmani, S. Asri, Wahyuddin, A. A. Karim dan I. R. Allo D. (2013). *Pengaruh Bentuk Lambung Kapal Terhadap Tahanan Kapal*. **Prosiding 2013 Hasil Penelitian Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin**, Vol. 7, Hal. 1-8, Makassar.
- [9] Tupper, E.C. (1928). **Introduction to Naval Architecture Fourth Edition**. Burlington, MA 01803 : Elsevier Butterworth-Heinemann 200 Wheeler Road Linacre House, Jordan Hill, OXFORD OX2 8DP
- [10] Ziad, I. (2013). *Rancang Bangun Pelacak Lokasi Dengan Teknologi GPS*. **Jurnal Teknologi dan Informatika (TEKNOMATIKA)**. Vol. 3, No. 1, Hal. 1-14, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang.

Perancangan dan Pembuatan Mesin *Roll Press Cutting* Otomatis Penggiling Adonan Mie

Rosita Dewi Pratiwi^{1*}, Tri Tiyasmihadi², dan Pranowo Sidi³

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.^{1,3}

Program Studi Teknik Perancangan dan Konstruksi Kapal, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.²
E-mail: rositadewi1002@gmail.com^{1}*

Abstract – *One of the supporting factors in making noodles is the milling machine. The most modern grinding machine is a motorized noodle grinding machine. But the working process is not optimal because the process of piping and cutting the dough goes apart. Therefore, the automatic noodle grinder dough grinding press machine (MRPCOPAM) was made. MRPCOPAM has an automatic work process, where the flattened mixture will run directly into the cutting roll. The motor used is a single phase AC motor with a rotating speed of 2800 rpm, which is then reduced to 35 rpm with the help of a 1:80 gear box. The piping roll used is $\varnothing 25$ mm and the cutting roll is $\varnothing 17$ mm. The main gear pitch is 18.75. Rear gears for the piping roll have a pitch of 27mm. Rear gears for cutting roll pitch 15mm in diameter.*

Keywords: *Noodles, Motor, Gears, Roll cutting, Roll press*

1. PENDAHULUAN

Mie merupakan makanan yang banyak digemari masyarakat Indonesia. Hal ini dibuktikan dengan hasil survey *World Instant Noodles Association* (WINA), Indonesia merupakan Negara ke 2 di bawah China sebagai Negara pengonsumsi mie instan terbanyak yaitu sebesar 13,010 milyar bungkus di tahun 2016 (WINA, update on May 11, 2017). Maka dari itu tidak heran jika banyak pedagang mie yang ada di Indonesia. Menurut BPS tahun 2013 UMKM di Indonesia tercatat sekitar 57,89 juta unit usaha dan dari jumlah tersebut sekitar 20% sebagai pedagang mie dan bakso. Para pedagang mie tersebut membutuhkan alat penunjang untuk memproduksi mie dagangan mereka. Mesin yang paling moderen saat ini adalah mesin yang menggunakan tenaga motor sebagai penggerak utamanya. Namun mesin ini masih memiliki kekurangan karena proses kerjanya terpisah antara pemipihan dan pemotongan adonan. Mesin *roll press cutting* otomatis penggiling adonan mie merupakan jawaban dari permasalahan diatas. Mesin ini memiliki proses kerja otomatis, dimana adonan yang telah dipipihkan langsung otomatis berjalan ke *roll* pemotong.

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan. Permasalahan dari penelitian ini ialah bagaimana cara mendesain dan membuat mesin *roll press cutting* otomatis penggiling adonan mie yang memiliki waktu proses kerja yang lebih cepat dari mesin terdahulu dengan spesifikasi adonan memiliki ketebalan max 3mm dan lebar max 3mm. penelitian ini bermanfaat sebagai sarana penerapan ilmu serta sebagai inovasi dalam

bidang pengembangan teknologi pangan yaitu sebagai solusi bagi pedagang mie kecil.

2. METODOLOGI

Mie bukanlah sesuatu yang asing lagi bagi masyarakat Indonesia. Mie adalah salah satu produk makanan yang cukup populer bagi masyarakat Indonesia. Mie adalah makanan dengan bahan dasar tepung terigu, mie pada umumnya dikonsumsi sebagai sumber energi karena mengandung karbohidrat yang cukup tinggi. (Rustandi, 2011). Salah satu faktor yang menentukan keberhasilan dalam memproduksi mie adalah mesin penggiling mie yang digunakan. Pada saat ini terdapat beberapa macam mesin penggiling adonan mie dengan beberapa variasi dan konstruksi yang berbeda beda pula. Pada umumnya mesin penggiling yang dipergunakan oleh produsen mie tingkat UKM adalah mesin yang memiliki konstruksi terpisah antara pemipihan adonan dan pemotongannya. Mesin-mesin tersebut dinilai kurang efektif dan belum bekerja secara maksimal. Ada pula mesin-mesin pemotong adonan mie yang ada di pasaran antara lain seperti:

1. Mesin konvensional adalah mesin yang masih menggunakan tenaga manusia sebagai penggerak utamanya. Serta memiliki kapasitas kerja 5 kg/jam.
2. Mesin otomatis adalah mesin penggiling yang sudah menggunakan tenaga motor sebagai penggerak utamanya. Namun mesin ini memiliki kekurangan pada bagian proses kerjanya yang masih terpisah antara

pemipihan adonan dan pemotongan adonan. Serta memiliki kapasitas kerja 10-20 kg/jam (PT. Toko mesin maksindo, 2004)

Komponen-komponen penunjang yang digunakan untuk membuat mesin *roll press cutting* otomatis penggiling adonan mie adalah :

1. Motor listrik digunakan sebagai penggerak utama dari mesin. Dimana untuk menentukan motor harus melakukan perhitungan torsi dengan rumus $T = F \times R$ kemudian dilanjutkan dengan mencari daya motor dengan rumus $P = \frac{2\pi \cdot n \cdot T}{60}$ dan terakhir mencari safety faktor dengan rumus $P_d = f_c \times P$.
2. Bearing sebagai bantalan agar ketikan *roll* berputar tidak terjadi gesekan berarti antara *roll* dengan penyangga serta roda giginya.
3. Gear (roda gigi lurus) berfungsi sebagai transmisi langsung yang menyalurkan putaran motor ke *roll* pemipih dan pemotong. dapat dicari dengan rumus dibawah ini :

Tabel 1: Rumus Roda Gigi

Diameter pitch	$D = Z \times m$
Diameter kepala (Da)	$D_a = D + 2 \cdot m$
Diameter Kaki (Df)	$D_f = D - 2,32 \cdot m$
Addendum (Ha)	$H_a = 1 \times m$
Deddendum (Hf)	$H_f = 1,16 \times m$
Tinggi gigi (H)	$H = 2,16 \times m$
Jarak Pitch (T)	$T = \pi \times m$
Lebar gigi (B)	$B = 10 \times m$

4. *Roll* pemipih dan pemotong adalah komponen utama yang berfungsi untuk memipihkan dan memotong adonan.
5. Rangkaian berfungsi sebagai wadah atau tempat material-material dirakit.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam perencanaan mekanisme mesin *roll press cutting* otomatis penggiling adonan mie pada sistem ini dapat ditentukan dan dirangkai komponen-komponen yang dibutuhkan. Untuk merancang mesin *roll press cutting* otomatis penggiling adonan mie ada beberapa kompone yang dibeli dipasaran dan ada juga komponen yang dibuat sendiri. komponen yang dibeli dipasaran adalah sebagai berikut :

1. *Roll* pemipih utama dengan \varnothing 25 mm dan panjang 170 mm.
2. *Roll* pemipih kedua dengan \varnothing 25 mm dan panjang 170 mm.
3. *Roll* pemipih ketiga dengan \varnothing 25 mm dan panjang 170 mm.

4. *Roll* pemotong pertama dengan \varnothing 17 mm dan panjang 164 mm yang memiliki mata pisau sebanyak 30 buah.
5. *Roll* pemotong kedua dengan \varnothing 17 mm dan panjang 164 mm yang memiliki mata pisau sebanyak 30 buah.
6. *Single phase* AC motor.
7. Gear box 1 : 80.
8. Roda gigi untuk *roll* pemipih yang memiliki \varnothing luar 31 mm.
9. Roda gigi untuk *roll* pemotong yang memiliki \varnothing luar 18,5 mm.

Sedangkan untuk komponen yang dibuat dilakukan perhitungan terlebih dahulu. Sebagai penggerak utama menggunakan *single phase* ac motor dengan output 200W dan *speed* 2800 rpm yang didapatkan melalui perhitungan. Dikarenan *speed* yang terlalu tinggi maka memerlukan bantuan gear box 1:80 untuk menurunkan speed menjadi 35 rpm. Untuk menghitung daya motor terlebih dahulu menghitung beban total dari seluruh *roll*.

$$\text{Beban total} = \text{beban } roll \text{ pemipih} + \text{beban } roll \text{ pemotong}$$

$$= 1,71 \text{ kg} + 0,366 \text{ kg}$$

$$= 2,076 \text{ kg} \times 9,81$$

$$= 20,36 \text{ N}$$

$$\text{Torsi} = F \times R$$

$$= 20,36 \times 0,0125$$

$$= 0,25 \text{ Nm}$$

$$P = \frac{2\pi NT}{60}$$

$$= \frac{2 \times 3,14 \times 35 \times 0,25}{60}$$

$$= \frac{54,95}{60}$$

$$= 0,92 \text{ Watt}$$

$$= 0,00092 \text{ Kw}$$

$$P_d = f_c \times P$$

$$= 1,5 \times 0,92$$

$$= 1,38 \text{ Watt}$$

Untuk transmisi menggunakan roda gigi lurus. Dimana roda gigi tersebut terbagi menjadi tiga. Yang pertama adalah roda gigi utama yang menghubungkan motor dengan *roll* sebagai penggerak utama. Kedua roda gigi penggerak antar *roll* pemipih. Dan yang terakhir roda gigi penggerak antar *roll* pemotong. Dimana ketiga roda gigi tersebut memiliki ukuran yang berbeda-beda pula.

1. Roda gigi utama
 - a. m = 1,25
 - b. Z = 15
 - c. D = 18,75 mm
 - d. Da = 21,25 mm
 - e. Df = 15,85 mm

2. Roda gigi penggerak *roll* pemipih
 - a. $m = 2$
 - b. $Z = 11$
 - c. $D = 27 \text{ mm}$
 - d. $D_a = 31 \text{ mm}$
 - e. $D_f = 22,36 \text{ mm}$
3. Roda gigi penggerak *roll* pemotong
 - a. $m = 1,5$
 - b. $Z = 10$
 - c. $D = 15 \text{ mm}$
 - d. $D_a = 18 \text{ mm}$
 - e. $D_f = 11,52 \text{ mm}$

Dari hasil perhitungan dapat diperoleh berat rangka adalah 2,405 kg sedangkan berat mesin adalah 4,481 kg. setelah melakukan percobaan pada mesin maka didapatkan hasil kapasitas kerja mesin sebesar 30 kg/jam dengan hasil adonan memiliki ketebalan 2,21 mm dan lebar 2,21 mm.



Gambar 1. Mesin Roll Press Cutting Otomatis Penggiling Adonan Mie dan Adonan Mie Yang Dihasilkan Mesin.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan perhitungan dan perakitan alat yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Hasil rancangan dari modifikasi mesin *roll press cutting* otomatis penggiling adonan mie adalah besar daya yang dibutuhkan adalah 1,38 watt. Motor yang digunakan memiliki kecepatan putar sebesar 2800 rpm maka memerlukan bantuan gear box 1:80 untuk menurunkan kecepatan putar menjadi 35 rpm. Transmisi yang digunakan adalah roda gigi berdiameter pitch 18.75 mm , dan roda gigi penggerak *roll* pemipih berdiameter pitch 27 mm, dan yang terakhir roda gigi penggerak berdiameter pitch 15 mm. *Roll* pemipih yang digunakan berdiameter 25 mm. sedangkan *roll* pemotong berdiameter 17mm.

2. Mesin *roll press cutting* otomatis penggiling adonan mie memiliki kapasitas sebesar 30 kg/jam. Untuk mesin konvensional yang dijual dipasaran memiliki kapasitas sebesar 5 kg/jam. Sedangkan untuk mesin otomatis yang dijual dipasaran memiliki kapasitas sebesar 10-15 kg/jam.
3. Dari hasil percobaan mesin *roll press cutting* otomatis penggiling adonan mie didapatkan hasil dari adonan mie perhelai memiliki ketebalan 2,21mm dan lebar 2,21mm.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Terlepas dari bimbingan dan motivasi dari berbagai pihak, penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Kedua orang tua serta kakak dan adik saya yang tak henti mencurahkan perhatian dan kasih sayang serta doa'a, dukungannya dan semangat.
2. Bapak Ir. Eko Djulianto, M.Sc., MRINA selaku Direktur Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
3. Bapak George Endri Kusuma, S.T., M.SC. Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
4. Bapak Faiz Hamzah, S.T., M.T. selaku Ketua Prodi Teknik Desain Dan Manufaktur, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
5. Bapak Tri Tiyasmihadi, S.T., M.T. dan Bapak Pranowo Sidi, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang selalu siap memberikan waktu dan bimbingan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Desain Dan Manufaktur Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya yang telah membekali banyak ilmu selama masa perkuliahan.
7. Seluruh Staff dan Karyawan Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
8. Para kawan seperjuangan yang Mengerjakan Tugas Akhir.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] PT. Toko Mesin Maksido. (2004). URL:www.maksido.com. Diakses pada 28 November 2018.
- [2] Rustandi,D. 2011. *Powerful UKM: Produksi Mie*. PT Tiga Serangkai Pustaka Mandiri. Solo. 124 Hal.
- [3] Tri Rahadi, A.S 2012. Perancangan mesin pemipih dan pemotong adonan mie, **Tugas Akhir**. Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta.

- [4] Usaha mikro kecil menengah.2013.
URL:http://www.depkop.go.id/pdfviewer/?p=uploads/tx_rtgfiles/sandingan_data_umkm_2012-2013.pdf. diakses tanggal 15 November 2018.
- [5] *World Instan Noodles Association*.2017.
URL:<http://instantnoodles.org/en/noodles/market.html>. diakses tanggal 15 November 2018.

Perancangan Dan Pembuatan Sistem Kemudi Pada Mobil Roda Tiga

Lud Lailah Lu'lu'atul Luthfiyah^{1*}, Sudiyono², dan Fipka Bisono³

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.^{1,3}

Program Studi Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.²

E-mail: leavy96@gmail.com^{1*}

Abstract – In the current era of globalization, technology is growing rapidly. Many people are competing in creating renewable technologies. With the in habitants expansion in the big city makes the spacious city become crowded have traffic jam everywhere. Until appears an idea to make transportation equipment that is minimalist and economical in its use, namely a three wheels car. This car will be designed to a minimum as possible and is very comfortable also has the ability to maneuver well. With the right handling system design, it will resulting a lighter, convenient, and secure driving process. To solve this problem, before making a three wheels minimalist car handling system, a design is needed first to find out the needed components for making a three wheels car using CAD (Computer Aided Design) software. In addition to the steering system, the pedal on the braking system also requires a comfortable design for the driver. The formed angle on the front wheel is 24,790. Moments on the steering system amounted to 601,32 Ncm using steel marerial ST 37. The gas pedal lever, clutch, and brake using material ASTM A 615 because the material considered strong for maximum traction quality for 560.4N.

Keywords : handling system, ASTM A 615, ST 37, CAD, three wheels car

1. PENDAHULUAN

Pada era globalisasi saat ini, alat transportasi dibutuhkan untuk banyak orang, dari kalangan bawah sampai atas. Sehingga alat transportasi pada saat ini menjadi kebutuhan pokok bagi masyarakat. Dengan kondisi saat ini menyebabkan kota – kota besar sangat padat tiap harinya, kemacetan dimana – mana, terutama pada kota metropolitan. Banyak orang lebih memilih mengendarai motor karena bisa menempuh tujuan dengan cepat. Akan tetapi apabila jarak yang ditempuh jauh, maka mobil juga dibutuhkan . hal yang sering membuat jalanan semakin padat ialah pengendara mobil yang hanya ditumpangi 1 orang saja. Itu sangat berpengaruh menimbulkan kemacetan dijalanan, karena dengan ukuran mobil yang begitu besar dan tidak minimalis.

Untuk menyelesaikan masalah tersebut, maka munculah gagasan mobil yang dapat mengurangi kemacetan serta inovatif yang disebut dengan mobil roda tiga. Mungkin untuk saat ini mobil ini tidak banyak diketahui banyak orang, tetapi dimasa mendatang mobil ini bisa menjadi inovasi yang diperhitungkan. Karena bentuknya yang minimalis, sehingga dapat mengurangi kemacetan yang terjadi saat ini.

Sistem *Handling* ini adalah salah satu komponen terpenting untuk mobil roda tiga. Dengan perancangan *Handling* yang tepat, maka akan membuat pengendara mobil roda tiga merasa nyaman. Sistem handling yang akan dibahas meliputi sistem kemudi, desain pedal gas, dan

desain pedal pengereman. Oleh karena itu pada penelitian ini akan dilakukan perancangan dan pembuatan sistem kemudi mobil roda tiga, perancangan dan pembuatan sistem pedal gas untuk mobil roda tiga, sistem pedal kopling untuk mobil roda tiga, dan sistem pedal rem untuk mobil roda tiga.

2. METODOLOGI

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah Metode *Ulrich*. Langkah – langkah pengerjaan dilakukan sebagai berikut.

1. Melakukan Pengumpulan Data.
2. Membuat konsep desain untuk Sistem *Handling* Mobil Roda Tiga.
3. Memilih konsep desain untuk Sistem *Handling* Mobil Roda Tiga.
4. Pemodelan dan perhitungan desain pada konsep terpilih menggunakan *software* CAD.
5. Pembuatan dan perakitan Sistem *Handling*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Perhitungan Gaya Statis Kendaraan

Gaya statis terjadi ketika kendaraan dalam posisi diam. Gaya yang diterima oleh rangka hanya disebabkan oleh berat dari *sprung mass*. Bagian yang termasuk *sprung mass* adalah penumpang, engine, dan tangki bahan bakar. Gaya berat dari *sprung mass* adalah sebagai berikut.

$$W_p = m_{penumpang} \cdot g$$

$$W_p = 210 \cdot 9,81 = 2060,1 \text{ N}$$

$$W_e = m_{engine} \cdot g$$

$$W_e = 30 \cdot 9,81 = 294,3 \text{ N}$$

$$W_t = m_{tangki} \cdot g$$

$$W_t = 8 \cdot 9,81 = 78,48 \text{ N}$$

Gaya normal reaksi pada roda depan dan belakang kendaraan dapat dirumuskan sebagai berikut :

Berat total (W) = 503 kg
 Jarak titik pusat ke sumbu poros roda depan
 (a) = 1,4 m
 Jarak titik pusat ke sumbu poros roda belakang
 (b) = 0,6 m

$$F_{zf} = \frac{W \cdot b}{L}$$

$$F_{zf} = \frac{503 \cdot 9,81 \cdot 0,6}{1,96}$$

$$F_{zf} = 1510,53 \text{ N}$$

$$F_{zr} = \frac{W \cdot a}{L}$$

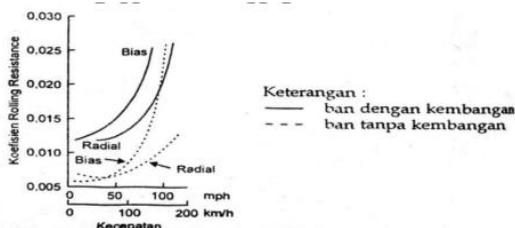
$$F_{zr} = \frac{503 \cdot 9,81 \cdot 1,4}{1,96}$$

$$F_{zr} = 3524,59 \text{ N}$$

Besarnya nilai F_{zf} dibagi menjadi dua, karena terdapat dua roda dibagian depan mobil, sehingga roda depan kanan dan roda depan kiri masing – masing menerima gaya reaksi yang sama besarnya, yaitu 755,26 N. untuk roda belakang sendiri menerima gaya reaksi sebesar 3524,59 N.

3.2 Gaya Gesek Pada Roda Depan

Untuk menentukan nilai gaya gesek dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :



Gambar 1. Pengaruh Kecepatan pada Koefisien Rolling Resistance (Sutantra,2001)

$$f_s = W \times \mu_s$$

Dengan
 Massa total mobil (W) = 503 kg
 Koefisien gesek (μ_s) = 0,012
 (diasumsikan kecepatan 100 km/h)

Sehingga perhitungan gaya gesek yang diterima pada masing masing roda adalah sebagai berikut.

$$f_s = W \times \mu_s$$

$$f_s = m \times g \times \mu_s$$

$$f_s = 503 \times 9,81 \times 0,012$$

$$f_s = 59,21 \text{ N}$$

Setelah dilakukan untuk perhitungan, maka gaya gesek yang terjadi pada roda saat mobil melakukan belok pada mobil didapatkan sebesar 59,21 N.

3.3 Analisa Sudut Belok

Untuk menentukan sudut belok maksimal, perlu diketahui terlebih dahulu mengenai *turning radius* mobil tersebut. Pada penelitian sebelumnya telah didapatkan nilai *turning radius* 5 m dengan sudut slip 6,84.

Dengan
Radius ackerman (R) = 5 m
 b (jarak dari poros roda belakang ke *centre of gravity*) = 0,6 m

dengan nilai yang sudah diketahui, sehingga dapat dilakukan perhitungan untuk mencari R1.

$$R_1 = \sqrt{R^2 - b^2}$$

$$R_1 = \sqrt{5^2 - 0,6^2}$$

$$R_1 = \sqrt{25 - 0,36}$$

$$R_1 = 4,9 \text{ m}$$

Sudut roda yang terbentuk pada bagian dalam lintasan adalah sebagai berikut.

$$\tan \delta_i = \frac{l}{R_1 - \frac{w}{2}}$$

$$\tan \delta_i = \frac{1,96}{4,9 \text{ m} - \frac{1,32 \text{ m}}{2}}$$

$$\tan \delta_i = \frac{1,96}{4,24}$$

$$\tan \delta_i = 0,462$$

$$\delta_i = 24,79^\circ$$

Sedangkan sudut yang dibentuk roda pada bagian luar lintasan adalah sebagai berikut

$$\tan \delta_o = \frac{l}{R_1 + \frac{w}{2}}$$

$$\tan \delta_o = \frac{1,96}{4,9 \text{ m} + \frac{1,32 \text{ m}}{2}}$$

$$\tan \delta_o = \frac{1,96}{5,56}$$

$$\tan \delta_o = 0,352$$

$$\delta_o = 19,42^\circ$$

3.4 Analisa Perhitungan Rack and Pinion

$$W_f = \frac{1}{2} \times W$$

$$W_f = \frac{1}{2} \times (503 \text{ kg} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})$$

$$W_f = 2467,21 \text{ N}$$

Sehingga gaya yang ditumpu tiap roda depan adalah 2467,21 N dengan angka keamanan sebesar 1,45 dan besarnya gaya yang dibutuhkan untuk membelokkan roda depan dapat diketahui melalui.

Dengan
 $W = 3577,46 \text{ N}$
 $\mu = 0,2$ (pada gambar grafik 2.12)
 $B = 0,07 \text{ m}$
 $E = 0,12 \text{ m}$

$$T_w = w \times \mu \times \sqrt{\frac{B^2 + E^2}{8}}$$

$$T_w = 3577,46 \times 0,2 \times \sqrt{\frac{0,07^2 + 0,12^2}{8}}$$

$$T_w = 3577,46 \times 0,2 \times \sqrt{\frac{4,9 \times 10^{-3} + 0,0144}{8}}$$

$$T_w = 35,14 \text{ Nm}$$

3.5 Analisa Perhitungan Sistem Pitman Arm

Sebelum menghitung torsi, hal yang perlu diketahui terlebih dahulu adalah perhitungan untuk momen inersia polar poros pejal dengan persamaan berikut.

D adalah nilai diameter tierod, sehingga nilai momen inersia polar adalah sebagai berikut.

$$J = \frac{\pi d^4}{32}$$

$$J = \frac{3,14 (1,6)^4}{32} = 0,64 \text{ cm}^4$$

Perhitungan tegangan geser maksimal dapat dihitung dengan persamaan berikut,

$$Fs = \frac{F}{A}$$

$$Fs = \frac{1510,53}{3,14 \times 0,8^2}$$

$$Fs = 751,65 \text{ N/cm}^2$$

$$Fs = 7516500 \text{ Pa}$$

Setelah didapatkan nilai tegangan geser maksimalnya, maka dapat dilakukan untuk mengetahui nilai torsi pada sistem kemudi dengan persamaan sebagai berikut,

$$\frac{T}{J} = \frac{Fs}{r}$$

$$T = \frac{f_s \times J}{r}$$

$$T = \frac{751,65 \times 0,64}{0,8}$$

$$T = 601,32 \text{ Ncm}$$

Setelah diketahui tegangan geser maksimal pada poros kemudi yaitu sebesar 7516500 Pa, tegangan ijin untuk material baja ST 37 sebesar 58,75 MPa atau $58,75 \times 10^6 \text{ Pa}$. sehingga dapat disimpulkan bahwa material ST 37 dapat digunakan untuk poros kemudi mobil roda tiga

karena nilai tegangan geser maksimalnya lebih kecil dari tegangan ijin material.

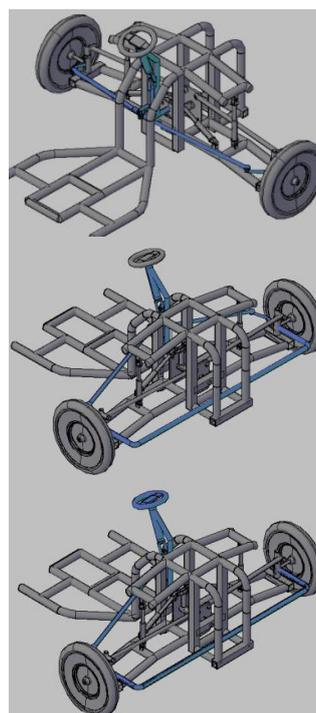
3.5 Pemilihan Sistem Kemudi

Kriteria Seleksi	Konsep Produk		
	Rack and Pinion	Pitman Arm	Referensi
1. Kebutuhan besar torsi	+	-	
2. Kemudahan bermanuver	+	-	
3. Kemudahan perawatan dan perbaikan	-	+	
4. Pengaplikasian pada tilting	-	+	
5. Manufaktur dan perakitan	-	+	
6. Ekonomis	-	+	
Jumlah +	2	4	
Jumlah -	4	2	

Dari table dapat disimpulkan dari nilai + terbanyak, yaitu sistem terpilih menggunakan sistem kemudi Pitman Arm.

3.6 Penyaringan Konsep Pada Sistem Terpilih

Berikut adalah ketiga konsep desain yang akan digunakan pada sistem kemudi



Gambar 2. Konsep Desain

Konsep 1 yaitu menggunakan *dual long tierod*, konsep ke 2 menggunakan *dual long tierod* dengan *track bar*, dan konsep ketiga *single long tierod* dengan *track bar*. Setelah konsep ditentukan selanjutnya adalah pemilihan konsep menggunakan table matriks evaluasi konsep seperti berikut ini.

Tabel 2: Matriks evaluasi konsep

Kriteria seleksi	Konsep desain						
	Bobot (%)	Dual long tierod		Dual long tierod dengan track bar		Single long tierod dengan track bar	
		Rate	Skor bobot	Rate	Skor bobot	Rate	Skor bobot
Kesesuaian kebutuhan Torsi	10 %	4	0,4	4	0,4	4	0,4
Kemudahan Pengoperasian	20%	3	0,6	3	0,6	2	0,4
Kemudahan pencarian Sparepart	10%	4	0,4	4	0,4	4	0,4
Segi Ekonomis	10%	4	0,4	3	0,3	2	0,2
Kemudahan dalam perawatan	10%	4	0,4	3	0,3	3	0,3
Manufaktur dan Perakitan	10%	3	0,3	2	0,2	2	0,2
Pengaplikasian pada sistem tilting	30%	4	1,2	2	0,6	3	0,9
Nilai Absolut dan Relatif		3,7	39,7%	2,8	30,1 %	2,8	30,1 %

Dari table berikut dapat disimpulkan sistem kemudi pada mobil roda tiga menggunakan dual long tierod karena sistem tersebut mendukung terhadap aspek yang ditentukan.

3.7 Sistem Pedal

1. Perhitungan gaya injak pedal rem pada konsep 1

Besarnya gaya injak pada sistem pedal juga dipengaruhi dari desain dan dimensi pedal. Pernyataan berikut dapat dibuktikan dari perhitungan 2 konsep untuk menentukan gaya injaknya. Perhitungan gaya injak yang dibutuhkan pengemudi untuk menginjak pedal dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$F_{master\ silinder} = F_{kaki} \times \frac{a}{b}$$

$$F_{master\ silinder} = 69,6 \text{ N (dari sistem pengereman)}$$

a (jarak tumpuan ke piston) = 140,1

b (Jarak piston ke ujung pedal) = 115

$$F_{kaki} = F_{master\ silinder} \times \frac{b}{a}$$

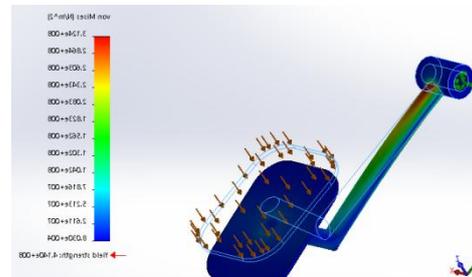
$$F_{kaki} = 69,6 \text{ N} \times \frac{115}{140,1}$$

$$F_{kaki} = 57,13 \text{ kg}$$

$$F_{kaki} = 560,4 \text{ N}$$

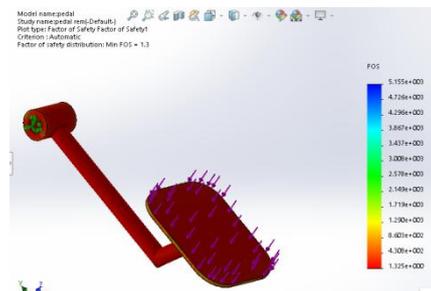
2. Analisa kekuatan material

Material yang digunakan menggunakan material ASTM A 615. Akan dilakukan analisa fem untuk mengetahui titik stress dan nilainya. Adapun spesifikasi material tersebut yaitu seperti pada gambar : Sehingga dapat diketahui besar stress yang terjadi pada material tersebut.



Gambar 3. Nilai stress konsep 1 pada software

Setelah dilakukan analisa FEM, didapatkan hasil untuk nilai stressnya sebesar 3.124e+008 dengan nilai yield strength sebesar 3.140e+008. Sehingga material bisa digunakan untuk tuas pada sistem pedal karena nilai stress yang didapatkan lebih kecil dari nilai yield strength untuk material ASTM A 615.



Gambar 4. Nilai safety factor konsep 1 pada software

Kemudian didapatkan *safety factor* menggunakan material ASTM A 615 sebesar 1,3 sehingga dinyatakan material kuat. Karena nilai *safety factor* > 1 termasuk dalam *allowable stress design*.

3.8 Hasil Pengujian Sudut Belok

Menurut Wibowo, 2010 dalam penelitiannya menyatakan bahwa sudut belok roda depan hampir tidak pernah lebih dari 25⁰ karena kendaraan bisa mengalami rolling, akan tetapi pada umumnya seperti pada mobil BMW sudut belok maksimal sebesar 32⁰. Sudut belok yang dihasilkan mobil roda tiga dari perhitungan dengan pengujian pada benda tidak memiliki perbedaan yang signifikan, sehingga sudut belok pada mobil roda tiga masih dinyatakan aman dan mengikuti standart belok mobil pada umumnya.

Tabel 3: Hasil Pengujian

	Hasil Perhitungan	Hasil Pengujian
Sudut dalam (δ_i)	24,79°	30°
Sudut luar (δ_o)	19,42°	30°
Sudut slip ($\alpha = \beta$)	6,84°	15°

4. KESIMPULAN

Gaya reaksi pada roda depan sebesar 755,26N dan gaya reaksi untuk roda belakang sebesar 3524,59 N. Sudut yang terbentuk pada roda depan sebesar 24,79°, sudut belok sesuai dengan standart yang ditentukan yaitu 25° sampai 32°. Momen pada sistem kemudi sebesar 601,32 Ncm dengan menggunakan marerial baja ST 37. Tuas pedal gas, kopling, dan rem menggunakan material ASTM A 615 karena material dianggap kuat untuk menerima gaya injak maksimal sebesar 560,4N. Hal ini dibuktikan dari analisa FEM yang didapatkan *safety factor* > 1.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abimayu, B. , Amat, M.A., Suryosambodho, T. (2012). *Centre of Graviity and Steering Dynamics of a Vehicle*. **Laporan Tengah Semester**. Jurusan Teknik Mesin Universitas Indonesia.
- [2] Arifin, H. A. (2017). Perhitungan Ulang Sistem Pengereman Mobil Nogogeni 3 Evo Untuk Shell Eco Marathon Asia 2017. **Laporan Penelitian Tugas Akhir**, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [3] Artika, K.D., Syahyuniar, R., Priono, N. (2017). *Perancangan Sistem Kemudi Manual Pada Mobil Listrik*. **Jurnal Elemen**, Vol. 4, No. 1, ISSN : 2442 – 4471 , Tanah Laut.
- [4] Batan, L. M. I. 2012, **Desain Produk**, edisi pertama. Surabaya; Inti Karya Guna.
- [5] Fajar, D.I. (2015). Analisa Sistem Kemudi Mobil Listrik Brajawahana ITS Terhadap Kondisi Ackerman. **Laporan Tugas Akhir**. Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [6] Herdianto, A. (2013). Perancangan Sistem Kemudi, Sistem Rem, Dan Roda Urban City Car Untuk Kompetisi Urbanconcept Shell Eco – Marathon. **Laporan Tugas Akhir**. Jurusan Teknik Mesin Universitas Kristem Petra.
- [7] Pahlevi, R. dan Wasiwitono, U. (2014). Perancangan Mekanisme Uji Karakteristik Sistem Kemudi. **Laporan Penelitian**. Jurusan Teknik Mesin Intitut Teknologi Sepuluh Nopember.

- [8] Setiyono, R. (2015). Analisa Gaya Pengereman Pada Mobil Nasional Mini Truck. **Laporan Tugas Akhir**. Jurusan Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [9] Sudiyono, S., So'im, S., & Arfianto, A. (2018). PERANCANGAN KAPAL WISATA DANAU DENGAN SISTEM PENGGERAK PADDLE WHEEL DAN BATERAI (ACCU) SEBAGAI SUMBER ENERGI. *Jurnal Teknologi Maritim*, 1(1), 1-10
- [10] Sutantra, I., (2001). **Teknologi Otomotif Teori dan Aplikasi Edisi Pertama** Guna Widya, Surabaya.
- [11] Sutantra, I. dan Sampurno, B., (2010). **Teknologi Otomotif Teori dan Aplikasi Edisi Kedua**. Guna Widya, Surabaya.

Perancangan dan Pembuatan Sistem Pengereman Pada Mobil Minimalis Roda Tiga

Farihatul Jannah^{1*}, Sudiyono², dan Tri Andi Setiawan³.

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.^{1,3}

Program Studi Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.²

E-mail: farihatul.jannah36@gmail.com^{1*}

Abstract – In the modern era, automotive industry is developing rapidly, from motorcycle until car. There is new innovation in automotive industry, it is a minimalist three wheels car. A car has many parts that very complex. One of them that also very important is brake system because it is deal with safety. So it takes the analyze and design of the brake system that according to minimalist three wheels car. In this final project, the author will design a brake system that suitable to minimalist three wheel car. And then have calculating the force that is required by the driver to stop a car. The author designed the brake system using AutoCAD software. Based on data analysis that has been done, the brake system that suitable to minimalist three wheel car are disc brake with hydraulic system for front wheel and drum brake with mechanic system for rear wheel. Based on the design of brake system that have made, the force that the driver needed to stop a car is 559,87 N. Brake's specification that used to minimalist three wheels car are disc brake with diameter about 220 mm, master silinder's diameter is 12,7 mm, piston caliper's diameter is 34 mm and tromol brake's diameter is 130 mm.

Keywords: car, disc brake, force of pressing foot, tromol brake

1. PENDAHULUAN

Pada era teknologi modern saat ini, industri otomotif berkembang sangat pesat. Minat masyarakat kepada industri otomotif semakin tinggi baik dalam kendaraan bermotor maupun mobil, khususnya mobil. Semakin tinggi pengguna mobil maka kemacetan semakin meningkat dan dapat bertambah parah jika tidak ditemukan solusi. Salah satu cara

Dari permasalahan tersebut, muncul suatu gagasan untuk membuat mobil minimalis roda tiga. Karena bentuknya minimalis tentu hal ini dapat menjadi salah satu solusi untuk mengurangi kemacetan. Mobil sendiri memiliki beberapa bagian pembangun yang banyak dan kompleks diantaranya mesin, *chasis*, *body*, sistem rem, sistem *handling*, dll. Salah satu yang sangat penting dan harus ada adalah sistem pengereman, dikarenakan sistem pengereman berhubungan langsung dengan keamanan dan keselamatan pengguna. Sehingga dibutuhkan perancangan dan perencanaan yang matang untuk membuat sistem pengereman pada mobil roda tiga.

2. METODOLOGI

Adapun langkah-langkah yang digunakan pada pengerjaan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Melakukan pengumpulan data
2. Melakukan analisa variabel-variabel penentuan jenis pengereman

3. Pembuatan konsep pengereman untuk mobil minimalis roda tiga
4. Pemilihan konsep pengereman
5. Perhitungan pada konsep pengereman terpilih
6. Pembuatan dan perakitan sistem pengereman

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kajian Produk Sebelumnya

Peneliti sebelumnya (Prayoga, 2017) telah merancang sistem pengereman depan pada mobil minimalis roda tiga. Namun hasil rancangan tersebut belum direalisasikan menjadi produk nyata. Dari hasil analisa yang dilakukan dihasilkan parameter-parameter sebagai berikut :

Tabel 1: Hasil Penelitian Sebelumnya (Prayoga, 2017)

Parameter	Hasil
Maksimum berat penumpang	210 kg
Maksimum berat barang	20 kg
Dimensi mobil (panjang, lebar, tinggi)	3000mm x 1400mm x 1500mm
Ukuran roda depan	80/90 – 17 M/C 40P
Rem depan	Cakram hidrolis
Jari-jari rotor/piringan	110 mm
Diameter caliper	50 mm
Diameter master silinder	30 mm
Tekanan Master Silinder	681,4117 kN/m ²

3.2 Spesifikasi Rem yang Direncanakan

Berikut ini adalah data spesifikasi mobil roda tiga yang direncanakan dalam perhitungan :

1. Panjang kendaraan (p) : 3000 mm
2. Lebar kendaraan (l) : 1400 mm
3. Tinggi kendaraan (t) : 1500 mm
4. Wheelbase (L) : 2010 mm
5. Berat kendaraan (W) : 350 kg
6. Jarak pedal ke poros (a) : 140 mm
7. Jarak push rod ke poros (b) : 115 mm
8. Diameter piston master silinder : 12,7 mm
9. Diameter piston kaliper : 34 mm
10. Diameter cakram : 220 mm
11. Diameter tromol : 130 mm
12. Koef. Gesek kampas rem (μ_k) : 0.38
13. Massa jenis angin (ρ) : 1,2 kg/m³

3.3 Variabel Penentuan Jenis Pengereman

1. Perhitungan perlambatan

Kecepatan awal yang ditentukan (V_0) adalah 100 km/jam dan braking distance available 67 m, maka jarak pengereman yang diinginkan adalah 62 m, 5 meter sisanya dapat digunakan sebagai safety distance apabila ada hal yang tidak diinginkan.

$$\begin{aligned} V_t^2 &= V_0^2 + 2 a s \\ 0 &= 27,78^2 + 2 x a x 62 \\ -124a &= 771,73 \\ a &= -\frac{771,73}{124} \\ a &= -6,22 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

2. Perhitungan titik berat

Untuk mencari center of gravity (CG) digunakan perbandingan berat depan dan belakang :

$$\begin{aligned} L &= 2010 \text{ mm} \\ W_b &= 200 \text{ kg} \quad (\text{meliputi} \\ &\quad \text{berat rangka depan dan driver)} \\ W_d &= 150 \text{ kg} \quad (\text{meliputi} \\ &\quad \text{berat rangka belakang dan 2 penumpang)} \\ W_{total} &= 350 \text{ kg} \\ a &= \frac{L \cdot W_b}{W_{total}} \\ b &= \frac{W_{total} \cdot L}{W_d} \\ &= \frac{2010 \cdot 200}{350} \\ &= \frac{2010 \cdot 150}{350} \\ &= 1148,5 \text{ mm} \\ &= 861,4 \text{ mm} \end{aligned}$$

Untuk mencari nilai h dalam penentuan CG kendaraan, diperlukan penimbangan kendaraan pada kondisi jalan yang memiliki sudut tanjakan 8°-15° (Aulia, 2015). Dalam hal ini penulis mengambil nilai $\theta = 15^\circ$

$$\begin{aligned} h &= r + hr \\ &= r + \left[b - L \left(\frac{W_b}{W} \right) \right] \cot \theta \\ &= 318,6 + \left[861,4 - \right. \\ &\quad \left. 2010 \left(\frac{200}{350} \right) \right] \cot 15 \\ &= 743,67 \text{ mm} \end{aligned}$$

3. Beban dinamis roda

$$\begin{aligned} W_{dD} &= W_D + W_e (h/L) \\ &= 150 + 350 \cdot 0,63 \left(\frac{743,67}{2010} \right) \\ &= 231,58 \text{ kg} \end{aligned}$$

(Nilai e didapatkan dari nilai perlambatan dibagi dengan percepatan gravitasi)

$$\begin{aligned} W_{dB} &= W_B + W_e (h/L) \\ &= 200 + 350 \cdot 0,63 \left(\frac{743,67}{2010} \right) \\ &= 118,42 \text{ kg} \end{aligned}$$

4. Gaya rem yang diperlukan roda

$$\begin{aligned} B_{ID} &= e \cdot W_{dD} \\ &= 0,63 x 231,58 \\ &= 145,9 \text{ kg} \\ B_{IB} &= e \cdot W_{dB} \\ &= 0,63 x 118,42 \\ &= 74,6 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Gaya rem total} &= 145,9 + 74,6 \\ \text{yang dibutuhkan} &= 220,5 \text{ kg} \\ &= 2160,9 \text{ N} \end{aligned}$$

3.4 Perhitungan Konsep Pengereman

3.4.1 Pengereman dengan cakram

Berikut ini adalah analisa data yang dibutuhkan untuk pengereman dengan jenis rem cakram :

1. Gaya pengereman pada disc brake

$$\begin{aligned} F_R \times r_r &= F_p \times r_p \\ 72,95 \times 287,9 &= F_p \times 110 \\ F_p &= \frac{72,95 \times 287,9}{110} \\ &= 190,93 \text{ kg} \\ &= 1871,114 \text{ N} \end{aligned}$$

Keterangan :

$$\begin{aligned} F_R &= \text{Gaya pada roda} \\ r_r &= \text{jari-jari roda} \\ r_p &= \text{jari-jari piringan} \end{aligned}$$

2. Gaya tekan pada kampas rem

Gaya gesek pada kampas rem dan piringan cakram yang terjadi tergantung pada koefisien gesek dan gaya tekan pada kampas rem (Arifin, 2017).

$$\begin{aligned} F_p &= F_k \times \mu_k \\ F_k &= \frac{190,93}{0,38} \\ &= 502,45 \text{ kg} \\ &= 4924,01 \text{ N} \end{aligned}$$

3. Perhitungan tekanan hidraulik pada brake line
 Gaya tekan yang dihasilkan oleh kampas berasal tekanan cairan pada brake line yang menekan piston caliper, maka tekanan pada brake line diperoleh dengan persamaan berikut :

$$F_{\text{kampas}} = P_{\text{brake line}} \times A_{\text{piston caliper}}$$

$$P_{\text{brake line}} = \frac{F_{\text{kampas}}}{0,25 \times \pi \times D_{\text{kaliper}}^2}$$

$$= \frac{502,45}{0,25 \times 3,14 \times 34^2}$$

$$= 0,55 \text{ kg/mm}^2$$

4. Gaya yang dibutuhkan pada master silinder
 Tekanan pada cairan master silinder berasal dari gaya kaki yang diaplikasikan pada master silinder, maka gaya tekan kaki yang dibutuhkan diperoleh dengan rumus berikut.

$$F_{\text{master}} = P_{\text{brake line}} \times A_{\text{piston master silinder}}^2$$

$$= 0,55 \times 0,25 \times \pi \times D_{\text{master silinder}}^2$$

$$= 0,55 \times 0,25 \times 3,14 \times 12,7^2$$

$$= 69,6 \text{ kg}$$

$$= 682,08 \text{ N}$$

5. Gaya pengereman dengan menggunakan cakram

$$F = FER \times P_w \times A_{wd} \times \frac{r}{R}$$

$$= 2 \times 0,38 \times 0,55 \times 907,46 \times \frac{110}{287,9}$$

$$= 158,11 \text{ kg}$$

$$= 1549,478 \text{ N}$$

3.4.1 Pengereman dengan Tromol

Berat seluruh mobil = 350 kg
 Diameter ban efektif (D) = 637,8 mm
 Diameter drum (d) = 130 mm
 Jarak pengereman (S) = 62 m (direncanakan)
 Kecepatan mobil (V) = 27,78 m/s
 Atas dasar hal diatas, jika energi kecepatan yang harus dihabiskan sampai mobil berhenti adalah sama dengan kerja rem 3 roda, maka gaya F adalah :

$$\frac{W \times v^2}{2 \times g} = F \times \frac{d}{D} \times S \times 3$$

$$\frac{350 \times 27,78^2}{2 \times 9,81} = F \times \frac{0,13}{0,6378} \times 62 \times 3$$

$$13766,817 = F \times 37,91$$

$$F = 363,144 \text{ N}$$

$$F = 37 \text{ kg}$$

3.5 Pemilihan Konsep Pengereman

Tabel 2: Parameter Pemanding Konsep Rem Depan

Kriteria Seleksi	Rem Cakram	Rem Tromol
Kebutuhan gaya pengereman	+	-
Ekonomis	-	+
Manufaktur dan perakitan	-	+
Perawatan	+	-
Jumlah +	2	2
Jumlah -	2	2

Tabel 3: Parameter Pemanding Konsep Rem Belakang

Kriteria Seleksi	Rem Cakram	Rem Tromol
Kebutuhan gaya pengereman	-	+
Ekonomis	-	+
Manufaktur dan perakitan	-	+
Perawatan	+	-
Jumlah +	1	3
Jumlah -	3	1

Dari hasil perbandingan konsep yang dilakukan, dihasilkan pengereman jenis cakram dengan sistem hidrolis untuk rem depan dan rem jenis tromol dengan sistem mekanik untuk rem belakang.



Gambar 1. Sistem Pengereman Mobil Minimalis Roda Tiga

Dengan sistem pengereman serta spesifikasi rem yang digunakan tersebut, maka dapat diketahui besarnya gaya pengereman yang dihasilkan oleh sistem rem yang dirancang. Berikut adalah analisa pengereman terpilih untuk mobil minimalis roda tiga :

Gaya rem yang sebenarnya dikenakan pada roda :

$$(FER)_D = 2 \mu_D$$

$$= 2 \times 0,38 = 0,76$$

$$BdD = 2 \times FER \times A_{\text{piston kaliper}} \times P_{\text{brake line}} \times \frac{r_{\text{cakram}}}{r_{\text{roda}}}$$

$$= 2 \times 0,76 \times 907,46 \times 0,55 \times \frac{110}{287,9}$$

$$= 289,85 \text{ kg}$$

$$BdB = 37 \text{ kg}$$

Gaya rem total yang dikenakan pada roda adalah :

$$BdD + BdB = 289,85 + 37$$

$$= 326,85 \text{ kg}$$

$$= 3203,13 \text{ N}$$

Gaya rem total yang dibutuhkan berdasarkan dimensi mobil adalah sebesar 2160,9 N. Sedangkan berdasarkan spesifikasi rem yang digunakan, gaya total yang dikenakan rem pada roda adalah sebesar 3203,13 N. Hasil tersebut memenuhi total gaya pengereman yang dibutuhkan untuk memberhentikan mobil pada kecepatan 100 km/jam. Sehingga rem yang direncanakan memenuhi kebutuhan.

Untuk mengetahui gaya injakan kaki yang dibutuhkan oleh driver didapatkan dengan persamaan berikut :

$$\begin{aligned}
 F_{\text{master silinder}} &= F_{\text{kaki}} \times \frac{a}{b} \\
 F_{\text{kaki}} &= F_{\text{master silinder}} \times \frac{b}{a} \\
 &= 69,6 \times \frac{115}{140} \\
 &= 57,13 \text{ kg} \\
 &= 559,87 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Pada penelitian yang dilakukan oleh R. G. Mortimer (dalam Arifin, 2017) menyebutkan bahwa pengemudi laki-laki dewasa dapat mengaplikasikan gaya pedal hingga 1200 Newton pada kendaraan umum atau mobil konvensional. Dari kutipan tersebut dapat diketahui bahwa gaya kaki yang digunakan untuk memberhentikan mobil dari kecepatan 100 km/jam pada mobil roda tiga masih memenuhi standar.

3.6 Hasil Pengujian Pengereman

Pengujian pengereman yang dilakukan mengacu pada standar SNI 4404-2008 untuk kendaraan tipe L dengan sistem pengereman kombinasi. Berikut ini adalah tabel standar pengereman untuk sistem rem kombinasi :

Tabel 4: Pengereman Dengan Sistem Rem Kombinasi

Kategori	Jarak berhenti (m)	MFDD (m/s ²)
L1, L2	$S < 0,1 \times V + V^2/115$	4,4 ^{38%}
L3	$S < 0,1 \times V + V^2/132$	5,1 ^{48%}
L4	$S < 0,1 \times V + V^2/140$	5,4 ^{58%}
L5	$S < 0,1 \times V + V^2/130$	5,0 ^{58%}

Mobil minimalis roda tiga ini merupakan kendaraan tipe L5 dengan sistem rem kombinasi. Berikut ini adalah Jarak berhenti untuk kategori L5 dengan beban terbebani ataupun tidak terbebani.

Pada saat kecepatan 20,16 km/jam :

$$\begin{aligned}
 S &< 0,1 \times V + V^2/130 \\
 S &< 0,1 \times 20,16 + 20,16^2/130 \\
 S &< 2,016 + 3,13 \\
 S &< 5,15
 \end{aligned}$$

Pada saat kecepatan 41,22 km/jam :

$$\begin{aligned}
 S &< 0,1 \times V + V^2/130 \\
 S &< 0,1 \times 41,22 + 41,22^2/130 \\
 S &< 4,122 + 13,07 \\
 S &< 17,192
 \end{aligned}$$

Pada saat kecepatan 55,12 km/jam :

$$\begin{aligned}
 S &< 0,1 \times V + V^2/130 \\
 S &< 0,1 \times 55,12 + 55,12^2/130 \\
 S &< 5,512 + 23,37 \\
 S &< 28,9
 \end{aligned}$$

Berikut ini adalah Hasil pengujian jarak berhenti pengereman:

Tabel 5. Hasil Pengujian Jarak Berhenti

Kecepatan	Jarak Berhenti
20,16 km/jam	1,6 s
41,22 km/jam	3,38 s
55,12 km/jam	6,07 s

Pengujian dilakukan sebanyak 2 kali tiap variasi kecepatan dan dilakukan pada jalan aspal kering yang datar. Pengujian dilakukan dengan kendaraan tanpa penumpang. Dari hasil perhitungan jarak berhenti diketahui bahwa jarak berhenti hasil pengujian memenuhi perhitungan standar. Jadi sistem pengereman yang digunakan pada mobil roda tiga masih memenuhi standar dan aman digunakan.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

- Perancangan Sistem pengereman pada mobil roda tiga menggunakan rem cakram hidrolik untuk pengereman depan serta rem tromol mekanik untuk pengereman belakang.
- Perencanaan pengereman pada mobil roda 3 dilakukan dengan membandingkan antara rem tromol dan rem cakram dengan perbandingan parameter kebutuhan gaya pengereman, segi ekonomis, manufaktur dan perakitan serta perbaikan dan perawatan.
- Gaya injakan maksimal yang dibutuhkan oleh pengemudi untuk melakukan pengereman adalah sebesar 57,13 kg atau senilai 559,87 N dan hasil tersebut masih memenuhi standar.
- Pembuatan sistem pengereman pada mobil minimalis roda tiga meliputi tiga proses yaitu pemotongan, pengeboran serta pengelasan dengan diameter cakram 220 mm, diameter tromol 130 mm, diameter piston kaliper 34 mm, diameter master silinder 12,7 mm.

4.2 Saran

- Pada penelitian selanjutnya sebaiknya dilakukan pengujian terhadap jarak pengereman dalam kondisi kendaraan terbebani dan tidak terbebani. Sehingga dapat dibandingkan apakah kedua kondisi tersebut memenuhi standar atau tidak.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arifin, H. A. (2017). Perhitungan Ulang Sistem Pengereman Mobil Nogogeni 3 Evo Untuk Shell Eco Marathon Asia 2017. **Laporan Penelitian Tugas Akhir**, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

- [2] Aulia, F.D.P. (2015). Analisa Sistem Pengereman CBC (*Combined Brake System*) Pada Honda Vario Techno 125 *Idling Stop System* PGM-FI Dengan Kondisi Menurun. **Laporan Penelitian Tugas Akhir**, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [3] Ir. Sularso, MSME. Dan Kiyokatsu S. (2008). **Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin**. PT Pradnya Paramita, Jakarta.
- [4] Martino, D. dan I Nyoman, S. (2012). *Analisa Braking System Pada Kendaraan Hybrid Sapujagad*. **JURNAL TEKNIK POMITS**, Vol. 1, No. 2, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [5] Munardi, D. (2016). Desain dan Analisis Perancangan Sistem Pengereman dan Geometri Roda Pada Gokart 150CC DOHC. **Laporan Penelitian Tugas Akhir**, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Yogyakarta.
- [6] Prayoga, B. D., Purnomo, H., & Bisono, F. (2018, January). Perancangan Dan Analisis Sistem Pengereman Hydraulic Pada Mobil Minimalis Roda Tiga. In Conference on Design and Manufacture and Its Application (Vol. 1, No. 1, pp. 094-104).
- [7] Ramadani, R. (2017). Perancangan Sistem Pengereman Pada Kendaraan Bermotor Roda Tiga Sebagai Alat Bantu Transportasi Bagi Penyandang Disabilitas. **Laporan Penelitian Tugas Akhir**, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya.
- [8] Setiyono, R. (2015). Analisis Gaya Pengereman Pada Mobil Nasional Mini Truk. **Laporan Penelitian Tugas Akhir**, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.
- [9] Wawan, D. (2016). **Perbaikan Sistem Rem (Brake System)**. PPPPTK, Malang.
- [10] Yanuar., Satyadarma, D. & Noerdin, B. (2014). *Analisis Gaya Pada Rem Cakram (Disk Brake) Untuk Kendaraan Roda Empat*. **JURNAL TEKNIK MESIN**, Universitas Gunadarma, Jakarta.
- [11] Zahron, A.N. (2017). Analisa Pengujian Sistem Pengereman dan Pengujian Performa Pada Kendaraan Bermotor Roda Tiga Sebagai Alat Bantu Transportasi Bagi Penyandang Disabilitas. **Laporan Penelitian Tugas Akhir**, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya.

Perancangan Jok Ergonomis Dalam Fabrikasi Mobil Minimalis Roda Tiga

M. Faiz Fazlur Rahman^{1*}, Anda Iviana Juniani², Tri Andi Setiawan³

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.^{1,2,3}
E-mail: m.faiz.f.r@gmail.com^{1*}

Abstract – This study aims to create ergonomic seat design, which will be applied to the minimalist tricycle car. Seats that will be designed in this study has two designs, the front seat for one driver and the back seat for two passengers. In ergonomic seat design is used Ulrich method for the process of making a product design. The design of the seat should refer to the anthropometry of the Indonesian human body in order to create an ergonomic seat, because this product is intended for the Indonesian people. Some of the design concepts that have been created will be selected one the best design among several design concepts. The selection of design concepts refers to three things. First, based on ergonomic values that can be analyzed using RULA (Rapid Upper Limb Assessment) method that contain in software catia. Second, based on the aesthetic value that gained from the distribution of aesthetic questionnaire of products. Third, based on the level of convenience that determined by the seat upholstery materials used. The results of this study indicate that the three front and back seats design can be categorized to be ergonomic. That statement is based on the result of RULA value analysis which shows the final value 2, which is in the table described that the risk of injury with value 2 is can be included into the acceptable category and has no risk of injury. Based on the references that have been described, and from the three concepts that have been made for the front seat and back seat, was chosen concept 2 for the front seat because in the process of design concept selection obtained absolute value 4 and the relative value 34.12%. In the back seat was chosen concept 2 because in the process of design concept selection obtained absolute value 4.03 and relative value 34.7

Keyword :Ulrich Methode, FEM (finit element metode), Ergonomic Seat, Antropometri, RULA (rapid upper limb assessment).

1. PENDAHULUAN

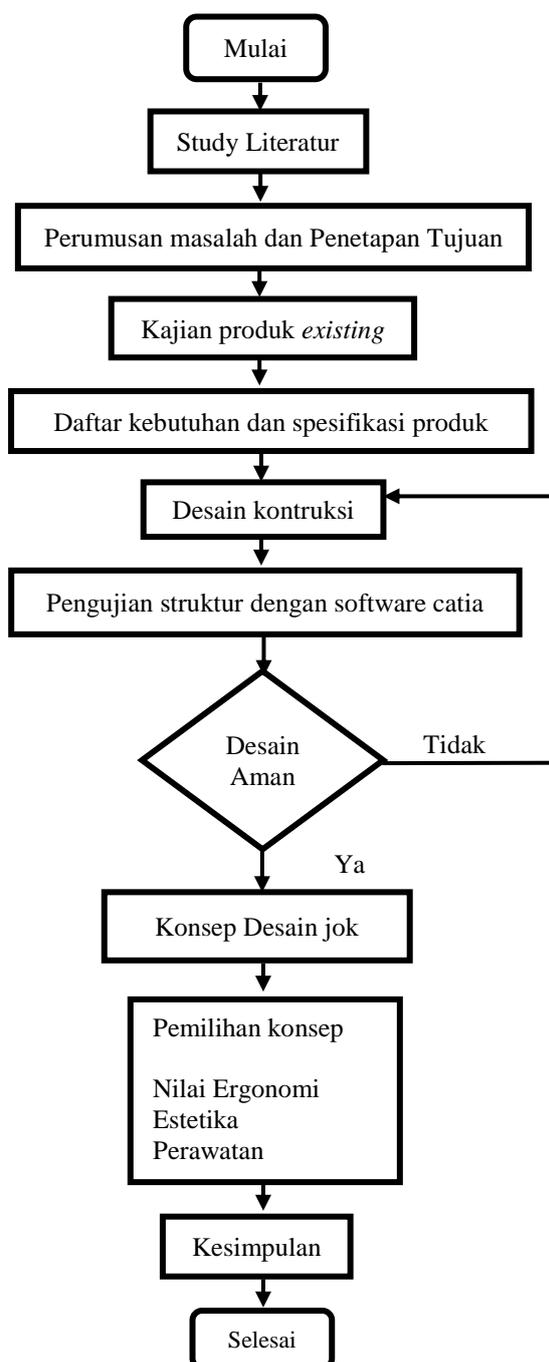
Pada era modern ini manusia memiliki mobilitas yang tinggi dalam menjalankan kehidupan, banyak kebutuhan yang penting bagi manusia dalam menunjang kegiatan mereka sehari-hari salah satunya yaitu transportasi. Terdapat beberapa jenis transportasi darat, laut, udara, dan transportasi darat lah yang relatif sering digunakan manusia dalam menjalankan aktifitas sehari-harinya karena pada dasarnya manusia hidup di darat. Kemacetan adalah masalah yang sering kita jumpai pada kota-kota besar, seperti di Surabaya ini. Kemacetan terjadi karena jumlah kendaraan yang semakin meningkat di setiap tahunnya dan tidak di imbangi dengan pelebaran jalan yang memadai. Selain itu ada suatu hal yang menyebabkan kemacetan yaitu tidak efektifnya masyarakat Indonesia terutama di kota besar seperti Surabaya dalam menggunakan kendaraan. Contohnya banyak di jumpai kendaraan *Multy Purpose Vehicle* (MPV) dan *Sport Utility Vehicle* (SUV) yang kapasitas penumpangnya 6 sampai 7 penumpang hanya dinaiki satu penumpang atau dua penumpang saja. Body mobil yang besar, jumlah yang banyak dan jalan yang kurang

memadahi mengakibatkan pergerakan mobil terbatas sehingga terjadi kemacetan.

Salah satu solusi dari masalah yang diuraikan diatas adalah dengan membuat mobil minimalis roda tiga, Mobil minimalis roda tiga merupakan kendaraan dengan konsep kemudahan seperti roda dua serta kenyamanan dan keamanan seperti roda empat. Maka mobil minimalis ini diharapkan bisa menjadi pilihan alternatif bagi masyarakat untuk memaksimalkan fungsi dari mobil yang mereka kendarai. Mobil roda tiga sendiri mulai dilirik oleh para konsumen, namun sampai sekarang masih belum ada penjualan resmi untuk mobil roda tiga. Melihat dari kondisi tersebut muncul inovasi baru dengan mengembangkan mobil minimalis roda tiga dengan kapasitas penumpang dua sampai tiga penumpang. Mobil minimalis roda tiga sendiri akan menggabungkan *tilting trike system* dimana pada saat berbelok bodi mobil akan ikut miring kearah belokan. Dengan kondisi tersebut mobil akan terasa aman dan nyaman saat dikendarai baik di jalan lurus maupun berbelok. Salah satu unsur kenyamanan dalam berkendara menggunakan mobil yaitu tempat duduk atau biasa disebut jok. Jok merupakan salah satu bagian penting pada mobil yang harus mempunyai

desain ergonomis, yang membuat orang merasa nyaman saat mendudukinya, karena orang akan duduk di jok dalam waktu yang relatif lama. Jok mobil sangat penting dalam sebuah mobil untuk mengakomodir pengemudi maupun penumpang. Apabila pada mobil tidak ada jok maka penggunaan mobil tersebut tidak nyaman atau tidak layak untuk di kendarai. Dalam mewujudkan jok yang nyaman ada aspek-aspek yang perlu diperhatikan seperti sudut sandaran, ketinggian dudukan, jarak antar jok dan lain-lain, jadi pada penelitian ini penulis akan melakukan perancangan jok mobil minimalis roda tiga.

2. METODOLOGI



3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 STUDY EXISTING PRODUCT

Pada penelitian ini, peneliti menggunakan dua jenis *existing* produk. *Existing* produk yang pertama adalah mobil roda tiga buatan Toyota yang diberi nama i-Road. Mobil roda tiga Toyota i-Road telah dipasarkan di Jepang dan di Eropa. Toyota i-Road ini menggunakan motor listrik dengan transmisi *automatic*. Kapasitas penumpang yang dimiliki Toyota i-Road hanya sebanyak 2 orang dengan konfigurasi jok depan untuk 1 orang pengemudi dan jok belakang untuk 1 orang penumpang. Sedangkan untuk *existing* produk yang kedua adalah mobil roda tiga dengan brand New Balis yang diproduksi oleh perusahaan asal Indonesia. Sama halnya dengan produk Toyota i-Road, mobil roda tiga dengan brand New Balis ini juga memanfaatkan motor listrik dengan transmisi *automatic*. Hal yang membedakan antara kedua *existing* produk yang digunakan peneliti adalah ada pada kapasitas penumpang. Pada *existing* produk kedua ini, memiliki kapasitas sebanyak 3 orang, dengan konfigurasi jok depan untuk 1 orang pengemudi dan jok belakang untuk 2 orang penumpang. Kedua *existing* produk yang telah dijelaskan peneliti di atas, akan dijadikan sebagai bahan acuan oleh peneliti dalam membuat jok ergonomis untuk mobil minimalis roda tiga yang akan dibuat. Peneliti bermaksud untuk membuat jok mobil ergonomis berkapasitas 3 orang dengan konfigurasi jok depan untuk 1 orang pengemudi dan jok belakang untuk 2 orang penumpang. Desain tersebut dibuat dengan *space* yang disesuaikan dengan ukuran mobil yang relatif kecil. Desain mobil minimalis roda tiga yang akan dibuat memiliki beberapa perbedaan dengan kedua *existing* produk yang telah dijelaskan.

3.2 Spesifikasi Produk

Kapasitas jok

a. Jok depan

Adapun kapasitas yang dianjurkan untuk jok depan:

- Untuk 1 orang dewasa dengan tubuh normal. (boleh)
- Untuk 1 orang dewasa dengan tubuh besar. (tidak dianjurkan)

b. Jok Belakang

Adapun kapasitas yang dianjurkan untuk jok belakang:

- 1 orang dewasa dengan tubuh normal dan 1 orang anak-anak. (boleh)
- 1 orang dewasa dengan tubuh besar (boleh)
- 2 orang dewasa dengan tubuh normal (boleh)
- 1 orang dewasa dengan tubuh besar dan 1 orang dewasa dengan tubuh normal (tidak dianjurkan)

3.3 Data Antropometri

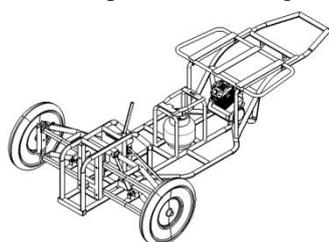
Data antropometri inilah yang nantinya akan digunakan penulis dalam membuat desain jok ergonomis untuk mobil minimalis roda tiga. Data yang digunakan adalah data antropometri tubuh orang Indonesia karena mobil minimalis roda tiga ini akan ditujukan untuk masyarakat Indonesia.

Tabel 1: Data Antropometri tubuh orang Indonesia

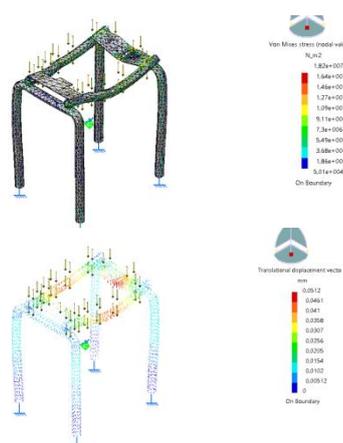
Spesifikasi	Dimensi Tubuh	Presentil	Perhitungan
Tinggi kursi (A)	D14	50%	403 mm
Lebar kursi (B)	D16	95%	371 mm
Lebar sandaran (C)	D15	50%	424 mm
Tinggi sandaran (D)	D8	50%	572 mm
Panjang kursi (E)	D12	50%	450 mm

3.4 Desain Kontruksi Jok

Pada tahapan pembuatan Desain ini, peneliti akan membuat desain dimana desain ini nantinya akan memperhatikan produk lain yang berkaitan dengan jok mobil. Pada penelitian pembuatan mobil minimalis roda tiga ini terdapat tim peneliti yang berfokus pada bidang yang berbeda-beda, oleh karena itu peneliti harus mempertimbangkan peletakan posisi dan desain agar tidak bertabrakan dengan desain dari peneliti di bidang lain.



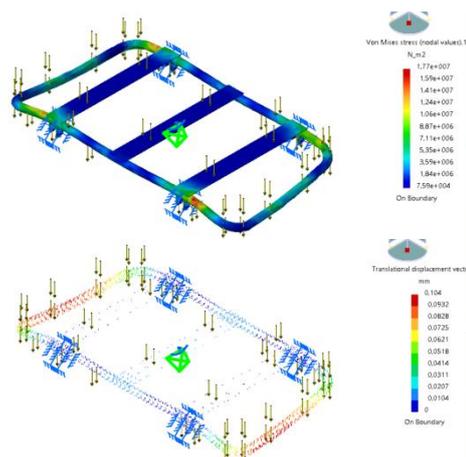
Gambar 1. Desain Kontruksi Jok Tampak Isometri



Gambar 2. Hasil Tegangan dan Defleksi Kontruksi Jok Depan

Tegangan pada konsep ini menghasilkan nilai yang cukup baik, ditunjukkan oleh gambar 4.12, dengan nilai tegangan minimum sebesar 0,05 Mpa sedangkan tegangan maksimum sebesar 18,2

Mpa untuk kontruksi jok depan. Hasil tersebut diizinkan karena tegangan ijin material SGP (ASTM A53) sebesar 120 Mpa. Pada gambar 4.13 menunjukkan terjadinya defleksi minimal 0,0051 mm dan defleksi maksimal 0,051 mm hasil tersebut diizinkan karena defleksi ijin sebesar 0,86 mm. Berdasarkan hal tersebut, dapat dikatakan bahwa desain ini sangat kuat dan desain ini sudah memenuhi kriteria dan dapat diterima. Desain kontruksi inilah yang akan dipakai sebagai rangka jok depan.

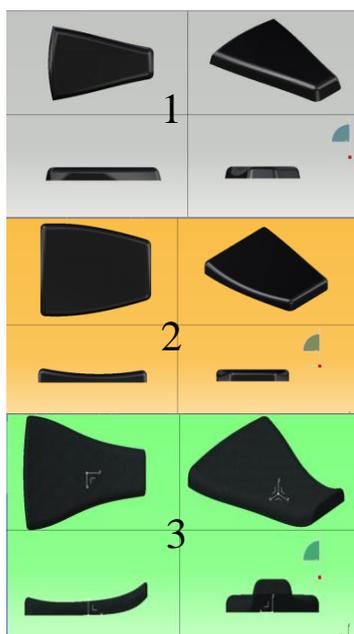


Gambar 3. Hasil Tegangan dan Defleksi Kontruksi Jok Belakang

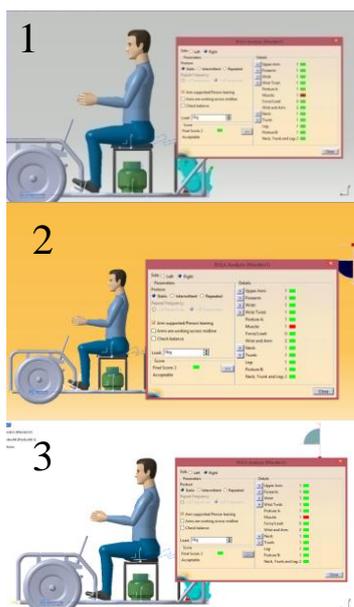
Tegangan pada konsep ini menghasilkan nilai yang cukup baik, ditunjukkan oleh gambar 4.18, dengan nilai tegangan minimum sebesar 0,075 Mpa sedangkan tegangan maksimum sebesar 17,7 Mpa untuk kontruksi jok belakang. Hasil tersebut diizinkan karena tegangan ijin material SGP (ASTM A53) sebesar 120 Mpa. Pada gambar 4.19 menunjukkan terjadinya defleksi minimal 0,010 mm dan defleksi maksimal 0,10 mm, nilai tersebut diizinkan karena defleksi ijin sebesar 2,5 mm. Berdasarkan hal tersebut, dapat dikatakan bahwa desain ini sangat kuat dan desain ini sudah memenuhi kriteria dan dapat diterima. Desain kontruksi inilah yang akan dipakai sebagai rangka jok belakang.

3.5 Konsep Desain Jok

1. Jok Depan



Gambar 4. Konsep Desain Jok Depan



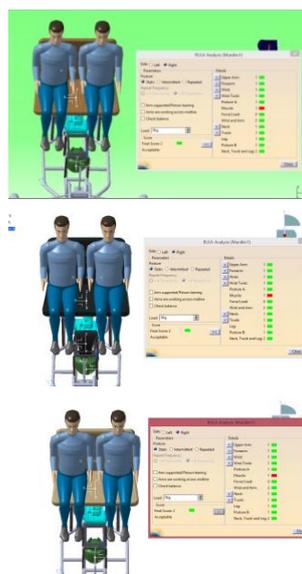
Gambar 5. Hasil Analisa Rula Desain Jok Depan

Pada gambar diatas menunjukkan posisi pengemudi saat duduk di jok depan sedang memegang kemudi dan posisi kaki sedang menginjak pedal. Hasil dari analisis RULA yang dilakukan menggunakan software catia V5R17, Untuk semua konsep desain didapatkan *final score* 2, menurut tabel RULA tingkat jangkauan resiko cedera dengan nilai 2 masuk dalam kategori dapat diterima dan tidak memiliki resiko cedera.

2. Jok Belakang



Gambar 6. Konsep Desain Jok Belakang



Gambar 7. Hasil Analisa Rula Desain Jok Depan

Pada gambar diatas menunjukkan dua orang posisi penumpang saat duduk di jok belakang. Hasil dari analisis RULA yang dilakukan menggunakan software catia V5R17, untuk semua konsep desain didapatkan *final score* 2, menurut tabel RULA tingkat jangkauan resiko cedera dengan nilai 2 masuk dalam kategori dapat diterima dan tidak memiliki resiko cedera.

3.6 Estetika Produk

Pada tahapan estetika produk ini peneliti membuat kuisioner yang disebarakan kepada responden. Responden diminta untuk menilai dari angka 1 sampai 5 dimana nilai lebih banyak merupakan nilai yang lebih baik. Hasil dari kuisioner nantinya akan digunakan untuk menilai dan

memilih desain yang memiliki estetika lebih baik menurut pendapat responden. Dalam hal ini, responden yang dipilih hanya didasarkan pada kriteria umurnya yaitu 20 tahun keatas serta sehat jasmani dan rohani dan tidak ada kriteria khusus lainnya. Kuisisioner tersebut akan dibagikan kepada 15 responden. Hasil dari kuisisioner tersebut akan diolah kemudian digunakan sebagai dasar pemilihan konsep desain pada proses selanjutnya.

3.7 Perawatan

Terdapat dua aspek penilaian yang digunakan dalam menentukan tingkat kemudahan dalam melakukan proses perawatan jok mobil minimalis roda tiga ini. Pertama, jok dapat dilepas pasang (*removable*) dari rangka utama sehingga proses perbaikan dan perawatan jok mobil akan menjadi lebih mudah dan detail. Perbaikan dan perawatan tidak dilakukan didalam mobil mengingat kondisi atau ukuran mobil yang sempit (minimalis). Contoh perbaikan yang harus dilakukan diluar mobil yang pertama yaitu penggantian sarung jok ketika sarung sobek atau sarung jok sudah dalam keadaan jelek karena termakan usia. Kedua, ketika dibutuhkan penambahan atau penggantian busa. Aspek penilaian kedua yaitu tingkat kemudahan dalam membersihkan kotoran yang melekat pada jok baik berupa cairan atau serbuk. Terdapat bahan pelapis jok yang mudah dalam pembersian kotoran dan ada yang susah untuk membersihkannya. Contoh pelapis jok yang mudah dalam pembersian kotoran yang menempel adalah kulit sintetis karena sifat kulit sintetis yang tidak menyerap cairan mengingat pori-pori yang ada pada bahan kulit sintetis sangat kecil. Berbeda halnya dengan bahan kain fabric yang memiliki pori-pori relatif besar dibandingkan dengan kulit sintetis sehingga memiliki sifat mudah menyerap cairan. Pada penelitian ini, terdapat tiga konsep yang akan dinilai dari segi perawatannya. Konsep jok yang bisa di bongkar pasang (*removable*) dan mudah dalam membersihkan kotoran yang menempel pada jok lebih baik dari, Konsep jok yang bisa dibongkar pasang (*removable*) saja.

3.8 Pemilihan Konsep

Pemilihan konsep adalah proses pemilihan untuk memilih konsep yang terbaik dari beberapa konsep. Pada proses ini akan ditentukan kriteria-kriteria dalam pemilihan konsep, dimana setiap kriteria akan diberi bobot sesuai dengan besarnya kepentingan masing-masing kriteria. Dari penilaian masing-masing konsep dengan bobot kriteria yang ditetapkan, dapat dipilih konsep terbaik, yaitu konsep dengan nilai akhir paling tinggi. Pemilihan konsep pada jok depan dan jok belakang mobil minimalis roda tiga di tetapkan bobot untuk kriteria nilai ergonomi sebesar 60%, untuk kriteria estetika 20% dan untuk perawatan 20%. Bobot kriteria ergonomi paling tinggi di

antara kriteria lain karena peneliti menganggap kriteria nilai ergonomi paling penting karena berkaitan dengan keergonomisan jok itu sendiri, sehingga membuat jok terasa nyaman saat diduduki. Adapun pemilihan konsep jok depan dan jok belakang seperti pada tabel dibawah ini.

Tabel 2: Pemilihan Konsep Jok depan

Kriteria seleksi	Bobot (%)	Konsep produk					
		Konsep 1		Konsep 2		Konsep 3	
		Rate	Skor Bobot	Rate	Skor Bobot	Rate	Skor Bobot
1. Nilai ergonomi	60%	3	1,8	3	1,8	3	1,8
2. Estetika	20%	2	0,4	4	0,8	3	0,6
3. Perawatan	20%	2	0,4	3	0,6	3	0,6
Bobot total	100%						
Nilai Absolut			2,6		3,2		3
Nilai Relatif			29,54 %		36,36 %		34,09 %

Dari hasil evaluasi yang dilakukan, seperti yang ditunjukkan oleh , dimana nilai absolut atau nilai relatif dari konsep 2 adalah paling besar, yaitu 3,2 (34,12% dari total nilai bobot). Oleh karena itu, konsep 2 seperti pada gambar 4.33 Dipilih sebagai konsep terbaik dari ketiga konsep yang telah dibuat.

Tabel 3: Pemilihan Konsep Jok Belakang

Kriteria seleksi	Bobot (%)	Konsep produk					
		Konsep 1		Konsep 2		Konsep 3	
		Rate	Skor Bobot	Rate	Skor Bobot	Rate	Skor Bobot
4. Nilai ergonomi	60%	3	1,8	3	1,8	3	1,8
5. Estetika	20%	2	0,4	4	0,8	3	0,6
6. Perawatan	20%	2	0,4	3	0,6	3	0,6
Bobot total	100%						
Nilai Absolut			2,6		3,2		3
Nilai Relatif			29,54 %		36,36 %		34,09 %

Dari hasil evaluasi yang dilakukan, seperti yang ditunjukkan oleh tabel 3, dimana nilai absolut atau nilai relatif dari konsep 2 adalah paling besar, yaitu 3,2 (36,36% dari total nilai bobot). Oleh karena itu, konsep 2 seperti pada gambar 4.34 Dipilih sebagai konsep terbaik dari ketiga konsep yang telah dibuat.

4. KESIMPULAN

1. Untuk membuat jok yang ergonomis, dibutuhkan data antropometri tubuh masyarakat Indonesia sebagai dasar dalam membuat ukuran desain. Hasil dari penelitian ini ditemukan bahwa dengan menggunakan data antropometri masyarakat Indonesia, semua konsep desain memiliki nilai akhir 2 dalam analisa RULA menggunakan software catia. Menurut tabel RULA tingkat jangkauan resiko cedera dengan nilai 2 masuk dalam kategori dapat diterima dan tidak memiliki resiko cedera. Dapat disimpulkan bahwa semua desain jok dalam penelitian ini dapat dikatakan ergonomis.
2. Setelah dilakukan proses pemilihan konsep desain, konsep terbaik untuk jok depan adalah konsep 2 yang memiliki bentuk cekung dan bahan pelapis kulit sintetis berwarna hitam, dengan nilai absolute 3,2 dan nilai relatif 36,36%. Sedangkan konsep terbaik untuk jok belakang adalah konsep 2 memiliki bentuk cembung di sandaran bagian bawah dan naik keatas dari belakang kedepan di bagaian alas dilapisi kulit sintetis berwarna hitam dengan nilai absolute 3,2 dan nilai relatif 36,36.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arief, M.K. (2016). Perancangan kerangka *Chassis* mobil minimalis roda tiga. **Tugas Akhir**, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
- [2] Batan, L.M.I. (2012). **Desain produk**. Institut teknologi sepuluh november.
- [3] Fuad, M.A. (2015). Analisis Defleksi Rangka Mobil Listrik Berbasis Angkutan Massal Menggunakan Metode Elemen Hingga. **Skripsi**, Universitas Negeri Semarang.
- [4] Imansyah, K.A. (2016). Perancangan Sepeda *Fixie* lipat dan Analisa Konsep Desain Terbaik. **Tugas Akhir**, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
- [5] Miller, H.Seating. Amerika Serikat. URL:http://www.HermanMiller.com/global/en_apc/research.html
- [6] Nurmianto, E. (2008). **Ergonomi konsep dasar dan aplikasinya**. Institut teknologi sepuluh november.
- [7] Wahyudi, F.D. (2012). Perancangan Kabin Mobil *Pick Up* Yang Ergonomis Dalam Rangka Pengembangan Mobil GEA. **Tugas Akhir**, Institut teknologi sepuluh november.
- [8] Zabdi, A. (2016). Kajian Kenyamanan Fisik Pada Terminal Penumpang Stasiun Yogyakarta. **Thesis**, Universitas Atmajaya Yogyakarta.
- [9] <https://www.kbbi.web.id/ergonomis>
- [10] Steel Building Design: Concise Eurocode, **The Steel Construction Institute**, Ascot, Inggris.

Perancangan Kerangka Belakang Mobil Minimalis Roda Tiga

Muhammad Rifai^{1*}, Wahyudi², Tri Andi Setiawan³

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.^{1,2,3}
E-mail : pai.riphay@gmail.com^{1*}

Abstract – Minimalist car three-wheeled car is a new innovation made to maximize vehicle use. In designing a separate three-wheeled minimalist car, it will combine the trike tilting system where when turning the car body will tilt towards the turn. One of the main components of a car that is very important is the chassis. Chassis is one of the important parts in a car that must have strong construction to withstand vehicle loads. The purpose of this research is to find out the minimalist three-wheeled car chassis design that is expected to become a modern vehicle. In this study using the development method by using Solidworks software as a software for creating Arm designs. The use of Solidworks software also aims to perform numerical analysis to determine the strength of the chassis by looking at the results of von mises stress on the results of software analysis. In numerical analysis the chassis uses three tests with different load variations, namely, the load is evenly distributed on the surface, the load is centered on the center of gravity, and the load when the collision occurs. From the existing design, the concept of the three of the three concepts was chosen because it was able to withstand the load even with profiles and dimensions with a maximum load of 8773,735. In the design of Swing Arm using ASTM A36 pipe material with yield strenght of 250 N / mm². In the validation of the swing arm strength using the safety factor of 4. So the validation uses a permit voltage of 62.5 N / mm². From the validation between the analysis carried out by the chassis, it was declared safe because the voltage that occurred in the chassis did not exceed the allowable voltage.

Keywords: chassis, design, strength, voltage, design

1. PENDAHULUAN

Mobil minimalis roda tiga merupakan mobil sebagaimana pada umumnya tetapi memiliki ukuran dan kapasitas yang kecil. Maka mobil minimalis ini bisa menjadi pilihan alternatif bagi masyarakat untuk memaksimalkan fungsi dari mobil yang mereka kendarai. Kerangka belakang merupakan salah satu bagian penting pada mobil yang harus mempunyai konstruksi kuat untuk menahan beban kendaraan. Semua beban dalam kendaraan baik itu penumpang, mesin, sistem kemudi, dan segala peralatan kenyamanan semuanya diletakan. Kerangka dibuat dari besi atau baja yang berfungsi memegang *body* dan mesin *engine* dari sebuah kendaraan. Syarat utama yang harus terpenuhi adalah material tersebut harus memiliki kekuatan untuk menopang beban dari kendaraan. Kerangka juga berfungsi untuk menjaga agar mobil tetap rigid, kaku dan tidak mengalami bending atau deformasi waktu digunakan. Dalam perencanaan pembuatan desain Kerangka Belakang sendiri banyak aspek yang harus diperhatikan, seperti pemilihan jenis Kerangka Belakang, pemilihan profil, pemilihan material, *safety factor*, serta proses pengerjaan dan perakitan. Karena chassis merupakan bagian paling kritis. Pada mobil dibandingkan dengan komponen mobil yang lain. Jadi, pada penelitian ini akan dilakukan perancangan kerangka mobil minimalis roda tiga yang sesuai dengan kriteria penggunaan kerangka pada umumnya yang

memiliki kekuatan, ringan dan mempunyai nilai kelenturan yang nantinya akan dibuat sebuah *prototype*. Minimalis roda tiga tersendiri akan memiliki keunggulan dari pada produk lain nya yaitu menggabungkan *tilting trike system* dimana pada saat belok bodi mobil akan ikut miring kearah belokan. Dengan kondisi tersebut mobil akan terasa aman dan nyaman saat dikendarai baik di jalan lurus ataupun bergerlombang

2. METODOLOGI

2.1 Analisa Fungsi Dan Kekuatan

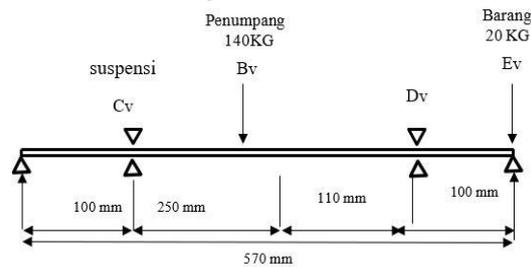
Tahap ini dilakukan untuk menganalisa dari beberapa konsep yang telah dibuat yakni dari konsep tersebut, manakah yang lebih tepat digunakan dengan melihat daftar kebutuhan produk yang sudah direncanakan. Dan juga Dari data yang didapat saat melakukan pengujian numerik dengan software, data yang diperoleh akan dibandingkan dengan kekuatan material yang dipakai. *Yield strenght* dari material akan dibagi dengan *safety factor* sehingga menghasilkan tegangan izin.

2.2 Perancangan Lengan Ayun dan Gambar Teknik

Pada tahap ini dilakukan perancangan detail Perancangan Lengan Ayun dari semua konsep yang terpilih. Perancangan ini dilakukan untuk merencanakan pemasangan antara kerangka depan dan kerangka belakang pada mobil minimalis Roda Tiga.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Perhitungan Beban



Gambar 1. Perhitungan Beban Konsep 3

Keterangan :

- F = Lengan ayun
- Bv = posisi tempat duduk penumpang
- Cv = posisi Tempat suspensi
- Dv = Posisi Tempat Suspensi
- Ev = posisi tempat barang

A. Beban Lengan ayun

$$\begin{aligned} \sum F_v - B_v + C_v + D_v - E_v &= 0 \\ F_{bv} &= C_v + D_v - E_v \\ 1373,4 \cos 0 &= C_v + D_v - 196,2 \\ 1373,4 + 196,2 &= C_v + D_v \\ 1569,6 &= C_v + D_v \end{aligned}$$

B. Beban dengan suspensi bawaaan

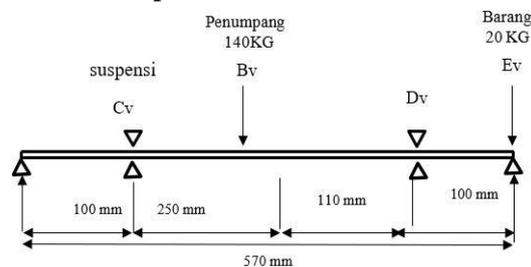
$$\begin{aligned} \sum M_{Cv} \\ F_{bv} (9,84252) - D_v (18,5039) &= 0 \\ 1373,4 (9,84252) - D_v (18,5039) &= 0 \\ 13517,717 - D_v (18,5039) &= 0 \\ D_v &= \frac{13517,717}{18,5039} \\ C &= 730,533 \text{ N} \end{aligned}$$

C. Beban dengan 3 suspensi

$$\begin{aligned} 1569,6 &= C_v + D_v \\ 1569,6 &= C_v + 730,533 \\ 1569,6 - 730,533 &= C_v \\ D &= 839,061 \text{ N} \end{aligned}$$

Jadi tumpuan yang terjadi dengan tiga suspensi adalah 839.067 N

D. Beban terpusat



Gambar 2. Beban Terpusat

keterangan

- Bv = 140 kg
- Cv = 20 kg

$$\begin{aligned} R_x &= \frac{140(350) + 20(220)}{160} \\ &= \frac{49,000 + 4,400}{160} \\ &= \frac{53,400}{160} \\ &= 333,75 \text{ mm} \end{aligned}$$

Beban terberat berada pada 333.75 mm dari mesin.

E. Momen Maksimum (Mmax)

$$M_{max} = \frac{F_{desain} \times l}{8}$$

Keterangan:

- M_{max} : Momen Maksimum (kN.mm)
- F_{desain} : Gaya yang bekerja pada lengan ayun (kN)

Didapatkan :

$$\begin{aligned} M_{max} &= (F_{desain} \cdot \text{Panjang lengan}) \\ &= (1569,6 \text{ N} \cdot 570 \text{ mm}) \\ &= 894,672 \text{ Nm} \end{aligned}$$

3.2 Analisa Fem

Analisa lengan ayun Menggunakan *Software* konsep desain 3 Pada analisa pengujian yang akan dilakukan adalah dengan menggunakan *software* Solidworks. Proses analisa *software* akan melakukan tiga kali analisa dengan konsep desain yang berbeda untuk mengetahui kekuatan chassis terhadap beban yang berkerja. Dan diri beban maksimal

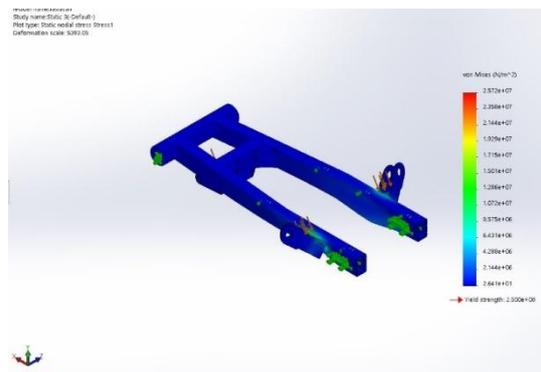
a. Gambar



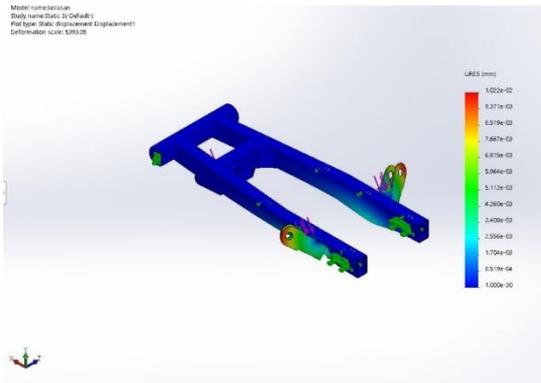
Gambar 3. Konsep desain 3

b. Analisis Kekuatan

Pada analisis kekuatan ini menggunakan beban 14037.976 N beban tersebut berasal dari beban mesin, penumpang dan barang



Gambar 4. analisa tegangan



Gambar 5. analisa defleksi

3.3 PEMILIHAN KONSEP

Pemilihan konsep *concept selection* adalah proses mengevaluasi konsep dengan memperhatikan kebutuhan pelanggan, membandingkan kelebihan/kekurangan setiap konsep dan selanjutnya memilih satu atau lebih konsep untuk nantinya akan dibuatkan detail drawingnya.

3.4 DIMENSI

Direncanakan dimensi yang di butuhkan lengan ayun adalah yang paling sesuai dengan dimensi Panjang kendaraan.

Tabel 1: Dimensi

No	Konsep	Panjang Lengan	Satuan
1	Konsep 1	600	mm
2	Konsep 2	610	mm
3	Konsep 3	570	mm

Dari tabel diatas dipilih konsep ke tiga karena memiliki dimensi yang paling kecil Jika sudah digabungkan dengan chassis utama.

3.5 KEAMANAN

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya maka didapat kan hasil *safety* faktor . untuk setiap konsep yang telah dibuat dengan range 1-1,2 pada saat beban statis.

Tabel 2: Safety

No	Konsep	Nilai	Satuan
1	Konsep 1	1,12	mm
2	Konsep 2	1,16	mm
3	Konsep 3	1,3	mm

Dari batas nilai *safety* faktor yang di ijin kan yaitu 1 sampai 1,2 semua konsep termasuk *acceptable* bila dilihat dari batas *safety* faktor bila dilihat dari batas *safety* faktor , tetapi dari ketiga hasil *safety* faktor yang di Analisa sebelumnya , maka diambil konsep ketiga karena memiliki keamanan yang baik.karena konsep 1 dan 2 hasil nilai *safety* faktor nya lebih besar dari konsep 3.

3.6 Kekuatan

Kekuatan material yaitu mampu diberikan beban maksimum baik dalam material yang memiliki dimensi Panjang maupun yang pendek . Dari semua konsep kuat untuk menahan beban yang diinginkan

4.KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan pada bab-bab sebelumnya dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Perencanaan mobil minimalis roda tiga desain kerangka mobil adalah jenis kerangka Regular *Swing Arm* dengan plat hollow dengan Panjang lengan 570 mm karena paling sesuai hingga tidak melebihi dimensi *chassis* utama.
2. Dari Kekuatan yang di inginkan adalah 1569.6 dan struktur dinyatakan aman tidak mengalami bengkok saat di uji beban di *software solidworks*

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Terlepas dari bimbingan dan motivasi dari berbagai pihak, penulis menyampaikan rasa terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Kedua orang tua yang telah memberikan dukungan materi, motivasi, kasih sayang, do'a, dan nasehat hidup bagi penulis.
2. Bapak Wahyudi, ST., MT., selaku dosen pembimbing 1 yang telah memberikan bimbingan dan pengarahannya selama penyelesaian jurnal tugas akhir.
3. Bapak Tri Andi Setiawan, S,ST., MT., selaku dosen pembimbing 2 yang telah memberikan bimbingan dan pengarahannya selama penyelesaian jurnal tugas akhir.
4. Keluarga besar dosen dan staff PPNS.
5. Teman teman tim mobil minimalis roda tiga Farihatul Jannah,Lud Iailatul,Pradita Eko Kuncahyo,Rezky Fardhan,M faiz,M jauhar Firdaus dan Ahyad Bagas yang kompak dan saling membantu
6. Teman-teman seperjuangan Teknik Desain dan Manufaktur angkatan tahun 2014 yang telah memberikan motivasi, warna kehidupan, dan kebersamaan.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Buana, Defi Ramdani Wira. (2017). *Desain dan Analisa Aerodinamis Bodi Mobil Minimalis Roda Tiga terhadap Tingkat Kestabilan Kendaraan Ditinjau dari Kondisi Skid dan Rolling. Tugas Akhir, Program Studi Tehnik Desain dan Manufaktur, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya.*

- [2] Erdiansya, Egil, Prof. Ir. I Nyoman Sutanta, M.Sc., Ph.D. (2010). *Rancang Bangun Struktur Rangka Kendaraan Hybride Roda Tiga*. Institute Teknologi Sepuluh Nopember.
- [3] Firmansyah, M. A., Imron, A., & Bisono, F. (2018, January). Analisa Proses Perakitan dan Pembuatan Kendaraan Bermotor Roda Tiga sebagai Alat Bantu Transportasi bagi Penyandang Disabilitas. In Conference on Design and Manufacture and Its Application (Vol. 1, No. 1, pp. 006-010)
- [4] Fitriyanto, Muhammad Khusairi Arief. (2017). *Perancangan Kerangka Chassis Mobil Minimalis Roda Tiga*. **Tugas Akhir, Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur**, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya.
- [5] Hasan, M.Iqbal. (2002). *Pokok-Pokok Materi Metodologi Penelitian dan Aplikasinya*. Penerbit Ghalia Indonesia : Jakarta.
- [6] Jumandono, Muhammad. (2017). *Analisa Pembuatan dan Perakitan Kerangka Mobil Minimalis Roda Tiga Menggunakan Metode AHP (Analytical Hierarchy Process)*. **Tugas Akhir, Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur**, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya.
- [7] Nurahman, Fajar. (2010). *Pembuatan Body dan Modifikasi Chassis*. Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- [8] Prayogi, Bachtiar Dafik. (2017). *Perancangan dan Analisis Lengan Penggerak Roda Depan Mobil Minimalis Roda Tiga*. **Tugas Akhir, Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur**, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya.
- [9] Prayoga, Bachtiar Dafik. (2017). *Perancangan dan Analisis Sistem Pengereman Hydrolic pada Mobil Minimalis Roda Tiga*. **Tugas Akhir, Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur**, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya.
- [10] Purwantono, Andi Heri. (2015). *Rancang Bangun Rangka Pada Kendaraan ECC (Electric City Car)*. Politeknik Negeri Madiun.
- [11] Sadikin, Ali. (2013). *Perancangan Rangka Chasis Mobil Listrik Untuk 4 Penumpang Menggunakan Software Siemens Nx8*. Universitas Negeri Semarang.
- [12] Satrio, H. (2015). *Komparasi Penggerak Mobil*. URL: <https://autonetmagz.com/inilah-plus-dan-minus-mobil-berpenggerak-fwd-rwd-dan-awd/28346/>
- [13] Sularso & Kiyokatsu Suga. (2004). *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin Cet II*. Jakarta : Pradnya Paramita.

Perancangan Mobile Crane Kapasitas 2 Ton Sebagai Sarana Penunjang Galangan Reparasi

Bagus Fatahillah^{1*}, I Putu Sindhu Asmara², Ali Imron³

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia^{1*}

Program Studi Teknik Perancangan dan Konstruksi Kapal, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.^{2,3}

E-mail: bagus.fath14@gmail.com^{1*}

Abstract – In a repair shipyard company there is a constraint, which in the field conditions require a device that can be used to lift objects or goods that have a small capacity and can reach the height of the deck from the ship. But in the lifting products that already exist, when it has a small capacity then has a small lift height. And when it wants to take a lift height as its lift capacity also rises based on the above problems it is necessary to design a new lift tool that can meet those needs. In this research, the lifting equipment is a mobile crane. So that it can be moved as well as the effectiveness of the place of the shipyard. To meet the lift strength and lift level needed, it is necessary to analyze the strength of the structure using the finite element method or FEM. In the design is expected to help for the improvement and addition of existing facilities in the shipyard in Indonesia. In the results of the research, there are still some disadvantages, namely that in some calculations below the deck are ignored, so that in the future there needs to be a calculation under the deck from the mobile crane.

Keywords : design, finite element method, mobile crane

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang terdiri dari pulau-pulau besar dan kecil yang jumlahnya kurang lebih 17.504 pulau yang membentang dari sabang (ujung barat, Aceh) sampai merauke (ujung timur, Papua). Tiga per-empat wilayahnya adalah laut (5,9 juta km²), dengan panjang garis pantai 95.161 km, terpanjang kedua setelah Kanada. Dengan adanya kekayaan tersebut maka perlu dibangun sektor kemaritimannya. Didalam industri kemaritiman jenisnya ada galangan reparasi kapal.

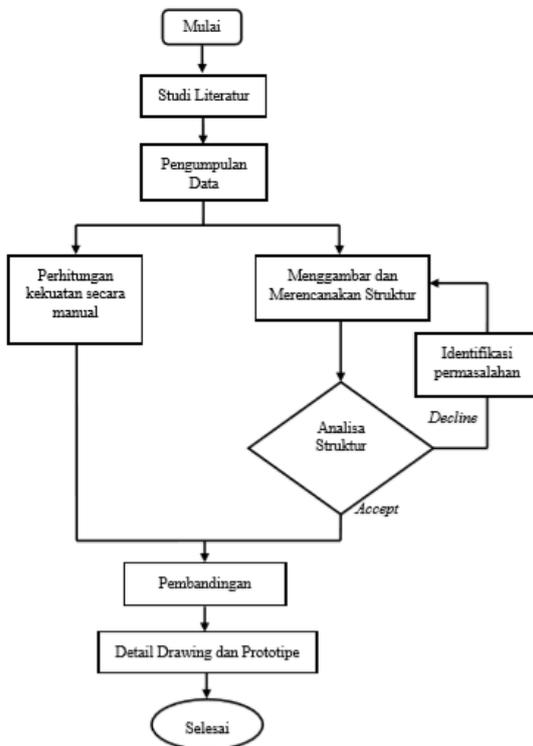
Dalam proses reparasi kapal sendiri tentu banyak memerlukan material handling untuk memindah dan dalam proses crop ataupun fit up material. Dari yang berada di luar kapal ataupun yang di dalam kapal, prosesnya ada yang sudah menggunakan pesawat angkat dan juga ada yang masih manual. Manual material handling di gunakan untuk memberi efisiensi pesawat angkat, karena material yang diangkat tidak memiliki kapasitas yang terlalu berat. Namun sedikit berbeda pada kondisi dilapangan yang melakukan pengangkatan dari bawah kapal menuju atas kapal, kebanyakan para pekerja hanya menggunakan seutas tali yang digunakan untuk mengikat material tersebut. Dinilai dari segi ergonomis dan keamanan masih sangat kurang, karena apabila salah dalam membuat ikatan tali terhadap material bisa terjadi kecelakaan kerja. Tidakan mengangkat dengan tali sendiri juga dapat digolongkan kedalam unsafe action.

Untuk menanggulangi nya perlu dirancang sebuah alat angkat yang dapat meminimalisasi manual material handling. Pesawat angkat yang biasa di gunakan yakni adalah mobile crane, namun apabila menggunakan mobile crane yang besar dapat kurang efisien dari segi material yang diangkat dibanding dengan bahan bakar ataupun kelistrikan yang dikeluarkan untuk mengangkat. Jadi solusi yang konkret permasalahan ini adalah perlu dirancang pesawat angkat baru yang memiliki kapasitas yang lebih ringan, memiliki struktur yang kuat untuk menang dan dapat menjangkau dek kapal. Sehingga daya yang dikeluarkan dan juga benda yang diangkat timbul efisiensi yang sesuai.

Berdasarkan pertimbangan dalam permasalahan diatas maka peneliti tertarik dalam perancangan sebuah pesawat angkat (crane) yang memiliki tipe mobile crane, agar dapat mengefisienkan pekerjaan pada perusahaan reparasi kapal. Oleh karena itu berdasarkan latar belakang di atas maka peneliti mengangkat judul “Perancangan Mobile Crane Kapasitas 2 Ton Sebagai Sarana Penunjang Galangan Repair”

2. METODOLOGI

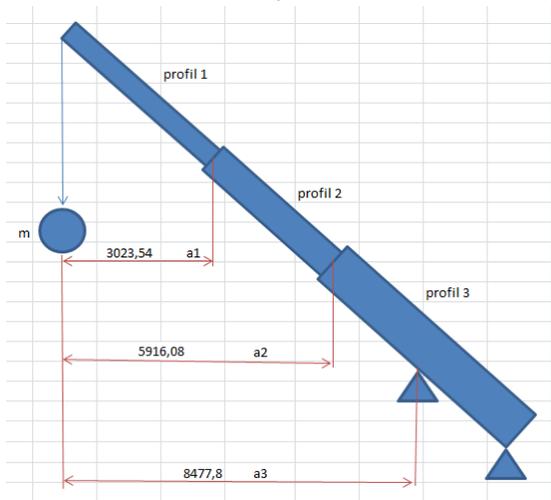
Untuk memudahkan pengerjaan penelitian ini maka dibuatlah flowchat yang ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 1. Diagram flowchart

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam prosesnya pertamakali yang dilakukan yakni melakukan perhitungan kekuatan struktur secara manual. Perhitungan manual yang pertama yakni menghitung momen maksimal yang terjadi pada beam yang menumpu. Digambarkan dengan skema berikut



Gambar 2. Perencanaan momen

Dalam perhitungan momen di ambil tiga titik kritis pada rencana struktur, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$M = m \times a$$

Dimana

M : momen (N/mm)

m : massa (N)

a : jarak (mm)

Didapatkan hasil

M1 : 59321854,8

M2 : 116073489,6

M3 : 166334436

Berikutnya dicari tegangan ijin dari material yang direncanakan, pada penelitian kali ini ada variasi beda material maka dihitung tegangan ijin dari kedua material tersebut :

$$\sigma_{ijin} = \frac{\sigma_y}{S_f \times k}$$

Dimana

σ_{ijin} : Tegangan yang diizinkan (N/mm²)

σ_y : Titik yield atau titik luluh (N/mm²)

Sf : Safety Faktor, angka ketetapan (1.5)

k : Faktor Koreksi Material (1)

Didapatkan hasil

σ_{ijin1} : 300 N/mm²

σ_{ijin2} : 193,33 N/mm²

Setelah didapatkan tegangan ijin maka dicari Modulus yang diperlukan beam untuk mengangkat beban yang direncanakan. Dengan perhitungan sebagai berikut :

$$W_{req} = \frac{M_{max}}{\sigma_{ijin}}$$

Dimana

Mmax : Momen Maksimum (N.mm)

Wreq : Modulus yang harus dimiliki oleh Beam (mm³)

σ_{ijin} : Tegangan yang diizinkan (N/mm²)

Didapatkan hasil

Tegangan ijin 1

$$W_{req1} = 197739,516 \text{ mm}^3$$

$$W_{req2} = 386911,632 \text{ mm}^3$$

$$W_{req3} = 554448,12 \text{ mm}^3$$

Tegangan ijin 2

$$W_{req1} = 306837,18 \text{ mm}^3$$

$$W_{req2} = 600380,11 \text{ mm}^3$$

$$W_{req3} = 860350,53 \text{ mm}^3$$

Lalu direncanakan ukuran struktur untuk menumpu momen yang terjadi. Sehingga didapatkan Modulus aktual yang terjadi pada ukuran yang di rencanakan dengan membandingkan :

$$W_{act} = \frac{I_{xx}}{y}$$

Ixx= Jumlah total Momen Inersia (mm²)

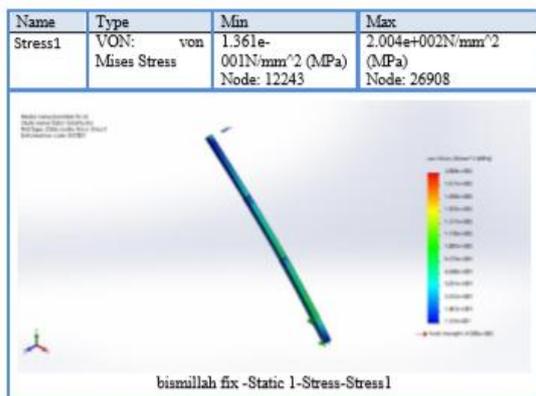
y= titik berat dari tinggi keseluruhan(mm)

W_{act} =Modulus yang terjadi secara aktual (mm³)

Setelah didapat Modulus aktual maka untuk perhitungan terakhir dihitung perbandingan antar modulus untuk mencari modulus ratio yang menentukan ukuran struktur sudah cukup kuat. Didapatkan hasil :

Rencana Struktur 1 : Kuat
 Rencana Struktur 2 : Kuat

Validasi Kekuatan Struktur
 Von Misses Struktur 1



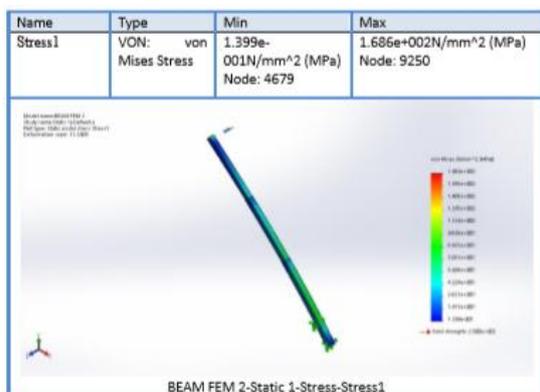
Gambar 3. Result Struktur 1

Nilai tegangan simulasi harus lebih kecil dari tegangan ijin yaitu sebesar 300 N/mm²

$$\sigma_{\text{Simulasi}} = 2.004e+002 \text{ N/mm}^2 = 204,0 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_i \geq \sigma_{\text{FEM}} \Rightarrow 300 \text{ N/mm}^2 \geq 204,0 \text{ N/mm}^2$$

Jadi syarat $\sigma_i \geq \sigma_{\text{FEM}}$ dapat terpenuhi
 Von Misses Struktur 2



Gambar 4. Result Struktur 2

Nilai tegangan simulasi harus lebih kecil dari tegangan ijin yaitu sebesar 300 N/mm²

$$\sigma_{\text{Simulasi}} = 1.686e+002 \text{ N/mm}^2 = 168,6 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_i \geq \sigma_{\text{FEM}} \Rightarrow 193,33 \text{ N/mm}^2 \geq 168,6 \text{ N/mm}^2$$

Jadi syarat $\sigma_i \geq \sigma_{\text{FEM}}$ dapat terpenuhi

Perhitungan Perlengkapan Lainnya

Pada perhitungan perlengkapan lainnya kali ini akan dihitung diameter dari tali baja, diameter pulley, Untuk yang pertama yakni perhitungan diameter tali sebagai berikut :

$$Z = Sz + 1$$

$$S1 = \frac{Q}{z}$$

$$S2 = \epsilon \times S1$$

Dst.

dimana : Z = gaya tarik tali
 S = suspensi
 Q = beban (SWL)
 ϵ = epsilon (1,05)
 z = jumlah pulley

Didapatkan hasil

$$Z = 670,05 \text{ Kg}$$

Dilanjutkan mencari beban putus tali

$$P(114) = \frac{z \times \sigma b}{\{\sigma b/K\} - \left(\frac{d}{D_{\text{min}}}\right) 50.000}$$

Dimana : P = beban tali putus (Kg)
 Z = gaya tarik pada tali (Kg)
 σb = tegangan putus tali (Kg/cm²)
 K = faktor keamanan

Didapatkan hasil

$$P = 5455,68 \text{ Kg} = 53,5 \text{ kN}$$

Setelah beban putus tali didapatkan maka dicari dikatalog dan didapat diameter sebesar 12 mm

Perhitungan Pulley

$$D_{\text{min}} = e1 \times e2 \times d$$

Dimana :

e1 : faktor yang tergantung pada alat pengangkat dan kondisi operasinya.

e2 : faktor yang tergantung pada konstruksi tali.

d : diameter tali. (mm)

Dmin : diameter pulley. (mm)

$$D_{\text{min}} = 192 \text{ mm}$$

Setelah disesuaikan dengan yang ada di pasaran atau katalog didapatkan diameter sebesar 200 mm

4. KESIMPULAN

Dari kebutuhan untuk mengangkat beban 2 Ton dengan tinggi angkat maksimum dapat disimpulkan bahwa perencanaan ukuran struktur dinyatakan kuat menumpu. Lalu untuk validasi kekuatan strukturnya menggunakan FEM pada software desain dan dinyatakan kuat pula struktur untuk menumpu beban. Yang terakhir didapatkan diameter tali baja untuk mengangkat beban yang telah direncanakan sebesar 12 mm dan diameter pulley dengan diameter 200 mm disesuaikan dengan perhitungan kekuatan yang dibutuhkan dan katalog produk yang ada di pasaran.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dermawan, Dwi,A.(2017) *Perancangan Mekanisme Angkat Boatlift Crane Yang Sinkron Dengan Kapasitas SWL 15 Ton Pada PT.F1Perkasa.Tugas Akhir* Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
- [2] Gere, J. dan Timoshenko, S.(1972). **Mekanika Bahan Jilid 1 dan 2 Edisi Keempat.** Erlangga, Jakarta.
- [3] Mulyadi, Sentosa (2011). *Analisa Tegangan-Regangan Produk Tongkat Lansia Dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga.* **Jurnal ROTOR.** Vol. 4, No 1.
- [4] Radenko,N.(1922).**Mesin Pengangkat.**Erlangga, Jakarta

Perancangan *Progressive Dies* Pelat untuk *Draft Mark* Kapal

M. Jundy Auzan Fanony^{1*}, Pranowo Sidi², Budianto³

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.^{1,2}

Program Studi Teknik Perancangan dan Konstruksi Kapal, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.³

E-mail: mjundy2014@gmail.com^{1*}

Abstract – One of the production processes in the manufacturing industry is *Progressive Dies*, in this process the manufacture of products consists of many processes that are interconnected with a single press can produce various cutting results derived from the same material (coil). This study made an image design of *Progressive Dies* plates for the *Draft Mark* of ships with the help of *Catia* software and the making of simulations so that they could find out the description of the cutting process. Before designing the *Progressive Dies* engine, calculations are needed - calculations needed such as, clearance, cutting force, stripper force, die thickness, engine tonnage, and deflection that occurs on the die. From the calculation of the force required to punch a plate with a thickness of 2mm is 72 tons. From the calculation results continued with the analysis using *Element Method* Until with the help of *catia* software obtained the highest stress result is $1.81 \times 10^8 \text{ N / m}^2$ with the result is smaller than the dies material tensile stress used (*SKD11*). And the maximum deflection value that occurs is below the maximum deflection value that is permitted, so the results meet the conditions accepted.

Keywords: *Progressive Dies*, Tonase Mesin, *Draft Mark*, Defleksi, Metode Elemen Hingga

1. PENDAHULUAN

Dimasa modern sekarang ini, perkembangan teknologi dibidang industri manufaktur telah berkembang semakin pesat. Hal ini dapat dilihat dengan telah digunakannya alat bantu produksi yang dapat memproduksi produk-produk berkualitas dalam jumlah banyak dengan waktu yang relatif singkat. Dalam bidang produksi, kita rasakan dalam kehidupan sehari-hari, baik dirumah maupun dikantor telah banyak dipenuhi oleh hasil perkembangan teknologi, yang semuanya dibuat untuk mempermudah manusia memenuhi kebutuhannya. Untuk produk yang sama dan dalam jumlah yang banyak sekaligus, maka diperlukan proses manufaktur dengan adanya alat bantu atau cetakan yang biasa dikenal dengan sebutan *press tool*. Proses manufaktur adalah suatu proses yang dilakukan untuk merubah bahan mentah menjadi bahan setengah jadi maupun barang jadi melalui tahapan proses, penanganan material, peralatan, dan operasi, yang bertujuan untuk meningkatkan nilai guna dan juga nilai ekonomis produk tersebut. Dalam dunia manufaktur, jenis *press tool* ada berbagai macam proses, salah satunya yaitu *progressive dies*. *Progressive dies* adalah salah satu klasifikasi dari proses manufaktur yang membentuk sebuah produk yang terdiri dari banyak proses yang saling berhubungan dan berasal dari material (coil/steel sheet gulungan) yang sama. Penelitian yang akan dilakukan adalah perancangan *Progressive Dies* Pelat untuk *Draft Mark* Kapal. *Draft Mark* Kapal ataupun Marka Kapal adalah suatu seri angka-angka yang

diterakan atau dilekatkan (bisa dilas/welding atau hanya dicat saja) di lambung kapal sebelah kanan dan kiri pada bagian depan atau haluan, dibagian tengah atau midship dan dibagian belakang atau buritan, dimana angka-angka tersebut menunjukkan kedalaman bagian kapal yang masuk ke dalam air laut atau sungai. Dalam perancangan yang akan saya buat menghasilkan pelat *Draft Mark* dengan tulisan I, M, dan O.

2. METODOLOGI

Urutan langkah yang dikerjakan dalam sistematika kegiatan penelitian adalah sebagai berikut :

1. *Studi Literatur*

Metode untuk mendapatkan suatu data atau informasi yang bisa didapat dari berbagai macam referensi baik berupa buku, majalah, artikel, jurnal dan melalui internet.

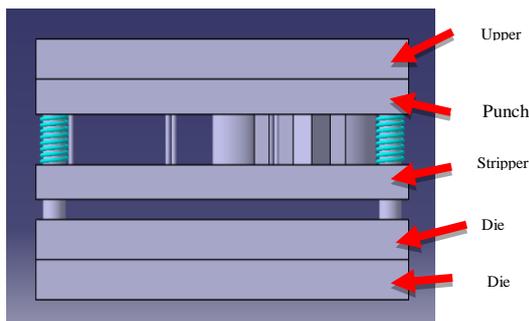
2. *Perumusan Masalah dan Penetapan tujuan*

Setelah mendapatkan data dan informasi maka dilakukan identifikasi tentang topik yang berkaitan, akhirnya dapat dibuat rumusan masalah berdasarkan permasalahan yang ada pada identifikasi masalah yang telah diuraikan sebelumnya. Tahapan berikutnya adalah mencari jalan keluar untuk masalah yang terjadi sebagai keluaran apa yang akan dikerjakan.

3. **Pengumpulan dan Pengelolaan Data**
 Setelah semua data yang dibutuhkan diperoleh, kemudian data tersebut dikumpulkan dan diolah agar dapat mempermudah dalam proses pengerjaan penelitian ini.
4. **Perancangan Progressive Dies**
 Perancangan Progressive Dies Pelat Untuk Draft Mark Kapal dari data yang telah diambil, kemudian dilakukan pembuatan model Progressive Dies Pelat Untuk Draft Mark Kapal dengan bantuan software Catia.
5. **Analisa FEM**
 Setelah dibuat model Progressive Dies, maka langkah selanjutnya menganalisa struktur dari dies tersebut dengan sesuai dengan material yang dipakai, beban yang diberikan dan tumpuan yang terjadi.
6. **Perbandingan Hasil Analisa dan Perhitungan**
 Dengan hasil yang didapatkan dari analisa, kemudian dibandingkan apakah hasilnya tidak jauh beda dengan perhitungan yang dikerjakan.
7. **Kesimpulan**
 Penarikan simpulan diperoleh dari pengamatan selama proses penelitian.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Progressive Dies pelat untuk *Draft Mark* Kapal terdiri dari beberapa bagian – bagian yang menyusun agar *Dies* dapat berfungsi dengan baik. Gambar 3 dibawah ini menunjukkan bagian – bagian base untuk *Dies Draft Mark* Kapal.



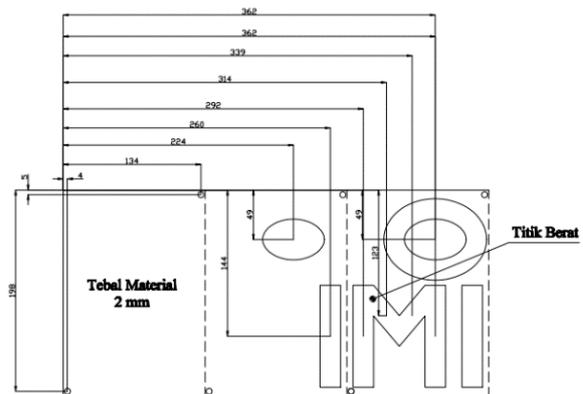
Gambar 1. Bagian – bagian dari Progressive Dies

Mencari Titik Berat

Tabel 1: Perhitungan titik berat

No	Name	Circumferen ce (mm)	X	Y	LX	LY
1	Pilot Pin atas	18,85	134	5	2525,9	94,25
2	Pilot Pin bawah	18,85	4	198	75,4	3732,3
3	Piercing o	157,95	228	49	36012,6	7739,55
4	Blanking I	240	264	144	63360	34560
5	Blanking M	555,57	322,82	136,34	179347,8	75747,02
6	Blanking O	283,62	362	49	102670,44	13897,38
Total		1274,84	-	-	383992,13	135770,50
Titik Berat (Xo dan Yo)					301,20	106,50

Dari desain produk tulisan I, M, dan O didapatkan desain *skeleton* untuk *progressive dies* dengan mempertimbangkan jarak antar pemotongan dan hasil dari posisi titik berat pada *skeleton* tersebut.



Gambar 2. Skeleton dan Posisi Titik Berat

Perhitungan Clearance

Clearance antara *punch* dan *dies* adalah salah satu faktor yang sangat penting didalam suatu proses pemotongan. Hal ini sangat tergantung dari jenis material (bahan baku) yang akan dipotong dan ketebalan material tersebut. *Clearance* dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$\begin{aligned} \text{Clearance} &= 5\% \times \text{tebal material} & (1) \\ &= 5\% \times 2 \text{ mm} = 0,1 \text{ mm} \end{aligned}$$

Perhitungan Gaya Potong

Gaya potong perlu dihitung karena hal ini untuk menentukan konstruksi yang akan dibuat, karena ada hubungannya dengan kemampuan tekan yang harus diberikan oleh mesin press. Maka perhitungan ini akan berlaku untuk proses cutting, shearing, punching, blanking, trimming, dll. dengan rumus sebagai berikut :

$$F_{\text{pot}} = 0,8 \times \sigma_b \times \text{Luas Potong} & (2)$$

Keliling Huruf I = 240 mm
 Keliling Huruf M = 555,57 mm
 Keliling Huruf O = 283,62 mm
 Keliling Total = 1237,14 mm

$$\begin{aligned} \text{Luas Potong} &= \text{Keliling Total} \times \text{tebal} \quad (3) \\ &= 1237,1418 \times 2 \\ &= 2474,2836 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{\text{pot}} &= 0,8 \times 360 \times 2474,2836 \quad (2) \\ &= 7124593,677 \text{ N} \\ &= 72 \text{ Ton} \end{aligned}$$

Setelah menghitung gaya potong, maka langkah selanjutnya akan dihitung tebal untuk die nya dengan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned} H &= \sqrt[3]{F_{\text{total}} / g} \quad (4) \\ &= \sqrt[3]{7124593,677 / 9,81} \\ &= \sqrt[3]{72639,52} \\ &= 40,72 = 40 \text{ mm} \end{aligned}$$

Perhitungan Stripper

Pada umumnya dalam konstruksi, besarnya gaya stripper ini dapat diambil 5% sampai 10% dari gaya potong yang digunakan.

$$\begin{aligned} F_{\text{stripper}} &= (5\% \text{ s/d } 10\%) \text{ dari } F_{\text{pot}} \quad (5) \\ &= 5\% \times 7124593,677 \\ &= 28503,75 \text{ N} \end{aligned}$$

Jumlah Pegas(n)= 4

$$\begin{aligned} F_{\text{Strip}} &= F_{\text{strip}} / n_{\text{pegas}} \\ &= 28503,75 / 4 \\ &= 7125,94 \text{ N} \\ &= 0,72664 \text{ Ton} \end{aligned}$$

Kita mesti memasukkan punch jauh kedalam die-nya sehingga kurang lebih 3 sampai 4 kali tebal material, dengan tebal pelat (material) 2 mm didapatkan :

$$\begin{aligned} \text{Pretension} &= 2 \times 50\% \\ &= 1 \end{aligned}$$

Kedalaman *Punch* = 3 sampai 4 kali tebal pelat

$$\begin{aligned} &= 3 \times 2 \\ &= 6 \text{ mm} \end{aligned}$$

Selisih Stripper dan *Punch* = 2

$$\begin{aligned} \text{Langkah Spring} &= \text{Tebal} + \text{Pretension} \\ + \text{Kedalaman } \textit{Punch} &+ \text{Selisih} \quad (9) \\ &= 2 + 1 + 6 + 1 \\ &= 10 \text{ mm} \end{aligned}$$

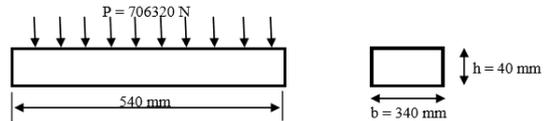
Tonase Mesin

Pemilihan kapasitas tonase mesin *progressive dies* yang tidak sesuai akan memaksa kerja dari mesin dan memperpendek life time dari mesin tersebut dan juga akan sering muncul permasalahan dalam perawatan punch dan die nya. Pemilihan tonase mesin yang terlalu besar tentu akan mubazir dalam pemakaian listrik karena tonase mesin yang besar digerakkan oleh daya yang lebih besar juga. Pada prakteknya tonase mesin yang digunakan

harus mempertimbangkan safety factor , biasanya ditambah 10 % sampai 20 % dari gaya potong, sehingga didapatkan :

$$\begin{aligned} \text{Tonase Mesin} &= F_{\text{potong}} + (10\% F_{\text{potong}}) \quad (10) \\ &= 72 \text{ Ton} + 7,2 \text{ Ton} \\ &= 79,2 \text{ Ton} \end{aligned}$$

Perhitungan Defleksi Pada Die



Total Load sekitar 72 Ton atau 72000 kg

$$\begin{aligned} P &= 72000 \times 9,81 \\ &= 706320 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W &= P \text{ dibagi dengan panjang} \\ &\text{(dikarenakan beban merata)} \\ &= 706320 / 540 \\ &= 1308 \text{ N} \end{aligned}$$

Modulus Elastisitas dari Die (SKD11)

$$E = 200000 \text{ MPa (N/mm}^2\text{)}$$

Momen Inersia (I)

$$\begin{aligned} I &= 1/12 \times b \times h^3 \quad (11) \\ &= 1/12 \times 340 \times 40^3 \\ &= 1813333 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Defleksi Yang Terjadi (6)

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{W \times l^4}{384 \times E \times I} \quad (12) \\ &= \frac{1308 \times 540^4}{384 \times 200000 \times 1813333} \\ &= 0,798627 \end{aligned}$$

Batas Defleksi

Struktur Die ini termasuk dalam Beam dan merupakan defleksi di ruang kerja. (7)

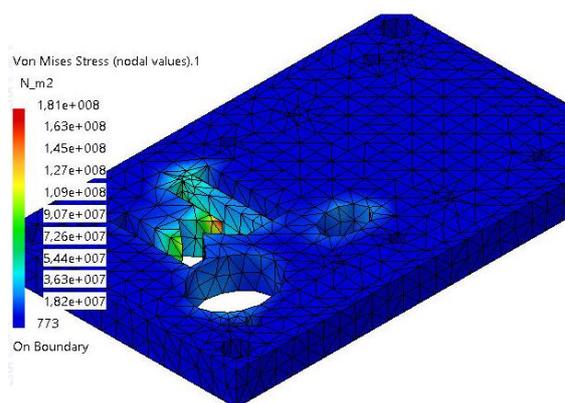
Sehingga defleksi maksimum yang diijinkan dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \delta &= L / 360 \quad (8) \\ &= 500 / 360 \\ &= 1,3889 \text{ mm} \end{aligned}$$

➤ Syarat diterima apabila defleksi < batas defleksi. Sehingga 0,798627 mm < 1,3889 mm

Analisa Die Menggunakan Catia

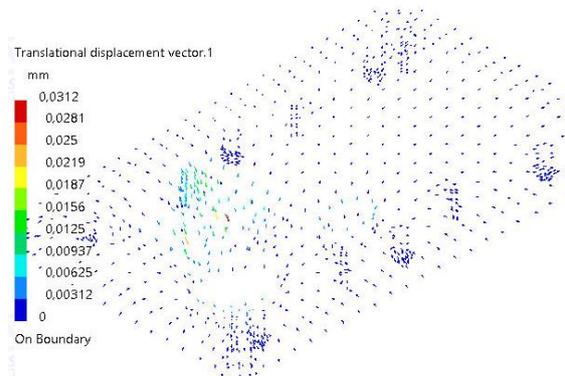
Tegangan luluh dari material (SKD11) yang di analisa sebesar 350 – 550 MPa atau 3,5 s/d 5,5 x 10⁸ N/m², sedangkan hasil dari Analisa menggunakan *software Catia* menunjukkan besarnya tegangan *von mises* dari model dengan batas tegangan terbesar sampai 1,81 x 10⁸ N/m². Batas tegangan terkecil nya 1,82 x 10⁷ N/m². Seperti gambar 3. berikut ini.



Gambar 3. Tegangan Von Misses yang terjadi pada Die

Sesuai perhitungan manual, untuk tebal die 40 mm terjadi defleksi sebesar 0,798627 mm. Vektor gaya yang terjadi dapat dilihat pada pemodelan Gambar 4, dimana vektor gaya tertinggi dengan warna merah terletak pada bagian tengah model. Besarnya vektor gaya terkritik pada model sebesar 0,0312 mm dengan arah Z-. Tetapi diambil nilai tengah untuk rata-rata tegangan dengan pertimbangan kesalahan pemodelan, diambil 0,0156 mm.

Perhitungan teoritis dan analisis *Catia* menghasilkan dimensi dan pemilihan material untuk perancangan *progressive dies*. Perancangan dilakukan dengan faktor perhitungan, faktor ekonomis dan faktor proporsional bentuk dan suai antar komponen.



Gambar 4. Translational displacement vector akibat gaya luar

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan pada tugas akhir ini, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Dari hasil perhitungan didapatkan gaya potong sebesar 72 ton sehingga untuk tonase mesin diperoleh dari besar gaya potong di tambah 10 s/d 20 % (scale factor).
2. Dari hasil analisa menggunakan *software Catia* didapatkan tegangan tertinggi yaitu $1,81 \times 10^8$ N/m². Dimana hasil tersebut lebih kecil dari tegangan ijin dari material *dies* (SKD11) yaitu sebesar $3,5 \times 10^8$ s/d $5,5 \times 10^8$ N/m². Maka desain yang dirancang dinyatakan aman.

3. Dari hasil perhitungan defleksi yang terjadi untuk tebal *dies* 40 mm sebesar 0,798627 mm dan untuk hasil defleksi melalui analisa menggunakan *software Catia* sebesar 0,0312 mm, sedangkan batas defleksi yang dihasilkan adalah 1,3889 mm. Nilai dari perhitungan dan analisa kurang dari batas defleksi yang diijinkan, sehingga hasilnya memenuhi syarat diterima.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ferdinand P. B. and Russell J. (2006). *Mechanics of Materials*. University of Connecticut, Mc. Graw-Hill.
- [2] Gautama, Y.A. (2017). *Pembuatan Punch dan Dies untuk Lubang pada Tiang Penyangga Rak Ketebalan Pelat 2 mm*. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Mesin. Politeknik Negeri Bandung, Bandung.
- [3] George E. D. (2000). *Engineering Design*. University of Maryland, Mc. Graw-Hill.
- [4] John M. A. and Franklin D. J. (2004). *Machinery's Hand Book Guide 27*. Industrial Press Inc, New York.
- [5] Misumi (2009). *Basics of Blanking (14) Finishing Work*. URL : <http://www.misumi-techcentral.com/tt/en/press/2009/12/024-basics-of-blanking-work-14-finishing-work.html> MISUMI. (2006). " MISUMI Standard Component for Press Dies 2006.8-2007.7 ". South East Asia.
- [6] Moerbani, JB. dan Riyadi, S.N.G. (2005). *Mengenal Perkakas Potong Punching Tool 1*. Politeknik ATMI Surakarta, Surakarta.
- [7] Putra, G. P. (2016). *Perancangan dan Pembuatan Dies Progressive Kunci Pass M6*. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Permesinan Kapal. Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya.

Perancangan Toilet DU – 3E Bagi Masyarakat Indonesia

Melindawati Muchtar^{1*}, Anda Iviana Juniani², dan Wiediartini³

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.^{1,2}

Program Studi Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.³

E-mail: melindaem22@gmail.com^{1}*

Abstract – *Water is an important element for the life of living things on earth. However, the high level of human need for clean water is not comparable to the level of availability. The decrease of clean water sources in Indonesia due to pollution by pentogen bacteria, such as E. coli. These bacteria come from sanitation systems in Indonesia. This research will design a toilet with the basic principle of DU - 3E. Toilet ergonomics, ecological, easy maintenance, difable availability, and user centered for the people of Indonesia. Toilet design development uses the Ulrich method to get the best design. A list of concept needs was obtained through researchers observations of disability needs when engaged in toilet activities. In addition, an ergonomic approach is carried out through the anthropometric approach of the Indonesian people. The toilet designed by the basic principle of "not mixing" between feces and urine. There is a foot support on the toilet to form a 35° angle between pelvic flexion and the user's rectal canal.*

Keywords: *Ulrich Method, Toilet Design, Ergonomics, Disability, Indonesian Society*

1. PENDAHULUAN

Air merupakan elemen penting bagi kehidupan makhluk hidup di muka bumi. Penggunaan air sendiri hampir mencakup di seluruh bidang kehidupan manusia. Mulai dari mandi cuci kakus, memasak, dan aktivitas lainnya. Dapat disimpulkan bahwa keberadaan air ini menjadi elemen vital bagi kehidupan manusia dan lingkungan sekitar. Pemenuhan kebutuhan manusia terhadap sumber air bersih menjadi hak asasi setiap manusia. Namun, tingginya tingkat kebutuhan manusia tidak sebanding dengan tingkat ketersediaannya. Sumber air bersih yang menipis merupakan permasalahan serius untuk masyarakat global maupun nasional. Pada tahun 2017, KEMENKES RI melakukan data riset tentang sumber air minum layak pada tahun 2014 – 2016. Data yang di keluarkan mencakup seluruh provinsi di Indonesia. Hasil penelitian tersebut berupa perbandingan pada tahun 2014 – 2016 yang menunjukkan akses air bersih mengalami penurunan pada beberapa provinsi padat penduduk. Menurut Susilo dalam Samidjo (2015) dalam majalah ilmiah pawiyatan, Krisis air saat ini bukan lagi tentang keberadaan sumber yang tidak memenuhi kebutuhan manusia, tetapi krisis dalam hal pengolahan sumber akibat ulah manusia ditambah dengan kondisi lingkungan yang kurang mendukung. Kondisi ini juga disebabkan oleh pencemaran – pencemaran akibat aktivitas manusia. Menurut Adriani et al (2014), menurunnya sumber air bersih masyarakat di sebabkan adanya pencemaran sumber air yang disebabkan oleh bakteri pantogen seperti E. Coli. Bakteri ini berasal dari limbah kotoran manusia

pada sistem sanitasi yang ada di Indonesia. Setidaknya 60% tempat akhir pembuangan kotoran (septik tank) yang dirancang oleh masyarakat memiliki jarak kurang lebih 10 meter dari sumur rumah tangga. Melihat kondisi tersebut, penghematan dalam penggunaan air bukanlah hal yang dapat ditawar lagi. Selain itu, berpikir solutif juga diperlukan untuk penanggulangan terjadinya pencemaran tersebut.

Perancangan toilet ramah lingkungan akan menjadi salah satu tujuan pada penelitian kali ini. Jika kita lihat dari sisi budaya sanitasi yang ada di Indonesia saat ini terdapat dua jenis. Yakni budaya toilet jongkok – basah dan toilet duduk – kering. Sirikov (2000) melakukan penelitian mengenai penggunaan toilet dengan berbagai posisi. Salah satu posisi dibuat mendekati posisi jongkok. Dari penelitian tersebut, menghasilkan bahwasanya pengguna toilet duduk membutuhkan waktu lebih dibanding pengguna toilet mendekati posisi jongkok. Sirikov juga mencatat mengenai perasaan para responden saat bertolilet. Hasilnya, responden yang menggunakan toilet duduk mengaku kesulitan dalam melakukan buang air besar. Namun, menurut penelitian Soenandi dan Malvin (2013) berlama – lama dalam menggunakan toilet jongkok dapat menyebabkan kaki kram dan nyeri. Atas dasar permasalahan – permasalahan diatas, penelitian kali ini akan merancang sedemikian rupa sebuah toilet dengan 5 dasar prinsip yang akan diusung. Prinsip – prinsip tersebut dirangkum menjadi DU – 3E. Toilet ergonomics, ecological, easy maintenance, difable availability, dan user centered bagi masyarakat Indonesia.

2. METODOLOGI

Metode pengembangan desain toilet yang digunakan pada penelitian ini adalah metode *Ulrich*. Pada metode *Ulrich* dilakukan langkah-langkah sebagai berikut.

1. Mengidentifikasi dan merumuskan masalah.
2. Melakukan pengkajian produk yang telah ada di Indonesia.
3. Menyusun daftar kebutuhan produk.
4. Menetapkan spesifikasi produk.
5. Melakukan pengembangan konsep desain.
6. Mendetail Konsep berupa 2 Dimensi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Identifikasi Daftar Kebutuhan Produk

Daftar kebutuhan produk toilet DU – 3E bagi masyarakat Indonesia disusun melalui pengamatan peneliti terhadap kebutuhan pengguna *difabel* saat bertolilet. Pengamatan dilakukan dengan mengamati praktik bertolilet yang dilakukan oleh objek. Selain dari pengamatan, peneliti juga melakukan wawancara singkat. Objek pengamatan merupakan seseorang dengan kekurangan fisik, berupa kaki melengkung kearah dalam dan otot kaku pada bagian leher.

Tabel 1: Hasl Pengamatan Peneliti

Daftar Pertanyaan	Kesimpulan Jawaban Pengguna
Apa saja kendala yang sering anda rasakan ketika menggunakan toilet baik di rumah maupun di masyarakat umum?	<ul style="list-style-type: none"> - Tidak cukup ruang untuk kursi roda masuk ke dalam ruangan. - Tidak ada pegangan disekitar toilet. - Fasilitas toilet kurang, seperti tisu toilet - terkadang tidak ada/habis. - Susah untuk menyiram toilet, karena <i>flush</i> berada di belakang.
Apakah ada upaya yang anda dan keluarga lakukan ketika mengalami kendala tersebut?	<ul style="list-style-type: none"> - Memasuki toilet dengan cara di gotong oleh keluarga - Saat melakukan kegiatan, salah satu anggota keluarga menemani tidak jauh dari pengguna.
Apakah kloset duduk membuat anda sulit membuang air besar? Jika sulit, apakah ada upaya yang anda lakukan?	Terkadang. Ketika sulit melakukan kegiatan buang air besar, pengguna harus membungkukkan badan agar mudah mengeluarkan tinja. Makan sayur atau yang berserat juga pengguna lakukan.
Toilet seperti apa yang anda harapkan?	Toilet yang bersih, mudah untuk digunakan untuk pengguna kursi roda.

Berdasarkan pengamatan yang dilakukan dan 5 prinsip dasar yang diusung peneliti, langkah selanjutnya menyusun tabel kebutuhan pengguna terhadap desain toilet. Daftar tersebut di susun dalam Tabel 2. Tabel Kebutuhan Pengguna sebagai berikut ini :

Tabel 2: Kebutuhan Pengguna

No	Kebutuhan pengguna	No	Kebutuhan pengguna
1	Keergonomian Toilet	6	Keleluasaan pergerakan kursi roda
2	Dapat digunakan oleh pengguna difable	7	Mudah perawatannya
3	Mudah digunakan	8	Ramah lingkungan
4	Terdapat handrail	9	Estetika toilet
5	Terdapat sandaran punggung		

Dari daftar kebutuhan pengguna yang telah disusun, kebutuhan pengguna di kelompokkan menjadi 3 kriteria utama produk. Ketiga kriteria tersebut digunakan sebagai spesifikasi produk yang diuraikan melalui Tabel 3 Daftar Spesifikasi Produk berikut:

Tabel 3: Daftar Spesifikasi Produk

Teknik Desain dan Manufaktur PPNS		Daftar Kebutuhan Produk Nama Produk : Toilet DU-3E	Halaman 1 dari 1
Perubahan	S/H	Uraian Kebutuhan	Penanggung Jawab
	Syarat Harapan	1. Ergonomis: a. nyaman saat digunakan b. terdapat sandaran punggung	Tim desain
	Syarat	2. Perawatan / Pemeliharaan : a. Mudah dirawat/ dibersihkan	Tim desain
	Syarat Syarat Syarat	3. Akses penggunaan a. dapat digunakan oleh disabilitas b. dapat mengakomodasi pergerakan kursi roda c. terdapat handrail	Tim desain

Daftar spesifikasi dengan keterangan syarat, akan menjadi spesifikasi yang harus terpenuhi pada konsep desain toilet DU – 3E. Sedangkan daftar spesifikasi dengan keterangan Harapan, akan menjadi spesifikasi yang dapat dipenuhi maupun tidak dipenuhi.

3.2 Analisis Ukuran Anthropometri

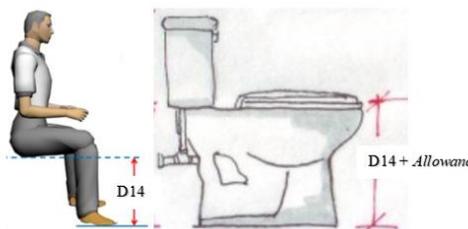
Dalam kegiatan analisis ukuran anthropometri, data yang digunakan ialah data anthropometri Eko Nurmianto (2014).

3.2.1 Bagian Toilet

a. Tinggi Toilet

Tinggi Toilet menggunakan ukuran tinggi polipetal anthropometri masyarakat Indonesia. Dimana, tinggi polipetal (D14) merupakan ukuran vertikal dari kaki sampai ke paha bagian bawah. Ukuran polipetal pria presentil 5% dipilih sebagai tinggi toilet. Selain itu, ada penambahan

ukuran (allowance) tinggi sepatu sebesar 30 mm untuk mengakomodasi tinggi pengguna beralas kaki.

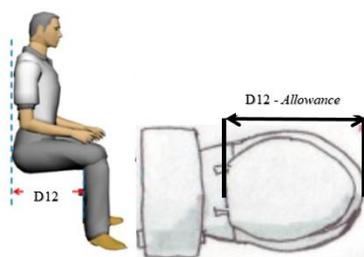


Gambar 1. Tinggi Toilet

$$\begin{aligned} \text{Tinggi toilet} &= D14 \text{ pria presentil } 5\% + \\ &\quad \text{Allowance} \\ &= 361 \text{ mm} + 30 \text{ mm} \\ &= 391 \text{ mm} \end{aligned}$$

b. Panjang Dudukan Toilet

Panjang dudukan toilet menggunakan jarak *horizontal* lekuk lutut bagian dalam sampai pada bagian terluar pantat (D12). Panjang dudukan toilet menggunakan ukuran pria presentil 50%, agar posisi pengguna berada di tengah toilet. Selain itu, ada pengurangan ukuran (allowance) 20 mm dikarenakan saat bertolilet, akan ada lipatan kain pada lekuk lutut bagian dalam sehingga pengurangan ukuran akan memberikan ruang untuk keleluasaan gerak pengguna.

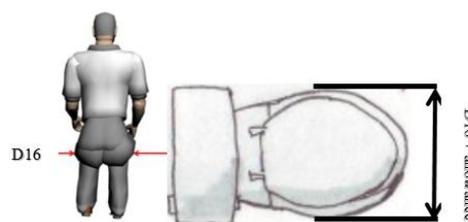


Gambar 2. Panjang Dudukan Toilet

$$\begin{aligned} \text{Panjang dudukan toilet} &= D12 \text{ pria} \\ &\text{presentil } 50\% - \text{Allowance} \\ &= 450 \text{ mm} - 20 \text{ mm} \\ &= 430 \text{ mm} \end{aligned}$$

c. Lebar Dudukan Toilet

Lebar dudukan luar toilet yakni jarak lebar pinggul (D16). Dimana, lebar pinggul merupakan jarak *horizontal* bagian sebelah kanan terluar pinggul hingga bagian sebelah kiri luar pinggul. Ukuran lebar dudukan toilet ini terdapat 2 ukuran yakni, ukuran luar dan ukuran dalam. Untuk ukuran luar dudukan toilet menggunakan wanita presentil 50%. Dengan penambahan ukuran 30 mm pada setiap sisi, dikarenakan lebar pinggul terbesar berada pada wanita. Penambahan ukuran allowance ini untuk memberikan kenyamanan pada pengguna saat menggunakan produk.

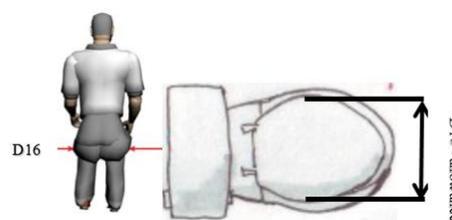


Gambar 3. Lebar Luar Dudukan Toilet

Maka perhitungan lebar dudukan luar toilet :

$$\begin{aligned} \text{Lebar dudukan luar} &= D16 \text{ wanita} \\ &\text{presentil } 50\% + \text{Allowance} \\ &= 345 \text{ mm} + 30 \text{ mm} \\ &= 375 \text{ mm} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk lebar dudukan dalam toilet menggunakan pria presentil 5%, dikurangi 30 mm pada setiap sisi. Ukuran ini dipilih, dikarenakan ukuran pinggang terkecil berada pada pria. Jika dipilih ukuran lebih besar, toilet tidak bisa mencakup pengguna pria presentil 1% dikarenakan besarnya lubang dudukan toilet. ataupun sebaliknya, jika dipilih presentil 1% akan memberikan ketidaknyamanan pengguna presentil 99% dikarenakan lubang toilet yang terlalu kecil.



Gambar 4. Lebar Dalam Dudukan Toilet

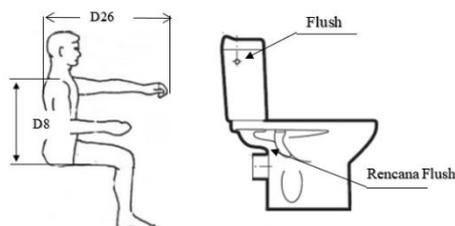
Maka perhitungan lebar dudukan dalam toilet :

$$\begin{aligned} \text{Lebar dudukan dalam} &= D16 \text{ pria presentil} \\ &5\% - \text{Allowance} \\ &= 291 \text{ mm} - 30 \text{ mm} \\ &= 261 \text{ mm} \end{aligned}$$

d. Letak tombol flush

Tombol *flush* merupakan item penting saat menggunakan toilet. Tombol flush dirancang sedemikian rupa agar dapat dijangkau dengan mudah oleh pengguna. Ukuran yang digunakan pada perancangan tombol flush ialah ketinggian bahu ketika duduk (D8), jarak jangkauan (D26) dan memperhatikan rotasi jangkauan maksimal 45° kearah belakang. Ukuran yang digunakan baik untuk D8 maupun D26 ialah wanita presentil 5%. Perencanaan penempatan flush pada toilet ini, berada di bagian bawah toilet. tujuannya agar lebih mudah di jangkau oleh pengguna saat masih berada diatas toilet. pemilihan

ukuran wanita presentil 5% cukup beralasan, karena jarak jangkauan terkecil berada pada wanita presentil 5%. Dengan perencanaan *flush* dibawah, sehingga meminimalisir terjadinya pembungkukan badan untuk mengapai *flush*.



Gambar 5. Perencanaan Letak Flush

Maka perhitungan posisi tombol flush dari tinggi toilet maksimal :

$$\begin{aligned} \text{Posisi tombol flush} &= D26 \text{ presentil wanita } 5\% - D8 \text{ presentil wanita } 5\% \\ &= 610 \text{ mm} - 501 \text{ mm} \\ &= 109 \text{ mm} \end{aligned}$$

Sehingga peletakkan tombol flush dari tinggi toilet maksimal 109 mm dengan rotasi pergerakan 45° kearah belakang.

3.2.2 Bagian Tumpuan Kaki

a. Panjang Penyangga Kaki

Panjang penyangga kaki menggunakan ukuran panjang kaki (D1), dimana ukuran ini merupakan jarak *vertikal* dari bagian ujung kaki sampai bagian belakang kaki. Ukuran yang digunakan ialah ukuran panjang kaki pria presentil 95%, dengan penambahan ukuran (*allowance*) 30 mm agar dapat mengakomodasi pengguna yang beralas kaki. Ukuran ini dipilih karena ukuran kaki terbesar berada pada pria, pemilihan presentil 95% agar lebih menghemat bahan material. Selain itu, pria dengan presentil 99% juga bisa menggunakan penyangga kaki dengan nyaman.



Gambar 6. Pengukuran Panjang Kaki

Maka total panjang penyangga kaki :

$$\begin{aligned} \text{Panjang penyangga kaki} &= D1 \text{ pria presentil } 95\% + \text{Allowance} \\ &= 266 \text{ mm} + 30 \text{ mm} \\ &= 296 \text{ mm} \end{aligned}$$

b. Lebar Penyangga Kaki

Lebar penyangga kaki menggunakan ukuran lebar kaki (D4), dimana ukuran ini merupakan jarak *horizontal* dari bagian terluar samping kanan kaki sampai bagian terluar samping kiri kaki. Ukuran yang digunakan ialah ukuran lebar kaki pria presentil 95%, alasannya cukup kuat dengan panjang penyangga kaki. Lebar penyangga juga mengalami penambahan ukuran (*allowance*) 30 mm agar dapat mengakomodasi pengguna yang beralas kaki.



Gambar 7. Pengukuran Lebar Kaki

Maka total lebar penyangga kaki Sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Lebar penyangga kaki} &= D4 \text{ pria presentil } 95\% + \text{Allowance} \\ &= 96 \text{ mm} + 30 \text{ mm} \\ &= 126 \text{ mm} \end{aligned}$$

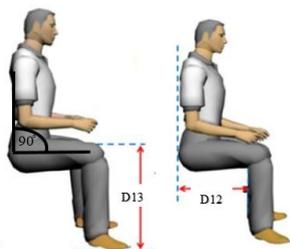
c. Tinggi Penyangga Kaki

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Sakakibara et al (2010), menunjukkan bahwa semakin kecil sudut *fleksi* panggul dengan *kanalis rektoanal* akan membutuhkan sedikit tekanan untuk mengeluarkan tinja pada saat bertoilet. Kali ini, tinggi penyangga kaki dari lantai dirancang agar menghasilkan sudut sebesar 35° dari ruas tulang belakang. Untuk mendapatkan tinggi tersebut, hal yang perlu diperhatikan ialah tinggi total toilet, ukuran panjang polipetal (D12) dan ukuran tinggi lutut dalam posisi duduk (D13). Ukuran D13 menggunakan ukuran rendah yakni, wanita presentil 5%. Pemilihan ukuran wanita presentil 5% agar pengguna dengan presentil 1% juga dapat menghasilkan sudut sebesar 35° atau kurang dikarenakan ukuran kaki yang pendek, yakni 428 mm. sedangkan ukuran D12 menggunakan pria presentil 5%, karena yakni 405 mm.



Gambar 8. Pengukuran Tinggi Lutut dan Panjang Polipetal

Dengan menggunakan perhitungan *pitagoras* dapat ditentukan ketinggian penyangga tumpuan kaki dari lantai sebagai berikut :



Gambar 9. Ukuran Sudut Penyangga Kaki

Dari gambar tersebut, 2 sudut yang bersebrangan memiliki besar sudut yang sama besar. Maka, rumusnya menjadi :

$$\frac{55^\circ}{y} = \frac{90^\circ}{D12}$$

$$y = \frac{55 \times 405}{90}$$

$$y = 247,5 \text{ mm}$$

maka,

$$x = D13 \text{ wanita presentil } 5\% - y$$

$$= 428 \text{ mm} - 247,5 \text{ mm}$$

$$= 180,5 \text{ mm} \approx 181 \text{ mm}$$

Sehingga,

$$\text{Tinggi penyangga kaki} = \text{tinggi toilet} - x$$

$$= 391 \text{ mm} - 181 \text{ mm}$$

$$= 210 \text{ mm}$$

3.2.3 Bagian Handrail Toilet

a. Diameter Handrail

Lingkar *handrail* menggunakan ukuran diameter genggam (D17). Ukuran yang digunakan ialah pria presentil 50%. Ukuran pria presentil 50% merupakan ukuran standart untuk genggam. Ukuran ini dipilih agar presentil 1% bisa menggunakan dengan cukup nyaman (tidak terlalu besar). Dan pengguna dengan presentil 99% tidak sulit untuk menggenggam karena ukuran yang kecil. Sehingga ukuran handrail menurut data pada lampiran 2. Data Antropometri Masyarakat Indonesia Menurut Eko Nurminto. Pada tabel dimensi tangan, kolom no. 17 pria presentil 50%.

$$\text{Ukuran Diam. Handrail} = 48 \text{ mm}$$

b. Tinggi Handrail

Tinggi *handrail* merupakan elemen penting. Dikarenakan salah satu fungsi handrail sebagai penopang berat tubuh saat terjadi aktivitas perpindahan tubuh bagi pengguna *difable*. Tinggi *handrail* menggunakan 2 ukuran utama dengan memperhatikan pengguna saat berada dikursi roda. Yakni ukuran tinggi *polipetal* (D14) ditambahkan dengan tinggi bahu pada posisi duduk (D8). Presentil yang

digunakan ialah wanita presentil 5%. Dikarenakan untuk ruang jangkauan mengikuti ukuran terkecil, agar *handrail* dapat dijangkau seluruh pengguna baik pengguna presentil 1% maupun 99%. Sehingga, perhitungan tinggi handrail ialah:

$$\text{Tinggi handrail} = D14 \text{ wanita presentil } 5\% + D8 \text{ wanita presentil } 5\%$$

$$= 337 \text{ mm} + 501 \text{ mm}$$

$$= 838 \text{ mm}$$

c. Panjang Handrail

Panjang *handrail* yang dirancang harus dapat dijangkau oleh pengguna difabel. Dengan memperhatikan jarak jangkauan, posisi perpindahan dan panjang kursi roda. Jarak jangkauan yang digunakan ialah ukuran wanita presentil 5%. Ukuran ini dipilih karena jangkauan terkecil berada pada wanita. Selain itu, ukuran presentil 5% agar pengguna dengan ukuran 1% dapat meraihnya dan pengguna 99% tidak terganggu karena jarak yang dekat.



Gambar 10. Pengukuran Jarak Jangkauan

Dikarenakan pergerakan pengguna yang terbatas, maka perencanaan peletakkan *handrail* harus di perhatikan. Panjang *handrail* direncanakan mulai dari dinding bagian belakang toilet. Sehingga perhitungan panjang handrail minimal :

$$\text{Panjang handrail} = D26 \text{ wanita presentil } 5\% + \text{panjang kursi roda}$$

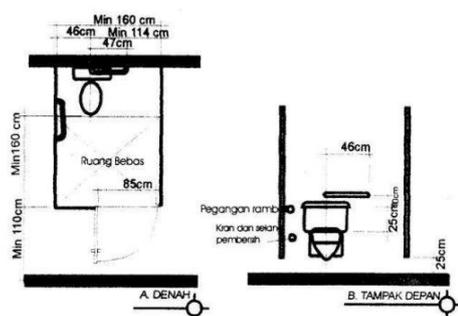
$$= 610 \text{ mm} + 160 \text{ mm}$$

$$= 770 \text{ mm}$$

3.2.4 Stasiun Toilet

a. Ukuran Minimal Toilet

Perancangan toilet yang memperhatikan pengguna difabel memiliki sarat minimal untuk keluasaan ruangan itu sendiri. Pemberian sarat minimal ini dimaksudkan agar memberikan keluasaan manuver pada kursi roda.



Gambar 11. Ukuran Minimal Toilet

Dengan memperhatikan ukuran standart kursi roda, peneliti dapat merancang ukuran minimal ruangan toilet pada perencanaan ini. Penelitian ini menggunakan ukuran kursi roda terbesar sebagai acuan pembuatan luas ruangan. Hal ini cukup beralasan agar pengguna yang memakai kursi roda ukuran besar bisa masuk kedalam ruangan. Oleh sebab itu, perancangan ruangan harus melebihi ukuran kursi roda acuan. Agar kursi roda dapat berputar didalam ruangan, lebar ruangan dan panjang ruangan harus lebih besar daripada panjang kursi roda. Sehingga, peneliti memutuskan luas ruangan minimal toilet DU – 3E ini ialah 2,8 m x 1,6 m. Dengan ruang bebas sebesar 160 cm x 160 cm setelah pintu masuk, untuk pergerakan memutar kursi roda.

b. Tinggi Pintu Toilet

Tinggi pintu menggunakan antropometri tinggi badan pengguna (D1). Ukuran yang digunakan ialah pria presentil 95%. Ukuran pria dipilih karena ukuran badan tertinggi berada pada pria, selain itu agar menghindari pengguna terantuk saat memasuki ruangan. Perlu adanya penambahan ukuran (*allowance*) 30 mm untuk tinggi alas kaki, 50 mm untuk tinggi topi, dan 50 mm untuk kelonggaran dinamis. Disebabkan pada saat berjalan, tinggi badan manusia relatif bertambah pada saat berjalan atau berlari.

Maka, tinggi pintu toilet minimal :

$$\begin{aligned} \text{Tinggi pintu} &= D1 \text{ pria presentil } 95\% + \text{Allowance} \\ &= 1732 \text{ mm} + 30 \text{ mm} + 50 \text{ mm} + 50 \text{ mm} \\ &= 1862 \text{ mm} \end{aligned}$$

c. Lebar Pintu

Perancangan toilet ini memperhatikan akses pengguna difabel. Oleh sebab itu, lebar pintu harus dirancang agar pengguna kursi roda dapat memasuki toilet. Kursi roda yang berada di masyarakat memiliki lebar terbesar 700 mm, ditambahkan dengan keleluasaan gerak 150 mm. Maka lebar pintu toilet minimal :

$$\begin{aligned} \text{Lebar pintu toilet} &= \text{Lebar kursi roda} + \text{allowance} \\ &= 700 \text{ mm} + 150 \text{ mm} \\ &= 850 \text{ mm} \end{aligned}$$

d. Peletakkan Tisu Toilet

Peletakkan tisu dibagi menjadi 2 ukuran penting, yakni tinggi tisu dan juga jarak tisu dari toilet. Tinggi tisu memperhatikan tinggi toilet serta tinggi bahu saat duduk (D8) wanita presentil 5 %, ukuran tersebut ialah ukuran maksimal dari tinggi tisu. Sedangkan wanita presentil 5% dipilih agar memudahkan pengguna presentil 1% untuk mengapai tisu.

$$\begin{aligned} \text{Tinggi tisu maksimum} &= D8 \text{ wanita presentil } 5\% + \text{tinggi toilet} \\ &= 501 \text{ mm} + 391 \text{ mm} \\ &= 892 \text{ mm} \end{aligned}$$

Sedangkan posisi peletakkan tisu toilet maksimal sejauh jarak siku sampai ujung jari (D19) dari pinggir toilet. Dengan ukuran wanita presentil 5%, agar posisi tisu toilet dapat mudah dijangkau.

e. Peletakkan Shower Toilet

Sama halnya dengan peletakkan tisu toilet, peletakkan shower toilet terdapat 2 jarak. Yaitu tinggi peletakkan dan jarak dari toilet. Tinggi shower toilet memperhatikan tinggi siku saat posisi duduk (D9). Ukuran yang digunakan ialah wanita presentil 50% ditambahkan dengan tinggi toilet. Ukuran wanita presentil 50% dipilih karena ukuran tengah, agar pengguna 1% dapat menjangkau dengan mudah.

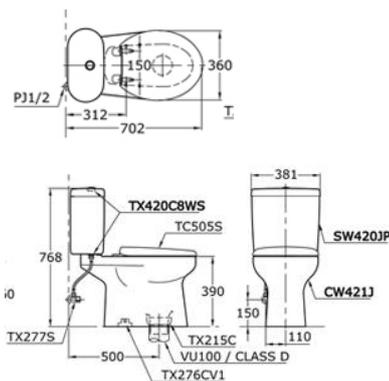
$$\begin{aligned} D9 &= X \\ &= 229 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka, tinggi shower toilet maksimum} &= D9 + \text{tinggi toilet} \\ &= 229 \text{ mm} + 391 \text{ mm} \\ &= 620 \text{ mm} \end{aligned}$$

Sedangkan posisi peletakkan sama halnya dengan posisi tisu toilet. Sejauh jarak siku sampai ujung jari (D19) dari pinggir toilet. Dengan ukuran wanita presentil 5%, yakni 374 mm.

3.2.5 Produk Existing

Tahapan selanjutnya ialah membandingkan dengan produk yang telah ada dipasaran (*produk existing*). Produk *existing* digunakan sebagai produk pembanding, untuk melihat ada atau tidaknya perubahan yang dilakukan. Gambar 12. Toilet *existing*, merupakan toilet yang sering sekali di jumpai dalam lingkup masyarakat umum.



Gambar 12. Toilet existing

Dari gambar dan data yang telah ditentukan, dapat dilihat adanya perubahan – perubahan ukuran yang terjadi. Perubahan tersebut di rangkum dalam Tabel 4. Tabel Perubahan Ukuran.

Tabel 4: Tabel Perubahan Ukuran

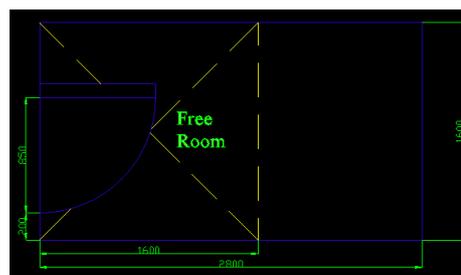
No	Nama Bagian	Ukuran Produk Exsiting	Rencana Ukuran Konsep
1	Tinggi Toilet	390 mm	391 mm
2	Panjang dudukan toilet	390 mm	430 mm
3	Lebar dudukan toilet luar	360 mm	375 mm
4	Lebar dudukan toilet dalam	297 mm	261 mm
5	Jarak flush dari lantai	768 mm	282 mm
6	Panjang penyangga kaki	-	296 mm
7	Lebar penyangga kaki	-	126 mm
8	Tinggi penyangga kaki	-	210 mm
9	Handrail	-	Lingkaran = 48 mm Tinggi = 838 mm

3.2.6 Konsep Desain Toilet DU – 3E

Setelah mendapatkan spesifikasi produk serta data – data anthropometri yang akan digunakan. Langkah selanjutnya ialah pengembangan konsep desain toilet. Adapun hasil konsep desain toilet yang dihasilkan seperti berikut ini :

a. Ukuran Ruang

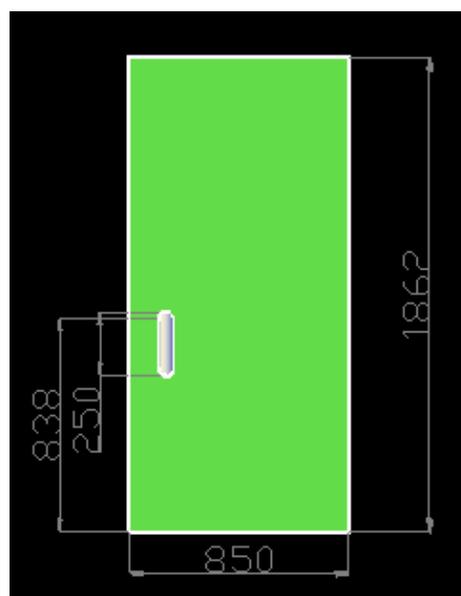
Ukuran ruangan yang dipilih untuk konsep desain toilet DU – 3E ialah ukuran minimal, yakni 2800 mm x 1600 mm. dimana terdapat akses bebas 160 mm x 160 mm setelah dari jarak pintu. Perencanaan ukuran ruangan minimal dimaksudkan untuk menghemat ruangan namun tetap memberikan keleluasaan gerak bagi kursi roda. Selain itu, semakin minim ukuran ruangan, akan mempersingkat waktu dan energi dalam melakukan kegiatan pembersihan toilet.



Gambar 13. Desain Ruang Toilet

b. Desain Pintu

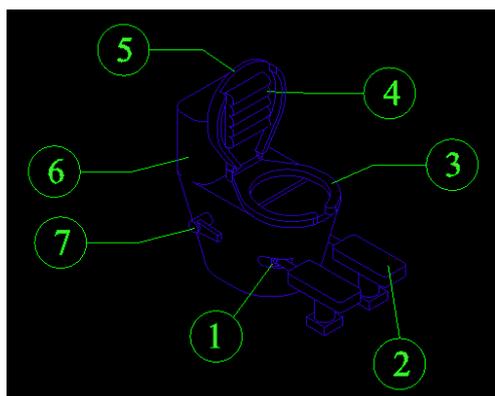
Perhitungan perancangan pintu yang telah dilakukan sebelumnya dengan pendekatan antropometri masyarakat Indonesia mendapatkan ukuran minimal yakni, 850 mm x 1862 mm. Mekanisme penggunaan pintu dirancang untuk dapat di dorong kearah dalam toilet, agar mempermudah pengguna kursi roda untuk memasuki ruangan. *Handle* pintu berbentuk *grab bar* dengan arah *vertikal* keatas, dimaksudkan agar pengguna dengan ketinggian bahu rendah juga dapat menjangkau *handle* pada bagian bawah. Ketinggian *handle* sama dengan perancangan ketinggian *grab bar* yakni, maksimal 838 mm dari lantai.



Gambar 14. Desain Pintu Toilet

c. Desain Kloset DU – 3E

Kloset merupakan bagian penting dari perancangan toilet DU – 3E. Pada desain kloset DU – 3E ini memiliki beberapa keunggulan daripada kloset lainnya yang telah beredar didalam masyarakat. Berikut konsep desain kloset DU – 3E :

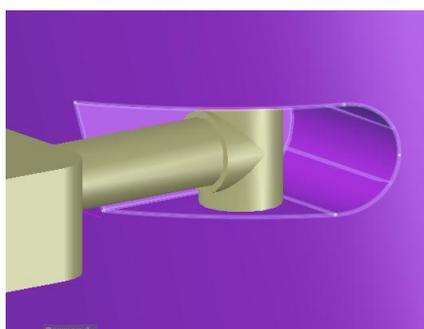


Gambar 15. Kloset DU – 3E

Keterangan Gambar

- 1. Tee
- 2. Penyangga kaki
- 3. Kloset
- 4. Bantalan Punggung
- 5. Penutup Kloset
- 6. Kloset
- 7. Flush

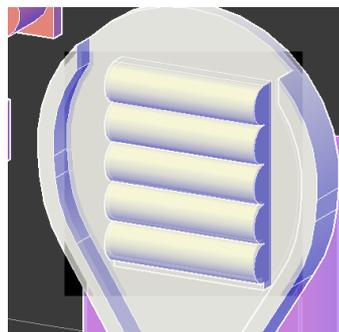
Kloset DU – 3E memiliki penyangga kaki (No. 2) yang dirancang dengan pendekatan antropometri masyarakat Indonesia. Ketinggian penyangga kaki dirancang agar dapat menghasilkan sudut 35° antara *fleksi* panggul dengan *kanalis rektanal* pengguna. Hal ini akan membuat kegiatan bertoliet pengguna lebih sehat dan hanya memerlukan sedikit usaha saat mengeluarkan tinja. Penyangga kaki ini juga dapat digunakan untuk pengguna normal maupun pengguna difabel, dikarenakan adanya tee (No. 1) yang memungkinkan penyangga kaki dapat berputar sejauh 90°. Sehingga tidak mengganggu pengguna difabel saat melakukan perpindahan dari kursi roda ke kloset.



Gambar 16. Penggunaan Tee Penyangga Kaki

Selain itu, adanya penambahan sandaran punggung (No. 4) pada kloset memberikan kenyamanan lebih pada pengguna. Bantalan sandaran terbuat dari bahan plastik berisikan udara. Bahan plastik dipilih agar bantalan mudah dibersihkan. Perencanaan *flush* (No. 7) pada toilet berjarak 109 mm dari dudukan toilet. Penempatan *flush* seperti ini dimaksudkan agar pengguna dapat membersihkan toilet

dengan mudah saat berada di atas toilet. Tidak seperti toilet pada umumnya, yang sulit melakukan *flushing* pada saat diatas toilet.



Gambar 17. Bantalan Punggung

Bagian dalam bowl toilet juga diminimalisir sudut agar mudah dilakukan pembersihan.



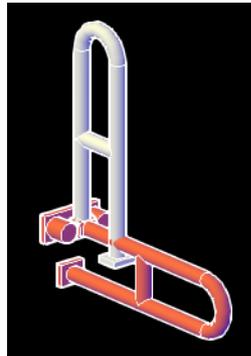
Gambar 18. Desain Bowl Bagian Dalam

Pada kloset umumnya volume tangki dapat menampung air sebanyak 6L, dengan intensitas penggunaan 6L setiap melakukan *flushing*. Perancangan toilet DU – 3E kali ini tidak membahas lebih lanjut tentang sistem *flushing* yang berada didalam toilet. Namun, desain toilet DU – 3E menggunakan tangki yang berada dibelakang toilet sebagai salah satu media sandaran bagi pengguna *difabel*. Dengan ukuran 375 mm x 180 mm x 300 mm, ketebalan tangki 30 mm. Sehingga didapatkan dengan total volume kosong tangki 9L. Penambahan tangki akan mempengaruhi panjang toilet. Panjang toilet didapat dari panjang tempat duduk ditambah panjang tangki dan jarak antara keduanya untuk lubang pengikat tutup kloset 85 mm. Pengikat kloset menggunakan bolt sebesar 50 mm, maka, panjang toilet :

$$\begin{aligned} \text{Panjang toilet} &= 430\text{mm} + 85\text{mm} + 180\text{mm} \\ &= 695 \text{ mm.} \end{aligned}$$

d. Desain *Grab Bar*

Desain *grab bar* diletakkan pada sisi kanan kloset. Peletakkan seperti ini dipilih agar pengguna bertumpuan dengan tangan kanan pada saat bergerak pindah dari kloset menuju kursi roda. *Grab bar* terbuat dari material *stainless steel*, dengan mekanisme dapat diputar ke arah atas sebesar 90 derajat. Dengan ketinggian maksimum *grab bar* ialah 838 mm.



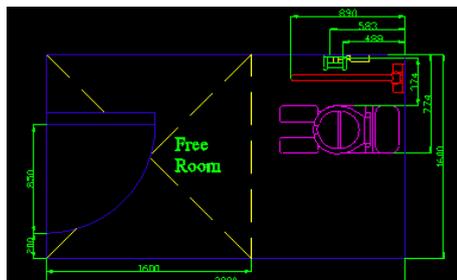
Gambar 19. Desain *Grab bar*

e. Desain Peletakkan *Shower Toilet* dan Tisu
Shower Toilet dan Tisu di letakkan pada kanan toilet dengan posisi berjajar atas bawah. Dengan ketinggian maksimum 829 mm untuk tisu toilet dan 620 mm untuk *shower toilet*.

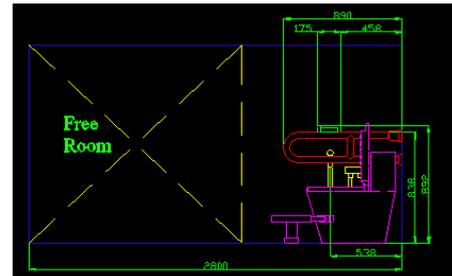


Gambar 20. Desain Letak Tisu dan *Shower Toilet*

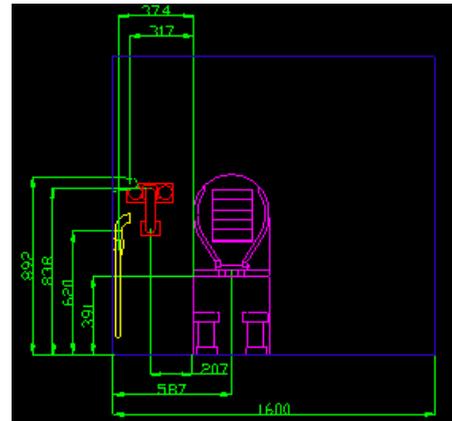
Berikut ini hasil desain stasiun toilet dengan pendekatan antropometri yang telah dilakukan oleh peneliti :



Gambar 21. Konsep Desain Toilet Tampak Atas



Gambar 22. Konsep Desain Toilet Tampak Samping



Gambar 23. Konsep Desain Toilet Tampak Depan

3.2.7 Toilet Ramah Lingkungan DU – 3E

Toilet ramah lingkungan menganggap bahwa tinja bukanlah limbah yang harus dibuang. Melainkan limbah yang dapat dikelola kembali untuk kegunaan lain. Prinsip dasar dari toilet ramah lingkungan ialah “jangan mencampur”. Artinya toilet ramah lingkungan memiliki prinsip jangan mencampur antara tinja dengan urin. Oleh sebab itu, toilet di desain agar urin tidak tercampur dengan tinja melalui desain bowl toilet dengan 2 tempat pembuangan akhir. Pemisahan pembuangan akhir antara urin dengan tinja ini dimaksudkan untuk memisahkan semua rantai nutrisi. Urin yang mengandung nutrisi seperti N, P, dan K, dapat digunakan kembali sebagai penyubur tanaman berupa pupuk cair. Sedangkan untuk tinja yang memiliki bahan organik tinggi dapat dimanfaatkan sebagai bahan biogas, ataupun pupuk organik yang lebih efisien.



Gambar 24. Desain Bowl Toilet

Setelah tinja memasuki salurannya, ada dua kegiatan yang dapat dilakukan. Yakni proses dehidrasi ataupun dekomposisi. Proses dehidrasi dilakukan dengan pengeringan/penjemuran tinja. Sedangkan dekomposisi dilakukan dengan penambahan serat dapat berupa serbuk kayu pada tinja. Hal ini dapat dilakukan pada pembuangan akhir toilet. Untuk pembuangan urin, dapat langsung dimasukkan kedalam tong / tempat penampungan setelah melalui saluran pembuangan. Setelah tempat penampungan penuh, urin harus di diamkan beberapa hari untuk mengurangi kadar amoniak baru dapat digunakan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dengan mengamati kegiatan bertoliet, produk produk toilet, dan teori-teori yang berkaitan dengan penelitian. Dapat disimpulkan perlu adanya pengembangan konsep dalam produk toilet yang ada di pasaran. Berikut kesimpulan yang dapat peneliti simpulkan :

1. Perancangan toilet DU – 3E menggunakan metode pengembangan desain produk Ulrich. Kegiatan penelitian di lakukan melalui tahap identifikasi masalah, kajian produk existing, penyusunan daftar kebutuhan produk, penyusunan spesifikasi produk, pengembangan konsep dan detail drawing desain 2 dimensi.
2. Pembuatan toilet melalui pendekatan ergonomi yakni analisa antropometri masyarakat indonesia. Dalam perancangan stasiun toilet, lebih memperhatikan keadaan pengguna difabel agar memenuhi prinsip difable availability. Prinsip ini terdapat pada desain lebar pintu, luas ruangan, penempatan handrail, penempatan tisu dan shower spray yang didasarkan dari kebutuhan pengguna. Selain itu, konsep desain memperhatikan kesehatan untuk pengguna saat menggunakan toilet duduk, dengan mendesain toilet dengan penyangga agar membentuk sudut 35° antara fleksi panggul dengan kanalis rektoanal.
3. Prinsip ecological atau ramah lingkungan, direalisasikan dengan menggunakan prinsip “jangan mencampur”. Melalui desain tempat pembuangan yang terpisah antara urine dan feses. Sehingga masing – masing limbah pembuangan, baik urin maupun tinja dapat diolah agar lebih efektif. Urin dapat diolah menjadi pupuk cair, sedangkan tinja dapat digunakan sebagai bahan baku biogas maupun pupuk organik.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Andriana, D., A. Wreataa., A. Saepudina., dan B. Prawaraa. (2014). A review of recycling of human excreta to energy through biogas generation: Indonesia case. Proceedings of 2nd International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application. 14 – 15 Oktober 2014. Bandung – Indonesia.
- [2] Haq, P.S.E. (2015) Potensi Lumpur Tinja Manusia Sebagai Penghasil Biogas. Tugas Akhir. Intitut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- [3] Nurmianto, E. (2004). Edisi Kedua : Ergonomi Konsep Dasar dan Aplikasinya, Guna Widya, Surabaya.
- [4] Sakakibara, R., K. Tsunoyama., H. Hosoi., O. Takahahsi., M. Sugiyama., M. Kishi., E. Ogawa., H. Terada., T. Uchiyama., dan T. Yamanishi. (2010). “Influence of Body Position on Defecation in Humans”. LUTS, 2 : 16–21.
- [5] Samidjo, J. (2015). Pengelolaan Air dan Sumber Air Terpadu Yang Berkelanjutan. Edisi Khusus : Ilmiah Pawiyatan, Vol.XXII, No.2, pp.32-34.
- [6] Sirikov, D. (2003). Comparison of Straining During Defecation in Three Positions Results and Implications for Human Health. Digestive Diseases and Sciences, Vol. 48, No. 7, pp.1201–1205.
- [7] Soenandi, I.A, dan R.Malvin. (2013). Perancangan Produk Alat Bantu Closet Jongkok. Jurnal Teknik dan Ilmu Komputer, Vol. 02, No.05, pp.23-37. Universitas Kristen Krida Wacana, Jakarta.

Perencanaan *Design Engine* pada Mobil Minimalis Roda Tiga

Rezky Fardhan Fahrezy^{1*}, George Endri Kusuma², Tri Andi Setiawan³

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.^{1,3}

Program Studi Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.²

E-mail : rezkyfahrezy11@gmail.com^{1*}

Abstract – In every era development from time after time also followed with requirement development of transportation in society. Generally there are 2 kinds of land transportations that human mostly have, they are 2 wheel and 4 wheel transportations. While for complete the deficiency from that 2 kinds of transportation, then three wheel car concept created. Three wheel car have minimalist concept that mean comfortable and simple. With using tilting trike system which it make sure the easy acces for any situation on the road which its need suitable engine spesification to support that concept. Because of that, this research is made to plan design engine that suitable with that concept by using torque and power manual calculation method, which it later tested by dynotest to look for the result of engine performances on three wheel car. From torque and power calculation, its show minimum torque requirements at 6500 rpm is 13,63 Nm and power requirements at 8500 rpm is 12,15 Hp. Then the result obtained Yamaha Scorpio Z 2007 engine that applied on three wheel car which is tested by Dynotest and show the result maximum torque at 5318 rpm is 22,90 Nm and maximum power at 8500 rpm is 20,7 Hp.

Keywords : design engine, Dynotest, power, Three wheel car, torque

1. PENDAHULUAN

Setiap perkembangan era dari waktu ke waktu diikuti juga dengan perkembangan kebutuhan di masyarakat. Salah satu kebutuhan masyarakat di era sekarang ini adalah transportasi. Di Indonesia transportasi yang cukup menjadi salah satu perhatian bagi masyarakat adalah kendaraan roda 4 atau mobil. Mobil minimalis roda tiga memiliki konsep mobil yang diperuntukkan untuk akses dalam berkendara yang cukup mudah seperti kendaraan roda 2 dan memiliki kenyamanan saat berkendara seperti kendaraan roda 4. Sedangkan untuk berjalannya mobil tersebut jelas dibutuhkan konsep Design Engine yang tepat. Design Engine sendiri mencakup perencanaan mesin untuk kebutuhan mobil minimalis roda tiga tersebut. Dimulai dari perhitungan torsi dan daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan mobil tersebut dengan mempertimbangkan beberapa faktor seperti berat dari mobil, yang dibutuhkan guna memudahkan dalam pemilihan tipe mesin dan Transmisi yang tepat berdasarkan besarnya perhitungan daya dan torsi yang telah dikalkulasi. Harapannya didapatkan mesin yang sesuai pengaplikasiannya pada mobil minimalis roda tiga yang diuji melalui dynotest.

2. METODOLOGI

Pada penelitian ini diperlukan perhitungan daya dan torsi untuk mengetahui pemilihan kebutuhan mesin yang sesuai konsep mobil minimalis roda tiga yang diasumsikan mampu melaju hingga 72

Km/h. Sebelum itu perlu dicari besarnya hambatan yang terjadi seperti tahanan gelinding, tahanan angin dan tahanan tanjakan.

2.1 Tahanan gelinding

Akibat adanya *Rolling Resistance* maka ban kendaraan mengalami hambatan atau tahanan. Tahanan ini disebabkan saat ban mengalami fase maju atau mundur. Besarnya tahanan yang dialami tergantung pada berat kendaraan antara gesekan ban dan permukaan jalan yang didapat dari rumus berikut :

$$Fr = c \times W \text{ (N)}$$

Dimana :

Fr : Besar tahanan gelinding (N)
W : $m \times a_g$ (N)
m : Berat total (Kg)
 a_g : Percepatan gravitasi (9,81 m/s²)
c : Koefisien tahanan gelinding

2.2 Tahanan angin

Tahanan angin terjadi saat kendaraan bergerak bergantung dengan kecepatan angin, kecepatan kendaraan, luas permukaan, dan koefisien dari bentuk kendaraan tersebut.

$$Fa = \rho / 2 \times Cd \cdot A \cdot V^2 \text{ (N)}$$

Dimana :

Ra : Besar tahanan udara atau air resistance (N)
 ρ : Massa jenis udara (1,2 Kg/m³)
Ca : Koefisien tahanan angin pada mobil biasa
A : Luas penampang kendaraan (m²)
V : Kecepatan kendaraan (m/s)

2.3 Mencari daya yang dibutuhkan

Untuk mencari besarnya daya minimum yang dibutuhkan sebuah kendaraan harus diketahui dulu besar total hambatan yang terjadi dengan rumus :

$$F_t = F_r + F_a (N)$$

Dimana :

- F_t : Total hambatan (N)
- F_r : Tahanan gelinding (N)
- F_a : Tahanan angin (N)

dapat diketahui dengan rumus :

$$P = F_t \times V / \eta (Watt)$$

Dimana :

- P : Daya yang dibutuhkan (Watt)
- F_t : Tahanan total (N)
- V : Kecepatan maksimal (m/s)
- η : Koefisien Low gear (0,85) jika High gear (0,90)

2.4 Mencari torsi yang dibutuhkan

Untuk mengetahui kebutuhan atau minimum besarnya torsi yang dibutuhkan suatu kendaraan dapat diketahui dengan rumus :

$$T = P / (2 \times \pi \times nrps) (Nm)$$

$$= 0,159 P / nrps = P / (2 \times \pi \times (nrpm / 60))$$

$$= 9,55 P / nrpm$$

Dimana :

- T : Torsi (Nm)
- P : Daya (Watt)
- nrps : Engine speed (rps, rev/sec)
- nrpm : Engine speed (rpm, rev/min)

2.5 Kemampuan saat tanjakan

Beberapa kendaraan akan berat atau susah menanjak karena kemampuan mesinnya sendiri tidak mendukung atau karena beban yang overload ataupun karena derajat ketinggian tanjakan yang ekstrem dapat dicari dengan rumus :

$$F_g = W h / i$$

$$= W \sin \alpha$$

$$= m a g \sin \alpha$$

Dimana :

- F_g : Gradient resistance (N)
- W : m x ag (N)
- α : Sudut tanjakan (°)
- h : tinggi tanjakan (m)
- i : jarak tanjakan (m)

2.6 Mencari gaya traksi

Tractive Force, merupakan gaya yang mampu dilakukan untuk mengangkat beban dengan nilai tertentu dapat diketahui dengan rumus :

$$F_{tr} = \mu t \times W$$

$$= \mu t \times m \times a g$$

Dimana :

- F_{tr}: Gaya traksi (N)
- μt : Koefisien traksi
- W : m x ag (N)
- m : Massa benda (N)
- ag : percepatan gravitasi (9,81 m/s²)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari pengumpulan data terkait perencanaan Design Engine diperoleh :

- Berat total mobil roda tiga = 400 Kg, dengan rincian :

- Berat rangka = 50 Kg (penelitian terdahulu).
- Berat body = 100 Kg (penelitian terdahulu).
- Berat mesin = 40 Kg

Berat penumpang = 210 Kg

-Jarak pembebanan ke pusat rotasi = 0,425

3.1 Tahanan gelinding

$$F_r = c \times W (N)$$

$$= 0,01 (\text{untuk jalan aspal}) \times 400 \times 9,81$$

$$= 39,24 N$$

3.2 Tahanan angin

$$F_a = \rho / 2 \times C_a \cdot A \cdot V^2 (N)$$

$$= 1,2 / 2 \times 0,29 \times 5,1 \times 20^2 = 354,96 N$$

3.3 Mencari daya yang dibutuhkan

$$F_t = F_r + F_a$$

$$= 39,24 + 354,96 = 394,2 N$$

$$P = F_t \times V / \eta (Watt)$$

$$= 394,2 \times 20 / 0,85 = 9275,29$$

$$Watt = 12,15 Hp$$

3.4 Mencari torsi yang dibutuhkan

$$T = 9,55 P / nrpm$$

$$= 9,55 (9275,29) / 6500 = 13,63 Nm$$

Jadi dapat disimpulkan bahwa torsi minimum yang dibutuhkan mobil minimalis roda tiga pada 6500 rpm adalah 13,63 Nm.

3.5 Pemilihan mesin

Tabel 1: Sampel pemilihan mesin

Spesifikasi	Kawasaki Pulsar DTS-i 180 (180 cc)	Honda Tiger 2013 (200 cc)	Yamaha Scorpio Z 2007 (225 cc)
Daya maksimal	16,8 Hp pada 8500 Rpm	15,7 Hp pada 8500 Rpm	18,74 Hp pada 8000 Rpm
Torsi maksimal	14,22 Nm pada 6500 Rpm	16,42 Nm pada 7000 Rpm	18,25 Nm pada 6500 Rpm
Bore x Stroke	63,5 x 56,4 (mm)	63,5 x 62,2 (mm)	70 x 58 (mm)
Harga mesin di pasaran	Rp 3.000.000	Rp 4.550.000	Rp 3.600.000

Tabel 2: Kriteria seleksi pemilihan mesin

Kriteria seleksi	Bobot (%)	Konsep mesin					
		Kawasaki Pulsar DTS-i 180		Honda Tiger 2013		Scorpio Z 2007	
		Rate	Skor bobot	Rate	Skor bobot	Rate	Skor bobot
Kesesuaian kebutuhan Torsi	20 %	1	0,2	2	0,4	3	0,6
Kesesuaian kebutuhan daya	20 %	2	0,4	1	0,15	3	0,6
Sistem konfigurasi silinder	5 %	3	0,15	3	0,15	3	0,15
Teknologi kepala silinder	5 %	3	0,15	3	0,15	3	0,15
Sistem pengolahan bahan bakar	5 %	3	0,15	3	0,15	3	0,15
Jumlah silinder	5 %	3	0,2	3	0,2	3	0,15
Siklus motor	5 %	3	0,2	3	0,2	3	0,15
Kemudahan pencarian Sparepart	15 %	2	0,3	3	0,45	3	0,45
Segi Ekonomis	10 %	3	0,3	3	0,2	3	0,3
Kemudahan dalam perawatan	10 %	2	0,2	3	0,3	3	0,3
Nilai Absolut dan Relatif		2,25 (30,2 %)		2,35 (31,5%)		2,85 (38,25%)	

Dapat disimpulkan dari tabel penilaian di atas didapatkan nilai absolut dan relatif tertinggi adalah konsep Yamaha Scorpio Z tahun 2007 yang memiliki nilai absolut 2,85 dan nilai relatif 38,25 % tertinggi diantara kedua konsep lainnya.

3.6 Kemampuan saat tanjakan

Mencari Gradient resistance

$$\begin{aligned}
 F_g &= W h/i = W \sin \alpha \\
 &= m a g \sin \alpha \\
 &= 400 \times 9,81 \times \sin(15^\circ) \\
 &= 1015,606 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Mecari Gaya traksi

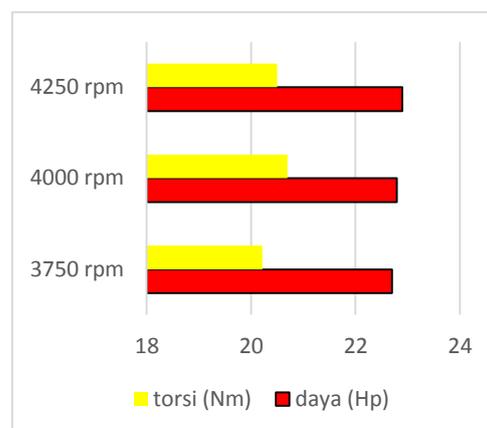
$$\begin{aligned}
 F_{tr} &= \mu t \times W(N) \\
 &= \mu t \times m \times a g \\
 &= 0,9 \times 400 \times 9,81 = 1177,2 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tractive force} &> \text{Gradient resistance} \\
 1177,2 &> 1015,6076
 \end{aligned}$$

Sehingga dapat disimpulkan bahwa gaya traksi atau gaya angkat bebannya lebih besar daripada hambatan tanjakan pada 15 derajat dengan jarak

9,5 meter dan tinggi 2,5 meter, yang berarti bahwa mobil minimalis roda tiga mampu melewati tanjakan 15°.

3.7 Hasil uji data (dynotest)



Gambar 1. Grafik torsi dan daya maksimum hasil uji dynotest

4. KESIMPULAN

1. Dari perhitungan torsi dan daya didapat besar torsi yang dibutuhkan pada 6500 rpm sebesar 13,63 Nm dan besar daya pada 8500 rpm sebesar 12,15 Hp.
2. Untuk kebutuhan mesin mobil minimalis roda tiga didapat mesin Yamaha Scorpio Z 2007 dengan Spesifikasi torsi maksimum pada 6500 rpm sebesar 18,2 Nm dan daya maksimum pada 8500 rpm sebesar 18,7 Hp. Dari perhitungan dan pemilihan konsep dan efisiensi didapat sistem transmisi manual dengan 5 percepatan.
3. Dari data dynotest dapat dilihat torsi maksimal mobil minimalis roda tiga pada 5318 rpm sebesar 22,90 Nm dan daya maksimum pada 7019 rpm sebesar 20,7 Hp. Sehingga dapat disimpulkan jika mesin yang digunakan pada spesifikasinya torsi maksimum 18,25 @6500 rpm dan saat diaplikasikan ke mobil minimalis roda tiga dan dilakukan dynotest mampu mencapai torsi maksimum 22,90 @5318 rpm dan begitu juga daya maksimum pada spesifikasi mesin 18,7 Hp @ 8500 rpm setelah diaplikasikan dan dilakukan dynotest mampu mencapai 20,7 @7019 rpm.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arif, M.K. (2017). *Perancangan Kerangka Chasis Mobil Minimalis Roda Tiga. Tugas Akhir Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya.*

- [2] Darmawansyah (2015). *Pengaruh Pembebanan Mesin terhadap Torsi dan Daya yang dihasilkan Mesin Matari MGX200/SL*. **Tugas Akhir Universitas Muhammadiyah Pontianak**, Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah, Pontianak.
- [3] Hawadi, L.F. (2013). **Komponen Utama Mesin Bensin**. Kementrian Pendidikan dan Kebudayaan Direktorat Jenderal Pendidikan Anak Usia dini Nonformal dan Informal Direktorat Khusus Pembinaan dan Pelatihan, Jakarta.
- [4] Rahman F. R., Wikarta A dan Sutantra I. N. (2018). *Perancangan dan Analisis Karakteristik Traksi pada Mobil Pedesaan Serbaguna WAPRODES*. **Jurnal Teknik ITS**, Vol 7, No 1 2337-3539, Departemen Teknik Mesin, Fakultas Industri Institut Teknologi Sepuluh November.
- [5] Prayoga, B. D., Purnomo, H., & Bisono, F. (2018, January). Perancangan Dan Analisis Sistem Pengereman Hydraulic Pada Mobil Minimalis Roda Tiga. In Conference on Design and Manufacture and Its Application (Vol. 1, No. 1, pp. 094-104).
- [6] Sutiman dan Solikin A. (2005). **Mesin Sepeda Motor**. Insania, Yogyakarta

Proses Produksi Pembuatan dan Perakitan Mesin Pencacah Plastik

Vinky Try Octavia^{1*}, Muhamad Ari², Fipka Bisono³

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jl. Teknik Kimia, Kampus ITS, Sukolilo, Surabaya 60111, Indonesia^{1,3}

Program Studi Teknik Pengelasan, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jl. Teknik Kimia, Kampus ITS, Sukolilo, Surabaya 60111, Indonesia²

E-mail: vinkutambunan712@gmail.com^{1*}

Abstract – Production process to build a machine must make some planning for the production process to run effectively and efficiently. Production process is the activity of creating or adding usefulness product. Where the production process must be completed on time. Activity On Node (AON) method is a method used to create network planning in production process of a tool or machine. Before creating a networked the first step is make group of activities undertaken during the production process. After that can determine the critical path in the production process. From this study examines we learn how to create a network of plastic crusher machine by Activity On Node (AON) method. The results showed the production process and assembly of crusher plastic machine using several machining processes such as turning, shaping, drilling and grinding. The assembly process is done manually with the welding process. AON method (Activity On Node) got total working hours equal to 114 hours that is 14.25 day and there are 9 critical path. The total cost required during the production process of crusher plastic machine as a solution to reduce plastic waste is Rp. 10.344.500,-.

Keywords:AON (Activity On Node), Crusher Plastic, Production Cost

1. PENDAHULUAN

Permasalahan tentang sampah merupakan sesuatu yang harus diperhatikan dengan serius. Permasalahan sampah dari tahun ke tahun yang selalu meningkat berbanding lurus dengan bertambahnya jumlah penduduk. Dari pertambahan jumlah penduduk ini maka berakibat juga terhadap jumlah sampah yang dihasilkan.

Industri pengolahan plastik atau pembuatan plastik membutuhkan bahan baku dalam jumlah yang besar dikarenakan banyaknya permintaan plastik dan tidak jarang kehabisan bahan baku untuk pembuatan plastik. Berdasarkan hasil survei ke daerah-daerah yang sebagian besar warganya bekerja sebagai pengumpul plastik, masyarakat mempunyai keinginan untuk menghancurkan atau mencacah plastik tersebut menjadi biji-biji plastik kemudian dikirim ke pabrik untuk di daur ulang, permasalahan yang timbul adalah mahalnya harga mesin tersebut dan banyak pengumpul sampah plastik tidak mampu untuk membelinya.

Dalam penelitian ini dirancang mesin pencacah plastik yang dapat dijangkau masyarakat atau dengan kata lain lebih murah dari yang ada dipasaran, langkah awal yang perlu dilakukan adalah menentukan urutan atau aktivitas-aktivitas selama proses produksi pembuatan mesin pencacah plastik dengan menggunakan metode AON (*Activity On Node*) sehingga nantinya didapatkan alur proses produksi mesin pencacah plastik. Kedua, mengetahui waktu yang diharapkan untuk penyelesaian aktivitas proses produksi mesin pencacah plastik. Yang ketiga

adalah melakukan proses pembuatan setiap komponen mesin pencacah plastik dan setelah selesai pembuatan seluruh komponen dilanjutkan proses perakitan (*Assembly Time*) komponen-komponen yang telah dibuat sebelumnya. Jika sudah didapatkan alur proses produksi pembuatan dan perakitan mesin pencacah plastik tersebut dapat digunakan untuk membuat perhitungan biaya produksi yang dibutuhkan dalam pengerjaan mesin pencacah plastik, sehingga dapat disimpulkan besar biaya yang diperlukan dalam produksi mesin pencacah plastik. Oleh sebab itu, penulis mengambil judul :“**Proses Produksi Pembuatan dan Perakitan Mesin Pencacah Plastik**”.

2. METODOLOGI

2.1 Proses Permesinan

Menurut (Rinaldi,2014) dalam suatu mesin perkakas akan terjadi kombinasi dari gerak potong dan gerak makan yang akhirnya akan menghasilkan proses perautan. Proses Perautan tersebut akan menghasilkan geram, dikatakan kombinasi karena jika hanya terjadi gerakan potong atau gerakan makan maka proses pemotongan tidak akan menghasilkan geram. Klasifikasi proses permesinan menurut jenis kombinasi dari gerakan makan dan gerakan potong yaitu :

- a. Proses Bubut (*Turning*)
- b. Proses menggurdi (*Drilling*)
- c. Proses mengefraisi (*Miling*)
- d. Proses menggerinda (*Grinding*)

- e. Proses Menyekrap (*Shaping*)
- f. Proses menggergaji (*Sawing*)

2.2 Jaringan Kerja

Menurut (Soeharto,1997) Pada prinsipnya jaringan kerja merupakan hubungan ketergantungan antara bagian-bagian pekerjaan yang digambarkan atau divisualisasikan dengan *network*. Metode ini mampu menyuguhkan teknik dasar dalam menentukan urutan dan kurun waktu kegiatan unsur proyek, dan pada giliran selanjutnya dapat dipakai memperkirakan waktu penyelesaian proyek secara keseluruhan.

2.3 Cara Perhitungan

- a. *Forward Pass* (Perhitungan Maju) yaitu mulai dari awal jaringan kerja bergerak menuju akhir jaringan kerja.

Tabel 1: Perhitungan *Forward*

FORWARD
$ES_{(i)} = (\text{Pilih angka terbesar dari})$
$ES_{(i)} + SS_{(i-j)}, \text{ atau}$
$ES_{(i)} + SF_{(i-j)} - D_{(i)}, \text{ atau}$
$EF_{(i)} + FS_{(i-j)}, \text{ atau}$
$EF_{(i)} + FF_{(i-j)} - D_{(i)}$
$EF_{(i)} = ES_{(i)} + D_{(i)}$

(Sumber: Sari,2018)

- b. *Backward Pass* (Perhitungan Mundur) yaitu dimulai dengan kegiatan terakhir dari jaringan kerja menuju ke kegiatan paling awal dari jaringan kerja.

Tabel 2: Perhitungan *Backward*

BACKWARD
$LF_{(i)} = (\text{Pilih angka terkecil dari})$
$LF_{(i)} - FF_{(i-j)}, \text{ atau}$
$LS_{(i)} - FS_{(i-j)}, \text{ atau}$
$LF_{(i)} - SF_{(i-j)} + D_{(i)}, \text{ atau}$
$LS_{(i)} + SS_{(i-j)} + D_{(i)}$
$LS_{(i)} = LF_{(i)} - D_{(i)}$

(Sumber: Sari,2018)

2.4 Metode Variabel Costing

Akuntansi Biaya menurut (Mulyadi,2014) adalah proses pencatatan, penggolongan, peringkasan, dan penyajian biaya pembuatan produk dan penjualan produk atau jasa dengan cara-cara tertentu serta penafsiran terhadapnya. Apabila memakai informasi tersebut di dalam perusahaan maka, akuntansi biaya menjadi bagian dari akuntansi manajemen. Sedangkan apabila informasi yang disajikan adalah untuk dipakai di luar perusahaan maka akuntansi biaya akan menjadi bagian dari akuntansi keuangan.

Tabel 3: Rumusan perhitungan harga pokok produksi variable costing

Biaya bahan baku	Rp.
Biaya tenaga kerja langsung	Rp.
Biaya <i>overhead</i> pabrik <i>variable</i>	Rp.
Harga pokok produksi	Rp.

(Sumber :Mulyadi, 2005 : 18)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

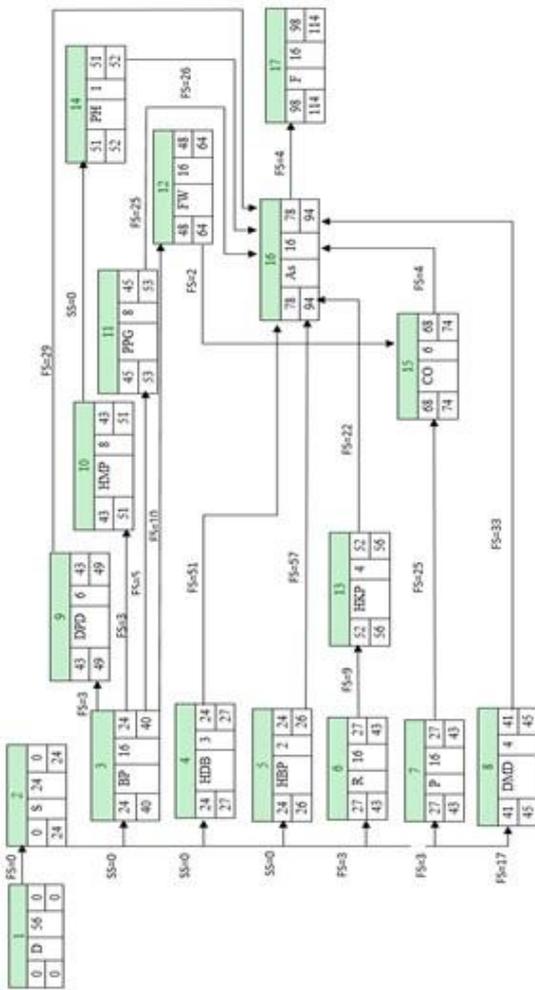
3.1 *Network Planning* dengan Metode *Activity On Node* (AON)

Ketika memproduksi sebuah produk diperlukan perencanaan yang jelas agar segala aktivitas/kegiatan yang akan dilakukan dapat dipantau dengan baik. Perencanaan biasanya terdiri dari membuat urutan kerja atau biasa disebut dengan tabel kegiatan dengan memperkirakan estimasi waktu yang dibutuhkan dalam proses pengerjaan produk harus dibuat secara detail.

Tabel 4: Pengelompokan Aktivitas dan Durasi (Berdasarkan Plan)

No.	Aktivitas	Kode Kegiatan	Kegiatan sebelumnya	Lama Pelaksanaan (Jam)
1.	Desain	A	-	56 jam
2.	Survey dan Pembelian Material	B	A	24 jam
3.	Bak Pemotong	C	B	16 jam
4.	Dudukan Pisau diam	D	C	6 jam
5.	Holder dudukan bearing	E	B	3 jam
6.	Holder bak pemotong	F	B	2 jam
7.	Hopper memasukkan plastik	G	C	8 jam
8.	Penutup Hopper	H	G	1 jam
9.	Poros pisau gerak	I	C	8 jam
10.	<i>Fly wheel</i>	J	C	16 jam
11.	Rangka	K	B	16 jam
12.	<i>Pulley</i>	L	B	16 jam
13.	Hopper keluaran plastik	M	K	4 jam
14.	Dudukan mesin diesel	N	B	4 jam
15.	Cover fly wheel dan cover pulley	O	J,L	6 jam
16.	Assembly	P	-	16 jam
17.	Finishing	Q	-	16 jam

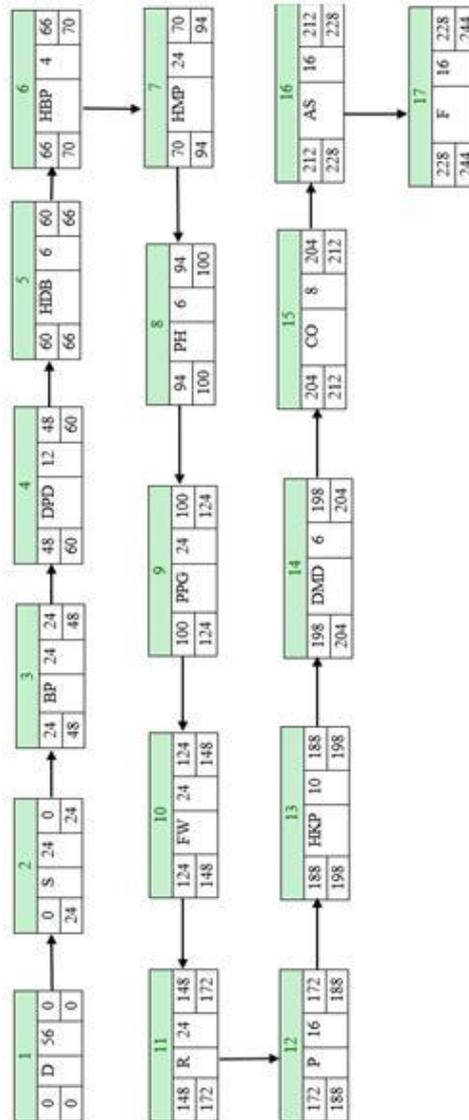
3.2 Jaringan Kerja berdasarkan Plan



Gambar 1. Jaringan Kerja Plan (Bengkel PuteraAnugerah,2018)

Berdasarkan perhitungan maju dan mundur diagram jaringan proses produksi mesin pencacah plastik diketahui bahwa total jam kerja yang dibutuhkan adalah 114 jam. Dimana untuk perhitungan jam kerja efektif 1 hari adalah 8 jam. Oleh karena itu dapat disimpulkan rencana proses pembuatan dan perakitan mesin pencacah plastik memakan waktu $114 \text{ jam} / 8 = 14.25$ hari dari waktu kerja efektif.

3.3 Jaringan Kerja berdasarkan Aktual di Lapangan



Gambar 2. Jaringan Kerja Aktual(Bengkel Putera Anugerah,2018)

Pada jadwal aktual atau jadwal kenyataan yang terjadi di lapangan juga menggunakan hitungan maju dan mundur untuk mendapatkan penyelesaian tercepat. Dan pada pembuatan dan perakitan mesin pencacah plastik aktual di lapangan dikerjakan 244 jam / 8 jam kerja sehari didapatkan 30.5 hari.

- a) Terdapat 1 jalur kritis selama proses produksi pembuatan dan perakitan mesin pencacah plastik secara aktual di lapangan :
- $B - C - D - E - F - G - H - I - J - K - L - M - N - O - P = 244$
- b) Terdapat 9 jalur kritis pada proses produksi pembuatan dan perakitan mesin pencacah plastik berdasarkan plan :
- $B - C - I - P - Q = 24 + 16 + 3 + 6 + 29 + 16 + 4 + 16 = 114$
 - $B - C - J - N - P - Q = 24 + 16 + 3 + 8 + 1 + 26 + 16 + 4 + 16 = 114$
 - $B - C - K - P - Q = 24 + 16 + 5 + 8 + 25 + 16 + 4 + 16 = 114$
 - $B - C - L - O - P - Q = 24 + 16 + 10 + 16 + 2 + 6 + 4 + 16 + 4 + 16 = 114$
 - $B - D - P - Q = 24 + 3 + 51 + 16 + 4 + 16 = 114$
 - $B - E - P - Q = 24 + 2 + 52 + 16 + 4 + 16 = 114$
 - $B - F - M - P - Q = 24 + 3 + 16 + 9 + 4 + 22 + 16 + 4 + 16 = 114$
 - $B - G - O - P - Q = 24 + 3 + 16 + 25 + 6 + 4 + 16 + 4 + 16 = 114$
 - $B - H - P - Q = 24 + 17 + 4 + 33 + 16 + 4 + 16 = 114$

3.4 Perhitungan Biaya

Biaya total pengeluaran disini adalah jumlah dari keseluruhan biaya yang dikeluarkan dalam proses produksi mesin pencacah plastik. Dari biaya total ini seorang penjual akan menemukan harga jual dari produk tersebut. Sehingga perlu untuk diketahui biaya total pembuatan, seperti tertera pada tabel berikut:

Tabel 5: Biaya Total Produksi Berdasarkan Plan

No.	Jenis Pengeluaran	Biaya
1.	Pembelian Material	Rp. 7.678.500,-
2.	Biaya Bengkel	Rp. 1.000.000,-
3.	Biaya manufaktur	Rp. 1.470.000,-
4.	Biaya Tak terduga	Rp. 196.000,-
TOTAL		Rp. 10.344.500,-

(Sumber: Pengolahan Data,2018)

Jadi total biaya yang dikeluarkan berdasarkan plan adalah sebesar Rp. 10.344.500,- dengan total pengerjaan selama 114 jam setara dengan pengerjaan selama 14,25 hari waktu efektif. Besar biaya yang dikeluarkan tersebut wajar. Dimana produk ini diproduksi secara massal, maka akan menekan biaya yang dikeluarkan dengan perbaikan manufaktur terutama dalam proses waktu pembuatan dan pemilihan bahan.

Tabel 6: Biaya Total Produksi Berdasarkan Plan

No.	Jenis Pengeluaran	Biaya
1.	Pembelian Material	Rp. 7.678.500,-
2.	Biaya Bengkel	Rp. 2.100.000,-
3.	Biaya manufaktur	Rp. 3.420.000,-
4.	Biaya Tak terduga	Rp. 402.000,-
TOTAL		Rp. 13.600.500,-

(Sumber: Pengolahan Data,2018)

Jadi total biaya yang dikeluarkan berdasarkan aktual di lapangan adalah sebesar Rp. 13.600.500,- dengan total pengerjaan selama 244 jam setara dengan pengerjaan selama 30,5 hari waktu efektif.

4. KESIMPULAN

Hasil dari penelitian Tugas Akhir yang sudah dilakukan, didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Proses produksi pembuatan dan perakitan mesin pencacah plastik menggunakan beberapa proses permesinan seperti proses bubut, sekrup, menggurdi dan gerinda. Sedangkan proses perakitan dilakukan secara manual dengan proses pengelasan yaitu menggabungkan komponen-komponen mesin pencacah plastik.
- Didapatkan alur proses produksi pembuatan dan perakitan mesin pencacah plastik yang efektif dengan metode jaringan kerja AON (*Activity On Node*) didapatkan 9 jalur kritis antara lain :
 - $B - C - I - P - Q = 24 + 16 + 3 + 6 + 29 + 16 + 4 + 16 = 114$
 - $B - C - J - N - P - Q = 24 + 16 + 3 + 8 + 1 + 26 + 16 + 4 + 16 = 114$
 - $B - C - K - P - Q = 24 + 16 + 5 + 8 + 25 + 16 + 4 + 16 = 114$
 - $B - C - L - O - P - Q = 24 + 16 + 10 + 16 + 2 + 6 + 4 + 16 + 4 + 16 = 114$
 - $B - D - P - Q = 24 + 3 + 51 + 16 + 4 + 16 = 114$
 - $B - E - P - Q = 24 + 2 + 52 + 16 + 4 + 16 = 114$
 - $B - F - M - P - Q = 24 + 3 + 16 + 9 + 4 + 22 + 16 + 4 + 16 = 114$
 - $B - G - O - P - Q = 24 + 3 + 16 + 25 + 6 + 4 + 16 + 4 + 16 = 114$
 - $B - H - P - Q = 24 + 17 + 4 + 33 + 16 + 4 + 16 = 114$

Dengan total durasi pengerjaan 14,25 hari lebih cepat dibanding produk *existing* yang proses produksinya \pm 30 hari dengan harga pasaran Rp.15.000.000,- .

- Didapatkan total keseluruhan biaya yang diperlukan selama pembuatan mesin pencacah plastik adalah sejumlah Rp.10.344.500,-

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mulyadi,P., (2014). *Perakitan dan Pembuatan kursi roda multifungsi*. Teknik mesin. ITS, Surabaya.
- [2] Sari D,Puspita., (2018). *Perbandingan Penjadwalan Proyek menggunakan Precedence Diagram Method (PDM), Line of Balance (LoB), dan Ranked Position Weight Method (RPWM) Terhadap Pembangunan Cirvulating Close Cooling Water System. Tugas Akhir*. MO141326. ITS, Surabaya.
- [3] Soeharto,I., (1997), **Manajemen Proyek (Dari Konseptual Sampai Operasional) Edisi 1**. Erlangga, Jakarta
- [4] Soeharto,I., (1999), **Manajemen Proyek (Dari Konseptual Sampai Operasional) Edisi 2**. Erlangga, Jakarta

Rancang Bangun Alat Pengujian Tekanan (*Burst Test*) pada Produk Plastik *Tube* Garnier 100ml dengan Sistem Elektropneumatik

Ahmad Bagus Asmara Dana^{1*}, Heroe Poernomo², Rizal Indrawan³

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia^{1,3}

Program Studi Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.²

E-mail: bagusasmara.ig@gmail.com^{1*}

Abstract – The development of Indonesian and world manufacturing industries is currently growing very rapidly due to technological advances in various fields. As a result, consumers become more critical in choosing and determining a product or service to be used. Manufacturing company engaged in manufacturing plastic packaging in Ngoro, East Java. Complaints often occur from customers for products that often experience plastic connections that are not perfectly bonded and also the tools to carry out these tests have some disadvantages of efficient and safety levels for operators. The method used for making pressure testing equipment on 100ml garnier products with a pneumatic system to overcome these problems. The working system of this machine is to put pressure on 2 products simultaneously which will be set by solenoid valve 3/2 and the timer will automatically calculate which serves to calculate the holding time of the pressure. The process of making this machine with several stages, namely design, making drawing details, electro pneumatic system planning, fabrication and assembly stages. The results of this machine can fill optimally with a maximum pressure of 2 bars into both products in a single test with the appropriate pressure. It is hoped that electrophorics will work for this testing machine

Keywords: Air Pressure, Burst Test, Plastic Tube.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan industri manufaktur Indonesia maupun dunia saat ini berkembang sangat pesat karena adanya kemajuan teknologi di berbagai bidang salah satunya di dalam bidang manufaktur. Peningkatan teknologi setiap tahunnya berdampak pada peningkatan keinginan para konsumen maupun perusahaan (produsen) untuk meningkatkan kualitas produk yang dihasilkan. Kualitas produk salah satu faktor peningkat kepuasan konsumen. Dan setelah mendapatkan kualitas produk yang bagus harus adanya pengendalian kualitas produk tersebut.

Jam produksi yang terus menerus untuk memenuhi kebutuhan pesanan, mesin sering terjadi kendala pada bagian pembentukan tube untuk menempelkan satu sisi plastik ke sisi lainnya dengan cara adanya steel belt yang melintas di atas sambungan tube dengan suhu panas tertentu, karena steel belt sering digunakan dan kurang memperhatikan kualitas steel belt, steel belt tidak optimal pada proses pemanasan untuk menyambungkan tube tersebut. Kurangnya optimal pemanasan membuat berkurangnya kualitas pada daya tahan sambungan tube. Daya tahan pada produk ini sendiri menjadi salah satu hal terpenting karena pada pihak konsumen ada proses pengisian cairan isi produk yang dilakukan oleh mesin otomatis dengan tekanan yang cukup besar, dan sering sekali kejadian sambungan yang

kurang optimal terlepas atau mengalami kebocoran pada proses pengisian cairan produk tersebut. Dari pihak departemen Quality Control berupaya untuk meminimalisir kegagalan pada bagian daya tahan sambungan produk, salah satu upaya yang dilakukan pengujian sampel produk setiap pergantian jam kerja / pergantian produksi, pengujian produk tube secara manual yaitu dengan cara memasukkan angin lubang utama pada produk hanya dengan digenggam oleh operator quality, dan produk akan mengembang kemudian ditahan sampai beberapa detik untuk memastikan produk itu kuat untuk daya tahan pada sambungannya.

Berdasarkan latar belakang di atas penulis mencoba merancang alat yang lebih efisien dan mempermudah pada saat pengerjaan dibandingkan alat sebelumnya yaitu dengan menambahkan alat pencekam untuk menghindarkan operator dari bahaya ledakan pada produk, akan adanya 2 pencekaman produk untuk sekali pengujian dan dibuat semi otomatis untuk alat pengujian ini dengan menambahkan sistem elektropneumatik untuk mempermudah operator saat melakukan pengujian.

2. METODOLOGI

Secara garis besar penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

- a. Mengetahui Komponen Sistem Elektro Pneumatik.

Komponen utama pada sistem elektro pneumatic seperti kompresor, *solenoid valve*, *piston*, *reducing valve*, *filter*.

- b. Menghitung Daya Kompresor

Menurut Sularso, Tahara (2000) perhitungan untuk menghitung daya kompresorsecara teoritis yang dibutuhkan dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Volume Gas } Q_s = \eta_v \times Q_{th} \quad (1)$$

$$\text{Daya adiabetis teoritis } L_s = \frac{(L_{ad})}{(\eta_{ad})} \quad (2)$$

Dimana :

Q_s = Volume gas yang dihasilkan (m³/min)

Q_{th} = Perpindahan torak (m³/min)

η_v = Efisiensi volumetris

η_{ad} = Efisiensi adiabatik keseluruhan sebesar 70%

L_s = Daya yang masuk pada kompresor (kW)

L_{ad} = Daya adiabatik teoritis (kW)

- c. Perhitungan Struktur Konstruksi.

Gaya tekan

$$P = \frac{P_{design}}{n} \quad (3)$$

Dimana :

P = Gaya tekan (N)

P_{design} = Gaya faktor desain (N)

n = jumlah struktur

Momen maksimal

$$M_{max} = P l / 8 \quad (4)$$

Dimana :

P = P_{design} (N)

l = Panjang profil yang digunakan (mm)

Modulus yang dibutuhkan

$$W_{req} = \frac{M_{max}}{\sigma} \quad (5)$$

Dimana :

W_{req} = Modulus yang dibutuhkan (mm³)

M_{max} = Momen maksimum yang bekerja pada profil (Nmm)

σ = Tegangan ijin dari material profil (N/mm²)

Deformasi maksimal

$$\Delta = \frac{P \times L^3}{48 \times E \times I} \quad (6)$$

Dimana :

Δ = Deformasi maksimal (mm)

P = Gaya tekan yang diterima (N)

L = Panjang profil (mm)

E = Modulus elastisitas (N/mm²)

I = Inersia (mm⁴)

Tegangan maksimum

$$\sigma = F/A \quad (7)$$

Dimana :

σ = Tegangan maksimum (Pa)

F = Gaya (N)

A = Luas penampang (m²)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Perhitungan pada Mesin

(2)

Tabel 1: Hasil dari perhitungan

No	Perhitungan	Hasil
1	P_{design}	58,8 N
2	Gaya tekan pada profil horizontal $L = 400\text{mm}$	29,4 N
3	M_{max}	1470 Nmm
4	$W_{requirement}$	0,023 cm ³
5	Gaya tekan pada profil horizontal $L = 600\text{mm}$	29,4 N
6	M_{max}	2205 Nmm
7	$W_{requirement}$	0,036 cm ³
8	Gaya tekan pada profil vertical $L = 750\text{mm}$	0,017mm
9	M_{max}	2946,06 Nmm
10	$W_{requirement}$	0,047 cm ³
11	Defleksi konstruksi	0,017mm

Tabel 2: Hasil perhitungan daya compressor

No	Perhitungan	Hasil
1	Daya yang dibutuhkan kompresor	0,242 kW
2	Daya minimal tekanan kompresor	29 Psi

Hasil Pengujian

Untuk pengujian mesin dilakukannya perubahan tekanan pada sumber tekanan yaitu 1 bar, 1,5 bar, 2 bar dan 2,5. Maksimal tekanan pada produk ini pada 2 bar dan pada tekanan 2.5 bar semua produk yang diuji mengalami kebocoran. Setelah itu dilakukannya pengujian pada produk uji sesuai dengan standart dari perusahaan yang telah ditentukan yaitu dengan tekanan 2 bar selama 10 detik. Hasil seperti gambar 1 dan 2 :



Gambar 1. Contoh produk lolos uji tekanan



Gambar 2. Contoh produk yang tidak lolos uji tekanan

Pada pengujian tersebut dilakukan dengan bersamaan yaitu dengan tekanan 2 bar dengan waktu 10 detik dan pada gambar 2 terjadi kebocoran karena sambungan pada produk tidak memenuhi syarat lolos uji. Selanjutnya untuk produk yang lolos uji dilakukannya proses pengujian kualitas lainnya.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari pembahasan diatas diperoleh hasil sebagai berikut :

1. Pada perencanaan mesin ini menggunakan profil hollow 25 x 25 x 1,2 mm sebagai konstruksi kaki mesin dengan nilai modulus 0,81 cm³. Nilai defleksi pada profil sebesar 0,017 mm dan dikatakan aman karena nilai lebih kecil daripada nilai defleksi ijin yaitu sebesar 4,17 mm. Pada perencanaan untuk konstruksi box untuk box control dan box uji di pilih plat dengan tebal 3 mm karena mudah di bentuk dan mudah saat proses pengelasan. Daya kompresor yang dibutuhkan mesin ini dengan tekanan 2 kgf/cm² sebesar 0,242 kW atau 242 Watt. Dengan ukuran utama mesin yaitu panjang 550 mm lebar 450 mm dan tinggi 850 mm. Sesuai dengan gambar teknik yang terlampir.
2. Pada proses pengujian produk dilakukan dengan 2 produk uji sekaligus, dengan memanfaatkan fitting T yang ada pada rangkaian elektro pneumatik setelah pada solenoid valve adanya fitting T untuk membagi tekanan dari kompresor menuju ke pencekam dan produk.
3. Rangkaian elektropneumatiknya menggunakan 1 power supply 24 V DC, Selenoid Valve 3/2 1 unit sebagai pengatur udara masuk ke produk uji, Pressure gauge 4 Bar 2 unit, Air filter regulator 1 unit untuk menyaring udara dari kompresor masuk ke solenoid dan produk uji, Digital timer 1 unit untuk mengatur berapa lama waktu tekanan yang masuk ke produk uji, Push button 1 unit untuk mengoperasikan mesin ini.

4. Setelah dilakukan pengujian mesin didapatkan produk dengan spesifikasi Garnier 100ml maksimal menerima tekanan pada 2 kgf/cm² dengan waktu pengujian 10 detik. Karena dari pengujian yang sudah dilakukan dengan tekanan 2.5 kgf/cm waktu pengujian selama 10 detik produk akan meledak melebihi batas maksimal dari kekuatan sambungan

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rizqi, M A. (2016). *Rancang Bangun Mesin Stamping Part Number Otomatis pada Kampas Rem Menggunakan Sistem Elektropneumatik*. **Tugas Akhir**, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya.
- [2] Sularso, dan Tahara, H. (2000). *Pompa dan Kompresor*. PT.Pradnya Paramita, Jakarta.
- [3] Wicaksana, D., Poernomo, H., & Bisono, F. (2018, January). Rancang Bangun Mesin Pencetak Tahu Takwa Dan Stik Tahu Menggunakan Sistem Elektropneumatik. In Conference on Design and Manufacture and Its Application (Vol. 1, No. 1, pp. 212-218)

Rancang Bangun Anti *Rust Electric Control* pada Mesin CNC

Muhammad Zia'ulhaq Iqramullah^{1*}, Fipka Bisono², Fais Hamzah³

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia^{1,2,3}
E-mail: ziaulhaq.iqramullah@gmail.com^{1*}

Abstract – The use of a machine with Computer Numerical Control (CNC) technology is one of the alternatives in a manufacturing process. In the process of machining using Computer Numerical Controlled (CNC), it is necessary to check the condition of the machine, because in machining process requires good machine quality, tools using, cooling components, material in use and appropriate feeding procedure, so it can produce desired product. The common obstacles in CNC machine is to overcome the corrosion that usually occurs in telescopic cover in CNC machine, so on the method of forced flow (ICCP) with microcontroller system is applied. This method was chosen because it is easy to control the protection current that given to the system, this research using anode that made from graphite material and cathode which is stainless steel 304, with temperature variable 40 °C and giving protection current 0,25 mA and 0,50 mA corresponds to the protection surface area of 27.7172 cm² which requires a 0.066 mA current. Corrosion testing using the weight loss method is measuring the corrosion rate by measuring weight loss. From the previous test result using immersion test for 2 days corrosion rate that happened at 6,2008 mm / year then with rust electric control test for 2 days resulted corrosion rate 2,5293 mm / year at current 0,25 mA whereas 0, 50 mA produced a corrosion rate of 1.8580 mm / year. It can be concluded that the increase in the current input can slow down the rate of corrosion that occurs in SS 304 material.

Keywords: *Impressed Current Cathodic Protection, Immersion Test, protection Current, Rust Electric Control, Weight Loss.*

1. PENDAHULUAN

Perkembangan IPTEK dalam persaingan global saat ini tumbuh semakin pesat di antaranya industri manufaktur harus mampu bersaing dalam beberapa faktor penting, seperti peningkatan kualitas produk, kecepatan proses manufaktur, dan penurunan biaya produksi. Penggunaan sebuah mesin dengan teknologi *Computer Numerical Control* (CNC) menjadi salah satu alternatif dalam sebuah proses manufaktur. Dalam proses machining menggunakan *Computer Numerical Controlled* (CNC) pastinya perlu diadakannya pengecekan terlebih dahulu dari kondisi mesin itu tersebut, karena dalam proses machining membutuhkan kualitas mesin yang baik, tool yang di gunakan, komponen pendingin, material yang di pakai dan proses pemakanan yang sesuai prosedur, pembersihan yang detail setelah melakukan machining, sehingga dapat menghasilkan sebuah produk yang di inginkan. Tetapi dalam hal ini mesin CNC belum adanya *maintenance* terhadap karat yang terjadi pada *telescopic cover* CNC, dalam penggunaan cairan di mesin CNC atau yang sering kita sebut sebagai *coolant*, yang pada umumnya berfungsi untuk mendinginkan setiap proses pemotongan atau pemahatan. Dalam jangka waktu tertentu *coolant* perlu di ganti karena kotor ataupun terkontaminasi oleh zat - zat lain seperti karat, gram, ataupun bakteri – bakteri yang lain yang berpengaruh apabila limbah cair langsung dibuang

pada aliran sungai ataupun di atas tanah yang akan memberikan dampak buruk pada lingkungan. Langkah yang dilakukan dalam usaha untuk memperbaiki masalah korosi yang terjadi adalah membuat dan merancang *rust electric control* pada *telescopic cover* di mesin CNC dengan metode *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP). Metode ini digunakan karena dapat memperlambat laju korosi yang terjadi ada *telescopic cover* di mesin CNC dengan cara pemberian arus yang sesuai dengan luas permukaan yang diketahui.

2. METODOLOGI

Secara garis besar penelitian yang dilakukan untuk merancang alat anti *rust electric control* pada mesin CNC adalah sebagai berikut :

a. Observasi dan Studi Literatur

Studi literatur dimaksudkan untuk mendapatkan kumpulan – kumpulan informasi atau data sebagai bahan acuan dalam pembuatan tugas akhir. Jenis metode pengambilan data dengan cara mengumpulkan data – data serta informasi melalui buku, jurnal – jurnal skripsi maupun mendatangi dan melakukan tanya jawab dengan beberapa koresponden.

b. Identifikasi masalah

Pada tahapan ini dapat diidentifikasi beberapa masalah yang ditemui dalam korosi yang terjadi pada *telescopic cover* pada mesin CNC, yaitu:

1. Kondisi air *coolant* yang sudah tidak sesuai dalam untuk proses *machining*.
2. Kondisi gram yang menempel pada *telescopic cover*.
3. Belum adanya *maintenance* pada *telescopic cover*.

c. Pengumpulan Data.

Setelah observasi lapangan, identifikasi masalah dan studi literatur dilaksanakan tahapan selanjutnya adalah pengumpulan data. Yang mana pengumpulan data pada tahapan ini untuk mengumpulkan data yang didapatkan dari observasi, studi literatur, dan identifikasi masalah, yaitu:

1. Material yang digunakan *telescopic cover* pada mesin CNC adalah *stainless steel* dengan tipe 304.
2. Untuk mengetahui laju korosi yang terjadi menggunakan spesimen trial dengan metode *immersion test* dan metode *weight loss test* untuk mengetahui pengurangan berat awal dan berat akhir setelah pengujian *immersion test*. Variabel yang digunakan untuk pengujian ini ada 2 yaitu bebas dan tak bebas. Untuk tak bebas seperti, waktu (2 hari) dan fluida air *coolant*. Untuk bebas yaitu, suhu 40°C dan material *stainless steel* 304. Tahap pengujian menggunakan replikasi sebanyak 2 kali.
3. Pengujian dengan *rust electric control* dengan variabel bebas, suhu 40°C dan material. Variabel tak bebas, waktu (2 hari), fluida air *coolant*, laju korosi *immersion test*, luas permukaan material dan arus yang diberikan 0,25 mA dan 0,50 mA.
4. Luas permukaan spesimen trial, ukuran spesimen yang di gunakan P = 5 cm L = 2,5 cm T = 1,5 cm.

d. Perhitungan Desain Proteksi ICCP.

Perhitungan ini digunakan untuk menentukan desain proteksi ICCP yang baik, yaitu:

1. Luas permukaan spesimen trial, permukaan yang akan dilindungi merupakan luas permukaan logam yang mengalami kontak langsung dengan larutan *coolant*.

$$A = 2(pl + lt + pt) - (\pi r^2) \quad (1)$$

Dimana:

- A = Luas permukaan balok (m²)
- P = Panjang Balok (m)
- L = Lebar Balok (m)
- T = Tinggi Balok (m)
- r² = Jari – jari lingkaran (m)

2. Kebutuhan arus proteksi, merupakan arus minimal yang dibutuhkan untuk melindungi pipa. Kebutuhan arus proteksi melibatkan rapat arus dari pipa, dimana rapat arus pipa tanpa coating sebesar 20 mA/m².

$$I_p = A \times Cd \times 1.2 \quad (2)$$

Dimana:

- I_p = Kebutuhan arus proteksi (mA)
- A = Luas permukaan yang akan diproteksi
- Cd = Rapat arus pipa tanpa coating
- 1.2 = Toleransi 20%

3. Luas permukaan anoda, semakin besar luas permukaan anoda, keluaran arus semakin besar sehingga akan menimbulkan pemborosan.

$$A_a = 2(pl + lt + pt) \quad (3)$$

Dimana:

- A_a = Luas permukaan anoda m²
- P = Panjang Anoda
- L = Lebar anoda
- T = Tinggi anoda

4. Keluaran arus anoda, arus yang mampu dikeluarkan oleh anoda, hal ini berkaitan dengan luas anoda yang digunakan dan jenis anoda. anoda yang digunakan berupa anoda grafit.

$$I_E = A \times Cd_a \quad (4)$$

Dimana:

- I_E = Keluaran arus anoda (mA)
- A_a = Luas permukaan anoda
- Cd_a = Rapat arus anoda

e. Metode *Weight Loss*.

Metode *weight loss* adalah metode mengukur laju korosi dengan mengukur kehilangan berat maka di dapat laju korosi yang terjadi, mengacu pada ASTM G 31 -72 2004, sebagai berikut:

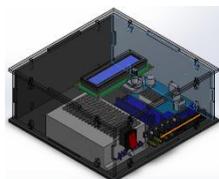
$$Corossion\ Rate = \frac{K \times W}{A \times T \times D} \quad (5)$$

Dimana:

- K = Konstanta korosi (87600)
- W = Massa yang hilang (gram)
- A = Luas area (cm²)
- T = Waktu paparan pengujian (jam)
- D = *Density* / massa jenis logam (g/cm³) *stainless steel* 304 (7,94 g/cm³)

f. Perencanaan dan Pembuatan Mesin.
 Meliputi hal yang berkaitan dengan perangkat keras dan perangkat lunak.

1. Perangkat keras
 Perancangan mekanik dan pembuatan mekanik alat hingga pengemasan.

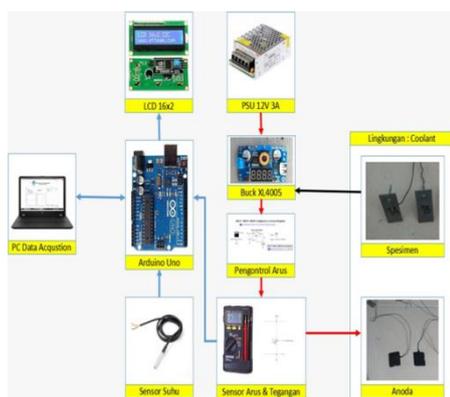


Gambar 1. Desain Rust electric control

Keterangan komponen yang dipakai:

- Box rust electric control
- Power supply 12V 3A
- LCD 16 x 2
- Potensiometer
- Anoda
- Multitester
- Komputer

2. Perangkat lunak
 Pemrograman mikrokontroler Arduino Uno, pemrograman sensor suhu ruangan, pemrograman pengontrol arus.



Gambar 2. Blok diagram Rust electric control

g. Pengujian dan Uji Sistem.
 Pengujian dan uji sistem dilakukan untuk mengetahui hasil kerja dari sistem yang telah dibuat dan untuk memperoleh data dari perangkat keras sehingga diketahui sudah dapat bekerja sesuai dengan yang diinginkan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil perhitungan desain proteksi ICCP didapat hasil, yaitu:

- a. Luas permukaan yang diketahui: $0,00277172 \text{ m}^2$
- b. Kebutuhan arus proteksi: $0,066 \text{ mA}$
- c. Luas permukaan anoda: $1,52 \text{ m}^2$
- d. Keluaran arus anoda: 9625 mA

Nilai Laju Korosi *Immersion Test* dengan Metode *Weight Loss*

Tabel 1: Data Hasil Pengujian Laju Korosi Pengujian *Weight Loss Immersion*

LAJU KOROSI										
NO	Suhu	K	W1	W2	W	D	A	T	CR	CR
SS 1A	40	87600	15,2362	14,5808	0,6554	7,94	27,7172	48	5,4350	6,2008
SS 1B	40	87600	15,0902	14,2501	0,8401	7,94	27,7172	48	6,9667	

Dari hasil perhitungan serta pengujian diperoleh bahwa laju korosi pada air *coolant* dengan menggunakan *immersion test* pada suhu 40°C selama 2 hari menghasilkan nilai laju korosi yaitu $6,2008 \text{ mm/year}$.

Tabel 2: Data Hasil Laju Korosi Pengujian *Weight Loss Rust Electric Control*

LAJU KOROSI											
NO	Suhu	mA	K	W1	W2	W	D	A	T	CR	CR
SS 1A	40 °C	0,25	87600	15,0405	14,8024	0,2381	7,94	27,7172	48	1,9745	2,5293
SS 1B	40 °C	0,25	87600	14,8711	14,4992	0,3719	7,94	27,7172	48	3,0840	
SS 2A	40 °C	0,50	87600	15,0180	14,8467	0,1713	7,94	27,7172	48	1,4205	1,8580
SS 2B	40 °C	0,50	87600	14,9402	14,6634	0,2768	7,94	27,7172	48	2,2954	

Dari hasil perhitungan serta pengujian diperoleh bahwa laju korosi pada air *coolant* dengan menggunakan *rust electric control* pada suhu 40°C serta menggunakan arus sebesar $0,25 \text{ mA}$ menghasilkan nilai laju korosi yaitu $2,5293 \text{ mm/year}$, sedangkan dengan arus sebesar $0,50 \text{ mA}$ menghasilkan nilai laju korosi yaitu $1,8580 \text{ mm/year}$.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan pengumpulan data, proses pengolahan, dan analisis data dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Dihasilkan produk alat anti *rust electric control* yang dapat mengatur arus dalam kebutuhan arus proteksi pada material *stainless steel* dengan pencegahan karat di *telescopic cover* CNC. Kapasitas keluaran arus sebesar $0 - 10 \text{ mA}$ dengan resolusi $0,1$ menggunakan *buck converter*. Serta tambahan sistem dengan mikrokontroler arduino uno sebagai pusat pengendali sistem. Penggunaan power supply dalam *rust electric control* sebagai penyuplai daya dan elektron pada anoda, kemudian anoda akan memproteksi material yang sebagai (katoda).
2. Dengan menggunakan metode *Immpressed Current Cathodic* (ICCP), proses korosi pada logam dapat dikendalikan. Dengan pengujian *weight loss test immersion test* dapat dihasilkan bahwa pengujian dengan air *coolant* pada pengaruh suhu 40°C selama 2 hari mempunyai pengaruh terhadap laju korosi sebesar $6,2008$

mm/year. Serta pengujian alat *rust electric control* untuk *weight loss test* dapat dihasilkan bahwa pengujian dengan air *coolant* pada pengaruh suhu 40°C selama 2 hari dan arus yang dimasukkan dengan 2 variabel yaitu 0,25 mA dan 0,50 mA mempunyai pengaruh terhadap laju korosi sebesar 2,5293 mm/year dan 1,8580 mm/year.

Namun terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi dalam pengujian alat anti *rust electric control* ini yaitu, faktor lingkungan yang terjadi di sekitar pengujian seperti suhu ruang, kelembapan, wadah pengujian dan oksigen.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bisono, F. dan Ulvi, P.A. (2017). *Perancangan Alat Pengolah Limbah Coolant Bekas Mesin CNC Pada Bengkel Permesinan Kapal*. **Jurnal Seminar Master PPNS**, Vol.2, No.1, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
- [2] Fontane, G. M. (1987). *Corrosion Engineering*. McGRAW Hill International Book Company.
- [3] Gunawan, S. (2014). *Kontribusi Hasil Pelatihan CNC Advance Terhadap Perkembangan Kreatif Indonesia*. **Tesis**. Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung.
- [4] Juniantoro, B. G. (2016). *Analisis Toolpath Variasi Zig Zag Dan Spiral Mesin CNC Router Terhadap Benda Kerja Berbahan Acrylic*. **Tugas Akhir**. Universitas Muhammadiyah Surakarta, Solo.
- [5] Nakajima, S. (1992). **Total Productive Maintenance**. Productivity Press, USA.
- [6] Peabody, A. (2001). *Control Of Pipeline Corrosion, Second Edition*. Texas: NACE Internasional.
- [7] Rohmannudin, T. N, dkk. (2016). *Perancangan Proteksi Arus Paksa pada pipa baja API 5L dengan coating dan tanpa coating di dalam tanah*. **Tugas Akhir**. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [8] Tsai, T. M. (1995). *Protection of Steel Using Aluminium Sacrificial Anodes in Artificial Seawater*. **Journal of Marine Science and Technology**, Vol.4, No.4, pp.17-21.
- [9] Trethewey, K. 1991. *Korosi Untuk Mahasiswa dan Rekayasawan*. PT. Gramedia Pusaka Utama, Jakarta.

Rancang Bangun Converter Kit LPG (*Liquefied Petroleum Gas*) Pada Mobil Minimalis Roda Tiga

Mohammad Jauhar Firdaus^{1*}, George Endri Kusuma², dan Tri Andi Setiawan³

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia^{1,3}

Program Studi Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia²

E-mail: mjauharf28@gmail.com^{1*}

Abstract – The most widely used means of transportation for Indonesians are motorized vehicles whose numbers will rise every year. Increasing the number of motor vehicles also affects the increase in the amount of fuel consumption used. The solution offered is the conversion of fuel oil to gas fuel in motor vehicles as an alternative fuel. So that the Converter Kit of BBM to LPG is needed which is easier to obtained than other gas fuels. This research produce Converter Kit LPG which make some concept, then chosen one to make the product. Testing is done by installing Converter kit on the engine of a three-wheeled minimalist car and tested the dynotest and fuel consumption. Obtained the performance of LPG fuel engine with torque and maximum power at 6500 RPM of 15.2 Nm and 12.79 Hp. Fuel consumption is 1 kg in a distance of 30 km or equivalent to Rp 188.89 per km.

Keyword : Minimalist Three Wheel Car, Converter kit, Liquid Petroleum Gas

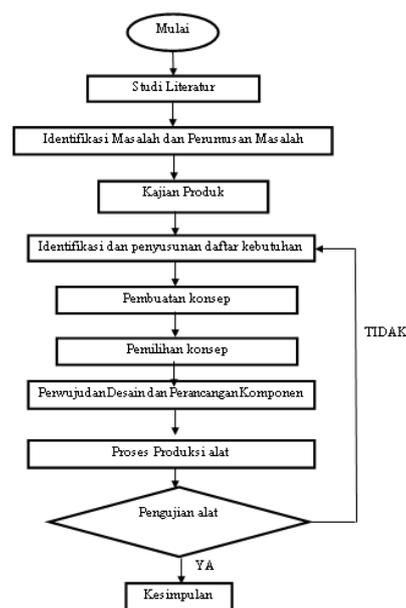
1. PENDAHULUAN

Alat transportasi paling banyak digunakan masyarakat Indonesia adalah kendaraan bermotor yang jumlahnya akan naik setiap tahunnya. Peningkatan jumlah kendaraan bermotor berdampak juga terhadap peningkatan jumlah konsumsi bahan bakar yang digunakan. Sebagian besar kendaraan bermotor masih menggunakan bahan bakar minyak, terutama BBM bersubsidi hal ini perlu mendapat perhatian khusus, karena akan membutuhkan dana subsidi yang besar dan menipisnya persediaan minyak bumi yang termasuk sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui sehingga harga BBM akan semakin mahal bagi sebagian masyarakat.

Dari beberapa penelitian sebelumnya banyak yang menyatakan konsumsi bahan bakar LPG lebih murah dibanding konsumsi bahan bakar bensin. Oleh karena itu, perlu adanya alat transportasi yang efektif dan hemat energi. Melihat kondisi tersebut muncul inovasi mobil 3 roda, mobil yang memiliki bentuk minimalis dengan kapasitas penumpang 2 sampai 3 orang dengan kenyamanan serta keamanan yang baik. Akan lebih baik jika didukung dengan penambahan alat untuk merubah menjadi bahan bakar gas yang lebih murah dari BBM bersubsidi, mengurangi konsumsi BBM bersubsidi, serta emisi gas buang yang ramah lingkungan. Untuk mengatasi masalah tersebut perlu dibuatnya Converter Kit bahan bakar minyak ke bahan bakar gas LPG.

2. METODOLOGI

Penelitian ini membuat Converter Kit BBM ke LPG dengan membuat beberapa konsep yang akan dipilih salah satu sebagai konsep terbaik untuk diwujudkan menjadi produk. Konverter kit, yaitu peralatan yang digunakan pada sistem pemakaian BBG pada kendaraan bermotor. Prinsip kerja konverter kit secara umum adalah menyalurkan LPG dari tabung lewat selang yang nantinya melalui regulator yang berfungsi untuk menurunkan tekanan LPG sebelum masuk ke dalam ruang bakar mesin. Adapun diagram alir (*flowchart diagram*) penelitian ditunjukkan seperti gambar berikut.

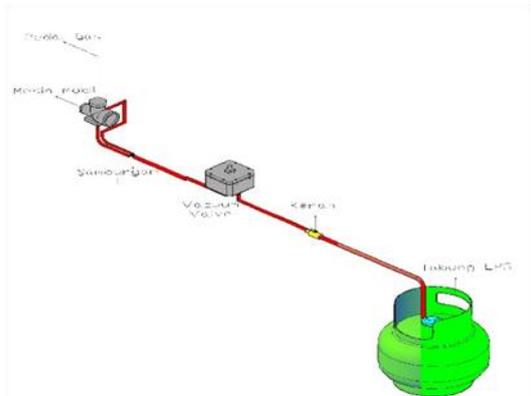


Gambar 1. Diagram Alir Perancangan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

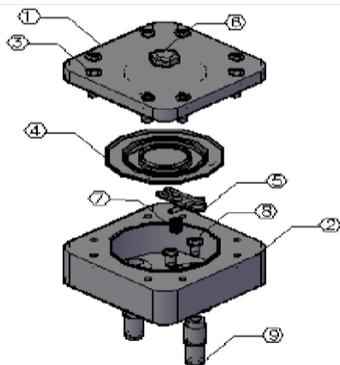
3.1 Perancangan Konverter Kit

Dari hasil penelitian dipilih konsep rancangan konverter kit seperti ditunjukkan pada gambar 2 :



Gambar 2. Skema instalasi konverter kit

Sistem konverter kit terdiri dari beberapa bagian, yaitu tabung Elpiji sebagai tempat penyimpanan bahan bakar LPG, selang sebagai tempat LPG mengalir, Regulator sebagai pengatur tekanan LPG, Keran sebagai katup pembuka dan penutup aliran gas, *vacuum valve* berfungsi untuk menjaga agar tidak terjadi kebocoran saat mesin mati, dan karburator sebagai *mixer* atau tempat bercampurnya udara dan bahan bakar.



Gambar 3. Vacuum Valve

3.2 Pengujian Konverter Kit

Setelah tahapan pembuatan dan pemasangan sistem konverter kit LPG, maka dilakukan uji coba untuk mengetahui apakah konverter kit LPG tersebut bisa berfungsi pada mesin atau tidak. Uji coba alat pada mesin Yamaha Scorpio Z tahun 2007 dengan kapasitas 225 CC. Dari percobaan yang telah dilakukan, mesin bisa dalam kondisi idle namun kondisi akselerasi masih kurang, dan juga sebaliknya apabila dalam kondisi akselerasi, mesin tidak bisa berubah kondisi idle. Hal itu dikarenakan adanya aliran gas LPG tertentu yang sesuai pada masing-masing kondisi, baik idle maupun akselerasi. Sehingga untuk mendapatkan kondisi idle pada mesin, maka regulator *high*

pressure perlu diatur agar mesin mendapatkan kondisi idle. Dan untuk mengatur kondisi akselerasi maka regulator *high pressure* diatur melebihi aliran gas pada kondisi mesin idle.



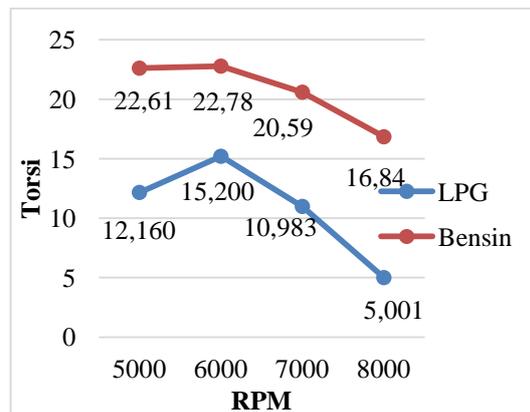
Gambar 4. Pengujian Konverter Kit LPG

Dalam pengujian unjuk kerja terdapat beberapa faktor yang perlu diperhatikan sebagai parameter, diantaranya yaitu daya dan torsi.



Gambar 5. Uji Dynotest

Dari hasil pengujian *dynotest* maka didapatkan grafik perbandingan hasil Torsi terhadap RPM pada mobil roda tiga antara Bahan bakar LPG dengan Bensin

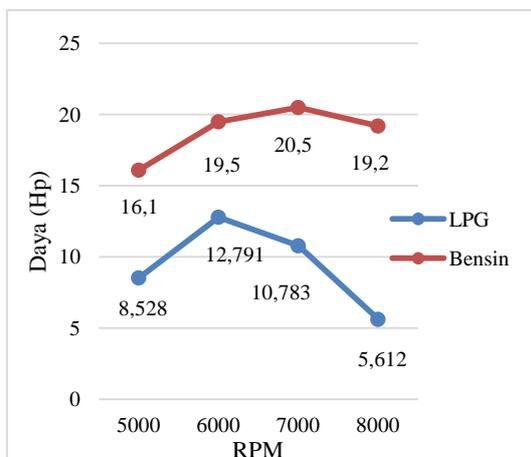


Gambar 6. Grafik perbandingan hasil Torsi terhadap RPM

Hasil analisa Torsi pada grafik hasil pengujian mobil roda tiga menggunakan bahan bakar LPG menunjukkan bahwa :

- Nilai torsi tertinggi sebesar 15,2 Nm didapat saat menggunakan bahan bakar LPG pada RPM 6000 dan bahan bakar bensin 22,70 pada RPM 6000.
- Nilai torsi mesin mobil roda tiga lebih besar saat menggunakan bahan bakar bensin dibandingkan bahan bakar LPG.

Serta didapatkan grafik perbandingan hasil Daya terhadap RPM pada mobil roda tiga antara Bahan bakar LPG dengan Bensin



Gambar 7. Grafik Perbandingan Hasil Daya terhadap RPM

Hasil analisa Daya pada grafik hasil pengujian mobil roda tiga menggunakan bahan bakar LPG menunjukkan bahwa :

- Nilai Daya tertinggi sebesar 12,79 Hp didapat saat menggunakan bahan bakar LPG pada RPM 6000 dan bahan bakar bensin 20,5 pada RPM 6000.
- Nilai Daya mesin mobil roda tiga lebih besar saat menggunakan bahan bakar bensin dibandingkan bahan bakar LPG.

Dari pengujian konsumsi bahan bakar LPG 3 Kg didapatkan hasil seperti yang ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 1: Konsumsi bahan bakar

	Bensin	LPG
S (jarak tempuh dalam Km)	35	3
Konsumsi bahan bakar (Liter atau Kg)	1 Liter	0,1 Kg
Rasio konsumsi bahan bakar	35 :1	30:1

Jadi satu tabung dapat digunakan dalam jarak tempuh 90 Km sehingga biaya bahan bakar sebesar Rp. 188,89 per Km dengan asumsi harga tabung LPG 3 Kg Rp. 17.000.Sedangkan bensin 1 Liter dapat menempuh jarak 35 Km sehingga biaya bahan bakar sebesar Rp. 222.85 per Km dengan asumsi harga Peralite Rp. 7.800 per Liter, sehingga dapat disimpulkan dalam percobaan ini konsumsi bahan bakar LPG masih lebih baik dibanding bahan bakar bensin.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil percobaan yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan:

1. Dari penelitian ini diperoleh hasil perancangan yang mengacu pada konssep ketiga, dimana *vacuum valve* yang memiliki dimensi luar berbentuk persegi sebesar 87 mm x 87 mm

serta volume ruangan dalam berbentuk silinder sebesar 75287 mm³. Dimana dibuat melalui proses *machining* menggunakan mesin CNC *Milling*.

2. Hasil uji coba alat yang telah dirancang dapat bekerja pada mesin mobil roda tiga minimalis, namun ada perbedaan aliran tekanan gas LPG antara mesin dalam kondisi Idle dan kondisi akselerasi sehingga perlu adanya pengaturan pada regulator high pressure pada tabung LPG.Terjadi penurunan kinerja mesin pada saat menggunakan bahan bakar LPG yang dapat dilihat dari torsi dan daya maksimum sebesar 15,2 Nm dan 12,79 Hp yang lebih kecil dibandingkan dengan torsi dan daya mesin saat menggunakan bahan bakar bensin yaitu 22,7 Nm dan 20,5 Hp. Hasil pengujian konsumsi bahan bakar didapatkan bahan bakar LPG lebih hemat dibanding bahan bakar bensin, dengan hasil konsumsi bahan bakar LPG sebesar Rp. 188,89 per Km atau 1 Kg LPG dapat menempuh jarak 60 Km dengan asumsi harga tabung LPG 3 Kg Rp. 17.000.Sedangkan bensin 1 Liter dapat menempuh jarak 35 Km sehingga biaya bahan bakar sebesar Rp. 222.85 per Km dengan asumsi harga Peralite Rp. 7.800 per Liter.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arismunandar, W. (2002). **Penggerak Mula : Motor Bakar Torak**, edisi kelima cetakan satu. Penerbit ITB, Bandung.
- [2] Batan, I. M. L. (2012). **Desain Produk**, Edisi pertama. Penerbit Guna Widya, Surabaya.
- [3] Ma'muri, Kuncoro. A., dan Wisnugroho, S. (2016). *Rancang Bangun Konverter Kit Dual Fuel (LPG – Solar) Untuk Mesin Diesel Kapal Nelayan Tradisional*. **Seminar Nasional Sains dan Teknologi 2016 Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta**. 8 November 2016. Jakarta.
- [4] Muhajir, K. dan Susastriawan, A. A. P. (2016). *Design Optimization of Gas Converter Kit for Three Wheelers Motorcycle*.**International Journal of Enginneering Research & Technology (IJERT)**, Vol 5, Issue 07. Juli 2016.
- [5] Sinaga, N. (2017). *Perancangan Awal Converter Kit LPG Sederhana Untuk Konversi Mesin Bensin Skala Kecil*. **Jurnal Teknik Energi**, Vol. 13, No. 1, pp. 1-6.
- [6] Ulrich, K. T., Eppinger, S. D. (2003) **Product Design and Development**. Mc Graw-Hill, Inc., Printed in Singapore

Rancang bangun Dua Sistem untuk Vakum dan Kompresi dalam Satu Alat yang Digunakan untuk Vacuum Infusion pada Laminasi Kapal Fiber

Aristi Hanifah Fauziyyah^{1*}, Heroe Poernomo², dan Gaguk Suhardjito³

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia¹

Program Studi Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.²

Program Studi Teknik Manajemen Bisnis, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.³

E-mail: aristihanifahfauziyyah@gmail.com^{1*}

Abstract – The method of working vacuum infusion in the shipyard in Indonesia has not been maximally. Due to the large number of equipment required, resulting in shipyard owners still using hand lay-up methods in the process. But in fact the vacuum infusion method has many advantages among lighter and stronger ships, from the cost-savings due to fewer labor costs, faster execution time. In analyzing the above problems using several stages of research and testing. In this study includes the required specifications for the suction speed used in the vacuum pump. While in the testing phase is in the test whether the compressor can function in vacuum and compression. Based on the result of the final assignment study entitled the design of two systems for vacuum and compression in a tool used for vacuum infusion in the fiber vessel lamination process resulted in that the compressor can be used for compression and vacuum but can not be used simultaneously should switch between its use between vacuum and compression. While the pressure generated by the compressor for vacuum infusion is - 0.077 bar.

Keywords: vacuum infusion, compressor, pressure

1. PENDAHULUAN

Pihak galangan kapal ingin memperoleh keuntungan yang maksimal dan menghasilkan kapal dengan kualitas yang baik. Hal tersebut mendorong para pemilik galangan menggunakan metode *vacuum infusion* untuk pembangunan kapal namun pada metode tersebut membutuhkan peralatan yang lebih banyak dibandingkan metode yang lain seperti *hand lay up*. Tetapi apabila dilihat dari segi keuntungannya metode *vacuum infusion* memiliki keuntungan lebih baik dibandingkan dengan *hand lay up* seperti pada hasil laminasi lebih ringan dan kuat, tenaga kerja lebih sedikit, resin yang digunakan lebih sedikit. Tetapi kerugian dari metode vacuum infusion ini membutuhkan biaya investasi peralatan di awal yang mengakibatkan pihak galangan berfikir dua kali untuk menggunakan metode tersebut.

Pada metode *vacuum infusion* memiliki kelemahan yaitu dibidang invesatsi awal karena peralatan yang digunakan dan biaya produksi yang lebih mahal namun hal tesebut seharusnya dapat ditutupi dengan produktifitas galangan yang lebih meningkat karena waktu pengerjaan menggunakan metode ini lebih cepat, dan penggunaan resin lebih sedikit dibandingkan dengan metode lainnya.(Nugroho, 2012).

Metode vacuum infusion ini menghasilkan komposit yang memiliki rasio fiber resin yang

tinggi apabila dibandingkan dengan metode hand lay up. Pada metode hand lay up resin dituangkan secara manual untuk mengalirkan resin, sedangkan pada metode vacuum infusion ini aliran resin ini dilakukan oleh tekanan vakum yang konstan.Penggunaan tekanan vakum yang konstan diaplikasikan untuk mengatur distribusi resin agar tetap. Hal tersebut mengakibatkan rasio fiber resin menjadi tinggi sehingga menghasilkan material komposit yang lebih kuat dan ringan(Risky, 2010).

Oleh karena itu tujuan dari penelitian ini adalah merancang dua sistem antara kompresi dan vakum menjadi satu alat untuk *vacuum infusion* dan mengetahui tekanan yang dibutuhkan saat proses *vacuum infusion* menggunakan kompresor.

2. METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan karena pada tahap observasi dan studi literatur ditemukan beberapa masalah yang terjadi saat laminasi kapal fiber menggunakan *vacuum infusion*. Pada tahap selanjutnya dilakukan identifikasi masalah tentang vacuum infusion yaitu banyaknya investasi di awal untuk peralatan yang digunakan untuk pembangunan kapal. Sehingga penelitian ini diangkat yaitu bagaimana merancang suatu alat yang sebelumnya sudah tersedia di galangan kapal

dapat digunakan untuk proses vakum laminasi kapal fiber. Pada penelitian ini memanfaatkan kompresor dua piston karena setiap galangan pasti memiliki kompresor untuk melakukan pengecetan maupun yang lain. Pada tahap selanjutnya dilakukan perhitungan seperti menghitung spesifikasi kompresor yang dibutuhkan sehingga dapat menghasilkan debit hisap yang sesuai dengan pompa vakum yang sebenarnya. Pada tahap perakitan dipasang *vacuum gauge* meter untuk mengetahui tekanan yang diperoleh saat pengujian.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pemilihan dan Perhitungan Kepala Kompresor

Pada tahap ini melakukan pemelihan dan perhitungan kepala kompresor agar daya hisap yang dihasilkan sesuai dengan yang dibutuhkan untuk proses *vacuum infusion*. Data – data yang didapatkan dari kompresor adalah :

- Piston stroke = 0,06 m
- Piston diameter = 0,04 m
- RPM = 770
- Motor power = 3 HP
- Ø pulley kompresor = 0,27 m
- Ø pulley dinamo = 0,095 m
- Panjang cetakan = 6 m
- Lebar cetakan = 1,2 m

Maka dilakukan perhitungan sebagai berikut :

- Volume piston = $\pi \times r^2 \times s$
 = $3,14 \times 0,04^2 \times 0,06$
 = $0,00030144m^3$
- Debit hisap = Volume x RPH x jumlah piston
 = $0,00030144 \times 46200 \times 2$
 = $27,853056 m^3 / \text{jam}$
- Torsi = Daya kompresor / RPS
 = $2200 / 80,64$
 = $27,28 \text{ Nm}$
- Gaya = torsi/jari–jari pulley kompresor
 = $27,28 / 0,0475$
 = $574,35 \text{ N}$
- Tekanan = $\frac{F}{A}$
 = $\frac{574,35}{\pi (0,04)^2}$
 = $113958,839 \text{ Pa}$
 = $1,14 \text{ Bar}$
- Kecepatan angular = $Wd \times Wd = Wk \times Wk$
- $Wk = \frac{80,64 \times 0,0475}{0,135}$
 = $28,37 \text{ rad/s}$

$$\begin{aligned} \text{- Daya kompresor} &= \text{Torsi} \times \text{Kecepatan} \\ &= 27,28 \times 28,37 \\ &= 773,93 \text{ watt} \\ &= 0,77393 \text{ Kw} \\ &= 1,038 \text{ HP} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{- Kecepatan hisap udara (V)} &= \frac{Q}{A} \\ &= \frac{27,853}{6 \times 1,2} \\ &= 3,86 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{- Waktu hisap udara} &= \frac{A}{Q} \\ &= \frac{7,2}{27,853} \\ &= 0,258 \text{ jam} \\ &= 15 \text{ menit} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{- Kecepatan hisap resin} &= \text{pudara} \times \text{Vudara} : \rho_{\text{kompresor}} \times \text{Vkompresor} \\ &= 1176 \times 3,86 : 1200 \times \text{Vkompresor} \\ &= 3,7828 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Jadi, berdasarkan perhitungan daya hisap yang telah direncanakan dengan spesifikasi motor power sebesar 3 HP, piston stroke 60 mm, piston diameter 80 mm dapat digunakan untuk rancang bangun penggabungan antara kompresi dan vakum untuk laminasi kapal fiber karena pada umumnya pompa vakum memiliki spesifikasi $20m^3 / \text{jam}$.

3.2 Proses Pengujian Kompresor



Gambar 1. Triplek yang Telah Dibentuk Menjadi Section.

Pada langkah awal ialah mempersiapkan cetakan yang berbahan triplek dengan tebal 3 mm untuk kulit cetakan dan 6mm untuk penguat atau *section*. Sepeti gambar 1 dapat dilihat triplek yang telah dibentuk menjadi penguat atau *section*. Kemudian dari potongan potongan tersebut difabrikasi sehingga siap untuk digunakan sebagai cetakan.



Gambar 2. Matt, WR, dan Peelply Disusun Diatas Cetakan

Langkah berikutnya adalah melakukan penyusunan bahan – bahan laminasi seperti matt, wr, peel ply, flow media, spiral tube, flow tube, infusion tube, sealant tape, dan yang terakhir adalah vacuum bag. Seperti pada gambar 2 dapat dilihat bahan bahan untuk laminasi kapal fiber telah disusun dicetakan yang telah disiapkan. Pada langkah ini pastikan susunan bahan – bahan tersebut sesuai dengan urutannya. Dan saat perekatan antara vacuum bag dan sealant tape dipastikan benar – benar merekat dengan baik karena apabila ada celah sedikit akan terjadi kebocoran yang mengakibatkan saat proses pemvakuman tidak maksimal dan hasil laminasi nanti tidak sempurna.



Gambar 3. Fabrikasi kompresor

Pada tahap ini melakukan fabrikasi kompresor dengan kepala kompresor yang telah dilakukan perhitungan kebutuhan daya hisap yang dibutuhkan untuk kompresor agar dapat digunakan proses vacuum infusion. Dan pemasangan selang – selang pada kompresor menuju ke tabung reservoir dahulu kemudian dari tabung reservoir selang dihubungkan ke infusion tube pada cetakan, seperti pada gambar 3. Fungsi tabung reservoir sendiri adalah sebagai tempat penampungan resin apabila terdapat resin yang berlebih dari cetakan agar tidak langsung masuk ke kompresor. Karena hal tersebut dapat menyebabkankerusakan.

Fungsi utama kompresor yang seharusnya adalah mengkompresi udara bebas namun pada penelitian ini fungsi kompresor diubah menjadi vakum, dimana memanfaatkan kinerja hisap yang dimiliki kompresor. Karena setiap galangan kapal pasti memiliki kompresor sebagai alat bantu pada proses pembuatan kapal. Oleh karena itu penelitian ini dilakukan untuk membuktikan apakah kompresor dapat digunakan sebagai vakum untuk proses vacuum infusion pada laminasi kapal fiber.



Gambar 4. Tekanan yang diperoleh

Pada saat proses pengujian berlangsung membuktikan bahwa kompresor dapat digunakan untuk proses vacuum infusion pada laminasi kapal fiber. Pengujian ini dinyatakan berhasil dikarenakan kompresor dapat melakukan vakum atau hisap pada udara yang terdapat pada cetakan. Namun pada saat proses vakum berlangsung katup tangki udara dibiarkan terbuka agar udara yang dihasilkan pada poses pemvakuman tidak tersimpan di dalam tangki. Dan tekanan yang dihasilkan kompresor saat poses vacuum infusion ialah sebesar – 23 inHg atau sebesar – 0,7 bar, dapat dilihat pada gambar 4. Dari tekanan yang diperoleh maka kompresor yang digunakan dapat memenuhi kebutuhan pada proses pemvakuman karena kurang dari 1 bar.

4. KESIMPULAN

- a. Memanfaatkan daya hisap kompresor digunakan untuk vacuum dan daya tiup kompresor digunakan untuk kompresi. Selang yang digunakan untuk vakum di pasang di saluran hisap, ujung selang yang lain dipasang pada tabung reservoir. Dan selang yang lain dipasang di bagian saluran tabung reservoir yang lain dan dihubungkan pada selang di cetakan. Fungsi dari reservoir sendiri adalah apabila terdapat kelebihan resin dapat ditampung pada tabung reservoir terlebih dahulu, agar tidak masuk ke kepala kompresor. Karena hal tersebut dapat merusak kinerja kompresor.

- b. Pada penelitian tugas akhir ini memperoleh tekanan sebesar – 23 inHg atau setara dengan – 0,7 bar saat melakukan proses vacuum infusion dengan menggunakan kompresor. Semakin kecil tekanan vakum yang diperoleh maka laju aliran resin akan semakin kecil sehingga resin mampu mengisi seluruh ruang cetakan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alhaffis, Firman. (2017). Implementasi Serat Karbon/Epoksi Untuk Drive Shaft Pada Kendaraan Pengerak Roda Belakang. **Tesis-TM 142501**, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [2] Asrikin. (2011). Karakteristik Fatigue Dan Analisa Mikroskopis Pada Mekanisme Kegagalan Material Komposit Fiber Glass – Epoxy Untuk Material Struktur Sudu Turbin Angin. **Skripsi**, Universitas Indonesia, Depok.
- [3] Atmanegara, Rengga Eka Putra. (2016). Analisis Teknis dan Ekonomis Pembangunan Kapal Ikan 30GT Konstruksi FRP Menggunakan Metode Laminasi Vacuum Infusion. **Tugas Akhir**, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [4] Chrismianto, deddy dkk. (2014). Pengaruh Variasi Bentuk Hull Kapal Catamaran Terhadap Besar Hambatan Total Menggunakan CFD. **Jurnal Kapal**, Vol.11, No. 2. Universitas Diponegoro.
- [5] Effendy, Junaedy. (2010). Analisa Teknis Perencanaan Kapal Patroli Cepat Dengan Bentuk Hull Katamaran. **Skripsi**, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
- [6] Febriyanto, S. (2011). Penggunaan Metode Vacuum Assisted Resin Infusion Pada Bahan Uji Komposit Sanwidch Untuk Aplikasi Kapal Bersayap Wise 8. **Skripsi**, Universitas Indonesia, Depok.
- [7] Irawan, Dwi. (2016). Penggunaan Alat Kompresor Pada Motor Bakar Torak Sebagai Fungsi Tambahan Kendaraan Roda Dua. **Jurnal**, Universitas Muhammadiyah, Metro.
- [8] Ikhsan, Muhammad. (2016). Analisa Kebutuhan Material Kapal 3 GT Untuk Galangan Kapal Multifungsi. **Jurnal Kapal**, Vol.13, No.3, Politeknik Negeri Bengkalis.
- [9] Lestari, Andi Tri. (2010). Pembuatan Alat Praktikum Perawatan Kompresor Torak Ganda. **Proyek Akhir**, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- [10] Lubis, Yasir Afai dan Bambang Daryanto Wonoyudo. (2014). Karakteristik Getaran dan Efisiensi Kompresor Torak Akibat Perubahan Pada Valve Seat Sisi Discharge. **Jurnal Teknik Pomits**, Vol.3, No1, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [11] Muchtiwibowo, Parlindungan Manik dan Sarjito Jokosisworo. (2016). Analisa Teknis Dan Ekonomis Penggunaan Material Komposit Sandwich Dengan Metode Vacuum Infusion Sebagai Material Kapal. **Jurnal Teknik Perkapalan**, Vol.4, No.1, Universitas Diponegoro, Semarang.
- [12] Nugroho, Ari Purwanto. (2012). Optimasi Tata Letak Area Produksi Galangan Kapal Fiberglass. **Tugas Akhir**, Universitas Indonesia, Depok.
- [13] Rizky, Andes. (2010). Evaluasi Penggunaan Metode VARI (Vacuum Assisted Resin Infusion) Pada Komposit Epoxy-E Glass Dan Karakterisasi Mikro Untuk Aplikasi Sudu Turbin Angin. **Skripsi**, Universitas Indonesia, Depok.
- [14] Sabastian, Bondan Al Akbar. (2017). Perencanaan Sistem Penggerak Kapal Katamaran Dengan Variasi Jarak Demihull Sebagai Kapal Rumah Sakit. **Skripsi**, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [15] Salamun, BibitAhmat. (2017). Perancangan dan Pembuatan Alat Vacuum Infusion. **Tugas Akhir**, Universitas Muhammadiyah, Yogyakarta.
- [16] Sularso dan Haruo Tahara. (2004). **Pompa dan Kompresor**. PT Pradnya Paramita, Jakarta.
- [17] Putra, Gery Liston. (2012). Perancangan Galangan Kapal Boat Sistem Vacuum Infusion. **Skripsi**, Universitas Indonesia, Depok.

Rancang Bangun *Exhaust System* pada Mobil Minimalis Roda Tiga

Ahyad Bagas Nur Hidayatulloh^{1*}, Ali Imron², Tri Andi Setiawan³

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia^{1,3}

Program Studi Teknik Perancangan dan Konstruksi Kapal, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.²

E-mail:ahyadbagas@gmail.com^{1*}

Abstract – One of the three-wheeled vehicles that is currently being developed is a three-wheeled car. In addition to engine selection, in the process of developing a minimalist three-wheeled car will not be separated from the planning of the exhaust system. In the planning of exhaust system, it is necessary to calculate the dimensions of the exhaust system pipeline to get the dimensions that correspond to the cylinder capacity of the engine that applied to the minimalist three wheel car. The application of design concept helps design the exhaust system to be able its needed. The design concept is carried out by identifying plans for laying the driver's seat, ground clearance, and fuel lines. The design of the exhaust system is carried out by CFD (Computational Fluid Dynamics) to analysis the function of the exhaust system by knowing the back pressure that is suitable for the minimalist three wheeled car. Analysis of design concepts can be used as a reference in determining the dimensions of the pipe exhaust system which in turn can be a product of the exhaust system for a minimalist three-wheel car.

Keywords: alur exhaust system, exhaust system, back pressure, diameter pipa exhaust system

1. PENDAHULUAN

Salah satu kendaraan roda tiga yang saat ini sedang dikembangkan adalah mobil roda tiga. Mobil minimalis roda tiga merupakan mobil yang hampir sama dengan mobil pada umumnya tetapi memiliki ukuran dan kapasitas yang lebih kecil. Mobil roda tiga tersebut mampu menampung dua sampai tiga penumpang. Mobil minimalis roda tiga ini akan menjadi pilihan alternatif bagi masyarakat untuk memaksimalkan fungsi dari mobil yang mereka kendarai. Selain pemilihan mesin, *exhaust system* atau yang biasa disebut saluran gas buang juga merupakan salah satu bagian vital dari sebuah kendaraan bermotor. Salah satu fungsi dari saluran gas buang adalah sebagai peredam suara yang dikeluarkan dari mesin. Perencanaan pemilihan saluran gas buang juga harus diperhitungkan untuk mengetahui apakah gas buang yang akan dikeluarkan aman. Gas buang tersebut akan disalurkan melalui knalpot ke udara luar.

Penelitian ini dimaksudkan untuk merancang saluran gas buang yang aman dan sesuai dengan mesin yang diaplikasikan pada mobil minimalis roda tiga. Saluran gas buang harus dipertimbangkan karena mengingat gas yang akan dibuang adalah gas hasil pembakaran bahan bakar dari mesin. Jadi, desain *exhaust system* perlu dilakukan perancangan agar gas hasil pembakaran mesin disalurkan ketempat yang aman bagi pengguna.

2. METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan tabel daftar kebutuhan untuk mengetahui kriteria-kriteria yang dibutuhkan untuk merancang konsep *exhaust system*. Konsep *exhaust system* dirancang sebanyak 2 konsep. Pemilihan *exhaust system* dilakukan menggunakan perbandingan konsep. Setelah didapatkan konsep terpilih, dilakukan perhitungan diameter dalam saluran *exhaust system* sekaligus analisa CFD (Computational Fluid Dynamic) untuk mengetahui besar *back pressure* yang dihasilkan oleh saluran *exhaust system*. Setelah itu, dibuat *detail drawing* dari saluran *exhaust system* konsep terpilih, dan dilakukan proses fabrikasi sekaligus pengujian kebisingan untuk mengetahui efek dari *silencer* terpilih.

Pemilihan Material

Menurut Rajadurai, dkk (2014) Pipa pada *exhaust system* harus memberikan keuletan yang baik, dapat dilas, ketahanan terhadap panas yang baik, dan ketahanan terhadap korosi yang baik. Material standar yang biasa digunakan adalah SUH 409 L, SUS 430, SUS 436LM, SUS 439L, SUS 304, SUS 441 L, SKTM 11A, STZC30, STZC 52 dan SUS 436L. Berikut adalah spesifikasi material yang dijelaskan pada tabel 1,2, dan 3.

Tabel 1: Komposisi material

Komposisi material (%)							
Material	C	Mn	Si	Cr	Mo	Ni	Ti
SUS 436 LM	0.01	0.06	0.09	18.18	0.89	0.30	0.29
SUS 439 L	0.02	0.25	0.65	17.13	-	0.28	0.36
SUS 304	0.04	1.59	0.34	19.73	0.11	9.18	0.01
SKTM 11 A	0.09	0.56	0.13	0.11	0.06	0.11	-

Tabel 2: Service Temperature

Material	Service Temperature (C°)
SUS 436 LM	806
SUS 439 L	927
SUS 430	870
SUS 439 L	927
SUS 441 L	950
SUS 304	925

Tabel 3: Kekuatan Material

Mechanical Properties for Steel				
Material	Yield Strength (N/mm ²)	Tensile Strength (N/mm ²)	Elongation (%)	Hardness (HV)
SUS 439 L	260	415	36	165
SUS 304	345	605	55	164
SUH 409 L	263	427	35	134
SUS 441 L	270	480	38	166

Ukuran Leher Saluran Exhaust System

Pemilihan diameter pipa pada *exhaust system* diperlukan karena sangat berpengaruh terhadap gas buang yang terdorong. Oleh karena itu, pemilihan ukuran pipa pada *exhaust system* perlu dilakukan perhitungan kombinasi antara letak mesin, intake manifold, karburator. Selain itu, perlu dilakukan penyesuaian terhadap *header*, *resonator*, serta *muffler*. Pemilihan pipa dengan lekukan yang baik dan bulat juga dilakukan agar sisa gas buang dapat mengalir lancar. Berikut adalah rumus untuk menentukan diameter dan panjang leher knalpot yang sesuai dengan kapasitas mesin yang ditunjukkan pada persamaan 1, 2, dan 3.

$$P = \frac{850 \times ED}{rpm} - 3$$

Dimana

P = panjang pipa knalpot (inch)

ED = 180° ditambah dengan besar derajat terbukanya klep buang sebelum TMB.

rpm = kecepatan mesin ketika *exhaust* disetel.

$$\text{Kapasitas Silinder} = 0,785D^2 S$$

Dimana

D = Diameter piston (cm)

S = Panjang langkah kerja piston (cm)

$$ID = \sqrt{\left(\frac{CC}{(P+3) \times 25}\right) \times 2,1}$$

Dimana

ID = diameter internal pipa (inch)

CC = kapasitas silinder

P = panjang knalpot (inch)

Pengaruh Dimensi Exhaust System

Menurut Gunawan, (2014) Dimensi dari pipa dan *silencer* berpengaruh pada kemampuan *exhaust system* dalam meredam suara. Hal tersebut dapat dilihat pada persamaan 4 dan 5.

$$L_w = 95 + 5 \log_{10} N_i - \frac{L_{in}}{1.8}$$

Dimana :

L_w = Sound Power Level (dB)

N_i = Daya Mesin (kW)

L_{in} = Panjang Pipa (m)

$$TL = 10 \log_{10} \left[1 + 0.25 \left[\frac{S_c}{S_e} - \frac{S_e}{S_c} \right]^2 \sin^2 \left[\frac{2 \pi L_c}{\gamma} \right] \right]$$

Dimana :

TL = Transmission Loss (dB)

S_c = Luas Penampang Pipa (m²)

S_e = Luas Penampang Tabung *Silencer* (m²)

Computational Fluid Dynamics

Menurut Soemardi, dkk (2003) Data yang digunakan dalam analisis CFD aliran gas buang dapat diasumsikan dengan udara SI (Sistem Internasional). Aliran tersebut memiliki spesifikasi :

1. Kecepatan aliran = 20,141 m/s
2. Temperatur gas = 923 K (1200°F)
3. Tekanan Referensi = 101350 Pa
4. Densitas = 0,457 kg/m³

Perwujudan Desain dan Rancangan Komponen

Menurut Batan, (2012) “Bagian-bagian atau komponen-komponen yang pada langkah sebelumnya belum ada dilengkapi pada langkah ini, kegiatan dari langkah ini disebut sebagai perwujudan rancangan, tujuannya adalah untuk mengetahui wujud sebuah produk dalam sebuah gambar susunan luaran dari perwujudan rancangan adalah sebuah gambar susunan produk yang dilengkapi dengan cara kerja produk.” Jadi, sebelum menjadikan sebuah produk, perlu adanya *detail drawing* untuk memperjelas bagian-bagian komponen yang masih belum ada di konsep produk.

(1)

Pengujian Kebisingan

Pengujian kebisingan adalah pengujian yang dilakukan untuk mengukur besar kebisingan pada suatu sistem. Pengujian ini perlu dilakukan untuk mengetahui apakah suatu sistem memiliki besar kebisingan dibawah atau diatas standar yang telah ditentukan. Standar kebisingan dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4: Standar Kebisingan

Kategori		L Max (dB)
Sepeda Motor	80 cc	85
	80 < 175 cc	90
	> 175 cc	90

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut adalah tabel perbandingan konsep 1 dengan konsep 2.

Tabel 5: Perbandingan konsep 1 dan 2

Konsep 1	Konsep 2
Saluran <i>exhaust system</i> disalurkan dibagian kanan mesin	Saluran <i>exhaust system</i> disalurkan dibagian bawah mesin
Menggunakan jenis sambungan <i>full system</i>	Menggunakan jenis sambungan <i>slip on</i>
Menggunakan <i>absorbitive muffler</i>	Menggunakan <i>reactive muffler</i>
Menggunakan material <i>stainless steel 201</i>	Menggunakan material <i>stainless steel 201</i>

Berikut adalah tabel perbandingan konsep untuk *exhaust system* untuk mobil minimalis roda tiga.

Tabel 6: Parameter Pembanding Konsep *Exhaust System*

Kriteria Seleksi	Konsep 1	Konsep 2
Fungsional	-	+
Keamanan	-	+
Perawatan	-	+
Manufaktur	+	+
Ekonomi	+	-
Jumlah +	2	4
Jumlah -	3	1

Dapat disimpulkan bahwa konsep yang sesuai untuk diaplikasikan pada mobil minimalis roda tiga adalah konsep 2.

Ukuran Leher Saluran *Exhaust System*

Dalam tahap ini dilakukan analisa CFD (*Computational Fluid Dynamic*) untuk mengetahui pengaruh dari turbulensi yang terjadi didalam pipa *exhaust system* yaitu besar tekanan balik dari desain konsep terpilih. Karena panjang dari leher pipa *exhaust system* dari konsep terpilih mempunyai panjang 300 mm, maka hanya dilakukan perhitungan diameter.

$$ID = \sqrt{\left(\frac{CC}{(P+3) \times 25}\right) \times 2,1}$$

$$ID = \sqrt{\left(\frac{223,1}{(11,81+3) \times 25}\right) \times 2,1}$$

$$ID = \sqrt{\left(\frac{223,1}{(14,81) \times 25}\right) \times 2,1}$$

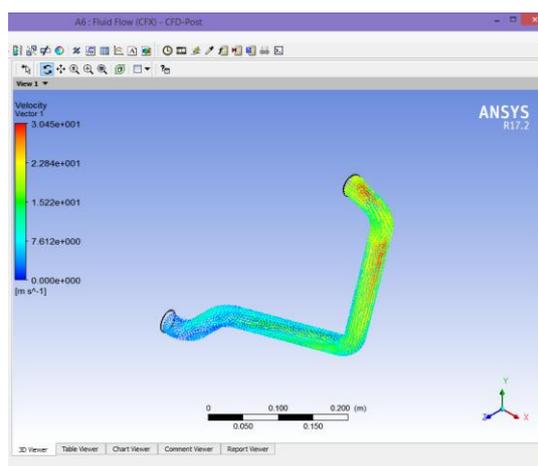
$$ID = \sqrt{\left(\frac{223,1}{370,25} \times 2,1\right)}$$

$$ID = \sqrt{(0,60 \times 2,1)}$$

$$ID = \sqrt{1,26}$$

$$ID = 1,12 \text{ inch (28,448 mm)}$$

Karena dipasaran tidak terdapat pipa dengan ukuran 28,448 mm, terpilih pipa dengan ukuran diameter internal 1 ¼ inch atau 31,75 mm dengan tebal 1,5 mm. Untuk mengetahui pengaruh dari diameter dan bentuk dari aliran *exhaust system*, dilakukan analisa CFD. Berikut adalah hasil dari analisa CFD dengan diameter internal 28,448 mm dan 31,75 mm.



Gambar 1. analisa CFD

Setelah dilakukan *meshing* dan pemberian nilai pada variabel-variabel yang dibutuhkan didapatkan hasil *back pressure* pada masing-masing pipa *exhaust system*. Untuk pipa dengan ukuran diameter dalam 28,448 mm didapatkan *back pressure* sebesar 79,8902 Pa. Sedangkan untuk pipa dengan ukuran diameter dalam 31,75 mm didapatkan *back pressure* sebesar 71,5427 Pa. Jadi, selisih besar *back pressure* antara pipa dengan diameter dalam 28,448 mm dengan 31,75 mm adalah sebesar 8,3475 Pa atau sebesar 11,67%.

Pengaruh Pipa dan Silencer Terpilih

Untuk mengetahui pengaruh dari pipa dan silencer yang terpilih, perlu diketahui kebisingan dari mesin. Berikut adalah besar kebisingan yang keluar dari mesin.

Sound power level

$$L_w = 95 + 5 \log_{10} N_i - \frac{L_{in}}{1,8}$$

Dimana :

L_w = Sound Power Level (dB)

N_i = Daya Mesin (kW)

L_{in} = Panjang Pipa (m)

Diketahui :

$N_i = 13,97$ kW

$L_{in} = 0,75$ m

$$\begin{aligned} L_w &= 95 + 5 \log_{10} N_i - \frac{L_{in}}{1,8} \\ &= 95 + 5 \log_{10} 13,97 - \frac{0,75}{1,8} \\ &= 95 + (5 \times 1,145) - 0,42 \\ &= 100,305 \text{ dB} \end{aligned}$$

Transmission Loss

$$TL = 10 \log_{10} \left[1 + 0,25 \left[\frac{S_c}{S_e} - \frac{S_e}{S_c} \right]^2 \sin^2 \left[\frac{2 \pi L_c}{\gamma} \right] \right]$$

Dimana :

TL = Transmission Loss (dB)

S_c = Luas Penampang Pipa (m²)

S_e = Luas Penampang Tabung Silencer (m²)

L_c = Panjang Pipa (m)

Diketahui :

$S_c = 0,0748$ m²

$S_e = 0,0675$ m²

$L_c = 0,75$ m

$V = 20,141$ m/s

$F = (\text{rpm} \times \text{jumlah silinder})/120$

$= 6000/120$

$= 50$ Hz

$\gamma = V/f$

$= 20,141/50$

$= 0,4$ m

$$TL = 10 \log_{10} \left[1 + 0,25 \left[\frac{S_c}{S_e} - \frac{S_e}{S_c} \right]^2 \sin^2 \left[\frac{2 \pi L_c}{\gamma} \right] \right]$$

$$TL = 10 \log_{10} \left[1 + 0,25 \left[\frac{0,0748}{0,0675} - \frac{0,0675}{0,0748} \right]^2 \sin^2 \left[\frac{2 \times 3,14 \times 0,75}{0,4} \right] \right]$$

$$TL = 10 \log_{10} [1 + 0,25 [1,11 - 0,90]^2 \sin^2 [11,78]]$$

$$TL = 10 \log_{10} [1 + 0,25 [0,0441] [0,04]]$$

$$TL = 10 \log_{10} [1,000441]$$

$$TL = 0,001915 \text{ dB}$$

Hasil Pengujian Kebisingan

Tabel 7: Hasil Pengujian Kebisingan

Kebisingan Exhaust system konsep terpilih									
Titik	Pengukuran pertama (dB)		Pengukuran kedua (dB)		Pengukuran ketiga (dB)		Pengukuran keempat (dB)		Rata-rata Total (dB)
	Gigi kedua	Gigi ketiga	Gigi kedua	Gigi ketiga	Gigi kedua	Gigi ketiga	Gigi kedua	Gigi ketiga	
Titik Pertama (1m x 2,5m)	93,6	93,4	93,7	94,1	93,2	93,6	93,4	94	94
Rata-rata	93,5		93,9		93,4		93,7		
Titik Kedua (1m x 3m)	92,4	92,6	92,9	92,9	92,6	92,8	92,8	92,2	93
Rata-rata	92,5		92,9		92,7		92,5		
Titik Ketiga (1 m x 4,5 m)	88,5	89,3	89,1	89,1	89,1	89,3	89,1	89,5	89
Rata-rata	88,9		89,1		89,3		89,3		

4. KESIMPULAN

Perhitungan ukuran diameter dalam saluran exhaust system yaitu dengan mengetahui besar kapasitas silinder mesin yang digunakan pada mobil minimalis roda tiga dan panjang leher saluran exhaust system dari konsep terpilih, dan didapatkan besar diameter dalam sebesar 28,448 mm dan didapatkan diameter 31,75 mm untuk menyesuaikan dengan produk yang ada di pasaran. Alur saluran exhaust system yang aman dan sesuai dengan peletakan mesin dari mobil minimalis roda tiga adalah dengan menyalurkan pipa ke bagian bawah mesin, lalu diarahkan menuju bagian kanan mesin sebagai peletakan silencer. Cara membuat saluran exhaust system pada mobil minimalis roda tiga adalah dengan membuat detail drawing terlebih dahulu, dimana terdapat bentangan untuk mempermudah proses pembuatan, selanjutnya dilakukan penyesuaian terhadap mobil minimalis roda tiga dengan dilakukan tag welding pada lekukan pipa, jika sesuai, maka dilakukan penyambungan dengan pengelasan yang dibantu menggunakan router, dan pemasangan dilakukan pengikatan flange pada mesin dengan dibantu menggunakan mur.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bell, A.G. (1998). Four-Stroke Performance Tuning Second Edition. Haynes Publishing
- [2] Gunawan, T. (2014). Perancangan Knalpot. Universitas Sumatera Utara.
- [3] Rajadurai, S., dkk, (2014). Materials for Automotive Exhaust System. International Journal of Recent Development in Engineering and Technology, (ISSN 2347-6435(Online) Volume 2, Issue 3, March 2014).

- [4] Sanata, A. (2011). *Pengaruh Diameter Pipa Saluran Gas Buang Tipe Straight Throw Muffler Terhadap Unjuk Kerja Motor Bensin Empat Langkah.*

Rancang Bangun *Jig and Fixture Survival Knife* untuk Proses *Taper Grinding* pada Mesin *Grinding*

Agung Husada Setiyo Nugroho^{1*}, Tri Tiyasmihadi², Ali Imron³

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia¹

Program Studi Teknik Perancangan dan Konstruksi Kapal, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.^{2,3}

E-mail: agunghsn.69@gmail.com^{1*}

Abstract – Perkembangan manufaktur pada industri di Indonesia sangatlah cepat dengan didukung dengan berkembangnya dari teknologi dibidang manufaktur. Berkembangnya industri manufaktur menjadi peningkatan daya tarik konsumen atau produsen. Salah satu peralatan yang menjadi daya tarik yaitu penggunaan alat bantu (*jig and fixture*). *Jig and fixture* merupakan salah satu peralatan pemegang benda atau penopang benda satu ke benda lainnya untuk melakukan penggandaan komponen secara presisi dan akurat. Tugas akhir ini melakukan penelitian dengan cara melakukan rancang bangun *jig and fixture survival knife* untuk proses *taper grinding* pada mesin *surface grinding*. Tahapan dalam melakukan rancang bangun *jig and fixture* adalah memahami bentuk, dimensi, serta mengetahui karakteristik mesin yang akan digunakan untuk produksinya. Dengan demikian maka dapat menghitung gaya yang terjadi pada *jig and fixture*. Berdasarkan hasil dari rancangan *jig and fixture survival knife* untuk proses *taper grinding* dihasilkan setiap sisinya hanya mampu untuk melakukan pencekaman 1 sisi saja. Dimensi dari *jig and fixture survival knife* akan dibagi menjadi dua. Yang pertama untuk *taper gerinda* bagian atas yaitu panjang 350mm dan lebarnya 120mm. Untuk bagian kedua yaitu *taper gerinda* bagian bawah panjang 350mm dan lebar 150mm. Dari percobaan yang dilakukan dihasilkan kepresisian dan keakurasian dari *taper gerinda* dalam sekali setting sesuai dimensi yang diinginkan.

Keywords: *jig and fixture, survival knife, gerinda*

1. PENDAHULUAN

Jig and fixture merupakan suatu alat bantu pemegang benda kerja produksi yang digunakan dalam membuat penggandaan komponen secara presisi dan akurat. Menghubungkan antara alat potong atau alat bantu lainnya dan benda harus dijaga untuk mendapat kelurusannya. Maka dibutuhkan *jig and fixture* yang didesain untuk memegang, menopang dan memposisikan setiap bagian sehingga setiap pemesinan yang dilakukan sesuai dengan batas spesifikasi. Dengan menggunakan perkakas bantu ini nantinya diharapkan produk yang akan dihasilkan mempunyai ketelitian tinggi atau presisi. Dengan dibuatkan *jig and fixture* ini, maka diharapkan tidak perlu lagi *skill* operator dalam operasi manufaktur yang memiliki kemampuan khusus atau memiliki ketrampilan tinggi. Pengerjaan manufaktur dapat lebih mudah untuk mendapatkan kualitas produk yang lebih presisi atau laju produksinya lebih tinggi dengan dibuatkan *jig and fixture*.

Perusahaan manufaktur yang bergerak pada replikasi produk salah satunya yaitu perusahaan yang membuat peralatan *survival*. Untuk saat ini peralatan *survival* yang beredar di pasaran sangat beragam. Perusahaan menawarkan produk dengan desain yang sangat beragam model jenis desainnya sehingga konsumen bisa memilih

sesuai selera. Pada akhirnya para produsen berlomba – lomba untuk menghasilkan produk dengan kualitas terbaik. Dari banyaknya produk *survival, knife* merupakan salah satu diantaranya. *Survival knife* merupakan komponen yang digunakan untuk berpetualang di hutan – hutan atau tempat lainnya. *Survival knife* di desain dengan bermacam – macam desain untuk menyesuaikan penggunaannya atau kebutuhannya, meski terbilang sederhana namun kepresisian dan akurasi sangat penting untuk proses pemotongan nantinya. Proses *machining survival knife* di lakukan dengan kebutuhan yang konsumennya. Desain *survival knife* nantinya bisa dikerjakan untuk produksi massal, hasilnya akan sulit untuk sama dari produk sebelumnya dengan produk selanjutnya. Sehingga diperlukan alat bantu (*jig and fixture*) untuk mempermudah proses *machining*.

2. METODOLOGI

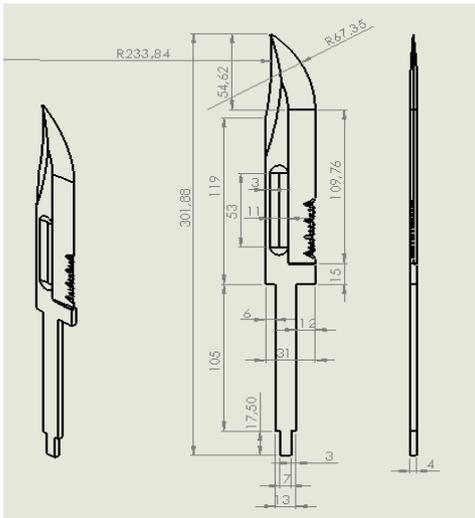
Penelitian ini dilakukan di PT. Indoprima Gemilang Engineering. Pengumpulan data dilakukan dengan penyebaran kuesioner kepada karyawan PT. Indoprima Gemilang Engineering terutama pada bagian departemen desain dan lapangan. Daftar kebutuhan dibuat untuk memudahkan dalam pembuatan konsep desain. Apabila sudah dibuat konsep desain maka

dilakukan penyaringan konsep desain dan penilaian konsep desain untuk menentukan nilai konsep desain paling tinggi untuk dijadikan produk jadi.

2.1 Pengumpulan Data

2.1.1 Detail Survival Knife

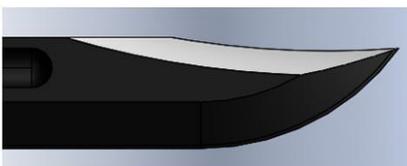
Penentuan produk yang akan menjadi bahan dalam machining menggunakan *jig and fixture*. Berikut adalah gambar *detail drawing* dari *survival knife* yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini:



Gambar 1. Survival knife

2.1.2 Bagian Atas

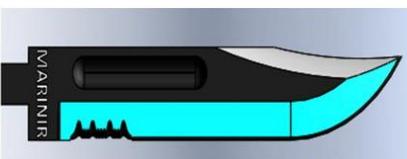
Proses pembuatan taper grinding bagian atas akan di buatkan *jig and fixture*. *Jig and fixture* yang dibuat hanya untuk satu sisi tidak bisa bolak-balik. Akan duatkan dua buah *jig and fixture* untuk bisa membuat dua buah sisi yang diinginkan.



Gambar 2. Survival knife untuk proses taper grinding bagian atas

2.1.3 Bagian Bawah

Proses pembuatan taper grinding bagian bawah akan di buatkan *jig and fixture*. *Jig and fixture* yang dibuat hanya untuk satu sisi tidak bisa bolak-balik. Akan duatkan dua buah *jig and fixture* untuk bisa membuat dua buah sisi yang diinginkan.



Gambar 3. Survival knife untuk proses taper grinding bagian bawah

i. Material Survival Knife

Material yang digunakan untuk membuat survival knife adalah material berjenis baja karbon tinggi atau *tool steel* yaitu material SKD 11 dengan menggunakan standar *JIS*. SKD 11 merupakan jenis baja tahan karat berkualitas tinggi, memiliki sifat kekerasan yang tinggi dan tahan aus.

ii. Produk manual

Waktu yang diperlukan pada produk manual yaitu 35 menit untuk satu pisaunya. Hasil dari produksinya tidak selalu sama untuk lebar dari hasil pengerindaan. Tingkat kemiringan sudutnya belum tentu sama antara pertama dengan produk selanjutnya. Tingkat kekasaran produknya selalu berbeda – beda.



Gambar 4. Survival knife manual

2.2 Pembuatan Konsep Desain

Dari spesifikasi produk *survival knife*, maka selanjutnya diterapkan pada konsep desain. Pada tahap pembuatan konsep desain ini dibutuhkan lebih dari satu atau dua konsep desain. Semakin banyak konsep desain yang dibuat juga dapat membantu untuk memperbanyak pilihan konsep desain yang akan digunakan.

2.3 Penyaringan Konsep Desain

Proses penyaringan konsep ini dilakukan untuk membandingkan konsep desain yang sudah kita buat dengan produk *survival knife*. Apabila konsep desain tidak lebih baik dibandingkan produk *survival knife*, maka konsep desain tidak dapat dilanjutkan pada tahap selanjutnya.

2.4 Pemilihan Konsep

Pada tahap ini adalah tahapan terakhir dalam memilih konsep desain yang akan dijadikan sebuah produk dan dikembangkan. Kriteria dalam pemilihan konsep tersebut adalah

1. Bahan
2. Ukuran
3. Berat
4. Fungsi
5. Harga
6. Desain

a. Perancangan Jig And Fixture

Pada tahap ini penggambaran model *jig and fixture* awal dilakukan dengan menggunakan *softwaresolidwork*. Jika gambar sudah sesuai dengan rancangan, maka pembuatan program nc bisa dilakukan. Pembuatan program nc dilakukan pada *softwaremastercam*.

b. Perhitungan Dan Analisa Jig And Fixture

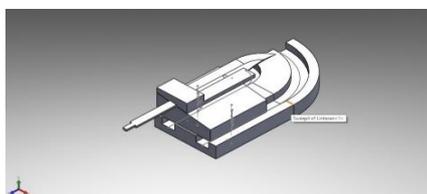
Analisa *jig and fixture* dilakukan untuk mengetahui defleksi terhadap rancangan yang dibuat ketika mendapat gaya saat proses machining. Analisa *jig and fixture* menggunakan *software solidwork*. Berdasarkan hasil dari analisa defleksi dengan *softwaresolidwork* yang didapat akan dibandingkan dengan hasil dari perhitungan manual dari defleksi yang terjadi. Hasil dari perhitungan baik secara manual atau menggunakan *softwaresolidwork* harus lebih kecil dari defleksi yang diijinkan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pembuatan Konsep Desain

Dari daftar kebutuhan produk, maka akan didapatkan spesifikasi produk yang diharapkan dan selanjutnya diterapkan pada konsep desain. Pada penelitian ini dibuatlah 5 konsep desain yang nantinya akan dipilih untuk diwujudkan menjadi sebuah produk. Berikut adalah 5 konsep desain yang sudah dibuat :

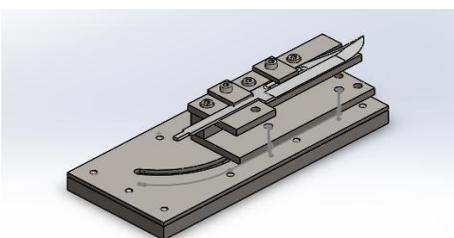
1. Konsep Desain Taper Grinding



Gambar 5. Konsep 1

Pada konsep desain *tapper* bagian bawah 1 ini jig dapat memiliki lintasan 2 yang sejajar. Untuk proses pemasangan dan pelepasan pisau dilakukan dengan cara melakukan pelepasan *clamp* tutupnya. *Clamp* yang digunakan pada konsep ini yaitu menggunakan baut dengan jumlah *clamp*nya ada 1 buah. Dari konsep *jig and fixture* ini memiliki ukuran yaitu 287mm x 130mm dan meterial yang digunakan dalam pada konsep ini SS 400.

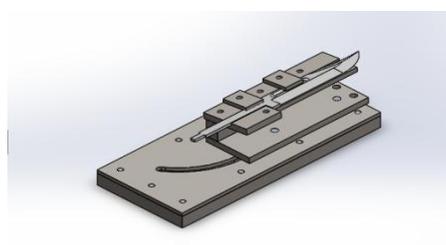
2. Konsep Desain Taper Grinding



Gambar 6. Konsep 2

Desain *tapper* bagian bawah 2 ini jig memiliki satu buah lintasan. Untuk proses pemasangan dan pelepasan pisau dilakukan dengan cara melakukan pelepasan *clamp* tutupnya. pada konsep ini untuk menghasilkan kepresisian dari kemiringan pisau yang mau diasah yaitu 7° . Pada kosep ini yang miningingan yaitu pada *part* penjepit bawah. Hasil dari konsep ini memiliki kelebihan dan kekurangan. Kelebihan *clamp* ini yaitu tidak memerlukan material banyak untuk pencekamannya. Untuk kekurangannya yaitu pembuatan *machining*nya yang lumayan rumit karena ada sebagian yang berbentuk 3d. Dari konsep *jig and fixture* ini memiliki ukuran yaitu 350mm x 150mm dan meterial yang digunakan dalam pada konsep ini SS 400.

3. Konsep Desain Taper Grinding



Gambar 7. Konsep 3

Pada konsep desain *tapper* bagian bawah 3 ini jig memiliki satu buah lintasan. Untuk proses pemasangan dan pelepasan pisau dilakukan dengan cara melakukan pelepasan *clamp* tutupnya. pada konsep ini untuk menghasilkan kepresisian dari kemiringan pisau yang mau diasah yaitu 7° . Pada konsep ini yang miningingan yaitu pada *part* balok penyangga. Hasil dari pencekaman ini memiliki kelebihan dan kekurangan. Kelebihan konsep ini yaitu pengerjaan *machining*nya lebih mudah karena bentuk partnya yang 2d. Untuk kekurangannya yaitu tidak semua pisau dicekam. Dari konsep *jig and fixture* ini memiliki ukuran yaitu 350mm x 150mm dan meterial yang digunakan dalam pada konsep ini SS 400.

3.1 Matrik Penilaian Konsep

Dibuatlah sebuah tabel penilaian konsep yang dapat membantu memilih dari 3 konsep yang sudah dibuat yang nantinya akan dijadikan 1 produk jadi. Desain, efisiensi waktu, efisiensi waktu, presisi, berat jig, sistem pencekaman termasuk sebagai kriteria seleksi penilaian konsep.

Tabel 1: Tabel penilaian konsep taper bawah

Kriteria Seleksi	Bobot	Matrik Penilaian Konsep							
		Konsep Produk							
		Konsep 1		Konsep 2		Konsep 3		Referensi	
Rate	Skor Bobot	Rate	Skor Bobot	Rate	Skor Bobot	Rate	Skor Bobot		
Desain	30%	4	1,2	4	1,2	5	1,5	3	0,9
Efisiensi waktu	20%	2	0,4	3	0,6	2	0,4	3	0,6
presisi	30%	4	1,2	4	1,2	5	1,5	3	0,9
Berat Jig	10%	2	0,2	2	0,2	2	0,2	3	0,3
Sistem Pencekaman	10%	4	0,4	3	0,3	5	0,5	3	0,3
Bobot Total	100%								
Nilai Absolut		16	3,4	16	3,5	19	4,1	15	3
Nilai relatif (%)		24%	24%	24%	25%	29%	29%	23%	21%

3.3 Hasil Pengujian Jig

Tabel 2: Pengujian pertama

Data	Taper Bawah		Taper Atas	
	Sisi Depan	Sisi Belakang	Sisi Depan	Sisi Belakang
Panjang	16 mm	16 mm	70,2 mm	70,3 mm
Lebar	15,1 mm	15,5 mm	8,1 mm	8,1 mm
Tebal	1,5mm	1,5 mm	1,4 mm	1,4 mm
Waktu	28,30 menit	28,10 menit	23,35 menit	24,00 menit

Tabel 3: Pengujian kedua

Data	Taper Bawah		Taper Atas	
	Sisi Depan	Sisi Belakang	Sisi Depan	Sisi Belakang
Panjang	15,5 mm	15,5mm	70,3 mm	70,3 mm
Lebar	15,1 mm	15,1 mm	8 mm	8 mm
Tebal	1,5mm	1,5 mm	1,4mm	1,4 mm
Waktu	30,25 menit	28,50 menit	22,15 menit	21,55 menit

Tabel 4: Pengujian ketiga

Data	Taper Bawah		Taper Atas	
	Sisi Depan	Sisi Belakang	Sisi Depan	Sisi Belakang
Panjang	15,4 mm	15,4 mm	70,3 mm	70,3 mm
Lebar	15 mm	15 mm	8 mm	8 mm
Tebal	1,4 mm	1,4 mm	1,4 mm	1,4 mm
Waktu	30,00 menit	29,30 menit	22,45 menit	22,30 menit

4. KESIMPULAN

Berdasarkan perancangan, pembuatan dan pengujian *jig and fixture* yang telah dilakukan dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Untuk perancangan *jig and fixture survival knife* menggunakan *software solidwork*, serta diperlukan data tentang pisau terlebih dahulu, maka dapat menentukan dimensi dari *jig and fixture* tersebut. Pembuatan program cam pada *software mastercam X5*, kemudian dilakukan pembuatan kode NC sebagai kode yang akan dijalankan pada mesin cnc, ketika setting X, Y, Z dan beda panjang sudah dilakukan maka dapat dilakukan *proses machining*.

3. Perhitungan gaya yang terjadi *jig and fixture survival knife* ada 2 yaitu gaya defleksi dan gaya potong waktu pemakanan pada mesin *surface grinding*.
4. Pengaplikasian *jig and fixture* pada produk *survival knife* dilakukan dengan cara memasang *jig and fixture* pada mesin *surface grinding*, melakukan setting terlebih dahulu pada pada meja kerja di mesin *surface grinding*, kemudian *jig and fixture* dijalankan dengan cara pendorongan manual, setelah itu dihasilkan sebuah produk *survival knife* yang memiliki kepresisian dan akurasi.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Batan, I.M.I. (2012). **Desain Produk**.Inti Karya Guna, Surabaya.
- [2] Edward G. Hoffman. (1996). **Jig and fixture design**. Delmar Pub, London.
- [3] El-Reedy. (2015). **Marine Structural Design Calculation**. Butterworth, Heinemann.
- [4] Ganjar, D. (2012). **Pemrograman CNC dan Aplikasi Didunia Industri** . Informatika, Bandung.
- [5] Gere, J. dan Timoshenko, S.(1972). **Mekanika Bahan Jilid 1 dan 2 Edisi Keempat**. Erlangga, Jakarta
- [6] Musidi, M Dan Rahmat, T. (2013). **Teknik Pemesinan Gerinda**. Direktorat Jendral Pendidikan Menejemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Departemen Pendidikan Nasional. Indonesia.
- [7] Mustafa (2012). *Kaji Numerik Dan Eksperimental Lentutan Balok Baja Karbon St 60 Dengan Tumpuan Engsel – Rol*. **Jurnal Mekanikal**, Vol. 3 No. 1: 221-230 ISSN 2086 – 3403, Palu.
- [8] Rahmatullah, Y., Karuniawan, B. W., & Bisono, F. (2018, January). Perancangan Dan Pembuatan Jig Untuk Proses Drilling pada CNC Router. In Conference on Design and Manufacture and Its Application (Vol. 1, No. 1, pp. 105-110).
- [9] Ulrich, K dan Eppinge, S.(2001). **Product Design and Development**. Mc Graw-hill, singapore

Rancang Bangun Mesin *Crusher* Plastik

Muhammad Nur Aslam^{1*}, Moh. Miftachul Munir², Rizal Indrawan³

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.^{1,3}

Program Studi Teknik Pengelasan, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.²

E-mail : ir.aslam002@gmail.com^{1*}

Abstract – In this modern era the plastic waste is a waste that is very difficult to recycle because the decomposition of waste plastic is very difficult, and also the decomposition of waste plastic need a long time. There are many types of plastic that we use everyday such as plastic bag for food or for bring a cup of tea and etc with cheaper price and you can get the pastic bag in every shop or minimarket in Indonesia makes the plastic waste is the most waste produced from house hold and the others. Therefore we need some ways or method to reduce the plastic waste by making a crusher plastic machine. There are many materials used to make crusher plastic machine. Start from frame of machine and stand frame of diesel motor are use U profile with material ASTM A36. ST42 are used for tub crusher, pulley, 2 fly wheel, stand of knife, fly wheel cover, top hopper, bottom hopper. ASTM A36 material is used for key of spindle. HSS material is used for knife crusher plastic machine. 3 V-belt with rubber canvas material is used for move spindle crusher plastic machine. The method used to make this machine is reverse engineering which is compare to another crusher plastic machine that has been sold in. The advantages from this machine is cheaper than another cursher plastic machine in market, have low power, can slice or crush plastic until 50 kg/h, and dimension of plastic that has been sliced is 16 mm or 1,6 cm wich is smaller and smoother than another crusher plastic machine in market. Type of the plastic that can be sliced by using this machine is polypropylene because polypropylene has more benefit in economic. The price of polypropylene which sliced is more expensive than the other type of plastic and the knife of this machine will blunt faster if slicing or crushing another type of plastic

Keywords: Limbah plastik , Pencacah plastik , Reverse engineering , Machine elements

1. PENDAHULUAN

Pada zaman modern ini sampah plastik merupakan limbah yang sangat sulit untuk diatasi dikarenakan penguraiannya yang sangat susah dan penguraiannya-pun membutuhkan waktu yang sangat lama. Banyak dari jenis-jenis plastik yang sering kita pakai sehari hari seperti untuk membungkus makanan, minuman dan lain-lain . Dengan harga yang murah serta mudah didapatkan di toko-toko terdekat membuat plastik tersebut menjadi limbah plastik terbanyak yang dihasilkan baik dari hasil rumah tangga maupun yang lainnya. Oleh karena itu, diperlukan cara atau metode yang tepat guna mengurangi limbah plastik tersebut yaitu dengan cara membuat mesin *crusher* plastik.

2. METODOLOGI

Pada penelitian ini diperlukan perhitungan elemen mesin yang di pakai dalam pembuatan mesin *crusher* plastik tersebut agar mesin *crusher* plastik tersebut dapat mencacah plastik yang berjenis *polypropylene* sebanyak 50kg/jam. Dan agar mesin tersebut dapat berjalan tanpa ada kendala.

A Perhitungan gaya potong

Pada mesin *crusher* plastik tersebut gaya potong berpengaruh sekali terhadap beban torsi yang terjadi pada waktu menjalankan mesin dan

pemilihan daya motor. Oleh karena itu perhitungan besarnya gaya potong yang terjadi didapat dari rumus berikut :

$$F_{tool} = 0,7 \times UTS \times h \times l \quad (1)$$

B. Mencari torsi

Torsi pada mesin tersebut digunakan untuk mengetahui besarnya daya motor yang diperlukan untuk mencacah *polypropylene*

$$T = F_{wheel} \times r_{wheel} \quad (2)$$

C. Mencari daya motor

Pada mesin ini daya pada motor berfungsi untuk menggerakkan poros yang terdapat pisau pencacah. Untuk mencari daya pada mesin dapat menggunakan rumus berikut :

$$P = T \times \frac{n_2}{63000} \quad (3)$$

D. Mencari rpm poros

Rpm pada poros digunakan untuk menentukan kecepatan pada waktu proses pencacahan. Untuk menghitung rpm pada poros dapat menggunakan rumus berikut :

$$n_2 = \frac{n_1 \times d_1}{d_2} \quad (4)$$

E. Menghitung jarak antar poros

Jarak antar *pulley* juga diperhitungkan agar waktu mesin bekerja *pulley* dan belt bisa berjalan dengan maksimal sehingga hasil yang diperoleh sesuai dengan yang direncanakan dan agar tidak terjadi kekendoran pada belt. Untuk menghitung jarak antar *pulley* dapat menggunakan rumus berikut ;

$$a = 2R_2 \quad (5)$$

Untuk jarak minimumnya dapat dicari dengan menggunakan rumus berikut;

$$a_{min} = a - 2.h \quad (6)$$

Dan untuk jarak maksimumnya dapat dicari dengan menggunakan rumus berikut;

$$a_{max} = (1,05 s/d 1,10) - 2.h \quad (7)$$

F. Panjang belt

Panjang belt sangat berpengaruh terhadap mesin dikarenakan apabila belt tersebut terlalu pendek maka belt tidak dapat dipasang pada kedua *pulley* namun apabila belt tersebut terlalu panjang maka rpm yang di transmisikan ke poros pisau pencacah tidak akan maksimal. Untuk mencari panjang belt yang sesuai dengan jarak antar *pulley* dapat menggunakan rumus berikut ;

$$L = 2.a + \frac{\pi}{2}(D_p + D_m) + \frac{(D_p - D_m)^2}{4.a} \quad (8)$$

G. Umur Belt

Pencarian umur belt digunakan untuk mengetahui berapakah panjang dari umur belt yang dapat digunakan selama mesin berjalan. Pencarian umur belt dapat menggunakan persamaan berikut :

$$H = \frac{N_{base}}{3600.U.Z} \left[\frac{\sigma_{fat}}{\sigma_{max}} \right]^m \quad (9)$$

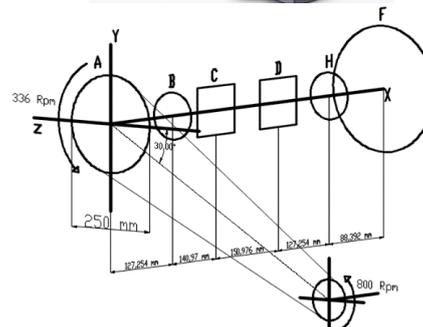
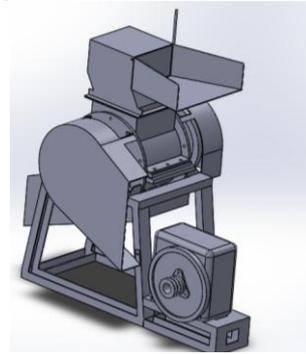
H. Diameter Poros

Dalam poros ini diameter pada poros sangat diperhitungkan dikarenakan apabila terlalu kecil dan poros menerima beban berlebih maka poros tersebut akan patah. Untuk mencari diameter poros yang sesuai dapat menggunakan rumus berikut :

$$D_0^3 \geq \frac{32 N}{\pi x S_{yp}} \sqrt{\left(\frac{S_{yp}}{S_e} M_r \right)^2 + \frac{3}{4} T_M^2} \quad (10)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari perencanaan elemen mesin tersebut maka desain dan transmisi mesin *crusher* plastik dapat dilihat pada gambar 1 berikut;



Gambar 1. Desain mesin *crusher* plastik dan transmisi yang digunakan

A. Gaya potong tool

$$F_{tool} = 0,7 x UTS x h x l = 203 \text{ lb}$$

B. Gaya potong *fly wheel*

$$F_{wheel} = 0,7 x UTS x h x l = 40,6 \text{ lb}$$

C. Mencari torsi

$$T_{tool} = F_{tool} x r = 797 \text{ lb.in}$$

$$T_{wheel} = F_{wheel} x r_{wheel} = 319,5 \text{ lb.in}$$

$$T_{Gabungan} = T_{tool} + T_{fly wheel} = 1436 \text{ lb.in}$$

D. Mencari daya

$$P_{tool} = (T_{Gabungan}) x \frac{n^2}{63000} = 7,5 \text{ hp} = 5,625 \text{ Kw}$$

E. Mencari Rpm

$$n_2 = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1}$$

$$= 336 \text{ Rpm}$$

F. Jarak antar poros

jarak antar poros pada bagian I yang didapatkan adalah ;

$$\alpha = 2 \times D_{pulley \text{ besar}}$$

$$= 500 \text{ mm}$$

Jarak untuk mengatur kekencangan dan kenduran dari belt kepada pulley motor dan pulley yang akan digerakkan adalah sebagai berikut ;

$$a_{min} = a - 2 \times h, \text{ dimana nilai } h = 10,5$$

$$= 479 \text{ mm}$$

Maka jarak minimum agar belt tidak lepas dari pulley adalah 479 mm. sedangkan jarak maksimumnya adalah ;

$$a_{maks} = \left(1,5 \frac{s}{d} 2 \right) \times a$$

$$= 850 \text{ mm}$$

G. Panjang belt

Pada mesin ini panjang belt juga berpengaruh, untuk menghitung panjang belt pada mesin ini adalah sebagai berikut ;

$$L = 2 \times a + \frac{\pi}{2} (D_r + D_m) + \frac{(D_p - D_m)^2}{4 \times D_p}$$

$$= 2278 \text{ mm}$$

H. Umur belt

Adapun perhitungan umur pada belt adalah sebagai berikut ;

$$H = \frac{N_{base}}{3600 \cdot u \cdot Z} \left[\frac{\sigma_{fat}}{\sigma_{max}} \right]^8$$

$$= 20,5 \text{ jam kerja}$$

I. Diameter poros

Untuk mencari diameter poros pertama adalah mencari besarnya gaya dan momen yang terjadi pada poros tersebut

$$M_{max} = \sqrt{MBH^2 + MBV^2}$$

$$= 3271,237 \text{ lb.in}$$

Maka besarnya diameter poros yang mampu menopang momen yang telah diketahui tersebut adalah sebagai berikut

$$D_0^3 \geq \frac{32 N}{\pi \times S_{yp}} \sqrt{\left(\frac{S_{yp}}{S_e} M_r \right)^2 + \frac{3}{4} T_M^2}$$

$$D_0 \geq \sqrt[3]{6,17}$$

$$D_0 \geq 1,83 \text{ in} = 4,67 \text{ cm} = 46,7 \text{ mm}$$

4. KESIMPULAN

Dari proses perencanaan dan pembahasan Tugas Akhir dengan judul Rancang Bangun Mesin *Crusher* Plastik ini dapat disimpulkan bahwa :

- Motor yang digunakan adalah motor diesel dengan tenaga 8 hp atau 6 kw dengan putaran 800 rpm
 - Diameter pulley yang digerakkan adalah 250 mm dan diameter pulley penggerak adalah 105 mm
 - Belt yang digunakan pada mesin ini adalah 3 buah V belt tipe B dengan panjang 2278 mm
 - Bahan poros yang digunakan adalah S55C baja karbon konstruksi mesin dengan $S_{yp} = 588 \text{ Mpa} = 85300 \text{ psi}$ dan berdiameter 55 yang termasuk diameter yang aman, rpm pada poros adalah 336 rpm
 - Pasak yang digunakan adalah tipe datar dengan lebar (w) 0,5 in dengan bahan pasak ASTM A36
 - Bantalan yang dipilih adalah ball bearing dengan jenis 6311 SKF dengan $C_0 = 9400 \text{ lb}$ dan $C = 12400 \text{ lb}$ dan umur bantalan tersebut adalah 1024 hari
 - Percobaan yang telah dilakukan *Polypropilene* dengan massa 1 kg dapat di cacah selama 3 menit
- Plastik berjenis *Polypropilene* yang berbentuk gelas plastik dimasukkan ke dalam mesin melalui hopper setelah masuk kedalam mesin selanjutnya *Polypropilene* tersebut akan dicacah di dalam bak pencacah dengan rpm 336 rpm sehingga menjadi cacahan plastik yang kecil kecil dengan ukuran 1,6 cm apabila ukuran tersebut masih terlalu besar maka dapat di saring oleh penyaring dan dapat di cacah kembali lalu plastik tersebut keluar melalui hopper out yang dimana ukuran tersebut sesuai dengan apa yang direncanakan
- Hasil output yang dihasilkan mesin tersebut adalah cacahan plastik yang berdimensi rata rata 1,6 cm atau 16 mm
- Elemen mesin yang digunakan adalah :
 - Bearing / bantalan jenis 6311 SKF
 - Pulley yang digerakkan memiliki diameter 250 mm dan yang penggerak berdiameter 105 mm
 - V belt dengan jumlah 3 buah tipe B
 - Pasak
 - Poros dengan material S55C dengan diameter 55 mm
 - Motor Diesel

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Deutchman D. Aaron, Michels J. Walter, dan Wilson E. Charles(1975). **Machine Design**. Macmillan Publishing, United States of America
- [2] Junaidi, Nur Ichlas, Nofriadi, dan Rusmardi(2015). *Perancangan Mesin Pencacah Sampah/Limbah Plastik Dengan Sistem Crusher*. **Jurnal Teknik Mesin**,Politeknik Negeri Padang.
- [3] K.-T.Rie(2012).**Low Cycle Fatigue and Elasto-Plastic Behavior of Material**.Institut fur Schweisstechik,German
- [4] Setyawan,T.N(2010). *Perancangan Mesin Pencacah Botol Plastik dengan Menggunakan Metode VDI 2221*.**Jurnal Teknik Mesin**,Fakultas Teknik Universitas Gunadarma, Jakarta.
- [5] Suga Kiyokatsu, dan Sularso(2004). *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin. Edisi ke 10*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- [6] Susila Ivan Norma, Arifin Zainal, dan Susilo Didik Djoko(2013).*Pengaruh Sudut Potong Pahat Terhadap Gaya Pemotongan Pada Proses Bubut dan Beberapa Material dengan Pahat HSS*.**Jurnal Teknik mesin**,Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret
- [7] Syaamsiro Mochamad, Hadiyanto Arip Nur, dan Zahrul Mufrodi.(2015).*Rancang Bangun Mesin Pencacah Plastik Sebagai Bahan Baku Mesin Pirolisis Skala Komunal*.**Jurnal Mekanika dan Sistem Termal**. Vol 1,Fakultas Teknik Universitas Janabadra.
- [8] Syahid, A., Setiawan, T. A., & Hariyanto, H. (2017). **EVALUASI PRODUK PRAKTIKAN PADA PENGOPERASIAN MESIN PRODUKSI UNTUK MATA KULIAH PRAKTEK MESIN PERKAKAS POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA**. Jurnal Pendidikan PROFESIONAL, 5(3).
- [9] Wahyuastuti, N.(2017).*Pengolah Sampah Plastik Dalam Rangka Pemberdayaan Masyarakat Kelurahan Muktiharjo Kidul*.**Jurnal Aplikasi Teknik dan Pengabdian Masyarakat**.Universitas PGRI,Semarang.
- [10] Wicaksono M.A dan Arjianto (2017) *Pengolahan Sampah Plastik Jenis PET Menggunakan Metode Pirolisis Menjadi Bahan Bakar Alternatif*. **Jurnal Teknik Mesin S-1**.Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

Rancang Bangun Mesin Destilator Pengubah Limbah Plastik Menjadi Minyak

Pandam Eko Prihatmoyo^{1*}, Denny Dermawan², Fipka Bisono³

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia^{1,3}

Program Studi Teknik Pengolahan Limbah, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.²

E-mail: pandam.3ko@gmail.com^{1*}

Abstract – Plastic is a human need in everyday life, one of which is as a place to wrap food and drinks. The increasing level of public consumption, the more plastic waste produced. Waste from plastic is very difficult to decompose naturally. In order to overcome this, of course, we need a way to process the plastic waste into more useful things and also have benefits for the community, one way is to recycle plastic waste into fuel, which is fuel in the form of oil. But in making a new innovation, a tool is needed that can transform a waste into something that is beneficial to society in general. One of them is by distillation or distillation. A tool used to separate chemicals based on differences in speed or ease of evaporation or volatility of materials. In this distillation, the mixture of the ingredients boils so that it evaporates and the steam is then boiled back into liquid form. Substances that have a lower boiling point will evaporate first. Later this steam will turn into oil using the help of a condenser. Where the steam entering the condenser will condense and form water grains. Which will later turn into oil. The oil produced through this distillation process with PET and PP plastic as much as 500 ml for 5 kg of plastic.

Keywords: Destilasi, Kondensor, PET, Plastik, Tanki Reaktor

1. PENDAHULUAN

Plastik merupakan kebutuhan manusia dalam kehidupan sehari-hari, salah satunya adalah sebagai tempat pembungkus makanan dan minuman, karena plastik bersifat praktis, bersih, serta memudahkan dalam memenuhi kebutuhan manusia. Semakin bertambahnya tingkat konsumsi masyarakat maka semakin bertambah pula limbah plastik yang dihasilkan. Limbah tersebut kini menjadi permasalahan lingkungan yang serius karena semakin banyaknya jumlah limbah plastik yang ada dan tingkat bahaya yang dapat ditimbulkan dari limbah plastik bagi makhluk hidup lainnya. Perlu diketahui bahwa plastik juga merupakan bahan anorganik buatan yang tersusun dari bahan-bahan kimia yang cukup berbahaya bagi lingkungan.

Limbah yang berasal dari plastik sangat sulit untuk diuraikan secara alami. Untuk dapat menguraikan limbah plastik secara alami membutuhkan waktu kurang lebih 100 tahun agar plastik dapat terurai dengan sempurna. Sedangkan kita semua tahu, kebutuhan plastik khususnya di Indonesia semakin meningkat setiap tahunnya sehingga hal itu dapat menyebabkan semakin banyaknya limbah dari sampah plastik tersebut. Dan di Indonesia sendiri tentu sudah kita ketahui tentang fenomena limbah plastik yang semakin menggunung, yang tentu saja sangat mengganggu kenyamanan.

Untuk mengatasi hal ini tentu saja diperlukan cara untuk mengolah limbah plastik tersebut menjadi hal yang lebih berguna dan juga memiliki manfaat bagi alam, salah satu caranya dengan mendaur ulang limbah plastik tersebut menjadi bahan bakar, yakni bahan bakar berupa minyak. Karena tidak bisa kita pungkiri, permintaan pasokan minyak bumi sebagai bahan bakar semakin meningkat setiap tahunnya.

Dengan mengolah limbah plastik menjadi bahan bakar minyak, selain dapat mengurangi limbah plastik maka kita juga bisa ikut menghemat persediaan minyak bumi di alam. Pengolahan plastik menjadi minyak ini tentu saja dapat dilakukan dengan cara yang sangat sederhana, dan bisa diterapkan oleh masyarakat tanpa mengeluarkan biaya yang besar. Limbah plastik dapat diubah menjadi minyak dikarenakan pada dasarnya plastik berasal dari minyak bumi, jadi limbah plastik tersebut seolah mengalami proses daur ulang. Selain itu, minyak yang dihasilkan dari plastik ini juga memiliki nilai kalor yang cukup tinggi setara dengan bahan bakar fosil seperti bensin dan solar.

Namun dalam membuat sebuah inovasi baru tersebut diperlukan suatu alat yang dapat mengubah suatu limbah menjadi sesuatu yang bermanfaat bagi masyarakat pada umumnya. Salah satu alatnya yaitu destilator. Destilator (penyulingan) merupakan sebuah alat yang digunakan untuk memisahkan bahan kimia

berdasarkan perbedaan kecepatan atau kemudahan menguap atau volatilitas bahan. Dalam penyulingan ini, campuran zat dididihkan sehingga menguap dan uap tersebut kemudian dididihkan kembali ke dalam bentuk cairan. Zat yang memiliki titik didih lebih rendah akan menguap lebih dulu.

2. METODOLOGI

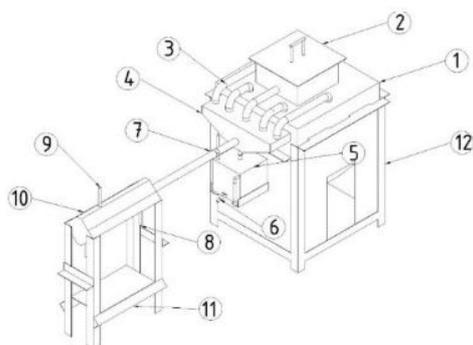
Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah Metode Ulrich yang mana metode tersebut diperuntukkan untuk memilih manakah konsep desain yang terbaik untuk dikembangkan. Pada metode Ulrich dilakukan langkah-langkah sebagai berikut.

1. Pembuatan daftar kebutuhan produk untuk mesin destilator pengubah limbah plastik menjadi minyak
2. Membuat kriteria seleksi.
3. Pembuatan beberapa konsep desain untuk perencanaan mesin.
4. Pemilihan konsep dengan menggunakan matriks evaluasi konsep.

Pembuatan Konsep Desain

Dari tabel penetapan spesifikasi produk, maka akan didapatkan spesifikasi produk yang diharapkan dan selanjutnya diterapkan pada konsep desain. Pada penelitian ini dibuatlah 3 konsep desain yang nantinya akan dipilih untuk diwujudkan menjadi sebuah produk. Berikut adalah 3 konsep desain yang sudah dibuat :

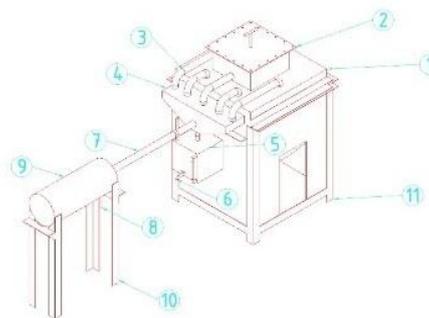
I. Konsep Desain 1



Gambar 1. Konsep desain 1

Pada konsep desain ini mesin destilasi mempunyai tungku panjang total 1,75 m dengan ukuran panjang tungku pembakaran 60 cm, pipa saluran gas 65 cm dan kondensor 50 cm. Pada konsep desain ini memiliki 3 lubang untuk pengeluaran minyak agar lebih optimal. Dilengkapi dengan 5 buah pipa aliran gas pada tungku pembakaran agar gas dapat tersalurkan dengan cepat.

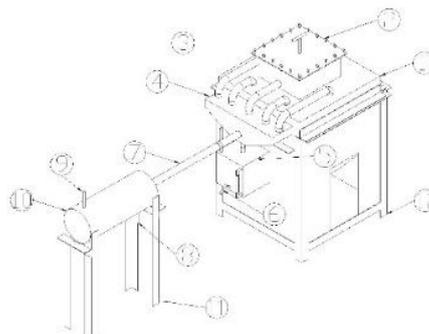
II. Konsep Desain 2



Gambar 2. Konsep desain 1

Pada konsep desain 2 ini mesin destilasi mempunyai panjang total 1,75 m dengan ukuran panjang tungku pembakaran adalah 60 cm, pipa saluran gas 65 cm dan kondensor 50 cm. Pada konsep desain ini terdapat 2 lubang untuk keluarnya minyak pada bak penampungan dan kondensor. Dilengkapi dengan 5 buah pipa aliran gas pada tungku pembakaran agar gas dapat tersalurkan dengan cepat.

III. Konsep Desain 3



Gambar 3. Konsep desain 1

Pada konsep desain 3 ini mesin destilasi mempunyai panjang total 1,75 m dengan ukuran panjang tungku pembakaran adalah 60 cm, pipa saluran gas 65 cm dan kondensor berbentuk tabung sepanjang 50 cm. Pada konsep desain ini terdapat 3 lubang untuk keluarnya minyak pada bak penampungan dan kondensor. Dilengkapi dengan 5 buah pipa aliran gas pada tungku pembakaran agar gas dapat tersalurkan dengan cepat.

Setelah ditemukan konsep desain terbaik dari hasil matriks evaluasi konsep, maka dilakukan perancangan detail drawing mesin menggunakan software Autocad 2007. Setelah gambar jadi dilakukan perhitungan struktur mesin yakni *heat transfer* yang terjadi pada mesin tersebut. Lanjut pada pengadaan material dan juga komponen dari mesin yang meliputi Plat SS 304 ketebalan 3mm, Pipa SS 304 ketebalan 3mm, Plat ASTM A36 ketebalan 3mm dan Profil Siku ASTM A36 5x5 cm ketebalan 3mm. Setelah itu dilakukan fabrikasi dan perakitan pada mesin.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Matrik Evaluasi Konsep

Setelah dibuat konsep desain yang sesuai dengan kriteria seleksi yang telah ditentukan, maka akan dilakukan penilaian konsep dengan matriks evaluasi konsep. Sebelum ke matriks evaluasi konsep, direncanakan terlebih dahulu bobot tiap kriteria yang ada.

Tabel 1: Keterangan bobot pada kriteria seleksi

Kriteria seleksi	Bobot (%)	keterangan
Fungsi Produk	25%	Porsi 25% dikarenakan fungsi dari mesin harus bisa menghasilkan minyak
Mudah dimanufaktur	25%	Porsi 25% dikarenakan konsep mana yang mudah dimanufaktur tapi tidak meninggalkan dari aspek-aspek lainnya
Perawatan dan perbaikan	30%	Porsi 30% dikarenakan konsep mana yang memiliki akses termudah saat mesin mengalami kerusakan atau melakukan perawatan
Keamanan dan kenyamanan	20%	Porsi 20% dikarenakan aspek ini ditujukan kepada konsep mana yang dapat memberikan keamanan dan kenyamanan pada pengguna.

Tabel 2: Matriks Evaluasi Konsep

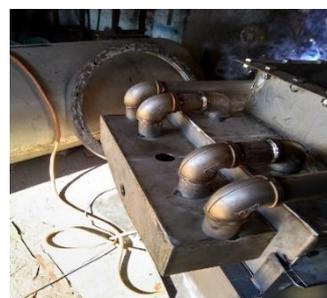
Matrik Penilaian Konsep									
Kriteria Seleksi	Bobot	Konsep Produk dan Referensi							
		Konsep 1		Konsep 2		Konsep 3		Referensi	
		Rate	Skor Bobot	Rate	Skor Bobot	Rate	Skor Bobot	Rate	Skor Bobot
Desain	25%	4	1	4	1	5	1,25	3	0,75
Dimensi	10%	4	0,4	3	0,3	4	0,4	2	0,2
Efisiensi Waktu	25%	5	1,25	5	1,25	5	1,25	2	0,5
Mekanisme	15%	4	0,6	3	0,45	4	0,6	2	0,3
Kekuatan Dudukan	20%	5	1	2	0,4	5	1	3	0,6
Bobot Total	95%								
Nilai Absolut		22	4,25	17	3,4	23	4,5	12	2,3
Nilai Relatif (%)		28%	29%	24%	24%	22%	22%	21%	20%

Setelah dilakukan matriks evaluasi konsep dan terpilih konsep yang terbaik, maka selanjutnya dilakukan perancangan detail drawing mesin menggunakan software Autocad 2007. Setelah gambar jadi dilakukan perhitungan struktur mesin

yakni *heat transfer* yang terjadi pada mesin tersebut. Lanjut pada pengadaan material dan juga komponen dari mesin yang meliputi Plat SS 304 ketebalan 3mm, Pipa SS 304 ketebalan 3mm, Plat ASTM A36 ketebalan 3mm dan Profil Siku ASTM A36 5x5 cm ketebalan 3mm. Setelah itu dilakukan fabrikasi dan perakitan pada mesin sebagai berikut

a. Pembuatan Komponen Utama

Tahap Pertama pembuatan tungku pembakaran dengan dimensi 60x60x60 cm. Dilanjutkan dengan pembuatan trap box dengan dimensi 50x20x15 cm. Selanjutnya pembuatan kotak penampungan dengan dimensi 20x20x20 cm. Setelah itu pembuatan kondensor dengan dimensi 50x20x20 cm. Setelah itu pembuatan pipa saluran gas. Seperti yang terlihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. Pipa saluran gas

b. Pembuatan Komponen Pendukung

Tahap ini adalah pembuatan dudukan tungku pembakaran dan juga kondensor. Dudukan tungku ini memiliki dimensi 61x 61x80 cm. Dudukan kondensor memiliki dimensi 50x21x60 cm. Seperti yang terlihat pada gambar berikut.



Gambar 5. Dudukan Tungku

c. Perakitan

Setelah itu dilakukan perakitan dengan cara dilas antar komponennya. Seperti yang terlihat pada gambar berikut.



Gambar 6. Proses perakitan (pengelasan)

d. Proses Finishing

Proses ini dilakukan dengan mengecat bagian dudukan tungku dan dudukan kondensor



Gambar 7. Finishing

Tabel 3: Perbandingan Hasil Pengujian Mesin

No.	Mesin Destilasi Baru	Mesin Destilasi Lama
1.	Mampu digunakan untuk membakar berbagai jenis plastik	Mampu digunakan untuk membakar dengan jenis tertentu
2.	Mampu mengeluarkan asap putih yang nantinya akan berubah menjadi minyak	Mampu mengeluarkan asap yang nantinya akan berubah menjadi minyak
3.	Minyak yang dihasilkan kurang maksimal karena berbagai kendala	Minyak yang dihasilkan kurang maksimal
4.	Mampu mengeluarkan minyak tetapi hanya sedikit	Mampu mengeluarkan minyak dengan baik
5.	Hasil penyambungan material lebih kuat karena menggunakan las listrik	Hasil penyambungan material lama-lama akan patah karena menggunakan las argon
6.	Memiliki roda yang memudahkan mesin untuk berpindah tempat	Tidak memiliki roda yang menyebabkan sulitnya memindahkan mesin
7.	Material yang digunakan untuk membuat tidak menghitam karena dibakar	Material yang digunakan akan menghitam karena proses pembakaran
8.	Minyak dapat terbakar	Minyak dapat terbakar

Dari pengujian yang sudah dilakukan pada mesin destilasi dengan dimensi tungku pembakaran 60 cmdidapatkan hasil pengerjaan lebih kuat (± dibandingkan dengan menggunakan produk *existing*) dan pengerjaan lebih efisien. Material tidak menghitam akibat pembakaran. Pada pengujian ini mesin destilasi ini mampu memuat 10 kg plastik dalam sekali pengerjaan. Mesin dapat menghasilkan minyak sebanyak 500 ml setelah diukur dengan gelas ukur menggunakan plastik PET dan PP. Minyak yang dihasilkan kurang maksimal , seharusnya dengan jenis plastik PET dan PP bisa menghasilkan 0,8 liter per 1kg plastik.Setelah itu minyak akan dibakar untuk mengetahui apakah minyak yang dihasilkan memiliki unsur dari minyak bumi.

4. KESIMPULAN

1. Proses pendesainan mesin destilasi pengubah limbah plastik menjadi minyak sesuai dengan desain pada detail drawing yang dikerjakan dengan software autoCAD.

2. Untuk membuat mesin destilasi ini menggunakan material utama stainless steel 304 dengan ketebalan 3 mm. Yang terdiri dari tungku pembakaran, pipa saluran gas, kotak trap, bak penampungan dan kondensor. Sedangkan untuk membuat dudukan tungku dan kondensor menggunakan plat besi ASTM A36 ketebalan 2mm dan ditopang dengan profil siku 5 x 5 cm ketebalan 3 mm.
3. Mesin dapat menghasilkan minyak sebanyak 500 ml dengan sampah plastik 5 kg. Hasil minyak ini nantinya akan dibakar untuk mengetahui apakah ini benar-benar minyak atau bukan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anggono, T., Wahyu W.E., Handayani, Rahmadani A., dan Abdullah (2014). *Pirolisis Sampah Plastik untuk Mendapatkan Asap Cair dan Penentuan Komponen Kimia Penyusunnya serta Uji Kemampuannya Sebagai Bahan Bakar Cair*. **Sains dan Terapan Kimia** Vol.3, No.2, pp.164-173, Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru.
- [2] ASM International, (2004). *All Rights Reserved Aluminum-Silicon Casting Alloys: Atlas Microfractographs*,
- [3] Bajus, M. dan Hájeková, E., (2010). *Thermal Cracking of The Model Seven Components Mixed Plastics into Oils/Waxes*, Petroleum & Coal 52 (3) 164-172, Slovak University of Technology, Bratislava, Slovakia
- [4] Bisono, F., & Ulvi, P. A. (2017, December). Perancangan Alat Pengolah Limbah Coolant Bekas Mesin CNC pada Bengkel Pemesinan Kapal. In Seminar MASTER PPNS (Vol. 2, No. 1, pp. 111-114)
- [5] Bisono, F., Priastuti, U., & Bisono, R. M. (2017). Pengolahan Limbah Coolant pada Proses Pemesinan CNC Menggunakan IPAL. *Jurnal Teknik Mesin (JTM)*, 6(2), 38-43.
- [6] Bisono, F., Priastuti, U., & Bisono, R. M. (2017). Pengolahan Limbah Coolant pada Proses Pemesinan CNC Menggunakan IPAL. *Jurnal Teknik Mesin (JTM)*, 6(2), 38-43.
- [7] Budiyanoro, C., (2010). **Thermoplastik dalam Industri**. Teknika Media, Surakarta. Buchori, L. (2004). *Buku Ajar Perpindahan Panas*. UNDIP. Semarang.
- [8] Borsodi, N., Miskolczi, N., Angyal, A., Bartha, L., Kohán, J., dan Lengyel, A., (2011). *Hydrocarbons obtained by pyrolysis of contaminated waste plastics*, 45th International Petroleum Conference, Bratislava, Slovakia Republic.
- [9] Cammack, R. (2006). *Oxford Dictionary of Biochemistry and Molecular Biology*. **Oxford University Press**. New York. 720 h.
- [10] Cengel, Yunus A., 2003. “*Heat Transfer : A Practical Approach Second Edition*,” McGraw-Hill. New York
- [11] Covert R. A., dan Tuthill, A. H., 2000, *Stainless Steel: An Introduction to Their Metallurgy and Corrosion Resistance*, Dairy, Food, and Environmental 20(7):506-17.
- [12] Daryoso, K., Wahyuni, S. dan Saputro, S.H., (2012). *Uji Aktivitas Katalis Ni-Mo/Zeolit pada Reaksi Hidrorengkah Fraksi Sampah Plastik (Polietilen)*, **Indonesian Journal of Chemical Science** 1, Universitas Negeri Semarang.
- [13] Das, S. dan Pande, S., (2007). *Pyrolysis and Catalytic Cracking of Municipal Plastic Waste for Recovery of Gasoline Range Hydrocarbons*. **Thesis Chemical Engineering Department National Institute of Technology Rourkela**.
- [14] Ermawati, R. (2011). *Konversi Limbah Plastik Sebagai Sumber Energi Alternatif*. **Jurnal Riset Industri** Vol.5, No.3, pp.257-263, Balai Besar dan Kemasan, Kementerian Perindustrian.
- [15] Holman, J.P., (1986). “*Heat Transfer*”, Sixth Edition, New York: McGraw-Hill,.
- [16] Kevin, O. & Kristin, W., (2001). *Product Design Techniques in Reverse Engineering and New Product Development*.
- [17] Kumar S., Panda, A.K., dan Singh, R.K., (2011). *A Review on Tertiary Recycling of High-Density Polyethylen to Fuel*, Resources. **Conservation and Recycling** Vol. 55 pp.893– 910.
- [18] McCabe, Warren L, dkk.1993. *Unit Operatin Of Chemical Engineering*, New York
- [19] Mujiarto, I., (2005). *Sifat Dan Karakteristik Material Plastik Dan Bahan Aditif*. **Jurnal Traksi** Vol.3, No.2, AMNI Semarang.
- [20] Mulyanef, Burnawi, Muslimin, K., (2014). *Pengolahan Air Laut Menjadi Air Bersih dan Garam dengan Destilasi Tenaga Surya*. **Jurnal Teknik Mesin** Vol.4, No.1, pp.25-29, Universitas Bung Hatta, Sumatra Barat.
- [21] Nasution, R.S., (2015). *Berbagai Cara Penanggulangan Limbah Plastik*. **Journal of Islamic Science and Technology** Vol. 1, No.1, pp.97-104, UIN Ar-Raniry, Banda Aceh

- [22] Ningsih, F.S., Jamarun, N., dan Zulhadjri (2013). *Pengaruh Katalis Dalam Pengolahan Limbah Plastik Low Density Polyethylene (LDPE) Dengan Metode Pirolisis*. **Jurnal Kimia** Vol.2, No.2, pp.128-132, Universitas Andalas.
- [23] Norsujianto, T. (2014). *Konversi Limbah Plastik Menjadi Minyak Sebagai Bahan Bakar Energi Baru Terbarukan*. **Jurnal Element**, Vol.1, No.1, Politeknik Negeri Tanah Laut.
- [24] Osueke dan Ofundu, (2011). *Conversion of Waste Plastics (Polyethylene) to Fuel by Means of Pyrolysis*. **(IJAEST) International Journal of Advanced Engineering Sciences and Technologies**, Vol. No. 4, Issue No. 1, 021 – 024
- [25] Panda, A.K., (2011). *Studies on Process Optimization for Production of Liquid Fuels from Waste Plastics*, **Thesis**, Chemical Engineering Department National Institute of Technology Rourkela.
- [26] Rodiansono,(2005). *Aktivitas Katalis NiMo/Zeolit dan NiMo/Zeolit-Nb2O5 untuk Reaksi Hidrorengkah Sampah Plastik Polipropilena Menjadi Fraksi Bensin*. **Thesis Ilmu Kimia** Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- [27] Sari, K., (2004). *Pengaruh Penambahan Silikon (Si) Dengan Variasi (5%, 7,5%, 10%, 12,5%, 15%) Terhadap Karakteristik Age Hardening*. Skripsi. Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- [28] Surono, U.B. (2013). *Berbagai Metode Konversi Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak*. **Jurnal Teknik**, Vol.3, No.1, pp.32-40, Universitas Janabadra Yogyakarta.
- [29] Tubnonghee. R., Sanongraj, S., Sanongraj, W., (2010). *Comparative Characteristicsof Derived Plastic Oil and Commercial Diesel Oil*. **The8thAsian-PacificRegional Conference on PracticalEnvironmental Technologies**, Ubon Ratchathani University, Ubonratchathani, Thailand.
- [30] Ulrich,K.T.&Steven,E.,(2001). **Perancangan & Pengembangan Produk**. Salemba Teknika, Jakarta
- [31] UNEP (United Nations Environment Programme), 2009. *Converting WastePlastics Into aResource*, Division of Technology. Industry and Economics International Environmental Technology Centre, Osaka/Shiga.
- [32] Walangare, K.B.A., Lumenta, A. S. M. , Wuwung, J. O. , dan Sugiarto, B. A. (2013). *Rancang Bangun Alat Konversi Air Laut Menjadi Air Minum Dengan Proses Destilasi Sederhana Menggunakan Pemanas Elektrik*. **Jurnal Teknik Elektro dan Komputer**, UNSRAT.

Rancang Bangun Mesin Pengering Bibit Jahe Merah Menggunakan Sistem *Blower* di PT YRS

Yasmin Anisah^{1*}, Fais Hamzah², Tri Tiyasmihadi³

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia^{1,2}

Program Studi Teknik Perancangan dan Konstruksi Kapal, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.³

E-mail: yasmin.anisah.ya@gmail.com^{1*}

Abstract – One of the problems of PT. YRS (Confident of Achieving Success) is the damage of red ginger seedlings due to a long period of time during the expedition so that the seeds of ginger decay. One of the decay factors is the high water content. To minimize damage to ginger seeds, red ginger seeds must be aerated (dried) for 1 week in 200 kg. The process is considered less efficient because it still uses manual methods. Therefore, an integrated machine is needed. This red ginger seed drying machine uses a fan blower system as an introduction to hot air with an air flow rate of 29 cfm and uses an automatic system as an electric controller. This ginger seed drying machine requires energy of 790 j / sec or 790 watts. The results in this study are that the red ginger seed drying machine can work well and can achieve drying of ginger seeds with an average moisture content of 83.17% where the moisture content is included in the specification requirements of PT. YRS within 45 minutes. This drying machine speeds up the drying process than before and cuts the operational costs of PT. YRS so that by using this tool PT. YRS can reduce expenses.

Keywords: red ginger seeds, blower, dryer machine.

1. PENDAHULUAN

PT. YRS (Yakin Raih Sukses) adalah Perusahaan berkembang berdiri pada tahun 2013 hingga sekarang, bergerak dibidang pertanian khususnya budidaya jahe merah. Salah satu permasalahan PT. YRS di devisi pengadaan bibit adalah kerusakan bibit jahe karena tingginya kadar air. Semakin tinggi kadar air, semakin tinggi kelembaban sehingga memicu tumbuhnya jamur dan mikroorganisme yang dapat merusak bibit. Untuk meminimalisir kerusakan bibit jahe, bibit jahe dari tanah harus diangin-anginkan (dikeringkan) selama 1 minggu per 200 kg. Proses tersebut dilakukan untuk menurunkan kadar air yang berawal 85% menjadi 84% sebagai minimal kadar air dan 80% sebagai maksimal kadar air yang tergantung dalam bibit jahe sehingga ketika proses ekspedisi bibit jahe tidak mengalami pembusukan (rusak). Pada proses pengeringan bibit jahe tersebut menggunakan 2 kipas angin *standart* diruangan berukuran 4,5 m x 6 m yang sesungguhnya kadar air jahe yang diinginkan tidak mencapai keseluruhan. Pada tahun 2014 perusahaan memproduksi bibit ± 15 ton/tahun, tahun 2015 perusahaan memproduksi ± 18 ton/tahun, tahun 2016 perusahaan memproduksi bibit ± 18 ton/tahun, dan tahun 2017 perusahaan memproduksi ± 20 ton/tahun. Dari data tersebut seiring berjalannya waktu tingginya permintaan customer dari tahun ke tahun dan diburunya *dateline* membuat proses pengeringan tidak dilakukan sesuai prosedur, ditambah dengan rentang waktu yang cukup panjang pada saat

ekspedisi (3-5 hari) sehingga bibit jahe mengalami pembusukan. Masalah tersebut berdampak pada penurunannya omset dan bengkaknya pengeluaran baru karena perusahaan harus mengganti dan mengirim bibit baru kepada customer. Di tambah upah lembur untuk mengerjar *dateline* permintaan customer. Penelitian ini ditujukan pada perencanaan dan pembuatan mesin pengering bibit jahe menggunakan sistem blower. Sistem blower adalah mesin atau alat yang digunakan untuk menaikkan atau memperbesar tekanan udara atau gas yang akan dialirkan dalam suatu ruangan, dirancang agar tidak merusak tunas atau embrio pada bibit jahe merah. Sehingga di harapkan mesin pengering bibit jahe merah dapat membantu pekerja untuk mempercepat pengeringan bibit jahe merah sehingga pengerjaan lebih efisien dalam segi waktu, tenaga pekerja, dan kualitas jahe.

2. METODOLOGI

2.1 Pengumpulan Data

Setelah observasi lapangan, identifikasi masalah, dan studi literatur dilaksanakan, tahapan selanjutnya adalah pengumpulan data. Pengumpulan data berfungsi untuk dasar perhitungan mesin yang dibutuhkan. Data yang diambil adalah temperatur bola kering dan bola basah menggunakan Termometer Sling dan kelembaban udara menggunakan alat ukur yang bernama *Hygrometer*.

Tabel 1: Data Temperatur Bola Basah Dan Bola Kering

	Ruangan Penyimpanan Bibit Jahe	Pengeringan Bibit Jahe
t1 (Bola Kering)	29°	50°
t2 (Bola Basah)	27°	45°
Kelembaban/ Relative Humadity	90%	45%

Data pada pengeringan bibit jahe didapatkan dengan melakukan percobaan pengeringan bibit jahe menggunakan *hairdryer*. Bibit jahe merah diletakan didalam kerdus sebanyak 1 kg dan dikeringkan dengan suhu 50° C selama 5 menit. Setelah mengumpulkan data dengan melakukan alat ukur dan percobaan. Data selanjutnya adalah Ratio Kelembaban, Entalpi, Spesifik Volum. Data tersebut didapat dengan menggunakan aplikasi android yaitu *Psychrometric Calculation*. Maka didapatkan data sebagai berikut :

Tabel 2: Data Hasil Aplikasi Psikometrik

	Ruangan Penyimpanan Bibit Jahe	Pengeringan Bibit Jahe
Humadity Ratio	0,022 kg/ kg'	0,036 kg/ kg'
Enthalpy	88 kj/ kg	144 kj/ kg
Volume Spesific	0,89 m ³ / kg	0,97 m ³ / kg

2.2 Perhitungan Elemen Mesin

Pada sub bab ini dilakukan beberapa perhitungan. Tujuan dilakukan perhitungan ini untuk mengetahui spesifikasi yang dibutuhkan pada mesin pengering bibit jahe. Setelah melakukan perhitungan dapat dilakukan selanjutnya yaitu perencanaan design mesin pengering bibit jahe.

2.2.1 Jumlah Uap Air yang Dikeluarkan Bahan

Pada proses pengeringan kadar air bahan akan menguap. Jumlah kadar uap air yang dikeluarkan (*Wa*) digunakan untuk perhitungan laju aliran udara. Laju aliran udara tersebut digunakan untuk mengetahui kapitas blower pengeringan bibit jahe merah pada mesin pengering. Maka berdasarkan Yatsribi, M.R, (2017) dalam Brooker et al, (1974) untuk mendapatkan nilai jumlah uap air yang dikeluarkan bahan dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut :

$$Wa = \frac{(m_0 - m_1)}{t}$$

Dimana :

Wa = jumlah uap air yang dikeluarkan bahan (kg/s)

m₀ = massa bibit jahe dalam bahan saat basah (kg)

m₁ = massa bibit jahe dalam kering (pengeringan maksimal) (kg)

t = waktu (detik)

Maka :

$$Wa = \frac{(10 - 9,5)}{2700}$$

$$Wa = 1,85 \times 10^{-4} \text{ kg/s}$$

Jadi jumlah uap air yang dikeluarkan bibit jahe merah pengeringan maksimal adalah $1,85 \times 10^{-4}$ kg/s.

2.2.2 Laju Aliran Udara

Laju aliran udara disebut juga debit. Nilai laju aliran tersebut digunakan untuk memilih kapasitas *blower fan* yang dibutuhkan untuk mesin pengering. Maka berdasarkan Supriatna, A, (2003) dalam Brooker et al, (1974) untuk mendapatkan nilai laju aliran udara dapat dicari dari persamaan sebagai berikut :

$$Q = \frac{Wa \cdot v}{(Hd - Ha)}$$

Dimana :

Wa = jumlah uap air yang dikeluarkan bahan (kg/s)

v = volume spesifik udara pada pengeringan (m³/kg)

Ha = ratio kelembaban lingkungan (kg/kg')

Hd = ratio kelembaban pengering (kg/kg')

Maka :

$$Q = \frac{1,85 \times 10^{-4} \cdot 0,97}{(0,036 - 0,023)}$$

$$Q = 1,38 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{second} = 29 \text{ cfm.}$$

Jadi kecepatan udara yang dibutuhkan mesin untuk mengeringkan 10 kg bibit jahe adalah $1,38 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{second}$ atau 29 cfm.

2.2.3 Energi untuk Memanaskan Udara Pengering

Perhitungan energi digunakan untuk mengetahui energi atau watt yang dibutuhkan memanaskan mesin pengering bibit jahe merah. Setelah mengetahui nilai energi yang dibutuhkan dapat mengetahui kapasitas daya pada heater atau elemen pemanas pengering. Maka berdasarkan Supriatna, A, (2003) dalam De Padua, (1981) untuk mendapatkan nilai energi memanaskan udara pengering dapat dicari dari persamaan sebagai berikut :

$$q = Q \cdot \frac{(hd - ha)}{v}$$

Dimana :

Q = laju aliran udara (m³/s)

hd = entalpi pengeringan (kj/kg)

ha = entalpi penyimpanan bibit jahe (kj/kg)

v = volume spesifik udara pada pengeringan (m³/kg)

Maka :

$$q = 1,38 \times 10^{-2} \cdot \frac{(144 - 88)}{0,97}$$

$$q = 0,79 \text{ kj/second} = 790 \text{ j/second}$$

$$= 790 \text{ watt}$$

Jadi energi panas untuk memanaskan udara yang dibutuhkan mesin untuk mengeringkan 10 kg bibit jahe adalah 790 j/second atau 790 watt.

2.2.4 Perhitungan Volume Mesin Pengering

Perhitungan volum mesin pengering digunakan untuk mengetahui volum yang dibutuhkan oleh mesin. Sehingga nilai tersebut dapat mengetahui dimensi secara umum pada mesin yang dibutuhkan. Maka menggunakan persamaan gas ideal pada termodinamika untuk mendapatkan volum mesin pengering dapat dicari dari persamaan sebagai berikut :

$$P.V = n. R. T$$

Dimana :

- P = Tekanan (Pa) dalam tabel A-11
- V = Volum Ruang (m³)
- n = 1
- R = 831,4 J/kmol
- T = Suhu (K)

Maka :

$$V = \frac{n. R. T}{P}$$

$$V = \frac{1. 831,4. 323}{1386000}$$

$$V = 0,197 = 0,20 \text{ m}^3$$

Jadi volume yang dibutuhkan mesin pengering adalah 0,20 m³, sehingga dimensi yang dirancang adalah 0,59x0,59x0,60 m.

2.2.5 Perhitungan Luas Penampang Rak Pengering Bibit Jahe

Perhitungan luas penampang digunakan untuk mengetahui dimensi luas penampang rak pada mesin pengering. Perpindahan kalor oleh mesin adalah perpindahan kalor konveksi dimana perpindahan panas melalui perantara, perantara adalah blower yang membawa udara panas. Maka untuk mendapatkan nilai luas penampang rak pengering bibit jahe dapat dicari dari persamaan sebagai berikut:

$$H_{konv} = h. A. (T_1.T_2)$$

Dimana :

- H = Laju perpindahan konveksi (W)
- h = Besar koefisien, 500 (W/m²K)
- k = konduktivitas termal (W/mK)
- A = luas penampang rak (m²)
- (T₁.T₂) = perubahan suhu (K)

Maka :

$$H_{konv} = h. A. (T_1.T_2)$$

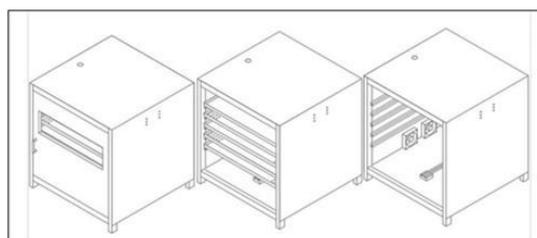
$$A = \frac{H_{konv}}{h.(T_1-T_2)}$$

$$A = \frac{790}{500.(5)}$$

$$A = 0,34 \text{ m}^2$$

Jadi luas penampang rak pengering yang dibutuhkan adalah 0,34 m², sehingga dimensi yang dirancang 0,59x0,59 m.

2.3 Perancangan Mesin



Gambar 1. Perancangan Mesin

Mesin pengering bibit jahe merah berdimensi 640 mm x 640 mm x 700 mm. Berdaya sebesar 831,7 watt. Terdapat 1 heater untuk mempercepat proses pengeringan, 2 blower fan sebagai perantara udara panas dan 1 blower fan sebagai exhaust. Memiliki tombol power dan timer sebagai pengontrol pengeringan. Total harga pembuatan mesin pengering bibit jahe merah sebesar Rp. 3.225.000,- .

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Kadar Air Bibit Jahe Merah

Pada sub bab ini dilakukan pengujian kadar air bibit jahe merah. Pengujian ini bertujuan memenuhi syarat umum kadar air bibit jahe merah ketika ekspedisi ialah antara 80%-84%. Dimana minimum kadar air jahe merah pada bibit jahe merah adalah 84% dan maksimum pengeringan kadar air jahe merah adalah 80%.

Percobaan dilakukan 3 kali dengan waktu yang berbeda yaitu 15 menit dan 45 menit. Pengeringan menggunakan 5 rak susun dimana setiap rak berisi ± 2 kg atau ± 2000 g jahe. Sebelum proses pengeringan dilakukan pemanasan mesin pengering mencapai 70 ° C dan ketika proses pengeringan suhu akan turun menjadi 50 ° C. Alat ukur yang digunakan adalah timbangan digital kapasitas 5 kg dan cawan bibit jahe merah.

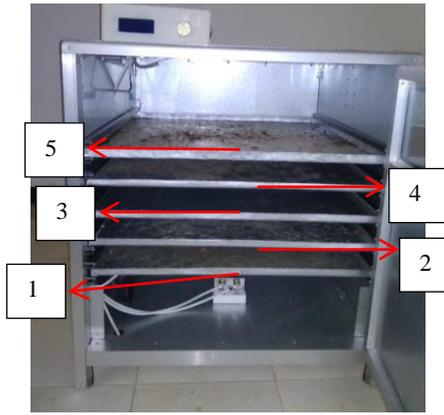
Untuk mengetahui nilai kadar air jahe merah setelah proses pengeringan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$M_3 = 85\% - M_2$$

$$M_2 = \frac{mb - mk}{mb} . 100\%$$

Dimana :

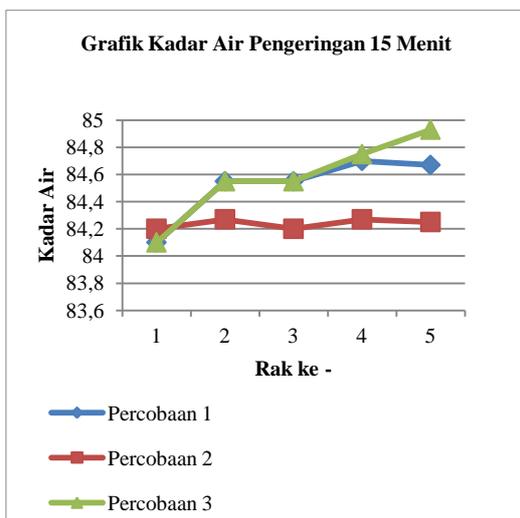
- M₃ = kadar air bibit jahe merah (%)
- M₂ = kadar air basis basah (%)
- mb = massa bibit jahe basah (g)
- mk = massa jahe kering (g)



Gambar 2. Mesin Pengering Bibit Jahe

Tabel 3: Hasil Pengujian Kadar Air Waktu 15 Menit

Percobaan	Waktu (Menit)	Suhu (°C)	Rak	Massa Sebelum (g)	Massa Sesudah (g)	Kadar Air (%)
1	15	50	1	2004	1986	84,10
			2	2002	1993	84,55
			3	2015	2006	84,55
			4	2009	2003	84,70
			5	1539	1534	84,67
2	15	50	1	2000	1984	84,20
			2	2004	1988	84,27
			3	2002	1990	84,20
			4	2004	1988	84,27
			5	1631	1616	84,25
3	15	50	1	2004	1986	84,10
			2	2002	1993	84,55
			3	2015	2006	84,55
			4	2008	2003	84,75
			5	1535	1534	84,93
Kadar Air Rata-Rata (%)						84,44



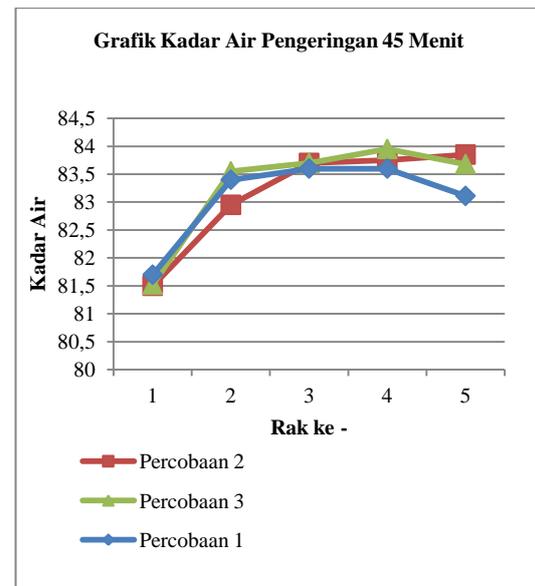
Gambar 3. Grafik Kadar Air Pengering Bibit Jahe 15 Menit

Dari hasil pengujian kadar air diatas dalam waktu 15 menit didapatkan nilai kadar air rata-rata adalah 84,44% dimana nilai tersebut tidak mencapai syarat kadar air yang diinginkan yaitu antara 80%-84% sehingga tidak layak untuk

perlakuan ekpedisi. Percobaan selanjutnya pengeringan dalam waktu 45 menit.

Tabel 4: Hasil Pengujian Kadar Air Waktu 45 Menit

Percobaan	Waktu (Menit)	Suhu (°C)	Rak	Massa Sebelum (g)	Massa Sesudah (g)	Kadar Air (%)
1	45	50	1	2004	1938	81,70
			2	2002	1970	83,40
			3	2015	1988	83,60
			4	2009	1980	83,60
			5	1539	1510	83,11
2	45	50	1	2000	1930	81,50
			2	2004	1963	82,95
			3	2002	1980	83,70
			4	2004	1979	83,75
			5	1631	1977	83,85
3	45	50	1	2012	1942	81,52
			2	2005	1976	83,55
			3	2002	1976	83,70
			4	2008	1987	83,95
			5	1525	1505	83,68
Kadar Air Rata-Rata (%)						83,17



Gambar 4. Grafik Kadar Air Pengering Bibit Jahe 45 Menit

Dari hasil pengujian kadar air diatas dalam waktu 45 menit didapatkan nilai kadar air rata-rata adalah 83,17% dimana nilai tersebut mencapai syarat kadar air yang diinginkan yaitu antara 80%-84% sehingga layak untuk perlakuan ekpedisi.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, perencanaan, serta pengujian alat mesin pengering bibit jahe merah menggunakan sistem blower maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Dengan melakukan observasi, mengumpulkan data, menghitung uap air yang dikeluarkan bahan didapatkan mesin pengering bibit jahe merah ini membutuhkan jumlah energi yang ditransfer sebesar 790 j/s untuk mencapai kadar air antara 80%-84%.

2. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan laju aliran udara yang dibutuhkan pada *blower fan* adalah 29 cfm atau $1,38 \times 10^2 \text{ m}^3/\text{second}$ untuk mencapai kadar air antara 80%-84%.
 3. Mesin pengering bibit jahe merah berdimensi 640 mm x 640 mm x 700 mm. Berdaya sebesar 831,7 watt. Terdapat 1 heater untuk mempercepat proses pengeringan, 2 *blower fan* sebagai perantara udara panas dan 1 *blower fan* sebagai *exhaust*. Memiliki tombol *power* dan *timer* sebagai pengontrol pengeringan. Total harga pembuatan mesin pengering bibit jahe merah sebesar Rp. 3.225.000,- .
 4. Penggunaan mesin pengering bibit jahe merah lebih efisien dibanding menggunakan metode manual. Penggunaan mesin proses pengeringannya tidak membutuhkan banyak tenaga dan tidak tergantung terhadap cuaca. Penggunaan mesin lebih banyak memproduksi bibit jahe siap ekspedisi dimana dalam 1 bulan penggunaan mesin dapat menghasilkan 3 ton/bulan sedangkan metode manual menghasilkan 1 ton/bulan. Metode menggunakan manual mengeluarkan biaya operasional Rp 3.093.600/bulan sedangkan metode menggunakan mesin Rp 1.743.272/bulan.
- ### 5. DAFTAR PUSTAKA
- [1] Agassi, E.A. Retno W dan Cahyono (2015). *Penentuan Konsep Perancangan Alat Pengeringan Simplisa Jahe Menggunakan Sumber Panas Sinar Matahari Dengan Backup Panas Kompor Biomassa*. **Jurnal Teknik Industri**, Vol X, No. 3, September 2015.
 - [2] Badan Standardisasi Nasional.(2006). **Benih Jahe (Zingiber Officinale L.) SNI01-7153-2006**. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
 - [3] Divisi Budidaya. (2013). **Panduan Budidaya Jahe**. Surabaya: PT. YRS.
 - [4] Fathona D (2011). Kandungan Gingerol dan Shogaol Intensitas Kepedasan dan Penerimaan Panelis Terhadap Oleoresin Jahe Gajah, Jahe Emprit, dan Jahe Merah. **Penelitian**. No. F24051308. Institut Pertanian Bogor.
 - [5] Mita, A.A. (2017). Rancang Bangun Alat Penyangrai Kopi dan Penggiling Kopi Otomatis Berbasis Mikrokontroler. **Tugas Akhir**, No.606502A, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
 - [6] Prihatman, K. (2000). **Budidaya Jahe**. Jakarta: BAPPENAS.
 - [7] Sari, G.P (2011). Studi Budidaya dan Pengaruh Lama Pengeringan Terhadap Jahe Merah. **Penelitian**. Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau Pekanbaru.
 - [8] Sukarman, D. Rusmin dan Melati (2007). Viabilitas Benih Jahe (*Zingiber officinale* Rosc.) Pada Cara Budidaya dan Lama Penyimpanan yang Berbeda. **Penelitian Tanaman Obat dan Aromatik**, Vol.XVII, No.1, 2007.
 - [9] Supriatna, A. Sumangat D dan Risfaheri (2003). *Rekayasa Teknologi Mesin Pengering Rimpang Jahe*. **LITTRI**, Vol.9, NO.49.
 - [10] Tahir, Muh dan W. Purnama (2010). *Desain Tungku Biomassa Pada Sistem Pengering Erk-Hibrid Untuk Pengeringan Benih Jarak Pagar*. **Jurnal Teknik Pertanian**, Vol.24. No.1, April 2010.
 - [11] Ulum, Y.M (2016). Rancang Bangun Mesin Pengupas Kelapa dan Pengurai Sabut Kelapa Kapasitas 90 Butir/jam. **Tugas Akhir**. Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

Rancang Bangun Mesin *Stapler* Siku Kayu Fleksibel Dua Sisi dengan Sistem Elektropneumatik pada Perusahaan Manufaktur Mebel

Kholiqul Misbah^{1*}, Heroe Poernomo², Rizal Indrawan³

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.^{1,3}

Program Studi Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.²
E-mail: kholiqulmsb@gmail.com^{1*}

Abstract – PT. Marufuji Kenzai Indonesia one of furniture manufacture company in east java which use elbow stapler machine to assist production process. This elbow stapler machine is used to unite the elbow portion of the fiberboard (hardboard) material. However, the elbow stapler machine used is only able to be used to unite one side only. This of course inhibits the production process considering the number of stapler engines is not proportional to the number of fiber board material (hardboard) that is done. The method used to overcome the problem of delay in the work of fiberboard material (hardboard) is to make a two-sided flexible wooden elbow stapler machine using electropneumatic system. The working system of this machine will use three pneumatic cylinders where two cylinders are used for the stapler and one large cylinder is used to push the stapled material. Making this machine will be through several stages such as design, detail drawing, framework analysis, simulation, electropneumatic system design, to the assembly stage (assembly). Making the flexible wooden elbow stapler machine is expected to be able to overcome the problems that often occur in the process stapler material that has been produced. So that the work is usually done by one operator can be helped by the performance of this flexible wooden elbow stapler machine. So no more stacking of material in the stapler that resulted in disruption of some further process.

Keywords : electropneumatic, flexible, hardboard, stapler

1. PENDAHULUAN

PT. Marufuji Kenzai Indonesia adalah salah satu perusahaan manufaktur yang bergerak pada bidang olahan kayu. Pada perusahaan tersebut terdapat berbagai macam alat bantu yang digunakan untuk mengolah produk berbahan baku kayu yang menghasilkan produk berbentuk desain interior dan eksterior atau biasa disebut mebel (*furniture*). Saat ini pada perusahaan manufaktur mebel tersebut terdapat alat bantu mesin *stapler* siku untuk membantu proses produksi. Tetapi, mesin *stapler* siku yang digunakan tersebut masih kurang maksimal pada penggunaannya. Operator pada mesin *stapler* siku tersebut berbicara bahwa mesin *stapler* siku yang ada di perusahaan manufaktur mebel tersebut masih kurang efisien dan masih terdapat kekurangan pada penggunaannya.

Kelemahan mesin *stapler* siku yang ada pada PT. Marufuji Kenzai Indonesia diantara lain yaitu *nozzle* tembak biji *stapler* yang terdapat pada mesin *stapler* siku tersebut hanya satu. Sehingga, waktu yang diperlukan untuk mengerjakan empat sisi dari material papan serat (*hardboard*) tersebut kurang efisien. Dari permasalahan tersebut, maka diperlukan mesin *stapler* siku yang mempunyai desain lebih kuat dan dapat bertahan dalam jangka waktu yang

lama. Mesin *stapler* siku yang mampu digunakan untuk menyatukan material papan serat (*hardboard*) dengan dua sisi bagian secara otomatis. Sehingga, dapat mengefisien waktu yang dibutuhkan untuk proses *stapler* pada perusahaan manufaktur mebel. Mesin *stapler* juga mampu digunakan untuk mengerjakan beberapa ukuran material papan serat (*hardboard*) yang terdapat pada perusahaan manufaktur mebel tersebut sehingga tidak perlu berpindah mesin jika akan mengerjakan material papan serat (*hardboard*) yang berukuran besar.

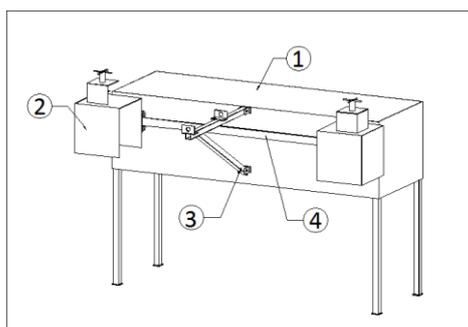
2. METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan di PT. Marufuji Kenzai Indonesia, Mojokerto tahun 2017. Pengumpulan data dilakukan dengan penyebaran kusioner kepada karyawan PT. Marufuji Kenzai Indonesia terutama pada bagian operator *stapler*. Penetapan spesifikasi dibuat untuk memudahkan dalam pembuatan konsep desain. Apabila sudah dibuat konsep desain maka dilakukan penyaringan konsep desain dan penilaian konsep desain untuk menentukan nilai konsep desain paling tinggi untuk dijadikan produk jadi.

2.1 Pembuatan Konsep Desain

Dari tabel penetapan spesifikasi produk, maka akan didapatkan spesifikasi produk yang diharapkan dan selanjutnya diterapkan pada konsep desain. Pada penelitian ini dibuatlah 3 konsep desain yang nantinya akan dipilih untuk diwujudkan menjadi sebuah produk. Berikut adalah 3 konsep desain yang sudah dibuat :

a. Konsep Desain 1



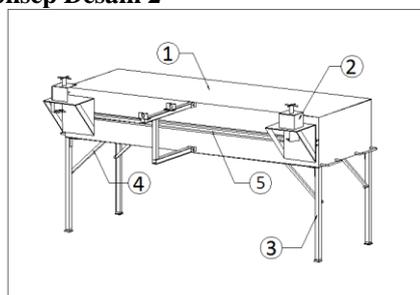
Gambar 1. Konsep Desain 1

Keterangan gambar :

1. Meja Kerja
2. Rumah Stapler Siku
3. Dudukan Piston Besar
4. Rail Penggerak Stapler

Pada konsep desain 1 ini mesin *stapler* siku kayu mempunyai meja kerja dengan ukuran $P = 1500\text{mm} \times L = 500\text{mm} \times T = 1000\text{mm}$. Pada konsep desain 1 ini juga terdapat dudukan silinder pneumatik yang berada di tengah meja yang berfungsi untuk mendorong keluar secara otomatis setelah *frame* tersebut digabungkan. Konsep desain 1 ini mampu mengerjakan 2 sisi siku material *frame* dalam satu kali kerja dengan ukuran maksimal $1500\text{mm} \times 500\text{mm} \times 20\text{mm}$ secara bersamaan.

b. Konsep Desain 2



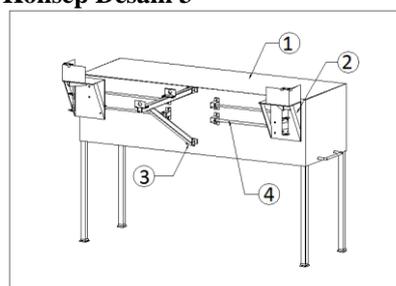
Gambar 2. Konsep Desain 2

Keterangan gambar :

1. Meja Kerja
2. Rumah Stapler Siku
3. Dudukan Piston Besar
4. Bracket Lipat
5. Rail

Pada konsep desain 2 ini mesin *stapler* siku kayu mempunyai meja kerja dengan ukuran $P = 2000\text{mm} \times L = 700\text{mm} \times T = 1000\text{mm}$. Ukuran pada konsep desain ini lebih besar. Pada konsep desain 2 ini mempunyai kaki pada meja kerja yang dapat dilipat. Sehingga, pada meja mudah untuk diletakan. Konsep desain 2 ini mampu mengerjakan 2 sisi siku material *frame* dalam satu kali kerja dengan ukuran maksimal $1500\text{mm} \times 500\text{mm} \times 20\text{mm}$ secara bersamaan. Pada rumah *stapler* yang ada pada konsep desain 1 juga dapat diatur dan disesuaikan dengan ukuran *frame* yang dikerjakan. Sistem penggerak rail menggunakan *bearing hollow*. Pada dudukan piston pendorong juga mempunyai ukuran yang lebih besar dari konsep desain 1 dan 3.

c. Konsep Desain 3



Gambar 3. Konsep Desain 3

Keterangan gambar :

1. Meja Kerja
2. Rumah Stapler Siku
3. Dudukan Piston Besar
4. Rail Penggerak Stapler

Pada konsep desain 3 ini mesin *stapler* siku kayu mempunyai meja kerja dengan ukuran $P = 1500\text{mm} \times L = 500\text{mm} \times T = 1000\text{mm}$. Pada konsep desain 3 ini mempunyai dua rail penggerak dengan menggunakan sistem *linear bearing* sebagai penggerak dan *roundbar stainless steel* sebagai rail. Konsep desain 3 ini mampu mengerjakan 2 sisi siku material *frame* dalam satu kali kerja dengan ukuran maksimal $1500\text{mm} \times 500\text{mm} \times 20\text{mm}$ dan lebar 40mm secara bersamaan. Pada rumah *stapler* yang ada pada konsep desain 3 juga dapat diatur dan disesuaikan dengan ukuran *frame* yang dikerjakan. Penyiku pada rumah *stapler* juga dilengkapi dengan pengunci *frame* dengan menggunakan sistem *spring*. Sehingga *frame* bagian bawah yang telah dikerjakan kemudian didorong oleh piston sehingga dapat keluar.

2.2 Matrik Penilaian Konsep

Dibuatlah sebuah tabel penilaian konsep yang dapat membantu memilih dari 3 konsep desain yang sudah dibuat yang nantinya akan dijadikan 1 produk jadi. Desain, efisiensi waktu, *life time*, berat, sistem pencekaman termasuk sebagai kriteria seleksi penilaian konsep.

Tabel 1: Penilaian Konsep

Matrik Penilaian Konsep									
Kriteria Seleksi	Bobot	Konsep Produk dan Referensi							
		Konsep 1		Konsep 2		Konsep 3		Referensi	
		Rate	Skor Bobot	Rate	Skor Bobot	Rate	Skor Bobot	Rate	Skor Bobot
Desain	25%	4	1	4	1	5	1,25	3	0,75
Dimensi	10%	4	0,4	3	0,3	4	0,4	2	0,2
Efisiensi Waktu	25%	5	1,25	5	1,25	5	1,25	2	0,5
Sistem Penggerak	15%	4	0,6	3	0,45	4	0,6	2	0,3
Kekuatan Meja Kerja	20%	5	1	2	0,4	5	1	3	0,6
Bobot Total	95%								
Nilai Absolut		22	4,25	17	3,4	23	4,5	12	2,3
Nilai Relatif (%)		28%	29%	24%	24%	22%	22%	21%	20%

2.3 Fabrikasi dan Perakitan

Tahapan fabrikasi dan perakitan merupakan tahap pengerjaan desain yang telah dibuat, dalam hal ini adalah pembuatan mesin *stapler* siku kayu fleksibel dua sisi dengan sistem elektropneumatik. Pada tahapan ini dijelaskan detail dari pengerjaan pada setiap proses sehingga terjadinya satu bentuk mesin sesuai desain yang telah dibuat sebelumnya. Pengerjaan ini dibagi menjadi beberapa proses yang akan dideskripsikan sebagai berikut.

a. Pembuatan Meja Kerja

Tahap pertama adalah proses pembuatan meja kerja pertama ini mula-mula dipilih material yang akan digunakan pada kerangka meja kerja sesuai dengan perhitungan yang telah dilakukan pada sub bab sebelumnya yaitu profil L 30 mm x 30 mm, hollow section 30 mm x 30 mm, dan plat dengan ketebalan 2 mm. Dapat dilihat pada gambar 4. berikut merupakan potongan material kerangka meja kerja pada mesin *stapler* siku kayu.



Gambar 4. Hasil Perakitan Meja Kerja

b. Pembuatan Rumah *Stapler*

Tahap ketiga adalah proses pembuatan rumah *stapler* siku. Proses pembuatan rumah *stapler* siku ini menggunakan plat dengan dimensi P = 350mm x L = 150mm Tebal = 2mm. Selanjutnya, plat tersebut di *bending* sampai membentuk sudut 90° dan diberi lubang pada posisi horizontal dan vertikal. Lubang ini digunakan untuk merakit rumah *stapler* dengan dudukan *linear bearing* sehingga dapat bergerak pada rail. Dapat dilihat pada gambar 5 dibawah ini adalah hasil proses *bending* rumah *stapler*.



Gambar5. Hasil Perakitan Rumah *Stapler*

c. Proses Perakitan Elektropneumatik

Berdasarkan perencanaan elektro yang telah dibuat sebelumnya, maka dapat dilakukan pemasangan komponen elektro yang telah direncanakan sebelumnya pada mesin *stapler* siku kayu ini. Sehingga sistem kontrol pada mesin *stapler* siku kayu ini dapat digunakan dengan baik. Adapun komponen elektro yang digunakan diantaranya adalah 1 buah *power supply*, 1 buah kabel *power*, 3 buah *relay unit*, 2 buah *magnetic switch*, dan 2 buah *solenoid valve*. Pada gambar 6 berikut merupakan komponen – komponen dari susunan elektropneumatik yang digunakan pada mesin *stapler* siku kayu.



Gambar 6. Komponen Elektropneumatik

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Akhir Mesin *Stapler* Siku Kayu

Setelah dilakukan seluruh tahapan pada perancangan dan *assembly* atau perakitan terhadap mesin *stapler* siku kayu ini, maka didapatkan hasil mesin *stapler* siku kayu yang sesuai dengan desain yang telah dibuat sesuai pada gambar 7



Gambar 7. Hasil Akhir Mesin Stapler Siku Kayu

3.2 Pengujian Mesin Stapler Siku Kayu

Mesin *stapler* siku yang sudah selesai dibuat maka langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian mesin dengan cara digunakan sebagai produksi. Pengujian akan dilakukan di kampus politeknik perkapalan negeri surabaya. Mesin *stapler* siku kayu ini diuji agar dapat diketahui kemampuan dari mesin *staplersiku* yang baru apakah dapat lebih baik dari mesin *staplersiku* sebelumnya. Pada pengujian ini kriteria yang digunakan sebagai parameter pengujian adalah kekuatan material kerangka mesin, efisiensi waktu, jumlah muat *frame* papan serat (*hardboard*) yang akan dikerjakan. Apabila hasil pengujian membuktikan mesin *staplersiku* yang baru lebih baik maka dapat dilanjutkan pada proses selanjutnya, tetapi apabila mesin *staplersiku* tidak lebih baik dari mesin *staplersiku* sebelumnya maka mesin *staplersiku* yang baru perlu dilakukan perbaikan dan kemudian dilakukan pengujian kembali. Pengujian ini dilakukan dengan cara membandingkan antara mesin *staplersiku* yang lama dengan mesin *staplersiku* yang baru.

Tabel 2 : Perbandingan Mesin

No.	Mesin Stapler Siku Kayu Baru	Mesin Stapler Siku Lama
1.	Mampu digunakan untuk menstapler material papan serat (<i>hardboard</i>) dengan dua sisi sekaligus.	Mampu digunakan untuk menstapler material papan serat (<i>hardboard</i>) satu sisi.
2.	Mampu mengeluarkan biji <i>stapler</i> sebanyak 3 biji secara bersamaan.	Mampu mengeluarkan biji <i>stapler</i> sebanyak 1 biji.
3.	Mampu digunakan untuk mengerjakan material papan serat (<i>hardboard</i>) dengan ukuran yang berbeda.	Mampu digunakan untuk mengerjakan material papan serat (<i>hardboard</i>) dengan dimensi yang kecil.
4.	Mampu digunakan untuk mengerjakan material papan serat (<i>hardboard</i>) sebanyak 5 tumpukan secara otomatis.	Mampu digunakan mengerjakan material papan serat (<i>hardboard</i>) secara manual.
5.	Hasil penyambungan material papan serat (<i>hardboard</i>) lebih kuat meskipun tidak memakai lem.	Hasil penyambungan material papan serat (<i>hardboard</i>) harus diberi lem terlebih dahulu.
6.	Memiliki meja kerja yang dapat digunakan untuk menstapler bagian tengah kerangka pada material papan serat (<i>hardboard</i>).	Memerlukan meja kerja untuk menstapler bagian tengah kerangka pada material papan serat (<i>hardboard</i>).

4. KESIMPULAN

Berdasarkan perancangan, pembuatan dan pengujian mesin *stapler* siku kayu fleksibel dua sisiyang telah dilakukan dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Rancangan mesin *stapler* siku kayu yang mampu mengefisiensi waktuproses *stapler*, pembuatan mesin *stapler* yang baru menggunakan profil hollow dan profil L ASTM A36 dengan dimensi meja kerja P = 1500 mm x L = 500 mm x T = 1000 mm yang dirangkai menggunakan las SMAW dan diketahui kekuatan meja kerja dengan analisa menggunakan *software* CATIA sebesar 166,6 Mpa yang mampu menahan beban dari 5 buah *frame* papan serat (*hardboard*) sebesar 42,6 Pa. Terdapat 2 rumah *stapler* siku dengan dimensi P = 200 mm dan L = 150 mm yang digunakan untuk menstapler siku kayu papan serat (*hardboard*) sehingga dapat menstapler dua sisi.
2. Cara membuat mesin *stapler* siku yang dapat digunakan untuk mengerjakan *frame* papan serat (*hardboard*) dengan ukuran yang berbeda menggunakan sistem *linear guide*. Terdapat tiga komponen yang bekerja pada sistem ini yaitu rumah *stapler* siku sebanyak 2 buah dengan desain yang mampu digunakan untuk menstapler kayu, dudukan rumah *stapler* (*linear bearing*) dengan dimensi Ø12 mm sebagai penghubung antara rumah *stapler* dan *rounbar*, *roundbar* stainless steel P = 500 mm x Ø12 mm berfungsi sebagai rail untuk menggerakkan rumah *stapler* sehingga dapat mengerjakan *frame* kayu dengan dimensi yang berbeda.
3. Untuk membuat mesin *stapler* siku dengan sistem elektropneumatik terdapat 3 buah silinder piston pneumatik dengan tipe *double acting* silinder yang terbagi 2 bagian yaitu piston kecil dan piston besar. Didapatkan perhitungan diameter minimal piston kecil 1,2 cm dengan gaya dorong sebesar 10,4 kgf dan gaya tarik sebesar 8,9 kgf serta perhitungan diameter minimal piston besar 1,7 cm dengan gaya dorong 36,7 kgf serta gaya tarik sebesar 29,8 kgf. Pada sistem elektropneumatik ini juga terdapat 2 buah solenoid valve 5/2 *double coil* untuk kontrol udara dan sebagai *power* dari aktuator silinder pneumatik, 3 buah *relay contactor* dengan socket, 1 buah *limit switch* dan juga kabel sebagai penghubung rangkaian, 2 buah *push button* dengan 2 pinsebagai tombol dan 1 buah *power supply* dengan arus DC 24V sumber daya listrik yang digunakan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Akhmad, A.A., 2009. Perancangan simulasi sistem pergerakan dengan pengontrolan pneumatik untuk mesin pengamplasan kayu otomatis.,Jurnal Rekayasa Sriwijaya, 18 (3).
- [2] Anditha, I.F dan Wangkok, K.T. 2017. Perancangan dan Simulasi Elektro Pneumatik *Holder Mechanism* Pada *Sheet Metal Shearing Machine*, Jurnal PROFISIENSI, 5 (1) , pp. 51-60.
- [3] Crist, T., 1993. Dasar – Dasar Pneumatik. Erlangga.
- [4] Destu, R., 2015. Pembuatan Alat Peraga Pneumatik Dengan Sistem Kontrol Elektropneumatik.Politeknik Negeri Padang. Padang.
- [5] Dhiana, A.S., 2010. Rancang Bangun Sistem Pakar Untuk Mendeteksi Gizi Buruk Pada Balita. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah, Jakarta.
- [6] Hernawati., 2013. Mengetahui Koefisien Gesek Statik dan Kinetis melalui Konsep Gerak Melingkar Beraturan,Jurnal Teknosians,7 (2), pp.55-65.
- [7] Indrawan, D.A, dkk., 2015. Pembuatan Hardboard dari Serat Alternatif Menggunakan Lignin Alaminya dan Tanin Formaldehida Sebagai Perekat. Jurnal Selulosa, 5.(1).
- [8] Jogiyanto, H.M., 2005. Analisa dan Desain Sistem Informasi : Pendekatan Terstruktur Teori dan Praktik Aplikasi Bisnis.Andi.
- [9] Pressman, R.S., 2009. Web Engineering A Practitioner's Approach. McGraw-Hill Higher Education.
- [10] Wicaksana, D., Poernomo, H., & Bisono, F. (2018, January). Rancang Bangun Mesin Pencetak Tahu Takwa Dan Stik Tahu Menggunakan Sistem Elektropneumatik. In Conference on Design and Manufacture and Its Application (Vol. 1, No. 1, pp. 212-218)

Rancang Bangun *Vacuum Clamp* sebagai Teknologi Pendukung dalam Pengerjaan Kayu pada Mesin Cnc Router 3 Axis

Yogi Setiawan^{1*}, Faiz Hamzah², Fipka Bisono³

¹Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.^{1,2,3}
E-mail: yogisetiawan1945@gmail.com^{1*}

Abstract – Proses milling material kayu yang tipis pada mesin CNC Router 3 Axis tidak dapat menggunakan cekam biasa. Material kayu yang tipis bisa dijepit dengan clamp atau dibaut. Pembuatan lubang baut juga tidak mudah dan tidak efisien. Selain clamping kit alat cekam bisa menggunakan sistem perekatan dengan lem yang dapat merusak permukaan material. Dari permasalahan tersebut, diperlukan alat cekam yang mampu menahan gaya potong saat proses milling tanpa merusak permukaan material. Vacuum clamp merupakan sebuah solusi untuk permasalahan tersebut. Metode yang digunakan dalam pembuatan vacuum clamp dimulai dari proses observasi spesifikasi mesin CNC router dan sifat material kayu. Setelah data yang dikumpulkan, maka dilakukan proses perhitungan kapasitas pompa, kekuatan cekam, dan detail drawing. Proses berikutnya yaitu pembuatan komponen dan perakitan vacuum clamp yang akan diuji langsung pada mesin CNC router 3 axis. Hasil dari penelitian ini yaitu dari nilai tegangan geser kayu jati sebesar 13 Mpa menggunakan endmill 6 mm sudut helix 25° didapatkan resultan gaya potong sebesar 40,97 N. Dari luas minimum meja vakum 1764 mm², dipilih kapasitas pompa sebesar 1 bar. Pengujian dilakukan menggunakan 1 meja vakum dan 2 meja vakum dengan uji kesejajaran dan dimensi profil, hasil pengukuran produk uji menghasilkan nilai akurasi > akurasi penyimpangan maksimum.

Keywords: CNC router, Kayu, Klem, Vacuum

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara beriklim tropis yang memiliki peluang terhadap pasar internasional di bidang produk per kayu menuju visi ekonomi kreatif Indonesia 2025 (Pangestu, 2008). Indonesia memiliki beberapa subsektor industri kerajinan yaitu salah satunya kelompok 20293 bidang ukir – ukiran kecuali *mebeller* seperti relief, topeng, patung, wayang, pigura, dan kap lampu (Klasifikasi Baku Lapangan Usaha Indonesia, 2005). CNC router 3 axis sudah banyak berkembang di dunia industri manufaktur mebel dan interior. Salah satu pengembangan CNC router kayu yaitu dengan ukuran meja kerja 350 mm x 530 mm digunakan untuk pengerjaan kayu jati, mahoni, *plywood*, dan jenis kayu lain (Dzuhriansyah, 2017). Pada mesin CNC yang sudah ada pencekaman material masih menggunakan klem dan mur baut yang menimbulkan kerusakan permukaan material, selain itu pembuatan lubang baut tidak efisien dan posisi klem dapat menimbulkan tabrakan dengan pisau potong (Anggoro, 2015). Dari permasalahan tersebut diperlukan alat cekam yang tidak merusak material dan alat potong serta mampu menahan gaya potong material kayu supaya tidak lepas saat proses *machining*. Vacuum clamp merupakan sebuah solusi, dimana alat ini bekerja dengan pompa vakum yang menghisap material melalui meja kerja yang dipasang dengan karet seal (Yanel, 2015). Cekam vakum mampu

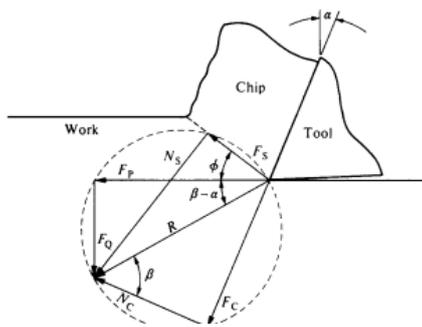
menarik setiap sisi material kayu tanpa merusak permukaan material. Selain itu posisi material yang bebas dari klem, sehingga tidak ada resiko tabrakan dengan pisau potong. Perumusan masalah yang ada yaitu bagaimana merancang dan membangun alat cekam dengan sistem vakum yang mudah digunakan, berapakah kapasitas pompa yang diperlukan, serta bagaimana cara kerja alat cekam vakum pada CNC router kayu. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk membuat rancang bangun alat cekam dengan sistem vakum, cara kerja, serta kebutuhan kapasitas pompa yang akan digunakan. Ruang lingkup pada penelitian mengacu pada aplikasi cekam vakum pada CNC router 3 axis dengan material yang dapat dicekam yaitu kayu. Pembuatan alat cekam dengan sistem vakum diharapkan dapat memaksimalkan hasil pengerjaan pada CNC router tanpa merusak material dengan proses pencekaman yang efisien.

2. METODOLOGI

Pada penelitian ini menggunakan metode pengumpulan dan analisa data, perhitungan, pembuatan gambar kerja, pengerjaan dan perakitan komponen, serta pengujian alat. Data yang diperlukan untuk perancangan vacuum clamp yaitu spesifikasi meja kerja CNC router yaitu 350 mm x 530 mm, diameter alat potong yang digunakan yaitu endmill Ø 6 mm hingga Ø 12 mm, serta *mechanical properties* material kayu keras yaitu kayu jatidengan tegangan geser 13

Mpa dan kayu mahoni dengan tegangan geser 8,5 Mpa. Data tersebut digunakan untuk perancangan dimensi meja vakum, kapasitas pompa, serta komponen pendukung lainnya. Material meja vakum dipilih berdasarkan spesifikasi material yang mudah dikerjakan, ringan, kuat terhadap tekanan, serta tidak merusak material kayu yang di cekam. *Polyoxymethylene* (POM) adalah satu jenis polimer yang memiliki sifat kekerasan, kekuatan dan ketahanan seperti logam serta tidak mudah memuai dan menyusut dalam perubahan temperatur, selain itu material ini juga sering diaplikasikan dalam bahan komponen di industri mekanik, elektrik, dan otomotif (Smith Metal Centres, 2017). Berikut beberapa landasan teori yang digunakan untuk perhitungan pada *vacuum clamp*:

Dalam perhitungan gaya potong pada mesin CNC router ini memakai persamaan *orthogonal cutting* dari teori Ernest dan Merchant (1945). Pada Gambar 1 merupakan diagram lingkaran Merchant yang menggambarkan pergerakan tatal saat proses pemotongan material.



Gambar 1. Merchant Circle Diagram Pada Proses Pemesinan
 (Sumber : Ernest & Merchant dalam Shaw, 2005:18)

Permukaan pisau potong yang menyentuh dan membuat gesekan dengan material juga diperhitungkan dengan persamaan (Shaw, 2005:18) yaitu :

$$\mu = \tan \beta \quad (1)$$

Dimana β adalah sudut gesek saat terjadi pemotongan, nilai koefisien gesek (μ) pada material kayu.

Sedangkan untuk mengetahui sudut geser (θ) memiliki persamaan berikut :

$$\theta = 45^\circ + \frac{\alpha}{2} - \frac{\beta}{2} \quad (2)$$

Dari analisa teoritik tentang proses pembentukan geram telah disinggung satu bentuk rumus gaya potong (Rochim, 1993). Yaitu sebagai berikut :

$$F_v = F_t = \tau_{shi} \cdot b \cdot h \frac{\cos(\eta - \gamma)}{\sin \theta \cos(\theta + \eta - \gamma)} \quad (3)$$

$$h = f_z \cdot \sin \theta \quad (4)$$

Menurut (Rochim, 1993) kekuatan dari *vacuum clamping* terletak pada pompa vakum dan luasan areacekam yang digunakan, dimana:

$$F = P \cdot A$$

Diameter lubang selang vakum dapat diketahui dari persamaan kontinuitas debit aliran (Walker, 2011:373), yaitu:

$$Rv = A \cdot v \quad (6)$$

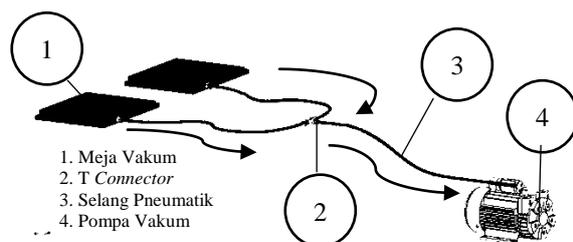
Perancangan dan pembuatan *vacuum clamp* melewati beberapa proses yang masing – masing membutuhkan alat dan bahan. Dari Tabel 1. dapat diketahui kebutuhan alat dan bahan sebagai berikut.

Tabel 1: Kebutuhan Alat dan Bahan

No.	Proses Pengerjaan	Alat	Bahan
1	Observasi dan Pengumpulan Data		
2	Perhitungan dan Perencanaan		
3	Pembuatan Detail Drawing	Software Solidwork 2016 dan Autocad 2007	
4	Proses Machining	Software Mastercam X5 dan CNC Router 3 Axis	Material Kerja (<i>Polyoxymethylene</i>)
5	Proses Perakitan	Kunci L dan Kunci Pas	Pompa Vakum, Selang, Nepel, Karet O Seal, Mur dan Baut
6	Proses Pengujian	Software Mastercam X5 dan CNC Router 3 Axis	Material Kerja (Kayu Jati dan Mahoni)

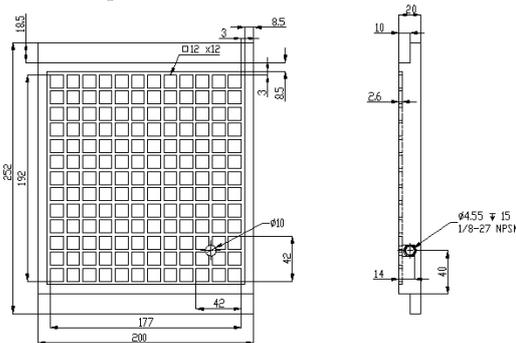
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam perencanaan *vacuum clamp* dilakukan pengelompokan dari setiap komponen untuk mempermudah tahap desain dan perhitungan. Adapun komponen tersebut yaitu pompa vakum, selang pneumatik, nepel, meja vakum, dan karet O seal. Berikut ini Gambar 2. merupakan rancangan sistem kerja cekam vakum dari meja menuju pompa vakum melalui selang pneumatik via Solidwork 2016.



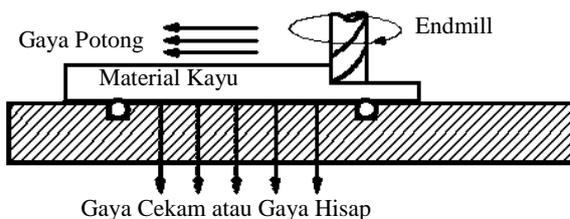
Gambar 2. Sistem Aliran Udara Cekam Vakum

Berdasarkan Gambar 2. udara yang berada pada area meja yang diberi *rubber seal* dihisap oleh pompa vakum, sehingga tercipta area vakum yang akan menghasilkan gaya hisap atau gaya cekam pada material kayu. Meja vakum ini memiliki *grid* atau alur yang berfungsi untuk meletakkan karet *seal O ring*, sehingga dapat menciptakan area vakum dengan luasan tertentu. Dalam penelitian ini ukuran lebar alur disesuaikan dengan diameter karet *seal O* yang ada di pasaran yaitu untuk diameter karet 3 mm. Ukuran alur yang kecil dapat memperbanyak jumlah *grid* pada meja vakum. Diameter lubang dan jarak antar lubang yang semakin kecil akan membuat kekuatan cekam vakum semakin besar (Wibisono dan Herianto, 2016). Dengan dimensi meja kerja 530 mm x 350 mm, maka direncanakan meja vakum dengan jumlah 2 buah dengan dimensi 252 mm x 200 mm yang dihubungkan dengan nepel T *connector*. Meja vakum dengan jumlah 2 buah juga bertujuan untuk efisiensi dalam pemindahan meja dan luasan area yang di cekam. Pada Gambar 3. Merupakan desain dan dimensi kerja dari *grid vacuum clamp*.



Gambar 3. Desain dan Ukuran Grid Vacuum Table Via Solidwork 2016

Vacuum pump ditentukan dengan spesifikasi yang memenuhi gaya cekam yang diperlukan guna melawan gaya potong yang bekerja saat proses *machining* kayu. Dari persamaan rumus tekanan yaitu $P = F/A$, dimana P merupakan tekanan vakum, F yaitu gaya potong yang bekerja pada material kayu, dan A merupakan luas area vakum yang bekerja. Maka tekanan pompa dihitung berdasarkan luas area vakum minimum yang digunakan pada *vacuum clamp* yaitu sebesar 1764 mm^2 .



Gambar 4. Sistematika Gaya Potong Dengan Gaya Cekam Saat Proses Machining

Pada Gambar 4. dapat diketahui sistematika dari *clamping force* alat cekam vakum untuk melawan gaya potong dari pisau potong diameter 6 mm dengan tipe *helix flute*. Pisau potong tipe *helix* memiliki *rake angle* (α) sebesar 25° (Shaw, 2005:403). Nilai koefisien gesek (μ) pada material kayu yaitu 0,5, Jadi nilai sudut gesek pada pemotongan (β) berdasarkan persamaan (1) yaitu :

$$\beta = 26,56^\circ$$

Sedangkan untuk mengetahui sudut geser (θ) didapatkan dari persamaan (2) berikut :

$$\theta = 44,22^\circ$$

Dalam penelitian ini perhitungan gaya potong mengacu pada pemakanan per gigi dari diameter tool paling besar yang dapat terpasang pada mesin yaitu diameter 6 mm atau 1/4 inchi. Pada Tabel 2. menunjukkan nilai pemakanan per gigi (f_z) berdasarkan hubungan antara material yang dikerjakan, dan diameter pisau potong, jumlah mata potong pada pisau router yaitu 2 *flute*, putaran *spindle* yang digunakan yaitu 10000 RPM dan nilai kecepatan pemakanan pada material *hardwood* sebesar 4,5 m/min atau 4500 mm/min dengan f_z sebesar 0,225 mm/tooth.

Maka lebar gram sebelum pemotongan (h) pada proses router dapat diketahui dengan persamaan (4) sebagai berikut.

$$h = 0,164 \text{ mm}$$

Pengujian *vacuum clamp* diasumsikan untuk mengerjakan material kayu dengan tegangan geser paling besar (*hardwood*) yaitu kayu jati dengan nilai 13 Mpa. Nilai *safety factor* yang digunakan pada sistem vakum dalam aplikasi terhadap permukaan material yang kasar sebesar ≥ 2 (Festo : 45). Digunakan nilai *safety factor* sebesar 2 dalam menentukan perhitungan gaya potong material dan kapasitas tekanan pompa vakum yang dibutuhkan. Berdasarkan data yang sudah diketahui berikut. Dari data di atas dapat dihitung besarnya gaya potong dengan persamaan (3) sebagai berikut :

$$F_t = 28,68 \text{ N}$$

Resultan gaya (R) pada proses pemotongan dapat diketahui menggunakan persamaan hubungan antara satu sudut dengan dua garis pada Gambar 1. *Merchant Circle Diagram* yaitu sebagai berikut :

$$R = 40,97 \text{ N}$$

Maka dari persamaan (5) tentang rumus tekanan akan diketahui besar kapasitas pompa minimum yang akan digunakan.

$$P = 0,046 \text{ N/mm}^2 = 0,046 \text{ Mpa}$$

Tekanan pompa vakum minimum yang dibutuhkan yaitu sebesar 0,046 Mpa, jika dikonversi ke dalam satuan milibar yaitu 464,54 milibar. Berdasarkan hasil perhitungan kebutuhan kapasitas tekanan pompa yang dibutuhkan untuk sistem cekam vakum kayu dan disesuaikan dengan ketersediaan alat yang terdapat di pasar, maka dipilih jenis pompa vakum SML – 140 dengan *ultimate pressure* 1 bar. Karet O Seal dipilih berdasarkan ukuran alur yang terdapat pada meja vakum yaitu memiliki sebesar 3 mm. Ukuran panjang *rubber seal* bervariasi tergantung dengan area vakum yang ingin digunakan. Permukaan karet O seal dengan permukaan meja vakum memiliki selisih 0,5 mm, sehingga permukaan kayu bagian bawah yang terhisap oleh vakum dapat tertarik dengan rapat dan tidak bocor. Pompa vakum tipe SML 140 memiliki spesifikasi *nominal displacement* (kemampuan memindahkan volume udara) minimum sebesar 120 liter/menit. Panjang selang yang direncanakan yaitu 3 meter. Dalam perencanaan meja vakum dibuat dengan tebal 20 mm, untuk keperluan pemasangan nepel pneumatik pada meja dipilih diameter luar selang dengan ukuran 8 – 10 mm. Selain itu diameter selang yang semakin kecil dapat meningkatkan kecepatan aliran vakum dalam sistem. Berdasarkan perhitungan dan faktor perancangan, maka dipilih jenis selang *polyurethane ester base* tipe US8057 dari produk *San Hua Plastic Industrial* dengan diameter luar 8 mm, diameter dalam 5,7 mm, dan berwarna transparan. Dipilih *plastic push fitting male straight* dengan tipe PC 08-01 dengan dimensi lubang selang 8 mm dan tipe ulir 1/8 inchi NPT (diameter luar ulir 9,9 mm dan panjang ulir 8 mm) Proses *machining* digunakan untuk melakukan pengerjaan *grid vacuum table*, proses ini menggunakan software *Mastercam X5*. Pisau potong yang digunakan yaitu *endmill* Ø 3 mm dan Ø 6 mm. Proses perakitan dilakukan setelah semua komponen telah dipersiapkan sesuai sistematika pada Gambar 2.

Proses uji dilakukan dengan 4 tahap yaitu uji parallel pada *single vacuum clamp*, uji profil pada *single vacuum clamp*, uji parallel pada *multiple vacuum clamp*, dan uji profil pada *multiple vacuum clamp*. Pengujian dilakukan pada CNC router 3 axis dengan material kerja kayu jati dan kayu mahoni. Dari hasil pengolahan tabel di atas dapat diketahui bahwa nilai rata – rata tingkat akurasi sebagai berikut yaitu pada kesejajaran dimensi *single vacuum clamp* bernilai 99,34 % dan pada dimensi profil *single vacuum clamp* bernilai 99,51 %. Sedangkan pada pengujian *multiple vacuum clamp* memiliki hasil sebagai berikut yaitu pada kesejajaran dimensi bernilai 97,27 % dan pada dimensi profil bernilai 97,27 %. Dari hasil pengujian yang sudah diketahui, maka kinerja alat cekam vaku (*vacuum clamp*) dapat

memenuhi kekuatan cekam material kayu, rata-rata permukaan material (tidak melengkung), dan aman dari resiko tabrakan pisau dengan alat cekam (klem) yang digunakan sebelumnya.

4. KESIMPULAN

- a. Dalam perencanaan *vacuum clamp* diperlukan beberapa faktor yaitu ukuran dimensi meja CNC Router yaitu 530 mm x 350 mm dan diperlukan 2 meja vakum dengan dimensi 200 mm x 252 mm, serta tegangan geser kayu jati yaitu 13 Mpa. Setelah tahap perhitungan maka dilakukan proses *machining* pada meja vakum dengan mesin CNC. Tahap terakhir yaitu perakitan komponen pompa, selang, nepel, dan karet *seal* sehingga dapat diuji kekuatan cekamnya dengan 4 tahap pengujian pada mesin CNC router kayu.
- b. Dari perhitungan gaya potong didapatkan nilai sebesar 40,97 N, sehinggakapasitas pompa vakum 1 bar dengan *nominal displacement* 140 L/min. Dalam penelitian ini *vacuum pump* menggunakan tipe SML 140 untuk memberikan gaya cekam yang cukup pada kayu jenis *hardwood*.
- c. Sistem cekam vakum bekerja dengan mengosongkan udara di bawah permukaan material dengan pompa vakum, sehingga tercipta gaya hisap dengan bantuan karet O seal yang berfungsi membatasi aliran udara pada area vakum. Dari hasil uji diketahui bahwa *vacuum clamp* mampu mengerjakan profil luar tanpa menabrak klem, dan tingkat akurasi dimensi ukur > akurasi penyimpangan maksimum (0,5 mm).

5. DAFTAR NOTASI

- $F_v = F_t$ = Gaya potong (N)
 τ_{shi} = Tegangan geser dinamik pada material (N/mm²)
 b = Lebar pemotongan (mm)
 h = Tebal geram sebelum terpotong (mm)
 η = Sudut gesek saat pemotongan
 γ = Sudut geram pada pisau potong
 θ = Sudut geser pada pisau potong
 fz = pemakanan setiap gigi pada mata potong (mm/gigi)
 Rv = Aliran perpindahan volume fluida (m³/s)
 A = Luas penampang (m)
 v = Kecepatan aliran (m/s)
 F = gaya cekam (N)
 P = Tekanan hisap (Mpa)
 A = Luasan area hisap (jumlah lubangx luas lubang hisap) (mm²)

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dzuhriansyah, M.A.R. (2017). Rancang Bangun CNC Router Kayu Dengan Menggunakan Control Mach3. **Laporan Tugas Akhir PPNS**, Surabaya. Indonesia
- Trade Promotion Center. (2013). **Peluang Ekspor Produk Pintu Kayu (Wooden Door)Di Pasar Kanada**. Market Brief ITPC Vancouver, Canada.
- [2] Pangestu, M E. (2008). **Rencana Pengembangan 14 Subsektor Industri Kreatif Indonesia (2009 – 2015)**. Departemen Perdagangan RI, Jakarta.
- [3] Rochim, T. (1993). **Teori dan Teknologi Proses Permesinan**, Jakarta.
- [4] Shaw, M.C. (2005). **Metal Cutting Principles 2nd Edition**. Oxford University Press, Inc. United States of America.
- [5] Walker, J. (2011). **Fundamentals of Physics 9th Edition**. John Wiley & Sons, Inc., United States of America.

Analisa Nilai Pertambahan Panjang Material ST37 Pada CNC Mesin Bending TRUMPF TruBend 5050 Menggunakan Metode Full Factorial

Zaqi Asshidiqi^{1*}, Wahyudi², dan Farizi Rachman³

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, 60111, Indonesia^{1,2,3}
E-mail: zaqiasshidiqi@gmail.com^{1*}

Abstract – CNC bending is a set of updated bending conventional machine, which has more advantages than conventional bending machine. To get final result with precision and accurate dimension using CNC bending TRUMPF TruBend 5050, the operators must have the bend allowance ($\Delta\alpha$) table. The bend allowance is influenced by several parameters like dies, force and thickness of material. The three parameters really affect the final result of bending process. Testing is conducted to know the influence of parameter of dies, force and thickness of material toward bend allowance. The full factorial method is one of suitable methods used to know influence parameter, with level value dies in 8mm, 10mm, 12mm, force in 150N, 300N, 500N and thickness of material in 1mm, 1.5mm, 2mm.

The result shows that the parameters, dies, force and thickness of material have the significance influence on bend allowance. From third parameter the thickness of material has the highest influence. It can be seen from Fhitung value that has 278.1230 compared with the parameters of dies which is 6.4325 and force that is 3.8611.

Keywords : bend allowance, bending, dies, force, thickness of material

1. PENDAHULUAN

Pada proses *bending* menggunakan CNC *bending* jarak stopper sangatlah berpengaruh pada hasil akhir suatu produk pada proses *bending*. Hal ini dikarenakan pada saat produk di *bending* benda akan mengalami pertambahan panjang, dikarenakan tekanan yang diberikan pada material tersebut. Oleh sebab itu data tabel pertambahan panjang ($\Delta\alpha$) sangatlah dibutuhkan oleh operator mesin CNC *bending* untuk untuk dimasukkan dalam parameter mesin. Parameter tersebut akan diubah ubah nilainya pada saat proses trial guna mendapatkan hasil akhir *bending* yang diinginkan. Terdapat 3 parameter yang akan diteliti yakni *dies*, gaya tekan dan tebal material. Dengan mengetahui parameter yang berpengaruh pada nilai pertambahan panjang maka proses *trial* pada produk dapat dikurangi. Sehingga operator akan dapat mengestimasi nilai dari parameter guna mendapatkan hasil akhir *bending* yang diinginkan

Untuk melakukan analisa pertambahan panjang terhadap material ST37 pada mesin CNC *bending* maka dapat dilakukan dengan beberapa metode salah satunya dengan metode ANOVA (*Analysis of Variance*). Metode ANOVA sangatlah cocok untuk melakukan analisa pertambahan panjang dikarenakan metode ini dapat digunakan untuk melihat parameter yang paling berpengaruh terhadap nilai pertambahan

panjang. Selain itu desain eksperimen yang memiliki lebih dari satu pre test sangat cocok menggunakan metode ANOVA (Breukelen, 2005). Untuk trial ini digunakan percobaan beberapa parameter *dies*, gaya tekan dan tebal material yang disusun secara sistematis dan dianalisa dengan metode *full factorial*.

2. METODOLOGI

2.1 Metode Penentuan Faktor Dan Respon

Penentuan faktor dan respon ialah suatu cara untuk memudahkan penentuan jumlah percobaan yang akan dilakukan. Penentuan faktor dan respon ditentukan dari tujuan penelitian dimana faktor ialah nilai atau parameter yang dapat diubah ubah pada percobaan dilakukan yang berupa parameter mesin seperti *dies*, gaya tekan dan tebal material. Sedangkan untuk respon ialah nilai yang dipatkan dari percobaan, yang berupa nilai pertambahan panjang.

Parameter *dies*, gaya tekan dan tebal material selanjutnya akan diteliti dengan menggunakan metode full factorial guna mengetahui parameter mana yang berpengaruh. Desain faktorial ialah sebuah metode perancangan eksperimen yang mempelajari efek dari dua atau lebih faktor. Pada umumnya desain faktorial adalah metode yang paling efisien untuk tipe eksperimen yang mencari efek dari berbagai faktor yang ada (Dewi,dkk,2011).

2.2 Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data dilakukan untuk memudahkan dalam melakukan penelitian. Data – data yang dikumpulkan meliputi data primer dan data sekunder, data tersebut didapatkan sebagai berikut ;

1. Data primer adalah data yang diperoleh dari pengamatan dan penelitian langsung di lapangan. Pengumpulan data primer ini dilakukan dengan cara mengamati secara langsung proses *bending* dan meminta keterangan serta mewawancarai operator yang terlibat. Wawancara merupakan teknik pengumpulan data dalam metode survey yang menggunakan pertanyaan secara lisan kepada subyek penelitian. Data yang diperoleh antara lain adalah data mengenai uraian proses *bending*, cara kerja mesin, spesifikasi mesin dan jenis material *bending*.
2. Data sekunder merupakan data yang tidak langsung diamati oleh peneliti. Data ini merupakan dokumentasi perusahaan, metode dokumentasi adalah suatu cara untuk mencari data mengenai hal-hal atau variabel yang berupa catatan, buku-buku, jurnal-jurnal, surat kabar, dan sebagainya (Budi,dkk,2018).

2.3 Analisa Full Factorial

Analisa data dapat berarti memperhitungkan atau memperkirakan besarnya pengaruh secara kuantitatif dari percobaan yang telah dilakukan. Dimana sebelum melakukan percobaan perlu dilakukan rancangan percobaan yang bertujuan untuk membuat keberagaman satuan - satuan percobaan didalam masing - masing kelompok menjadi sekecil mungkin sedangkan perbedaan antar sebesar mungkin. Adapun langkah – langkahnya sebagai berikut;

1. Eksperimen
 Pada tahap ini mula-mula dilakukan perumusan masalah, pemilihan faktor dan respon, penentuan faktor yang akan divariasikan dan pemilihan level dari tiap-tiap faktor tersebut.
2. Desain
 Tahap ini merupakan tahap utama yang berupa penentuan jumlah pengamatan yang akan dilakukan berdasarkan parameter,level, dan banyaknya repilaksi, penentuan urutan eksperimen, pemilihan metode yang digunakan, penyusunan model statistiknya, dan penentuan hipotesis yang akan diuji.
3. Analisis
 Pada tahap ini berisi pengumpulan dan pengolahan data, perhitungan uji statistik.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Penentuan Faktor Dan Respon

Penentuan variabel pada penelitian ini berguna untuk mengetahui faktor yang berpengaruh dan hasil dari penelitian tersebut ;

1. Respon
 Respon ialah variabel yang tidak diteliti, berupa nilai pertambahan panjang ($\Delta\alpha$).
2. Faktor/parameter/*treatment*
 Faktor/parameter/*treatment* ialah variabel yang akan dikendalikan ialah parameter mesin CNC *bending* yakni *dies*, gaya tekan, tebal material.

Dengan 3 level pada tiap faktor/ parameter sehingga dapat dilihat sebagi berikut ;

Tabel 1: Pembuatan level parameter

Parameter	Level 1	Level 2	Level 3
Dies (A)	8mm	10mm	12mm
Gaya Tekan (B)	150N	300N	500N
Tebal material (C)	1mm	1.5mm	2mm

(sumber : Hasil pengolahan sendiri)

3.2 Pengambilan Data

Proses pengambilan data berupa nilai pertambahan panjang dilakukan dengan melakukan *trial* terlebih dahulu. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan untuk hasil *bending* yang sesuai yakni 90^0 yang diukur dengan kaliper sudut. Sehingga pada proses pengambilan data hasil sudut *bending* dalam keadaan 90^0 , dimana hal tersebut dilakukan untuk menjaga tingkat error data yang kecil. hasil dari percobaan didapatkan dengan mengukur nilai pertambahan panjang dari sisi kiri dan sisi kanan sehingga dapat dilihat seperti berikut ;

Tabel 2: Hasil dan permodelan statistik

	A1			A2			A3			Jumlah
	B1	B2	B3	B1	B2	B3	B1	B2	B3	
C1	0.9	0.6	0.75	1.05	0.95	1.4	0.9	1.1	1	8.65
	0.9	0.95	0.8	0.85	1.1	1.25	0.85	1.1	1	8.8
Jumlah	1.8	1.55	1.55	1.9	2.05	2.65	1.75	2.2	2	17.45
C2	1.85	1.4	1.85	1.85	1.8	1.75	1.8	1.6	1.9	15.8
	1.9	1.2	1.6	1.65	1.7	1.75	1.7	1.3	1.75	14.55
Jumlah	3.75	2.6	3.45	3.5	3.5	3.5	3.5	2.9	3.65	30.35
C3	1.85	1.75	1.6	1.85	1.6	1.45	1.95	1.85	1.5	15.4
	1.6	1.75	1.7	1.8	1.7	1.65	1.9	1.9	1.6	15.6
Jumlah	3.45	3.5	3.3	3.65	3.3	3.1	3.85	3.75	3.1	31

(sumber : Hasil pengolahan sendiri)

3.3 Analisa Full Factorial

Pada analisa full factorial dilakukan beberapa perhitungan sebagai berikut ;

- nilai faktor kuadrat yakni

$$F_k = \frac{(17.45^2) + (30.35^2) + (31^2)}{2 \times 3 \times 3}$$

$$F_k = \frac{6209.44}{54} = 114.9896$$

- nilai jumlah kuadrat

$$J_k = (0.9^2) + (0.9^2) + (1.85^2) + (1.9^2) + \dots + (1.5^2) + (1.6^2)$$

$$J_k = 123.115$$
- nilai jumlah kuadrat perlakuan

$$J_{k_p} = \frac{(0.9^2) + (0.9^2) + (1.85^2) + \dots + (1.5^2) + (1.6^2)}{2} - 114.9896$$

$$J_{k_p} = 7.8104$$
- nilai jumlah kuadrat faktor A

$$J_{k_a} = \frac{(24.95^2) + (27.15^2) + (26.7^2)}{2 \times 3 \times 3} - 114.9896$$

$$J_{k_a} = 0.1501$$
- nilai jumlah kuadrat faktor B

$$J_{k_b} = \frac{(27.15) + (25.35) + (26.3)}{2 \times 3 \times 3} - 114.9896$$

$$J_{k_b} = 0.0901$$
- nilai jumlah kuadrat faktor C

$$J_{k_c} = \frac{(17.45^2) + (30.35^2) + (31^2)}{2 \times 3 \times 3} - 114.9896$$

$$J_{k_c} = 6.4895$$
- nilai jumlah kuadrat interaksi faktor A dan faktor B

$$J_{k_{ab}} = \frac{(9^2) + (7.65^2) + (8.3^2) + \dots + (8.75^2)}{2 \times 3} - 114.9896 - 0.1501 - 0.0901$$

$$J_{k_{ab}} = 0.086$$
- nilai jumlah kuadrat interaksi faktor A dan faktor C

$$J_{k_{ac}} = \frac{(4.9^2) + (8.9^2) + (10.25^2) + \dots + (10.7^2)}{2 \times 3} - 114.9896 - 0.1501 - 6.4895$$

$$J_{k_{ac}} = 0.1741$$
- nilai jumlah kuadrat interaksi faktor B dan faktor C

$$J_{k_{bc}} = \frac{(5.45^2) + (10.75^2) + (10.95^2) + \dots + (9.5^2)}{2 \times 3} - 114.9896 - 0.0901 - 6.4895$$

$$J_{k_{bc}} = 0.4574$$
- nilai jumlah kuadrat faktor ABC

$$J_{k_{abc}} = 7.8104 - 0.1501 - 0.0901 - 6.4895 - 0.086 - 0.1741 - 0.4574$$

$$J_{k_{abc}} = 0.3631$$
- nilai jumlah kuadrat galat error

$$J_{k_{abc}} = 123.115 - 114.9896 - 0.1501 - 0.0901 - 6.4895 - 0.086 - 0.1741 - 0.4574 - 0.3631$$

$$J_{k_{abc}} = 0.315$$

Perhitungan analisa ragam
 Perhitungan Analisa Ragam dilakukan untuk mengetahui nilai Fhitung dari faktor A, faktor B,

faktor C, faktor AB, faktor BC, Faktor AC, dan faktor ABC yang akan digunakan untuk menguji hipotesa yang telah ditentukan, seperti berikut ;

Tabel 3: Analisa ragam parameter

Sumber Keragaman (SK)	Derajat Kebebasan (Db)	Jumlah Kuadrat (JK)	Kuadrat Tengah (KT)	Fhitung
A	2	0.1501	0.0750	6.4325
B	2	0.0901	0.0450	3.8611
C	2	6.4895	3.2448	278.1230
AB	4	0.0860	0.0215	1.8433
AC	4	0.1741	0.0435	3.7302
BC	4	0.4574	0.1144	9.8016
ABC	8	0.3631	0.0454	3.8909
Galat Error	27	0.3150	0.0117	
Jumlah	53	8.12537		

(sumber : Hasil pengolahan sendiri)

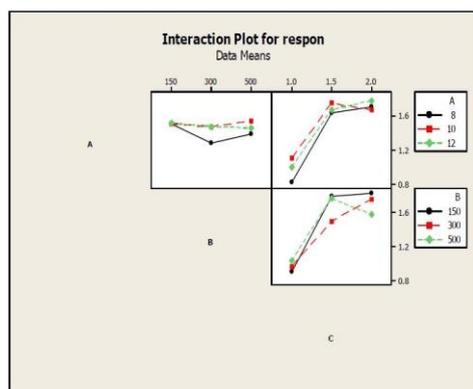
- Uji F dilakukan untuk mengetahui manakah parameter yang paling berpengaruh antara dies, gaya tekan dan tebal material terhadap nilai pertambahan panjang pada proses bending. Uji ini akan membandingkan nilai F_{hitung} dan F_{tabel} dengan menggunakan hipotesis seperti berikut ini ;
 H_0 : parameter tidak memiliki pengaruh terhadap nilai pertambahan panjang.
 H_1 : parameter memiliki pengaruh terhadap nilai pertambahan panjang.
 Sehingga hasil uji F dapat dilihat pada tabel 4 hipotesis dan keputusan parameter

Tabel 4: Hipotesis dan keputusan parameter

Keragaman	F_{hitung}	F_{tabel}	Hipotesis Dan Keputusan
Dies	6.4325	3.35	$F_{hitung} > F_{tabel}$, H_0 Ditolak
Gaya	3.8611	3.35	$F_{hitung} > F_{tabel}$, H_0 Ditolak
Tebal Material	278.1230	3.35	$F_{hitung} > F_{tabel}$, H_0 Ditolak
Dies*Gaya	1.8433	2.73	$F_{hitung} < F_{tabel}$, H_0 Diterima
Dies*Tebal	3.7302	2.73	$F_{hitung} > F_{tabel}$, H_0 Ditolak
Gaya*Tebal Material	9.8016	2.73	$F_{hitung} > F_{tabel}$, H_0 Ditolak
Dies*Gaya*Tebal Material	3.8909	2.31	$F_{hitung} > F_{tabel}$, H_0 Ditolak

(sumber : Hasil pengolahan sendiri)

Perhitungan analisa ragam juga dilakukan dengan menggunakan software minitab untuk menunjukkan bahwa nilai pada perhitungan ialah mutlak kebenarannya sehingga hasil dari pengolahan data dapat dilihat grafik pengaruhnya seperti pada gambar 1 grafik output minitab 3 parameter



Gambar 1. Grafik output minitab interaksi 3 parameter

• Interpretasi hasil

Interpretasi dilakukan untuk mengetahui berapa persen kontribusi pada tiap – tiap parameter berdasarkan hasil dari percobaan yang telah dilakukan.

$$\begin{aligned}
 SS'A &= Jk_a - (KTe \times dbA) \\
 SS'A &= 0.1501 - (0.0117 \times 2) = 0.1268 \\
 SS'B &= 0.0901 - (0.0117 \times 2) = 0.0668 \\
 SS'C &= 6.4895 - (0.0117 \times 2) = 6.4662 \\
 SS'T &= Jk_a + Jk_b + Jk_c + Jk_e \\
 SS'C &= 0.1501 + 0.0901 + 6.4895 + 0.315 = 7.0447 \\
 SS'E &= 7.0447 - 0.1268 - 0.0668 - 6.4662 = 0.3850 \\
 pA &= \frac{0.1268}{7.0447} \times 100\% = 1.79\% \\
 pB &= \frac{0.0668}{7.0447} \times 100\% = 0.94\% \\
 pC &= \frac{6.4662}{7.0447} \times 100\% = 91.78\% \\
 pE &= \frac{0.3850}{7.0447} \times 100\% = 5.46\%
 \end{aligned}$$

4. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian Tugas Akhir ini mengacu pada tujuan yang ditetapkan adalah sebagai berikut ;

1. Parameter *dies* berpengaruh signifikan terhadap nilai pertambahan panjang, dimana semakin besar *dies* yang digunakan maka semakin besar pula nilai pertambahan panjang yang dihasilkan. Parameter gaya tekan berpengaruh signifikan terhadap nilai pertambahan panjang, dimana semakin besar nilai gaya tekan yang digunakan maka semakin besar pula nilai pertambahan panjang yang dihasilkan. Parameter tebal material berpengaruh signifikan terhadap nilai pertambahan panjang, dimana semakin besar tebal material yang digunakan maka semakin besar pula nilai pertambahan panjang yang dihasilkan.

2. Parameter tebal material ialah parameter yang paling berpengaruh diantara ketiga parameter yang telah dilakukan eksperimen. Hal ini dapat dibuktikan dengan membandingkan nilai F_{hitung} dan persentase kontribusi dari masing – masing parameter. Dimana nilai F_{hitung} untuk tebal material sebesar 278.1230 dan persentase kontribusi 91.78% dibanding *dies* yang bernilai 6.4325 dengan persentase kontribusi 1.79% dan gaya tekan yang bernilai 3.8611 dengan persentase kontribusi 0.94%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa tebal material ialah parameter yang paling berpengaruh terhadap nilai pertambahan panjang dibandingkan dengan *dies* dan gaya tekan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Breukelen, G. JP. (2005), *Phsycometric Modelling Of Response Speed And Accuracy With Mixed And Conditional Regresion.*, **Psychometrika** 70 (2), PP 359 – 376.
- [2] Budi, T. S., E. Supriyadi, M. Zulziar (2018), *Analisis Konfigurasi Proses Produksi Coklat Stick Converture Menggunakan Metode Design Of Experiment (DOE) Di PT. Gandum Mas Kencana.* **JITMI** 1 (1), PP 87-96, Universitas Pamulang.
- [3] Dewi, L. Trinovinty, I. G. J. Mulyono, A. L. Maukar (2011), *Penentuan Kombinasi Komposisi Paving Dengan Menggunakan Metode Full Faktorial Design.* **Jurnal Teknik** 10 (1), PP 82-91, Universitas Widya Teknik.
- [4] Lestya, D. N. W., Rachman, F., & Wiedartini, W. (2018, January). Analisis Faktor Eksternal dan Internal Yang Mempengaruhi Beban Kerja Fisik Pada Pekerjaan Finishing Di Perusahaan Fabrikasi Baja. In Seminar K3 (Vol. 1, No. 1, pp. 24-28).
- [5] Ladou, J Saprian, H. Adianto, S. Susanty (2015), *Usulan Kombinasi Terbaik Faktor Yang Berpengaruh Terhadap Cacat Produk Botol Plastik 600ml Menggunakan Metode Full Factorial 2^k di PT.X**, **Jurnal Teknik Industri** 2 (3), PP 317-326, Institut Teknologi Nasional Bandung. Badri, S. (1991). **Dasar-Dasar Network Planning (Dasar-Dasar Jaringan Kerja)**. PT. Rineka Cipta, Jakarta.
- [6] Walpole, R. E., R. H. Myers, S. L. Myers, dan K. Ye (2002), *Probability And Statistics For Engineers And Scientists*. 9th ed, Boston, Pearson Education, Inc.

Analisa Pengaruh Unsur Terhadap Kekerasan *High Manganese Steel* Menggunakan Metode Regresi Linier Berganda

Ervita Rahma Budiyarti^{1*}, Budianto², Nurvita Arumsari³

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia¹

Program Studi Teknik Perancangan dan Konstruksi Kapal, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.²

Program Studi Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.³

E-mail: ervitarahmabudiyarti@gmail.com^{1}*

Abstract – *Apie Indo Karunia is one of the companies engaged in foundry located in Sidoarjo. This company is a company that works based on orders / orders from consumers (Make to Order). Products are made of metal casting processes, one of which is High Manganese Steel which has high manganese content. Each metal has a different level of hardness, depending on the type of metal itself. There are several factors that can affect the value of metal products. This content in the metal can produce a level of violence. Multiple Linear Regression Method to fix this problem. The first step is to input data, then determine what factors are mostly affect Multiple Regression. From the result of analyze we can know that carbon and posphor are have big impact to high manganese steel's hardness.*

Keywords: *Composition, High Manganese Steel, Multiple Regression*

1. PENDAHULUAN

Saat ini kebutuhan akan logam semakin meningkat. Biasanya logam digunakan sebagai material peralatan yang digunakan. Logam banyak digunakan dalam berbagai bidang, mulai dari pertanian hingga alat medis. Kandungan dan jenis logam yang digunakannya pun berbeda-beda sesuai dengan kegunaannya. Setiap jenis logam mempunyai kadar keuletan, kekerasan, dan kelenturan yang diperlukan juga berbeda-beda sesuai dengan jenis logam dan kegunaannya. Produk yang dihasilkan adalah barang-barang yang berbahan dasar logam seperti besi, baja, mangan, dan kuningan sesuai permintaan dari konsumen. Untuk menjaga kualitas barang yang dihasilkan maka perlu adanya antisipasi terhadap tingkat kekerasan yang terdapat dalam logam yang telah dicor tersebut. Berdasarkan kondisi saat ini maka perlu diukur kadar komposisinya dan di tes tingkat kekerasannya agar menghasilkan produk yang lebih berkualitas.

Berdasarkan data pesanan barang di perusahaan manufaktur sekitar 90% konsumen telah menetapkan kadar kekerasan untuk barang yang diminta. Sebenarnya komposisi logam, suhu penguangan, lama proses oven, serta proses pendinginan saat proses pengecoran berpengaruh pada tingkat kekerasan pada logam. Namun yang terjadi hingga kini adalah tingkat kekerasan yang didapat dari hasil pengecoran tidak sesuai dengan yang diminta oleh konsumen, sehingga harus kembali melakukan pengecoran guna memperbaiki kualitas agar didapatkan tingkat

kekerasan yang diinginkan. Adapun faktor lain yang berpengaruh adalah orang yang melakukan proses pemasakan atau peleburan logam hanya bekerja sesuai pengalaman yang didapat selama ini tanpa memiliki pengetahuan akan teori peleburan logam.

Pengecoran logam dapat diartikan proses dari logam yang dicairkan, dituangkan ke dalam cetakan, kemudian dibiarkan dingin dan membeku. Untuk mendapatkan hasil pengecoran dengan tingkat kekasaran dan kekerasan yang baik dengan proses pengecoran *sand casting* merupakan salah satu tujuan utama. Ada beberapa faktor yang berpengaruh terhadap hasil dari proses pengerjaan tersebut. Seperti perbedaan komposisi bahan paduan dan waktu peleburan aluminium serta waktu yang diperlukan untuk pendinginan benda kerja pada proses pengecoran *sand casting*. Dari beberapa faktor yang ada, maka muncul permasalahan bagaimana pengaruh komposisi bahan paduan dan waktu proses peleburan aluminium serta waktu proses pendinginan aluminium terhadap tingkat kekasaran dan kekerasan benda kerja pada proses pengecoran *sand casting*.

Logam memiliki susunan komposisi dalam kandungannya. Seperti halnya pada HMn atau *high manganese steel* yang memiliki kandungan Fe (Besi), C (Carbon), Si (Silikon), Mn (Mangan), P (Pospor), S (Sulfur), Cu (Tembaga), Ni (Nikel), Cr (Kromium), Mo (Molibdenum), dan Al (Aluminium). Komposisi yang terkandung dalam logam tersebut berpengaruh pada tingkat

kekerasan yang dimiliki oleh logam tersebut. Telah ditentukan kadar komposisi untuk setiap jenis logam sehingga memiliki tingkat kekerasan yang berbeda. (Gunawan, 2014)

Logam jenis HMn atau *high mangan steel* adalah logam yang memiliki tingkat keuletan yang tinggi namun belum bisa diprediksi kadar kekerasannya. Walaupun telah ditetapkan kadar unsur dalam komposisi pembentuk HMn, masih perlu dilakukan penelitian untuk mencapai tingkat kekerasan yang baik. Karena proses pembuatan logam harus melalui banyak tahapan sehingga banyak faktor –faktor yang memengaruhi kekerasan, maka perlu di cari faktor mana yang paling berpengaruh terhadap kekerasan logam. Berangkat dari masalah diatas maka perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui faktor apa saja yang mempengaruhi kekerasan logam dengan teknik regresi linier untuk mencari hubungan antara faktor- faktor yang mungkin berpengaruh terhadap kekerasan logam.

2. METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan sampel *high manganese steel* ASTM A128 Tipe B-3 dan menggunakan regresi linier berganda untuk pengolahan data. Penerapan metode regresi berganda jumlah variabel bebas (independent) yang digunakan lebih dari satu yang mempengaruhi satu variabel tak bebas(dependent). (Supranto, 2000)

$$Y = \alpha + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + \dots + b_nX_n + \epsilon \quad (2.1)$$

a. Mencari nilai konstanta b_1, b_2, b_k

Untuk mencari nilai b_1, b_2, b_k dapat dicari dengan mensubstitusikan ketiga persamaan di bawah ini dengan memasukkan hasil-hasil perhitungan skor deviasi di atas:

$$\sum Y = b_0n + b_1 \sum X_1 + b_2 \sum X_2 \quad (2.2)$$

$$\sum X_1Y = b_0 \sum X_1 + b_1 \sum X_1^2 + b_2 \sum X_1 X_2$$

$$\sum X_2Y = b_0 \sum X_2 + b_1 \sum X_1 X_2 + b_2 \sum X_2^2$$

b. Menentukan persamaan regresi dengan tiga variable bebas

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 \quad (2.3)$$

c. Uji Serentak

Pengujian serentak dilakukan untuk mengetahui apakah variabel-variabel independen secara serentak berpengaruh nyata atau tidak terhadap variabel respon. (Westfall, 2011)

$$F = \frac{R^2(n-k-1)}{k(1-R^2)} \quad (2.4)$$

d. uji individu

Pengujian koefisien secara individual adalah dengan melakukan uji signifikansi pada variabel. Pengujian statistik dilakukan dengan menghitung t_{hitung} melalui rumus berikut. (Rukismono, 2013)

$$t_{hitung} = \frac{b_i}{SE(b_i)} \quad (2.5)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengambilan data dilakukan dengan mengikuti kegiatan proses pengecoran dan pencetakan *high manganese steel* untuk mendapatkan *sample*. Dalam proses pengecoran dibutuhkan komposisi yang sesuai dengan permintaan. Jika komposisinya masih belum sesuai maka perlu ditambahkan bahan – bahan yang diperlukan seperti nikel, crome, mangan, dll.

Tabel 1a: Data Komposisi dan Kekerasan

No	C	Mn	Si	P	HARDNESS
1	1,26	11,58	0,88	0,07	196 hb
2	1,24	11,68	0,34	0,06	182 hb
3	1,15	11,6	0,35	0,04	139 hb
4	1,16	11,71	1	0,06	163 hb
5	1,23	11,74	0,7	0,05	167 hb
6	1,15	12,46	1	0,03	140 hb
7	1,21	11,79	0,4	0,05	154 hb
8	1,23	12,26	0,88	0,06	166 hb
9	1,24	12,24	0,6	0,06	174 hb
10	1,25	12,07	0,75	0,07	188 hb
11	1,21	12,43	1	0,03	154 hb
12	1,26	11,58	0,67	0,07	202 hb
13	1,21	12,48	1	0,04	157 hb
14	1,21	11,96	0,77	0,04	162 hb
15	1,23	12,4	0,88	0,07	170 hb
16	1,24	11,5	0,67	0,07	179 hb
17	1,25	11,57	0,66	0,067	185 hb
18	1,23	11,68	1	0,07	171 hb
19	1,21	11,79	0,4	0,05	154 hb
20	1,24	12,24	0,6	0,06	174 hb
21	1,21	12,23	0,55	0,051	155 hb
22	1,23	12,6	0,9	0,06	163 hb
23	1,24	12,4	0,85	0,067	181 hb
24	1,21	13	0,75	0,04	159 hb
25	1,23	12,48	1	0,05	167 hb
26	1,21	11,9	0,59	0,05	159 hb
27	1,23	12,12	0,49	0,05	163 hb
28	1,16	11,75	0,55	0,03	140 hb
29	1,24	11,84	1	0,05	181 hb
30	1,23	12,4	0,88	0,07	170 hb
31	1,2	11,5	0,67	0,06	176 hb
32	1,26	13,24	0,58	0,06	193 hb
33	1,24	11,57	0,66	0,057	182 hb
34	1,21	11,5	0,34	0,05	179 hb
35	1,2	11,6	1,91	0,06	168 hb
36	1,12	11,3	0,57	0,03	136 hb
37	1,15	11,79	1,88	0,04	151 hb
38	1,2	11,71	1	0,05	160 hb
39	1,16	12,24	0,98	0,05	171 hb
40	1,15	11,7	0,7	0,04	164 hb

Tabel 1b: Data Komposisi dan Kekerasan (lanjutan)

No	C	Mn	Si	P	HARDNESS
41	1,13	11,5	0,55	0,041	152 hb
42	1,12	11,46	1	0,02	137 hb
43	1,2	12,6	0,9	0,05	160 hb
44	1,2	11,26	0,88	0,05	163 hb
45	1,2	11,5	0,85	0,057	178 hb
46	1,13	11,5	1	0,02	146 hb
47	1,15	13	0,75	0,03	156 hb
48	1,18	12,73	0,81	0,05	178 hb
49	1,2	10,48	1	0,04	164 hb
50	1,23	12,07	0,75	0,06	185 hb
51	1,16	11,6	0,59	0,04	156 hb
52	1,16	11,43	1	0,02	151 hb
53	1,2	12,12	0,49	0,04	160 hb
54	1,28	13,99	0,67	0,06	199 hb
55	1,12	11,5	0,55	0,02	137 hb
56	1,14	11,5	1	0,03	154 hb
57	1,12	11,75	1	0,04	178 hb
58	1,12	11,96	0,77	0,03	159 hb
59	1,27	11,8	0,61	0,06	213 hb
60	1,37	12,4	0,88	0,06	167 hb

Persamaan tersebut dijadikan ke dalam bentuk matriks

$$\begin{pmatrix} 22,47233 & -16,4889 & -0,35637 & -0,44453 & 40,52677 \\ -16,4889 & 18,70077 & -0,33239 & 0,278689 & -45,7431 \\ -0,35637 & 0,33239 & 0,061621 & -0,00289 & 0,433072 \\ -0,44453 & 0,278689 & -0,00289 & 0,209833 & -0,44803 \\ -0,44453 & -45,7431 & 0,433072 & -0,44803 & 96,6374 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 30,6274 \\ 79,30194 \\ 0,678003 \\ -0,92051 \\ 672,5952 \end{pmatrix}$$

Maka didapatkan hasil $b_1 = 79,30194$, $b_2 = 0,678003$, $b_3 = -0,92051$, dan $b_4 = 672,5952$, $b_0 = 30,6274$ untuk model persamaan regresi. Sehingga persamaannya sebagai berikut:

$$Y = 30,6 + 79,3 X_1 + 0,68 X_2 - 0,92 X_3 + 673 X_4$$

Dengan besar koefisien determinasi atau R Squared sebagai berikut,

$$R^2 = \frac{79,3(12046,88) + 0,68(119598,4) - 0,92(7875,24) + 673(501,869)}{1679136} = 0,814$$

Dari hasil perhitungan R Squared diatas disimpulkan bahwa pemodelan yang digunakan sudah sesuai karena memiliki persentase sebesar 0,814%. Artinya variabel bebas mampu menjelaskan keragaman dari variabel respon sebesar 81,4% dimana sisanya 18,6% dijelaskan oleh faktor lain atau eror.

Pengujian Koefisien Regresi Secara Serentak

- H_0 : Semua variabel bebas tidak mempunyai pengaruh terhadap variabel respon
- H_1 : Paling tidak ada satu variabel bebas yang mempunyai pengaruh terhadap variabel respon

$$F = \frac{0,814(60 - 4 - 1)}{4(1 - 0,814)} = 20,73$$

Penolakan H_0 terjadi jika nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$ yang berarti bahwa variabel carbon, mangan, silikon, atau pospor mempengaruhi kadar kekerasan logam. Dapat disimpulkan bahwa dari perhitungan didapatkan nilai F_{hitung} sebesar 20,73, dengan menggunakan α sebesar 10% maka F_{tabel} sebesar 2,18 maka H_0 ditolak dan H_1 diterima sehingga variabel bebas model dapat diterima dan ada variabel yang mempengaruhi kekerasan.

Pengujian Koefisien Regresi Secara Individual

- $H_0 : \beta_1 = 0 ; i = 1,2,...,k$ (β_1 tidak memiliki pengaruh terhadap variabel respon)
- $H_1 : \beta_1 \neq 0 ; i = 1,2,...,k$ (β_1 tidak memiliki pengaruh terhadap variabel respon)

Tabel 2: Perhitungan T Manual

No	Uji	Koefisien	SE	t_{hitung}	Keputusan
1	$t_{carbon} (b_1)$	79,30194	47,0	1,69	H_0 ditolak
2	$t_{mangan} (b_2)$	0,678003	2,70	0,25	H_0 diterima
3	$t_{silikon} (b_3)$	-0,92051	4,98	-0,18	H_0 diterima
4	$t_{posphor} (b_4)$	672,5952	152	4,41	H_0 ditolak

Syarat ditolak H_0 adalah ketika $|t_{hitung}| > t_{tabel}$ maka dengan menggunakan nilai α sebesar 10% t_{tabel} sebesar 1,297. Sehingga dari perhitungan $|t_{hitung}|$ dan ditolaknya H_0 dapat diketahui bahwa variabel yang berpengaruh pada kekerasan logam adalah carbon posphor.

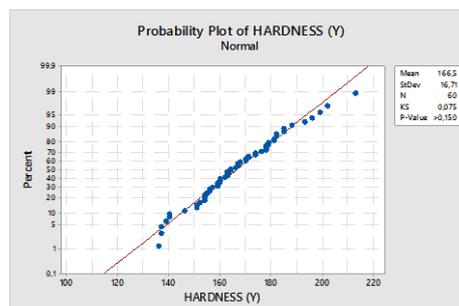
Uji Asumsi Klasik

Uji Normalitas

Pengujian normalitas dengan dengan metode komogrov-smirnov dengan hipotesis sebagai berikut,

- H_0 : Residual terdistribusi normal
- H_1 : Residual tidak terdistribusi normal

Dengan menggunakan nilai α sebesar 0,10 maka hasil uji normalitas dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Grafik Uji normalitas

Dari grafik sebelumnya, diketahui bahwa residual berada di sekitar garis linier berarti data bersifat normal dan terdistribusi secara merata. Hal ini dapat diketahui pada nilai P-value yang bernilai >0,150, maka nilai P-value lebih besar dari α sehingga data residual sudah memenuhi asumsi distribusi normal.

Uji Autokorelasi

Uji autokorelasi adalah untuk melihat apakah terjadi korelasi antara suatu periode ke periode setelahnya dengan runtun waktu. Pada kasus ini dengan banyak data sebanyak 60 sampel, menggunakan nilai α sebesar 0,10, dan jumlah variabel bebas sebanyak 4 maka melalui tabel Durbin-Watson didapat nilai batas bawah (dL) dan batas atas (dU) sebesar 1.47965 dan 1.68891. Perhitungan menggunakan Minitab mendapatkan nilai uji Durbin-Watson sebesar 1,53776. Apabila $dL < d < dU$ maka pengujian tidak dapat disimpulkan. Dari hasil uji Durbin-Watson tersebut dapat diketahui bahwa tidak terjadi autokorelasi.

Uji Multikolinearitas

Uji multikolinearitas bertujuan untuk melihat apakah antar variabel X memiliki korelasi. Syarat variabel bebas korelasi adalah apabila nilai VIF < 10.

Dari hasil uji multikolinearitas dari setiap variabel X dapat diketahui bahwa semua variabel X yaitu carbon, mangan, silikon, dan posphor memiliki nilai VIF < 10 yang berarti tidak ada multikorelasi antar variabel X.

Uji Heteroskedastisitas

Tujuan dari uji heteroskedastisitas adalah untuk menguji apakah terjadi ketidaksamaan varians dalam model regresi dari satu pengamatan ke pengamatan lainnya. Pengujian dilakukan dengan menggunakan Uji Glejser.

Dari pengujian melalui Uji Glejser tersebut menunjukkan bahwa koefisien parameter untuk semua variabel prediktor yang digunakan tidak memiliki signifikansi pada tingkat $\alpha = 10\%$ atau 0,10. Hal ini terlihat dari probabilitas signifikansinya diatas 10%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak terjadi heteroskedastisitas.

Tingkat Pengaruh Antar Variabel X Terhadap Variabel Y

Pengujian dilakukan untuk melihat seberapa besar pengaruh yang dihasilkan oleh variabel terhadap variabel respon. Pengukuran nilai didapat dari besaran R-Sq.

$$\rho A = \frac{SS'_A}{SS_T} \times 100\% = \frac{SS_A - (V_A \times V_e)}{SS_T}$$

1. Variabel X_1 atau unsur C terhadap Variabel Y Untuk mencari pengaruh variabel prediktor X_1 terhadap kekerasan menggunakan rumus:

$$\rho A = \frac{336,3 - (1 \times 55)}{16466,9} \times 100\% = 17,08\%$$

Dari hasil analisis diatas dapat diketahui bahwa kadar pengaruh variabel X_1 dari persentasi kontribusi regresi sebesar 17,08. Unsur carbon memiliki pengaruh sebesar 17,08% terhadap kekerasan *high manganese steel*.

2. Variabel X_2 atau unsur Mn terhadap Variabel Y Untuk mencari korelasi pengaruh variabel prediktor X_2 terhadap kekerasan menggunakan rumus:

$$\rho B = \frac{7,5 - (1 \times 55)}{16466,9} \times 100\% = 0,29\%$$

Dari hasil analisis diatas dapat diketahui bahwa kadar pengaruh variabel X_1 dari persentasi kontribusi regresi sebesar 0,29. Unsur manganese memiliki pengaruh sebesar 0,29% terhadap kekerasan *high manganese steel*.

3. Variabel X_3 atau unsur Si terhadap Variabel Y Untuk mencari korelasi pengaruh variabel prediktor X_3 terhadap kekerasan menggunakan rumus:

$$\rho C = \frac{4 - (1 \times 55)}{16466,9} \times 100\% = 0,31\%$$

Dari hasil analisis diatas dapat diketahui bahwa kadar pengaruh variabel X_1 dari persentasi kontribusi regresi sebesar 0,31. Unsur silikon memiliki pengaruh sebesar 0,31% terhadap kekerasan *high manganese steel*.

4. Variabel X_4 atau unsur P terhadap Variabel Y Untuk mencari korelasi pengaruh variabel prediktor X_4 terhadap kekerasan menggunakan rumus:

$$\rho D = \frac{2300,6 - (1 \times 55)}{16466,9} \times 100\% = 13,63\%$$

Dari hasil analisis diatas dapat diketahui bahwa kadar pengaruh variabel X_1 dari persentasi kontribusi regresi sebesar 13,63. Unsur pospor memiliki pengaruh sebesar 13,63% terhadap kekerasan *high manganese steel*.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Kandungan komposisi yang berpengaruh terhadap kekerasan *high manganese steel* ASTM A128 tipe B-3 adalah carbon dan posphor. Tidak ada autokorelasi dan multikorelasi diantara variabel prediktor yang berarti bahwa antar variabel prediktor saling tidak memiliki hubungan terhadap kekerasan.

2. Tingkat kadar pengaruh pada carbon sebesar 46,24% dan phosphor sebesar 57,91% terhadap kekerasan logam sehingga phosphor memiliki pengaruh lebih besar terhadap kekerasan *high manganese steel* dibandingkan dengan carbon.

[11] Westfall, dkk. (2011). **Multiple Comparisons and Multiple Tests Using SAS, Second Edition**. SAS Institute, USA.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Annual Book of ASTM Standars, 2002, ASTM A128 Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- [2] Cholis dkk. (2014). *Pengaruh Penambahan Unsur Magnesium (Mg) Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Pada Pengecoran Aluminium*. **Jurnal Pendidikan**. Universitas Indonesia, Jakarta
- [3] Ghozali, I. (2011). *Aplikasi Analisis Multivariate Dengan Program SPSS*. Badan Penerbit Universitas Diponegoro, Semarang.
- [4] Gunawan. (2014). *Analisa Pengaruh Unsur Kekerasan Logam Menggunakan Teknik Desain Eksperimen Di PT. Apie Indo Karunia*. Universitas Maarif Wachid Hayim, Sidoarjo.
- [5] Karyono, T., Budianto, B., dan Pamungkas, R. G. (2017). *Analisis Tehnik Pencegahan Korosi Pada Lambung Kapal Dengan Sistem Pencegahan KCP Dibandingkan Dengan SACP*. **Jurnal Pendidikan Profesional**, Vol 6 No. 1 Hal. 7-17. Yayasan Pendidikan Perintis, Malang.
- [6] Ponco, dkk. (2016). *Pengaruh Unsur Silikon Pada Aluminium Alloy (Al – Si) Terhadap Sikap Mekanis Dan Struktur Mikro*. **Jurnal Poros**, Vol 14 No. 1 Hal. 49-56. Universitas Tarumanegara, Jakarta.
- [7] Purnawibawa, R. (2016). *Analisis Kandungan Unsur dan Tingkat Kekerasan Pada Senjata Logam Koleksi Museum Tosan Aji Purworejo*. **Jurnal Konservasi Cagar Budaya Borobudur**, Vol 10, No 2, Hal 31-39. Universitas Indonesia, Jakarta.
- [8] Rukismono, S. (2013). *Pengaruh Sikap Pimpinan, Lingkungan Kerja, dan Sikap Rekan Kerja Terhadap Kinerja Karyawan Universitas Widya Kartika Surabaya*. **Jurnal Eco-Teknologi UWIKA (eJETU)**, Vol. 1, pp. 29-35. Universitas Widya Kartika, Surabaya
- [9] Solechan, dkk. (2012). *Peningkatan Sifat Mekanik Material Ring Piston Bekas Sepeda Motor Supra X Dengan Proses Heat Treatment*. **Jurnal Unimus**. Universitas Muhammadiyah, Semarang.
- [10] Supranto, Johanes. (2000). **Statistik**. Erlangga, Jakarta.

Analisa Pengendalian Kualitas Proses Produksi Botol pada Departemen *Blow Molding* di Industri *Packaging*

Neoninsa Risma Rossihanida^{1*}, Renanda Nia Rachmadita², Farizi Rachman³

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia^{1,3}

Program Studi Teknik Manajemen Bisnis, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.²

E-mail:neoninsaa@gmail.com^{1*}

Abstract – In the past one year, the problem of critical defects is the most dominant problem. With a percentage of 46% of all problems. This study aims to determine the factors that cause the bottle to leak and to find an effort to reduce the level of leaky bottles in the blow molding department's bottle production process. The method used in this study is Six Sigma which includes five stages of analysis, namely DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, and Control). The approach used to improve the process. Each stage of DMAIC is done by carefully analyzing and maintaining the process. The results of this study indicate that the factors causing leaky bottles analyzed with FTA are problematic valves, air settings are not normal, blow pins are not centered, loose switch limit bolts, no checking rules, new technicians, and no defective mouth product reference. While the effort that must be done is changing the valve, the central pressure is increased to 7.5-8 bar, setting the blow pin to the center, changing the limit switch bolt, making the rules at the beginning of shift shifts, holding regular training for technicians, and making leaky product references.

Keywords: Control Chart, Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), Fault Tree Analysis (FTA), Leaky Bottle, Quality Control, Six Sigma

1. PENDAHULUAN

Dewasa ini, perusahaan dituntut untuk dapat terus berkembang dan menghasilkan produk yang berkualitas tinggi. Kualitas menjadi salah satu tolok ukur kepuasan konsumen. Namun, dalam aktivitas produksi sering kali terjadi masalah kecacatan produk. Berdasarkan pengamatan selama berada di industri *packaging* pada tahun 2017 pada area produksi departemen *blow molding*, permasalahan cacat hasil produksi yang ditemukan oleh QC sangat banyak. Permasalahan yang paling dominan adalah permasalahan cacat hasil produksi dari segi fungsi dengan persentase sebesar 46%. Cacat fungsi di klasifikasikan menjadi sembilan cacat dengan bocor yang menjadi masalah paling dominan diantara cacat lainnya dengan persentase sebesar 47,3%. Hal tersebut berpengaruh pada mutu produk, *image* perusahaan, dan kepuasan konsumen. Selain itu menyebabkan kerugian bagi perusahaan baik dari segi waktu, biaya, dan tenaga. Selain itu waktu tunggu bagi *customer* akan bertambah lama. Oleh sebab itu, perusahaan harus mencari solusi untuk mengurangi tingkat cacat produk bocor. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui faktor-faktor yang menjadi penyebab botol bocor dan untuk menentukan upaya dalam menekan tingkat terjadinya botol bocor pada proses produksi. Peneliti menggunakan metode *Six Sigma* yang meliputi lima tahapan analisis yaitu DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, dan Control*).

2. METODOLOGI

2.1. Six Sigma

Six Sigma secara unik dikendalikan oleh pemahaman yang kuat terhadap fakta, data, dan analisis statistik, serta perhatian yang cermat untuk mengolah, memperbaiki, dan menanamkan proses bisnis. *Six sigma* adalah hal yang menarik bagi para eksekutif puncak karena konsep ini berfokus pada kerja yang terukur, penyelesaian masalah berdasarkan fakta dan keterdisiplinan, serta menyelesaikan proyek yang cepat (Syukron & Kholil, 2013). Banyak model perbaikan yang diterapkan pada proses selama bertahun-tahun. Menurut Pete dan Holpp (dalam Anjayani, 2011) terdapat tahap-tahap implementasi peningkatan kualitas dengan *Six Sigma* terdiri dari lima langkah yaitu menggunakan metode DMAIC (*Define, Measure, Analyse, Improve, and Control*).

Tahap *Define* merupakan tahap awal dalam *Six Sigma*. Fase *define* digunakan untuk mendefinisikan dan menyeleksi permasalahan botol bocor perlu dilakukan penelitian. Pada fase *define* digunakan diagram batang dan diagram SIPOC. Tahap *Measure* merupakan tahap pengukuran. Fase *measure* digunakan untuk mengetahui proses yang sedang terjadi. Yang dilakukan dalam tahap ini adalah membuat pembuatan peta kendali u. Tahap *Analysis* merupakan tahap menganalisa. Tahap analisa digunakan untuk mencari dan menemukan akar

penyebab dari suatu masalah. *Tools* yang digunakan adalah FTA dan FMEA. Tahap *Improve* diterapkan suatu rencana tindakan untuk melaksanakan peningkatan kualitas Six sigma. Rencana tersebut mendeskripsikan tentang alokasi sumber daya serta prioritas atau alternatif yang dilakukan. Tahap *Control* merupakan tahap akhir yang dilakukan dalam peningkatan kualitas *Six Sigma*. Langkah terakhir ini bertujuan untuk melakukan kontrol dalam setiap kegiatan, sehingga memperoleh hasil yang baik dan dapat mengurangi waktu, masalah, dan biaya yang tidak dibutuhkan. (Oktavianto, 2013).

2.2. Peta Kendali U

Grafik pengendali u mirip dengan grafik kendali c, kecuali bahwa unit sampel tidak harus memiliki ukuran yang sama (area kesempatan tidak harus sama) pada u *chart*. Peta kendali u merupakan grafik pengendali dengan sifat atribut. Rumus yang digunakan untuk menghitung peta kendali u dapat dilihat pada Persamaan berikut ini :

$$\bar{u} = \frac{\sum c}{\sum n} \quad (1)$$

$$UCL = \bar{u} + 3\sqrt{\bar{u}/n} \quad (2)$$

$$CL = \bar{u} \quad (3)$$

$$LCL = \bar{u} - 3\sqrt{\bar{u}/n} \quad (4)$$

2.3. Fault Tree Analysis (FTA)

Fault Tree Analysis adalah suatu analisis pohon kesalahan secara sederhana dapat diuraikan sebagai teknik analitis. Pohon kesalahan adalah suatu model grafis yang menyangkut berbagai paralel dan kombinasi percontohan kesalahan-kesalahan yang akan mengakibatkan kejadian dari peristiwa tidak diinginkan yang sudah didefinisikan sebelumnya atau juga dapat diartikan merupakan gambaran hubungan timbal balik yang logis dari peristiwa-peristiwa dasar yang mendorong kearah peristiwa yang tidak diinginkan menjadi peristiwa puncak dari pohon kesalahan tersebut (Sulistiyoko, 2008).

2.4. Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) & Risk Priority Number (RPN)

Menurut Hanif (dalam Hariani, 2017) menyebutkan bahwa FMEA merupakan sebuah teknik rekayasa yang digunakan untuk menetapkan, mengidentifikasi, dan untuk menghilangkan kegagalan yang diketahui, permasalahan, error, dan sejenisnya dari sebuah sistem, desain, proses, dan atau jasa sebelum mencapai konsumen.

RPN (*Risk Priority Number*) adalah sebuah teknik yang digunakan untuk menganalisa risiko dengan menghubungkan potensial masalah yang diidentifikasi dalam *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). Metode RPN ini selanjutnya akan digunakan oleh peneliti untuk dapat

menggunakan pengalaman yang dimilikinya serta kemampuan *engineering* yang dimilikinya untuk memberikan keputusan dalam menentukan tingkat potensi masalah sesuai dengan 3 *rating* skala RPN yaitu *severity* merupakan tingkat keparahan dari efek potensial bentuk dari kegagalan yang dialami, *occurrence* merupakan tingkat yang menyatakan kemungkinan suatu kegagalan akan terjadi sepanjang masa desain sistem. Dan *detection* merupakan tingkat yang menyatakan kemungkinan sebuah *failure mode* dapat dideteksi dengan mengaplikasikan suatu metode deteksi atau dengan melakukan tindakan pengendalian (*current control*) yang diberikan sebelum mencapai *end-user* sebelum meninggalkan fasilitas produksi.

Setelah *rating* ditentukan selanjutnya tiap pokok persoalan dikalkulasi dengan mengalikan *severity*, *occurrence* dan *detection*.

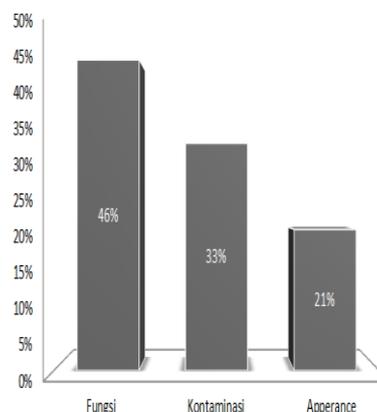
$$RPN = Severity \times Occurrence \times Detection \quad (5)$$

Nilai RPN yang muncul menunjukkan tingkat kepentingan terhadap perhatian yang diberikan untuk area/ komponen yang terdapat dalam sistem.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

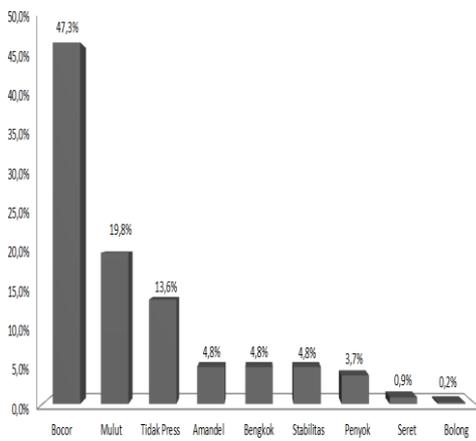
3.1 Tahap Define

Tahap *Define* merupakan langkah pengerjaan pertama dalam program peningkatan kualitas Six Sigma. Yang dilakukan adalah mendefinisikan permasalahan yang terjadi di perusahaan dalam lingkup proses produksi. Pembuatan diagram batang temuan cacat hasil produksi berdasarkan data *reject* dari departemen *quality control* tahun 2017. Pada saat dilakukan *inspeksi* oleh departemen *quality control*, ditemukan cacat hasil produksi botol departemen *blow molding*. Dengan spesifikasi cacat yang ditemukan adalah sebesar 46% cacat produk dari segi fungsi, 33% cacat produk dari segi fungsi, dan 21% cacat produk dari segi *appearance*. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.



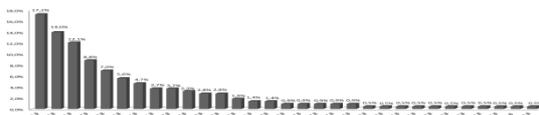
Gambar 1. Cacat Temuan QC

Dari ketiga cacat tersebut, cacat dari segi fungsi menunjukkan persentase yang paling tinggi, sehingga cacat dari segi fungsi inilah yang diprioritaskan untuk dilakukan analisa dan perbaikan. Yang termasuk cacat dari segi fungsi sendiri masih diklasifikasikan menjadi 9 cacat yang lebih spesifik, antara lain : bocor, mulut melipat, tidak press, amandel, bengkok, stabilitas goyang, penyok, seret, dan bolong. Berdasarkan data hasil inspeksi yang dilakukan oleh departemen *quality control*, diketahui yang menjadi penyebab nilai dari segi fungsi meningkat adalah defect bocor yaitu sebesar 47,3%. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.



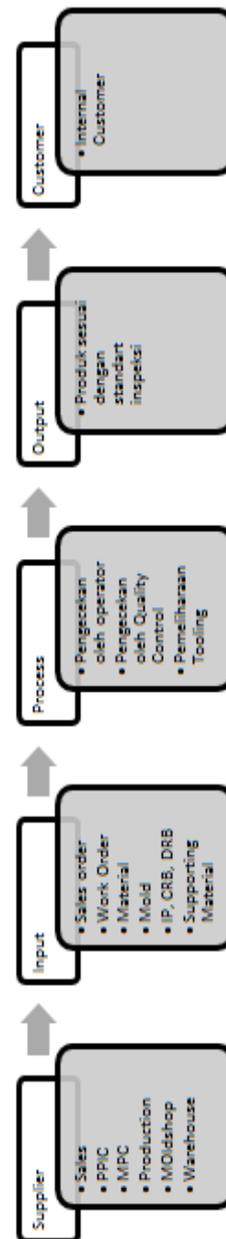
Gambar 2. Klasifikasi cacat fungsi

Penelitian akan lebih difokuskan pada kebocoran suatu produk hasil proses produksi botol. Diperoleh persentase sebesar 17,2% bahwa produk botol 8211 B menjadi produk yang paling banyak mengalami kebocoran. Sehingga produk 8211 B dijadikan prioritas yang akan dianalisis dan dilakukan tindakan perbaikan. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Produk dengan Cacat Bocor

Setelah menggambar diagram batang, langkah selanjutnya pada tahap *define* adalah membuat diagram SIPOC. Diagram SIPOC menggambarkan mengenai aliran proses produksi yang terdapat pada proses pembuatan botol. Diagram ini digunakan untuk mengetahui semua proses yang terjadi, mulai dari pihak pengadaan material sampai pada pihak konsumen. Diagram SIPOC (*Supplier, Input, Proses, Output, dan Customer*) pada proses pembuatan botol dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram SIPOC Proses Produksi Botol

3.2 Tahap Measure

Pada tahap ini, peta kendali *u* digunakan untuk memastikan jumlah produk botol pada departemen *blow molding* telah terkendali secara statistik atau belum. Dalam pembuatan peta kendali *u*, data yang digunakan adalah data IBB produk botol 8211 B dari departemen *blow molding*. Peta kendali *u* diatas menunjukkan bahwa ada plot yang keluar batas kendali sebanyak 13 pengamatan. Penyebab plot keluar dari batas kendali adalah *assignable causes* dimana diketahui secara pasti penyebab plot keluar dari batas kendali sehingga dapat dikatakan bahwa jumlah produk botol pada departemen *blow molding* belum terkendali secara statistik. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.

Tabel 2: Rencana Tindakan Perbaikan

Mode Kegagalan	Penyebab Kegagalan	Rencana Tindakan Perbaikan	PIC	Rencana Waktu Perbaikan	Hasil yang Diharapkan
<i>Die head</i> tidak naik	<i>Valve</i> bermasalah	Ganti <i>valve</i>	Imam (<i>Maintenance</i>)	Week 22	Piston akan dapat menggerakkan <i>die head</i> dengan stabil
<i>Speed cutting</i> tidak normal	<i>Setting</i> udara tidak normal	<i>Pressure central</i> dinaikkan menjadi 7,5-8 bar	Imam (<i>Maintenance</i>)	Week 22	<i>Pressure</i> yang tinggi akan terbagi secara rata dan mesin dapat bekerja secara optimal
Produk bocor tidak terdeteksi	Belum ada aturan pendeteksian bocor	Dibuatkan aturan setiap awal pergantian <i>shift</i> pengecekan kebocoran internal produksi	Choirul (<i>Section Head Blow Molding</i>)	Week 24	Semua teknisi sesuai prosedur yang ada untuk mendapatkan hasil yang optimal
<i>Blow pin</i> bersentuhan langsung dengan <i>sticker plate</i>	Baut <i>limit switch</i> kendur	Setting ulang / ganti baut <i>limit switch</i>	Imam (<i>Maintenance</i>)	Week 24	Baut <i>limit switch</i> tidak kendur lagi, dan proses akan berjalan dengan lancar
Operator kurang tepat dalam mendeteksi produk bocor	Belum ada acuan bocor untuk operator	Membuatkan acuan produk bocor dalam <i>Defect Range Board</i> (DRB)	Tinton (<i>Supervisor Quality Control</i>)	Week 26	Operator akan lebih memahami ciri-ciri dari produk yang mengalami bocor, sehingga dapat meminimalisir kelolosan ke <i>Quality Control</i>
<i>Blow pin</i> bersentuhan langsung dengan <i>sticker plate</i>	<i>Blow pin</i> tidak <i>center</i>	<i>Setting blow pin</i> menjadi <i>center</i>	Ajar (<i>Supervisor Blow Molding</i>)	Week 23	Teknisi baru akan lebih memahami bagaimana cara <i>setting blow pin</i> yang tepat, sehingga <i>blow pin</i> dapat berada pada posisi <i>center</i>
<i>Setting Blow pin</i> kurang tepat	Teknisi baru	Diadakan <i>training</i> secara berkala	Choirul (<i>Section Head Blow Molding</i>)	Week 26	Teknisi baru akan lebih memahami bagaimana cara <i>setting blow pin</i> yang tepat, sehingga <i>blow pin</i> dapat berada pada posisi <i>center</i>

3.5 Tahap Control

Setelah menentukan rencana tindakan perbaikan pada tahap *improve*, maka langkah selanjutnya adalah tahap *control*. Pada tahap ini hanya beberapa saran yang tidak terlalu mengganggu sistem, telah dilakukan oleh pihak *blow molding*. Usaha peningkatan yang telah dilakukan dan tidak mengganggu sistem adalah dengan diadakan *training* secara berkala untuk teknisi baru. Yang diharapkan teknisi baru akan lebih memahami bagaimana cara *setting blow pin* yang tepat. Namun, tindakan yang telah dilakukan tersebut belum bisa diambil kesimpulan yang menunjukkan bahwa saran tersebut menunjukkan hasil yang positif maupun negatif. Karena harus menunggu beberapa bulan lagi untuk dapat melihat hasil dari implementasi tersebut.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, maka kesimpulan yang didapat adalah sebagai berikut :

1. Faktor-faktor penyebab botol bocor disebabkan oleh *valve* yang bermasalah, *setting* udara tidak normal, *blow pin* tidak *center*, *baut limit switch* kendur, tidak adanya aturan pengecekan pada *internal* produksi, teknisi baru, dan tidak adanya acuan produk mulut cacat untuk operator.
2. Upaya dalam menekan tingkat terjadinya botol bocor pada proses produksi departemen *blow molding* adalah dengan menerapkan metode Six Sigma DMAIC. Dimana pada fase *define*

didapatkan permasalahan untuk mengurangi produk botol 8211 B yang sering mengalami kebocoran. Hal tersebut juga dibuktikan menggunakan peta kendali u pada fase *measure* yang menunjukkan bahwa terdapat 13 pengamatan dari 37 pengamatan yang dilakukan berada di luar batas kendali. Setelah itu pada fase *analysis* dilakukan penentuan akar permasalahan menggunakan FTA. Berdasarkan akar permasalahan yang telah diperoleh, dibuatkan rencana tindakan perbaikan pada fase *improve*. Dan tahap terakhir adalah fase *control* untuk mendokumentasikan rencana tindakan yang telah dilakukan. Sedangkan upaya yang harus dilakukan adalah ganti *valve*, *pressure central* dinaikkan menjadi 7,5-8 bar, *setting blow pin* menjadi *center*, ganti baut *limit switch*, dibuatkan aturan setiap awal pergantian *shift*, diadakan *training* secara berkala untuk teknisi, dan pembuatan acuan produk bocor.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anjayani, I.D. (2011). Analisis Pengendalian Kualitas Produk dengan Metode Six Sigma pada CV. Duta Java Tea Industri Adiwerna – Tegal. **Skripsi** Universitas Negeri Semarang, Semarang.

- [2] Hariani, L.I. (2017). Analisis Nilai Efektivitas Mesin Injection Moulding TYPE ARB-100.7 Menggunakan Metode Overall Equipment Effectiveness (OEE). **Tugas Akhir** Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya.
- [3] Juniani, A. I., & Rachmadita, R. N. (2018, January). Analisis Kapasitas Produksi Menggunakan Metode Rough Cut Capacity Planning Di Workcenter 1 Departemen Produksi 2 Divisi Alat Berat PT. Pindad (Persero)–Bandung. In *Conference on Design and Manufacture and Its Application* (Vol. 1, No. 1, pp. 379-385)
- [4] Oktavianto, D. (2013). Analisis Kecacatan Produk Aqua dalam Upaya Perbaikan Kualitas dengan Metode DMAIC. **Skripsi** Universitas Pakuan, Bogor.
- [5] Priyanta, D. (2000). **Keandalan dan Perawatan**. Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- [6] Sulistyoko, E. (2008). Analisis Penerapan Program Keselamatan Kerja Dalam Usaha Meningkatkan Produktivitas Kerja dengan Pendekatan Fault Tree Analysis. **Tugas Akhir** Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.
- [7] Syukron, A. dan M. Kholil.(2013). **Six Sigma Quality for Business Improvement**. Graha Ilmu, Yogyakarta.

Analisis Kekuatan terhadap Rencana Struktur Penyangga *Helideck* pada Bangunan Lepas Pantai

Erlina Kusumawati^{1*}, Muhamad Ari², Dhika Aditya Purnomo³

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.^{1,3}

Program Studi Teknik Pengelasan, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.²

E-mail: erlinak.wati@gmail.com^{1*}

Abstract – Exploration activities of the oil and gas are done in a long time, and usually this activities is done in deep sea and far from the mainland. To facilitate transportation then used helicopter, therefore the rig must be equipped with a helideck for helicopter landing. Helideck and the support structure are important elements of safety because of its role in emergency evacuation and normal operations. To meet the safety factor, helideck must have strong supporting structure, in accordance with the permitted material. So we need examine about the strength of plan support structure by doing load calculations as well as load simulation by Finite Element Methode when helicopter landing under normal conditions and emergency conditions. From the simulation and analysis results, it is known that the maximum stress applied to the helideck support structure when helicopter landing under normal conditions is 54,88 MPa and under emergency conditions is 65,22 MPa. The maximum deflection occurring in the helideck support srtructure when helicopter landing under normal conditions is 14,45 mm and under emergency conditions is 17,19 mm. The helideck support structure is safe according to the criteria, since the safety factor simulation results when helicopter landing under normal conditions is 4,9 and under emergency conditions is 4,2 and the maximum deflection value that occurs is bellow the maximum allowable deflection value.

Keywords: deflection, FEM (finite element method), helideck support structure, safety factor, stress

1. PENDAHULUAN

Meningkatnya jumlah kebutuhan minyak dan gas sebagai salah satu sumber energi utama mendorong gencarnya kegiatan eksplorasi minyak dan gas dengan cara menemukan sumur – sumur baru. Dalam proses pembuatan sumur minyak dan gas, *rig* merupakan komponen yang penting. *Jack up rig* adalah suatu struktur bangunan lepas pantai yang terdiri dari lambung (*hull*), kaki (*legs*), dan suatu sistem *jacking* sehingga memungkinkan untuk dipindahkan dari satu lokasi ke lokasi yang lain (Djatmiko et al, 2013).

Kegiatan eksplorasi lepas pantai minyak dan gas dilakukan dalam periode waktu yang lama dan biasanya kegiatan ini dilakukan di laut yang dalam serta jauh dari daratan. Sehingga untuk memudahkan transportasi *crew/client* serta untuk evakuasi dalam kondisi darurat dan medis diperlukan transportasi yang cepat, nyaman, dan mudah. Helikopter merupakan media transportasi yang tepat dibandingkan dengan media transportasi lainnya. Maka dari itu *rig* harus dilengkapi dengan *helideck* untuk proses pendaratan helikopter, yang nantinya *helideck* ini akan beroperasi seperti bandara. Jadi struktur ini harus dirancang sedemikian rupa agar memiliki interaksi yang tepat dengan platform. Selain itu *helideck* dan struktur pendukungnya merupakan elemen penting keselamatan karena perannya

dalam proses evakuasi darurat, dan juga selama operasi normal (Bagheri et al, 2013).

Struktur penyangga *helideck* terhubung kuat pada bagian *hull* dan *accommodation rig*. Faktor keselamatan dari konstruksi ini sangat diutamakan karena mobilitas yang tinggi. Untuk memenuhi faktor keselamatan tersebut, *helideck* harus memiliki struktur penyangga yang kuat dan sesuai dengan material yang diijinkan. Untuk mengetahui apakah rencana struktur penyangga *helideck* tersebut aman sesuai dengan kriteria maka perlu mengkaji tentang kekuatan struktur dari penyangga tersebut dengan melakukan perhitungan beban serta simulasi pembebanan dengan menggunakan Metode Elemen Hingga. Pada tugas akhir ini peneliti akan menganalisis rencana struktur penyangga *helideck* pada *offshorerig* jenis *jack up rig* yang akan dibangun di perusahaan galangan kapal di Batam. Berdasarkan spesifikasinya, *rig* ini berjenis *Jack up rig* CJ46 dengan operasi kedalaman lautnya sedalam 106.70m (350ft). Rencana struktur *helideck* terletak pada bagian depan *rig*, serta dirancang untuk helikopter jenis S-61N dan S-92. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui apakah rencana pembangunan struktur penyangga *helideck* tersebut aman sesuai dengan kriteria.

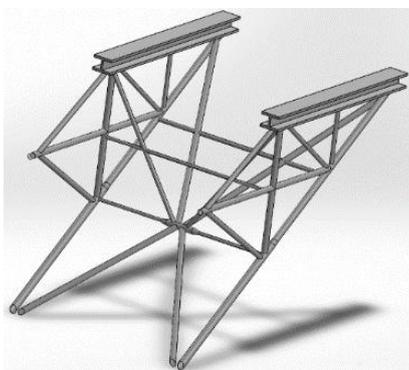
2. METODOLOGI

Dalam penelitian ini, peneliti melakukan analisis kekuatan terhadap rencana struktur penyangga *helideck* pada perusahaan galangan kapal di Batam dengan dua kondisi pembebanan yaitu beban ketika pendaratan helikopter pada kondisi normal dan beban ketika pendaratan helikopter pada kondisi darurat. Analisis dilakukan dengan metode elemen hingga sehingga diperoleh nilai tegangan, defleksi, dan faktor keamanan dengan menggunakan bahan material API-5L-X52.

Besar defleksi maksimum yang diijinkan mengacu pada buku yang ditulis oleh El-Reedy, M. A (2015). Buku tersebut berjudul “Marine Structural Design Calculation” dimana struktur penyangga *helideck* termasuk dalam bagian peralatan pendukung yang sensitif terhadap defleksi. Besar defleksi maksimum yang diijinkan yaitu sebesar 69,068 mm ($L/250$).

Pada rencana pembangunan *jack up rig* ini hanya ada 2 helikopter yang diijinkan mendarat di atas *helideck* nya, yaitu helikopter tipe S-61N dan helikopter tipe S-92. Karena helikopter tipe S-92 memiliki berat yang lebih besar maka pada simulasi pembebanan akan menggunakan helikopter tipe S-92. Helikopter tipe S-82 memiliki MTOM (*Maximum Take Off Mass*), yaitu 12.020 kg (globalair.com, 2018).

2.1 Permodelan Struktur Penyangga Helideck



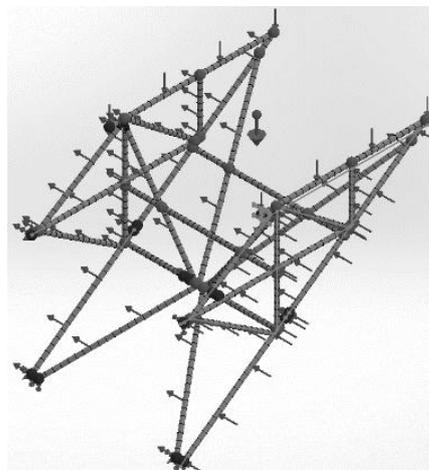
Gambar 1. Permodelan Struktur Penyangga Helideck

Permodelan berbasis 3 dimensi digambarkan berdasarkan data yang telah diperoleh. Ukuran yang digunakan adalah ukuran yang sebenarnya. Gambar 1 berikut ini merupakan hasil permodelan dari gambar kerja.

2.2 Meshing

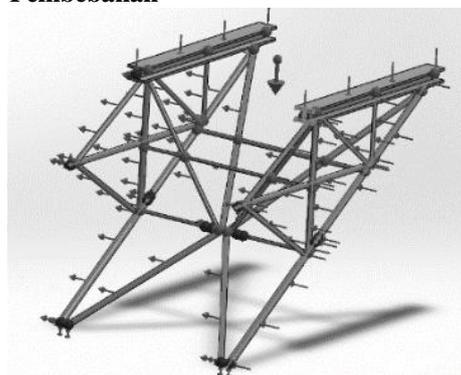
Setelah material, kondisi batas, dan kondisi beban diinputkan maka tahap selanjutnya yaitu meshing. *Meshing* adalah proses dimana suatu struktur dibagi menjadi elemen-elemen yang lebih kecil. Pada penelitian ini digunakan tipe elemen 1D karena struktur penyangga *helideck* menggunakan struktur *beam* dan pipa. *Meshing* pada struktur penyangga *helideck* ditunjukkan pada Gambar 2. Jika *meshing* berhasil, maka dilanjutkan dengan

melakukan simulasi, namun jika gagal maka harus dilakukan kembali permodelan struktur penyangga *helideck* sampai *meshing* berhasil.



Gambar 2. Meshing Struktur Penyangga Helideck

2.3 Pembebanan

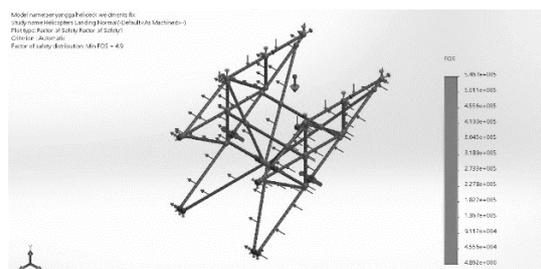


Gambar 3. Peletakan Pembebanan pada Struktur Penyangga Helideck

Ada dua kondisi pembebanan yang akan disimulasikan pada penelitian ini, yaitu pembebanan ketika pendaratan helikopter pada kondisi normal dan pembebanan ketika pendaratan pada kondisi darurat. Beban yang terjadi pada *helideck* yang di asumsikan dengan dummy struktur berbentuk H beam dianggap merata, ke arah vertikal. Dan untuk beban dari angin diasumsikan dengan arah dari sisi samping, ke arah horizontal, merata pada semua struktur penyangga *helideck*. Distribusi beban yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 3 seperti di bawah ini. Kondisi pembebanan yang diberikan mengacu pada Standarts for offshore helicopters landing areas – CAP 437, Edition 8 December 2016. Nilai pembebanan yang diberikan bisa dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1: Nilai Pembebanan pada Struktur Penyangga Helideck

Jenis Pembebanan	Ketika Pendaratan Helikopter pada Kondisi Normal	Ketika Pendaratan Helikopter pada Kondisi Darurat
Beban dampak pendaratan helikopter	176.694 N	294.490 N
Respon simpatik dari platform pendaratan	229.702,2 N	382.837 N
Beban keseluruhan pada platform pendaratan	258.900 N	258.900 N
Lateral load pada platform pendukung pendaratan	58.898 N	58.898 N
Beban angin	16.581,884 N	16.581,884 N



Gambar 5. Defleksi Ketika Pendaratan Helikopter pada Kondisi Normal

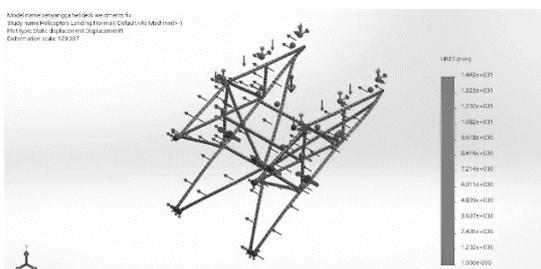
Factor of safety dari hasil simulasi ini yaitu sebesar 4,9. Gambar 6 berikut ini menunjukkan Factor of safety yang terjadi pada struktur penyangga helideck ketika pendaratan helikopter pada kondisi normal.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel hasil simulasi pembebanan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2: Hasil Simulasi

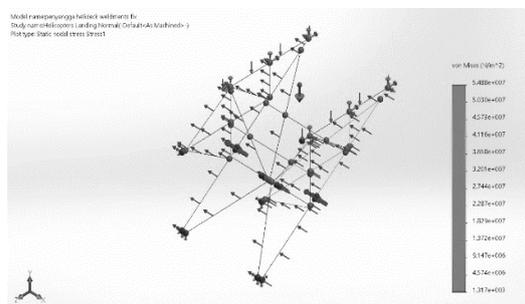
	Ketika Pendaratan Helikopter pada Kondisi Normal	Ketika Pendaratan Helikopter pada Kondisi Darurat
Tegangan Maks.	54.880.000 N/m ²	65.220.000 N/m ²
Defleksi Maks.	14,43mm	17,19mm
Factor of Safety	4,9	4,2



Gambar 6. Factor of Safety Ketika Pendaratan Helikopter pada Kondisi Normal

3.1 Ketika Pendaratan Helikopter pada Kondisi Normal

Pada simulasi beban ketika pendaratan helikopter pada kondisi normal didapatkan nilai tegangan maksimal yang terjadi adalah sebesar 54.880.000 N/m² dan tegangan minimal yang terjadi sebesar 1.317 N/m². Gambar 4 berikut ini menunjukkan hasil tegangan yang terjadi pada struktur penyangga helideck dari simulasi.

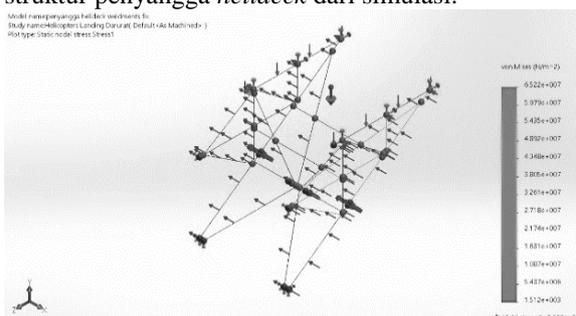


Gambar 4. Tegangan Ketika Pendaratan Helikopter pada Kondisi Normal

Defleksi maksimal yang terjadi dari hasil simulasi ketika pendaratan helikopter pada kondisi normal yaitu sebesar 14,43 mm. Gambar 5 berikut ini menunjukkan hasil defleksi yang terjadi pada struktur penyangga helideck dari simulasi.

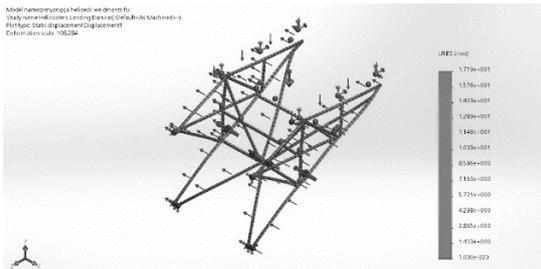
3.2 Ketika Pendaratan Helikopter pada Kondisi Darurat

Pada simulasi beban ketika pendaratan helikopter pada kondisi darurat didapatkan nilai tegangan maksimal yang terjadi yaitu sebesar 65.220.000 N/m² dan tegangan minimal yang terjadi yaitu sebesar 1.512 N/m². Gambar 7 berikut ini menunjukkan hasil tegangan yang terjadi pada struktur penyangga helideck dari simulasi.



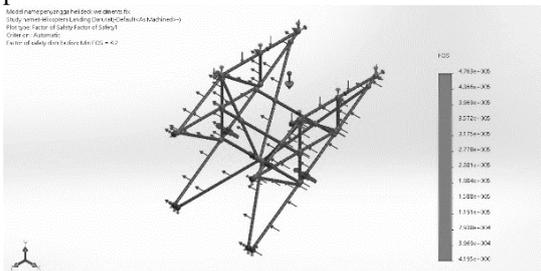
Gambar 7. Tegangan Ketika Pendaratan Helikopter pada Kondisi Darurat

Defleksi maksimal dari hasil simulasi ketika pendaratan helikopter pada kondisi darurat yaitu sebesar 17,19 mm. Gambar 8 berikut ini menunjukkan hasil defleksi yang terjadi pada struktur penyangga helideck dari simulasi



Gambar 8. Defleksi Ketika Pendaratan Helikopter pada Kondisi Normal

Factor of safety dari hasil simulasi ini yaitu sebesar 4,2. Gambar 9 berikut ini menunjukkan Factor of safety yang terjadi pada struktur penyangga helideck ketika pendaratan helikopter pada kondisi darurat.



Gambar 9. Factor of Safety Ketika Pendaratan Helikopter pada Kondisi Normal

4. KESIMPULAN

Dari hasil dan pembahasan pada tugas akhir ini, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Besar tegangan maksimal ketika pendaratan helikopter pada kondisi normal yaitu 54,88 MPa, dan ketika pendaratan helikopter pada kondisi darurat yaitu 65,220 MPa.

2. Besar defleksi maksimal ketika pendaratan helikopter pada kondisi normal yaitu 14,43 mm, dan ketika pendaratan helikopter pada kondisi darurat yaitu 17,19 mm.
3. Struktur penyangga helideck aman sesuai dengan kriteria, karena safety factor dari hasil simulasi yaitu 4,9 ketika pendaratan helikopter pada kondisi normal dan 4,2 ketika pendaratan helikopter pada kondisi darurat serta nilai defleksi maksimum yang terjadi berada di bawah nilai defleksi maksimum yang diijinkan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Available at : globalair.com [Accessed 24 Maret 2018]
- [2] Bagheri, H. Mohebpour, S.R dan Vaghefi, M. 2013. *Nonlinear Analysis of Offshore Helidecks Due to the Helicopter Emergency Landing Loads*. Middle-East Journal of Scientific Research, 13 (10): 1351-1358, 2013 ISSN 1990-9233.
- [3] Djatmiko, E.B. Murdjito dan Winiscoyo, A. 2013. *Analisis Integritas Struktur Kaki Jack-up yang Mengalami Retak dengan Pendekatan Ultimate Strength; Studi Kasus Jack-up Maleo MOPU (Mobile Offshore Production Unit)*. Jurnal Teknik Pomits, Vol. 2, No. 1, Issn: 2337-3539 (2301-9271 Print).
- [4] El-Reedy, M. A. 2015. *Marine Structural Design Calculation*. USA: Elsevier.
- [5] Standart for Offshore Helicopter Landing Area – CAP 437. *Civil Aviation Authority*. West Sussex, Inggris.

Analisis Nilai Efektivitas pada Mesin *Gas Cutting* Koike Sanso Kogyo Type IK-2000 CE HI-82 dengan Metode *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) pada Perusahaan Manufaktur Alat Transportasi

Devianti Kusuma Hardinata^{1*}, Renanda Nia Rachmadita², dan Aditya Maharani³

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia. ^{1,2}

Program Studi Manajemen Bisnis, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia. ³

E-mail: deviantikusuma@gmail.com^{1*}

Abstract – This manufacturing company is one of the BUMN that moved in transportation. This company produce train-sets and single-parts. The material will be processed into cutting area by using automatic gas cutting machine, it is Koike Sanso Kogyo type IK 2000 CE HI-82. This machine operates in 3 shifts during 24 hours and in over time. As thi smachine is used continuously and it is used to reach target of products, so it somestimes happens ome failures from the machine and because of the failures, it takes more time to repair or controlit.

Overall Equipment Effectiveness (OEE) is one of method that used to identify the value of effectivity of the equipment and to evaluate the performance of the machine. For some failures that somestimes happen in this machine will be analyzed by using Failure Mode and Effect Analysis (FMEA). All of the types failures that happen will be handled based on priority order by using Risk Priority Number (RPN). The priorities order of each failures will be found the root cause by using Fault Tree Analysis (FTA).

Overall Equipment Effectiveness (OEE) used to repair the productivity of the company and used as a decision step. From all of the processing data step, the value of the *Overall Equipmen tEffectiveness (OEE)* on 2017 is 57,34%, with the dominan factor that influence is performance rate with the value 79,42%. Some alternative solutions that can be taken are machine daily checklist ,machine monthly checklist, and operators training.

Keyword : Fishbone Chart, Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), Fault Tree Analysis (FTA), Gas Cutting, Overall Equipment Effectiveness (OEE), PerformanceRate.

1. PENDAHULUAN

Perusahaan manufaktur ini merupakan salah satu Badan Usaha Milik Negara (BUMN) yang bergerak dibidang industri transportasi di Indonesia. Kiprahnya pada industri transportasi diawali pada tahun 1981 dengan memproduksi produk berupa transportasi penumpang kelas ekonomi dan rangkaian transportasi jenis pengangkut barang, namun kini industri ini telah berkembang mulai dari penghasil produk dasar komponen hingga menjadi penghasil produk dan salah satu jasa transportasi yang bernilai tinggi. Unit Steel Work merupakan salah satu unit yang ada pada Divisi Fabrikasi yang ada pada perusahaan manufaktur transportasi, dimana unit ini merupakan unit pengerjaan pelat. Material yang berupa lembaran pelat yang selanjutnya akan diproses pada proses *cutting*. Biasanya pelat yang masuk pada lini produksi *gas cutting* adalah pelat *underframe*, pelat *bogie*, dan pelat *walls*, yang mengharuskan pelat dipotong atau dilubangi agar selanjutnya dapat diproses kedalam proses produksi selanjutnya.

Proses pemotongan adalah proses awal dari serangkaian proses untuk menghasilkan

komponen untuk mendapatkan bentuk, ukuran, serta kualitas material potong yang direncanakan (Widarto, 2008). Proses pemotongan yang sering digunakan dalam perusahaan ini adalah menggunakan mesin *gas cutting*. Setelah selesai pada tahapan pemotongan ini, selanjutnya pelat akan masuk dalam serangkaian proses lainnya, seperti *bending*, *boring*, ataupun *punching*, dan selanjutnya hasil dari unit ini akan masuk kedalam produksi *sub-assembly*. Maka proses satu ke proses selanjutnya saling berkesinambungan dengan kata lain mesin satu dan lainnya sangat berkaitan. Apabila mesin awal, dalam hal ini yang dimaksud adalah mesin *gas cutting* mengalami kendala, maka proses lainnya dalam produksi akan mengalami gangguan. Sehingga proses produksi yang dilakukan perusahaan akan terhambat dan akhirnya berdampak pada durasi waktu produksi yang semakin lama. Ke-6 mesin *gas cutting* yang ada pada perusahaan tersebut beroperasi secara terus-menerus setiap harinya, baik itu pada jam kerja normal, jam kerja *shift* 1, maupun jam kerja *shift* 2. Dengan adanya 3 pembagian jam kerja mesin *gas cutting* ditambah

jam lembur mesin, maka tentu saja mesin dipastikan beroperasi secara terus-menerus. Karena sifatnya yang memiliki tingkat fungsional tinggi, mesin ini merupakan mesin *cutting* paling kompleks dibanding mesin *cutting* jenis lainnya. Hal ini menyebabkan sering terjadi keterlambatan produksi dikarenakan kerusakan dari mesin *gas cutting* tersebut. Sehingga, dalam proses produksi, mesin ini sering digunakan diluar batas normal untuk memenuhi target produksi. Mesin yang sering bekerja diluar batas normal dapat menurunkan kapasitas produksi, menurunkan umur mesin sampai dapat mempercepat penggantian *spare part* pada mesindikarenakan kerusakan yang terjadi pada mesin tersebut. Oleh karena itulah kinerja, utilitas dan kemampuan menghasilkan produk berkualitas baik dari mesin *gas cutting* ini harus senantiasa diperbaiki serta ditingkatkan efektivitasnya agar proses produksi tidak terganggu. Usaha perbaikan pada industri manufaktur, dilihat dari segi peralatan adalah dengan meningkatkan utilitas peralatan yang ada dengan seoptimal mungkin dan diharapkan dapat memperpanjang umur ekonomis mesin tersebut. *Overall Equipment Effectiveness* atau disingkat dengan OEE adalah suatu cara untuk mengukur kinerja mesin produksi. Kondisi-kondisi terkait dengan permasalahan performa mesin *gas cutting* lebih dilihat dari sisi indikasi yang menunjukkan keberadaan masalah pada aspek performa mesin. Tabel 1 dibawah ini merupakan percobaan pendahuluan yang menunjukkan bahwa nilai efektifitas mesin masih dibawah standar seharusnya, dan dengan kondisi ini menunjukkan bahwa mesin sering mengalami kendala selama proses produksinya.

Tabel 1: Percobaan Pendahuluan September 2017

Availability Rate	Performance Rate	Quality Rate	OEE
90,23%	80,64%	95,28%	63,08%

Sumber : Hasil Penelitian, 2018

Berdasarkan kondisi tersebut, maka perlu adanya suatu perbaikan secara berkesinambungan (*continuous improvement*) yang berkaitan dengan faktor-faktor penilaian OEE yaitu *availability*, *performance* dan *quality* pada mesin tersebut dengan nilai dari ketiga faktor yang sesuai standar global yaitu berturut-turut 90%, 95% dan 99% (Levitt, 1996; Ahuja and Khamba, 2008). Sedangkan standar global OEE adalah 85% (McKone et al., 1999; Ahuja and Khamba, 2008). Pemilihan metode OEE untuk mengukur efektivitas mesin yang akan diuji dipilih berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu dimana menurut peneliti, metode tersebut layak digunakan sebagai acuan dalam pengerjaan tugas akhir ini.

2. METODOLOGI

Menurut Assauri (dalam Lestari, 2016) mesin adalah suatu peralatan yang digerakkan oleh suatu kekuatan/tenaga yang dipergunakan untuk membantu manusia dalam mengerjakan produk atau bagian-bagian produk tertentu. Mesin dipergunakan oleh suatu perusahaan manufaktur dengan tujuan untuk meningkatkan produktifitas buruh (tenaga kerja) dan memperbanyak produk baik variasi atau ragam maupun jumlahnya untuk memenuhi kebutuhan konsumen. Mesin *gas cutting* Koike Sanso Kogyo Type IK-2000 CE HI-82 yang dirancang sebagai alat bantu dalam proses pemotongan pelat, dimana proses pengoperasiannya dibantu dengan *operator console* (Koike Sanso Machinery, 2016).

Menurut Nakajima (dalam Lestari, 2016), *Total Productive Maintenance* merupakan suatu pendekatan yang inovatif dalam *maintenance* dengan cara mengoptimasi keefektifan peralatan, mengurangi, menghilangkan kerusakan mendadak atau *breakdown* dan melakukan *autonomous operator maintenance*. Dengan kata lain tujuan dari TPM adalah untuk mencapai kinerja yang ideal dan mencapai *zero loss*, yang artinya tanpa cacat, tanpa *breakdown*, tanpa kecelakaan, tanpa kesia-siaan pada proses produksi maupun proses *changeover*. Menurut Said (dalam Luthfia, 2017), *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) merupakan efektivitas peralatan secara keseluruhan untuk mengevaluasi seberapa *performance* peralatan. OEE juga digunakan sebagai kesempatan untuk memperbaiki produktivitas sebuah perusahaan yang pada akhirnya digunakan sebagai langkah pengambilan keputusan. *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) merupakan metode yang digunakan sebagai alat ukur dalam penerapan program *Total Productive Maintenance* (TPM) guna menjaga peralatan pada kondisi ideal dengan menghapuskan *Six Big Losses* peralatan. Adapun persamaan untuk menentukan nilai OEE pada suatu peralatan produksi adalah sebagai berikut:

$$OEE = Availability\ rate \times Performance\ Rate \times Quality\ Rate \quad (2.1)$$

Dimana untuk ketiga variabel sebelumnya adalah 3 faktor penting yang mendasari OEE antara lain:

1. *Availability rate* merupakan rasio yang menggambarkan penggunaan waktu yang tersedia untuk kegiatan operasi produksi oleh sebuah mesin. Penentuan besarnya *availability rate* yaitu perbandingan antara nilai *operating time* dengan *production time/loading time*.

$$Availability\ rate = \frac{(working\ time + overtime) - downtime}{loading\ time} \times 100\% \quad (2.2)$$

2. *Performance rate* merupakan rasio kemampuan dari suatu mesin untuk menghasilkan sejumlah produk. Dimana dalam penentuan nilai *performance rate* ini merupakan hasil perbandingan antara *theoretical cycle time* dengan *actual cycle time*.

$$\text{Performance rate} = \frac{\text{cycle time product} \times \text{total product}}{\text{actual cycle time}} \times 100\% \quad (2.3)$$

3. *Quality rate* merupakan rasio jumlah produk yang lebih baik terhadap jumlah total produk yang diproduksi. Dimana dalam penentuan nilai *quality rate* ini merupakan hasil perbandingan antara *good quality product* dengan *total product processed*.

$$\text{Quality Rate} = \frac{\text{total products} - \text{total defects}}{\text{total product processed}} \times 100\% \quad (2.4)$$

FMEA atau *Failure Mode and Effect Analysis* adalah sebuah teknik rekayasa yang digunakan untuk menetapkan, mengidentifikasi, dan untuk menghilangkan kegagalan yang diketahui, permasalahan, error, dan sejenisnya dari sebuah sistem, desain, proses, dan atau jasa sebelum mencapai konsumen. Dalam FMEA, setiap kemungkinan kegagalan yang terjadi dikuantifikasi untuk dibuat prioritas penanganan dengan RPN (*Risk Priority Number*) (Hanif, 2015). FMEA digunakan untuk mengidentifikasi sumber-sumber dan akar penyebab dari suatu masalah kualitas.

Fault Tree Analysis adalah teknik untuk mengidentifikasi kegagalan (*failure*) dari suatu sistem atau proses. FTA berorientasi pada fungsi atau yang lebih dikenal dengan *top-down approach* karena analisa ini berawal dari sistem level (*top*) dan meneruskannya kebawah. Atau juga dapat diartikan sebagai gambaran hubungan timbal balik yang logis dari peristiwa-peristiwa dasar yang mendorong dalam membangun model pohon kesalahan (*fault tree*) dilakukan dengan cara wawancara dengan manajemen dan melakukan pengamatan langsung terhadap proses produksi dilapangan. Selanjutnya sumber-sumber kerja tersebut digambarkan dalam bentuk model pohon kesalahan (*fault tree*) (Hanif, 2015).

Diagram *fishbone* atau diagram *Ishikawa* adalah salah satu jenis metode yang digunakan untuk mengetahui akar penyebab dari masalah yang muncul pada sebuah sistem. Diagram ini sering disebut dengan diagram sebab-akibat atau *cause-effect* diagram. Metode ini awalnya lebih banyak digunakan untuk manajemen kualitas dimana data-data yang digunakan adalah data verbal (*non-numerical*). Diagram tersebut digunakan untuk menunjukkan faktor-faktor penyebab (sebab) dan karakteristik kualitas (akibat) yang disebabkan

oleh faktor-faktor penyebab tersebut. Fungsi dasar diagram fishbone adalah untuk mengidentifikasi dan mengorganisasi penyebab-penyebab yang mungkin timbul dari suatu efek spesifik dan kemudian memisahkan akar penyebabnya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perhitungan *Availability Rate*, *Performance Rate*, *Quality Rate*, dan OEE pada tahun 2017 dengan menggunakan persamaan rumus (2.1; 2.2; 2.3; 2.4) dapat dilihat pada tabel 2 dibawah ini.

Tabel 2: *Overall Equipment Effectiveness* Tahun 2017

NO	BULAN	AVAILABILITY RATE (%)	PERFORMANCE RATE (%)	QUALITY RATE (%)	OEE (%)
1	Januari	88,27	73,82	79,67	51,82
2	Februari	91,53	81,15	78,43	59,37
3	Maret	89,35	75,32	87,27	58,79
4	April	88,45	87,06	88,60	67,79
5	Mei	88,12	78,40	74,32	51,41
6	Juni	82,27	76,48	69,28	43,60
7	Juli	80,98	83,74	78,06	52,47
8	Agustus	79,83	63,68	88,50	44,80
9	September	90,23	80,64	94,00	68,51
10	Oktober	91,15	81,78	86,37	64,37
11	November	87,80	83,50	82,85	60,80
12	Desember	88,50	86,41	78,18	59,795
	Rata-Rata	87,80	79,42	82,24	57,34

Sumber :Hasil Perhitungan, 2018

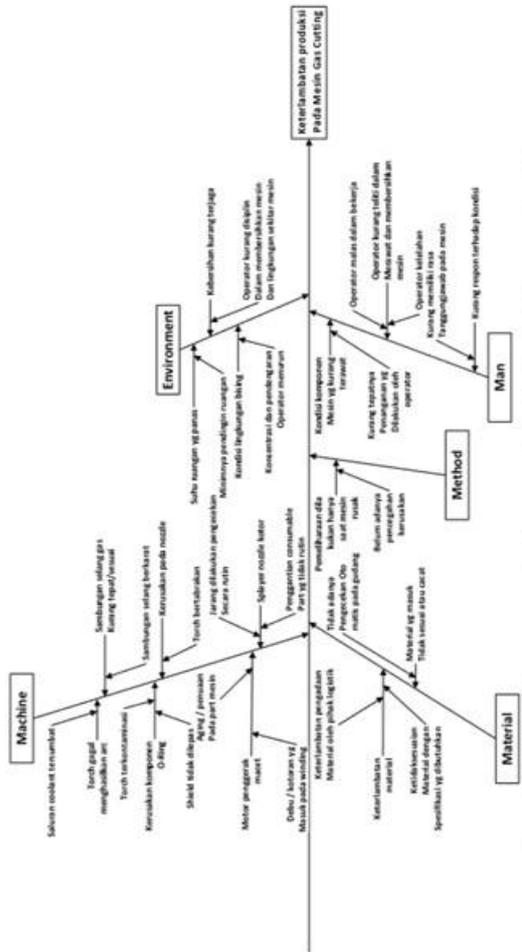
Tabel diatas menunjukkan bahwa nilai dari setiap faktor dari OEE. *Availability rate* sebesar 87,80%, *performance rate* sebesar 79,42%, dan *quality rate* sebesar 82,24%. Bisa dikatakan bahwa faktor yang paling mempengaruhi nilai OEE tidak ideal pada tahun 2017 adalah *availability rate* sebesar 87,80%. *Availability rate* merupakan faktor dari OEE menyangkut dengan penggunaan waktu yang tersedia untuk kegiatan operasi produksi sebuah mesin. Hal ini dapat dibuktikan dengan regresi ketiga faktor OEE dan jumlah produk selama tahun 2017. Nilai *p-value* paling rendah, yaitu sebesar 0,011. Adapun hasil dari regresi untuk membuktikan bahwa *availability rate* merupakan faktor yang paling berpengaruh atas tidak maksimumnya nilai OEE dapat dilihat pada tabel 3 berikut.

Tabel 3: Uji Regresi dengan *Software Minitab*

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-3854	5548	-0.69	0.507
Availability Rate	241.42	72.85	3.31	0.011
Performance Rate	-89.65	42.96	-2.09	0.070
Quality Rate	-75.52	36.24	-2.08	0.071

Sumber :Hasil Perhitungan, 2018

Pengidentifikasi permasalahan yang terjadi dilakukan dengan pembuatan diagram *fishbone*. Berikut merupakan pengidentifikasi permasalahan yang telah dilakukan.



Gambar 1. Diagram Fishbone (Hasil Penelitian, 2018)

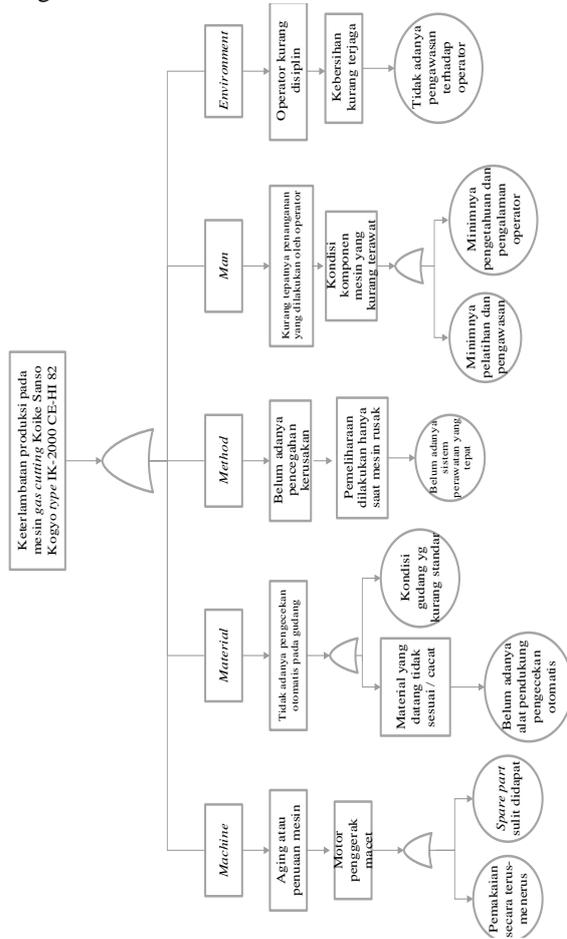
Setiap permasalahan akan dianalisa dengan menggunakan FMEA, untuk menentukan prioritas penanganannya. Dibawah ini merupakan hasil skor RPN tertinggi dari setiap item faktor pada diagram fishbone.

Tabel 4: Kegagalan dengan Skor RPN Tertinggi untuk Setiap Item

ITEM	FAILURE MODE	FAILURE EFFECT	CAUSE	CORRECTIVE ACTION	S	O	D	RPN
Machine	Aging / penuaan pada part mesin	Motor penggerak macet	Spare part sulit didapat	Menggunakan komponen merk lain yang sama jenisnya.	8	7	5	280
Material	Tidak adanya pengecekan otomatis pada gudang	Material yang datang tidak sesuai / cacat	Belum adanya alat pendukung pengecekan otomatis	Melakukan pengadaan alat pendeteksi sensor	8	6	6	288
Method	Belum adanya pencegahan kerusakan	Pemeliharaan hanya saat mesin rusak	Belum adanya sistem perawatan yang tepat	Menggunakan sistem perawatan berdasarkan data historis kerusakan mesin	7	8	5	280
Man	Kurang tepatnya penanganan yang dilakukan oleh operator	Kondisi komponen mesin yang kurang terawat	Minimnya pengetahuan dan pengalaman operator	Diadakan pelatihan terhadap prosedur teknis mengenai mesin	5	8	8	320
Environment	Operator kurang disiplin dalam membersihkan lingkungan dan mesin	Kebersihan kurang terjaga	Tidak adanya pengawasan terhadap operator	Diadakannya pengawasan secara terjadwal selama jam kerja dan setelah jam kerja	7	6	6	252

Sumber: Hasil Penelitian, 2018

Dibawah ini merupakan FTA dari masing-masing item yang sebelumnya telah dianalisa dengan FMEA.



Gambar 2. Fault Tree Analysis (Hasil Penelitian, 2018)

4. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian Tugas Akhir ini mengacu pada tujuan yang ditetapkan adalah sebagai berikut:

1. Nilai *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) dari mesin *gas cutting* Koike Sanso Kogyo type IK-2000 CE HI-82 pada tahun 2017 adalah 57,34%, nilai ini lebih kecil 27,66% dari standar *benchmark world class*.
2. Tabel 5 dibawah adalah nilai faktor-faktor OEE berdasarkan perhitungan dan nilai berdasarkan standar *benchmark world class*:

Tabel 5: Perhitungan dan *Standard Benchmark World Class* OEE

	Tahun 2017 (%)	Standar Benchmark World Class (%)
<i>Availability rate</i>	87,80	90
<i>Performance rate</i>	79,42	95
<i>Quality rate</i>	82,24	99,9

Sumber: Hasil Penelitian, 2018

Dari ke-3 faktor OEE, faktor yang paling mempengaruhi adalah *availability rate*. Dimana, hal ini dapat dibuktikan dengan analisis regresi menggunakan *software minitab* yang menunjukkan nilai *p-value availability rate* yang paling rendah, yaitu sebesar 0,011 dibanding nilai *p-value performance rate* dan *quality rate*.

3. Alternatif solusi yang diberikan adalah sebagai berikut:
 - a. Melakukan pengecekan rutin pada mesin dan komponennya.
 - b. Menggunakan *sparepartmerk* lain yang sama jenisnya.
 - c. Melakukan pengadaan alat pendeteksi sensor.
 - d. Menggunakan sistem perawatan berdasarkan data historis kerusakan mesin.
 - e. Diadakan pelatihan terhadap prosedur teknis mengenai mesin.
 - f. Diadakannya pengawasan secara terjadwal selama jam kerja dan setelah jam kerja.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ahuja, I.P.S. and J.S Khamba (2008). *Total Productive Maintenance: Literature Review and Direction. Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 25, No. 7, pp. 709-756.
- [2] Aprilia, I. S., Rachmadita, R. N., & Rachman, F. (2018, January). Analisis Waste dengan Menggunakan Value Stream Analysis Tools (Valsat) pada Proses Produksi Klip (Studi Kasus di PT. Indoprima Gemilang Engineering). In Conference on Design and Manufacture and Its Application (Vol. 1, No. 1, pp. 400-406).
- [3] Hanif, R. Y., Hendang S. R., dan Susy S. (2015). *Perbaikan Kualitas Produk Keraton Luxury di PT. X dengan Menggunakan Metode Failure Mode and Effect Analysis dan Fault Tree Analysis. Jurnal Jurusan Teknik Industri Itenas*, Vol. 03, No. 03, pp. 137-147, Institut Teknologi Nasional, Bandung.
- [4] Hariani, L. I. (2017). Analisis Nilai Efektivitas Mesin Injection Moulding Type ARB-100.7 Menggunakan Metode Overall Equipment Effectiveness (OEE), **Tugas Akhir** Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya.
- [5] Koike Sanso Kogyo Machinery (2016). **Product Detail IK-2000 series of Gas Oxy-Acetylene Machine**. Arcade, New York.

- [6] Lestari, N. I. (2016). Perhitungan dan Analisis Nilai Overall Equipment Effectiveness (OEE) pada Mesin Hongde Y-26 Fine Blanking Hydraulic Press 500T, **Tugas Akhir** Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya.
- [7] Widarto, dkk. (2008). **Teknik Pemesinan**. Departemen Pendidikan Nasional, Jakarta

Identifikasi Kegagalan Mesin CNC JOBS LINX 30 COMPACT menggunakan Metode *Root Cause Analysis* dan *Failure Mode and Effect Analysis*

Shintha Lailatul Maghfiroh^{1*}, Anda Iviana Juniani², dan Nurvita Arumsari³

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.^{1,2}

Program Studi Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.³

E-mail: layshinta@gmail.com^{1*}

Abstract – CNC JOBS LINX 30 COMPACT is used to produce many aircraft components in one company engaged in manufacturing in Indonesia. This machine works by giving a command signal (a program) to reduce the dimensions of the product vertically and horizontally according to the program. In order to satisfy about demand, so be required machine operation condition which reliable. To determine whether the machine is reliable or not, it is necessary to identify the failure of the machine during the operation of the machine. Identification of failure is done by finding the root cause of failure using Root Cause Analysis method, and look for critical components of the machine using FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) method.

Keywords: CNC JOBS LINX 30 COMPACT Machine, Root Cause Analysis, Failure Mode and Effect Analysis

1. PENDAHULUAN

Di Indonesia terdapat perusahaan industri yang bergerak dibidang pembuatan pesawat terbang merupakan jenis perusahaan *Make to Order*. Guna memenuhi permintaan konsumen maka perusahaan harus senantiasa menjaga keadaan mesin produksi. Berdasarkan data dari perusahaan terdapat mesin produksi yang memproduksi berbagai komponen pesawat dengan ukuran dan waktu pengerjaan sesuai permintaan konsumen yaitu mesin CNC JOBS LINX 30 COMPACT. Salah satu alasan mengapa mesin CNC JOBS LINX 30 COMPACT memproduksi banyak komponen pesawat karena memiliki tingkat kecepatan pengerjaan produk dan kepresisian yang tinggi serta yang paling detail pengerjaannya dibanding mesin produksi lain. Mesin ini bekerja dengan memberikan sinyal perintah (berupa program) untuk mengurangi dimensi produk secara vertikal dan horisontal sesuai dengan program tersebut. Guna memenuhi kebutuhan permintaan maka diperlukan keadaan mesin operasi yang baik. Setiap mesin terdiri dari berbagai jenis komponen penyusunnya, masing-masing komponen memiliki kemungkinan mengalami kerusakan dan pergeseran nilai reliabilitasnya, karena seiring bertambahnya waktu nilai reliabilitas dari sebuah mesin akan semakin berkurang (Arina et al, 2013). Oleh karena itu pada penelitian ini akan dilakukan identifikasi kegagalan dari mesin CNC JOBS LINX 30 COMPACT. Sehingga mesin tersebut dapat beroperasi secara maksimal dalam menghasilkan produk yang sesuai dengan

permintaan konsumen. Metode yang digunakan untuk identifikasi kegagalan adalah *Root Cause Analysis* dan *Failure Mode and Effect Analysis*. *Root Cause Analysis* merupakan sebuah proses penyelesaian masalah yang dilakukan dengan investigasi atas insiden, masalah, atau ketidaksesuaian yang terjadi pada suatu sistem atau peralatan yang teridentifikasi (Bhattacharya, et al 2014). Sedangkan *FMEA (Failure Mode and Effect Analysis)* adalah suatu teknik rekayasa yang digunakan untuk menetapkan, mengidentifikasi, dan untuk menghilangkan kegagalan yang diketahui, permasalahan *error* dan sejenisnya dari sebuah sistem, desain, proses, dan atau jasa sebelum mencapai konsumen. (Stamatis,1995).

2. METODOLOGI

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah *Root Cause Analysis* dan *Failure Mode and Effect Analysis*. Pada metode *Root Cause Analysis* dilakukan langkah-langkah sebagai berikut.

1. Mengidentifikasi dan memperjelas definisi *undesired outcome*.
2. Melakukan pengumpulan data.
3. Menuliskan kejadian atau pun kondisi-kondisi pada tabel kejadian dan faktor penyebab.
4. Mengidentifikasi seluruh penyebab yang berpotensi menjadi pemicu terjadinya suatu permasalahan.
5. Mengidentifikasi mode kegagalan sampai dengan yang paling dasar.
6. Mengajukan pertanyaan “mengapa?” untuk mengetahui penyebab paling dasar dari suatu permasalahan.

Sehingga akan diperoleh hal mendasar penyebab terjadinya suatu kegagalan. Pada metode *Failure Mode and Effect Analysis* dilakukan identifikasi kegagalan sebagai berikut.

1. Penyebab kegagalan yang potensial dari mesin CNC JOBS LINX 30 COMPACT selama siklus hidupnya.
2. Efek dari kegagalan yang terjadi.
3. Tingkat kekritisan efek kegagalan dari mesin CNC JOBS LINX 30 COMPACT.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Identifikasi Kegagalan dengan Metode *Root Cause Analysis*

Tabel 1: Identifikasi Kegagalan dengan Metode Root Cause Analysis

	CAUSE 1	CAUSE 2	CAUSE 3		
MACHINE PROBLEM	Mesin Breakdown	Aliran arus listrik bermasalah	Power Supply untuk mesin kurang dari 180 kVA Tidak terdapat aliran arus listrik (listrik padam)		
		Motor mesin tidak bekerja maksimal	Contactor motor mesin rusak	Motor mesin <i>overheat</i>	
			Sirkulasi pelumasan motor bermasalah	Ukuran pemotongan/pemakanan benda kerja yang terlalu tebal	
			Ukuran pemotongan/pemakanan benda kerja yang terlalu tebal		
		Electrical Panel (PLC) mesin trouble	Mesin tidak dapat membaca program yang berada pada <i>memory card</i>	Relay mesin rusak	Contactor mesin rusak
				Contactor mesin rusak	
	Alarm Mesin	Pintu ATC tidak terbuka	Sensor ATC rusak	Tidak terdapat tekanan udara yang masuk pada pintu ATC <i>Pneumatic hose</i> pada pintu ATC bermasalah	
			Selang udara (<i>solenoid valves</i>) pada pintu ATC bermasalah		
		Axis terkunci	Tidak terdapat tekanan udara yang masuk kedalam pergerakan <i>axis</i>	Motor penggerak <i>axis</i> bermasalah	
			Sensor yang membaca program pada <i>memory card</i> bermasalah		
	Tekanan udara yang disupply ke mesin kurang atau lebih dari 7-8 bar (<i>Air Pressure trouble</i>)		Compressor trouble	Selang udara (<i>solenoid valves</i>) bermasalah Regulator tekanan udara bermasalah <i>Pneumatic hose</i> bermasalah Pressure Switches bermasalah	
			Motor encoder <i>overheat</i>		
			Sensor optik pada encoder bermasalah		
			Encoder tersemprot cairan pembersih pada saat dilakukan <i>Preventive Maintenance</i>		

MACHINE PROBLEM	Pompa Coolant Trouble	Motor coolant Trouble	Motor <i>coolant overheat</i>
			Motor <i>coolant</i> terlalu banyak memompa cairan
			Impeler pecah
	Aliran Coolant bermasalah		Coolant valves bocor
			Coolant valves tersumbat geram/sisa pemakanan benda kerja
			Filter coolant kotor
	Spindle Trouble	Tool change trouble	Sensor ATC rusak
			Relay pada ATC bermasalah
			Contactor pada ATC bermasalah
			Encoder bermasalah
			Tidak terdapat tekanan udara yang masuk ketika pergantian alat potong
	Spindle berhenti berputar		Motor <i>electro spindle</i> bermasalah
			Bearing spindle rusak
	Bearing spindle rusak		Bearing longgar (<i>backless</i>)
			Bearing aus
Pelumasan pada <i>spindle</i> bermasalah			
Oil spindle trouble		Pompa lubrikasi atau pelumasan bermasalah	
		Lubrication valves bocor	
		Lubrication valves tersumbat/kotor	
Compressor Trouble	Selang udara/Compressor (<i>solenoid valves</i>) bermasalah	Flowmeter bermasalah	
		Selang udara/Compressor (<i>solenoid valves</i>) bocor	
		Selang udara/Compressor (<i>solenoid valves</i>) kotor	
		Udara yang masuk melewati selang kotor	
		Tekanan udara yang masuk terlalu besar	
Filter compressor trouble		Banyak kotoran yang masuk kedalam <i>compressor</i>	
		Terlalu besar tekanan udara yang masuk melewati selang	
Compressor mengeluarkan asap		Compressor <i>overheat</i>	
		Pendinginan motor <i>compressor</i> bermasalah	
Vacuum Pump Trouble	Vacuum pump tidak dapat mencapai tekanan vakum	Benda kerja (produk) terlepas karena tidak tercekam secara maksimal, sehingga benda kerja (produk) tidak bisa diproduksi	
		Alat potong atau <i>tool</i> menabrak benda kerja	
		Produk yang dihasilkan tidak presisi dan cacat	

Berdasarkan Tabel 1., dapat disimpulkan terdapat 19 komponen yang menjadi dasar kegagalan mesin diantaranya: *Vacuum Pump, Compressor, Solenoid Valves, Regulator, Pressure Switches, Pneumatic Hose, Coolant Pump, Lubrication*

Pump, Lubrication Valves, Coolant Valves, Motor Coolant, Flowmeter, Motor Electro Spindle, Encoder, Bearing, Touch Probe, Relay, Contactor, dan Sensor ATC.

3.2 Penentuan Komponen Kritis dengan metode *Failure Mode and Effect Analysis*

Tabel 2: FMEA

Failure Mode and Effects Analysis (Design FMEA)

Sistem CNC Milling

Tahun 2013-2017

Tahun _____

Tanggal Revisi _____

Komponen _____

Halaman _____

Tanggal Kegagalan	Selesai Perbaikan	Subsistem	Fungsi	Komponen	Failure Mode	Sev	Occ	Det	RPN
01-Apr-13 (13.00)	03-Apr-13 (16.00)	Air Pressure	Memberikan tekanan udara pada mesin agar mesin dapat beroperasi	Vacuum Pump	Vacuum Pump Trouble	5	1	3	15
23-Mei-14 (18.00)	23-Mei-14 (20.00)			Compressor	Filter Compressor Trouble	9	7	3	189
28-Apr-16 (01.30)	28-Apr-16 (09.00)			Solenoid Valves	Selang Compressor Trouble	9	6	3	162
08-Okt-14 (07.30)	08-Okt-14 (08.30)			Regulator	Regulator Air Pressure Trouble	9	2	3	54
02-Jul-14 (21.00)	03-Jul-14 (10.00)			Pressure Switches	Axis "X" terkunci	9	2	8	144
30-Jan-17 (19.30)	31-Jan-17 (11.30)			Pneumatic Hose	Alarm Air Pressure Trouble	9	3	3	81
22-Apr-13 (09.00)	22-Apr-13 (10.00)	Lube and Coolant	Memberikan pelumasan pada komponen mesin lain agar komponen tidak cepat rusak	Coolant Pump	Filter Coolant Trouble	6	2	3	36
12-Jul-13 (19.00)	13-Jul-13 (09.00)			Lube Pump	Oil Lube Trouble	9	1	3	27
28-Jul-15 (20.00)	29-Jul-15 (15.00)			Lubrication Valves	Alarm Spindle Trouble	9	1	3	27
10-Feb-16 (11.15)	11-Feb-16 (14.00)			Coolant Valves	Selang Coolant Trouble	5	3	3	45
23-Apr-15 (12.00)	23-Apr-15 (13.45)			Motor Coolant	Motor Coolant Trouble	7	2	3	42
23-Jul-13 (22.45)	25-Jul-13 (16.00)			Flowmeter	Aliran pendingin trouble	6	1	3	18
26-Agus-13 (10.00)	26-Agus-13 (11.00)	Spindle Unit	Mengurangi dimensi material sesuai kebutuhan	Motor electro spindle	Spindle Trouble	9	1	4	36
29-Apr-15 (08.00)	05-Mei-15 (16.00)			Encoder	Alarm Encoder terlalu cepat	9	2	4	72
06-Jan-17 (10.15)	06-Jan-17 (14.00)			Bearing	Backless pada bearing spindle	10	2	8	160
10-Feb-14 (11.00)	10-Feb-14 (14.30)	Tool Setter	Menentukan <i>setting</i> awal pemotongan benda kerja	Touch Probe	Blum Laser Trouble	9	1	3	27
06-Jun-14 (16.30)	10-Jun-14 (17.00)	Electric Panel	Memberikan tekanan udara pada mesin agar mesin dapat beroperasi	Relay	Mesin Trouble	10	3	8	240
10-Agu-16 (15.00)	16-Agu-16 (15.00)			Contactor	Thermostate Electrical unit trouble	10	3	8	240
08-Nov-13 (17.00)	09-Nov-13 (10.00)	Automatic Tool Change	Pergantian tool untuk pemakanan material	Sensor Automatic Door Open/Closed Tool Magazine	Pintu ATC tidak terbuka	10	2	3	60

Tabel 3: Komponen Kritis beserta penanganannya

No.	Komponen Kritis	Nilai RPN	Penanganan
1	<i>Compressor</i>	189	Komponen diperlukan perbaikan secara rutin (terjadwal) dengan waktu yang tepat, serta dilakukan pengawasan selama proses produksi berlangsung.
2	<i>Solenoid Valves</i>	162	Komponen diperlukan perbaikan secara rutin (terjadwal) dengan waktu yang tepat, serta dilakukan pengawasan selama proses produksi berlangsung.
3	<i>Bearing</i>	160	Komponen diperlukan perbaikan secara rutin (terjadwal) dengan waktu yang tepat, serta dilakukan pengawasan selama proses produksi berlangsung.
4	<i>Relay</i>	240	Komponen harus segera dilakukan perbaikan oleh manajemen perbaikan mesin di perusahaan dan harus sesuai dengan prosedur penggunaan mesin produksi. Perlu dilakukan peninjauan mesin secara keseluruhan sampai mesin optimal kembali.
5	<i>Contactora</i>	240	Komponen harus segera dilakukan perbaikan oleh manajemen perbaikan mesin di perusahaan dan harus sesuai dengan prosedur penggunaan mesin produksi. Perlu dilakukan peninjauan mesin secara keseluruhan sampai mesin optimal kembali.

4. KESIMPULAN

1. Hasil Identifikasi kegagalan menggunakan metode *Root Cause Analysis*. *Top event* yang diperoleh adalah mesin *breakdown*. Selain itu berdasarkan hasil analisa data kegagalan terdapat 19 komponen yang menjadi dasar kegagalan mesin diantaranya : *Vacuum Pump, Compressor, Solenoid Valves, Regulator, Pressure Switches, Pneumatic Hose, Coolant Pump, Lubrication Pump, Lubrication Valves, Coolant Valves, Motor Coolant, Flowmeter, Motor Electro Spindle, Encoder, Bearing, Touch Probe, Relay, Contactor, Sensor ATC*.
2. Berdasarkan hasil penentuan komponen kritis menggunakan metode FMEA terdapat 5 komponen kritis yang terjadi antara lain komponen *Compressor, Solenoid Valves, Bearing, Relay, dan Contactor*.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arina F, Ferdinant P F, dan Hamid A 2013. Penentuan Keandalan dengan menggunakan Reliability Block Diagram (RBD) yang Berkofigurasi Redundant pada Mesin Boiler di PT. X. *Seminar Nasional IENACO, 2013*.
- [2] Bhattacharya J., 2014. Root Cause Analysis A Practice to Understanding and Control the Failure Management in Manufacturing Industry. *International Journal of Bussiness and Management Invention, Volume 3 Issue 10*. pages 12-20.
- [3] D.H. Stamatis, 1995. *Failure Mode and Effect Analysis : FMEA from Theory to Execution*. Milwaukee ASQC Quality.

Optimasi Kekerasan Baja S45C pada Proses *Hardening Helical Gear* Menggunakan Metode Taguchi

Rikma Mila Ilmaya^{1*}, Pranowo Sidi², Farizi Rachman³

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia^{1,2,3}
E-mail : rikmaa.rm@gmail.com^{1*}

Abstract – One of the uses of steel is as a basic material for making helical gear. Helical gear is made of medium carbon steel S45C which is carbon steel for the use of machine structure. Sometimes in the production process of helical gear has a hardness values that are not in accordance with the standards of hardness that have been determined by the customer. One way to improve the nature of hardness is the hardening process. The hardening process can be done by considering the factors that affected the hardness of a material, such as heating temperature, holding time, cooling medium, and coolant media temperature. In this research, the method of analysis used is Taguchi with signal to noise ratio (RSN) nominal the best to determine the effect of factors and determine the optimal parameter combination in order for knowing the appropriate of hardness value. From the results of research, it is found the factors that influence the hardness of S45C steel in the hardening process of helical gear are the temperature of cooling medium. As for the optimum parameter combination is heating temperature 740oC, holding time 20 minutes, oil cooling medium and coolant temperature 35oC.

Keywords: *Hardening, Helical Gear, RSN, S45C Steel, Taguchi*

1. PENDAHULUAN

Salah satu kegunaan baja adalah sebagai bahan dasar untuk pembuatan *helical gear*. *Helical gear* ini digunakan sebagai komponen untuk struktur mesin *screw conveyor* pada proses produksi pupuk urea. Baja S45C (JIS) digunakan untuk bahan dasar pembuatan *helical gear*. Adakalanya dalam proses produksi *helical gear* memiliki variasi nilai kekerasan material yang tidak sesuai dengan standar kekerasan yang telah ditentukan oleh kosumen. Salah satu cara untuk meningkatkan sifat kekerasan adalah dengan proses pengerasan (*hardening*). Tujuan ini akan tercapai seperti apa yang diinginkan jika memperhatikan faktor – faktor pada tahapan proses *hardening*, seperti suhu pemanasan, waktu penahanan, media pendingin, dan suhu media pendingin yang digunakan. Berdasarkan permasalahan diatas maka perlu dilakukan penentuan metode perbaikan yang tepat agar dapat meningkatkan kekerasan material S45C pada *helical gear*. Maka, penelitian ini akan menggunakan *design of experiment* dengan metode Taguchi. Dibandingkan dengan metode desain eksperimen yang lain, metode Taguchi memiliki desain yang lebih sederhana dalam proses pelaksanaan eksperimennya Hal ini dapat mengefisiensi waktu dan biaya dalam melakukan percobaan kaena percobaan hanya dilakukan sepertiga dari percobaan faktorial.

2. METODOLOGI

2.1 Alat dan Bahan Penelitian

Bahan penelitian yang dibutuhkan baja S45C, oli, air tawar, air garam dengan konsentrasi garam 5%. Alat-alat yang dibuthkan mesin *hardness tester*, *furnace*, termos untuk wadah media pendingin, *thermometer* aquarium, *stopwatch*, batu gerinda, gergaji, kertas gosok, gerinda, dan tang, kacamata, sarung tangan.

2.2 Pelaksanaan eksperimen

Menyiapkan spesimen yang akan akan di panaskan dalam *furnace*. Kedua, potong spesimen dengan gergaji kemudian haluskan permukaan spesimen dengan gerinda dan kertas gosok. Selanjutnya, memanaskan spesimen tersebut dalam oven pemanas, atur suhu sesuai dengan suhu yang telah ditentukan dalam eksperimen. Setelah mencapai suhu pemanasan yang diinginkan, kemudian ditahan dengan waktu penahan (*holding time*) yang telah dipilih dalam eksperimen. Sembari menunggu proses pemanasan material selesai, siapkan media pendingin dan atur suhunya. Caranya, siapkan media pendingin yang akan digunakan dalam termos, buat suhu media pendingin agar sesuai dengan yang diinginkan, misalnya dengan memanaskan atau mendinginkannya dengan es, ukur suhunya menggunakan *thermometer* aquarium. Setelah didapatkan suhu yang sesuai, segera tutup media pendingin tersebut agar suhu stabil atau tidak terkena pengaruh oleh suhu luar. Letakkan batu gerinda pada dasar termos agar termos tidak

terbakar waktu material yang sudah dipanaskan dimasukkan kedalam termos. Setelah proses oven dan suhu media pendingin telah sesuai, angkat spesimen dengan menggunakan tang, kemudian celupkan pada media pendingin selama kurang lebih 5 menit. Terakhir, melakukan pengujian uji kekerasan dengan menggunakan mesin *hardnes tester*.

2.3 Langkah-langkah Penelitian

- Variabel tak bebas yang digunakan dalam penelitian adalah nilai kekerasan dari baja S45C.
- Variabel bebas, dalam penelitian ini diambil 4 faktor atau variabel bebas diantaranya temperatur pemanasan, *holding time*, media pendingin, dan temperatur media pendingin.
- Menghitung derajat kebebasan
- Pemilihan matriks ortogonal
 Derajat kebebasan= (banyaknya faktor) x (banyaknya level-1)
 $L_9(3^4) = 4 \times (3-1) = 8$ derajat kebebasan
 Jadi matriks orthogonal yang dipilih adalah $L_9(3^4)$.
- Pengambilan data, hasil eksperimen diukur dengan menggunakan alat uji kekerasan (*hardnes tester*) dalam satuan HB.
- Analisa data

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Hasil Pengujian

Data hasil pengujian kekerasan menggunakan dengan matriks ortogonal yang sudah direncanakan sebelumnya sebagai berikut.

Tabel 1: Data Hasil Uji Kekerasan

Eks	Faktor dan Interaksi				Hasil Pengujian Nilai Kekerasan (HB)			
	A	B	C	D	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Mean
1	740	10	air tawar	15	188	190	201	193
2	740	20	air garam	25	182	182	188	184
3	740	30	Oli	35	202	203	207	204
4	795	10	air garam	35	245	234	241	240
5	795	20	oli	15	244	235	247	242
6	795	30	air tawar	25	225	225	234	228
7	850	10	oli	25	198	201	195	198
8	850	20	air tawar	35	290	284	284	286
9	850	30	air garam	15	240	242	262	248

Sumber: Hasil Eksperimen, 2018

3.2 Analisa

3.2.1 Perhitungan Rasio S/N

Karakteristik rasio S/N yang digunakan untuk respon kekerasan adalah tertuju pada nilai tertentu / *Nominal is The Best*. Berikut ini rumus rasio S/N tertuju pada nilai tertentu.

$$S/N = 10 \log \left(\frac{y^2}{s^2} \right)$$

Dengan :

y = rata-rata respon

s = variansi sampel

$$= \frac{\sum(X-\mu)^2}{n-1}$$

Tabel 2: Hasil Perhitungan Nilai S/N

Eks	Faktor dan Interaksi				Nilai Kekerasan (HB)			S/N
	A	B	C	D	R1	R2	R3	
1	740	10	air tawar	15	188	190	201	28,809
2	740	20	air garam	25	182	182	188	34,505
3	740	30	oli	35	202	203	207	37,742
5	795	20	oli	15	244	235	247	31,766
6	795	30	air tawar	25	225	225	234	32,845
7	850	10	oli	25	198	201	195	36,391
8	850	20	air tawar	35	290	284	284	38,336
9	850	30	air garam	15	240	242	262	26,186
Jumlah								299,269
Rata-rata								33,252

Sumber: Hasil Perhitungan, 2018

Perhitungan pengaruh variasi level masing-masing faktor terhadap nilai kekerasan berdasarkan nilai rasio S/N dilakukan untuk mengetahui level mana yang optimal untuk setiap faktor dari perhitungan tersebut didapatkan tabel seperti berikut.

Tabel 3: Pengaruh Level dan Faktor

Pengaruh	A	B	C	D	Keterangan:
Level 1	33,685	32,630	33,330	28,920	
Level 2	32,434	34,869	31,127	34,580	
Level 3	33,638	32,258	35,299	36,256	
Selisih	1,251	2,611	4,172	7,335	
Rank	4	3	2	1	

Sumber: Hasil Perhitungan, 2018

Berdasarkan tabel tersebut kemudian di ambil level faktor yang paling berpengaruh terhadap berat. Untuk memperoleh karakteristik yang sesuai yaitu tertuju pada nilai tertentu, maka kombinasi level faktor optimum dicapai pada nilai rata-rata rasio S/N level faktor tertinggi dari setiap faktor, yaitu:

\bar{A}_1 = temperatur pemanasan, 740 °C

\bar{B}_2 = *holding time* 20 menit

\bar{C}_3 = media pendingin oli

\bar{D}_3 = temperatur media pendingin 35 °C

3.2.2 Analysis of Varians

Tabel 4: Hasil Analisis Varians Rasio S/N

Source of Varians	Sum of Square (SS)	Degrees of Freedom (DF)	Means of Square (MS)
Temperatur Pemanasan	3,017	2	1,509
Holding Time	11,966	2	5,983
Media Pendingin	26,138	2	13,069
Suhu Media Pendingin	88,650	2	44,325
Error	0	-	-
Total	129,771	8	-

Sumber: Hasil Perhitungan, 2018

Penggabungan dilakukan karena nilai dari F hitung tidak diketahui karna error bernilai 0, sehingga perlu dilakukan strategi *pooling up*. Penggabungan tersebut mengakibatkan perubahan pada tabel anova menjadi Tabel 5 hasil analisis penggabungan.

Tabel 5: Hasil Analisis Varians Penggabungan (*Pooling Up*)

Source of Varians	Sum of Square (SS)	Degrees of Freedom (DF)	Means of Square (MS)
Temperatur Pemanasan	<i>Pooling Up</i>		
Holding Time	11,966	2	5,983
Media Pendingin	26,138	2	13,069
Suhu Media Pendingin	88,650	2	44,325
Error	3,017	2	1,509
Total	129,771	8	-

Sumber: Hasil Perhitungan, 2018

Jika nilai F-hitung lebih besar dari F-tabel maka hipotesa alternatif (H_1) diterima. Dan jika F-hitung lebih kecil dari F-tabel maka hipotesa awal (H_0) diterima. Data F-tabel diambil dengan tingkat kepercayaan 90% dengan level signifikan (α) 10%. F-tabel dapat dirumuskan dengan

$$F_{\left(\frac{\alpha}{2}; df_A; df_E\right)} = F_{0,05(2,2)} \text{ sehingga nilai F table adalah } 19.$$

Hipotesis untuk faktor B

H_0 : Tidak ada pengaruh perlakuan faktor B terhadap kekerasan baja S45C

H_1 : Ada pengaruh perlakuan faktor B terhadap kekerasan baja S45C

$$F \text{ hitung B} = \frac{MS_B}{MS_e} = \frac{5,983}{1,509} = 3,966$$

Kesimpulan : *holding time* tidak berpengaruh signifikan terhadap kekerasan pada proses *hardening* Baja S45C.

Hipotesis untuk faktor C

H_0 : Tidak ada pengaruh perlakuan faktor C terhadap kekerasan baja S45C

H_1 : Ada pengaruh perlakuan faktor C terhadap kekerasan baja S45C

$$F \text{ hitung C} = \frac{MS_C}{MS_e} = \frac{13,069}{1,509} = 8,663$$

Kesimpulan : media pendingin tidak berpengaruh signifikan terhadap kekerasan pada proses *hardening* baja S45C.

Hipotesis untuk faktor D

H_0 : Tidak ada pengaruh perlakuan faktor D terhadap kekerasan baja S45C

H_1 : Ada pengaruh perlakuan faktor D terhadap kekerasan baja S45C

$$F \text{ hitung D} = \frac{MS_D}{MS_e} = \frac{44,325}{1,509} = 29,381$$

Kesimpulan : suhu media pendingin berpengaruh signifikan terhadap kekerasan pada proses *hardening* baja S45C.

3.2.3 Output Minitab

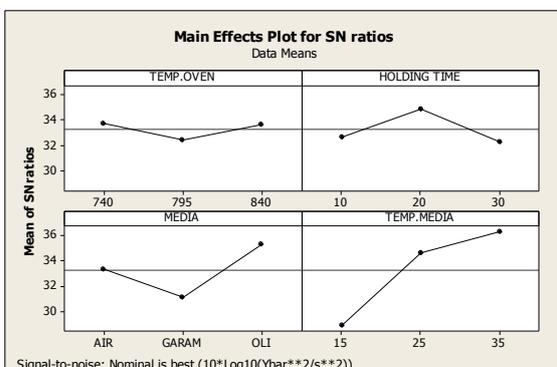
Analysis of Variance for S/N, using Adjusted SS for Tests						
Source	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	
HOLDING TIME	11.966	11.966	5.983	3.97	0.201	
MEDIA PENDINGIN	26.138	26.138	13.069	8.66	0.103	
SUHU MEDIA PEND.	88.650	88.650	44.325	29.38	0.0033	
Error	3.017	3.017	1.509			
Total	129.771					

Gambar 1. Anova untuk Rasio S/N dengan *Pooling Up*

Response Table for Signal to Noise Ratios
 Nominal is best ($10 \cdot \log_{10}(\overline{Ybar}^{**2}/s^{**2})$)

Level	TEMP. OVEN	HOLDING TIME	MEDIA	PEND.	TEMP. MEDIA
1	33.69	32.63	33.33	33.33	28.92
2	32.43	34.87	31.13	31.13	34.58
3	33.64	32.26	35.30	35.30	36.26
Delta	1.25	2.61	4.17	4.17	7.34
Rank	4	3	2	2	1

Gambar 2. Hasil Respon untuk Rasio S/N

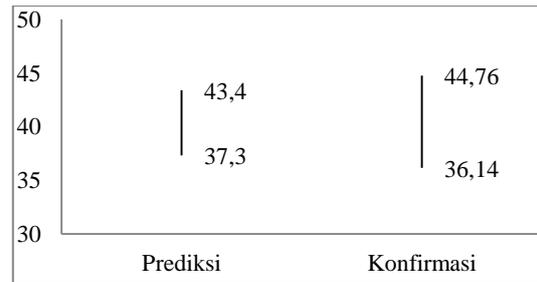


Gambar 3. Plot Rasio S/N

Hasil perhitungan menggunakan software minitab menunjukkan hasil yang sama dengan hasil perhitungan secara manual.

3.3 Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen konfirmasi dilakukan berdasarkan kombinasi optimum hasil dari perhitungan sebelumnya yaitu temperatur pemanasan 740°C, holding time 20 menit, media pendingin oli, dan temperature media pendingin 35°C. Tujuan dari eksperimen konfirmasi adalah untuk memverifikasi dugaan atau prediksi yang telah didapatkan sebelumnya.



Gambar 4. Grafik Perbandingan Interval Kepercayaan

Berdasarkan grafik tersebut dapat diketahui interval kepercayaan prediksi beririsan dengan interval kepercayaan konfirmasi, sehingga data bisa diterima.

4. KESIMPULAN

Dari hasil eksperimen dan *Analysis of Varians* pada interval kepercayaan 90% diperoleh hasil:

1. Parameter - parameter yang berpengaruh terhadap kekerasan baja S45C pada proses *hardening helical gear* adalah temperatur media pendingin.
2. Konfigurasi parameter yang optimum terhadap kekerasan baja S45C pada proses *hardening helical gear* adalah temperatur pemanasan 740°C, holding time 20 menit, media pendingin oli dengan temperatur 35°C.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ardiansyah, Y.(2016). Pengaruh Temperatur Proses Hardening dengan Media Air Terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan Baja Karbon Sedang. **Skripsi, Jurusan Teknik Mesin**, Universitas Negeri Semarang, Semarang.
- [2] Baihaqi, M.Y.(2017). Pengaruh Penambahan Seng (Zn) Terhadap Sifat Kekerasan Paduan Tembaga-Seng (Cu-Zn) Untuk Aplikasi Elektoda Las. **Skripsi, Jurusan Teknik Material dan Metalurgi**, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [3] Dimu, R.J.(2014). *Optimasi Hardening Baja Karbon Sedang dengan Fluida Getah Pohon Pisang Menggunakan Metode Taguchi*. **Jurnal Rekayasa Mesin**, Vol. 5, No.2, Universitas Brawijaya, Malang.
- [4] Effendi, S.(2009). *Pengaruh Perbedaan Waktu Penahan Suhu Stabil Terhadap Kekerasan Logam*. **Jurnal Austenit**, Vol. 1, No. 1, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang.

- [5] Fatoni, Z.(2015). *Pengaruh Kontruksi Baja yang Terbakar Diberi Perlakuan Pendinginan Air*. **Jurnal Desiminasi Teknologi**, Vol. 3, No. 1, Universitas Tridanti Palembang, Palembang.
- [6] Firman, M. (2016). *Analisa Kekerasan Baja ST 42 Dengan Perlakuan Panas Menggunakan Metode Taguchi*. **Jurnal Teknik Mesin UNISKA**, Vol. 01, No. 02, Universitas Islam Kalimantan Muhammad Arsyad Al Banjari, Banjarmasin.
- [7] Fitria, N.(2006). *Pengaruh Metode Desain Eksperimen Taguchi Dalam Optimasi Karakteristik Mutu*. Jurusan Matematika Fakultas Sains dan Teknologi, **Skripsi, Jurusan Matematika**, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim, Malang.

Optimasi Parameter 3D Printing Terhadap Keakuratan Dimensi dan Kekasaran Permukaan Produk Menggunakan Metode Taguchi Grey Relational Analysis

Andik Aris Setiawan^{1*}, Bayu Wiro Karuniawan², Nurvita Arumsari³

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia^{1,2}

Program Studi Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.³

E-mail: andikaris06@gmail.com^{1*}

Abstract – The process of 3D printing using FDM (Fused Deposition Modelling) technology have many disadvantages, which are per layer product building system, different material properties and undefined parameters that makes it difficult to produce an optimum product quality. Therefore, the user of FDM technology 3D printing machine must do a research to achieve the correct parameter to have the optimum quality. In order to have the optimum product quality a research of parameter using optimization method is required. In this research, an experiment of specimen printing using 3D FDM technology 3D printing machine is done, the material is PLA (polylactic acid) with various different combination of parameters. The experiment is done in accordance with the experiment design designed with Taguchi Grey Relational Analysis method, combining two responses in one process to achieve the optimum parameter. After the optimum parameter is predicted, a confirmation experiment is conducted to prove that the parameter is correct and optimum. The result of this research are parameters with level of (A)1, (B)2, and (C)1 which is (A) 20 mm/s printing speed, (B) 210° C printing temperature, and (C) layer height resulting in 99% average dimensional accuracy and average roughness value of 11 µm. Therefore, it is concluded that the best 3D printing parameter is that of low level

Keywords: 3D Printing, Fused Deposition Modelling (FDM), Optimization, Parameter, PLA, Taguchi Grey Relational Analysis.

1. PENDAHULUAN

Sering kali dibutuhkan produk *single part* berbahan plastik dimana hanya membutuhkan satu atau beberapa produk yang digunakan tanpa perlu produksi massal dan bersifat *custom design*, produk yang bersifat *custom design* hanya dapat dibuat dengan mesin 3d printer. Oleh karena itu teknologi 3d printing adalah solusi untuk memenuhi permintaan produk plastik yang bersifat *custom design* namun tidak harus produksi massal.

Salah satu teknologi 3D printing yang sering dijumpai di pasaran adalah 3d printer dengan teknologi FDM (Fused Deposition Modelling). Namun teknologi FDM (Fused Deposition Modelling) memiliki kelemahan karena teknologi ini menggunakan proses *building per layer* sehingga permukaan yang dihasilkan terlihat memiliki garis yang menunjukkan batas antar layer. Garis atau batas *per layer* tersebut dipengaruhi oleh kecepatan gerak printer untuk membuat pola (*print speed*), ketebalan atau ketinggian atau jarak *per layer* (*layer height*), dan *texture* plastik cair yang disebabkan suhu cetak (*printing temperature*).

Parameter-parameter tersebut tidak memiliki nilai pasti dalam proses pengerjaannya, karena hanya berupa *ranges* sehingga dibutuhkan pencarian

nilai yang tepat untuk mendapatkan hasil produk yang maksimal. Penelitian sebelumnya Abdullah dkk. (2014) mengenai analisis pengaruh orientasi cetak vertikal dan horizontal serta variasi tinggi layer untuk mengetahui sifat mekanik dan topologi spesimen ABS dengan menguji tarik spesimen hasil 3D printing. Dimana pengaturan tinggi layer terbesar pada ketinggian 0,3 dengan orientasi horizontal menunjukkan tingkat kekasaran tertinggi, dan kekuatan tarik terbesar terdapat pada percobaan dengan tinggi layer 0,1 dengan orientasi vertikal.

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan parameter yang tepat dalam proses 3d printing menggunakan material *filament* PLA agar mendapat luaran yang diinginkan yaitu permukaan yang halus dan dimensi yang lebih akurat. Semua parameter yang meliputi *print speed*, *layer high*, dan *melting temperature* dianalisa menggunakan metode Taguchi Grey Relational Analysis. Metode taguchi adalah metodologi baru bidang teknik yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk, proses, dan dapat menekan biaya *resources* seminimal mungkin. Metode ini digunakan karena memungkinkan melaksanakan penelitian yang memiliki banyak faktor dan jumlah, hal ini memungkinkan diperoleh suatu proses yang

menghasilkan produk yang konsisten dan kokoh terhadap faktor yang tidak dikontrol (faktor gangguan), serta menghasilkan kesimpulan mengenai respon terhadap kombinasi, komposisi faktor-faktor, dan level dari faktor-faktor yang menghasilkan respon yang optimum (Soejanto, 2009).

2. METODOLOGI

Metodologi yang dilakukan adalah semua metode berdasarkan desain eksperimen *taguchi*, yaitu mulai dari perencanaan eksperimen, pengambilan data, analisis data, dan eksperimen konfirmasi.

2.1 Menentukan Matrik orthogonal.

Matrik orthogonal berdasarkan perhitungan derajat kebebasan dimana rumus untuk mencari derajat kebebasan adalah sebagai berikut:

$$V_{fl} = (\text{banyak level} - 1)^1 \quad (1)$$

Setelah derajat kebebasan didapatkan maka dapat digunakan untuk memilih matrik orthogonal atau rancangan eksperimen.

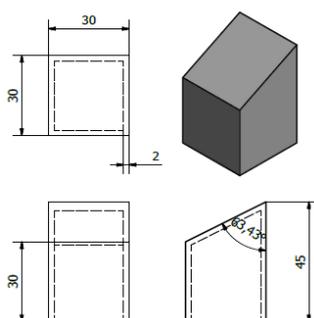
Tabel 1: Matrik Ortogonal tiga level

Matrik Ortogonal Tiga level		
$L_9(3^4)$	$L_{27}(3^{11})$	$L_{81}(3^{40})$

Pemilihan matrik orthogonal paling tidak sama dengan derajat kebebasan atau lebih besar dari derajat kebebasan.

2.2 Pelaksanakan Eksperimen dan Pengambilan Data

Eksperimen dilakukan dengan mencetak spesimen uji dengan jumlah yang sesuai dengan matrik orthogonal. Spesimen uji dicetak dengan bentuk sebagai berikut :



Gambar 1. Spesimen Uji

Setelah pencetakan spesimen selesai, spesimen dapat diambil data baik dari segi dimensi dan juga nilai kekasaran setiap sisinya.

2.3 Analisa Data

Analisa data adalah semua perhitungan analisa menggunakan metode *taguchi grey relational analysis*. Perhitungan *grey relational analysis* meliputi :

a. Perhitungan rasio S/N

Rasio S/N digunakan untuk mengetahui level faktor terhadap karakteristik kualitas yang diharapkan.

Dalam pemilihan rasio S/N disesuaikan dengan karakteristik yang dituju, penelitian menggunakan rasio S/N *nominal is the best* atau tertuju pada nilai dan juga *smaller is better* atau semakin kecil semakin baik.

Rasio S/N tertuju pada nilai digunakan untuk karakteristik keakuratan dimensi dengan rumus:

$$S/N = 10 \log \left(\frac{\bar{y}^2}{S^2} \right) \quad (1)$$

Dimana

\bar{y}^2 = Rata - rata kuadrat respon

S^2 = Nilai varian

$$= \frac{\sum (x - \mu)^2}{n - 1}$$

Rasio S/N untuk nilai semakin kecil semakin baik adalah sebagai berikut:

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (2)$$

Dimana

n = jumlah pengulangan dari suatu eksperimen

y_i = nilai pengamatan ke- i

b. Perhitungan Normalisasi rasio

Normalisasi rasio dilakukan untuk mengubah nilai rasio S/N menjadi nilai 0 - 1, tujuan dari normalisasi sendiri digunakan untuk proses selanjutnya untuk menghitung simpangan deviasi serta perhitungan *grey relational coefficient*. Rumus untuk normalisasi rasio adalah sebagai berikut:

$$X_i^*(k) = \frac{x_i(k) - \min x_i(k)}{\max x_i(k) - \min x_i(k)}$$

Dimana

$X_i^*(k)$ = Nilai S/N pada eksperimen ke- i

$\max x_i(k)$ = Nilai terbesar dari rasio S/N

$\min x_i(k)$ = Nilai terkecil dari rasio S/N

i = Banyak observasi.

K = Banyak respon.

c. Perhitungan Simpangan Deviasi

Simpangan deviasi digunakan untuk mengetahui selisih antara nilai terbesar dari nilai lainnya. Nilai simpangan deviasi selanjutnya digunakan untuk perhitungan *grey relational coefficient* (GRC), berikut adalah cara rumus untuk menentukan simpangan deviasi:

$$\Delta O_i(k) = |X_0^*(k) - X_i^*(k)|$$

Dimana

$X_0^*(k)$ = Nilai rasio S/N normalisasi yang terbesar

$X_i^*(k)$ = Nilai rasio S/N normalisasi pada eksperimen ke-i

d. Perhitungan Nilai *Grey Relational Coefficient* (GRC)

Perhitungan GRC digunakan untuk merubah nilai simpangan deviasi menjadi nilai yang ideal saat digabungkan menjadi nilai *grey relational Grade* (GRG), berikut adalah rumus perhitungan GRC:

$$\gamma_i(k) = \frac{\Delta_{min} + \zeta \Delta_{max}}{\Delta O_i(k) + \zeta \Delta_{max}}$$

Dimana

Δ_{min} = Nilai terendah dari rangkaian deviasi

Δ_{max} = Nilai tertinggi dari rangkaian deviasi

ζ = Koefisien pembeda, bersarnya antara 0 dan 1. Nilai *distinguishing coefficient* yang digunakan pada umumnya adalah 0,5

$\Delta O_i(k)$ = Nilai simpangan deviasi

e. Perhitungan Nilai *Grey Relational Grade* (GRG)

Grey Relational Grade (GRG) adalah nilai dari penggabungan nilai GRC untuk menjadi satu karena pada dasarnya nilai GRC adalah nilai dari setiap respon dan belum menjadi nilai gabungan dari kedua respon keakuratan dimensi dan nilai kekasaran.

f. Perhitungan *Analysis of Variance* ANOVA

Metode ANOVA digunakan untuk mengetahui faktor mana saja yang paling berpengaruh terhadap respon yang diharapkan serta untuk mengetahui persentase kontribusi setiap faktor.

g. Prediksi Level Faktor Optimal

Dalam proses ini akan dilihat level factor mana saja yang paling berpengaruh terhadap setiap respon dan juga pada nilai GRG terhadap kedua respon. Setelah kombinasi level faktor optimal didapatkan maka hasil tersebut digunakan untuk eksperimen konfirmasi.

h. Interval kepercayaan

Interval Kepercayaan digunakan untuk membuat nilai prediksi dan membandingkan nilai prediksi dengan nilai konfirmasi. Dalam interval kepercayaan ini dapat disimpulkan apakah nilai setelah eksperimen konfirmasi dapat dinyatakan berhasil atau tidak.

2.4 Eksperimen Konfirmasi.

Setelah analisa data selesai maka akan didapatkan nilai prediksi optimal, nilai tersebut adalah prediksi parameter terbaik yang selanjutnya digunakan untuk eksperimen konfirmasi, yaitu pembuktian prediksi parameter optimal dengan mencetak ulang spesimen dan pengukuran ulang terhadap nilai keakuratan dimensi dan juga kekasaran permukaan produk.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

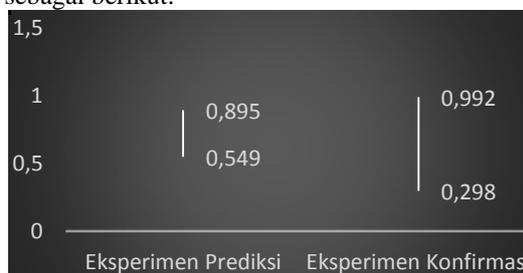
Dari analisa data dan eksperimen konfirmasi didapatkan parameter terbaik yaitu:

Print speed 20 mm/s, *printing parameter* 210°C, dan *layer height* 0,1 mm. Parameter tersebut digunakan untuk eksperimen konfirmasi atau eksperimen pembuktian sehingga mendapatkan hasil pengujian sebagai berikut :

Tabel 2: Hasil Eksperimen Konfirmasi

Replikasi	Dimensi (mm)	Kekasaran (µm)
1	29,945	11,147
2	29,914	11,307
3	29,944	12,465

Hasil di atas selanjutnya dilakukan analisa data dan sampai tahap interval kepercayaan, dalam perhitungan interval kepercayaan didapatkan hasil sebagai berikut:



Gambar 2. Hubungan Interval Kepercayaan

Pada interval kepercayaan diatas dapat diketahui, bahwa hasil eksperimen prediksi dan eksperimen konfirmasi beririsan sehingga pembuktian parameter optimal dapat dikatakan berhasil.

4. KESIMPULAN

Nilai parameter terbaik yang didapatkan berdasarkan eksperimen dan juga analisa data yang telah dilakukan adalah yaitu *print speed* 20 mm/s, *printing temperature* 210°C, dan *layer height* 0,1 mm.

Nilai kekasaran yang didapat dari hasil terbaik yang didapatkan adalah 8,55 µm dari eksperimen konfirmasi percobaan pertama sisi ke 4. Dan rata-rata kekasaran yang didapat pada setiap sisinya adalah 11 µm.

Nilai terakurat didapat adalah 29,945 mm dari eksperimen konfirmasi pertama, dikatakan akurat karena nilainya mendekati angka 30 mm. dengan keakuratan 99.81% atau bisa dikatakan hampir semua percobaan memiliki keakuratan 99%.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Bapak/Ibu dosen pembimbing yang telah membantu menyelesaikan penulisan serta pengujian.

Terima kasih kepada Bapak Tomas Universitas Surabaya yang membantu dalam pengujian kekasaran.

6. DAFTAR NOTASIO

v = Kecepatan [mm/s]

T = Suhu [°C]

S = Jarak [mm]

Ra = Kekasaran [μm]

7. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Lubis, S. , S. Jamil, dan Yolanda, 2016. Jurnal Ilmiah Mahasiswa Universitas Tarumanagara. *Pengaruh Orientasi Objek Pada Proses 3D Printing Bahan Polymer PLA Dan ABS Terhadap Kekuatan Tarik Dan Ketelitian Dimensi Produk*. Vol.20, No.1, 27-34.
- [2] Rahmadani, N. A., S. Sunaryo, M. S. Akbar, 2012. Jurnal sains dan seni ITS. *Penerapan Pendekatan Gabungan Grey Relational Analysis (GRA) dan Principal Component Analysis (PCA) Pada Metode Taguchi Multirespon*. Vol.01, No.01., D-44 – D-45.
- [3] Rinanto, A. dan S. Wahyudi, 2017. Jurnal Metris. *Perkembangan Teknologi Rapid Prototyping: Study Literatur*. 1411-3287,105-112.
- [4] Soejanto, I., 2009. *Desain eksperimen dengan metode taguchi*. Yogyakarta: Graha ilmu.
- [5] Sunanto, M. F. A., 2016. *Analisis Pengaruh Parameter Blowing Pressure, Barrel Temperature, Blowing Time Dan Stop Time Terhadap Volume Dan Berat Botol Tempak Cairan Pengilap Bodi Kendaraan*. S.ST: Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
- [5] Warsiki, E. dan O. Farabie, 2007. *Pemanfaatan Hasil Samping Industri BioDiesel dan Industri Etanol serta Peluang Pengembangan Industri Integrasinya*. In: Konferensi Nasional 2007, *Review Pembuatan Asam Polilaktat (PLA) Dari Gliserol Sebagai Hasil Samping Industri Biodiesel*. Jakarta.
- [6] Widyanto, S. A., 2008. Jurnal Ilmiah Mahasiswa Universitas Diponegoro. *Pengembangan Teknologi Rapid Prototyping Untuk Pembuatan Produk-Produk Multi Material*., Vol.2, No.2., 10-11.

Optimasi Parameter Proses *Blow Moulding* Terhadap Ketebalan dan Dimensi *Snap* pada Botol dengan Metode Taguchi *Grey Relational Analysis*

Miftah Ahsanul Anhar^{1*}, Fipka Bisono², Nurvita Arumsari³

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.^{1,2}

Program Studi Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.³

E-mail: miftahmii@gmail.com^{1*}

Abstract – *Blow molding is a method of printing hollow workpieces by blowing air into a molded material. From the results of the process, the specification of a product must be met by the manufacturer in fulfilling orders from the customer. The thickness of the bottle wall and the snap dimension is one of the most difficult specifications to be controlled on a 500 ml chemical bottle product. This will be resolved if the machine operator knows the optimal combination of parameters at the time of operation. In this experiment the method used is Design of Experiments with Taguchi Gray Relational Analysis method approach to get the combination between two responses taken to obtain optimal parameters. By doing a total of 27 experiments, the experiments were implemented on a 500 ml chemical bottle product as per specified specification. Data were collected using a digital microscope for wall thickness and dimensions vernier to snap. The result of analysis with Taguchi Gray Relational Analysis method shows that the parameters which have significant effect on wall thickness and snap bottle dimension are blowing pressure and blowing time. While the parameter of melt temperature and stop time have less significant effect. The optimal parameter setting is blowing pressure of 9 bar, melt temperature of 260 ° C, blowing time for 7 seconds and stop time for 2 seconds.*

Keywords: *Blow Moulding, Taguchi Grey Relational Analysis, Optimization, Parameter process, Bottle wall thickness.*

1. PENDAHULUAN

Semakin bertambahnya kebutuhan sehari-hari masyarakat di berbagai bidang memberi dampak pula pada perkembangan industri manufaktur sekarang ini. Salah satu perkembangan yang paling pesat ialah di bidang industri plastik. Plastik merupakan sebuah bahan baku yang paling sering digunakan di masa kini oleh masyarakat untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari, contohnya perabotan rumah tangga, wadah makanan, produk farmasi, dll.

Untuk membuat produk dengan bahan baku plastik sesuai dengan yang kita kehendaki dibutuhkan suatu teknologi yang memadai, seperti mesin *blow moulding*. Namun dalam prosesnya sekitar 17% botol mengalami *reject* dari setiap kali memproduksi 8000 produk, sehingga konsumen mengembalikan dan meminta diganti botol yang sesuai spesifikasi, sehingga menyebabkan kerugian pada perusahaan jika terjadi secara terus menerus. Penyebab *reject* paling besar dari produk ini ialah tidak terpenuhinya spesifikasi dari ketebalan botol serta dimensi *snap* botol.



Gambar 1. Produk Botol Chemical 500 ml

Maka dari itu tujuan penelitian ini ialah untuk mengetahui bagaimana pengaruh variabel parameter terhadap respon yang telah ditentukan dan menemukan kombinasi *setting* parameter yang optimal pada produk botol *chemical* 500 ml. Pada penelitian ini digunakan metode Taguchi untuk menentukan rancangan eksperimennya serta *grey relational analysis* untuk menentukan kombinasi faktor yang paling optimal.

2. METODOLOGI

Penelitian awal yang dilakukan yaitu mencari data mengenai mesin *blowmolding* serta variabel-variabel yang digunakan.

2.1 Sumber Data

Urutan langkah yang dikerjakan dalam kegiatan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Tempat Penelitian

Proses pembuatan spesimen botol dan proses pengukuran terhadap ketebalan botol serta dimensi *snap* dilakukan di perusahaan manufaktur plastik Untuk pengolahan data dan analisa dilakukan di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

2. Waktu Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan selama 6 bulan. Dengan jadwal yang sudah direncanakan oleh peneliti.

2.2 Variabel Penelitian

Tahap penentuan variabel ini dilakukan karena ada beberapa faktor yang berpengaruh terhadap proses *blow molding* yaitu:

1. Variabel Proses (Variabel Bebas)

Variabel bebas merupakan variabel yang besarnya dapat ditentukan dan dikendalikan, berdasarkan pertimbangan, faktor-faktor tersebut adalah:

Blowing pressure, Stop Time, Blowing Time, Melt Temperature.

2. Variabel Respon

Merupakan salah satu karakteristik kualitas yang kritis pada botol yang dipilih dan diamati. Dalam hal ini variabel respon yang dipilih adalah ketebalan dinding botol dan dimensi *snap* botol.

2.3 Proses Rancangan Penelitian

Dalam analisis parameter *blow molding* ini dilakukan dengan memberi perlakuan setiap variabel kontrol akan digunakan masing-masing 3 level sebagai berikut:

Tabel 1: Penentuan Level

Variabel Bebas	Level		
	1	2	3
<i>Blowing pressure</i>	7	9	11
<i>Blowing time</i>	7	9	11
<i>Stop time</i>	0.5	1	2
<i>Melt temperature</i>	160	200	260

Sumber: Penelitian 2018

2.4 Proses Pelaksanaan Eksperimen

Pengambilan eksperimen dilakukan dengan menggunakan kombinasi parameter yang sudah ditentukan sebelumnya. Proses pembuatan produk atau spesimen dilakukan sebanyak 27 kali dengan replikasi sebanyak 2 kali. Setelah proses pembuatan produk menggunakan mesin *blow*

molding, hasil produk tersebut akan dilakukan proses pengukuran seperti berikut ini.



Gambar 2. Proses pengukuran

2.5 Tahap Analisa Data

Tahapan-tahapan yang akan digunakan untuk pengolahan metode Taguchi *Grey Relational Analysis* ini sebagai berikut:

1. Menghitung Rasio S/N

Nominal is the best

Pengukuran karakteristik dengan nilai target yang spesifik yang ditentukan oleh pengguna (*user-defined*).

$$S/N = 10 \log \left(\frac{\bar{y}^2}{s^2} \right) \quad (1)$$

Dengan:

\bar{y} = Rata-rata pengamatan

s = Besarnya varians

2. Menghitung Normalisasi Rasio S/N

$$X_i^*(k) = \frac{|X_i^*(k) - \min X_i^*(k)|}{\max X_i^*(k) - \min X_i^*(k)} \quad (2)$$

Dengan:

$\max X_i^0(k)$ = Nilai terbesar dari rasio S/N

$\min X_i^0(k)$ = Nilai terkecil dari rasio S/N

$X_i^0(k)$ = Nilai S/N pada eksperimen ke-i

3. Perhitungan Simpangan Deviasi

$$\Delta Oi(k) = |Xo^*(k) - Xi^*(k)| \quad (3)$$

Dengan:

$Xo^*(k)$ = Nilai rasio S/N normalisasi yang terbesar

$Xi^*(k)$ = Nilai rasio S/N normalisasi pada eksperimen ke-i

4. Menghitung *Grey Relational Coefficient* (GRC)

$$\zeta i(k) = \frac{\Delta \min + \zeta \Delta \max}{\Delta Oi(k) + \zeta \Delta \max} \quad (4)$$

Dengan :

$\Delta \min$ = nilai terendah dari rangkaian deviasi

$\Delta \max$ = nilai tertinggi dari rangkaian deviasi

$\Delta Oi(k)$ = angka deviasi

ζ = koefisien pembeda, Nilai *distinguishing coefficient* yang digunakan pada umumnya adalah 0,5

5. Menghitung *Grey Relational Grade* (GRG)

$$\gamma (Xo, Xi) = \sum_{i=1}^m GRC * pembobotan \quad (5)$$

6. Analisis Varian (ANOVA) Taguchi
 Analisis varian pada metode Taguchi digunakan untuk menginterpretasikan data hasil eksperimen. Perhitungan ANOVA ini terdiri dari perhitungan derajat bebas, jumlah kuadrat, kuadrat tengah, dan F hitung menggunakan bantuan *software* Minitab 16.0.

7. Prediksi GRG yang Optimal

$$\bar{y}_{jk} = \frac{\sum \bar{y}_{ijk}}{n_{ijk}} \quad (6)$$

Dengan;

\bar{y}_{jk} = nilai rata-rata faktor j level k

\bar{y}_{ijk} = nilai rata-rata eksperimen ke- i untuk faktor j level k

n_{ijk} = jumlah eksperimen faktor j level k

Prediksi GRG yang optimal dapat dicari dengan persamaan:

μ prediksi =

$$Y + (A - Y) + (B - Y) + (C - Y) \quad (7)$$

Dengan:

Y = nilai rata-rata GRG

A/B/C = nilai GRG yang optimal pada faktor A/B/C

8. Interpretasi Hasil

- a. Persen Kontribusi

$$SS'_A = SS_A - (MS_e \times dof_A)$$

$$\rho = \frac{SS'_A}{SS_T} \times 100 \% \quad (8)$$

Dengan:

SS'_A = Jumlah kuadrat murni dari faktor A

SS_A = Jumlah kuadrat faktor A

MS_e = Mean of square error

dof_A = Derajat kebebasan faktor A

MS_T = Mean of square total

ρ = Persen kontribusi

- b. Interval Kepercayaan

Interval kepercayaan pada kondisi perlakuan yang diprediksi (CI_2)

$$CI_2 = \sqrt{\frac{F_{\alpha;1;ve} MS_e}{n_{eff}}} \quad (9)$$

Dengan:

$$n_{eff} = \frac{N}{1 + \text{Jumlah df perkiraan rata - rata}}$$

N = Jumlah data percobaan keseluruhan

Interval kepercayaan untuk memprediksi eksperimen konfirmasi (CI_3)

$$CI_3 = \sqrt{F_{\alpha;1;ve} MS_e \left[\left(\frac{1}{n_{eff}} \right) + \left(\frac{1}{r} \right) \right]} \quad (10)$$

Dengan:

r = Jumlah sampel pada percobaan konfirmasi ($r \neq 0$)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Perhitungan Analisa Data

Pada tahapan ini data pengukuran respon yang diperoleh dari eksperimen dimasukkan ke dalam rumus pada metodologi di atas, sehingga menghasilkan data sebagai berikut:

Tabel 2: Hasil Perhitungan Data

Eks.	Rasio S/N (Y1)	Rasio S/N (Y2)	Normalisasi Rasio (Y1)	Normalisasi Rasio (Y2)	GRC (Y1)	GRC (Y2)	GRG
1	45.57	16.54	0.384	0.055	0.448	0.346	0.397
2	47.59	27.17	0.448	0.378	0.475	0.446	0.460
3	38.06	21.16	0.144	0.196	0.369	0.383	0.376
4	33.99	15.41	0.014	0.021	0.336	0.338	0.337
5	42.98	22.28	0.301	0.230	0.417	0.394	0.405
6	53.21	29.83	0.628	0.459	0.573	0.480	0.527
7	48.80	27.17	0.487	0.378	0.493	0.446	0.470
8	58.13	14.72	0.785	0.000	0.699	0.333	0.516
9	40.34	24.08	0.216	0.284	0.390	0.411	0.400
10	48.57	24.61	0.479	0.300	0.490	0.417	0.453
11	54.42	47.64	0.666	1.000	0.600	1.000	0.800
12	38.38	22.69	0.154	0.242	0.371	0.398	0.384
13	45.57	16.54	0.384	0.055	0.448	0.346	0.397
14	54.83	15.41	0.679	0.021	0.609	0.338	0.474
15	55.80	14.85	0.710	0.004	0.633	0.334	0.484
16	45.57	16.90	0.384	0.066	0.448	0.349	0.398
17	46.31	32.26	0.407	0.533	0.458	0.517	0.487
18	42.98	20.83	0.301	0.186	0.417	0.380	0.399
19	64.87	25.78	1.000	0.336	1.000	0.430	0.715
20	54.86	41.66	0.680	0.818	0.610	0.733	0.672
21	48.80	25.78	0.487	0.336	0.493	0.430	0.461
22	38.59	23.59	0.161	0.269	0.373	0.406	0.390
23	33.56	15.87	0.000	0.035	0.333	0.341	0.337
24	43.34	21.16	0.312	0.196	0.421	0.383	0.402
25	33.95	15.72	0.012	0.030	0.336	0.340	0.338
26	47.21	27.96	0.436	0.402	0.470	0.455	0.463
27	40.09	24.08	0.208	0.284	0.387	0.411	0.399

Diketahui dari data tabel di atas bahwa nilai GRG (*Grey Relational Grade*) terkecil terdapat antara eksperimen ke-11 dan eksperimen ke -19. Sehingga dapat diprediksi bahwa eksperimen pada kedua baris tersebut telah memperoleh hasil yang paling baik.

3.2 Analysis of Variance (ANOVA)

Tabel 3: ANOVA GRG

Faktor	df	SS	MS	F Hitung	P Value
Blowing Pressure (A)	2	0.0989	0.0495	8.47	0.003
Blowing Time (B)	2	0.0582	0.0291	4.98	0.019
Stop Time (C)	2	0.0230	0.0115	1.98	0.168
Melt Temp. (D)	2	0.0405	0.0202	3.47	0.053
Error	18	0.1051	0.0058		
St	26	0.326			

Sumber: *Software* Minitab 14

F Tabel yang dipilih adalah dengan tingkat kepercayaan sebesar 95% dengan α sebesar 0.05 dalam F tabel $F_{(\frac{\alpha}{2}, df_A, df_e)}$. H_0 diterima apabila F hitung < F Tabel, sedangkan H_1 diterima apabila F hitung > F Tabel. Dari pengujian hipotesa di

atas dapat diketahui bahwa parameter yang berpengaruh signifikan terhadap kedua respon ialah *blowing pressure* dan *blowing time*.

3.3 Persen Kontribusi

Dapat dilihat dari hasil perhitungan persen kontribusi bahwa parameter yang berpengaruh signifikan terhadap respon ketebalan dinding serta dimensi *snap* dengan persentase tertinggi ialah *blowing pressure* kemudian diikuti oleh *blowing time*. Sedangkan untuk parameter yang lain tidak terlalu berpengaruh signifikan.

Tabel 4: Hasil Perhitungan Persen Kontribusi

Parameter	Dof	SS'faktor	P %
(A)	2	0.0872	27%
(B)	2	0.0465	14%
(C)	2	0.0114	3%
(D)	2	0.0288	9%

3.4 Prediksi Respon yang Optimal

$$\begin{aligned} \mu \text{ prediksi} &= Y + (A - Y) + (B - Y) + (C - Y) \\ &\quad + (D - Y) \\ &= 0.4571 + (0.542-0.4571) + \\ &\quad (0.5228-0.4571) + (0.49- \\ &\quad 0.4571) + (0.504-0.4571) \\ &= 0.683 \end{aligned}$$

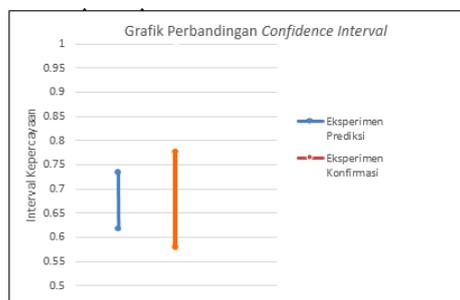
3.5 Interval Kepercayaan

$$\begin{aligned} \mu \text{ prediksi} - CI &\leq \mu \leq \mu \text{ prediksi} + CI \\ 0.6834 - 0.05687 &\leq \mu \leq 0.6834 + 0.05687 \\ 0.6265 &\leq \mu \leq 0.7402 \end{aligned}$$

3.6 Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen konfirmasi dilakukan untuk memverifikasi dugaan atau prediksi berdasarkan hasil perhitungan dari eksperimen yang telah didapatkan sebelumnya

$$\begin{aligned} \mu \text{ prediksi} - CI &\leq \mu \leq \mu \text{ prediksi} + CI \\ 0.6845 - 0.10110 &\leq \mu \leq 0.6845 + 0.10110 \\ 0.5834 &\leq \mu \leq 0.7856 \end{aligned}$$



Gambar 3. Grafik Perbandingan Interval

Perbandingan interval kepercayaan untuk hasil dari eksperimen prediksi dan eksperimen konfirmasi dapat dilihat pada Gambar 3.

Dapat dilihat grafik interval kepercayaan eksperimen prediksi beririsan dengan nilai

interval kepercayaan eksperimen konfirmasi. Maka dapat disimpulkan bahwa rancangan telah memenuhi persyaratan dalam eksperimen Taguchi, karena perkiraan dari selang kepercayaan konfirmasi telah masuk dalam batas selang kepercayaan dalam kondisi optimal.

4. KESIMPULAN

Setelah melakukan penelitian, pengambilan data dan analisa data dengan metode Taguchi *Grey Relational Analysis* dapat disimpulkan bahwa:

1. Parameter *blow molding* yang berpengaruh paling signifikan terhadap ketebalan dinding botol adalah *blowing pressure* semakin tinggi nilainya maka semakin tebal dinding botol, sedangkan pada dimensi *snap botol* parameter yang paling berpengaruh ialah parameter *melt temperature* semakin tinggi nilainya maka akan semakin mendekati ukuran dimensi yang diinginkan. Dengan total persen kontribusi *blowing pressure* sebesar 26.77%, *blowing time* dengan persen kontribusi sebesar 14.27% dan *melt temperature* dengan persen kontribusi sebesar 8.86%, sedangkan untuk parameter *stop time* tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap respon ketebalan dinding dan dimensi *snap* botol.
2. *Setting* parameter *blow molding* yang dapat memberikan hasil yang optimal pada respon ketebalan dinding dan dimensi *snap* botol adalah *blowing pressure* sebesar 9 bar, *blowing time* selama 7 detik, *stop time* selama 2 detik dan *melt temperature* sebesar 260°C.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kamaruddin, S. dan Noor Syuhadah Z. (2016). *The Influence Of Plastic Extrusion Blow Molding Parameters On Waste Reduction*. **ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences**, Vol. 11, No. 20.
- [2] Mananti, Rizky N. (2015). Analisis Pengaruh Time dan Pressure Terhadap KeteBalan Botol Proses Blow Moulding Menggunakan Metode Taguchi. **Tugas Akhir**, Teknik Desain dan Manufaktur. PPNS.
- [3] Proust, M. (2007). *Design of Experiments Guide*. **JMP, A Business Unit of SAS**, Ch+10.
- [4] Sunanto, M. F. A. (2016). Analisis Pengaruh Parameter Blowing Pressure, Barrel Temperature, Blowing Time Dan Stop Time Terhadap Volume Dan Berat Botol Tempat Cairan Pengilap Bodi Kendaraan. **Tugas Akhir**, Teknik Desain dan Manufaktur. PPNS.

Optimasi Parameter Proses *Injection Molding* Terhadap *Inner Snap Diameter* dan *Netto Produk Pot Cream 10 Gram Metode Response Surface*

Dharu Fadillansyah P.^{1*}, Pranowo Sidi², dan Nurvita Arumsari³

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia^{1,2}

Program Studi Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.³
E-mail: fadillansyahputra@gmail.com^{1*}

Abstract – Along with the times and advances in science and technology, plastics are increasingly being used by people in various products because of their diverse interests. Many industries make plastic as the main raw material in the production process. Processing of plastic seeds until it became finished products can be done in many ways one of them is injection molding. But there are some obstacles when plastic products are made in large quantities, so they need to improve the quality of products they are produced. One way to improve the quality of products is by optimizing the parameters. Parameter optimization is a technique used in the manufacturing process to produce the best product. This study aims to optimize injection molding parameters such as injection time, injection pressure and holding time to optimize inner snap diameter and netto on pot cream products. Each parameter has 3 levels which are designed using Box-Behnken method. In this research using ANOVA method to analyze experimental data and the optimization of inner snap diameter and netto in injection molding process is done by using response surface method. Based on the results, it is known that the parameters of injection time, and holding time has an influence on the inner snap diameter. While for the netto all parameters have influence such as injection time, injection pressure, and holding time. For optimization, the configuration of injection time parameter is 3.74 seconds, injection pressure is 47%, and holding time is 1.5 seconds which produce 46.11 mm of inner snap diameter and netto 8.7 gram.

Keywords: Injection Molding, Inner Snap Diameter, Netto, Plastic, Response Surface.

1. PENDAHULUAN

Dengan semakin pesatnya perkembangan zaman dan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi, plastik semakin banyak digunakan oleh masyarakat dalam berbagai bidang karena beragam keunggulannya. Plastik dengan mudah dapat dibentuk, ringan, tidak mudah pecah, dan ekonomis. Hingga saat ini telah banyak industri yang menjadikan plastik sebagai bahan baku utama dalam proses produksinya. Proses pengolahan biji plastik hingga menjadi produk jadi bisa dilakukan dengan banyak cara salah satunya dengan *injection molding* (Musthofa, 2014).

Injection molding adalah proses yang bisa digunakan untuk memproduksi plastik dengan bentuk yang kompleks. Dalam aplikasinya, proses produksi menggunakan mesin *injection molding* ini tidak dapat terlepas dari cacat produk seperti *short shot*, *flash*, *over shrinkage*, *sink marks*, *deformation & cracks*, *flowmark*, *weldline*, *scorching* ataupun *bubble*. Adapun kualitas dari produk yang dihasilkan dari mesin *injection molding* dipengaruhi oleh beragam faktor, antara lain desain cetakan yang kurang optimal, penginjeksian material yang kurang stabil, temperatur material dalam *barrel* yang kurang sesuai, dan pengaruh parameter proses *injection*

molding. Faktor tersebut akan berpengaruh besar terhadap kualitas produk yang dihasilkan. Karena apabila produk cacat yang dihasilkan semakin besar maka perusahaan akan membutuhkan lebih banyak material untuk membuat ulang produk yang cacat.

Salah satu produk yang memiliki jumlah order paling banyak di perusahaan manufaktur plastik di bidang kosmetik adalah produk berjenis pot. Produk ini biasa digunakan sebagai wadah dalam produk kosmetik seperti krim siang dan malam, lulur, scrub, dan lain-lain. Produk ini terdiri dari 4 komponen penyusun yakni *cover*, *plug*, *innerbase*, dan *base*. Masing-masing bagian ini diinjeksikan dalam cetakan yang berbeda-beda dan pada akhirnya akan dirakit menjadi sebuah produk. Sehingga produk pot ini dituntut untuk memiliki keakuratan dimensi yang tepat agar tiap komponen penyusun dapat menempel satu sama lain pada saat digabungkan.



Gambar 1. Base Pot Cream

Selain itu *netto* juga menjadi salah satu faktor yang harus diperhatikan. Sebagai produsen *packaging* kosmetik, tentunya biaya pembuatan produk akan sangat diperhatikan, seperti harga bahan baku plastic. Karenanya apabila *netto* produk yang dihasilkan kurang dari standar maka produk akan *reject* dan harus dibuat ulang begitupun apabila *netto* yang dihasilkan melebihi standar. Selain produk *reject* dan harus dibuat ulang, material yang terbuang akan lebih banyak. Selain itu tuntutan *customer* akan *netto* juga sangat diperhatikan, karena *customer* tidak akan menerima produk yang memiliki *netto* dibawah maupun diatas toleransi yang telah mereka tentukan sebelumnya.

Untuk mengetahui bagaimana pengaruh dari parameter *injection molding* ini terhadap *inner snap diameter* dan *netto* sesuai yang diinginkan pada *base pot* produk krim digunakan Metode *Box Behnken* dengan optimasi *Response Surface*. Metode *Response Surface* merupakan kumpulan dari teknik-teknik matematika dan statistik yang berguna untuk meningkatkan, mengembangkan, mengoptimalkan suatu proses (Montgomery,1994)

2. METODOLOGI

2.1. Proses Rancangan Penelitian

Sebelum dilaksanakan eksperimen, perlu ditentukan variabel faktor dan level kendali yang digunakan serta variabel respon yang diamati dalam penelitian ini terlebih dahulu. Penentuan level kendali pada variabel faktor dapat dilihat pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1: Level Kendali

Variabel Bebas	Kode		
	-1	0	1
Injection Time (detik)	3	4	5
Injection Pressure (%)	47	52	57
Holding Time (detik)	0.5	1	1.5

Sumber : Penelitian, 2018

2.2. Proses Pelaksanaan Eksperimen

Setelah didapat data parameter level kendali dan pengacakan variable maka selanjutnya akan dilakukan proses percobaan menggunakan mesin *injection molding* untuk membentuk produk. Parameter lain yang tidak ditentukan oleh peneliti dianggap konstan. Proses pembuatan produk atau spesimen dilakukan sebanyak 15 kali. Setelah proses pembuatan produk menggunakan mesin *injection molding* dengan mengganti besar variable yang digunakan sebagai variable bebas.



Gambar 2. Proses Percobaan

2.3. Proses Pengukuran Produk

Selanjutnya didapatkan produk hasil percobaan, hasil produk tersebut akan dilakukan proses pengukuran. Dimana untuk proses pengukuran *inner snap diameter* dilakukan pengukuran menggunakan *caliper*. Sedangkan untuk pengukuran *netto* dilakukan menggunakan timbangan digital.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Injection Molding

Hasil dari proses *injection molding* yang telah dilakukan pengukuran menggunakan *caliper* untuk *inner snap diameter* dan timbangan digital untuk pengukuran *netto* dapat dilihat pada Tabel 2 berikut ini:

Tabel 2: Hasil Percobaan

	V. Bebas			V. Respon	
	Injection Time (detik)	Injection Pressure (%)	Hold Time (detik)	Y1	Y2
1	5	52	0.5	46.21	8.87
2	4	52	1	46.28	8.89
3	4	57	0.5	46.28	8.80
4	5	57	1	46.32	8.94
5	5	52	1.5	46.29	8.93
6	4	57	1.5	46.33	8.87
7	3	52	1.5	46.31	8.60
8	3	52	0.5	46.38	8.59
9	3	57	1	46.40	8.55
10	3	47	1	46.34	8.57
11	5	47	1	46.14	8.95
12	4	47	0.5	46.20	8.78
13	4	47	1.5	46.08	8.82
14	4	52	1	46.27	8.88
15	4	52	1	46.25	8.90

Sumber : Proses Eksperimen, 2018

3.2. Perhitungan Data

Setelah didapatkan nilai percobaan dan persamaan model yang menggunakan *full quadratic*, maka selanjutnya adalah menghitung data tersebut dengan tabel perhitungan manual ANOVA dengan hasil seperti pada tabel 3 berikut.

Tabel 3: Hasil analisa ANOVA

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS
Regression	9	0.094902	0.094902	0.010545
Linear	3	0.064525	0.029140	0.009713
Square	3	0.013052	0.013052	0.004351
Interaction	3	0.017325	0.017325	0.005775
Residual Error	5	0.002992	0.002992	0.000598
Total	14	0.097893		

Sumber : Proses Eksperimen, 2018

3.3. Uji Koefisien Determinasi Berganda

Kriteria penerimaan yaitu nilai R^2 berkisar antara 0 sampai 100% dimana nilai R^2 semakin mendekati 100% maka model semakin baik. Berikut hasil analisa dengan minitab :

$$R\text{-Sq} = 96.94\% \quad R\text{-Sq(pred)} = 52.04\% \quad R\text{-Sq(adj)} = 91.44\%$$

Dari hasil analisa diatas dapat ditunjukkan bahwa nilai R^2 sebesar 96,94%, dengan nilai prosentase tersebut maka model dianggap sudah baik karena mendekati nilai 100%.

3.4. Uji Koefisien Secara Serentak

Kriteria penerimaan dari pengujian koefisien regresi secara serentak apabila $P_{\text{value}} < \alpha$ maka H_0 ditolak dan bila $P_{\text{value}} > \alpha$ maka H_0 diterima. Seperti pada tabel berikut :

Tabel 4: Hasil Uji Koefisien Serentak

Source	F	P
Regression	17.62	0.003
Linear	16.23	0.005
Square	7.27	0.028
Interaction	9.65	0.016

Sumber : Minitab, 2018

Dapat dilihat nilai P_{value} dari regresi adalah 0,003 yang berarti lebih kecil dari nilai signifikansi (α) yaitu 0,05 maka dapat ditulis $P_{\text{value}} < \alpha$ sehingga H_0 ditolak yang berarti model dapat diterima secara statistik dan terdapat variabel yang mempengaruhi kekasaran permukaan.

3.5. Uji Koefisien Regresi Individu

Kriteria penerimaan bila $P_{\text{value}} < \alpha$ maka H_0 ditolak dan bila $P_{\text{value}} > \alpha$ maka H_0 diterima. Seperti pada gambar 8 berikut :

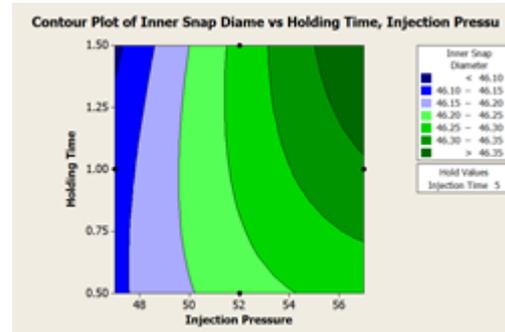
Tabel 5: Hasil Uji Koefisien Serentak

Source	F	P
Injection Time	29.78	0.003
Injection Pressure	1.77	0.241
Holding Time	14.05	0.013
Injection Time*Injection Time	15.17	0.011
Injection Pressure*Injection Pressure	3.99	0.102
Holding Time*Holding Time	1.03	0.357
Injection Time*Injection Pressure	9.40	0.028
Injection Time*Holding Time	6.02	0.058
Injection Pressure*Holding Time	13.54	0.014

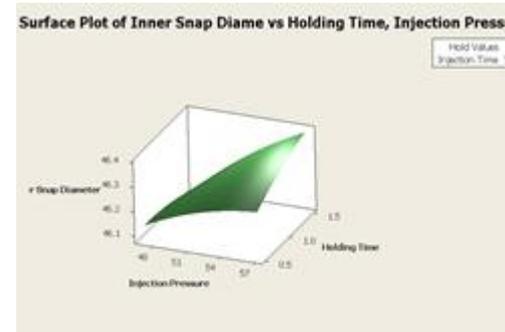
Sumber : Minitab, 2018

Dari tabel 5 dapat diketahui bahwa dari parameter-parameter tersebut ada dua parameter yang mempengaruhi *inner snap diameter* yaitu parameter *Injection Time* dan *Holding Time*. Dengan nilai P_{value} sebesar 0,003 dan 0,013 karena nilai tersebut lebih kecil dari α (0,05).

3.6. Surface dan Contour Plot



(a)



(b)

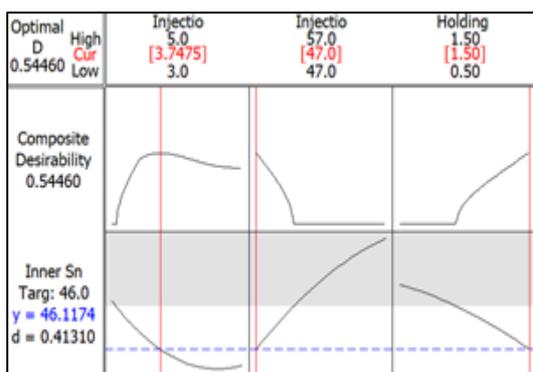
Gambar 3. (a) Surface dan (b) Contour Plot

Gambar menampilkan bahwa *inner snap diameter* akan tercapai jika *holding time* berada diantara 0.5 detik sampai 1.5 detik dan *injection pressure* berada diantara 47% dan 57% sedangkan *injection time* berada pada 4 detik. Dengan setting parameter pada level tersebut, kita akan memperoleh *inner snap diameter* sebesar kurang dari 46,10 mm sampai 46,35 mm.

3.7. Optimasi Respon Inner Snap Diameter

Agar mendapatkan nilai optimal menggunakan *Respon Optimizer* maka digunakan batas atas dan bawah sebagai berikut :

$$(Y \text{ inner}) \text{ digunakan } L \text{ (lower)} = 45.80 \text{ mm, } U \text{ (upper)} = 46.20 \text{ mm, } T \text{ (target)} = 46 \text{ mm.}$$



Gambar 4. Konfigurasi Optimasi Parameter Inner Snap Diameter

Gambar 4 Menjelaskan bahwa berdasarkan hasil optimasi, didapatkan *setting* variabel adalah untuk *injection time* sebesar 3,74 detik, *injection pressure* sebesar 47% dan *holding time* sebesar 1.5 detik, sehingga akan mendapatkan variabel respon *inner mouth diameter* sebesar 46.11, dan *response optimization* menunjukkan nilai *composite desirability* sebesar 0,5446

4. KESIMPULAN

Setelah melakukan penelitian, pengambilan data dan analisa data dengan metode *Response Surface* dapat disimpulkan bahwa :

1. Hasil analisa menunjukkan bahwa dalam proses *Injection Molding* parameter *Injection Time*, dan *Holding Time*, memiliki pengaruh dalam proses pembentukan *inner snap diameter* secara signifikan. Dimana kedua nilai tersebut memenuhi nilai signifikansi yang digunakan yaitu sebesar 0,05 sehingga memenuhi syarat penerimaan hipotesa..

2. Konfigurasi parameter yang optimum pada proses *Injection Molding inner snap diameter* dan *netto* adalah *Injection Time* : 3,74 detik, *Injection Pressure* : 47% dan *Holding Time* : 1,5 detik dengan diameter *inner snap* sebesar 46,11mm.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Montgomery, D. (1994). **Applied Statistics and Probability for Engineers**. John Willey & Sons, Inc., University of Maryland.
- [2] Montgomery, D. (1997). **Design and Analysis of Experiments**. John Willey & Sons, Inc., Arizona State University.
- [3] Musthofa, A. (2014). *Penentuan Setting Parameter Pembuatan Botol DK 8251 B pada Proses Blow Molding dengan Menggunakan RSM (Response Surface Methodology) Studi Kasus di PT. Rexam Packaging Indonesia.* JTM UNESA, Vol.02, No.2, pp.47-55.

Optimasi *Setting* Parameter Mesin Plasma *Cutting* terhadap Kekasaran Permukaan dan Lebar Pemotongan pada Aluminium 5083 Menggunakan Metode Taguchi

Adelia Al Sakina^{1*}, Bachtiar², Farizi Rachman³

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya60111, Indonesia.^{1,3}

Program Studi Teknik Pengelasan, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.²

E-mail: aalsak.na@gmail.com^{1*}

Abstract – Many factors determine the product quality, such as surface roughness and cutting width, especially in plate cutting industry. Getting the minimum roughness and the suitable cutting width becomes much easier if the machine operators know the right parameter while cutting. In this study, plasma cutting is used. Some parameter in this study are considered such as cutting speed, cutting height, arc voltage and air flow rates on cutting aluminium 5083 with 10 mm thickness. The analysis is conducted using Taguchi Grey Relational Analysis Method to surface roughness and cutting width. The result from this study is getting the optimal parameter combination consists of cutting speed with 1470 mm/min, cut height with 6 mm, arc voltage with 163 volt and air flow rates with 40 lpm. Moreover, the percentage contribution for cutting height is 6,780%, arc voltage is 20,141% and air flow is 56,779%. Meanwhile cutting speed didn't significantly affect surface roughness and cutting width.

Keywords: aluminium 5083, surface roughness, cutting width, plasma cutting, , Taguchi Grey Relational Analysis.

1. PENDAHULUAN

Proses manufaktur di industri banyak macamnya, salah satunya yaitu proses pemotongan dengan cahaya plasma atau plasma *cutting*. Industri manufaktur memiliki beberapa hal yang diperhatikan dalam pengerjaan produknya. Mulai dari kondisi mesin, kualitas bahan hingga hasil akhir dalam bentuk produk. Salah satu faktor yang mempengaruhi adalah nilai kekasaran permukaan. Pada pemotongan kapal aluminium, setelah pemotongan diperlukan proses gerinda. Jika kekasaran hasil pemotongan kecil maka proses gerinda tidak diperlukan lagi. Faktor lainnya yang turut mempengaruhi adalah lebar pemotongan. Dalam hal ini, lebar pemotongan jika lebih besar daripada yang direncanakan maka dimensi hasil pemotongan akan lebih kecil, begitu pula jika lebar pemotongan lebih kecil daripada yang direncanakan maka dimensi hasil pemotongan akan lebih besar.

Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui kombinasi optimum parameter dan seberapa besar kontribusi parameter dari *cutting speed* (CS), *cut height* (CH), *air flow rate* (AF) dan *arc voltage* (AV) terhadap kekasaran permukaan dan lebar pemotongan. Sehingga dapat mempelajari pengaruh setiap parameter, mempelajari bagaimana kontribusi dan menjadi data referensi industri pemotongan aluminium 5083 dengan ketebalan 10 mm. Penelitian ini menggunakan

desain eksperimen dan analisis metode Taguchi *Grey Relational Analysis* dikarenakan terdapat dua respon uji. Mesin pemotongan plasma menggunakan mesin Hypertherm seri 807700.

2. METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan matriks orthogonal $L_9(3^4)$ dengan arti terdapat 9 eksperimen percobaan untuk 4 parameter dan masing-masing parameter terdapat 3 level eksperimen serta dilakukan replikasi sebanyak 3 kali. Pemotongan pelat menggunakan plasma *cutting* dilakukan di bengkel CNC Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya sekaligus pengukuran lebar pemotongan menggunakan jangka sorong dengan ketelitian 0,02 mm. Untuk pengukuran kekasaran permukaan menggunakan foto makro dan disketsa menggunakan AutoCAD yang kemudian dihitung menggunakan persamaan 1 untuk mengetahui nilai kekasaran suatuspesimen.

Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan yang digunakan adalah kekasaran R_z , yaitu kekasaran rata-rata dari puncak ke lembah (Munadi, 1988). Dengan menentukan 5 titik puncak dan 5 titik lembah terhadap garis horizontal dibawah titik pengamatan. Setelah didapatkan titik-titik pengamatan dan diukur panjang titik terhadap garis horizontal dibawah titik pengamatan maka dilakukan perhitungan dengan persamaan 1.

$$Rz = \frac{(R_1 + R_3 + R_5 + R_7 + R_9) - (R_2 + R_4 + R_6 + R_8 + R_{10})}{5} \quad (1)$$

Dengan

Rz : kekasaran rata-rata puncak ke lembah
 R_{1,3,5,7,9} : nilai dari garis horizontal ke puncak sampel
 R_{2,4,6,8,10} : nilai dari garis horizontal ke lembah sampel

Metode Taguchi

Metode Taguchi digunakan pada suatu penelitian untuk mengetahui nilai yang optimal masing-masing respon dengan perhitungan Rasio S/N (Soejanto, 2009). Untuk respon kekasaran permukaan menggunakan karakteristik *smaller is better* yaitu nilai yang semakin kecil semakin baik sesuai dengan persamaan 2 dan respon lebar pemotongan menggunakan karakteristik *nominal is the best* yaitu nilai yang mendekati nilai yang ditentukan semakin baik sesuai dengan persamaan 3 berikut:

$$\frac{S}{N} = -10 \log \frac{y^2}{n} \quad (2)$$

$$\frac{S}{N} = 10 \log \frac{y^2}{s^2} \quad (3)$$

Dengan

y: data dari percobaan; n: jumlah pengulangan; s²: varians sampel.

Metode Grey Relational Analysis (GRA)

Langkah pertama yaitu dengan perhitungan normalisasi rasio S/N. Secara umum perhitungan normalisasi rasio S/N sesuai dengan persamaan 4 berikut:

$$X_i^*(k) = \frac{Xo^o(k) - \text{Min } Xo^o(k)}{\text{Max } Xo^o(k) - \text{Min } Xo^o(k)} \quad (4)$$

Dengan

Max Xo^o (k): maksimum perhitungan rasio S/N;
 Min Xo^o (k): minimum perhitungan rasio S/N;
 Xo^o (k): nilai dari rasio S/N disetiap eksperimen.

Langkah ke-2 perhitungan simpangan deviasi sesuai dengan persamaan 5 berikut:

$$\Delta Oi(k) = |Xo^*(k) - Xi^*(k)| \quad (5)$$

Dengan

Xo*(k): nilai rasio S/N normalisasi terbesar; Xi*(k): nilai rasio S/N normalisasi pada eksperimen ke-i.

Langkah ke-3 perhitungan *Grey Relational Coefficient*(GRC) menggunakan persamaan 6 berikut:

$$\zeta_i(k) = \frac{\Delta \text{min} + \zeta \Delta \text{max}}{\Delta Oi(k) + \zeta \Delta \text{max}} \quad (6)$$

Dengan

Δmin : nilai terendah dari rangkaian deviasi;
 Δmax : nilai tertinggi dari rangkaian deviasi; ζ : koefisien pembeda (nilai $\zeta = 0,5$); $\Delta Oi(k)$: angka deviasi.

Langkah ke-4 perhitungan *Grey Relational Grade* (GRG) menggunakan persamaan 7 berikut:

$$y_i = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \zeta_i(k) \quad (7)$$

Dengan

m: jumlah variabel respon yang digunakan

Pembobotan yang digunakan pada penelitian ini adalah 50% untuk respon kekasaran permukaan dan 50% untuk respon lebar pemotongan.

ANOVA (Analysis of Variance)

Tujuan analisis statistik dari varian adalah untuk menginvestigasi parameter desain mana yang berpengaruh secara signifikan terhadap respon pada suatu pengujian (Soejanto, 2009). Analisis ANOVA ini dilakukan dengan menggunakan *software* Minitab. Dalam analisis ANOVA terdapat istilah strategi *pooling up* yaitu untuk mengakumulasi beberapa *varians error* dari beberapa faktor yang kurang berarti sehingga hasilnya lebih baik.

Interpretasi Hasil Eksperimen

Interpretasi hasil eksperimen dilakukan dengan perhitungan nilai SS' setiap faktor sesuai persamaan 8 untuk dapat menghitung persen kontribusi faktor dengan persamaan 9 menggunakan data dari Tabel ANOVA.

$$SS'_{faktor} = SS_{faktor} - (V_{faktor}) \times (MS_{error}) \quad (8)$$

$$\rho = \frac{SS'_{faktor}}{SS_{(total)}} \times 100\% \quad (9)$$

Selanjutnya adalah perhitungan interval kepercayaan untuk eksperimen prediksi menggunakan persamaan 10 dan untuk eksperimen konfirmasi menggunakan persamaan 11 sebagai berikut:

$$CI_2 = \sqrt{\frac{F_{\alpha;1;V_e} \times MS_{error}}{n_{eff}}} \quad (10)$$

$$CI_3 = \sqrt{F_{\alpha;1;V_e} MS_{error} \left[\left(\frac{1}{n_{eff}} \right) + \left(\frac{1}{r} \right) \right]} \quad (11)$$

Dengan

$$n_{eff} = \frac{\text{jumlah total eksperimen}}{1 + \text{jumlah derajat kebebasan perkiraan rata-rata}}$$

$$r = \text{jumlah eksperimen konfirmasi}$$

Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen konfirmasi dilakukan dengan tujuan pengecekan kesimpulan hasil tahap analisis eksperimen prediksi, selain itu juga bertujuan untuk melakukan pengujian kombinasi faktor dan level. Langkah pemotongan dan analisis konfirmasi dilakukan sama seperti langkah pada eksperimen prediksi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan pemotongan pelat dengan plasma *cutting*, kemudian pelat diukur lebar pemotongannya dan kekasaran permukaan potongnya. Sehingga menghasilkan nilai pengukuran dan perhitungan rasio S/N menggunakan persamaan 2 untuk kekasaran permukaan (KP) dan persamaan 3 untuk respon lebar pemotongan (LP) serta normalisasi rasio S/N menggunakan persamaan 4 sesuai pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1a: Hasil Pengukuran Pelat

Eks	Faktor dan Interaksi				Hasil Pengukuran	
	CS (mm/min)	CH (mm)	AV (volt)	AF (lpm)	LP (mm)	KP (μ m)
1	600	3	159	40	3,90	13,51
2	600	4	161	55	4,18	21,76
3	600	6	163	70	4,14	12,89
4	1000	3	161	70	3,68	16,81
5	1000	4	163	40	3,49	12,28
6	1000	6	159	55	3,55	23,53
7	1470	3	163	55	3,32	16,66
8	1470	4	159	70	3,26	20,36
9	1470	6	161	40	3,54	13,53

Tabel 1b: Hasil Perhitungan Rasio S/N serta Normalisasi

Eks	Rasio S/N		Normalisasi	
	X_1	X_2	X_i	X_{ii}
1	22,578	-17,840	0	0,854
2	29,171	-21,982	0,516	0,120
3	25,110	-17,432	0,198	0,926
4	23,147	-19,738	0,044	0,517
5	31,451	-17,013	0,694	1
6	28,273	-22,660	0,446	0
7	30,295	-19,662	0,604	0,531
8	27,482	-21,404	0,384	0,222
9	35,357	-17,857	1	0,851

Perhitungan mulai memasuki tahap *grey relational analysis*. Selanjutnya adalah perhitungan simpangan deviasi menggunakan persamaan 5, nilai GRC menggunakan persamaan 6 kemudian didapatkan nilai GRG menggunakan persamaan 7 untuk setiap eksperimen. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 2 berikut:

Tabel 2: Perhitungan Simpangan Deviasi, GRC dan GRG

Eks	Deviasi		GRC		GRC		GRG	Rank
	ΔO_1	ΔO_2	γ_1	γ_2	50%	50%		
1	1	0,146	0,333	0,773	0,167	0,387	0,553	4
2	0,484	0,880	0,508	0,362	0,254	0,181	0,435	6
3	0,802	0,074	0,384	0,871	0,192	0,435	0,627	3
4	0,956	0,483	0,344	0,509	0,172	0,254	0,426	7
5	0,306	0	0,621	1	0,310	0,5	0,810	2
6	0,554	1	0,474	0,333	0,237	0,167	0,404	9
7	0,396	0,469	0,558	0,516	0,279	0,258	0,537	5
8	0,616	0,778	0,448	0,391	0,224	0,196	0,420	8
9	0	0,149	1	0,770	0,5	0,385	0,885	1

Langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan ANOVA untuk melihat faktor eksperimen yang memiliki pengaruh signifikan dengan menggunakan *software* Minitab dan hasilnya terdapat pada Tabel 3 berikut:

Tabel 3: Tabel ANOVA

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value
CS	2	0,01021	0,005105	-
CH	2	0,02720	0,013601	-
AV	2	0,06068	0,030340	-
AF	2	0,15249	0,076243	-
Error	-	-	-	-
Total	8	0,25058	-	-

Seperti yang tertera pada Tabel 3, F hitung dari keempat faktor tidak dapat dihitung akibat dari nilai SS (*Sum of Square*) pada eror bernilai 0. *Pooling up* dilakukan dengan menjumlahkan nilai faktor yang akan di *pool* kedalam baris eror. Untuk penelitian ini diambil berdasarkan nilai SS terkecil yaitu *cutting speed* pada baris pertama dengan nilai SSnya yaitu 0,01021. Dengan hasil tabel ANOVA yang telah di *pooling up*, dapat dilakukan perhitungan persen kontribusi menggunakan persamaan 8 dan 9. Hasil tabel ANOVA *pooling up* dan perhitungan persen kontribusi terdapat pada Tabel 4 berikut:

Tabel 4: Tabel ANOVA setelah *Pooling Up* dan Persen Kontribusi

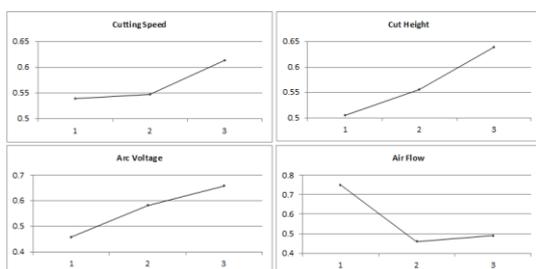
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	SS'	ρ (%)
CH	2	0,02720	0,013601	2,664	0,01699	6,780
AV	2	0,06068	0,030340	5,943	0,05047	20,141
AF	2	0,15249	0,076243	14,934	0,142275	56,779
Error (pooled)	2	0,01021	0,005105	-	0,040844	16,3
Total	8	0,25058	-	-	-	-

Dilanjutkan dengan perhitungan kombinasi parameter optimum dengan cara menjumlahkan nilai GRG level pada eksperimen berapa saja diterapkannya level tersebut kemudian dibagi sejumlah level yang digunakan. Hasil dari perhitungan tersebut dapat dilihat pada Tabel 5 berikut:

Tabel 5: Optimum dari Kedua Respon

Level		CS	CH	AV	AF
1	Eksperimen	1, 2, 3	1, 4, 7	1, 6, 8	1, 5, 9
	Hasil	0,539	0,505	0,459	0,750
2	Eksperimen	4, 5, 6	2, 5, 8	2, 4, 9	2, 6, 7
	Hasil	0,547	0,555	0,582	0,459
3	Eksperimen	7, 8, 9	3, 6, 9	3, 5, 7	3, 4, 8
	Hasil	0,614	0,639	0,658	0,491
	Selisih	0,075	0,133	0,199	0,291
	Rank	4	3	2	1

Untuk mempermudah pembacaan tabel, dapat dilihat bentuk grafik parameter optimum pada Gambar 1 berikut:



Gambar 1. Grafik Level Optimal Respon Gabungan

Dapat dilihat bahwa kombinasi optimumnya yaitu *cutting speed* level 3 dengan nilai 1470 mm/min, *cut height* level 3 dengan nilai 6 mm, *arc voltage* level 3 dengan nilai 163 volt dan *air flow* level 1 bernilai 40 lpm. Selanjutnya adalah perhitungan interval kepercayaan untuk eksperimen prediksi. Menggunakan tingkat kepercayaan sebesar 95% dan nilai pada F tabel untuk $F_{(0.05,1,2)}$ adalah 18,5. Sesuai dengan persamaan 10, berikut perhitungan interval kepercayaan eksperimen prediksi:

$$n_{eff} = \frac{\text{jumlah total eksperimen}}{1 + \text{jumlah derajat kebebasan perkiraan rata-rata}}$$

$$= \frac{9 \times 3}{1 + (2+2+2)} = 3,857$$

$$CI = \pm \sqrt{F(0.05,1,2) \times MSe \times \frac{1}{n_{eff}}}$$

$$= \pm \sqrt{18,51 \times 0,005105 \times \frac{1}{3,857}} = \pm 0,156527$$

$$\mu \text{ prediksi} - CI \leq \mu \leq \mu \text{ prediksi} + CI$$

$$0,914 - 0,156527 \leq \mu \leq 0,914 + 0,156527$$

$$0,757 \leq \mu \leq 1,070$$

Eksperimen Konfirmasi

Dengan menggunakan kombinasi parameter optimum hasil analisis eksperimen prediksi didapatkan data-data hasil pengukuran yang dapat dilihat pada Tabel 6 berikut:

Tabel 6a: Hasil Pengukuran dan Perhitungan Eksperimen Konfirmasi

Rep.	LP (mm)	KP (μm)	Rasio S/N		Normalisasi	
			LP	KP	LP	KP
1	3,11	16,70	26,336	-24,454	0	0,838
2	3,23	16,90	37,804	-24,558	0,810	0,807
3	3,24	22,98	38,170	-27,227	0,836	0
4	3,23	18,62	40,493	-25,400	1	0,552
5	3,23	15,70	40,475	-23,918	0,999	1

Tabel 6b: Hasil Pengukuran dan Perhitungan Eksperimen Konfirmasi

Rep.	Deviasi		GRC		GRG
	LP	KP	LP	KP	
1	1	0,162	0,333	0,755	0,544
2	0,190	0,193	0,725	0,721	0,723
3	0,164	1	0,753	0,333	0,543
4	0	0,448	1	0,528	0,764
5	0,001	0	0,997	1	0,999
				Total	3,573
				Rata-rata	0,715

Perhitungan pada eksperimen konfirmasi dilakukan dengan langkah-langkah perhitungan seperti pada eksperimen prediksi. Mulai dari perhitungan Taguchi sampai perhitungan GRA. Kemudian melakukan perhitungan interval kepercayaan untuk eksperimen konfirmasi menggunakan persamaan 11 dengan nilai F tabel, n_{eff} dan nilai MS_e seperti nilai pada eksperimen prediksi. Berikut perhitungan interval kepercayaan eksperimen konfirmasi:

$$CI = \pm \sqrt{F(0.05,1,2) \times MSe \times \left[\frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right]}$$

$$= \pm \sqrt{18,51 \times 0,005105 \times \left[\frac{1}{3,857} + \frac{1}{5} \right]}$$

$$= \pm 0,2083$$

$$\mu \text{ konfirmasi} - CI \leq \mu \leq \mu \text{ konfirmasi} + CI$$

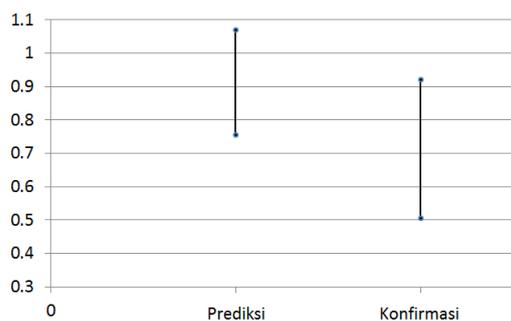
$$0,715 - 0,2083 \leq \mu \leq 0,715 + 0,2083$$

$$0,5062 \leq \mu \leq 0,9229$$

Visualisasi interval kepercayaan dari eksperimen prediksi dan eksperimen konfirmasi dapat dilihat pada Gambar 2, untuk mempermudah pembacaan serta hasil rata-rata dan rentang interval eksperimen dirangkum kedalam Tabel 7 berikut:

Tabel 7: Nilai Rata-rata dan Interval Kepercayaan Kedua Eksperimen

Eksperimen	Rata-rata	Interval Kepercayaan
Prediksi	0,914	0,914 ± 0,1565
Konfirmasi	0,715	0,715 ± 0,2083



Gambar 2. Grafik Perbandingan Interval Kepercayaan

4. KESIMPULAN

Kombinasi optimum parameter pada penelitian ini adalah parameter *cutting speed* bernilai 1470 mm/min, *cut height* bernilai 6 mm, *arc voltage* bernilai 163 volt dan *air flow rates-plasma* bernilai 40 lpm. Kontribusi parameter *cutting speed* tidak memberikan pengaruh yang signifikan. Sedangkan untuk parameter *cut height* memberikan kontribusi sebesar 6,780%, parameter *arc voltage* memberikan kontribusi sebesar 20,141% dan parameter *air flow rates-plasma* memberikan kontribusi sebesar 56,779% terhadap respon kekasaran permukaan dan lebar pemotongan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Munadi, S., 1988. *Dasar-dasar Metrologi Industri*. Jakarta: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.
- [2] Rakasita, R., dan Karuniawan, B., W., 2016. *Jurnal Teknik Industri. Optimasi Parameter Mesin Laser Cutting terhadap Kekasaran dan Laju Pemotongan pada SUS 316L Menggunakan Taguchi Grey Relational Analysis Method*.9 (2), pp.97-105.
- [3] Soejanto, I., 2009. *Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [4] Tanoto, Y. Y., Bobby O. S. dan Arief W., 2014. *Jurnal Teknik Mesin. Optimasi Multi Respon pada Proses Gurdi dengan Menggunakan Metode Taguchi-Grey*.15 (1), pp.8-14.

Penentuan Interval Perawatan Komponen Kritis CNC *Flame Plasma Cutting Machine* menggunakan Metode *Reliability Centered Maintenance (RCM)*

Rekadian Arif^{1*}, Anda Iviana Juniani², Rizal Indrawan³

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia^{1,2,3}
E-mail: rekadian5@gmail.com^{1*}

Abstract – The company in Lamongan, East Java is a company focusing on repair and ship building. Based on observations and interviews, it was found that CNC Flame Plasma Cutting is has a high breakdown rate over a period of time. Therefore, this research to identify critical components, determine the appropriate types of treatment and determine the interval of maintenance critical components. In this research, qualitative analysis involves RCM II Decision Worksheet, FBD, FMEA and RPN. Quantitative analysis to determine maintenance interval. The results showed that 19 failure mode and 7 critical components UPS, operating panel, THC (torch height control) plasma, Cutting Nozzle Flame, Nozzle Torch Plasma 1, X axis motor servo, and Y Axis motor servo. For this type of maintenance on Restoration is treated on cutting nozzle flame and Y axis motor servo. Discard task on, UPS, THC Plasma, nozzle torch plasma, X axis servo motor. The maintenance Interval 1199,67 hours for UPS components, 1269,85 hours for operating panel, 1646,13 hours for Cutting Nozzle Flame, 1277,51 hours for THC Plasma, 1725,98 hours for Nozzle Torch Plasma, 1125,28 hours for X axis servo motor, and 1106,91 hours for Y Axis servo motor.

Keywords: CNC Flame Plasma Cutting, Critical components, FBD, FMEA, RCM II Decision Worksheet

1. PENDAHULUAN

Salah satu perusahaan yang bergerak pada pembuatan serta *repairing* kapal, yang terletak di Jawa Timur, Indonesia adalah cabang dari salah satu galangan kapal nasional terbesar dengan hasil produk kapal berkualitas, dikarenakan produksi kapal yang terus semakin meningkat & target produksi kapal harus tepat pada waktunya, maka mesin-mesin di perusahaan ini memiliki intensitas penggunaan cukup tinggi yang tentunya akan berdampak pada semakin tingginya kerusakan yang dapat terjadi pada mesin. Dari hasil observasi dan wawancara yang telah dilakukan di lapangan, ditemukan fakta bahwa mesin *CNC Flame Plasma Cutting* merupakan mesin yang memiliki waktu *downtime* paling tinggi. Perusahaan ini belum menggunakan kebijakan *preventive maintenance* dan masih menggunakan kebijakan *breakdown maintenance*. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu upaya untuk merencanakan kegiatan perawatan yang memperhatikan task dan interval perawatan yang sesuai dan tepat. Salah satu metode yang sesuai yaitu *Reliability Centered Maintenance (RCM)* yang merupakan suatu metode perawatan yang memanfaatkan informasi keandalan suatu mesin atau fasilitas, untuk memperoleh strategi perawatan yang efektif, efisien, dan mudah dilaksanakan.

Penelitian ini menggunakan data data periode Januari 2015 – November 2017, mesin yang direncanakan *task* dan interval perawatannya hanya komponen kritis mesin *CNC Flame Plasma Cutting* pada bengkel fabrikasi. Serta, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kegagalan dan menentukan komponen kritis pada *CNC Flame Plasma Cutting Machine* menggunakan FMEA dan RPN, menentukan jenis perawatan yang tepat pada komponen kritis *CNC Flame Plasma Cutting Machine*, serta merencanakan interval perawatan komponen kritis berdasarkan *Reliability Centered Maintenance II worksheet (RCM)*.

2. METODOLOGI

2.1 FBD (*Functional Block Diagram*)

Functional block diagram digunakan untuk mendeskripsikan sebuah sistem yang digunakan untuk mengetahui komponen – komponen yang terdapat dalam sistem dan bagaimana komponen tersebut bekerja sesuai dengan fungsinya. data fungsi peralatan dan cara beroperasinya, dipakai untuk membuat definisi dan dasar untuk menentukan kegiatan perawatan serta pencegahan terjadinya kerusakan.

2.2 FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) & RPN (Risk Priority Number)

Analisa FMEA memfokuskan pada penyebab kegagalan dan mekanisme terjadinya kegagalan (Moubray, 1997). FMEA sering digunakan sebagai langkah awal untuk melakukan studi terhadap keandalan. Melibatkan banyak tinjauan terhadap komponen – komponen, rakitan, dan subsistem yang kemudian diidentifikasi kemungkinan bentuk kegagalannya, serta penyebab dan efek dari masing masing kegagalan. Untuk tiap komponennya, setiap bentuk kegagalan dan efek yang ditimbulkannya pada sebuah sistem akan dituliskan pada *form* FMEA yang telah dibuat.

RPN (Risk Priority Number) adalah sebuah teknik yang digunakan untuk menganalisa risiko dengan menghubungkan potensial masalah yang diidentifikasi dalam *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). Metode RPN ini selanjutnya akan digunakan oleh peneliti untuk dapat menggunakan pengalaman yang dimilikinya serta kemampuan *engineering* yang dimilikinya untuk memberikan keputusan dalam menentukan tingkat potensi masalah sesuai dengan 3 *rating* skala RPN sebagai berikut :

- Severity* merupakan tingkat keparahan dari efek potensial bentuk dari kegagalan (*potential failure mode*) yang dialami.
- Occurrence* merupakan tingkat yang menyatakan kemungkinan suatu kegagalan akan terjadi sepanjang masa desain sistem.
- Detection* merupakan tingkat yang menyatakan kemungkinan sebuah *failure mode* dapat dideteksi dengan mengaplikasikan suatu metode deteksi atau dengan melakukan tindakan pengendalian (*current control*) yang diberikan sebelum mencapai *end-user* sebelum meninggalkan fasilitas produksi.
Setelah *rating* ditentukan selanjutnya tiap pokok persoalan dikalkulasi dengan mengalikan *severity*, *occurrence* dan *detection*.

$$RPN = Severity \times Occurrence \times Detection$$

Nilai RPN yang muncul menunjukkan tingkat kepentingan terhadap perhatian yang diberikan untuk area/ komponen yang terdapat dalam sistem. Setelah nilai RPN keseluruhan komponen di dapatkan, selanjutnya dilakukan penentuan komponen kritis, suatu komponen dikategorikan sebagai komponen kritis jika memiliki nilai RPN di atas nilai kritis (Revitasari, 2014). Berikut persamaan yang dapat digunakan dan tabel kriteria *Severity*,

Occurance dan *Detection* menurut Blanchard dan Mc.Dermott (dalam Putri, 2017) yang telah disetujui oleh kepala *maintenance* serta teknisi dari industri galangan kapal diantaranya sebagai berikut:

$$RPN = \frac{Total\ nilai\ RPN}{Jumlah\ RPN} \quad (2.1)$$

2.3 Pengolahan Data Kualitatif

Pengolahan data kualitatif ini digunakan untuk menentukan waktu perbaikan yang optimal dengan mempertimbangkan beberapa aspek hasil perhitungan yaitu :

- Hasil distribusi parameter dari *software weibull 6.0++*
- Perhitungan MTTF dan MTTR dengan menggunakan persamaan :

$$MTTF = \eta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) Weibull\ 2 \quad (2.2)$$

$$MTTR = \gamma + \eta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) Weibull\ 3 \quad (2.3)$$

- Perhitungan CM (*Cost Maintenance*) dan CR (*Cost Repair*).
- Perhitungan TM (Interval Perawatan Optimal).

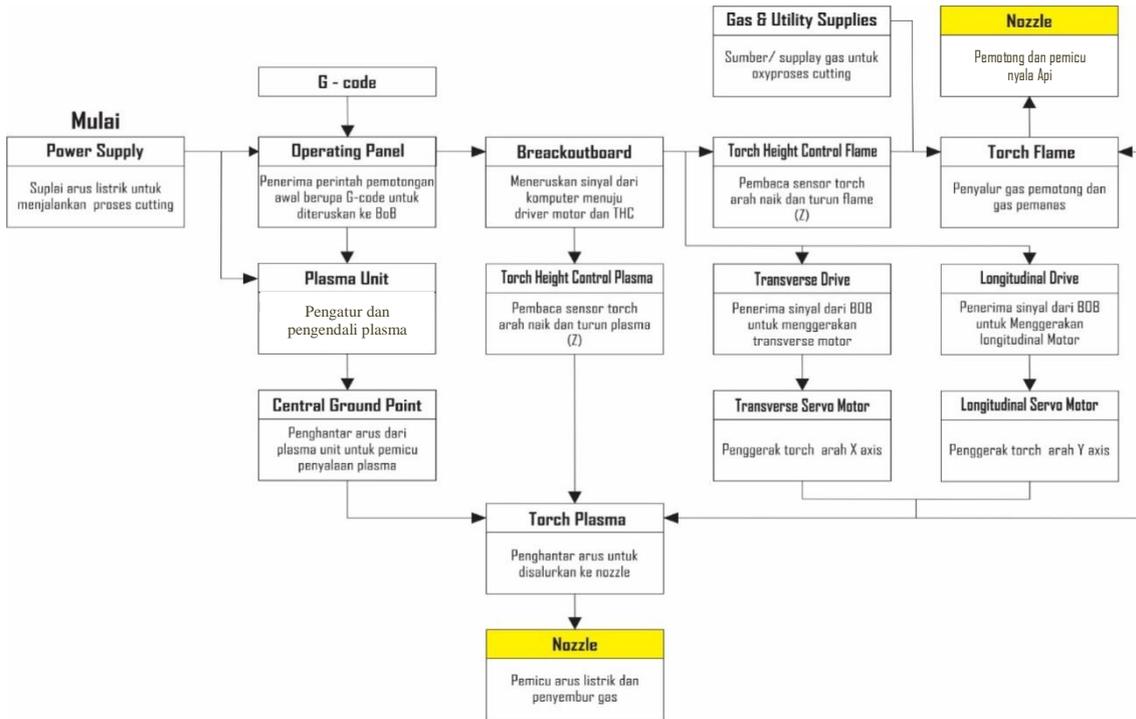
$$TM = \eta \left[\frac{1}{\beta-1} \times \frac{CM}{CR-CM} \right]^{\frac{1}{\beta}} \quad (2.4)$$

$$TM = \frac{P-F\ interval}{2} \quad (2.5)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 FBD (Functional Block Diagram)

Functional block diagram digunakan untuk mengetahui sistem secara keseluruhan mengenai *CNC Flame Plasma Cutting* dapat beroperasi. Pendeskripsian ini juga untuk mempermudah dalam menemukan keterkaitan antar fungsi komponen *CNC Flame Plasma Cutting* dalam memenuhi fungsi utamanya. Berikut ini adalah gambar mengenai *functional block diagram CNC Flame Plasma Cutting*.



Gambar 1. Function Block Diagram CNC Flame Plasma Cutting

3.2 FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) & RPN (Risk Priority Number)

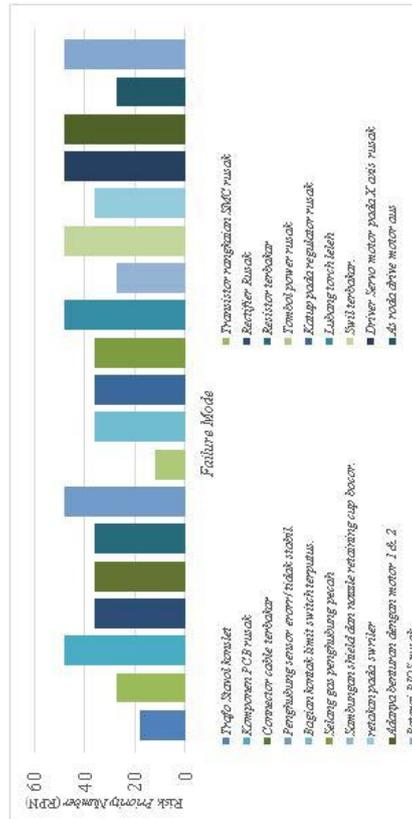
FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) digunakan untuk mengidentifikasi bentuk kegagalan fungsi pada CNC Flame Plasma Cutting. Data – data yang diperlukan adalah *function, functional, failure, description of failure*, serta *failure effect* dari tiap – tiap komponen pada CNC Flame Plasma Cutting. Data tersebut diperoleh dengan cara *brainstroming* dan diskusi dengan departement *maintenance* dan departement K3 pada perusahaan manufaktur tersebut. Sedangkan RPN (Risk priority Number) digunakan untuk mengetahui komponen kritis dan perlu perhatian khusus dengan mengkalikan nilai *severity, occurrence, dan detection* dimana, suatu komponen dikategorikan sebagai komponen kritis jika memiliki nilai RPN di atas nilai kritis. Berikut merupakan persamaan (2.1) yang dapat digunakan dalam menentukan komponen kritis :

$$\text{Nilai kritis RPN} = \frac{\text{Total nilai RPN}}{\text{Jumlah RPN}}$$

$$\text{Nilai Kritis RPN} = \frac{18+27+48+36+36+36+48+12+36+36+36+48+27+48+27+48+36+48+48+27+48}{19} = 37$$

Dari perhitungan diatas didapatkan nilai kritis yaitu sebesar 37. Dimana, komponen yang memiliki nilai RPN diatas dari nilai kritis termasuk dalam komponen kritis dari mesin CNC Flame Plasma Cutting. Hasil dari penentuan komponen kritis ini kemudian akan dianalisis lebih lanjut mengenai perawatan yang

tepat. Berikut gambar grafik jenis kerusakan dan nilai RPN pada CNC Flame Plasma Cutting:



Gambar 2. Failure Mode dan RPN pada CNC Flame Plasma Cutting

Berdasarkan Gambar 2 sebelumnya, dapat diambil kesimpulan beberapa komponen kritis yaitu komponen yang mempunyai nilai *Risk Priority Number*(RPN) diatas nilai kritis yaitu diatas 37. Komponen-komponen tersebut diantaranya adalah komponen *UPS* dengan *failure mode* komponen PCB rusak, *Operating panel*, *THC (torch height control)*, *Cutting Nozzle Flame*, *Nozzle Torch Plasma 1, X axis motor servodan Y Axis motor servo*.

3.3 Pengolahan Data Kualitatif

Pengolahan data kualitatif pertama kali melakukan input data kerusakan *CNC Flame Plasma Cutting* kedalam *software weibull 6.0++*. dimana hasil yang didapatkan berupa distribusi (weibull 2, weibull 3, normal, log normal) serta parameter (β , η , γ , μ , σ). Berikut ini merupakan rekap Perhitungan Jenis Distribusi Kegagalan komponen kritis :

Tabel 1: Rekap Perhitungan Jenis Distribusi Kegagalan komponen kritis

No	Sub Sistem	Equipment	Distribusi	Keterangan	Parameter					
					β	η	γ	μ	σ	
1.	Electrical	UPS	Weibull 2	TTF	3.4312	3325,6881				
			Weibull 3	TTR	6,3956	5,4382	2,6912			
2.	Controller	Operating panel	Weibull 2	TTF	3,5749	4130,2221				
			Log Normal	TTR				2,6754	0,2804	
3.	Flame Torch and gas supplies	Cutting Nozzle	Weibull 2	TTF	10,5574	2683,7831				
			Weibull 3	TTR	0,4942	3,2228	3,4663			
4.	Plasma Torch	THC (torch height control)	Weibull 2	TTF	3,2731	4909,8009				
			Weibull 2	TTR	9,1245	6,7681				
5.	Plasma Torch	Nozzle Torch	Weibull 2	TTF	3,5673	3994,2362				
			Weibull 3	TTR	2,5194	3,4099	3,1262			
			Weibull 2	TTF	3,28	4208,7948				
6.	Driver & Servo Motor	X axis motor servo	Log normal	TTR						2,1746
		Y Axis motor servo	Weibull 2	TTF	2,928	3721,5019				
			Weibull 2	TTR	3,2161	15,2536				

Hasil distribusi dan parameter tersebut digunakan untuk mencari MTTF dan MTTR dengan persamaan rumus 2.2 dan 2.3 kemudian dilakukan perhitungan mengenai CM (*Cost Maintenance*) dan CR (*Cost repair*). Dimana dalam menentukan CM dibutuhkan data total dari gaji tim *maintenance* dan biaya material dalam melakukan kegiatan perawatan. Sedangkan untuk menentukan CR dibutuhkan data tim *maintenance*,

biaya konsekuensi operasional, biaya pergantian komponen, dan MTTR.

Perhitungan mengenai TM (interval perawatan optimal) dapat dicari menggunakan persamaan rumus 2.4 untuk *scheduled dischard task* dan *scheduled restoration task*.

Tabel 2: Rekap Perhitungan TM (interval perawatan optimal) Komponen kritis

Equipment	C _R (Rp)	C _M (Rp)	MTTF(Jam)	TM(Jam)
UPS	2.708.509	185.500	2988,79	1199,67
Controller / CNC	4.367.836	185.500	3708,93	1269,85
Nozzle Flame	3.541.378	185.500	2558,71	1646,13
THC (torch height control)	6.876.587	185.500	4402,12	1277,51
Nozzle Plasma	1.626.890	185.500	3597,42	1725,98
X axis motor servo	6.344.464	185.500	3768,81	1125,28
Y Axis motor servo	3.536.196	185.500	3319,57	1106,91

3.4 RCM II Decision Worksheet

RCM II *Decision Worksheet* merupakan tahapan dari RCM II setelah identifikasi kegagalan dalam bentuk FMEA. Dalam *decision worksheet* ini akan ditentukan jenis kegiatan perawatan yang sesuai untuk setiap *failure mode* dari setiap komponen kritis *CNC Flame Plasma Cutting*, dimana pengisian *decision worksheet* dibantu dengan RCM II *decision diagram*. Berikut merupakan tabel RCM II *Decision Worksheet* Komponen kritis :

Tabel 3: RCM II *Decision Worksheet* komponen kritis

No	Equipment	Information Reference	FM	Consequence Evaluation												Initial Interval (hours)	Cm Bc (Rp)	
				H	S	E	O			I			D					
							NI			NI								
A.2	User (Maintenance/Power-Supply)	Sebagai bagian dari pemeliharaan, secara berkala memeriksa, mengganti, memperbaiki, dan mengganti BOB	Komponen PCB rusak	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	1199,67	Mechanic
B.1	Operating panel	Tidak dapat membaca kode untuk pemrograman manual BOB	Boresi	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	1269,85	Mechanic
C.3	Cutting Nozzle Flame	Sebagai pemotong plat melakukan pemrograman pada alat flame cutting	Labover Nozzle ialah taklaka pemotong plat	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	1646,13	Mechanic

4. KESIMPULAN

1. Hasil identifikasi kegagalan menggunakan FMEA menunjukkan bahwa terdapat 19 bentuk kegagalan (*Failure modes*) menyebabkan terjadinya *functional failures* pada CNC *flame plasma cutting machine*. Hasil penentuan komponen kritis dengan *risk priority number* (RPN) menunjukkan bahwa komponen yang memiliki nilai *risk priority number* (RPN) diatas nilai kritis merupakan komponen kritis yang perlu mendapatkan prioritas utama untuk diperhatikan terdiri dari komponen UPS, *Operating panel*, *THC (torch height control) plasma*, *Cutting Nozzle Flame*, *Nozzle Torch Plasma 1,X axis motor servo*, dan *Y Axis motor servo*.
2. Jenis perawatan yang tepat pada komponen – komponen kritis :
 - a. *Restoration Task*
Komponen kritis yang mendapatkan perlakuan *Restoration Task* yaitu pada *Cutting Nozzle Flame* yaitu dengan pelumasan pada *o-ring*, pembersihan ujung *nozzle set ulang Torch* dan *Y axis motor* yaitu dengan setting ulang dan melakukan kalibrasi dan pada *Y Axis Motor servo* yaitu dengan setting ulang dan melakukan kalibrasi.
 - b. *Discard Task*
Komponen kritis yang mendapatkan perlakuan *Discard Task* yaitu pada *UPS (Uninterruptible Power Supply)* dengan melakukan penggantian *PCB*, pada *Operating panel* dengan penggantian baterai *BIOS, THC (torch height control) Plasma* dengan penggantian komponen *THC, Nozzle torch plasma* dengan penggantian komponen *Nozzle. X axis motor* dengan penggantian komponen *driver servo motor*.
3. Berdasarkan perhitungan pada sub bab sebelumnya mengenai perhitungan interval perawatan optimal dari komponen kritis telah didapatkan hasil yaitu sebagai berikut yang pertama didapatkan interval perawatan optimal 1199,67 jam untuk komponen UPS dengan *failure mode* PCB rusak, 1269,85 jam untuk *Controller cnc* dengan *failure mode* yaitu *Baterai BIOS rusak/error*, 1646,13 jam untuk *Cutting NozleFlame* dengan *failure mode* nya yaitu *Lubang Nozzle rusak/leleh*, 1277,51 jam untuk *THC (torch height control) Plasma* dengan *failure mode* nya yaitu *sensor torch error*, 1725,98 jam untuk *Nozzle Torch Plasma* dengan *failure mode* nya yaitu *Swil* pada *nozzle* terbakar, 1125,28 jam untuk *X axis motor servo* dengan *failure mode* nya

yaitu *driver servo motor* rusak, 1106,91 jam untuk *Y Axis motor servo*. Nilai – nilai interval perawatan optimal (TM) dari masing – masing komponen kritis yang didapat tersebut telah lebih kecil dari nilai *Mean Time To Failure* (MTTF)- nya, hal ini mengindikasikan bahwasanya interval perawatan optimal pada komponen kritis *CNC Flame Plasma Cutting Machine* ini telah ditemukan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Blanchard, B.J. (1995). *Maintainability: A key to effective service ability & Maintenance Management*. Jhon Willey & Sons, New-York.
- [2] Dhillon, B.S. (2002). *Engineering Maintenance a Modern Approach*. USA: CRC Press.
- [3] Ebeling, Charles (1997). *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. McGraw Hill Companies, Singapore.
- [4] Haryono.(2004). *Perencanaan Suku Cadang Berdasarkan Analisis Reliabilitas*. Laporan Penelitian MIPA, Statistika-ITS
- [5] Moubray, J. (1997). *Reliability Centered Maintenance 2nd Edition*. New York: Industrial Press Inc.
- [6] Putri, C. (2017). *Perencanaan Kegiatan Perawatan pada Hooklift RO Truck di PT.X Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) II*. Tugas Akhir. Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya.
- [7] Rahman, A. (2016). *Analisis Interval Perawatan Komponen Kritis berdasarkan nilai Availability pada Conveyor*. Rekayasa dan Manajemen Sistem Industri. Vol 4 No. 3, pp. Universitas Brawijaya, Malang.
- [8] Revitasari, C dan Oyong Novareza.(2014). *Penentuan Jadwal Preventive Maintenance Mesin - Mesin Di Stasiun Gilingan (Studi Kasus PG. Lestari Kertosono)*. Jurnal Rekayasa dan Manajemen Sistem Industri. Vol 3 No. 3. Teknik Industri Universitas Brawijaya, Malang.

Pengendalian Kualitas Untuk Mengurangi Botol Bocor Pada Departemen *Blow Molding* Di Industri *Packaging*

Nadia Rizki Ariyani^{1*}, Renanda Nia², dan Aditya Maharani³

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.¹

Program Studi Teknik Manajemen Bisnis, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.^{2,3}

E-mail: nadia.ariyani@gmail.com^{1*}

Abstract – As time goes by, quality becomes one of the most important things. Indicator good products, resulting from the good quality control. The product result from packaging industry varies so as to cause analysis and control processes quality becomes unequal and not maximal. In this case, the researcher using the Six Sigma method with DMAIC's phase (Define, Measure, Analyze, Improve, Control). There are many tools that the researcher used, like project charter, SIPOC's diagram, Voice of customer (VOC), control chart, Fault Tree Analysis (FTA), Failure Mode Effect Analysis (FMEA). From the results project charter is obtained that is the problem regarding how to reduce customer complaints against BT products 8251 (42%) to (15%). Then the results of the control chart (u-chart) that reject of the product sent to customer has not been controlled. After that, the causes were analyzed using Fault Tree Analysis (FTA). Improvements are recommended to reduce defects based on RPN (Risk Priority Number) from Failure Mode Effect Analysis (FMEA). There are several suggestions that are tried to be applied in the industry but it still cannot be seen being followed up.

Keywords: Quality Control, Six Sigma, DMAIC, Customers, Plastic Bottles, Customers

1. PENDAHULUAN

Seiring dengan berkembangnya zaman, konsumen menjadi lebih kritis dalam memilih dan menentukan sebuah produk atau jasa yang akan digunakan. Terlihat dari cara memilih dan menentukan sebuah produk atau jasa. Kualitas produk yang baik, dihasilkan dari pengendalian kualitas yang baik pula. Oleh karena itu, banyak perusahaan menggunakan metode tertentu dalam menghasilkan suatu produk demi tercapainya suatu standar kualitas (Wiyono & Wiwi, 2014:81). Industri *packaging* yang bergerak dibidang produksi kemasan botol plastik dan kemasan produk kosmetik, produk yang dihasilkan pun beranekaragam (bervariasi) sesuai dengan yang diinginkan oleh pihak *customer*. Sehingga menyebabkan proses analisis dan pengendalian kualitas di industry tersebut tidak berjalan merata dan maksimal. Hal ini dibuktikan dengan banyak ditemukan kesalahan pada saat

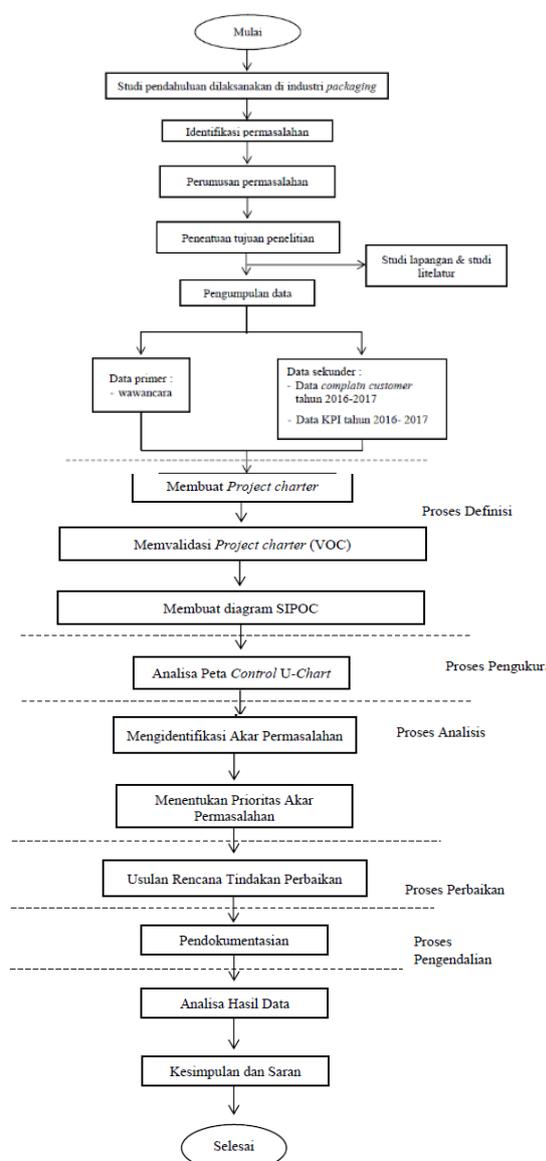
proses produksi sehingga menyebabkan adanya complain dari *customer* ketika barang sudah sampai ketangan *customer*. Berdasarkan data complain customer tahun 2016-2017 didapatkan bahwa complain terbanyak yaitu mengenai *defect* fungsi (botol bocor).

Penelitian akan focus pada *scope quality* dan metode yang akan digunakan dalam penelitian adalah DMAIC: Define, Measure, Analyze, Improve, Control. Berdasarkan latarbelakang yang telah diuraikan tersebut, beberapa masalah yang dapat dirumuskan adalah:

- 1) Faktor-factor apa sajakah yang menjadi penyebab botol bocor lolos hingga ke *customer*?
- 2) Bagaimana cara menerapkan metode *six sigma* dalam mengendalikan kualitas produk botol bocor dan menekan terjadinya botol bocor agar tidak lolos ke *customer*?

2. METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan berdasarkan tahapan DMAIC yang sistematis dengan langkah-langkah sebagai berikut.



Gambar 1. Diagram Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Metode analisis yang digunakan penulis mengacu pada prinsip-prinsip yang terdapat dalam metode *six sigma*. Untuk menerapkan pengendalian kualitas dengan menggunakan *six sigma*, memerlukan sejumlah tahapan analisis yang dikenal dengan tahapan DMAIC (*Define, Measure, Analysis, Improve dan Control*). Berikut adalah penguraian analisa penelitian dengan menggunakan lima tahapan analisis DMAIC:

3.1. Tahap Define

Pada tahap ini yang pertama kali dilakukan adalah menentukan *project charter*, dimana pada *project charter* berisikan mengenai definisi permasalahan berdasarkan skala prioritas yang telah ditentukan, tujuan (*goals*), sasaran, ruang lingkup. Kemudian memvalidasi *project charter* dengan cara mengumpulkan *voice of customer*, serta cara membuat SIPOC Diagram. Berikut adalah tahap define :

Tabel 1: Project Charter

Informasi Penelitian dan Tim Peneliti	
Nama Penelitian :	Analisis Pengendalian Kualitas Untuk Mengurangi Botol Bocor Pada Departemen <i>Blow molding</i> Di Industri <i>Packaging</i>
Peneliti :	Nadia Rizki Ariyani
Mulai :	13 Maret 2018
Selesai :	05 Juli 2018
Permasalahan	
Banyaknya komplain <i>customer</i> pada tahun 2016 – 2017 perihal <i>defect</i> fungsi sebanyak 35% dari 144 komplain. Bila di breakdown kembali yang menjadi penyebab banyaknya komplain pada <i>defect</i> fungsi adalah akibat dari bocor sebesar 47% dari 51 atau sebanyak 24 pengaduan. Produk yang sering mendapatkan pengaduan yaitu BT 8251 (42 %). Hal ini bila permasalahan komplain <i>customer</i> perihal botol bocor tidak segera di selesaikan, maka akan dapat merugikan perusahaan.	
Roles and Responsibilities	
Data yang bisa diakses sesuai dengan kebutuhan penelitian dan hak akses dari perusahaan.	
Tujuan dan Ruang Lingkup Penelitian	
Tujuan dari penelitian ini adalah mengurangi komplain <i>customer</i> mengenai produk botol bocor BT 8251 pada Departemen <i>Blow molding</i> dan menekan produk botol bocor BT 8251 dari 42% menjadi 15%. Ruang lingkup penelitian ini adalah berfokus pada segi <i>qualitycontrol</i> dan tidak membahas penyebab lain terkait botol bocor yang lolos ke <i>customer</i> .	
Risiko Penelitian	
Tidak semua saran bisa di implementasikan di waktu yang bersamaan dan pada waktu peneliti melakukan penelitian di industri.	

Hasil *voice of customer* (VOC) yang didapat:

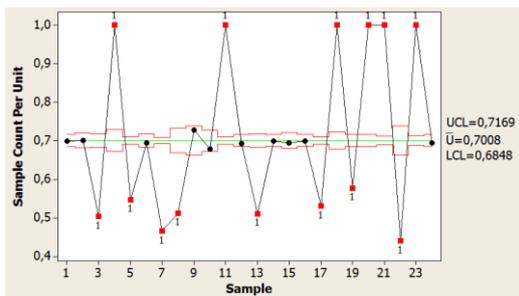
1. Kualitas produk harus sesuai dengan standar yang telah ditetapkan (baik dari segi fungsi, dimensi dan *appearance*).
2. Ketepatan dan kecepatan waktu pengiriman produk.
3. Harga dan biaya yang ditawarkan.
4. Kemudahan dalam melakukan administrasi.
5. Cepat dan tanggapan dalam menerima complain atau saran.

Tabel 2: Diagram SIPOC

Supplier	Input	Process	Output	Customer
Sales	-SO	Pengecekan oleh selektor Statistical Quality control Equipment Maintenance	Product refer to customer requirement	External Customer
MPC	-Resin/Material			
PMC	-Work Order			
Production	-IP, CRB, DRB			
Moldshop	-Mold			
Warehouse	-supporting material			

3.2. Tahap Measure

Tahap *Measure* berfokus pada pemahaman kinerja proses yang dipilih untuk diperbaiki, serta pengumpulan data yang diperlukan untuk dianalisis. Pada tahap *measure* menggunakan *tool control chart* (u-chart). Berikut ini adalah perhitungan batas kendali pada *defect* bocor pada tahun 2016-2017 dengan menggunakan bantuan software minitab.

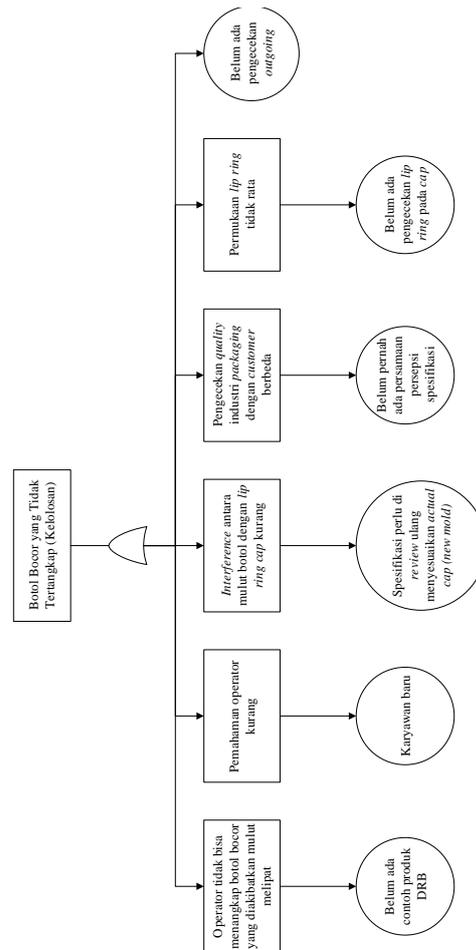


Gambar 2. Diagram U – Chart

Pada gambar 2 tersebut terdapat 14 titik yang masih diluar kendali. Maka dapat dikatakan bahwa *complain customer* akibat produk *reject defect* bocor tidak terkendali secara statistik. Penanggulangan agar proses terkendali secara statistik adalah dengan mencari syarat penyebab terjadinya data yang *out of control* agar dapat mengurangi produk *reject defect* bocor diluar batas kendali.

3.3. Tahap Analysis

Pada tahap ini dipergunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor apa saja yang mempengaruhi produk botol bocor BT 8251 lolos hingga ke customer dengan menggunakan bantuan *tool* FTA kemudian mencari prioritas serta penggunaan RPN (*Risk Priority Number*) pada *tool* FMEA untuk menentukan prioritas perbaikan.



Gambar 3. Faktor-Faktor permasalahan Botol Bocor yang Tidak Tertangkap dengan Tool FTA

Tabel 3: Tabel FMEA

Mode Kegagalan Potensial	Akibat Potensial Dari Mode Kegagalan	Penyebab Kegagalan	S	O	D	RPN
Botol bocor yang kelolosan	Komplain dari pihak customer karena produk tidak sesuai dengan standar.	Belum ada contoh produk pada DRB (<i>Defect Range Board</i>)	4	7	8	224
		Pemahaman operator kurang	4	7	7	196
		Spesifikasi perlu direview ulang menyesuaikan dengan actual cap (cetakan baru)	7	7	6	294
		Belum pernah ada persamaan persepsi spesifikasi dengan pihak customer.	9	7	6	378
		Belum ada pengecekan outgoing	8	7	7	392
		Belum ada pengecekan permukaan lip ring cap	10	7	6	420

3.4. Tahap Improve

Berdasarkan nilai *Risk Priority Number* (RPN) pada tabel 3, didapatkan penyebab yang mempunyai tingkat kegagalan *mayor* dan mempunyai peranan penting.

Tabel 4: Usulan Tindakan Perbaikan

Penyebab Kegagalan	Usulan Tindakan Perbaikan	Hasil yang diharapkan
Belum ada contoh produk pada DRB (<i>Defect Range Board</i>)	Membuat contoh produk pada DRB (<i>Defect Range Board</i>)	Selektor, inspektor jadi lebih memahami seperti apa ciri-ciri dari produk yang mengalami bocor, sehingga dapat meminimalisir tingkat kelolosan.
Belum ada pengecekan permukaan <i>lip ring cap</i>	Dilakukan pengecekan permukaan <i>lip ring cap</i>	Tidak ditemukannya permukaan <i>lip ring</i> yang bergelombang atau tidak rata. Karena permukaan <i>lip ring</i> yang bergelombang berpotensi terjadi rembes ada botol
Belum ada pengecekan <i>outgoing</i>	Dilakukan pengecekan <i>outgoing</i>	Dengan adanya pengecekan <i>outgoing</i> maka pengecekan menjadi lebih ketat (<i>double inspection</i>) sehingga produk-produk yang mengalami <i>defect</i> tidak hanya botol bocor saja tidak sampai lolos ketangan <i>customer</i> .
Belum pernah ada persamaan persepsi spesifikasi	Dilakukan penyamaan persepsi spesifikasi antara yang dilakukan oleh pihak <i>quality</i> industri dengan <i>quality customer</i>	Tidak terjadi <i>miss communication</i> dan jadi lebih mengerti cara melakukan inspeksi yang dilakukan oleh pihak <i>customer</i> . Sehingga apabila terjadi komplain perihal <i>defect</i> pihak <i>quality</i> industri bisa lebih sigap dalam menelusuri penyebab selain dari faktor <i>internalnya</i> .
Spesifikasi perlu di <i>review</i> ulang menyesuaikan dengan <i>actual cap</i> (cetakan baru)	Dilakukan <i>review</i> ulang mengenai antara produk botol dengan <i>cap</i> .	Tidak ditemukannya produk botol yang rembes

3.5. Tahap Control

Merupakan tahap akhir, memperbaiki kesalahan-kesalahan yang muncul setelah pengimplementasian dan penetapan standar.

Tabel 5: Action Plan And Result

Usulan Tindakan Perbaikan	Waktu Perbaikan	Penanggung Jawab (PIC)	Result
Dilakukan pengecekan <i>outgoing</i>	Week 26	Arif W.	Belum ada hasil
Dilakukan persamaan persepsi antara yang dilakukan oleh pihak industri dengan <i>customer</i> .	Week 27	Tinton H.	Belum ada hasil

4. KESIMPULAN

Setelah dilakukan analisis dengan menggunakan metode DMAIC terhadap produk botol bocor, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa :

- Faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya botol bocor yang lolos ke *customer* adalah :
 - Belum ada contoh produk pada DRB (*Defect Range Board*)
 - Karyawan baru
 - Belum ada pengecekan permukaan *lip ring cap*
 - Belum ada pengecekan *outgoing*
 - Belum pernah ada persamaan persepsi spesifikasi
 - Spesifikasi perlu *review* ulang menyesuaikan dengan *actual cap* (cetakan baru)
- Berdasarkan hasil analisis didapatkan :
 - Pada fase *Define* dihasilkan permasalahan mengenai cara untuk mengurangi komplain *customer* perihal produk botol bocor BT 8251 42% menjadi 15%, sesuai dengan *Voice of customer* (VOC)
 - Pada fase *measure* dihasil bahwa produk *rejectdefect* bocor belum terkendali dengan baik secara statistikal.
 - Pada fase *analysis*, penggunaan *tool* FTA untuk menentukan faktor-faktor permasalahan, serta penggunaan RPN (*Risk Priority Number*) pada *tool* FMEA untuk menentukan prioritas perbaikan.
 - Pada fase *improve* digunakan untuk membuat usulan perbaikan, dimana usulan perbaikan sebagai berikut :
 - Membuat contoh produk bocor (*Defect Range Board*).
 - Dilakukan pengecekan *outgoing*.
 - Dilakukan persamaan persepsi spesifikasi antara yang dilakukan oleh pihak *quality* industri dengan *quality customer*.
 - Dilakukan *review* ulang menyesuaikan dengan *actual cap* (cetakan baru).
 - Dilakukan pengecekan *lip ring cap* .
 - Pada fase *control* hanya beberapa saran yang dapat dilakukan yaitu:
 - Dilakukan pengecekan *outgoing*.
 - Dilakukan persamaan persepsi spesifikasi antara yang dilakukan oleh pihak *quality* industri dengan *quality customer*.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Gaspersz, V. (2005). **Total Quality Management**. PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Nasution, M. Nur. (2015). **Manajemen Mutu Terpadu (Total Quality Management)**. Ghalia Indonesia, Bogor.

- [3] Syukron, Amin dan M. Kholil. (2013). *Six sigma :Quality for Business Improvement*. Graha Ilmu, Yogyakarta.
- [4] Wiyono, Sigid B., & U. Wiwi. (2014). *Analisis Pengendalian Kualitas Produk Botol DK 8211 B dengan Statistical Process Control (SPC) Studi Kasus di PT. Rexam Packaging Indonesia*. **JTM**, Vol.3, No.1, pp.80-88.

Pengukuran Tingkat Ketidaksesuaian Ketebalan Dinding Galon (*Jugs*) Melalui Pendekatan *Statistical Process Control* (SPC)

Daisykarenas Siwi^{1*}, Anda Iviana Juniani², Wiediartini³

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri
Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia^{1,2}

Program Studi Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan
Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.³

E-mail: daisykarensiwi@gmail.com^{1*}

Abstract – Quality is one of the important things that consumers consider in choosing the product they will use. The high level mismatch of gallon wall thickness that occurred as of December 2017 to meet the specifications reached 80,87% at point A0; 0,007% at point A1; 91,6% at point A2; 2,39% at point A3; 98,4% at point A4; 92,03% at point C0; 10,35% at point C1; 36,65% at point C2; 30,67% at point C3; and 96,81% at point C4. So quality must be maintained as an effort to attract the attention of consumers and consumer interest in using gallons from this plastic packaging industry. To analyze the quality of gallons used the SPC approach and process capability analysis. After analyzing the process production of gallon through the SPC approach using the I-MR control chart there are still many points out of control at any point observation that is A0, A1, A2, A3, A4, C0, C1, C2, C3, and C4. Process capability analysis also shows that there is a process that is said to be improper ($C_p < 1,00$) must be repaired even though the process is perfect and unable to meet the specified thickness specifications ($C_{pk} < 1,00$) indicates the accuracy of the process is less which means it needs to be done improvement by find the root cause of the problem.

Keywords: Analisis Kemampuan Proses, Statistical Process Control (SPC).

1. PENDAHULUAN

Industri yang berkembang pesat di Indonesia salah satunya adalah industri plastik (*plastic industry*). Proses produksi menggunakan teknik *blow moulding* ini sangat diminati bagi kalangan yang membutuhkan kemasan botol untuk produknya seperti industri racun/pestisida pertanian, industri farmasi, industri air minum dalam kemasan (AMDK), dan lain sebagainya. Dengan tujuan produk mereka akan jauh lebih terlindungi, tahan lama, dan dalam kondisi baik saat diterima oleh konsumen.

Kualitas adalah faktor kunci yang membawa keberhasilan bisnis, pertumbuhan, dan peningkatan – peningkatan posisi secara bersaing (Montgomery, 1993). Sehingga diperlukan adanya kegiatan memonitor dan menjaga kualitas pada suatu proses produksi suatu produk. Penelitian ini dilakukan pada bagian produksi Galon di industri kemasan plastik. Pada perusahaan ini permintaan pasar cukup tinggi, namun masih kerap terjadi ketebalan dinding yang tidak sesuai dengan spesifikasi sehingga produk menjadi *reject* dan *hold*. Untuk mengetahui permasalahan tersebut maka perlu dilakukan analisis seberapa besar terjadinya ketidaksesuaian ketebalan dinding galon terhadap spesifikasi yang telah ditentukan. Produksi galon dilakukan selama 24 jam *non stop*, proses dan inspeksi diawasi oleh bagian *quality control*. Inspeksi untuk mengukur ketebalan dinding galon dilakukan dengan mengukur 10

titik pada bagian galon yaitu A1, A2, A3, A4, C0, C1, C2, C3, dan C4 dengan mengambil 1 sampel dari hasil produksi setiap 1 jam sekali. Metode yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan dalam penelitian ini adalah SPC (*Statistical Process Control*). Menurut Heizer dan Render (2016) SPC adalah memonitor standar, melakukan pengukuran, dan mengambil tindakan perbaikan saat barang atau jasa sedang dihasilkan. *Tools* yang digunakan diantaranya peta kendali I-MR untuk mengetahui apakah ketidaksesuaian ketebalan dinding yang terjadi pada produksi galon masih dalam batasan yang ditentukan atau sebaliknya, analisis kemampuan proses untuk mengetahui apakah proses tersebut sesuai dan dapat memenuhi batas – batas spesifikasi yang telah ditentukan oleh perusahaan atau tidak.

Tujuan yang ingin dicapai melalui penelitian ini yaitu menganalisa ketidaksesuaian ketebalan dinding galon melalui pendekatan SPC, dan mengetahui suatu kemampuan proses dari proses produksi galon sehingga dapat memperkirakan seberapa baik proses tersebut memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan.

2. METODOLOGI

a. Histogram

Suatu alat pengendalian statistik yang berbentuk diagram batang yang dapat menunjukkan distribusi, sebaran, dan pola distribusi dari data proses yang diolah. Langkah membuat histogram :

1. Mengumpulkan data pengukuran.
2. Tentukan besarnya *range* (R).

$$R = X_{max} - X_{min} \quad (1)$$
3. Tentukan banyaknya kelas interval. Dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Susanti, 2010):

$$k = 1 + 3,3 \log (n) \quad (2)$$
4. Tentukan interval kelas, batas kelas, dan nilai tengah kelas.
 - a. Lebar setiap kelas interval (L) dapat dilihat pada persamaan di bawah ini :

$$L = \frac{R}{K} = \frac{(\text{Nilai terbesar} - \text{Nilai terkecil})}{\text{Banyaknya kelas interval}} \quad (3)$$
 - b. Tetapkan batas interval, dimana setiap data pengukuran harus jatuh atau berada diantara dua batas kelas (batas bawah dan batas atas).
 Ujung bawah kelas 1 =
 Nilai minimal (paling kecil) (4)
 Ujung atas kelas 1 =
 (Ujung bawah kelas 1 + L) - 1 (5)
 Ujung bawah kelas ke-n =
 Ujung atas kelas ke (n - 1) + 1 (6)
 Ujung atas kelas ke-n =
 (Ujung bawah kelas (n)+L) - 1 (7)
 - c. Tentukan nilai tengah dengan menggunakan persamaan berikut :
 Nilai tengah kelas pertama =
 (batas bawah + batas atas kelas pertama)/2 (8)
5. Tentukan frekuensi dari setiap kelas interval.
6. Membuat *histogram*
7. Setelah itu melihat nilai *skewness* dan *kurtosis* dari kurva yang dihasilkan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (Dajan, 2000) :

- a. Persamaan koefisien kecondongan/*skewness*

$$sk = \frac{\bar{x} - [\bar{x} - 3(\bar{x} - Md)]}{s} \quad (9)$$

$$= \frac{3(\bar{x} - Md)}{s} \quad (10)$$

- b. Untuk menghitung besarnya suatu keruncingan/*kurtosis*

$$\alpha_4 = k = \frac{\sum fi (X_i - \bar{X})^4}{n \times s^4} \quad (11)$$

b. Peta Kendali I-MR

Ariani (2004) mengatakan pada berbagai situasi, perusahaan atau organisasi hanya menghasilkan beberapa unit, bahkan satu unit saja. Oleh karenanya, maka digunakan peta pengendali individu yang hanya menggunakan pengujian terhadap satu unit produk.

c. Analisis Kemampuan Proses

Process Capability atau kemampuan proses adalah kemampuan suatu proses untuk memenuhi spesifikasi desain, dimana ditetapkan oleh desain rekayasa teknik atau kebutuhan konsumen (Heizer dan B. Render, 2016).

Rasio kapabilitas proses (C_p), dihitung dengan :

$$C_p = \frac{\text{spesifikasi atas} - \text{spesifikasi bawah}}{6\sigma} \quad (12)$$

Indeks kapabilitas proses mengukur perbedaan diantara dimensi yang diinginkan dengan aktual atas barang atau jasa yang dihasilkan. Rumus untuk C_{pk} adalah :

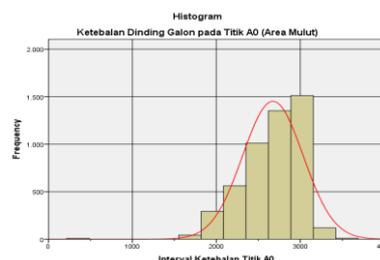
$$C_{pk} = \left[\frac{\text{Batas spesifikasi atas} - \bar{X}}{3\sigma} \right] \quad (13)$$

$$\left[\frac{\bar{X} - \text{Batas spesifikasi bawah}}{3\sigma} \right]$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Histogram

Histogram merupakan suatu alat pengendalian statistik yang berbentuk diagram batang yang dapat menunjukkan distribusi, sebaran, dan pola distribusi dari data proses yang diolah. *Histogram* dikenal juga sebagai grafik distribusi frekuensi, salah satu jenis grafik batang yang digunakan untuk menganalisa mutu dari sekelompok data (hasil produksi). Data dari suatu proses dapat digambarkan dengan melihat *skewness* (kemiringan) dan *kurtosis* (kelancipan/keruncingan) yang digambarkan oleh kurva yang terbentuk dari batang – batang dalam histogram. Berikut ini adalah analisa data hasil ketebalan dinding galon periode proses pembuatan Februari – Desember 2017 menggunakan *histogram*. Hasil pembuatan histogram dicontohkan pada titik A0 dapat dilihat pada Gambar 1 berikut ini :



Gambar 1. Histogram titik a0

Dari *histogram* titik A0 diatas juga menghasilkan *output statistics* untuk titik A0, yaitu dapat dilihat pada Tabel 1 dibawah ini :

Tabel 1: *Statistics* Titik A0

Statistics		
Interval A0		
N	Valid	4911
	Missing	0
Mean		2673,5357
Median		2754,0000
Mode		3021,00
Std. Deviation		360,239

Dari nilai – nilai yang dihasilkan tersebut dapat membaca dan menganalisis distribusi data yang terjadi pada *histogram* di titik A0 dengan melihat nilai tingkat kemiringan (*skewness*) dan tingkat keruncingan kurva (*kurtosis*), nilai – nilai tersebut didapatkan dengan perhitungan seperti berikut. Dengan persamaan koefisien kecondongan koefisien kurtosis, didapatkan nilai tingkat kemiringan suatu kurva (*skewness*) atau koefisien kecondongan, yaitu :

$$S_k = \alpha_3 = \frac{3(\bar{X} - Md)}{s}$$

$$S_k = \alpha_3 = \frac{3(2673,536 - 2754)}{360,239}$$

$$= -0,67$$

Didapatkan nilai tingkat keruncingan (*kurtosis*), yaitu :

$$k = a_4 = \frac{\sum fi (X_i - \bar{X})^4}{n \times s^4}$$

$$k = a_4 = \frac{451.496.664.640.622}{4911 \times 360,239^4}$$

$$k = a_4 = \frac{451.496.664.640.622}{4911 \times 16.840.729.035}$$

$$k = a_4 = 5,459$$

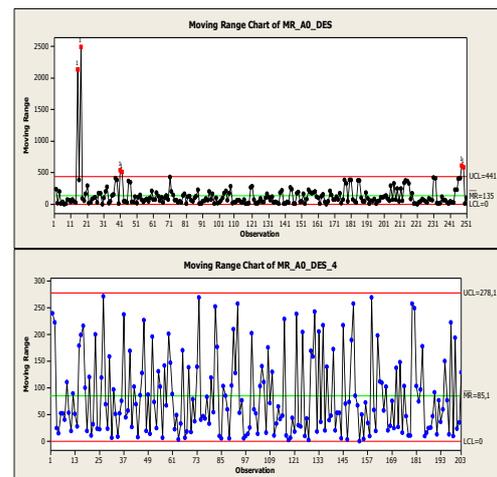
Berdasarkan perhitungan menggunakan persamaan *Pearson* didapatkan nilai (*skewness*) $S_k = -0,67 < 0$ maka dikatakan suatu kurva condong ke kiri atau memiliki kemiringan positif dan nilai (*kurtosis*) $k = 5,459 > 3$ maka dikatakan suatu kurva berbentuk *leptokurtic* atau lebih lancip dari distribusi normal. Sehingga kita dapat memperkirakan bahwa distribusi ketebalan dinding di titik A0 dari produksi galon tersebut berdistribusi tidak simetris/tidak normal, masih banyak frekuensi ketebalan dinding galon yang berkonsentrasi pada sisi sebelah kiri kurva atau nilai observasi distribusi yang berfrekuensi rendah lebih banyak berkonsentrasi di sisi kanan kurva. Pada titik – titik observasi lainnya juga dilakukan perhitungan dan pembuatan *histogram* dengan cara yang sama.

Dengan menggunakan *histogram* dapat menunjukkan pola data secara visual. Dimana tinggi garis lengkung menunjukkan rata – rata dan

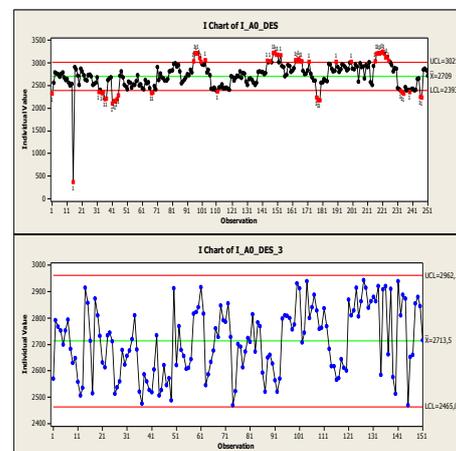
lebarnya menunjukkan variasi atau keragaman pada data. Selain itu juga dapat diketahui bentuk kurva yang dibentuk oleh himpunan data pada tiap titik observasi. Berdasarkan hasil pengolahan data menggunakan *histogram* dengan melihat nilai *skewness* dan *kurtosis* pada himpunan data di tiap titik observasi menunjukkan masih terdapat titik yang banyak frekuensi ketebalannya berkonsentrasi pada sisi kanan kurva yaitu titik A1, C1, A3, dan C3 dan titik yang lain banyak frekuensi ketebalannya berkonsentrasi pada sisi kiri kurva. Sehingga distribusi data pengukuran ketebalan dinding galon periode Februari – Desember 2017 berdistribusi tidak normal.

Analisis Peta Kendali I-MR

Perusahaan mengambil sampel ($n=1$) setiap satu jam sekali untuk dilakukan inspeksi/pemeriksaan ketebalan dinding galon, dan produksi dilakukan selama 24 jam tanpa henti, maka peta kendali yang cocok digunakan adalah peta kendali I-MR (*Individual Moving Range*). Peta kendali yang akan dibuat pada tahap ini yaitu pada bulan Desember 2017. Berikut ini adalah peta kontrol I-MR hasil perhitungan dengan bantuan *software* Minitab 16.



Gambar 2. Peta kendali moving range titik a0 dan revisinya

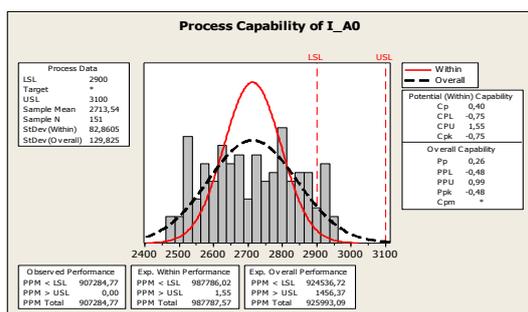


Gambar 3. Peta kendali individual titik a0 dan revisinya

Analisis peta kendali I-MR ini dilakukan pada sepuluh titik observasi dari inspeksi galon. Berdasarkan analisis yang dilakukan dapat diketahui bahwa produksi galon periode Desember 2017 berada di luar batas kendali pada setiap titik observasi. Pola titik – titik pada peta kendali ini tidak beraturan. Perubahan titik – titik keluar batas dari garis pusat dan tidak beraturan disebabkan karena banyaknya hasil produk dengan ketebalan dinding yang tidak sesuai. Hal ini menunjukkan bahwa pengendalian kualitas untuk produk galon yang sesuai dengan standar masih mengalami penyimpangan. Penyimpangan ini mengindikasikan bahwa masih ada permasalahan pada proses produksi sehingga menghasilkan produk dengan ketebalan yang tidak sesuai.

Analisis Kemampuan Proses

Apabila suatu proses sudah berada dalam batas – batas pengendalian secara statistik maka selanjutnya akan dihitung kemampuan proses dari produksi galon. Untuk mengetahui apakah proses tersebut sesuai dan dapat memenuhi batas – batas spesifikasi (*engineering tolerance*) yang telah ditentukan atau tidak. Berikut ini adalah analisa kemampuan proses hasil perhitungan dengan bantuan *software* Minitab 16.



Gambar 4. Kemampuan proses produksi galon titik a0

Berdasarkan Gambar 4. dicontohkan pada hasil kemampuan proses dititik A0, didapatkan hasil Cp sebesar 0,4 dan Cpk sebesar -0,75. Dengan nilai Cp (rasio kapabilitas proses) sebesar $0,4 < 1,00$ maka dapat disimpulkan bahwa proses memiliki kapabilitas yang rendah untuk memenuhi spesifikasi ketebalan dinding di titik A0, yaitu $2900 \mu\text{m} - 3100 \mu\text{m}$ sehingga perlu dilakukan tindakan perbaikan dan untuk dapat meningkatkan nilai Cp tersebut. Berdasarkan ukuran indeks kinerja Kane diketahui bahwa $Cpk = -0,75$ oleh karena itu berada dalam kriteria $Cpk < 1,00$ sekaligus menunjukkan bahwa proses tidak mampu memenuhi batas spesifikasi yang ada. Dengan menghitung kapabilitas proses/kemampuan proses dari suatu proses produksi dapat diperkirakan seberapa baik proses tersebut memenuhi toleransi atau spesifikasi yang telah di tentukan. Didapatkan hasil Cp pada tiap titik observasi sebesar $A0 = 0,4$; $A1 = 2,07$; $A2 = 0,77$; $A3 = 2,07$; $A4 = 1,57$;

$C0 = 0,63$; $C1 = 1,61$; $C2 = 0,92$; $C3 = 1,87$; $C4 = 1,15$ dan hasil Cpk yaitu $A0 = -0,75$; $A1 = 2,02$; $A2 = -1,07$; $A3 = 1,42$; $A4 = -6,23$; $C0 = -1,70$; $C1 = 1,11$; $C2 = 0,65$; $C3 = 0,26$; $C4 = -5,12$. Sehingga dilihat dari nilai Cp pada titik A1, C1, A3, C3, dan A4 memiliki kapabilitas proses yang sangat baik ($Cp > 1,33$), titik C4 memiliki kapabilitas proses yang baik ($1,00 \leq Cp \leq 1,33$), sedangkan titik A0, C0, A2, dan C2 memiliki kapabilitas proses yang rendah ($Cp < 1,00$) untuk memenuhi spesifikasi ketebalan dinding yang telah ditetapkan oleh perusahaan. Sedangkan apabila dilihat berdasarkan nilai Cpk titik yang sangat mampu memenuhi spesifikasi ketebalan yang ditentukan oleh perusahaan adalah titik A1 dan A3 ($Cpk > 1,33$), titik yang mampu memenuhi spesifikasi ketebalan adalah titik C1 ($1,00 \leq Cpk \leq 1,33$), sedangkan titik yang tidak mampu memenuhi spesifikasi ketebalan adalah titik A0, C0, A2, C2, C3, A4, dan C4 ($Cpk < 1,00$). Hasil di atas menunjukkan bahwa masih terdapat proses yang dikatakan tidak layak ($Cp < 1,00$) pada proses produksi galon untuk memenuhi spesifikasi ketebalan dan harus dilakukan tindakan perbaikan. Juga masih banyak titik yang menunjukkan nilai indeks kemampuan proses ($Cpk < 1$) yang menunjukkan bahwa akurasi dari proses kurang, dan proses masih dapat ditingkatkan lagi kualitasnya.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan pengumpulan data, proses pengolahan, dan analisis data dari penelitian ini dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil pengolahan data menggunakan peta kendali masih terdapat banyak *sample* yang berada diluar batas kendali (*out of control*) pada setiap titik observasi yang dilakukan. Hal ini menunjukkan bahwa pengendalian kualitas untuk produk galon yang sesuai dengan standar masih mengalami penyimpangan.
2. Berdasarkan analisis kemampuan proses yang dilakukan pada hasil dari proses produksi galon masih terdapat proses yang dikatakan tidak layak (*not capable*) ($Cp < 1,00$) dan harus dilakukan tindakan perbaikan. Juga masih banyak titik yang menunjukkan nilai indeks kemampuan proses ($Cpk < 1$) yang artinya akurasi dari proses kurang (tidak mampu memenuhi spesifikasi ketebalan yang telah ditentukan oleh perusahaan), dan perlu dilakukan perbaikan dengan mencari akar dari permasalahan tersebut.

5. DAFTAR NOTASI

sk	= kemencengan/ <i>skewness</i>
\bar{X}	= rata – rata hitung
<i>Md</i>	= median
<i>s</i>	= standar deviasi
$\alpha_4 = k$	= ukuran keruncingan/koeffisien <i>kurtosis</i>
<i>n</i>	= banyaknya nilai data
X_i	= nilai data yang ke- <i>i</i> (nilai tengah)

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ariani, D. W. (2004). *Pengendalian Kualitas Statistik (Pendekatan Kuantitatif dalam Manajemen Kualitas)*. Yogyakarta: Andi.
- [2] Dajan, A. (2000). *Pengantar Metode Statistik Jilid 1*. Jakarta: Pustaka LP3ES Indonesia.
- [3] Gaspersz, V. (1998). *Statistical Process Control Penerapan Teknik - Teknik Statistikal dalam Manajemen Bisnis Total*. Jakarta: Gramedia.
- [4] Heizer dan B. Render. (2016). *Manajemen Operasi Manajemen Keberlangsungan dan Rantai Pasokan*. Jakarta: Salemba Empat.
- [5] Montgomery, D. C. (1993). *Pengantar Pengendalian Kualitas Statistik*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- [6] Sidartawan, R. (2014). Analisa Pengendalian Proses Produksi Snack Menggunakan Metode Statistical Process Control (SPC). *Jurnal ROTOR*.
- [7] Susanti, M. N. (2010). *Statistika Deskriptif & Induktif*. Yogyakarta: Graha Ilmu.

Perencanaan Penempatan *Engine* Pada Mobil Minimalis Roda Tiga

Pradita Eko Kuncahyo^{1*}, Tri Andi Setiawan², dan Rizal Indrawan³

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia^{1,2,3}
E-mail: pradita100@gmail.com^{1*}

Abstract – Three wheels cars has a minimalist concept that is comfortable and simple. By utilizing the principle of tilting trike system which makes access easier in all fields. Of course the car is designed to be comfortable and safe when driving. For that purpose this research is made plotting the right engine placement to be safe and stay comfortable to drive. And this research is to find out how much vibration generated by the engine is still safe for the rider or not by using vibration meter.

Keywords: Design Concept, Tricycle, Vibration, Vibration Meter

1. PENDAHULUAN

Pada era mobilitas yang sangat tinggi seperti saat ini, Industri otomotif sangatlah berkembang pesat, mulai dari motor sampai mobil. Kemajuan otomotif ini juga terlihat di Indonesia, baik jenis sepeda motor maupun mobil. Dari kedua moda transportasi tentu mobil adalah hal yang paling dikembangkan saat ini. Dengan banyaknya pengguna mobil terutama di Indonesia jalanan pasti akan semakin macet dan sesak bahkan akan lebih parah dikemudian hari. Semakin dikembangkannya mobil untuk moda transportasi masyarakat yang nyaman tidak diimbangi dengan pengembangan mobil yang anti macet.

Dari kasus tersebut muncul suatu gagasan moda transportasi yang inovatif. Untuk itu muncul mobil roda tiga. Mobil roda tiga sendiri di Indonesia maupun di penjuru dunia memang kurang begitu diketahui tapi di masa mendatang mobil ini merupakan suatu inovasi yang sangat diperhitungkan karena selain irit mobil ini dapat mengurangi kemacetan bagi pengguna, bahkan mobil ini akan semakin digemari oleh masyarakat dengan mobilitas tinggi karena memiliki manuver yang baik.

Mobil roda tiga ini seperti mobil yang sering kita lihat pada umumnya, namun mempunyai dimensi yang minimalis dan hanya memiliki roda 3 saja. Mobil roda tiga ini bisa menjadi harapan bagi masyarakat untuk mengatasi kemacetan yang ada di jalanan pada saat ini. mobil minimalis roda tiga ini mempunyai bagian-bagian yang sangat banyak serta kompleks seperti mobil pada umumnya, mulai dari *chassis*, kerangka body, kemudi, sistem rem, permesinan, dan masih banyak lagi. Dalam hal permesinan, tentunya harus diperhitungkan bagaimana peletakan mesin yang baik untuk mobil roda tiga ini karena, kemudian bagaimana getaran pada mesin dan bagaimana mengatasi getaran tersebut agar tidak terlalu berlebihan.

Getaran adalah suatu gerak bolak-balik di sekitar kesetimbangan. Kesetimbangan disini maksudnya adalah keadaan dimana suatu benda berada pada posisi diam jika tidak ada gaya yang bekerja pada benda tersebut. Getaran mempunyai amplitudo yaitu jarak simpangan terjauh dengan titik tengah.

2. METODOLOGI

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah Metode Ulrich yang mana metode tersebut diperuntukkan untuk memilih manakah konsep desain yang terbaik untuk dikembangkan. Pada metode Ulrich dilakukan langkah-langkah sebagai berikut.

1. Pembuatan daftar kebutuhan produk untuk mobil minimalis roda tiga khususnya bagian penempatan *engine*.
2. Membuat kriteria seleksi.
3. Pembuatan beberapa konsep desain untuk perencanaan penempatan *engine*.
4. Pemilihan konsep dengan menggunakan matriks evaluasi konsep.

Setelah ditemukan konsep desain terbaik dari hasil matriks evaluasi konsep, maka dilakukan uji getaran pada konsep terpilih. Ada 2 pengujian yaitu dengan bahan bakar cair dan bahan bakar gas dan pengambilan data diambil sebanyak 3 kali dengan *range* waktu 10 detik pada tiap titik pengujian. Titik – titik pengujiannya adalah Rangka utama mobil, *bracket*, *footstep*, stang atau setir, dan Rangka tempat duduk. Pengambilan data menggunakan alat *vibration meter* untuk mengetahui *acceleration vibration*, *velocity vibration*, *displacement* dan *frequency*. Standar yang digunakan adalah standar getaran dari Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Nomor PER.13/MEN/X/2011 Tahun 2011.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Matrik Evaluasi Konsep

Setelah dibuat konsep desain yang sesuai dengan kriteria seleksi yang telah ditentukan, maka akan dilakukan penilaian konsep dengan matriks evaluasi konsep. Sebelum ke matriks evaluasi konsep, direncanakan terlebih dahulu bobot tiap kriteria yang ada.

Tabel 1: Keterangan bobot pada kriteria seleksi

Kriteria seleksi	Bobot (%)	Keterangan
Fungsi Produk	25%	Porsi 25% dikarenakan fungsi dari dudukan akan berpengaruh kepada pengguna di setiap konsep
Mudah dimanufaktur	25%	Porsi 25% dikarenakan konsep mana yang mudah dimanufaktur tapi tidak meninggalkan dari aspek-aspek lainnya
Perawatan dan perbaikan	30%	Porsi 30% dikarenakan konsep mana yang memiliki akses termudah saat mesin mengalami kerusakan atau melakukan perawatan
Keamanan dan kenyamanan	20%	Porsi 20% dikarenakan aspek ini ditujukan kepada konsep mana yang mendapati suhu panas yang sedikit sebelum dan sesudah dipasang <i>cover</i> nantinya.

Tabel 2: Matriks Evaluasi Konsep

Kriteria seleksi	Bobot	Konsep					
		Konsep 1		Konsep 2		Konsep Referensi	
		Rate	Skor	Rate	Skor	Rate	Skor
Fungsi Produk	25%	3	0.7	3	0.7	3	0.7
Mudah Dimanufaktur	25%	4	1	3	0.7	3	0.7
Perawatan dan Perbaikan	30%	2	0.6	3	0.9	3	0.9
Keamanan dan Kenyamanan	20%	2	0.4	2	0.4	3	0.6
Nilai Absolut		2,7		2,7		2,9	
Nilai Relatif		32,53%		32,53%		34,93%	

Setelah dilakukan matriks evaluasi konsep dan terpilih konsep yang terbaik, maka selanjutnya dilakukan uji getaran pada konsep terpilih dengan menggunakan 2 bahan bakar, 5 titik pengujian, waktu tiap titik 10 detik, dan 3 kali pengambilan data. Maka didapatkan hasil rata-rata dari setiap pengujian dengan tiap bahan bakar sebagai berikut :

Tabel 3: Hasil Rata-rata Pengujian Getaran dengan Bahan Bakar Cair

No.	Titik pengukuran	Acceleration Vibration	Velocity Vibration	Displacement	Frequency	Acceleration Vibration Standard	Status
1	Rangka	4,8 m/s ²	2,8 mm/s	38 mm	20 Hz	12 m/s ²	Accept
2	Bracket	4,8 m/s ²	4,3 mm/s	60 mm	20 Hz	12 m/s ²	Accept
3	Footstep	1,6 m/s ²	1,9 mm/s	33 mm	20 Hz	12 m/s ²	Accept
4	Stang atau Setir	4,0 m/s ²	2,4 mm/s	62 mm	20 Hz	12 m/s ²	Accept
5	Tempat duduk	6,3 m/s ²	2,4 mm/s	49 mm	20 Hz	12 m/s ²	Accept

Tabel 4: Hasil Rata-rata Pengujian Getaran dengan Bahan Bakar Gas

No.	Titik pengukuran	Acceleration Vibration	Velocity Vibration	Displacement	Frequency	Acceleration Vibration standard	Status
1	Rangka	6,5 m/s ²	2,8 mm/s	39 mm	20 Hz	12 m/s ²	Accept
2	Bracket	8,5 m/s ²	6,2 mm/s	57 mm	20 Hz	12 m/s ²	Accept
3	Footstep	2,9 m/s ²	2,1 mm/s	37 mm	20 Hz	12 m/s ²	Accept
4	Stang atau Setir	2,1 m/s ²	2,6 mm/s	68 mm	20 Hz	12 m/s ²	Accept
5	Tempat duduk	8,7 m/s ²	1,8 mm/s	57 mm	20 Hz	12 m/s ²	Accept

Tabel 5: Hasil Getaran Teredam

	Bahan Bakar Cair	Bahan Bakar Gas
Rangka utama	0,97	0,98
Bracket	0,98	0,99
Footstep	0,98	0,98
Stang atau setir	0,99	0,99
Rangka Tempat duduk	0,99	0,99

4. KESIMPULAN

1. Dari beberapa konsep desain yang telah dibuat untuk perencanaan penempatan mesin sebelumnya, terpilih pada konsep referensi dengan pemilihan konsep metode ulrich dengan nilai absolut 2,9 dan nilai relative 34,93%. Penilaian tersebut didapat dari hasil matriks evaluasi konsep dan *rate* sudah ditetapkan terlebih dahulu sebelum dilakukannya perhitungan nilai absolut dan nilai relative pada matrik evaluasi konsep.

2. Dari percobaan pengambilan data getaran yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa getaran yang paling besar adalah dengan menggunakan bahan bakar gas. Penyebab besarnya getaran tersebut dikarenakan tekanan gas yang terdapat di LPG lebih besar daripada dengan bahan bakar cair. Akibatnya hentakan *piston* pada motor semakin cepat.
3. Dari percobaan pengambilan data getaran yang telah dilakukan, didapatkan selisih nilai getaran teredam pada dua bahan bakar tersebut. Dari bahan bakar cair didapatkan hasil sebesar 98,2% sedangkan pada bahan bakar gas didapatkan nilai sebesar 98,6%. Selisih pada dua bahan bakar tersebut adalah 0,4%. Dapat ditarik kesimpulan bahwa reduksi peredaman bias ditingkatkan lagi dengan menambahkan karet pada *bracket* atau *ring* pada *bracket* dengan jumlah yang banyak agar dapat mereduksi getaran dengan baik lagi.

- [6]. Ramachandran, T., dan Padmanaban, K.P. (2012). *Review On Internal Combustion Engine Vibrations and Mountings*. **International Journal of Engineering Science & Emerging Technologies**, Vol.3, No.01, pp.63-73, PSNA College of Engineering & Technology, Dindigul, India.
- [7]. Rokhman, T. (2016). *Analisis Getaran Pada Footrest Sepeda Motor Tipe Matic dan Non Matic*. **Jurnal Ilmiah Teknik Mesin**, Vol.4, No.2, pp.31-40, Universitas Islam 45, Bekasi.
- [8]. Satrio, H. (2015). *Komparasi Penggerak Mobil*. URL: <https://autonetmagz.com/inilah-plus-dan-minus-mobil-berpenggerak-fwd-rwd-dan-awd/28346/>

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Abbas, H., dan Rahman, M. (2014). *Analisis Karakteristik Getaran Pada Balok Jepit Bebas Yang Terbuat Dari Material Komposit Serat Bambu Dengan Variasi Posisi Penggetar*. **Jurnal Energi dan Manufaktur**, Vol.7, No. 1, pp.111-118, Universitas Hasanuddin Makasar.
- [2]. Deshmukh, M., Dan Sontakke, K.R. (2014). *Analysis and Optimization of Engine Mounting Bracket*. **International Journal of Scientific Engineering and Research (IJSER)**, Vol.03, No.5, pp.131-136, Sant Gadge Baba Amravati University.
- [3]. Fadila, A., dan Syam, B. (2013). *Analisa Simulasi Struktur Chassis Mobil Mesin USU Berbahan Besi Struktur Terhadap Beban Statik Dengan Menggunakan Perangkat Lunak ANSYS 14.5*. **Jurnal e-Dinamis**, Vol.06, No.2, pp.70-79, Universitas Sumatra Utara, Medan.
- [4]. Falah, C.N., Rispianda, dan Prasetyo, H. (2015). *Rancangan Combination Dies Untuk Produk Engine Mounting T120SS di PT. Jati Wangi*. **Jurnal Online Institut Teknologi Nasional**, Vol.3, No.03, pp.380-391, Institut Teknologi Nasional (Itenas), Bandung.
- [5]. Mohanachari, J.V., Reddy, D.P., Rao, S.V., Surendra, U.J., dan Rao, G.N., (2017). *Analysis Over Engine Mount Vibrational*. **Journal of Science and Technology**, Vol.2, No.02, pp.28-33, Gates Institute of Technology, Gooty Anantapur, Andhra Pradesh, India

Studi Maksimal Cekam pada Ragum Hidrolik

Indra Harwanto P^{1*}, Pranowo Sidi², dan Budianto³

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.^{1,2}

Program Studi Teknik Perancangan dan Konstruksi Kapal, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.³

E-mail: i.harwanto55@gmail.com^{1*}

Abstract – Indonesia has a lot of livelihoods, especially in industry. Because the Indonesian people are very numerous, the production each year will increase, therefore every producer must be able to overcome every need that consumers want. The manufacturing field is most needed in every industry because every product manufacture must not be separated from the manufacturing process. In a worksheet there must be a hand work tool to facilitate or tidy up a final process.

In this case the viscera function as a tool for clamping workpieces is very important. Ragum is a clamping device to clamp the workpiece that will be carried out by the milling process. With the vise, the workpiece can be tightly clamped so as to facilitate the processing process and the results of a process will be maximized. In this Final Project, a maximum stress strength analysis will be carried out on one of the Hydraulic Rigs with the aim that the Raft can be more efficient and operate optimally.

The study conducted on this hydraulic formula is expected to be able to overcome problems that often occur in the manufacturing process in the field of production. So that the operator knows more about the work of the hydraulic vise and can operate optimally, and the production work is not hampered due to damage to the vise. In the end, the hydraulic vise will be able to be used longer than the vise that is used carelessly and quickly damaged.

Keywords: Vise, Hydraulic, manufacturing

1. PENDAHULUAN

Saat ini pendidikan tinggi di bidang Teknik dan Teknologi mendapat sorotan dari berbagai pihak karena dilihat peranannya sangat penting dalam menunjang pembangunan perindustrian Negara ini. Tidaklah mengherankan bila banyak usaha di arahkan untuk mengembangkan pendidikan Teknik di seluruh nusantara. Salah satu contohnya bidang manufaktur paling dibutuhkan di setiap industri karena setiap pembuatan produk pasti tidak lepas dari proses manufaktur. Perkembangan zaman yang disertai oleh perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi (IPTEK) yang pesat menciptakan era globalisasi dan keterbukaan bagi setiap individu untuk ikut serta didalamnya, sehingga sumber daya manusia harus menguasai IPTEK serta mampu mengaplikasikannya dalam setiap kehidupan.

Dalam *manufacturing* ada beberapa macam, mulai dari pengerjaan panas, pengerjaan dingin hingga pengerjaan logam secara mekanis. Pengerjaan mekanis logam biasanya digunakan untuk pengerjaan lanjutan maupun pengerjaan *finishing*, sehingga dalam pengerjaan mekanis dikenal beberapa prinsip pengerjaan, salah satunya adalah pengerjaan perataan permukaan dengan menggunakan mesin Frais atau biasa juga disebut mesin *Milling*. Dalam sebuah *worksheet* pasti terdapat alat mesin untuk memudahkan ataupun merapikan suatu

proses akhir. Dalam hal ini fungsi ragum sebagai alat untuk menjepit benda kerja sangat penting. Ragum adalah suatu alat penjepit untuk menjepit benda kerja yang akan di lakukan proses *frais*.

Dengan adanya ragum, benda kerja bisa dijepit dengan kencang sehingga memudahkan dalam proses pengerjaan dan hasil dari sebuah proses akan maksimal. Untuk membuka rahang ragum caranya yaitu putar tangkai/tuas pemutar ke arah kiri (berlawanan arah jarum jam) maka batang berulir akan menarik landasan tidak tetap pada rahang tersebut, begitu pula sebaliknya untuk pekerjaan pengikatan benda kerja tangkai pemutar diputar ke arah kanan (searah jarum jam). Ragum sendiri memiliki komponen yang melengkapinya, antara lain tangkai ragum, rahang tetap dan rahang gerak. Komponen yang terdapat pada sebuah ragum masing-masing memiliki fungsi tersendiri. Karena sangat pentingnya kegunaan sebuah ragum pada proses *frais* maka diperlukan perawatan agar tidak mudah rusak, dan juga kita harus mengetahui gaya yang bekerja pada ragum hidrolik tersebut serta besarnya setiap gaya yang bekerja.

Pada Tugas Akhir ini akan dilakukan **Studi Kekuatan Maksimal Cekam Pada Ragum Hidrolik** dengan tujuan bisa lebih efisien dan beroperasi dengan maksimal. Selain itu Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberikan

sumbangan ide ragam hidrolik yang benar-benar efisien untuk dioperasikan.

2. METODOLOGI

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah Metode *Ulrich*. Langkah – langkah pengerjaan dilakukan sebagai berikut.

1. Melakukan Pengumpulan Data.
2. Merancang model 3D dan 2D ragam hidrolik yang sesuai dengan kapasitas mesin cnc frais.
3. Memperhitungkan gaya yang bekerja pada ragam hidrolik
4. Analisa desain menggunakan software
5. Tegangan benda kerja dan pahat frais terhadap ragam < tegangan ijin ragam hidrolik tersebut

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengumpulan Data

Daya dari mesin cnc tersebut bisa di hitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$P = \tau \cdot \omega$$

Dimana :

P : Daya (W)

τ : Torsi (Nm)

ω : Kecepatan putar (rpm)

Torsi motor dapat diketahui dengan persamaan berikut :

$$\tau = F \cdot r$$

Dimana :

F : Gaya potong pahat terhadap benda kerja

r : Jarak benda ke pusat rotasi

Gaya potong pahat terhadap benda kerja dapat dihitung dengan persamaan :

$$F = \tau b \cdot A$$

Dimana :

F : Gaya potong pahat (N)

τb : Tegangan geser bahan (Kg/cm²)

A : Luas penampang potong pahat (m²)

Karena luas penampang potong pahat belum diketahui maka menghitungnya dengan menggunakan persamaan :

$$\begin{aligned} A &= ts \cdot W \cdot S \\ &= 10 \text{ mm} \cdot 2 \text{ mm} \cdot 3 \\ &= 60 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dimana :

ts : Tebal pisau sayat pahat

W : Kedalaman pemotongan

S : Jumlah mata pahat

Setelah luas penampang kita ketahui maka kita dapat menghitung tegangan geser bahan sebagai acuan untuk menghitung gaya potong pahat terhadap benda kerja.

$$T = FA$$

Dimana :

T : Tegangan geser bahan

F : gaya geser

A : Luas penampang potong pahat

Gaya geser bahan dapat di ketahui melalui persamaan berikut :

$$\begin{aligned} \Sigma F_v &= R_1 - P_1 - P_2 - V = 0 \\ \text{atau } V &= R_1 - P_1 - P_2 \\ &= 125 - 39.2 - 11.34 \\ &= 74.46 \text{ N} \end{aligned}$$

Setelah gaya geser di ketahui maka bisa dilakukan perhitungan tegangan geser sebagai berikut

$$\begin{aligned} T &= FA \\ &= 74,46 \text{ N} / 60 \text{ mm} \\ &= 1,241 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Setelah tegangan geser bahan di ketahui maka berikutnya gaya potong pahat terhadap benda kerja dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned} F &= \tau b \cdot A \\ &= 1,241 \text{ (N/mm}^2 \text{)} \cdot 60 \\ &\text{(mm}^2 \text{)} \\ &= 74.4 \text{ N} \end{aligned}$$

Dimana :

F : Gaya potong pahat (N)

τb : Tegangan geser bahan (Kg/cm²)

A : Luas penampang potong pahat (m²)

Untuk menghitung Daya pada mesin cnc frais Maka di perlukan perhitungan torsi motor sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \tau &= F \cdot r \\ &= 74.4 \text{ (N)} \cdot 0.003 \text{ (m)} \\ &= 0.2232 \text{ Nm} \end{aligned}$$

F :Gaya potong pahat terhadap benda kerja
 r : Jarak benda ke pusat rotasi

Diperlukan juga perhitungan Putaran spindle untuk mengetahui kemampuan kecepatan putar mesin untuk maelakukan pemotongan atau penyayatan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\begin{aligned} n &= 1000 \cdot Cs \pi \cdot d \\ &= 1000 \cdot 120 \cdot 3.14 \cdot 20 \\ &= 1910 \text{ rpm} \end{aligned}$$

d : diameter pisau frais (mm)

Cs : kecepatan potong (meter/menit)

π : nilai konstanta = 3,14

Karena luas penampang potong pahat belum diketahui maka menghitungnya dengan menggunakan persamaan :

$$\begin{aligned} A &= ts \cdot W \cdot S \\ &= 10 \text{ mm} \cdot 2 \text{ mm} \cdot 3 \\ &= 60 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dimana :

ts : Tebal pisau sayat pahat
 W : Kedalaman pemotongan
 S : Jumlah mata pahat

Setelah luas penampang kita ketahui maka kita dapat menghitung tegangan geser bahan sebagai acuan untuk menghitung gaya potong pahat terhadap benda kerja.

$$T = FA$$

Dimana :

T : Tegangan geser bahan
 F : gaya geser
 A : Luas penampang potong pahat

Gaya geser bahan dapat di ketahui melalui persamaan berikut :

$$\begin{aligned} \Sigma F_v &= R_1 - P_1 - P_2 - V = 0 \\ \text{atau } V &= R_1 - P_1 - P_2 \\ &= 125 - 39.2 - 11.34 \\ &= 74.46 \text{ N} \end{aligned}$$

Setelah gaya geser di ketahui maka bisa dilakukan perhitungan tegangan geser sebagai berikut

$$\begin{aligned} T &= FA \\ &= 74,46 \text{ N} / 60 \text{ mm} \\ &= 1,241 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Setelah tegangan geser bahan di ketahui maka berikutnya gaya potong pahat terhadap benda kerja dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned} F &= \tau b \cdot A \\ &= 1,241 \text{ (N/mm}^2 \text{)} \cdot 60 \\ &\text{(mm}^2 \text{)} \\ &= 74.4 \text{ N} \end{aligned}$$

Dimana :

F : Gaya potong pahat (N)
 τb : Tegangan geser bahan (Kg/cm²)
 A : Luas penampang potong pahat (m²)

3.2.3 Gaya normal / gaya berat

Gaya Normal adalah gaya yang bekerja pada bidang yang bersentuhan antara dua permukaan benda, yang arahnya selalu tegak lurus dengan bidang sentuh. Lambang gaya normal adalah N dan satuan Sistem Internasionalnya adalah kgm/s² atau Newton.

$$\begin{aligned} \omega &= m \times g \\ &= 4 \times 9.8 \\ &= 39.2 \text{ N} \end{aligned}$$

Dimana :

ω : Gaya normal / gaya berat (N)
 m : Massa benda (kg)
 g : Gravitasi bumi (m/s²)

3.2.4 Gaya tekan

Satuan tekanan dapat dihubungkan dengan satuan volume (isi) dan suhu. Semakin tinggi tekanan di dalam suatu tempat dengan isi yang sama, maka suhu akan semakin tinggi. Hal ini dapat digunakan untuk menjelaskan mengapa suhu di pegunungan lebih rendah daripada di dataran rendah, karena di dataran rendah tekanan lebih tinggi.

$$\begin{aligned} P &= FA \\ &= 39.2 \text{ N} / 0.6 \text{ cm}^2 \\ &= 65 \text{ N/cm}^2 \end{aligned}$$

Dimana :

P : Tekanan (N/cm²)
 F : Gaya (N/dn)
 A : Luas alas / penampang (m² atau cm²)
 (60 mm² = 0.6 cm²)

3.2.5 Gaya geser

Gaya geser secara numerik adalah jumlah aljabar dari semua komponen vertikal gaya – gaya luar yang bekerja pada segmen yang terisolasi, tetapi dengan arah yang berlawanan, dinotasikan dengan V. Penentuan gaya geser pada sebuah irisan balok memenuhi syarat keseimbangan statis pada arah vertikal.

$$\begin{aligned} \Sigma F_v &= R_1 - P_1 - P_2 - V = 0 \\ \text{atau } V &= R_1 - P_1 - P_2 \\ &= 125 - 39.2 - 11.34 \\ &= 74.46 \text{ N} \end{aligned}$$

Tegangan ijin

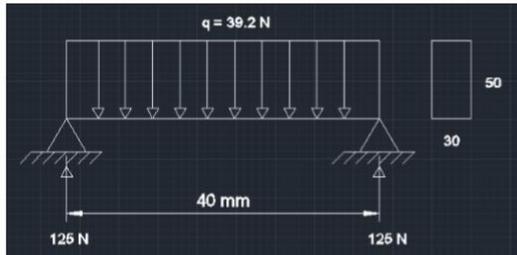
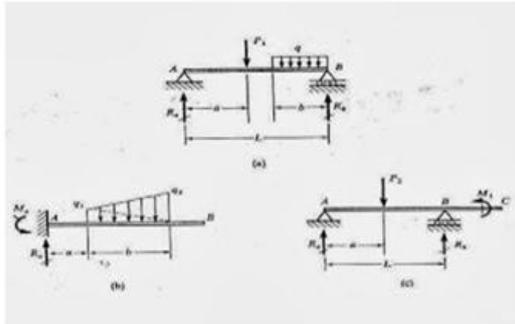
$$\begin{aligned} \sigma_a &= \sigma_y / sf \\ &= 250 / 2 \\ &= 125 \text{ N / mm}^2 \end{aligned}$$

Gaya normal / gaya berat

$$\begin{aligned} \omega &= m \times g \\ &= 4 \times 9.8 \\ &= 39.2 \text{ N} \end{aligned}$$

momen puntir pahat

$$\begin{aligned} M_t &= 9550 \times P_{motor} / n \\ &= 9550 \times 9.5 / 6000 \\ &= 11.34 \text{ Nm} \end{aligned}$$



Gambar 1. Free body diagram

3.2.6 Gaya gesek

Gaya gesek adalah gaya yang berarah melawan gerak benda atau arah kecenderungan benda bergerak. Gaya gesek muncul apabila dua buah benda bersentuhan. Benda-benda yang dimaksud di sini tidak harus berbentuk padat, melainkan dapat pula berbentuk cair, ataupun gas. Gaya gesek antara dua buah benda padat misalnya adalah gaya gesek statis dan kinetis. Gaya gesek dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$f = \mu \times N$$

$$= 0.74 \times 39.2$$

$$= 29.008 \text{ N}$$

Dimana :

f : Gaya gesek
 μ : koefisien gesek
 N : gaya normal

Tabel 2: Koefisien gesek

BAHAN	μ_s	μ_k
Besi pada Baja	0,74	0,57
Aluminium pada Baja	0,61	0,47
Tembaga pada Baja	0,53	0,36
Kuningan pada Baja	0,51	0,44
Seng pada Besi	0,83	0,21
Tembaga pada Besi	1,05	0,29
Kaca pada Kaca	0,94	0,40
Tembaga pada Kaca	0,68	0,53
Teflon pada Teflon	0,04	0,04
Karet pada Beton (kering)	1,00	0,80
Karet pada Beton (basah)	0,30	0,25

Keterangan :

μ_s : koefisien gesek statis
 μ_k : koefisien gesek kinetis

Tegangan normal

$$\sigma = My/I$$

Dimana, :

σ : tegangan normal
 M : momen lentur pada penampang
 y : jarak dari sumbu netral ke tegangan normal
 I : momen inersia

nilai koordinat y dinotasikan dengan simbol c , sehingga tegangan normal maksimumnya menjadi:

$$\sigma_{maks} = MCI, \text{ atau}$$

$$\sigma_{maks} MIC/$$

I/c disebut modulus penampang yang umumnya dinotasikan dengan simbol Z . Sehingga tegangan lentur maksimum digambarkan oleh persamaan:

$$\sigma_{maks} = MZ$$

Tegangan geser jarak y_0 dari sumbu netral diberikan dengan formula:

$$\tau = V/b \int ydacy_0$$

Dimana :

τ = tegangan geser
 V = gaya geser
 b = lebar penampang balok
 I = momen-area kedua
 yda = momen-area pertama

3.2.7 Tegangan lentur maksimum

$$\sigma_{maks} = MZ$$

$$= 6.75 \times 103 [0.3 (0.5)^2]/16$$

$$= 14.06 \times 106 \text{ Mpa}$$

3.2.8 Tegangan geser maksimum

$$\tau_{AV} = 39.2 \times 103 \times 0.05 (0.03) = 26 \text{ Mpa}$$

$$\tau_{maks} = (3/2) 26 = 39 \text{ Mpa}$$

3.2.9 momen puntir pahat

$$Mt = 9550 \times P_{motor} n$$

$$= 9550 \times 9.5 \times 6000$$

$$= 11.34 \text{ Nm}$$

Dimana:

Mt : momen puntir yang terjadi satuan Nm

P_{motor} : power yang dihasilkan oleh motor listrik satuan Kw

n : putaran dari alat potongnya satuan rpm.

Setelah mendapatkan momen puntir yang terjadi maka dihitung gaya keliling yang terjadi dengan persamaan (B. Sudibyo, I.H., 2012):

$$f_{\mu} = Mt \times 2 d$$

$$= 11.34 \times 2 \times 10$$

$$= 2.268 \text{ N}$$

3.2.10 Gaya cekam maksimal

$$\begin{aligned} F_c &= F_u - (m \times g) \times 2 \times \mu \\ &= 2268 - (1 \times 9.8) \times 2 \times 29.008 \\ &= 38.92 \text{ N} \end{aligned}$$

Dimana:

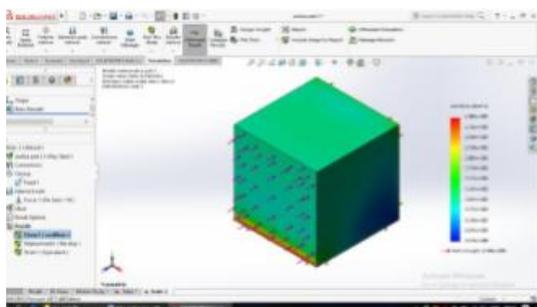
F_c: gaya cekam satuan N

F_u: gaya keliling satuan N

M: massa benda kerja satuan kg

G: gaya gravitasi satuan m/s² dan

μ: angka gesekan luncur.



Gambar 2. hasil analisa

Pada tahapan ini dilakukan validasi FEA, yang dimaksud adalah merubah nilai value pada proses meshing menjadi lebih kecil namun sampai hasil akhir tetap sama. Kemudian dilakukan lagi penggantian value ke nilai yang besar namun mengalami kegagalan karena desain tidak compatible dengan nilai value yang lebih besar karena berukuran kecil Sehingga ditentukan nilai yang didapat dari value diatas telah valid.

4. KESIMPULAN

Ragum hidrolik yang dianalisa memiliki tegangan yang diijinkan pada ragum ragum hidrolik tersebut ialah sebesar 125 N, gaya tekan 39.2 N, gaya pemotongan pahat 74.4 N, gaya geser 74.46, gaya gesek 29.008, tegangan lentur maksimum 14.06 x 10⁶ Mpa, tegangan geser maksimum 39 Mpa, momen puntir 11.34 Nm, Gaya keliling 2.268 N, gaya maksimal cekam 38.92 N.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Budianto (2015) Analisa Kekuatan Struktur Pada kapal wisata sungai kalimas, jurnal kapal Vol. 12 No. 1 hal 9-18, Universitas Diponegoro

- [1] B. Sudibyo, I.H., 2012, Kekuatan Dan Tegangan Izin. Surabaya: Institut Sepuluh Nopember Surabaya.
- [2] Rinaldi, M., and Tia, A., 2011, Ragum, Surabaya: Institut Sepuluh Nopember Surabaya.
- [3] Sugiyarto, Y., 2014, Perkakas Tangan, Manufacturing and Materials Engineering, ICAMME 2014, Vol. 5 pp. 1417-1423.
- [4] Sugiyarto, Y., 2014, Perkakas Tangan, Surabaya: Institut Sepuluh Nopember Surabaya.
- [5] Rochim, Taufic, 1993, Teori dan Teknologi Proses Permesinan, Institute Teknologi Bandung,
- [6] Gatot. (2013). Rancang Bangun CNC Mini Router 3 Axis untuk Keperluan Praktikum CAD/CAM. Material and Manufacturing Process Research Laboratory Program Studi Teknik Mesin, FT-UIKA Bogor
- [7] Didik Djoko. (2013). PENGARUH SUDUT POTONG PAHAT TERHADAP GAYA PEMOTONGAN PADA PROSES BUBUT BEBERAPA MATERIAL DENGAN PAHAT HSS. *Jurnal Teknik Mesin*, VII, 55-65. Universitas Sebelas Maret, Solo
- [8] Agus Kurniawan. (2015). ANALISA KEKUATAN DAN KECEPATAN PADA RANCANGAN SISTEM PENCEKAMAN RAGUM YANG DIGUNAKAN DI MESIN MILLING MIKRON POLITEKNIK ATMI SURAKARTA *Program Studi Teknik Mesin – Politeknik ATMI Surakarta*
- [9] Sulis Yuliant. (2015). PENGARUH BEBAN TERHADAP TEKANAN POMPA HIDROLIK PADA REACH STACKER SAAT PROSES LIFTING PETIKEMAS *Universitas Muhammadiyah Jakarta*
- [10] HENDRI KURNIAWAN. (2016). ANALISA DEFLEKSI PADA ROD BUCKET DI SISTEM HIDROLIK EXCAVATOR HITACHI ZAXIS 210 MF SN 70165 JURUSAN TEKNIK MESIN UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PONTIANAK

Analisa Penentuan Harga Pokok Produksi Pada Fabrikasi Skid Winch System dengan Metode Job Order Costing (Studi Kasus Pada Perusahaan Manufaktur dan Konstruksi)

Rinda Fitriana^{1*}, Rina Sandora², RA Norromadani Yuniati³

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.¹

Program Studi Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.²

Program Studi Teknik Manajemen Bisnis, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.³

E-mail: rinda.fitriana@yahoo.com^{1}*

Abstract – One of the company that growing is company that focus in fabrication and construction. In these company consist of some division, one of division is production division. At this time the company is producing skid winch system. In determining the calculation of cost of good sold of the company experiencing mismatch budget plan costs and cause the company does not get the maximum profit. In determining of the cost of good sold based on the right and accurate order appropriate to the working system in the company is job order costing method. The method can calculate all classification cost, there are direct and indirect costs. the classification is charged to the ordered product. Based on the results of the research cost of good sold of 1 unit skid winch system based on job order costing method is Rp. 37.564.984, - and the selling price is Rp. 51.651.853, -.and the Profit is Rp. 9.391.246, -. the calculation using job order costing method with company calculation there is cost difference, cost of good sold equal to Rp. 5.665.388,- and the calculation of selling price Rp. 16.551.298,-. This is because the company in the determination of the cost of good sold and the selling price does not classify all components of the cost in detail so the result that got by the company are less accurate and less maximum profit.

Keyword : Direct Cost, Indirect Cost, Job Order Costing, Overhead Cost, Cost of Goods Sold, Salling Price

1. PENDAHULUAN

Pada dunia industry di Indonesia saat ini sedang mengalami persaingan global yang sangat ketat. Oleh karena itu setiap perusahaan dituntut untuk menghasilkan suatu produk yang berkualitas dengan biaya yang seminimal mungkin. Salah satu perusahaan yang berkembang saat ini yaitu perusahaan manufaktur yang bergerak pada bidang fabrikasi dan konstruksi. Pada perusahaan tersebut sedang memproduksi 1 unit *skid winch system* yang digunakan sebagai alat penumpu windlass yang ada pada kapal atau galangan kapal. Sebelum memproduksi suatu produk hal yang dilakukan pertama kali yaitu menghitung rencana anggaran biaya. Permasalahan pada perusahaan dalam menentukan harga pokok produksi kurang terperinci sehingga mendapatkan hasil profit yang kurang maksimal. Dalam perhitungan penentuan harga pokok produksi terdapat beberapa metode yaitu *Activity Based Costing*, *Process Costing* dan *Job Order Costing*. Pada metode *job order costing* terdapat 2 pendekatan yaitu *variable costing* dan *full costing*. Berdasarkan system kerja pada perusahaan yaitu *job order* maka pada penelitian ini dalam menentukan harga pokok produksi menggunakan metode *job order costing* dengan pendekatan *full*

costing. Dengan menggunakan metode *job order costing* maka akan didapatkan hasil yang lebih maksimal dan lebih akurat. Hal ini dikarenakan pada perhitungan tersebut menggolongkan seluruh komponen biaya yang dibutuhkan. Penggolongan komponen biaya dapat juga mempengaruhi nilai harga jual dan profit yang didapatkan. Seluruh pembebanan biaya yang dilakukan pada metode ini yaitu dengan membebankan kepada produk.

2. METODOLOGI

2.1 Biaya

Menurut Mulyadi (2014), pengertian biaya dalam arti luas yaitu pengorbanan sumber ekonomi yang diukur dalam satuan uang, yang telah terjadi atau kemungkinan akan terjadi untuk tujuan tertentu terdapat 4 unsur pokok dalam definisi biaya yaitu sebagai berikut :

1. Biaya merupakan pengorbanan sumber ekonomi.
2. Diukur dalam satuan uang.
3. Yang telah terjadi atau yang secara potensial akan terjadi.
4. Pengorbanan tersebut untuk tujuan tertentu.

2.2 Penggolongan Biaya

Langkah pertama dalam menentukan harga pokok produksi adalah menentukan penggolongan biaya. Dalam buku yang ditulis oleh Mulyadi (2014:13), penggolongan biaya ditentukan atas dasar tujuan yang hendak dicapai dengan penggolongan berbagai macam cara. Biaya dapat digolongkan menurut :

1. Objek pengeluaran.
2. Fungsi pokok dalam perusahaan.
3. Hubungan biaya dengan sesuatu yang dibiayai.
4. Perilaku biaya dalam hubungannya dengan perubahan volume kegiatan.
5. Jangka waktu manfaatnya.

2.3 Harga Pokok Produksi

Menurut Mulyadi (2014), harga pokok produksi atau harga pokok adalah pengorbanan sumber ekonomi yang diukur dalam satuan uang yang telah terjadi atau kemungkinan terjadi untuk memperoleh penghasilan. Lebih lanjut Mulyadi menjelaskan bahwa biaya produksi merupakan biaya-biaya yang terjadi untuk mengolah bahan baku menjadi produk jadi yang siap untuk dijual. Pengertian harga pokok produksi menurut Bastian Bustami dan Nurlela (2010), harga pokok produksi adalah: "Kumpulan biaya produksi yang terdiri dari bahan baku langsung, tenaga kerja langsung, dan biaya overhead pabrik ditambah persediaan produk dalam proses awal dan dikurangi persediaan produk dalam proses akhir. Harga pokok produksi terikat pada periode waktu tertentu. Harga pokok produksi akan sama dengan biaya produksi apabila tidak ada persediaan produk dalam proses awal dan akhir".

2.4 Komponen Harga Pokok Produksi

Dalam komponen harga pokok produksi terdapat biaya langsung dan tidak langsung. Biaya – biaya tersebut dikeluarkan untuk mengubah bahan baku menjadi barang jadi (produk). Yang termasuk komponen utama harga pokok produksi pada biaya langsung adalah sebagai berikut :

1. Biaya Bahan Baku Langsung (*Direct Material Cost*)
 Biaya ini dikeluarkan untuk membeli suatu komponen utama proses produksi yaitu pembelian material. Dalam menentukan biaya bahan baku langsung dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Harga Material} = \text{massa material} \times \text{harga material/kg}$$
2. Biaya Tenaga Kerja Langsung
 Biaya yang dikeluarkan untuk memberikan upah kepada tenaga kerja langsung. Dalam penentuan biaya tenaga kerja langsung dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Biaya tenaga kerja langsung} = \text{tarif upah} \times \text{jam kerja karyawan}$$

Adapun yang termasuk penggolongan biaya tidak langsung yaitu sebagai berikut :

1. Biaya Bahan Baku Tidak Langsung
2. Biaya Tenaga Kerja Tidak Langsung
3. Biaya *Overhead*

2.5 Metode Job Order Costing pendekatan Full Costing

Metode pendekatan *full costing* yaitu suatu metode penentuan harga pokok produksi yang membebankan seluruh biaya produksi kepada produk. Dalam perhitungan ini dapat dilakukan dengan menjumlahkan seluruh komponen harga pokok produksi. Berikut table perhitungan harga pokok produksi dengan pendekatan *full costing*:

Tabel 1: Perhitungan Harga Pokok Produksi Pendekatan *Full Costing*

Biaya Bahan Baku	Rp. xxxxx
Biaya Tenaga Kerja Langsung	Rp. xxxxx
Biaya <i>Overhead</i> Pabrik Tetap	Rp. xxxxx
Biaya <i>Overhead</i> Pabrik Variabel	
Harga Pokok Produksi	Rp. xxxxx

Sumber: Mulyadi, 2014 :122

2.6 Teknik Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data kuantitatif dan kualitatif. Data kuantitatif terdiri dari harga bahan baku, jadwal kerja, gaji karyawan, harga tarif mesin, dan harga list material. Data kualitatif terdiri dari proses produksi data mesin, jumlah karyawan dan kualifikasi karyawan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bersarkan system kerja pada perusahaan manufaktur bidang fabrikasi dan konstruksi maka untuk perhitungan harga pokok produksi menggunakan metode *job order costing*. Produk yang diproduksi dan spesifikasi produk berdasarkan permintaan dari *customer*. Dalam perhitungan harga pokok produksi dengan menggunakan pendekatan *full costing* maka akan memperhitungkan seluruh komponen biaya yaitu biaya langsung yang terdiri dari biaya bahan baku langsung, biaya tenaga kerja langsung. Sedangkan pada biaya tidak langsung terdiri dari biaya bahan baku tidak langsung, biaya tenaga kerja tidak langsung dan biaya overhead.

1. Biaya Bahan Baku Langsung
 Biaya bahan baku langsung untuk 1 unit produk *skid winch system* didapatkan biaya sebesar Rp. 7.882.425,- dengan berat material total 773,10 kg.
2. Biaya Tenaga Kerja Langsung

Tabel 2: Perhitungan Biaya Tenaga Kerja Langsung

No	Bagian	Man Power	Waktu/ Jam	Biaya Man Power/Jam	Total Biaya
1	Marking	1	16	Rp. 10.417	Rp. 166.667
2	Cutting	1	16	Rp. 10.417	Rp. 166.667
3	Fit Up	1	32	Rp. 11.250	Rp. 360.000
4	Quality Control	1	16	Rp. 12.917	Rp. 206.000
5	Welding+ Finishing	1	16	Rp. 11.667	Rp. 186.667
6	Packing	1	8	Rp. 10.000	Rp. 80.000
7	Delivery	1	8	Rp. 10.000	Rp. 80.000
8	Total	7			Rp. 1.246.667

Sumber : Data Primer Perusahaan Manufaktur Bidang Konstruksi dan Fabrikasi,2017(telah diolah)

3. Biaya Bahan Baku Tidak Langsung

Tabel 3: Perhitungan Biaya Bahan Baku Tidak Langsung/ Biaya Consumable

No	Jenis Material	QTY	Harga Satuan	Total Biaya
1	Roll Meter tajima 5m/16ft	3 Ea	Rp. 55.000	Rp. 165.000
2	Kapur Besi uk 125mmx12mmx 5mm	4 Pcs	Rp. 2.600	Rp. 10.400
3	Penggaris Siku Prohex uk300mm	3 Ea	Rp. 15.000	Rp. 45.000
4	Penggaris 100cm	2 Ea	Rp. 40.000	Rp. 80.000
5	Jangka Sorong Merk Tricle 6"	2 Ea	Rp. 66.700	Rp. 133.400
6	Kaca Mata Potong	3 Ea	Rp. 14.500	Rp. 43.500
7	Kaca Mata Las 633p Blue Eagle	3 Ea	Rp. 125.000	Rp. 125.000
8	Sarung Tangan Las	1 Ea	Rp. 85.000	Rp. 85.000
9	Sarung Tangan Panjang	1 Ea	Rp. 16.000	Rp. 48.000
10	Sikat Besi	3 Ea	Rp. 4.700	Rp. 9.400
11	Batu Gerinda 4"x4 mm	2 Ea	Rp. 15.000	Rp. 45.000
12	Waterpass	3 Ea	Rp. 140.000	Rp. 140.000
13	Oksigen	1 m3	Rp. 23.000	Rp. 115.000
14	Gas LPG	50 Kg	Rp. 4.100	Rp. 205.000
15	Elektroda Las	3 Kg	Rp. 22.800	Rp. 68.400
Total				Rp. 1.318.100

Sumber : Data Primer Perusahaan Manufaktur Bidang Konstruksi dan Fabrikasi, 2017 (telah diolah)

4. Biaya Tenaga Kerja Tidak Langsung

Tabel 4: Perhitungan Biaya Tenaga Kerja Tidak Langsung

No	Bagian	Man Power	Waktu/ Jam	Biaya Man Power/Jam	Total Biaya
1	Manager Produksi	1	152	Rp. 17.105	Rp. 2.599.998
2	Supervisor Produksi	1	152	Rp. 13.158	Rp. 1.999.997
3	Manager QC	1	152	Rp. 17.105	Rp. 2.599.998
4	Project Engineering	1	152	Rp. 12.318	Rp. 1.872.336
5	Drafter	1	152	Rp. 12.423	Rp. 1.888.334
6	Manager PPIC	1	152	Rp. 17.105	Rp. 2.599.998
7	Staff PPIC	1	152	Rp. 11.888	Rp. 1.807.001
8	Admin PPIC	1	152	Rp. 11.439	Rp. 1.738.665
9	Estimator	1	152	Rp. 12.088	Rp. 1.837.332
10	Admin Project	1	152	Rp. 11.147	Rp. 1.694.331
11	Purchasing	1	152	Rp. 11.140	Rp. 1.693.331
12	Foreman	1	152	Rp. 10.833	Rp. 1.646.667
Total				12	Rp. 23.977.987

Sumber : Data Primer Perusahaan Manufaktur Bidang Konstruksi dan Fabrikasi, 2017 (telah diolah)

5. Biaya Overhead

Tabel 5: Biaya Overhead

No	Biaya Overhead	Jumlah Biaya
1	Biaya Permesinan	Rp. 2.337.256
2	Biaya Penyusutan Mesin	Rp. 20.069
3	Biaya Listrik	Rp. 332.480
4	Biaya Transportasi	Rp. 450.000
Total Biaya		Rp. 3.139.805

Sumber : Hasil Perhitungan (2018)

Berdasarkan perhitungan diatas maka didapatkan hasil dari perhitungan harga pokok produksi dan harga jual 1 unit *skid winch system* tersebut sebagai berikut :

Tabel 6: Rincian Harga Pokok Produksi *Skid Winch System*

Jenis Biaya	Komponen Biaya	Perhitungan HPP dengan metode <i>Job Order Costing</i>
Biaya Langsung	Biaya Bahan Baku Langsung	Rp. 7.882.425,-
	Biaya Tenaga Kerja Langsung	Rp. 1.246.667,-
Biaya Tidak Langsung	Biaya Bahan Baku Tidak Langsung	Rp. 1.318.100,-
	Biaya Tenaga Kerja Tidak Langsung	Rp. 23.977.987,-
	Biaya Overhead	Rp. 3.139.805,-
Total Harga Pokok Produksi		Rp. 37.564.984,-
Laba 25%		Rp. 9.391.246,-
Harga Jual+pajak 10%		Rp. 9.391.246,-

Sumber : pengolahan Data (2018).

Setelah mengetahui seluruh perhitungan harga pokok produksi maka dapat dilakukan hasil perhitungan tersebut. Berdasarkan perhitungan diatas didapatkan selisih nilai biaya pada perhitungan perusahaan dan perhitungan menggunakan metode *job order costing*. Berikut table perbandingan hasil perhitungan sebagai berikut :

Tabel 7: Perbandingan Harga Pokok Produksi Perusahaan dengan *Job Order Costing*

Jenis Biaya	Komponen Biaya	Perhitungan Perusahaan	Perhitungan <i>Job Order Costing</i>
Biaya langsung	Biaya Bahan Baku Langsung	Rp. 7.882.425,-	Rp. 7.882.425,-
	Biaya Tenaga Kerja Langsung	Rp. 14.688.900,-	Rp. 1.246.667,-
Biaya Tidak Langsung	Biaya Bahan Baku Tidak Langsung	-	Rp. 1.318.100,-
	Biaya Tenaga Kerja Tidak Langsung	Rp. 5.780.000,-	Rp. 23.977.987,-
	Biaya <i>Overhead</i>	Rp. 3.558.271,-	Rp. 3.139.805,-
Harga Pokok Produksi		Rp. 31.909.596,-	Rp. 37.564.984,-
Laba 25%		Rp. 3.190.959,-	Rp. 9.391.246,-
Harga Jual+10%		Rp. 35.100.555,-	Rp. 51.651.853,-

Berdasarkan perhitungan pada tabel 6 maka didapatkan harga pokok produksi menurut perusahaan sebesar Rp. 31.909.596 sedangkan perhitungan menggunakan metode *job order costing* sebesar Rp. 37.564.984,-. Maka didapatkan hasil selisih sebesar Rp. 5.665.388,-. Sedangkan perhitungan harga jual menurut perusahaan didapatkan nilai sebesar Rp. 35.100.555,- sedangkan menurut metode *job order costing* sebesar Rp. 51.651.853,-. Maka didapatkan selisih sebesar Rp. 16.551.298,-.

4. KESIMPULAN

Hasil dari penelitian dan perhitungan sebelumnya mengenai harga pokok produksi pada fabrikasi *skid winch system* yaitu menggunakan 2 penggolongan biaya yaitu biaya langsung dan biaya tidak langsung. Berdasarkan perhitungan pada tabel 6 perhitungan harga pokok produksi menggunakan metode perusahaan dan metode *job order costing* terdapat selisih sebesar Rp. 5.665.388,- sedangkan untuk perhitungan harga jual terdapat selisih sebesar Rp. 16.551.298,-. Hal ini disebabkan pada perusahaan tidak menghitung secara terperinci komponen penggolongan biaya sehingga pada perhitungan perusahaan mengalami *undercosting*.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ariskawati, M. Dan Sumanto. (2014). *Perhitungan Harga Pokok Pokok Produksi Dengan Metode Harga Pokok Pesanan (Studi pada UD. Galih Jati Semarang)*. **Jabpi**, Vol.22, No.2
- [2] Bastian,B.dan Nurlela. (2010). **Akuntansi Biaya**. Graha Ilmu, Yogyakarta.
- [3] Carter, W. K. (2009). **Akuntansi Biaya**, Edisi 14. Salemba Empat: Jakarta.
- [4] Dermawan E. S., Dewi S. P., dan Kristanto S.B. (2015). **Akutansi Biaya**. Edisi 2, In Media.
- [5] Hansen D. R., dan Mowen M. M.(2012). **Managerial Accounting**, Edisi bahasa Indonesia, Buku Dua,Edisi Pertama. Penerbit Salemba Empat, Jakarta.
- [6] Koolma, A. (2007). **Manajemen Proyek**. Universitas Indonesia Press, Jakarta.
- [7] Mulyadi. (2014). **Akuntansi Biaya**. Unit Penerbit dan Percetakan, Yogyakarta.
- [8] Pujawan, I. N. (2004). **Ekonomi Teknik**. Edisi Pertama. Penerbit Guna Widya. Surabaya.
- [9] Putra, E.P. (2015) Penentuan Harga Pokok Produksi untuk Penetapan Harga Jual dengan Metode Activity Based Costing, *Tugas Akhir*, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

Analisa Perhitungan Harga Pokok Produksi Bogie 1014 dengan Metode *Time Driven Activity Based Costing (TDABC) Analysis* (Studi Kasus Pada Perusahaan Manufaktur Alat Transportasi)

Rinda Wahyu Aningrum^{1*}, Renanda Nia Rachmadita², dan Aditya Maharani³

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia¹

*Program Studi Manajemen Bisnis Maritim, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia^{2,3}
E-mail: rindanda.rinda@gmail.com^{1*}*

Abstract – *One of the companies engaged in manufacturing is a transportation manufacturing company. This company produces transportation equipment in the form of train. In the calculation of cost of good's manufacturing, the company has not considered all the activities that may incur costs. This is still not accurate and yet detailed. Calculation of cost of good's calculation sold greatly affect the selling price and the profits earned by the company. The calculation of cost of goods manufactured will be more accurate when using Time Driven Activity Based Costing (TDABC) method. Time Driven Activity Based Costing (TDABC) is a method used to determine the cost of production that uses two parameters in the determination, which is the time required to perform a process and the cost of each unit capacity. On the other hand, TDABC method uses times cost driver so it can give more effective result and does not cause distortion of cost because time is assume cost. In addition TDABC can improve the quality of decision making so as to help the management improve it's strategic planning. TDABC allows management to charge resource cost directly to the cost object. The calculation of cost of goods manufacturing using TDABC method obtained value Rp 52.169.080,49 per unit. Profit product is obtained from the target profit desired by the company. This causes the cost of production greatly affect the amount of profit.*

Keyword: *Cost, Cost of Production, Time Driven Activity Based Costing.*

1. PENDAHULUAN

Perusahaan harus mampu menentukan harga yang kompetitif dan dapat diterima oleh masyarakat. Untuk memperoleh laba yang optimum sesuai dengan kualitas produk, perhitungan Harga Pokok Produksi (HPP) merupakan salah satu hal yang perlu diperhatikan oleh perusahaan. Harga jual suatu produk berpengaruh terhadap besarnya laba yang diterima oleh perusahaan. Menurut Sunarto dan Juniar dalam Rahmaji (2013), penetapan harga pokok produksi yaitu dengan cara menekan biaya produksi serendah mungkin dan tetap menjaga kualitas dari barang atau produk yang dihasilkan, sehingga harga pokok satuan yang dihasilkan perusahaan lebih rendah dari sebelumnya.

Dimana perhitungan harga pokok produksi pada perusahaan manufaktur transportasi ini menggunakan suatu sistem yang telah ditetapkan oleh perusahaan itu sendiri. Tidak semua *variable* atau aktivitas yang menimbulkan biaya dimasukkan dalam perhitungan harga pokok produksi, tentunya hal ini dapat mempengaruhi biaya produksi dan harga jual dari produk yang diharapkan dapat menghasilkan profit yang maksimal dengan harga jual yang bersaing. Untuk memperbaiki sistem perhitungan harga pokok produksi dari perusahaan manufaktur

transportasi ini, maka perlu dilakukan perhitungan harga pokok produksi dengan memperhatikan aktivitas yang menimbulkan biaya dan dapat mempengaruhi biaya produksi, serta metode yang dapat digunakan dalam menentukan harga pokok produksi yang nantinya akan menghasilkan nilai yang *relevan*. Penulis melakukan penelitian mengenai harga pokok produksi menggunakan metode *Time Driven Activity Based Costing (TDABC) Analysis* sehingga didapatkan harga pokok produksi yang lebih *relevan* untuk pihak perusahaan dan mampu bersaing dengan perusahaan-perusahaan lainnya.

2. METODOLOGI

Menurut Robert S. Kaplan dan Steven R Anderson (2007) *Time Driven Activity Based Costing Analysis* merupakan metode pendekatan yang digunakan untuk menentukan biaya dari suatu produk, baik produk jasa maupun produk manufaktur. *TDABC* dapat mencakup beberapa pemicu untuk setiap aktivitas. Untuk membangun model perhitungan biaya dengan menggunakan metode *TDABC*, dibutuhkan dua parameter, yaitu waktu yang dibutuhkan untuk melakukan suatu proses dan biaya setiap satuan kapasitas.

Berikut tahapan perhitungan harga pokok produksi menggunakan metode *TDABC*:

1. Identifikasi Aktivitas

Aktivitas disini tentunya seluruh aktivitas yang menimbulkan biaya sehingga dapat mempengaruhi nilai harga pokok produksi. Selain aktivitas juga perlu diketahui waktu yang dibutuhkan untuk melakukan masing-masing aktivitas.

2. Estimasi Biaya Per Unit

Biaya per unit dapat dihitung dengan pendekatan berikut

$$\text{Biaya per unit} = \frac{\text{Biaya Kapasitas yang Tersedia}}{\text{Kapasitas pada Praktik dari Sumber Daya}} \quad (2.1)$$

Sedangkan untuk menghitung *capacity cost rate* menggunakan rumus seperti berikut:

$$\text{Alokasi unit} = y \text{ per jam} \times \text{jam per bulan} \quad (2.2)$$

3. Estimasi Unit Waktu

Estimasi unit waktu ini mengganti proses interview pekerja untuk mengetahui berapa persen waktu yang dibutuhkan untuk melakukan semua aktivitas. Presentase nilai aktivitas adalah berapa persen nilai kapasitas praktik dari kapasitas sumber daya waktu yang tersedia. Nilai aktivitas dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Nilai Aktivitas} = \frac{\text{Kapasitas Sumber Daya}}{\text{Kapasitas Praktik}} \quad (2.3)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengumpulan Data Biaya

Biaya yang dibutuhkan untuk pembuatan *Bogie 1014* sebanyak 1 car atau 2 unit produk seperti pada tabel 1.

Tabel 1: Kebutuhan Biaya

No	Uraian	Jumlah Biaya
1	Biaya Bahan Baku	Rp 53.386.459,13
2	Biaya Tenaga Kerja	Rp 284.300.000
3	Biaya Penyusutan Mesin	Rp 10.241.656,74
4	Biaya Perawatan Mesin	Rp 11.435.389,42
5	Biaya Listrik	Rp 12.249.552,44
6	Biaya Bahan Pembantu	Rp 4.096.914,66
7	Biaya Pengiriman	Rp 2.028.188,58

Sumber :Data Primer Perusahaan Manufaktur Transportasi, 2017 (Telah diolah)

3.2 Perhitungan Harga Pokok Produksi dengan Metode *Time Driven Activity Based Costing*

1. Identifikasi Aktivitas

Tahap ini dilakukan untuk mengetahui aktivitas apa saja yang terjadi selama proses pengerjaan *Bogie 1014*. Untuk aktivitas yang terjadi selama proses produksi *Bogie 1014* seperti pada tabel 2 berikut.

Tabel 2: Aktivitas Produksi

No	Unit	Jam per Produksi	Jam Per Bulan
1	<i>Steel work</i> atau <i>cutting</i>	8,5	102
2	<i>Assembly</i>	22	264
3	<i>Machining</i>	24	288
4	<i>Finishing</i>	5	60

Sumber :Data Primer Perusahaan Manufaktur Transportasi, 2017 (Telah diolah)

Dari data di atas, jam kerja yang digunakan untuk produksi *Bogie 1014* setiap harinya adalah 8 jam. Untuk menyelesaikan satu kali produksi *Bogie 1014* ini dibutuhkan waktu selama 3 hari.

2. Capacity cost rate

Pada perhitungan *capacity cost rate* dilakukan pengelompokan berdasarkan unit yang terlibat dalam proses produksi untuk memudahkan perhitungannya. Pengelompokan unit tersebut sebagai berikut:

- *Steel work*
- *Machining*
- *Finishing*
- *Assembly*

a. Perawatan

Tabel 3 berikut ini menyajikan perhitungan aktivitas perawatan yang terjadi. Untuk perawatan ini terdapat kapasitas sumber daya sebesar Rp 80.047.725,94. Dimana nilai sumber daya didapatkan dari nilai perawatan per produksi yaitu Rp 11.435.398,42 dikalikan dengan 7 (jumlah produksi selama 1 bulan).

Tabel 3: Perawatan mesin

Unit	Jam per Produksi	Jam Per Bulan	Perawatan
<i>Steel work</i>	3	21	Rp 34.306.168,26
<i>Assembly</i>	2	14	Rp 22.870.778,84
<i>Machining</i>	1	7	Rp 11.435.389,42
<i>Finishing</i>	1	7	Rp 11.435.389,42
Kapasitas praktik		49	
Perawatan/jam	Rp 1.633.627,06		Rp 80.047.725,94

*1 bulan 7 kali proses produksi

Kapasitas sumber perawatan adalah kapasitas yang disediakan oleh manajemen perusahaan manufaktur transportasi selama satu bulan untuk membayar perawatan. Kapasitas perawatan yang disediakan oleh perusahaan sebesar Rp 80.047.725,94 untuk proses produksi selama 1 bulan. Untuk nilai jam per produksi didapatkan dengan melakukan wawancara langsung dengan pihak perusahaan manufaktur kereta yaitu tenaga langsung dari setiap operator mesin. Perhitungan beban perawatan dapat dihitung menggunakan persamaan 2.1, dengan perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Perawatan/jam} &= \\ \frac{\text{Biaya Kapasitas yang Tersedia}}{\text{Kapasitas Praktik}} &= \\ = \frac{\text{Rp } 80.047.725,42}{49} &= \\ = \text{Rp } 1.633.627,06 /\text{jam} \end{aligned}$$

Dengan demikian alokasi beban perawatan selama satu bulan untuk masing-masing unit berbasis *TDABC* dapat dihitung seperti persamaan 2.2 dengan hasil perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Alokasi unit} &= \\ \text{perawatan per jam} \times \text{jam per bulan} &= \\ \text{Perawatan } \textit{steel work} &= \\ = \text{Rp } 1.633.627,06 \times 21 &= \\ = \text{Rp } 34.306.168,26 \text{ jam per bulan} \end{aligned}$$

Untuk alokasi perawatan unit lain dapat dilakukan perhitungan yang sama dengan alokasi perawatan pada unit *steel work*.

b. Penyusutan

Diketahui : Sumber daya penyusutan sebesar Rp 71.691.597,18.
 Kapasitas praktik 105 jam per bulan
 Penyusutan/jam =

$$\begin{aligned} \frac{\text{Biaya Kapasitas yang Tersedia}}{\text{Kapasitas Praktik}} &= \\ = \frac{\text{Rp } 71.691.597,18}{105} &= \\ = \text{Rp } 682.777,12 /\text{jam} \end{aligned}$$

Alokasi beban penyusutan selama satu bulan dengan berbasis *TDABC* untuk masing-masing unit dihitung dengan persamaan 2.10:

$$\begin{aligned} \text{Alokasi unit} &= \text{penyusutan per jam} \times \text{jam per bulan} \\ \text{Penyusutan } \textit{steel wor} &= \\ = \text{Rp } 682.777,12 \times 14 &= \\ = \text{Rp } 9.558.879,62 \text{ jam per bulan} \end{aligned}$$

Untuk alokasi penyusutan unit lain didapatkan nilai untuk setiap biaya penyusutan sebagai berikut:

- Alokasi unit *assembly*
 = Rp 26.286.918,97 jam per bulan
- Alokasi unit *machining*
 = Rp 28.676.638,87 jam per bulan
- Alokasi unit *finishing*
 = Rp 7.169.159,72 jam per bulan

c. Listrik

Diketahui : Sumber daya listrik sebesar Rp 85.746.867,08.

Kapasitas praktik 416,5 jam per bulan
 Listrik/jam

$$\begin{aligned} = \frac{\text{Biaya Kapasitas yang Tersedia}}{\text{Kapasitas Praktik}} &= \\ = \frac{\text{Rp } 85.746.867,08}{416,5} &= \\ = \text{Rp } 205.874,83 /\text{jam} \end{aligned}$$

Alokasi beban penyusutan selama satu bulan dengan berbasis *TDABC* untuk masing-masing unit dihitung dengan persamaan 2:10:

$$\begin{aligned} \text{Alokasi unit} &= \\ \text{penyusutan per jam} \times \text{jam per bulan} &= \end{aligned}$$

Kebutuhan listrik *steel work*

$$\begin{aligned} = \text{Rp } 205.874,83 \times 59,5 &= \\ = \text{Rp } 12.249.552,44 \text{ jam per bulan} \end{aligned}$$

Untuk alokasi penyusutan unit lain didapatkan nilai untuk setiap biaya listrik sebagai berikut:

- Alokasi unit *assembly*
 = Rp 31.704.723,96 jam per bulan
- Alokasi unit *machining*
 = Rp 34.586.971,60 jam per bulan
- Alokasi unit *finishing*
 = Rp 7.205.619,08 jam per bulan

d. Pengiriman

Diketahui : Sumber daya pengiriman sebesar Rp 14.197.320,06.

Kapasitas praktik 14 jam per bulan

Untuk mengetahui beban pengiriman per waktu dapat dihitung menggunakan persamaan 2.1:

$$\begin{aligned} \text{Pengiriman/jam} &= \\ = \frac{\text{Biaya Kapasitas yang Tersedia}}{\text{Kapasitas Praktik}} &= \\ = \frac{\text{Rp } 14.197.320,06}{14} &= \\ = \text{Rp } 1.014.094,29 /\text{jam} \end{aligned}$$

Alokasi beban pengiriman selama satu bulan dengan berbasis *TDABC* untuk masing-masing unit dihitung dengan persamaan 2.2:

$$\begin{aligned} \text{Alokasi unit} &= \\ \text{pengiriman per jam} \times \text{jam per bulan} &= \end{aligned}$$

Pengiriman *steel work*

$$\begin{aligned} = \text{Rp } 1.014.094,29 \times 3,5 &= \\ = \text{Rp } 8.873.324,25 \text{ jam per bulan} \end{aligned}$$

Untuk alokasi penyusutan unit lain didapatkan nilai untuk setiap biaya listrik sebagai berikut:

- Alokasi unit *assembly*
 = Rp 12.422.653,95jam per bulan
- Alokasi unit *machining*
 = Rp 10.647.989,1jam per bulan
- Alokasi unit *finishing*
 = Rp – (tidak ada proses pengiriman)

e. Tenaga Kerja

Diketahui :Sumber daya tenaga kerja sebesar Rp 76.300.000 (tenaga kerja langsung 1 bulan).

Kapasitas praktik 416,5 jam per bulan

Untuk mengetahui beban tenaga kerja per waktu dapat dihitung menggunakan persamaan 2.1:

Tenaga kerja/jam

$$= \frac{\text{Biaya Kapasitas yang Tersedia}}{\text{Kapasitas Praktik}}$$

$$= \frac{\text{Rp } 76.300.000}{416,5}$$

$$= \text{Rp } 183.193,28 \text{ /jam}$$

Alokasi beban tenaga kerja selama satu bulan dengan berbasis *TDABC* untuk masing-masing unit dihitung dengan persamaan 2.2:

Alokasi unit

= tenaga kerja per jam x jam per bulan

Tenaga kerja *steel work*

$$= \text{Rp } 183.193,28 \times 59,5$$

$$= \text{Rp } 10.900.000 \text{ jam per bulan}$$

Untuk alokasi penyusutan unit lain didapatkan nilai untuk setiap biaya listrik sebagai berikut:

- Alokasi unit *assembly*
 =Rp 28.211.764,71jam per bulan
- Alokasi unit *machining*
 = Rp 30.776.470,59jam per bulan
- Alokasi unit *finishing*
 = Rp 6.411.764,706jam per bulan

Berdasarkan perhitungan *capacity cost rate* untuk setiap unit di atas didapatkan total nilai *capacity cost rate* Rp 327.938.510,26.

3. Harga Pokok Produksi

Berikut ini perhitungan harga pokok produksi dari *Bogie 1014*.

$$\begin{aligned} \text{HPP 7 car} &= \text{Bahan baku} + \text{Bahan} \\ &\quad \text{pembantu} + \text{Capacity cost rate} \\ &= \text{Rp } 373.705.213,9 + \text{Rp} \\ &\quad 28.678.402,62 + \text{Rp} \\ &\quad 327.938.510,26 \\ &= \text{Rp } 730.367.126,79 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{HPP per unit} &= \frac{\text{HPP 7 car}}{14} \\ &= \frac{\text{Rp } 730.367.126,79}{14} \\ &= \text{Rp } 52.169.080,49 \end{aligned}$$

4. Analisa Aktivitas

Untuk memperbaiki profitabilitas usaha penilaian aktivitas merupakan hal yang sangat mendasar. Kinerja aktivitas terletak pada tiga dimensi, yaitu efisiensi, kualitas, dan waktu. Berdasarkan data karyawan, perusahaan memperkerjakan 45 orang karyawan untuk memproduksi *Bogie 1014*. Dengan demikian dapat dihitung kapasitas sumber daya waktu yang tersedia berdasarkan persamaan 2.3:

Nilai aktivitas

$$= \frac{\text{Kapasitas Sumber Daya Waktu}}{\text{Kapasitas Praktik}}$$

Diketahui :

Kapasitas Sumber Daya Waktu : 24 jam x 20 hari kerja = 480 jam

Kapasitas Praktik :59,5 jam per produksi x 7 kali proses produksi = 416,5 jam

$$\begin{aligned} \text{Nilai aktivitas} &= \frac{480}{100\%} = \frac{416,6}{\gamma} \\ &= 480\gamma = 416,5 \times \\ &\quad 100\% \\ &= \frac{416,5}{480} \\ &= 0,86 \end{aligned}$$

Persentase efisiensi kapasitas sumber daya waktu hanya mencapai 86%. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat kapasitas tidak terpakai sebesar 14%.

4. KESIMPULAN

Harga pokok produksi yang didapatkan dari hasil perhitungan menggunakan metode *TDABC* didapatkan nilai Rp 52.169.080,49 untuk setiap unit *Bogie 1014*. Tentunya harga pokok produksi yang didapatkan tinggi, karena dengan *TDABC* ini terdapat variabel yang lebih banyak digunakan. Dengan metode *TDABC* ini dapat diketahui biaya per jam yang dikeluarkan oleh perusahaan untuk setiap proses yang dilakukan.

Analisis *TDABC* menunjukkan bahwa perusahaan masih belum efisien, karena tingkat optimasi aktivitas produksi hanya menunjukkan 86%. Dengan kata lain 14% merupakan *idle capacity* yang perlu diupayakan untuk menghasilkan nilai tambah. Kapasitas menganggur menyebabkan meningkatnya biaya atau terjadinya biaya yang sebenarnya tidak diperlukan. Upaya efisiensi dapat dilakukan melalui peningkatan produktivitas dan penghematan biaya. Untuk itu perlu dilakukan peninjauan ulang terhadap aktivitas produksi yang dilakukan sehingga waktu produksi bisa optimal.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kaplan, R. S. dan S. R. Anderson (2007). **Time-Driven Activity-Based Costing: A simple and More Powerful Path to Higher Profit**. Havard Business School Press, United States of America.
- [2] Oktavia, D. (2014). *Implementasi Time Driven Based Costing (TDABC) Pada Usaha Kecil Menengah (UKM) Tape Handayani 82 Bondowoso*. **Skripsi**, Universitas Jember.
- [3] Putra, E. P. A. (2015). Penentuan Harga Pokok Produksi Untuk Penetapan Harga Jual Dengan Metode *Activity Based Costing* (Studi Kasus Pada CV. X). **Tugas Akhir**, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya.
- [4] Rahmaji, D. (2013). *Penerapan Activity Based Costing System Untuk Menentukan Harga Pokok Produksi PT. Celebes Mina Pratama*. **Jurnal EMBA**, Vol.1, No.3, Universitas Sam Ratulangi, Manado.

Analisis TPM pada Mesin *Press Fine Blanking* 1100 Ton dengan Metode OEE di Perusahaan *Manufacturing Press Part*

Muhammad Johan Rifa'i^{1*}, Bayu Wiro Karuniawan², Fipka Bisono³

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia^{1,2,3}
E-mail:johan030396@gmail.com^{1*}

Abstract – In East Java there is one company that is engaged in Stamping Press (Precision Stamping Parts and Fine Forming Part) which supplies several automotive manufacturing industries in Indonesia. In this company has a 1100 Ton Fine Blanking machine. The machine is still experiencing a lot of breakdown so that in this research will look for factors that affect the time of breakdown and is expected to increase the productivity of production activities. This research uses several methods namely OEE, RCA, and FMEA. The measurement of Overall Equipment Effectiveness (OEE) value will be used as the basis for improvement efforts and increase the effectiveness and productivity of the 1100 Ton Fine Blanking machine. RCA is used to obtain a cause that greatly affects the decline in OEE values. While FMEA to prioritize the factors that require immediate improvement. By collecting related and calculated data, the OEE value is 48%. The value is not in accordance with the ideal OEE standard value. Therefore a causal analysis is done and the results obtained is that dies problem is the most influencing in the decline of OEE values. One of the problems that often arise refers to RCA and FMEA is the occurrence of chipped on the main punch caused by the deformation of the material. So we get alternative solution to handle it by way of coating on main punch or replace material with higher grade.

Keyword: Stamping, Fine Blanking, Overall Equipment Effectiveness (OEE), RCA (Root Cause Analysis), FMEA (Failure And Effect Analysis).

1. PENDAHULUAN

Industri otomotif di Indonesia mulai mengalami perkembangan yang cukup pesat dan telah menjadi salah satu pilar penting dalam sektor manufaktur di negara ini. Hal ini dikarenakan banyaknya perusahaan mobil ataupun motor yang terkenal di dunia membuka kembali pabrik-pabrik manufaktur otomotif di negara ini. Indonesia memiliki industri manufaktur otomotif terbesar kedua di Asia Tenggara setelah Thailand yang menguasai hampir sekitar 50 persen dari produksi otomotif di wilayah Asia Tenggara. Dengan banyaknya industri manufaktur mobil ataupun motor tentunya membutuhkan industri manufaktur lain seperti industri manufaktur dalam bidang sparepart atau part-part lain yang ada didalam mobil ataupun motor tersebut untuk membantu kelangsungan dari industri-industri otomotif yang sudah ada.

Di Jawa Timur terdapat salah satu perusahaan yang bergerak dalam bidang *Stamping Press* (*Precision Stamping Parts* dan *Fine Forming Part*) yang mensuplai beberapa industri manufaktur mobil ataupun motor yang ada di Indonesia. Perusahaan ini memiliki beberapa mesin *Stamping Press*, tentunya setiap mesin *press* memiliki fungsi yang berbeda-beda sesuai dengan kebutuhan produk yang akan dibuat. *Fine Blank Press* merupakan terobosan terbaru di dalam industri *Stamping Press* karena

menawarkan hasil produk yang sangat baik dalam segi kualitas proses *forming* dengan hasil *forming* dan *drawing* yang memiliki kepresisian yang tinggi dan halus dari pada mesin *press* lainnya. Di dalam industri *Stamping Press* tidak hanya faktor berhentinya mesin atau kerusakan mesin yang mengakibatkan berhentinya proses produksi, ada faktor lainnya yang menyebabkan terhentinya suatu produksi yaitu kerusakan pada dies ataupun part-part yang ada didalam dies tersebut. Pendekatan *Total Productive Maintenance* tidak hanya berfokus pada bagaimana mengoptimalkan produktivitas dari peralatan atau material pendukung kegiatan kerja, tetapi juga memperhatikan bagaimana meningkatkan produktivitas dari para pekerja atau operator. *Overall Equipment Effectiveness* atau disingkat dengan OEE merupakan salah satu cara atau metode untuk mengukur kinerja dari sebuah mesin produksi dalam penerapan untuk pendekatan TPM. Penelitian membahas tentang bagaimana meningkatkan produktivitas produksi dengan menggunakan pendekatan TPM dengan pengukuran nilai OEE yang digunakan sebagai dasar dalam usaha perbaikan dan peningkatan efektifitas dan produktivitas dari sistem perusahaan *Manufacturing Press Part* tersebut.

2. METODOLOGI

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah OEE, RCA dan FMEA. Langkah – langkah pengerjaan dilakukan sebagai berikut.

1. Melakukan Pengumpulan Data. Data-data tersebut adalah waktu produksi, *loading time*, *downtime*, waktu siklus, dan jumlah produk yang diproduksi.
2. Pengolahan Data. Menentukan nilai *Availability Rate*, *Performance Rate*, *Quality Rate* dan OEE.
3. Melakukan Analisa dengan Metode RCA dan FMEA.
4. Merumuskan alternative solusi.
5. Kesimpulan dan saran.
6. Selesai.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengumpulan Data

Didapatkan data *Work time*, *Downtime*, *Plan Downtime*, Produk *Rework*, Produk NG (*No Good*), *Cavity*, *Shoot Per Time*.

3.2 Pengolahan Data

3.2.1 Availability Rate

Availability rate adalah rasio yang menggambarkan pemanfaatan waktu yang tersedia untuk kegiatan operasi produksi oleh sebuah mesin. *Availability Rate* bisa ditentukan dengan cara membandingkan antara nilai *operating time* dengan *production time/loading time*. Dimana *operating time* merupakan selisih antara *loading time* dengan *downtime*. Sedangkan *production time* sendiri merupakan waktu total dalam periode tertentu untuk melakukan aktivitas produksi yang ditelah dikurangi dengan waktu *plan downtime*. Dibawah ini adalah rumus untuk mencari nilai *availability rate*.

$$Availability = \frac{operation\ time}{loading\ time} \times 100\%$$

$$Availability = \frac{loading\ time - downtime}{loading\ time} \times 100\%$$

$$Availability = \frac{(work\ time - plan\ downtime) - downtime}{work\ time - plan\ downtime} \times 100\%$$

3.2.2 Performance Rate

Performance rate merupakan suatu rasio yang menggambarkan kemampuan dari peralatan maupun suatu mesin untuk menghasilkan sejumlah barang atau produk. Dimana dalam penentuan nilai *performance rate* ini merupakan hasil dari perbandingan antara *Total press actual* dengan *Total press standart* dari suatu produksi. *Total press actual* merupakan pertambahan dari jumlah produk yang layak dengan produk yang mengalami perbaikan ulang serta produk NG (*No Good*) atau produk tidak layak. Sedangkan *Total*

press standart merupakan hasil kali dari jumlah *cavity* di setiap dies dengan *operating time* dan *cycle time*. *Actual cycle time* adalah waktu aktual produksi yang sebenarnya. Dibawah ini adalah rumus untuk mencari nilai *performance rate*.

$$Performance\ rate = \frac{Total\ press\ actual}{Total\ press\ standart} \times 100\%$$

$$Performance\ rate = \frac{Produk\ Ok + Rework + NG}{Cavity \times Shoot\ per\ minute \times Operating\ Time} \times 100\%$$

3.2.3 Quality Rate

Quality rate merupakan suatu rasio yang menggambarkan kemampuan sebuah peralatan ataupun mesin dalam menghasilkan produk yang sesuai dengan standar yang baik. Dimana dalam penentuan nilai *quality rate* ini merupakan hasil perbandingan antara jumlah produk ok (*good product*) atau produk yang lulus sesuai dengan kriteria *quality control* dengan jumlah total press aktual yang ada. Sedangkan total press aktual merupakan pertambahan dari jumlah produk ok (*good product*) dengan produk rework atau produk yang akan dikerjakan ulang dan NG (*No Good*) atau produk tidak layak. Berikut ini adalah rumus untuk mencari nilai *quality rate*.

$$Quality\ rate = \frac{Product\ Ok}{Total\ press\ actual} \times 100\%$$

$$Quality\ rate = \frac{Product\ Ok}{Produk\ Ok + Rework + NG} \times 100\%$$

3.2.4 Overall Equipment Effectiveness (OEE)

Overall Equipment Effectiveness (OEE) merupakan ukuran menyeluruh yang mengidentifikasi tingkat produktivitas mesin atau peralatan dan kinerja secara teori. Dimana dalam penentuan nilai OEE merupakan hasil perkalian antara tiga faktor utama OEE. Tiga faktor tersebut adalah nilai *availability rate*, *performance rate*, dan *quality rate*. Ketiga faktor tersebut akan menjadi penentuan besar kecilnya dari suatu nilai *Overall Equipment Effectiveness (OEE)*. Berikut ini merupakan hasil perhitungan OEE pada bulan Mei 2017 hingga April 2018.

Tabel 1: OEE Bulan Mei 2017 sampai April 2018

No.	Bulan	Availability Rate %	Performance Rate %	Quality Rate %	OEE %
1	Mei	49%	82%	95%	38%
2	Juni	57%	80%	98%	45%
3	Juli	45%	77%	99%	34%
4	Agustus	61%	67%	100%	41%
5	September	62%	73%	100%	45%
6	Oktober	71%	79%	100%	56%
7	November	66%	68%	100%	45%
8	Desember	65%	70%	100%	45%
9	Januari	80%	70%	100%	56%
10	Februari	74%	74%	100%	55%
11	Maret	70%	77%	100%	54%
12	April	78%	78%	100%	61%
Rata-rata					48%

Dapat diketahui bahwa besarnya nilai OEE yang dimulai pada bulan Mei 2017 sampai dengan bulan April 2018 adalah 48 %. Standar *benchmark world class* untuk OEE yang dianjurkan JIPM adalah sebesar 85%, yang berarti masih terdapat selisih yang sangat jauh sebesar 37% antara yang terjadi di mesin *Fine Blanking* 1100 Ton dengan kondisi ideal yang diharapkan. Dapat dikatakan bahwa keefektifitasan dari mesin *Fine Blanking* 1100 Ton belum sesuai dengan nilai standar ideal *Overall Equipment Effectiveness* (OEE).

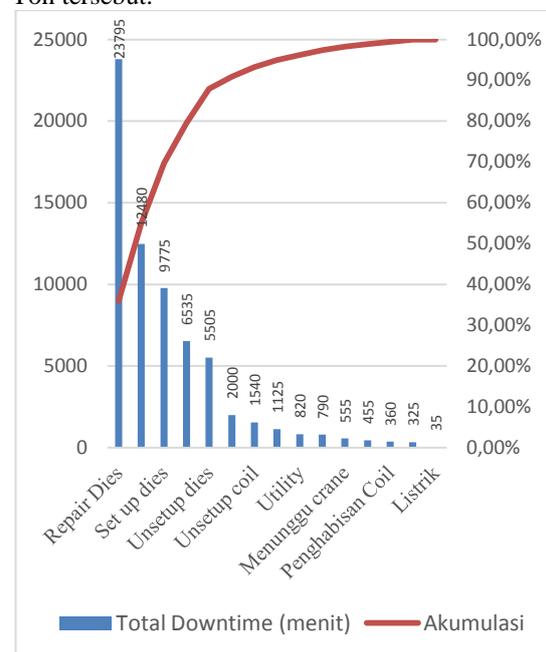
3.3 Analisa Data

3.3.1 Analisa Losses

Pada penelitian ini terfokus untuk penanganan dari turunnya nilai *availability rate*. Hal ini dikarenakan nilai dari *availability rate* cukup rendah dengan mencapai nilai rata-rata satu tahunnya sebesar 65% dibandingkan dengan nilai dari *performance rate* yang sebesar 75% satu tahunnya. Dapat dikatakan bahwa penanganan untuk menaikkan nilai dari *availability rate* lebih dibutuhkan dibandingkan penanganan untuk nilai *performance rate*. Turunnya nilai *availability rate* dipengaruhi dua hal yang utama, yaitu *Equipment Failure* dan *Setup and Adjustment*. *Equipment Failure* adalah kerugian yang disebabkan adanya kerusakan mesin dan peralatan yang memerlukan perbaikan. Sedangkan *Setup and Adjustment* adalah pengaturan dan penyesuaian yang disebabkan adanya perubahan kondisi operasi produksi.

Berikut merupakan total durasi terjadinya *downtime* yang dikelompokkan pada setiap permasalahannya mulai bulan Mei 2017 hingga April 2018 yang terjadi pada mesin *Fine Blanking* 1100 Ton. Berdasarkan pareto chart dibawah ini tersebut dapat dilihat bahwa Repair Dies merupakan penyebab terbesar downtime yang terjadi pada mesin tersebut. Dengan waktu breakdown terlama yaitu sebesar 23795 menit atau berkisar 396.5 jam dengan begitu penyebab

terbesar dari turunnya nilai *availability rate* dikarenakan sering terjadinya repair dies. Sehingga akan dilakukannya analisa tentang penyebab-penyebab masalah yang terjadi pada dies yang bekerja pada mesin *Fine Blanking* 1100 Ton tersebut.



Gambar 1. Downtime Mesin Fine Blanking 1100 Ton Bulan Mei 2017 – April 2018

3.3.2 Analisis dengan RCA (Root Cause Analysis)

Untuk mengetahui penyebab terjadinya kerusakan pada dies (*dies problem*) yang terjadi pada mesin *Fine Blanking* 1100 Ton, dalam penelitian ini penulis menggunakan salah satu metode yaitu RCA (*Root Cause Analysis*). *RCA* (*Root Cause Analysis*) adalah suatu metodologi untuk membantu proses identifikasi sebab-sebab penting dalam suatu permasalahan yang dialami baik permasalahan operasional maupun permasalahan fungsional. Tabel 2 dibawah ini akan memaparkan tentang masalah-masalah penting yang dialami dies yang bekerja dalam mesin *Fine Blanking* 1100 Ton dengan penjelasan dari beberapa *cause*.

Tabel 2: RCA (Root Cause Analysis) Dies Problem

No.	Cause 1	Cause 2	Cause 3
Dies Problem di Mesin FB 1100 Ton	1	Main punch gempil Clearance tidak bagus	deformasi material countur aus material kurang kuat
	2	Tinggi bidho pin minim Tinggi bidho tidak standart	Bidho sudah mencapai batas limit surface
	3	Scrap tersangkut Push pin tidak standart	Push pin kurang tinggi
	4	Produk tidak terpotong Salah pengaturan ketinggian atau Die High	Operator kurang teliti
	5	Nidjihadan dan Hadan Clearance terlalu besar atau buruk	Punch aus Clearance bergeser Port punch (middle punch) aus
	6	Terjadi dakon (dekok) Insert Die kemasukkan scrapt	Angin nozzle kurang kencang Operator kurang menjaga kebersihan
	7	Panjang produk out Main punch kurang motong	Main punch kurang tinggi
	8	Produk kurang marking Marking aus	Marking kurang tinggi
	9	Baut putus material baut rendah	tensile strength rendah kekuatan baut di dies yang rendah

3.3.3 Analisis dengan FMEA (Failure Mode and Effect Analysis)

Untuk mengetahui faktor-faktor penyebab mana saja yang menjadi masalah terbesar dari Dies Problem diatas maka dipergunakan metode FMEA (Failure Mode and Effect Analysis). Dengan metode ini diharapkan dapat diketahui faktor mana saja yang menjadi prioritas untuk dilakukan perbaikan dengan segera. Hal ini dapat diketahui dengan cara melihat hasil dari nilai RPN dari setiap masalah yang terjadi. RPN merupakan nilai prioritas risiko yang ada, semakin besar nilai RPN dari suatu masalah berarti juga semakin besar prioritas perbaikan yang harus segera diberikan terhadap masalah tersebut. Besarnya nilai RPN dipengaruhi tiga faktor yaitu severity atau tingkat bahaya, occurrence atau frekuensi kejadian dan detection atau potensi deteksi. Tabel 3 dibawah ini merupakan hasil penilaian dari RPN oleh perusahaan.

Tabel 3: Penilaian RPN

Failure Mode	Failure Effect	Cause	S	O	D	RPN
Main punch gempil	Terjadinya kecacatan produk, produk ikut gempil	deformasi material	7	8	9	504
		countur aus	6	7	7	294
		material kurang kuat	7	7	8	392
Tinggi bidho pin minim	Dimensi produk out	Bidho sudah mencapai batas limit surface	4	2	5	40
Scrap tersangkut	Chipping, deformasi pada punch dan dies	Push pin kurang tinggi	5	6	3	90
Produk tidak terpotong	Produk tersangkut sehingga menyebabkan deformasi pada punch dan dies	Operator kurang teliti	5	3	2	30
idjihadan dan Hadan	Deformasi pada produk, produk tidak dapat diassembly	Punch aus	3	7	7	147
		Clearance bergeser	6	4	4	96
		Port punch (middle punch) aus	3	8	5	120
Terjadi dakon (dekok)	deformasi produk, punch dan dies bisa rusak	Angin nozzle kurang kencang	2	2	3	12
		Operator kurang menjaga kebersihan	3	3	3	27
Panjang produk out	Produk tidak dapat diassembly	Main punch kurang tinggi	6	2	7	84
Produk kurang marking	cacat produk, susah melakukan identifikasi produk (mengenal produk)	Marking kurang tinggi	7	4	2	56
		tensile strength rendah	8	7	5	280
Baut putus	Lepasnya dan bergesernya posisi main punch	kekuatan baut di dies yang rendah	8	7	8	448

3.3.4 Alternatif Solusi Berdasarkan Nilai RPN Tertinggi

Berdasarkan cause dari RPN tertinggi maka dapat dirumuskan alternatif solusi terkait masalah yang ada untuk menanggulangi permasalahan yang terjadi pada dies yang bekerja pada mesin Fine Blanking 1100 Ton. Tabel 4 dibawah ini merupakan alternatif berdasarkan nilai RPN tertinggi terkait masalah yang terjadi pada dies. Tabel 4 dibawah ini merupakan alternative solusi berdasarkan RPN tertinggi.

Tabel 4: Alternatif solusi berdasarkan RPN tertinggi

DIES PROBLEM	Failure Effect	Cause	SOLUTION
	Main punch gempil	deformasi material	Membuat <i>main punch</i> dengan menggunakan material dengan grade yang lebih tinggi dari material yang digunakan saat ini
			Melapisi <i>main punch</i> atau sering disebut <i>coating logam</i> dengan AlCrN (Alcrona)
	Tinggi bidho pin minim	Bidho sudah mencapai batas limit surface	Mengganti <i>part bidho</i> dengan yang baru
	Scrap tersangkut	Push pin kurang tinggi	Menambah kan <i>shim</i> atau pelat yang berfungsi sebagai bantalan agar sama seperti ketinggian semula
			Mengatur ulang tinggi <i>die</i> atau biasa disebut <i>setting die hight</i>
			Mengganti <i>push pin</i> dengan yang baru
	Produk tidak terpotong	Operator kurang teliti	Mengatur ulang tinggi <i>die</i> atau biasa disebut <i>setting die hight</i>
			Memperketat Standar Operasional Prosedur untuk pengerjaan disetiap mesin yang ada
			Sosialisasi Pelatihan secara khusus terhadap operator
Nidjihadan dan Hadan	Punch aus	Mempertajam <i>punch</i> yang aus dengan cara memoles <i>punch</i> yang aus dengan <i>baby grind</i>	
		Menghilangkan <i>punch</i> yang aus dengan cara <i>mesurface punch</i>	
		Memberikan perawatan total dengan melakukan <i>remachining</i>	
Terjadi dakon (dekok)	Operator kurang menjaga kebersihan	Memperketat Standar Operasional Prosedur untuk pengerjaan disetiap mesin yang ada	
		Membentuk team setup man yang khusus untuk setup dan unsetup <i>dies</i> termasuk pembersihan <i>scrap</i> setelah <i>dies</i> selesai digunakan	
Panjang produk out	Main punch kurang tinggi	Dengan cara menambah kan <i>shim</i> atau pelat yang berfungsi sebagai bantalan agar sama seperti ketinggian semula	
		Jika sudah tidak memungkinkan bisa diganti dengan <i>main punch</i> yang baru	
Produk kurang marking	Marking kurang tinggi	Dengan cara menambah kan <i>shim</i> atau pelat yang berfungsi sebagai bantalan agar sama seperti ketinggian semula	
		Jika sudah tidak memungkinkan bisa diganti dengan <i>punch marking</i> yang baru	
Baut putus	kekuatan baut di <i>dies</i> yang rendah	Menambah jumlah baut untuk menopang satu <i>main punch</i> jadi jika sebelumnya hanya ada 4 jumlah baut yang menopang bisa ditambah 4 lagi sehingga kekuatan baut akan bertambah	

4. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian Tugas Akhir ini mengacu pada tujuan yang ditetapkan adalah sebagai berikut :

1. Besarnya nilai *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) dari mesin *Fine Blanking* 1100 Ton pada Mei 2017 hingga April 2018 adalah 48%. Dengan nilai faktor-faktor OEE sebagai berikut : *availability rate* 65%, *performance rate* 75%, dan *quality rate* 99%.
2. Faktor *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) yang paling mempengaruhi hasil pengukuran adalah nilai *availability rate*. Masalah yang paling mempengaruhi belum maksimalnya nilai *availability rate* adalah dikarenakan oleh tingginya durasi waktu *breakdownrepair dies* yang mencapai 23795 menit atau berkisar 396.5 jam dalam satu tahun. Mengacu pada analisa RCA dan FMEA didapatkan masalah terbesar dari seringnya dilakukan *repair dies*, yang dikarenakan : *Main punch* gempil, Tinggi bidho pin minim, *scrap* tersangkut, produk yang tidak terpotong, nidjihadan dan hadan, terjadi dekok pada produk, panjang produk out, produk kurang termarking, dan baut yang putus.
3. Solusi yang diberikan untuk menanggulangi permasalahan yang terjadi adalah sebagai berikut: Membuat *main punch* dengan menggunakan material dengan grade yang lebih tinggi, Mengganti *part bidho* dengan yang baru, Mengganti *push pin* dengan yang baru, Mengatur ulang tinggi *die* atau biasa disebut *setting die hight*, Mempertajam *punch* yang aus dengan cara memoles *punch* yang aus dengan *baby grind*, Membentuk team setup man yang khusus untuk setup dan unsetup *dies* termasuk pembersihan *scrap* setelah *dies* selesai digunakan, Menambahkan *shim* atau pelat yang berfungsi sebagai bantalan agar sama seperti ketinggian semula, Mengganti dengan *punch marking* yang baru, dan Menambah jumlah baut untuk menopang satu *main punch* jadi jika sebelumnya hanya ada 4 jumlah baut yang menopang bisa ditambah 4 lagi sehingga kekuatan baut akan bertambah.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Assauri, S. (2008). **Manajemen Produksi dan Operasi**. Jakarta: LP-FEUI.
- [2] Betrianis, & Suhendra, R. (2005). Pengukuran Nilai Overall Equipment Effectiveness (OEE) Sebagai Dasar Usaha Perbaikan Proses Manufaktur Pada Lini Produksi (Studi Kasus pada Stamping Production Division Sebuah Industri Otomotif). *Jurnal Teknik Industri*, VII(2), 91-100.

- [3] Bupe, et al. (2015). Design of Total Productive Maintenance Model for Effective Implementation: Case Study of a Chemical Manufacturing Company. *IESS, Procedia Manufacturing* 4, 461-470.
- [4] Ford. (2011). **Failure Mode and Effect Analysis Handbook** : Ford Motor Company. Dearborn.
- [5] Hedge, H., Mahesh, N., & Doss, K. (2009). Overall Equipment Effectiveness (OEE) Improvement by TPM and 5S Techniques in a CNC Machinery. *SASTECH*, 25-32.
- [6] J. Rhee. Dan Ishii, K (2002). Life Cost-Based FMEA Incorporating Data Uncertainty, Proceedings of DETC2002, ASME Design Engineering Technical Conference. Montreal, Canada.
- [7] Jucan, G. (2005). **Root Cause Analysis for IT Incidents Investigation**. Open Data System Inc. Toronto.
- [8] Kalpakjian, S. dan S. R. Schmid, (2009). **Manufacturing Engineering and Technology**. Pearson Educations, inc.
- [9] Kmenta, et al. (1999). Advanced Failure Modes and Effect Analysis of Complex Process, Proceedings of DETC99, ASME Design Engineering Technical Conference. Baltimore, Maryland.
- [10] Nakajima, S., (1988). **Introduction to Total Productive Maintenance**. Press Inc, Portland.
- [11] Reliability Edge Home, (2002). *Failure Modes, Effects and Criticality Analysis*. Volume 3 Issue 2. URL : <https://www.weibull.com>
- [12] Rooney, J, J. dan Hauvel, L, N, V. (2004). **Root Cause Analysis for Beginners**. American Society for Quality, Amerika : Quality Progress.
- [13] Vorne Industries Inc, Itasca, IL USA. (2016, January 21). *OEE*. Retrieved from OEE Benchmark: www.leanproduction.com
- [14] Vorne Industries, Inc. (2016, January 21). *world Class OEE*. Retrieved from OEE:URL : <https://www.oee.com>.

Desain Proses Produksi *Survival Knife* dengan Metode *Operation Process Chart* di Perusahaan Manufaktur

Amelia Laksmi^{1*}, Renanda Nia Rachmadita², dan Rina Sandora³

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.^{1*}

Program Studi Teknik Manajemen Bisnis, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.²

Program Studi Teknik Perpipaian, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.³

E-mail: ameliaksm@gmail.com^{1*}

Abstract – Manufacturing Company is one of the manufacturing industry in Surabaya focusing on engineering field, in producing machinery. One institution give a challenge to this company to produce 10.000 pcs Survival Knives. Complex technique and limited machinery make it difficult for this Manufacturing Company in Designing Production Process. Cycle time production, quantities and cost of production are considered in Designing Production Process. Operation Process Chart help us to visualize flow production process from raw material until finished good product. Production time could see with Bar Chart Method its about 48 days left with paralel process. Researcher makes two alternative concepts of designing production process. Concept selection is done trough two ways. First, based on the most point and second with Matrix Pugh Concept Selection. The result of this research shows that “Designing Production Process Concept 2” is choosen because it has more average quantity about 56 pcs and cost of production is lower than “Designing Production Process Concept 1” its about Rp.1.554.581.900,-. Concept 2 is better in cycle time production about 12 days more than concept 1.

Keywords : Bar Chart, Designing Production Process, Matriks Pugh, Operation Process Chart, Survival Knife

1. PENDAHULUAN

Perusahaan Manufaktur merupakan perusahaan yang bergerak dalam bidang otomotif. Perusahaan yang berlokasi di Surabaya ini memiliki beberapa cabang yang tersebar di wilayah Indonesia. Saat ini, tidak hanya memproduksi produk di bidang otomotif saja, namun sudah mulai meluas. Fokus Perusahaan Manufaktur lebih ke bidang *engineering*, dalam hal pembuat dan perekayasa mesin – mesin industri. Selain itu juga telah dipercaya berbagai instansi untuk perbaikan mesin – mesin industri. Perusahaan Manufaktur menganut sistem produksi terputus (*Intermittent Process*) dimana produk yang dihasilkan sesuai pesanan yang ada.

Karena kepercayaan tersebut, Perusahaan Manufaktur diberi tantangan suatu instansi untuk produksi 10.000 pcs. Produk tersebut yaitu Pisau dengan tipe *Survival Knife*. Saat ini, sudah mulai berjalan proses produksi *Survival Knife* tersebut namun masih beberapa pcs saja. Dikarenakan fasilitas produksi di perusahaan tersebut masih kurang memadai untuk membuat produk *Survival Knife*. Perusahaan Manufaktur harus memikirkan bagaimana cara agar produksi dalam jumlah banyak tersebut tetap berjalan dengan fasilitas mesin yang ada. Salah satu penyelesaiannya yaitu dengan membuat peta kerja dengan *Operation*

Process Chart yang didalamnya terdapat urutan proses pembuatan *Survival Knife*. Kemudian dari beberapa konsep proses tersebut dipilih proses yang lebih efisien.

Oleh karena itu pada penelitian ini akan dilakukan pemilihan desain proses produksi pembuatan *Survival Knife* yang tepat dengan mempertimbangkan sumber daya yang dimiliki Perusahaan Manufaktur. Dengan begitu Perusahaan Manufaktur mengetahui konsep terbaik yang dipilih berdasarkan waktu tercepat, rata – rata kuantitas terbanyak, dan biaya yang rendah. OPC membantu memvisualkan urutan proses produksi, diteruskan menggunakan Bagan Balok untuk mengetahui waktu penyelesaian. Pemilihan konsep menggunakan poin terbanyak dan seleksi konsep Matriks Pugh dengan cara menilai masing – masing kegiatan dalam proses pembuatan *Survival Knife*.

2. METODOLOGI

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah *Operation Process Chart*, Bagan Balok dan seleksi konsep Matriks Pugh. Langkah – langkah pengerjaan dilakukan sebagai berikut.

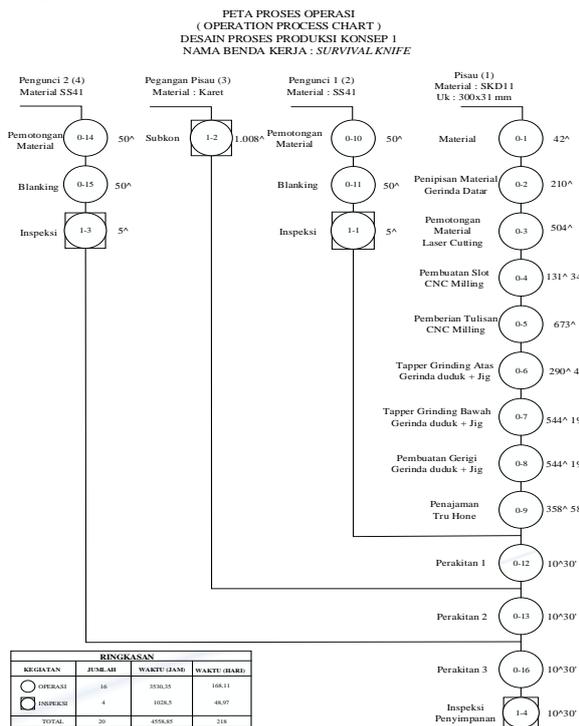
1. Melakukan Pengumpulan Data.
2. Mengidentifikasi operasi kegiatan pada *Survival Knife*.

3. Membuat Desain Proses Produksi Konsep 1 dan Konsep 2.
 4. Membuat *Operation Process Chart* Konsep 1 dan Konsep 2.
 5. Membuat Bagan Balok Konsep 1 dan Konsep 2 berdasarkan durasi waktu pada OPC.
 6. Mengidentifikasi rencana anggaran biaya Konsep 1 dan Konsep 2.
- Setelah Desain Proses Produksi dibuat, kemudian selanjutnya memilih konsep terbaik berdasarkan variabel waktu tercepat, rata – rata kuantitas terbanyak, dan biaya produksi terendah. Pemilihan konsep menggunakan dua cara berdasarkan poin terbanyak dan Matriks Pugh.
1. Pemilihan konsep berdasarkan poin terbanyak.
 2. Pemilihan konsep dengan seleksi Matriks Pugh.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

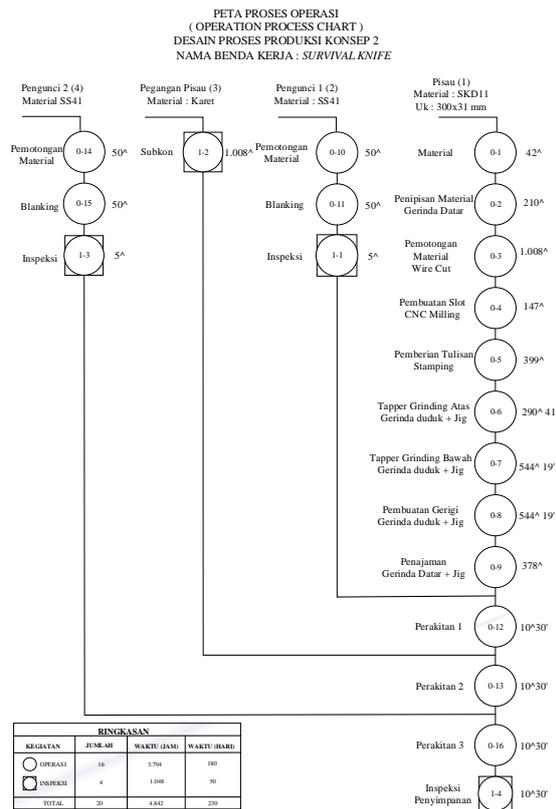
3.1 *Operation Process Chart* Konsep 1 dan Konsep 2

OPC merupakan peta kerja yang disusun berdasarkan urutan kegiatan proses produksi. Masing – masing kegiatan diketahui waktu dan proses kegiatan yang terjadi. Pada Gambar 1 adalah OPC dari Desain Proses Produksi Konsep 1.



Gambar 1. Operation Process Chart Konsep 1

Sama halnya konsep 1, pada Desain Proses Produksi Konsep 2 ini juga membuat peta Kerja OPC. Dimana perbedaan keduanya ada pada proses kegiatan permesinan. Gambar 2 merupakan OPC dari Desain Proses Produksi Konsep 2.



Gambar 2. Operation process Chart Konsep 2

3.2 Hasil Pengolahan Data

Dalam desain produksi *Survival Knife*, variabel yang dicari berupa waktu, kuantitas, dan biaya produksi. Pada Tabel 1 berikut merupakan hasil dari pengolahan data Desain Proses Produksi Konsep 1. Biaya produksi didapatkan berdasarkan rencana anggaran biaya.

Tabel 1: Hasil Pengolahan Data Desain Proses Produksi Konsep 1

Kode	Kegiatan	Durasi (Hari)	Rata – Rata Perhari (unit)	Biaya Produksi
A	Material	2	-	Rp. 694.474.600
B	Penipisan Material	10	-	Rp. 2.718.390.000
C1	Pemotongan Material	24	417	Rp. 1.130.500.000
D	Pembuatan Slot	7	1.596	Rp. 135.439.000
E1	Pemberian Tulisan	32	312	Rp. 733.216.000
F	Tapper Grinding Atas	14	723	Rp. 16.705.000
G	Tapper Grinding Bawah	26	387	Rp. 31.334.000
H	Pembuatan Gerigi	26	387	Rp. 29.161.000
I1	Penajaman	17	570	Rp. 21.823.000
J	Pembuatan Dua Pengunci	10	2.000	Rp. 54.340.000
K	Pegangan Pisau	48	208	Rp. 650.000.000
L	Perakitan	2	5.000	Rp. 1.038.000
TOTAL		170	953	Rp. 6.768.359.100

Hasil dari pengolahan data Desain Proses Produksi Konsep 2 terdapat pada Tabel 2. Sama seperti konsep 1, variabel yang ditentukan berupa waktu, kuantitas, dan biaya produksi. Dimana kedua konsep tersebut akan dicari konsep yang terbaik.

Tabel 2: Hasil Pengolahan Data Desain Proses Produksi Konsep 2

Kode	Kegiatan	Durasi (Hari)	Rata - Rata Perhari (unit)	Biaya Produksi
A	Material	2	-	Rp. 673.942.600
B	Penipisan Material	10	-	Rp. 2.634.390.000
C2	Pemotongan Material	48	208	Rp. 538.858.000
D	Pembuatan Slot	7	1.596	Rp. 135.439.000
E2	Pemberian Tulisan	19	1.014	Rp. 25.681.800
F	Tapper Grinding Atas	14	723	Rp. 16.705.000
G	Tapper Grinding Bawah	26	387	Rp. 31.334.000
H	Pembuatan Gerigi	26	387	Rp. 29.161.000
I2	Penajaman	18	579	Rp. 10.515.000
J	Pembuatan Dua Pengunci	10	2.000	Rp. 54.340.000
K	Pegangan Pisau	48	208	Rp. 650.000.000
L	Perakitan	2	5.000	Rp. 1.038.000
TOTAL		182	1.009	Rp. 5.213.777.200

Setelah Konsep 1 dan Konsep 2 diketahui hasilnya, kemudian untuk pemilihan konsep menggunakan seleksi konsep Matriks Pugh. Dimana hasil dari Tabel 1 dan Tabel 2 dinilai dengan Tanda (+) untuk lebih baik, tanda (-) untuk lebih buruk dan tanda (0) untuk sama dengan. Tabel 3 berikut merupakan seleksi Konsep menggunakan Matriks Pugh.

Tabel 3: Seleksi Konsep Matriks Pugh

	Tanda (+) lebih baik			Tanda (-) lebih buruk			Tanda (0) sama dengan		
	KONSEP 1	KONSEP 2		waktu	Kuant	Cost	Waktu	kuant	Cost
1. Material	0	0	-	0	0	+			
2. Penipisan Material	0	0	-	0	0	+			
3. Pemotongan Material	+	+	-	-	-	+			
4. Pembuatan Slot	0	0	0	0	0	0			
5. Pemberian Tulisan	-	-	-	+	+	+			
6. Tapper Grinding Atas	0	0	0	0	0	0			
7. Tapper Grinding Bawah	0	0	0	0	0	0			
8. Pembuatan Gerigi	0	0	0	0	0	0			
9. Penajaman	+	-	-	-	-	+			
10. Pembuatan Dua Pengunci	0	0	0	0	0	0			
11. Pegangan Pisau	0	0	0	0	0	0			
12. Perakitan	0	0	0	0	0	0			
Jumlah Tanda (+)	2	1	0	1	2	5			
Jumlah Tanda (-)	1	2	5	2	1	0			
Jumlah Tanda (0)	9	9	7	9	9	7			
Nilai Akhir	1	-1	-5	-1	1	5			

Pada seleksi konsep tersebut diketahui bahwa Desain Proses Produksi Konsep 1 unggul dalam waktu penyelesaian sehingga mendapatkan poin satu. Sedangkan Desain Proses Produksi Konsep 2 unggul dalam rata – rata kuantitas terbanyak dan biaya produksi terendah, sehingga mendapatkan poin dua. Jadi dipilihlah Desain Proses Produksi Konsep 2 dengan poin sebanyak dua.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian pemilihan desain proses produksi pembuatan *Survival Knife* yang tepat dengan mempertimbangkan sumber daya yang dimiliki oleh Perusahaan Manufaktur adalah konsep kedua yaitu “Desain Proses Produksi Konsep 2”. Waktu setelah perencanaan penjadwalan menggunakan Metode Bagan Balok dapat diketahui lebih cepat dari jumlah hari yang dibutuhkan pada *Operation Process Chart*. Waktu pada OPC Konsep 1 sebesar 218, setelah dijadwalkan dengan Bagan Balok menjadi 170 hari. Sedangkan pada Konsep 2 yang awalnya 230 hari menjadi 182 hari. Hal tersebut bisa lebih cepat karena kegiatan produksi berjalan secara gabungan (paralel). Untuk Pemilihan konsep dipilih berdasarkan dua metode yang telah dilakukan yaitu pemberian poin dan metode seleksi Matriks Pugh. Kedua metode tersebut memiliki hasil yang sama yaitu unggul dalam variabel kuantitas dan biaya produksi. Desain Proses Produksi Konsep 2 memiliki rata – rata kuantitas per hari terbanyak dengan perbedaan sebesar 56 unit per hari dan biaya produksi lebih rendah dengan perbedaan sebesar Rp.1.554.581.900,-. Sedangkan Konsep 1 hanya unggul pada variabel waktu dengan perbedaan sebesar 12 hari dibanding Konsep 2. Meskipun variabel waktu pada Konsep 2 lebih rendah, namun masih dapat terselesaikan kurang dari satu tahun yaitu selama 182 hari atau 7 bulan lebih 14 hari sehingga dapat melampaui target.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ade, Z.(2013). Desain Proses dalam Manajemen Operasional. **Makalah Sistem Informasi** Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Makassar.
- [2] Agni, R.D. dan T.Aspiranti (2015). *Analisis Desain Proses Perakitan Produk Pesawat Terbang Cn-235 Bagian Center Fuselage dan Rear Fuselage Menggunakan Metode Flow Chart dan Process Chart*. **Prosiding Manajemen Komunikasi**.hal 76-84, ISSN 2460-6537, Bandung.
- [3] Ahyari, A.(1996). **Manajemen Produksi**. BPFE, Yogyakarta.

- [4] Akbar, D.M.(2016). *Analisis Desain Proses dengan Menggunakan Flow Process Chart dalam Meminimumkan Waktu Pembuatan Produk Tas Kulit (Studi Kasus Tas Kulit House of Leather Bandung)*. **Prosiding Manajemen**. hal 25-34, ISSN 2460-6545, Bandung.
- [5] Assauri, S.(1993). **Manajemen Produksi dan Operasi**. Lembaga Penerbit Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia, Jakarta.
- [6] Gunawan, C.(2014). *Implementasi Pengendalian Kualitas dengan Metode Statistik pada Proses Produksi Pakaian Bayi di PT Dewi murni Solo*. **Jurnal Ilmiah Mahasiswa Universitas Surabaya**, Vol.3 No.2.
- [7] Mulyadi.(2014). **Akuntansi Biaya Edisi 5**. Unit Penerbit dan Percetakan Sekolah Tinggi Ilmu Manajemen YKPN, Yogyakarta.
- [8] Nasution, A.H.(1999). **Perencanaan dan Pengendalian Produksi**. PT. Candi Mas Metropole, Jakarta.
- [9] Nasution, A.H.(2006). **Manajemen Industri**. Andi, Yogyakarta.
- [10] Soeharto, I.(1999). **Manajemen Proyek Jilid 1**. Erlangga, Jakarta.
- [11] Sucipto, T.(2005). *Teknik Survival di Hutan*. **E-USU Repository**, Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara, Medan.
- [12] Ulrich, K.T. dan S.D. Eppinger (2001). **Perancangan dan Pengembangan Produk**. Salemba Teknika, Jakarta.
- [13] Wignjosoebroto, S.(1995). **Ergonomi, Studi Gerak dan Waktu**. Prima Printing, Surabaya.
- [14] Wignjosoebroto, S.(1996). **Tata Letak Pabrik dan Pemindahan Bahan**. Guna Widya, Jakarta.

Efisiensi Biaya dan Penjadwalan Proyek melalui Pendekatan *Critical Path Method* **(Studi Kasus Pembuatan dan Pemasangan 1 Unit Standart Gilingan IV)**

Eunike Endah Wulandari^{1*}, Renanda Nia Rachmadita², dan Mochammad Choirul Rizal³

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, 60111, Indonesia¹

Program Studi Teknik Manajemen Bisnis, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.²

Program Studi Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.³

E-mail: eunikeendahw@gmail.com^{1}*

Abstract – Manufacturing companies in Indonesia generally implement project management. The purpose of implementing project management is to control the project being undertaken by the company. In addition, the purpose of implementing project management at the company is to minimize the delay in the process of project work.

To be able to determine the optimal time and cost efficient on a project, required a method. The Critical Path Method (CPM) method is one of the methods that can be used to optimize the time needed to complete the project in an efficient cost.

The result of CPM method implementation on the project of making and installing 1 unit of grind mill IV, in order to get optimal time with efficient cost is done by adding the amount of labor and overtime hours. With the addition of labor and overtime, the direct costs incurred increase. The direct costs incurred for additional employment amounted to Rp 1,755,418,984.00, while the direct costs incurred for additional hours overtime amounted to Rp 2,614,578,401.00. From the calculation of such direct costs, it can be seen that it will be more efficient with the addition of the number of workers. After that calculation of slope cost, and got optimal time for project work is 219 days with total cost Rp 5,860,789,447,32. Result of correlation and regression analysis, got value of influence of labor cost to total cost is equal to 94,4% while machine cost effect to total cost is equal to 97,8%.

Keywords: Acceleration Duration, Correlation Analysis, CPM, Critical Path Method, Efficiency, Influence, Regression Analysis, Scheduling.

1. PENDAHULUAN

Perusahaan manufaktur bergerak dalam bidang proyek pembuatan peralatan industri dan lain sebagainya. Perusahaan manufaktur pada umumnya selalu menerapkan konsep manajemen proyek dalam setiap pengerjaan proyek. Dalam pengerjaan proyek dibutuhkan perencanaan dan penjadwalan yang terperinci tentang aktivitas kegiatan, waktu dan juga biaya yang diperlukan untuk menyelesaikan suatu proyek. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan hasil yang optimal serta waktu yang optimum (waktu yang cepat dan sesuai dengan harapan).

Metode CPM adalah metode yang lebih menekankan pada ongkos proyek. Dalam CPM tidak ada pemberlakuan metode statistik untuk mengakomodasikan adanya ketidakpastian. Dalam CPM juga dibahas adanya tawar menawar atau *trade off* antara jadwal waktu dan biaya proyek. CPM mengasumsikan bahwa umur proyek bisa dipersingkat dengan penambahan sumber daya tenaga kerja, peralatan, dan modal untuk kegiatan-kegiatan tertentu (Santosa, 2003). Setelah mendapatkan percepatan waktu dengan total biaya yang dikeluarkan, untuk menemukan

waktu pengerjaan proyek yang paling efisien dengan biaya yang efisien pula, digunakan Konsep *Cost Slope*. Analisa korelasi dan regresi digunakan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh biaya yang dikeluarkan untuk variabel yang digunakan untuk percepatan durasi terhadap total biaya.

2. METODOLOGI

2.1 Network Planning (Jaringan Kerja)

Jaringan kerja atau *Network Planning* merupakan metode yang dianggap mampu menyuguhkan Teknik dasar dalam menentukan urutan dan kurun waktu kegiatan umur proyek, dan pada giliran selanjutnya dapat dipakai memperkirakan waktu penyelesaian proyek secara keseluruhan (Soeharto, 1999). Ada 2 (dua) pendekatan dalam hal menggambarkan diagram jaringan kerja. Yang pertama, dimana kegiatan digambarkan dengan simpul (*node*), *Activity On Node* (AON), sedangkan peristiwa atau *event* diwakili oleh anak panah. Yang kedua, dimana aktivitas digambarkan dengan anak panah, *Activity On Arch* (AOA), sedangkan kejadian digambarkan dengan simpul (Santosa, 2003).

2.2 Critical Path Method (CPM)

Dalam metode CPM (*Critical Path Method*) dikenal dengan adanya jalur kritis, yaitu jalur yang memiliki rangkaian komponen-komponen kegiatan dengan total jumlah waktu terlama. Jalur kritis terdiri dari rangkaian kegiatan kritis, dimulai dari kegiatan pertama sampai pada kegiatan terakhir proyek (Soeharto, 1999).

Dalam melakukan perhitungan penentuan waktu penyelesaian digunakan beberapa terminology dasar berikut (Soeharto, 1999) :

1. E (*Earliest Event Occurrence Time*) : saat tercepat terjadinya suatu peristiwa.
2. L (*Latest Event Occurrence Time*) : saat paling lambat yang masih diperbolehkan bagi suatu peristiwa terjadi.
3. ES (*Earliest Activity Start Time*) : waktu mulai paling awal suatu kegiatan. Bila waktu mulai dinyatakan dalam jam, maka waktu ini adalah jam paling awal kegiatan dimulai.
4. EF (*Earliest Activity Finish Time*) : waktu selesai paling awal suatu kegiatan. Dimana, EF suatu kegiatan terdahulu = ES suatu kegiatan berikutnya.
5. LS (*Latest Activity Start Time*) : waktu paling lambat kegiatan boleh dimulai tanpa memperlambat proyek secara keseluruhan.
6. LF (*Latest Activity Finish Time*) : waktu paling lambat kegiatan diselesaikan tanpa memperlambat penyelesaian proyek.
7. t (*Activity Duration Time*) : kurun waktu yang diperlukan untuk suatu kegiatan (hari, minggu, bulan).

Menurut Muraharwaty (2012), dalam memperhitungkan waktu juga digunakan 3 asumsi dasar yakni pertama, *Initial Event (start)* dan *terminal event (finish)*. Kedua, saat tercepat terjadinya *initial event* adalah hari ke-nol. Ketiga, saat paling lambat terjadinya *terminal event* adalah $LS=ES$.

Adapun cara perhitungan dalam menentukan waktu penyelesaian terdiri dari dua tahap, yaitu perhitungan maju (*forward computation*) dan perhitungan mundur (*backward computation*).

- a. Perhitungan Maju (*Forward Computation*)
Dimulai dari *Start (Initial Event)* menuju *Finish (Terminal Event)* untuk menghitung waktu penyelesaian tercepat suatu kegiatan (EF), waktu tercepat terjadinya kegiatan (ES) dan saat paling cepat dimulainya suatu peristiwa (E).

- b. Perhitungan Mundur (*Backward Computation*)

Dimulai dari *Finish (Terminal Event)* menuju *Start (Initial Event)* untuk mengidentifikasi saat paling lambat terjadinya suatu kegiatan (LF), waktu paling lambat terjadinya suatu kegiatan (LS) dan saat paling lambat suatu peristiwa terjadi (L).

Untuk suatu aktivitas mempunyai *Cost Slope* tersendiri. Besarnya *Cost Slope* adalah :

$$\text{Cost Slope} = \frac{C_c - C_n}{T_n - T_c} \quad (2.1)$$

Dimana, C_c dan C_n adalah biaya *crash* dan biaya normal (biaya *crashed* > biaya normal), sedangkan T_n dan T_c adalah waktu normal dan waktu *crash* (waktu normal > waktu *crashed*) untuk kegiatan yang sama. *Cost Slope* menyatakan berapa besar berubahnya biaya bila suatu aktivitas dipercepat atau diperlambat.

2.3 Analisa Korelasi dan Analisa Regresi

Analisa data dapat berarti memperhitungkan atau memperkirakan besarnya pengaruh secara kuantitatif dari perubahan suatu kejadian terhadap kejadian lainnya.

Kata Korelasi diambil dari Bahasa Inggris yaitu *Correlation* artinya saling berhubungan atau hubungan timbal balik. Dalam ilmu statistika istilah korelasi diberi pengertian sebagai hubungan antara dua variabel dikenal dengan istilah *Bivariate Correlation*.

Dari buku *Basic Econometrics* karangan Damodar Gujarati, disebutkan bahwa analisa regresi berkenaan dengan studi ketergantungan dari satu variabel yang disebut variabel tak bebas (*dependent variable*), pada satu atau lebih variabel, yaitu variabel yang menerangkan, dengan tujuan untuk memperkirakan dan atau meramalkan nilai rata-rata dari variabel tak bebas apabila nilai variabel yang menerangkan sudah diketahui. Variabel yang menerangkan sering disebut variabel bebas (*independent variable*), atau "*explanatory variables*".

2.4 Kurva S

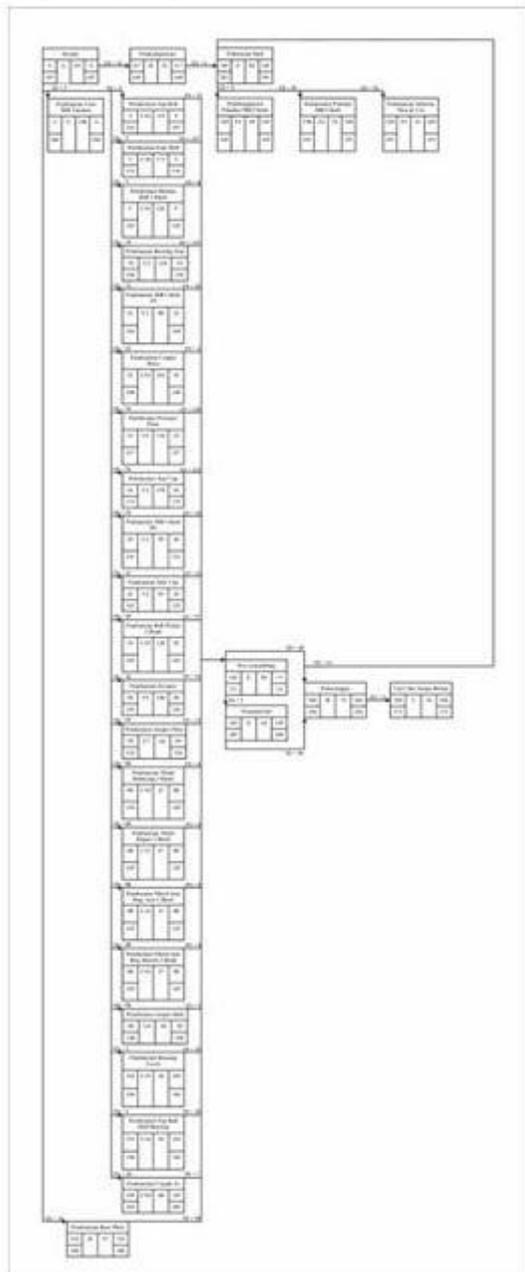
Kurva S secara grafis menyajikan beberapa ukuran kemajuan kumulatif pada suatu sumbu tegak terhadap waktu pada sumbu mendatar. Kemajuan itu dapat diukur menurut jumlah nilai uang yang telah dikeluarkan, survei kuantitas dari pekerjaan ditempat itu, jam kerja orang yang telah dijalani atau setiap ukuran lainnya yang memberikan suatu manfaat.

Bentuk kurva S yang kha situ berguna untuk pemandu kemajuan setiap satuan dari waktu (hari, minggu, bulan, dan lain-lain) untuk mendapatkan suatu kemajuan kumulatif.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Network Planning (Jaringan Kerja)

Jaringan kerja atau *Network Planning* merupakan metode yang dianggap mampu menyuguhkan Teknik dasar dalam menentukan urutan dan kurun waktu kegiatan umur proyek, dan pada giliran selanjutnya dapat dipakai memperkirakan waktu penyelesaian proyek secara keseluruhan (Soeharto, 1999). Dari proses pengerjaan jaringan kerja, didapatkan jaringan kerja berikut.



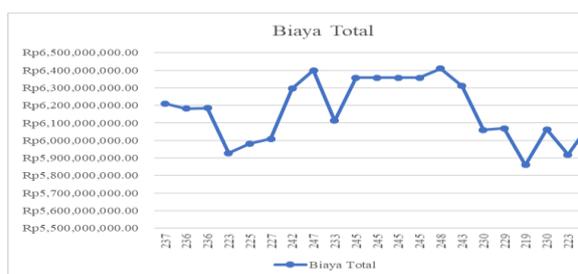
Gambar 1. Jaringan Kerja Durasi Normal

3.2 Critical Path Method

Dari jaringan kerja di atas, dapat dihasilkan 23 jalur kritis. Berikut adalah jalur kritis yang didapatkan dari jaringan kerja di atas.

1. A-B-F-H-I
2. A-C1-E-H-I
3. A-C2-E-H-I
4. A-C3-E-H-I
5. A-C4-E-H-I
6. A-C5-E-H-I
7. A-C6-E-H-I
8. A-C7-E-H-I
9. A-C8-E-H-I
10. A-C9-E-H-I
11. A-C10-E-H-I
12. A-C11-E-H-I
13. A-C12-E-H-I
14. A-C13-E-H-I
15. A-C14-E-H-I
16. A-C15-E-H-I
17. A-C16-E-H-I
18. A-C17-E-H-I
19. A-C18-E-H-I
20. A-C19-E-H-I
21. A-C20-E-H-I
22. A-C21-E-H-I
23. A-D-E-H-I

Dengan mempersingkat durasi seluruh kegiatan pada proyek Pembuatan dan Pemasangan 1 Unit Standart Gilingan IV menggunakan rumus produktivitas, durasi baru dari proyek ini adalah 219 hari. Perhitungan biaya langsung untuk durasi normal (lapangan) adalah sebesar Rp 1.450.122.480,- dan untuk durasi dipercepat apabila dilakukan penambahan tenaga kerja adalah sebesar Rp 1.755.418.984,-. Sedangkan biaya langsung untuk durasi dipercepat dengan penambahan jam lembur cukup tinggi, yakni sebesar Rp 2.614.578.401,-. Dari perbandingan biaya langsung diatas, dapat diketahui bahwa apabila perusahaan ingin mempercepat durasi pengerjaan proyek, akan jauh lebih efektif apabila menambah jumlah tenaga kerja dibandingkan dengan menambah jam lembur. Untuk menentukan waktu yang optimal dalam pengerjaan proyek, perlu dilakukan perhitungan biaya *slope*, dimana waktu optimal pengerjaan proyek, dibuktikan dengan rendahnya total biaya yang dikeluarkan. Setelah dilakukan perhitungan, didapatkan waktu yang optimal yakni 219 hari dengan total biaya Rp 5.860.789.447,32. Dan berikut adalah grafik yang menunjukkan waktu optimal untuk proyek Pembuatan dan Pemasangan 1 Unit Standart Gilingan IV. Pemilihan waktu yang optimal adalah berdasarkan titik yang terendah dari grafik berikut.



Gambar 2. Grafik Waktu yang Optimal dengan Total Biaya

3.3 Kurva S

Terdapat perbedaan bentuk antara kurva S untuk durasi normal dengan kurva s untuk durasi dipercepat. Dari 2 bentuk kurva S tersebut, membuktikan bahwa terdapat perbedaan bentuk kurva S antara durasi normal dan durasi dipercepat. Dapat dilihat bahwa kurva S untuk durasi normal terlihat lebih landau, dikarenakan waktu penyelesaiannya jauh lebih lama dibandingkan dengan durasi dipercepat.

3.4 Analisa Korelasi dan Analisa Regresi

Dari hasil pengujian untuk analisa korelasi dengan menggunakan bantuan *software* SPSS 22, dapat diketahui bahwa biaya tenaga kerja dan biaya mesin memiliki hubungan secara signifikan dengan total biaya. Setelah diketahui bahwa biaya tenaga kerja dan biaya mesin mempunyai hubungan yang signifikan, dilakukan pengujian untuk analisa regresi, yang bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh biaya tenaga kerja dan biaya mesin terhadap total biaya. Dari hasil pengujian analisa regresi yang dilakukan dengan menggunakan SPSS 22, didapatkan nilai 94,4% besarnya pengaruh biaya tenaga kerja terhadap total biaya, sedangkan untuk biaya mesin, besar pengaruhnya adalah 97,8% terhadap total biaya.

4. KESIMPULAN

1. Melalui cara perhitungan network planning, dapat diperoleh 23 jalur kritis pada proyek pembuatan dan pemasangan 1 unit standard gilingan IV. Dengan total waktu pengerjaan proyek sesuai durasi lapangan adalah 272 hari.
2. Dengan mempersingkat durasi seluruh kegiatan pada proyek Pembuatan dan Pemasangan 1 Unit Standart Gilingan IV menggunakan rumus produktivitas, durasi baru dari proyek ini adalah 219 hari. Perhitungan biaya langsung untuk durasi normal (lapangan) adalah sebesar Rp 1.450.122.480,- dan untuk durasi dipercepat apabila dilakukan penambahan tenaga kerja adalah sebesar Rp 1.755.418.984,-. Sedangkan biaya langsung untuk durasi dipercepat dengan penambahan jam lembur cukup tinggi,

yakni sebesar Rp 2.614.578.401,-. Dari perbandingan biaya langsung diatas, dapat diketahui bahwa apabila perusahaan ingin mempercepat durasi pengerjaan proyek, akan jauh lebih efektif apabila menambah jumlah tenaga kerja dibandingkan dengan menambah jam lembur. Untuk menentukan waktu yang optimal dalam pengerjaan proyek, perlu dilakukan perhitungan biaya slope, dimana waktu optimal pengerjaan proyek, dibuktikan dengan rendahnya total biaya yang dikeluarkan. Setelah dilakukan perhitungan, didapatkan waktu yang optimal yakni 219 hari dengan total biaya Rp 5.860.789.447,32.

3. Dari hasil pengujian untuk analisa korelasi dengan menggunakan bantuan *software* SPSS 22, dapat diketahui bahwa biaya tenaga kerja dan biaya mesin memiliki hubungan secara signifikan dengan total biaya. Setelah diketahui bahwa biaya tenaga kerja dan biaya mesin mempunyai hubungan yang signifikan, dilakukan pengujian untuk analisa regresi, yang bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh biaya tenaga kerja dan biaya mesin terhadap total biaya. Dari hasil pengujian analisa regresi yang dilakukan dengan menggunakan SPSS 22, didapatkan nilai 94,4% besarnya pengaruh biaya tenaga kerja terhadap total biaya, sedangkan untuk biaya mesin, besar pengaruhnya adalah 97,8% terhadap total biaya.
4. Setelah dilakukan perhitungan durasi baru untuk masing-masing kegiatan, didapatkan bentuk kurva S yang baru dengan bantuan *software* Microsoft Project Profesional 2013.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badri, S. (1991). **Dasar-Dasar Network Planning (Dasar-Dasar Jaringan Kerja)**. PT. Rineka Cipta, Jakarta.
- [2] Cahyanti, D. A. (2015). Analisis Penjadwalan Proyek dengan *Critical Path Method* Sebagai Upaya untuk Mendapatkan Efisiensi Waktu Penyelesaian di PT. Lintech Duta Pratama. **Tugas Akhir** Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya.
- [3] Frederika, A. (2010). *Analisis Percepatan Pelaksanaan dengan Menambah Jam Kerja Optimum pada Proyek Konstruksi*. **Teknik Sipil**, Vol. 14, No.2, pp. 113-126, Universitas Udayana, Denpasar.

- [4] Jauhari, Z. (2011). Manajemen Pelaksanaan Jalan Tol Mojokerto-Kertosono STA 5 + 350 – STA 10 + 350 menggunakan Perkerasan Kaku Kabupaten Mojokerto Jawa Timur. **Tugas Akhir** Program Studi Diploma IV Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [5] Mela, A. F. (2016). Analisis *Time Cost Trade Off* untuk Mengejar Keterlambatan Pelaksanaan Proyek Studi Kasus : Pembangunan Hotel Zodiak Lampung, Pembangunan Hotel Park In By Radisson, Pembangunan Toko Mitra Hasil Sentosa di Bandar Lampung. **Skripsi** Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Lampung.
- [6] Muhidin, S. A., & M. Abdurahman(2017).**Analisis Korelasi, Regresi, dan Jalur dalam Penelitian.** Pustaka Setia, Bandung.
- [7] Murahartawaty (2012). **Metode Jalur Kritis.** Sekolah Tinggi Teknologi Telkom.

Estimasi Harga Pokok Produksi *Roll Gilingan* Dengan Metode *Job Order Costing* Dalam Penentuan Harga Jual (Studi Kasus Pada Perusahaan Manufaktur Khususnya *Workshop 4*)

Regita Palupi^{1*}, Rina Sandora², R.A. Norromadani Y.³

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia¹

Program Studi Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.²

Program Studi Teknik Manajemen Bisnis, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.³

E-mail: palupiregita@gmail.com^{1*}

Abstract – The manufacturing company located in Gresik is one of the companies that produce roll mill. Roll mill is a sugar plant equipment used for squeezing cane. In the calculation of cost of goods manufactured, the company does not include fixed overhead costs into the calculation of the cost of production. The calculation will be more accurate and detailed if the company uses job order costing method of full costing approach. The full costing approach calculates direct raw materials, direct labor, factory overhead costs, both variable and fixed. One example is PG.Pagotan orders where the results using JOC with full costing approach is Rp466.687.630,- for cost of goods manufactured, Rp93.337526,- for profit and Rp616.027.672,- for sale price. While the result set by the company is Rp438.625.790,- for the cost of goods manufactured, Rp87.725.158,- for profit and Rp578.986.000,- for the sale price. The result using JOC with full costing approach is greater than that of the firm of this difference due to differences in the way grouping and incremental costs are incorporated into cost of goods manufactured calculations using the full cost JOC method. Cost of goods manufactured calculated on the basis of the company is undercosting. The test results of 22 orders with the *t* test get the value of Sig. (2-tailed) = 0.00 < 0.05 so it shows a significant difference between the value of cost of goods manufactured, the profit and the selling price set by the company with the value using the JOC approach full method costing.

Keywords: Cost of Goods Manufactured, Full Costing, Job Order Costing, Profit, Selling Price.

1. PENDAHULUAN

Penentuan harga pokok produksi (HPP) yang kurang efektif dapat menyebabkan ketidaksesuaian dengan realisasi biaya di lapangan. Hal ini dapat terjadi karena banyak faktor pada saat proses produksi yang menyebabkan dana yang digunakan menjadi tidak sesuai dengan RAB (Rencana Anggaran Biaya) yang telah dibuat. Dalam praktik perhitungan harga pokok produksinya, perusahaan manufaktur ini menghitung beberapa komponen biaya meliputi: biaya bahan baku, biaya tenaga kerja langsung, biaya penggunaan mesin, menghitung biaya sub kontrak dan biaya *overhead* pabrik.

Menurut Suharti (2014), perusahaan dapat menetapkan harga jual dengan tepat apabila perusahaan dapat menghitung harga pokok produksi dengan tepat sehingga produk tidak *overcosted* (dibebani biaya lebih dari yang seharusnya) dan juga tidak *undercosted* (dibebani biaya kurang dari yang seharusnya).

Adapun perusahaan yang peneliti tulis adalah perusahaan manufaktur milik BUMN yang terletak di Gresik, Jawa Timur dan merupakan produsen *roll gilingan* yang terkenal di Indonesia.

Pada penelitian ini subjek yang diteliti adalah 22 buah *roll gilingan perforated* dengan sistem *shelling* yang dimana salah satunya adalah yang dipesan oleh PTPN XI dan akan dipakai oleh PG. Pagotan yang terletak di Kabupaten Madiun, Jawa Timur.

Pada penelitian ini peneliti menggunakan metode *Job Order Costing* dengan pendekatan *full costing* karena ditinjau dari sistem kerja perusahaan yang sesuai yaitu, memproduksi barang sesuai dengan pesanan. Peneliti merasa tertarik untuk melakukan perhitungan dengan metode ini karena peneliti ingin mengetahui hasil dan perbandingan dari metode ini dengan hasil yang ditetapkan oleh perusahaan dalam perhitungan harga pokok produksi (HPP) dari *roll gilingan perforated*. Kemudian dilakukan uji beda menggunakan *Independent Sample T-Test* untuk mengetahui ada atau tidaknya perbedaan yang signifikan antara hasil HPP, laba dan harga jual yang menggunakan metode *JOC* pendekatan *full costing* dengan hasil yang ditetapkan oleh perusahaan.

2. METODOLOGI

2.1 Metode Harga Pokok Pesanan (*Job Order Costing*)

Metode harga pokok pesanan adalah sistem pengumpulan biaya produksi dimana biaya bahan baku dan biaya tenaga kerja langsung dikelompokkan ke setiap pesanan dan biaya *overhead* pabrik dibebankan ke setiap pesanan dengan tarif yang ditentukan dimuka (Hanggana, 2009).

2.2 Metode Penentuan Harga Pokok Produksi

Full Costing merupakan metode penentuan kos produksi yang memperhitungkan semua unsur biaya produksi ke dalam kos produksi yang terdiri dari biaya bahan baku, biaya tenaga kerja langsung dan biaya *overhead* pabrik, baik yang berperilaku variabel maupun tetap (Mulyadi, 2016).

2.3 Metode *Job Order Costing* dengan Pendekatan *Full Costing*

Harga pokok produksi menurut metode *Full Costing* dengan rumus di bawah ini:

Biaya Bahan Baku	Rp XXX
Biaya Tenaga Kerja Langsung	Rp XXX
Biaya <i>Overhead</i> Pabrik Tetap	Rp XXX
Biaya <i>Overhead</i> Pabrik Variabel	Rp XXX +
Harga Pokok Produksi	RpXXX (2.1)

2.4 Unsur-unsur Biaya Produksi

1. Biaya bahan baku adalah besarnya nilai bahan baku yang dimasukkan ke dalam proses produksi untuk diubah menjadi barang jadi (Siregar, 2013).

$$\text{Harga Material} = \text{Kuantitas Material} \times \text{Harga Material} \quad (2.2)$$

2. Biaya tenaga kerja langsung adalah harga yang dibebankan untuk penggunaan tenaga manusia tersebut (Mulyadi, 2016).
3. Biaya *overhead* pabrik adalah semua biaya produksi selain biaya bahan baku dan biaya tenaga kerja langsung (Hansen & Mowen, 2009).
 - a) Biaya Bahan Penolong
 - b) Biaya Reparasi dan Pemeliharaan
 - c) Biaya Tenaga Kerja Tidak Langsung

$$\text{Gaji Total} = \frac{\text{Gaji Perbulan} \times \text{Jumlah Tenaga Kerja} \times \text{Periode Kerja}}{\text{Total Perkerjaan Roll Gilingan yang Dikerjakan}} \quad (2.3)$$

$$\text{D} = \frac{P - S}{N} \quad (2.4)$$

- d) Depresiasi mesin
- e) Biaya yang Timbul Sebagai Akibat Berlalu Waktu
- f) Biaya *Overhead* Pabrik Lain yang Secara Langsung Memerlukan Pengeluaran Uang Tunai

2.5 Harga Jual

$$\text{Markup percentage} = \frac{\text{Target Profit}}{\text{Annual Volume} \times \text{Total Cost Per Unit}} \quad (2.5)$$

$$\text{Price} = \text{cost} + (\text{markup percentage} \times \text{cost}) \quad (2.6)$$

2.6 Uji Hipotesis

1. Hipotesis mengenai HPP (H_1)
 - H₀:** Tidak ada perbedaan yang signifikan terhadap HPP yang ditetapkan oleh perusahaan dengan HPP menggunakan metode *Job Order Costing* dengan pendekatan *full costing*.
 - H_i:** Ada perbedaan yang signifikan terhadap HPP yang ditetapkan oleh perusahaan dengan HPP menggunakan metode *Job Order Costing* pendekatan *full costing*.
2. Hipotesis mengenai laba (H_2)
 - H₀:** Tidak ada perbedaan yang signifikan terhadap laba yang ditetapkan oleh perusahaan dengan laba menggunakan metode *Job Order Costing* pendekatan *full costing*.
 - H_i:** Ada perbedaan yang signifikan terhadap laba yang ditetapkan oleh perusahaan dengan laba menggunakan metode *Job Order Costing* pendekatan *full costing*.
3. Hipotesis mengenai harga jual (H_3)
 - H₀:** Tidak ada perbedaan yang signifikan terhadap harga jual yang ditetapkan oleh perusahaan dengan metode *Job Order Costing* pendekatan *full costing*.
 - H_i:** Ada perbedaan yang signifikan terhadap harga jual yang ditetapkan oleh perusahaan dengan metode *Job Order Costing* pendekatan *full costing*.
4. Uji beda menggunakan independent sample t-test dengan software SPSS 21.
5. Taraf signifikan (α) = 5%.
6. Tentukan kriteria pengujian.
 Jika nilai Sig.2-tailed < 0,05 maka H_0 ditolak dan H_1 diterima.
 Jika nilai Sig.2-tailed > 0,05 maka H_0 diterima dan H_1 ditolak.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Perhitungan Menggunakan Metode *Job Order Costing* dengan Pendekatan *Full Costing* (PG. Pagotan)

a. Biaya Bahan Baku Langsung (*Direct Material*)

Dalam hal ini material tersebut akan diproses menjadi komponen penyusun seperti, selubung (*shell*), poros (*shaft*), *juice flange*, dan *juice plate*. Total biaya bahan baku langsung pada pesanan PG. Pagotan adalah Rp272.441.395,-.

b. Biaya Tenaga Kerja Langsung (*Direct Labor Cost*)

Perusahaan mempunyai 2 jenis tenaga kerja langsung yaitu karyawan organik dan karyawan PKWT. Pada biaya TKL dihitung pula jam lembur untuk kedua jenis tenaga kerja langsung. Total biaya tenaga kerja langsung pada pesanan PG. Pagotan adalah Rp38.096.818,-

c. Biaya *Overhead* Pabrik

- Biaya *consumable* yang dikeluarkan untuk pesanan PG.Pagotan adalah Rp19.529.890,-.
 - Biaya tenaga kerja tidak langsung pada tahun 2017 yang dibebankan untuk tiap pesanan adalah Rp34.135.135,-.
 - Biaya permesinan yang dikeluarkan untuk pesanan PG.Pagotan adalah Rp34.364.808,-.
 - Biaya depresiasi mesin tiap tahun adalah Rp106.067.698,- sehingga biaya yang timbul sebesar Rp955.565,- untuk tiap pesanan.
 - Biaya bulanan pada tahun 2017 sebesar Rp106.600.000,- maka biaya wifi dan telpon yang dibebankan untuk tiap unit pesanan *roll* gilingan *perforated* adalah sebesar Rp977.982,-.
 - Biaya transportasi untuk pesanan PG.Pagotan adalah Rp4.750.000,-.
 - Pajak poros yang dikeluarkan untuk pesanan PG.Pagotan adalah Rp41.956.208,-.
 - Biaya lain-lain (biaya makan dan transportasi lembur) yang dikeluarkan untuk pesanan PG.Pagotan adalah Rp3.186.600,-.
 - Biaya sub kontrak yang dikeluarkan untuk pesanan PG.Pagotan adalah Rp8.836.057,-.
- Total biaya *overhead* pabrik untuk PG.Pagotan adalah Rp150.387.842,-.

d. Harga pokok produksi = biaya bahan baku langsung + tenaga kerja langsung + biaya *overhead*
 = Rp272.441.395,-
 +Rp38.096.818,-
 +Rp150.387.842,-
 = Rp460.926.055,-

e. Manajemen *budget* pabrik didapat dari 0,25% dari harga pokok produksi sedangkan manajemen *budget* divisi didapat dari 1% dari harga pokok produksi. sehingga MB yang dikeluarkan untuk pesanan PG.Pagotan Rp5.761.576,- dan total HPP menjadi Rp466.687.630,-.

f. Laba dan Harga Jual

Markup percentage =

$$\frac{\text{Target Profit}}{\text{Annual Volume} \times \text{Total Cost Per Unit}} = \frac{\text{Rp } 93.337.526,-}{1 \times \text{Rp } 466.687.630} = 20\%$$

Laba per unit = Harga Pokok Produksi x 20%
 = Rp 466.687.630,- x 20%
 = Rp 93.337.526,-

Total HPP + Laba = Rp 466.687.630,- + Rp 93.337.526,-
 = Rp 560.025.156,-

Kemudian dikalikan dengan pajak (PPN) sebesar 10%.

$$(\text{HPP} + \text{Laba}) \times 10\% = \text{Rp } 560.025.156,- \times 10\% = \text{Rp } 56.002.516,-$$

Harga jual = Total HPP + Laba + PPN 10%
 = Rp 616.027.672,-

3.2 Analisis dan Pembahasan Hasil Pengujian H₁

Tabel 1 berikut ini adalah hasil dari harga pokok produksi *roll* gilingan yang dipesan oleh setiap pabrik gula yang telah dihitung dengan metode *job order costing* dan juga harga pokok produksi yang telah ditetapkan oleh perusahaan.

Tabel 1: Data Harga Pokok Produksi Tiap Pesanan

No.	Pabrik Gula 2017	HPP (Rp)	
		Perusahaan	JOC
1.	Pagotan	438.625.790	466.687.630
2.	Ngadirejo	420.395.164	449.774.209
3.	Krebet Baru /147	438.478.803	466.502.749
4.	Purwodadi	383.962.546	418.353.015
5.	Rendeng	385.630.464	419.983.038
6.	Semboro	463.689.339	487.662.220
7.	Subang /202	405.871.328	433.914.221
8.	Subang /203	441.380.370	469.451.559
9.	Tasikmadu	436.008.027	464.069.867
10.	Tjoekir	429.003.170	456.518.716
11.	Wonolangan/128	441.709.360	469.695.411
12.	Djatiroto /110	383.045.575	408.810.222
13.	Gondang Baru	389.110.859	414.690.858
14.	Lestari	382.090.939	412.697.201
15.	Pesantren Baru	382.357.894	411.192.281
16.	Asem Bagoes/112	391.016.899	422.114.919
17.	Asem Bagoes/113	397.758.874	426.493.344
18.	Djatiroto /125	395.870.089	428.992.946
19.	Krebet Baru /145	384.340.985	421.141.882
20.	Subang /154	399.985.349	427.251.694
21.	Subang /187	405.564.336	429.017.285
22.	Wonolangan /114	387.738.871	417.181.558

a. Uji Normalitas dan Uji Homogenitas

Berdasarkan *output Test of Normality* nilai signifikansi untuk HPP metode perusahaan dan HPP metode *job order costing* > 0,05, maka dapat disimpulkan data HPP berdistribusi normal.

Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
METODE PERUSAHAAN	.141	22	.200*	.957	22	.425
METODE JOC	.083	22	.200*	.978	22	.879

*. This is a lower bound of the true significance.
 a. Lilliefors Significance Correction

Gambar 1. Hasil Uji Normalitas Data HPP

Sedangkan untuk uji homogenitas diperoleh hasil uji homogenitas terlihat bahwa nilai Sig.= 0,765. Nilai ini lebih besar dari nilai $\alpha = 0,05$ berarti distribusi data sudah homogen.

Test of Homogeneity of Variances

HPP			
Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.090	1	42	.765

Gambar 2. Hasil Homogenitas Data HPP

b. Uji T (Independent Sample T-Test)

Oleh karena nilai t hitung > t tabel (3,893 > 2,021) dengan taraf signifikansi (α) yang digunakan sebesar 0,05 dan nilai Sig.2-tailed < 0,05 (0,000 < 0,05) maka H_0 ditolak, artinya ada perbedaan yang signifikan terhadap HPP yang ditetapkan oleh perusahaan dengan HPP menggunakan metode Job Order Costing.

Independent Samples Test

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
HPP	.090	.765	3.893	42	.000	29025536.09091	7454998.07895	44070331.30858	
								Equal variances assumed	13979303.68798
			3.893	41.865	.000	29025536.09091	7454998.07895	44071768.49384	

Gambar 3. Hasil Uji H_1

3.3 Analisis dan Pembahasan Hasil Pengujian H_2

Tabel 2 berikut ini adalah perbandingan laba roll gilingan yang telah dihitung dengan metode job order costing dan juga laba yang telah ditetapkan oleh perusahaan.

Tabel 2: Data Laba Tiap Pesanan

No.	Pabrik Gula 2017	HPP (Rp)	
		Perusahaan	JOC
1.	Pagotan	87.725.158	93.337.526
2.	Ngadirejo	84.079.033	89.954.842
3.	Krebet Baru /147	87.695.761	93.300.550
4.	Purwodadi	76.792.509	83.670.603
5.	Rendeng	77.126.093	83.996.608
6.	Semboro	92.737.868	97.532.444
7.	Subang /202	81.174.266	86.782.844
8.	Subang /203	88.276.074	93.890.312
9.	Tasikmadu	87.201.605	92.813.973
10.	Tjoekir	85.800.634	91.303.743
11.	Wonolangan/128	88.341.872	93.939.082
12.	Djatiroto /110	76.609.115	81.762.044
13.	Gondang Baru	77.822.172	82.938.172
14.	Lestari	76.418.188	82.539.440
15.	Pesantren Baru	76.471.579	82.238.456
16.	Asem Bagoes/112	78.203.380	84.422.984
17.	Asem Bagoes/113	79.551.775	85.298.669
18.	Djatiroto /125	79.174.018	85.798.589
19.	Krebet Baru /145	76.868.197	84.228.376
20.	Subang /154	79.997.070	85.450.339
21.	Subang /187	81.112.867	85.803.457
22.	Wonolangan /114	87.695.761	93.300.550

a. Uji Normalitas dan Uji Homogenitas

Berdasarkan output Test of Normality, nilai signifikansi untuk laba metode perusahaan dan laba metode job order costing > 0,05, maka dapat disimpulkan data laba berdistribusi normal.

Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
METODE PERUSAHAAN	.141	22	.200*	.957	22	.425
METODE JOC	.083	22	.200*	.978	22	.879

Gambar 4. Hasil Uji Normalitas Data Laba

Sedangkan untuk uji homogenitas diperoleh hasil uji homogenitas terlihat bahwa nilai Sig.= 0,765. Nilai ini lebih besar dari nilai $\alpha = 0,05$ berarti distribusi data sudah homogen.

Test of Homogeneity of Variances

HPP			
Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.090	1	42	.765

Gambar 5. Hasil Uji Homogenitas Data Laba

b. Uji T (Independent Sample T-Test)

Oleh karena nilai t hitung > t tabel (3,893 > 2,021) dengan taraf signifikansi (α) yang digunakan sebesar 0,05 dan nilai Sig.2-tailed < 0,05 (0,000 < 0,05) maka H_0 ditolak, artinya ada perbedaan yang signifikan terhadap laba yang ditetapkan oleh perusahaan dengan laba menggunakan metode *Job Order Costing*.

Independent Samples Test

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
L-ABA Equal variances assumed	.090	.765	3.893	42	.000	5805107.13636	1490999.61210	8814066.17245	2796148.10028
L-ABA Equal variances not assumed			3.893	41.865	.000	5805107.13636	1490999.61210	8814353.60951	2795860.66322

Gambar 6. Hasil Uji H_2

3.4 Analisis dan Pembahasan Hasil Pengujian H_3

Tabel 3. di berikut ini adalah harga jual *roll gilingan* yang telah dihitung dengan metode *job order costing* dan juga harga jual yang telah ditetapkan oleh perusahaan.

Tabel 3a: Data Harga Jual Tiap Pesanan

No	Pabrik Gula 2017	Harga Jual (Rp)	
		Perusahaan	JOC
1.	Pagotan	578.986.000	616.027.672
2.	Ngadirejo	554.922.000	593.701.956
3.	Krebet Baru /147	578.792.000	615.783.629
4.	Purwodadi	506.831.000	552.225.979
5.	Rendeng	509.033.000	554.377.610
6.	Sembo	612.070.000	643.714.131
7.	Subang /202	535.751.000	572.766.772
8.	Subang /203	582.623.000	619.676.058
9.	Tasikmadu	575.531.000	612.572.225
10.	Tjoekir	566.285.000	602.604.705
11.	Wonolangan/128	583.057.000	619.997.943
12.	Djatiroto /110	505.621.000	539.629.493
13.	Gondang Baru	513.627.000	547.391.933
14.	Lestari	504.360.000	544.760.305
15.	Pesantren Baru	504.713.000	542.773.811

Tabel 3b: Data Harga Jual Tiap Pesanan (Lanjutan)

No	Pabrik Gula 2017	Harga Jual (Rp)	
		Perusahaan	JOC
16.	Asem Bagoes/112	516.143.000	557.191.693
17.	Asem Bagoes/113	525.042.000	562.971.214
18.	Djatiroto /125	522.549.000	566.270.689
19.	Krebet Baru /145	507.331.000	555.907.284
20.	Subang /154	527.981.000	563.972.236
21.	Subang /187	535.345.000	566.302.816
22.	Wonolangan /114	511.816.000	550.679.657

a. Uji Normalitas dan Uji Homogenitas

Berdasarkan *output Test of Normality*, nilai signifikansi untuk laba metode perusahaan dan laba metode *job order costing* > 0,05, maka dapat disimpulkan data laba berdistribusi normal.

Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
METODE PERUSAHAAN	.141	22	.200*	.957	22	.425
METODE JOC	.083	22	.200*	.978	22	.879

Gambar 7. Hasil Uji Normalitas Data Harga Jual

Sedangkan untuk uji homogenitas diperoleh hasil uji homogenitas terlihat bahwa nilai Sig.= 0,765. Nilai ini lebih besar dari nilai $\alpha = 0,05$ berarti distribusi data sudah homogen.

Test of Homogeneity of Variances

HPP			
Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.090	1	42	.765

Gambar 8. Hasil Uji Homogenitas Data Harga Jual

b. Uji T (independent sample T-Test)

Oleh karena nilai t hitung > t tabel (3,893 > 2,021) dengan taraf signifikansi (α) yang digunakan sebesar 0,05 dan nilai Sig.2-tailed < 0,05 (0,000 < 0,05) maka H_0 ditolak, artinya ada perbedaan yang signifikan terhadap harga jual yang ditetapkan oleh perusahaan dengan harga jual menggunakan metode *Job Order Costing*

Independent Samples Test									
	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
HARGA JUAL									
Equal variances assumed	.090	.765	3.893	42	.000	38313218.68182	9840582.28561	58174214.62390	18454119.62616
Equal variances not assumed			3.893	41.865	.000	38313218.68182	9840582.28561	58174214.62390	18452222.73974

Gambar 9. Hasil Uji H₃

4. KESIMPULAN

Hasil dari uji t untuk HPP berdasarkan perusahaan dengan metode *job order costing* diperoleh nilai Sig.(2-tailed)=0,000 sehingga disimpulkan terjadi perbedaan HPP yang signifikan. Sebagai salah satu contoh pada hasil HPP pesanan PG.Pagotan terdapat selisih sebesar Rp28.061.840,- antara metode perusahaan dengan metode *job order costing*. Harga pokok produksi yang ditentukan dengan metode *job order costing* lebih besar yaitu Rp466.687.630,- dibandingkan dengan metode perusahaan yaitu sebesar Rp438.625.790,-. Hal ini dikarenakan perusahaan tidak memasukkan biaya bulanan (air, telepon dan wifi) dan biaya depresiasi mesin. Selain itu adanya perbedaan cara perhitungan biaya tenaga kerja tidak langsung dan hasil manajemen *budget*.

Hasil dari uji t untuk laba berdasarkan perusahaan dengan metode *job order costing* diperoleh nilai Sig.(2-tailed)=0,000 sehingga dapat disimpulkan terjadi perbedaan laba yang signifikan. Salah satu contoh yaitu pesanan PG.Pagotan, yang dimana perusahaan mengaku mendapatkan laba sebesar Rp87.725.158,-. Sedangkan laba yang menggunakan metode *job order costing* dengan pendekatan *full costing* adalah Rp93.337.526,- dan selisih laba yang terjadi sebesar Rp5.612.368,-. Apabila menggunakan harga jual dari perusahaan dan menggunakan hasil HPP yang menggunakan metode JOC dengan pendekatan *full costing* maka rata-rata margin laba yang didapat sebesar 13% untuk semua pesanan pabrik gula.

Hasil dari uji t untuk harga jual berdasarkan perusahaan dengan metode *job order costing* diperoleh nilai Sig.(2-tailed)=0,000 sehingga

dapat disimpulkan, terjadi perbedaan harga jual yang signifikan. Sebagai contoh pesanan PG.Pagotan yang dimana harga jual yang dihasilkan dengan metode *job order costing* Rp616.027.672,- sebesar sedangkan metode perusahaan sebesar Rp578.986.000,- dengan selisih yang timbul sebesar Rp37.04.672,-. Rata-rata kenaikan harga jual setelah menghitung HPP dengan menggunakan metode JOC dengan pendekatan *full costing* sebesar 7% dari harga jual yang telah ditetapkan perusahaan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ahmad, F. & Wasilah (2012). **Akuntansi Biaya**. Salemba Empat, Jakarta.
- [2] Aliminingsyah & Padji (2003). **Kamus Istilah Akuntansi**. Yrama Widya, Bandung.
- [3] Apriadi, I.M.H., I.A. Haris & K.R. Suwena (2014). *Analisis Metode Harga Pokok Pesanan dalam Menentukan Harga Pokok Produksi pada PT. Mardika Griya Prasta Tahun 2014*. **Jurnal Pendidikan Ekonomi**, Vol.4, No.1, Universitas Pendidikan Ganesha, Singaraja.
- [4] Ghozali, I. (2006). **Aplikasi Analisis Multivariated dengan SPSS**. Edisi 4. Badan Penerbit Universitas Diponegoro, Semarang.
- [5] Hansen, D. & Mowen (2009). **Akuntansi Manajerial**. Salemba Empat, Jakarta.
- [6] Hanggana, S. (2009). **Akuntansi Biaya**. Fakultas Ekonomi Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- [7] Lasena, S.R. (2013). *Analisis Penentuan Harga Pokok Produksi pada PT. Dimembe Nyiur Agripuro*. **Jurnal EMBA**, Vol.1, No.3, pp.1341-1348, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- [8] Pradhana Mulfi, A.D. (2013). Analisis Harga Pokok Produksi dengan Metode *Job Order Costing* (Studi Kasus Triple Combo, Bogor). **TUGAS AKHIR** Program Sarjana Alih Jenis Manajemen, Departemen Manajemen, Fakultas Ekonomi dan Manajemen, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- [9] Mulyadi (2016). **Akuntansi Biaya**. Edisi 5. UPP STIM YKPN, Yogyakarta.
- [10] Siregar, B. (2013). **Akuntansi Biaya**. Salemba Empat, Jakarta.
- [11] Suharti, E. (2014). *Analisis Perbandingan Metode Harga Pokok Produksi pada PT. Megah Buana Pancarona*. **Balance Vocation Accounting Journal**, Vol.1, No.1, Universitas Muhammadiyah Tangerang, Tangerang.

Optimasi Waktu Siklus Produksi Kemasan Produk Botol Toner 200 ml Pada Proses *Blow Molding* Dengan Metode *Respon Surface*

Akhzam Samyvikar^{1*}, Bayu Wiro Karuniawan², dan Farizi Rachman³

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya60111, Indonesia.^{1,2,3}
E-mail: akhzamsamyvikar@gmail.com^{1*}

Abstract – Di jaman modern ini perkembangan teknologi semakin pesat membuat persaingan di dunia industri juga semakin ketat. Hal tersebut mengakibatkan industri plastik di Indonesia harus mampu meningkatkan produksinya, baik dalam hal kuantitas maupun kualitas produksinya. Mesin MKV 3 merupakan salah satu mesin extrusion blow molding yang digunakan untuk memproduksi botol Toner 200 ml. Proses produksi botol toner 200 ml ini membutuhkan waktu siklus selama ± 22 detik dan menghasilkan 2885 botol per shift. Hal tersebut dinilai masih kurang karena kapasitas produksinya masih kurang memenuhi kapasitas yang diinginkan. Untuk mengatasi permasalahan tersebut dibutuhkan optimasi pada waktu siklus produksi botol toner 200 ml namun harus memperhatikan kualitas produknya, dalam hal ini adalah netto botol. Dalam penelitian ini variabel proses (parameter) yang diambil antara lain blowing pressure, blowing time dan stop time, sedangkan variabel respon yang dipilih pada penelitian ini adalah cycle time, netto. Metode analisa yang digunakan adalah Metoderespon surface. Metode analisa tersebut menghasilkan nilai variabel proses terhadap variabel respon yang optimal. Berdasarkan hasil penelitian didapat kesimpulan bahwa keadaan optimum dihasilkan pada kondisi blowing pressure sebesar 6.3535 bar; blowing time sebesar 12 detik; dan stop time 2 detik. Dari keadaan optimum tersebut cycle time yang dihasilkan yaitu 19.97 detik dan netto yang dihasilkan sesuai standar yaitu 22.02 gram.

Keywords : cycle time, blowing pressure, blowing time, stop time.

1. PENDAHULUAN

Di jaman modern ini perkembangan teknologi semakin pesat membuat persaingan di dunia industri juga semakin ketat. Hal tersebut mengakibatkan industri plastik di Indonesia harus mampu meningkatkan produksinya, baik dalam hal kuantitas maupun kualitas produksinya. Untuk meningkatkan produksinya, industri kemasan plastik harus mampu mengoptimalkan waktu siklus pada setiap proses produksinya, dimana waktu siklus merupakan waktu yang dibutuhkan sebuah mesin untuk menghasilkan satu produk. Waktu siklus produksi sangat berpengaruh terhadap kualitas maupun kuantitas produksi. Permasalahan lain yang muncul adalah industri juga dituntut untuk meningkatkan kuantitas produksi namun di lain sisi industri ini harus memperhatikan kualitas produknya karena semakin cepat waktu siklus produksi belum tentu kualitas produksi meningkat. Industri plastik di Indonesia menggunakan proses *blow molding* dalam proses produksinya, dimana proses *blow molding* terdiri dari proses *injection blow molding*, *extrusion blow molding* dan *stretch blow molding*. Mesin MKV 3 merupakan salah satu mesin *extrusion blow molding* yang digunakan untuk memproduksi kemasan plastik. Berdasarkan data yang diambil di perusahaan manufaktur Mesin MKV 3 digunakan untuk memproduksi botol toner 200 ml. Proses produksi botol toner

200 ml ini membutuhkan waktu siklus selama ± 22 detik sehingga kapasitas produksinya sebesar 2885 botol per shift. Hal tersebut dinilai masih kurang karena dalam produksinya karena masih ditemukan produk *reject* dan kapasitas produksinya masih kurang memenuhi kapasitas yang diinginkan. Sekitar 4 % botol yang *reject* dari setiap kali memproduksi produk botol tersebut. Untuk mengatasi permasalahan tersebut dibutuhkan optimasi pada waktu siklus produksi botol toner 200 ml namun harus memperhatikan kualitas produknya, dalam hal ini adalah *netto* botol.



Gambar 1. Botol Toner 200 ml

Metode *respon surface* merupakan metode matematis dan statistis untuk memodelkan dan menganalisis masalah dimana tingkat respon dipengaruhi beberapa variabel dengan tujuan untuk mengoptimalkan respon tersebut. Sehingga

dengan metode ini dapat mempermudah mendapatkan nilai optimal dari masing masing parameter yang berpengaruh dalam proses produksi produk tersebut dengan proses *blow molding* (Gasperz, 1992).

Terdapat penelitian sebelumnya optimasi siklus waktu proses pembuatan kemasan plastik pada proses *blow molding* antara lain Optimasi waktu siklus produksi kemasan produk 50 ml pada proses *blow molding* (Kahlil, 2016). Adapun metode yang digunakan adalah metode *respon surface* dengan parameter yang sama yaitu *stop time*, *blowing time* dan *blowing pressure*. Hasil penelitian diperoleh keadaan optimum pada kondisi *blowing pressure* sebesar 5,34254 bar, *blowing time* sebesar 8 detik, *stop time* 1,5 detik. Pada keadaan ini produksi dapat naik sebesar 16,607 %. Dari keadaan optimum tersebut netto yang dihasilkan 13,34 gram dan *cycle time* yang dihasilkan yaitu 12,60 detik.

Setelah mengamati dan mempelajari penelitian-penelitian sebelumnya penulis mencoba mengangkat suatu penelitian mengenai penerapan metode respon permukaan untuk mengoptimasi waktu siklus produksi tanpa mengabaikan *netto* yang dihasilkan sehingga sesuai dengan standard yang diinginkan perusahaan

2. METODOLOGI

Proses Rancangan Penelitian

Sebelum dilaksanakan eksperimen, perlu ditentukan variabel faktor dan level kendali yang digunakan serta variabel respon yang diamati dalam penelitian ini terlebih dahulu. Penentuan level kendali pada variabel faktor dapat dilihat pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1: Level Kendali

Variabel Bebas	Kode		
	-1	0	1
Blowing Pressure (bar)	5	6	7
Blowing Time (detik)	12	13	14
Stop Time (detik)	2	3	4

Sumber : Penelitian, 2018

Proses Pelaksanaan Eksperimen

Setelah didapat data parameter level kendali dan pengacakan variable maka selanjutnya akan dilakukan proses percobaan menggunakan mesin *blow molding* untuk membentuk produk. Parameter lain yang tidak ditentukan oleh peneliti dianggap konstan. Proses pembuatan produk atau spesimen dilakukan sebanyak 15 kali. Setelah proses pembuatan produk menggunakan mesin *blow molding* dengan mengganti besar variable yang digunakan sebagai variable bebas.



Gambar 2. Proses Percobaan

Proses Pengukuran Produk

Selanjutnya didapatkan produk hasil percobaan, hasil produk tersebut akan dilakukan proses pengukuran. Dimana untuk proses pengukuran *netto* dilakukan menggunakan timbangan digital.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran *cycle time* dan *netto*

Hasil dari proses *blow molding* yang telah dilakukan pengukuran menggunakan *stopwatch* untuk *Cycle time* dan timbangan digital untuk pengukuran *netto* dapat dilihat pada Tabel 2 berikut ini:

Tabel 2: Hasil Percobaan

No	V. Bebas			V.Respon	
	Blowing Pressure (bar)	Blowing Time (detik)	Stop Time (detik)	Y1	Y2
1	5	12	3	20.69	21.25
2	7	12	3	21.13	21.75
3	5	14	3	22.43	22.87
4	7	14	3	22.42	21.38
5	5	13	2	20.94	21.72
6	7	13	2	20.99	22.42
7	5	13	4	21.09	20.87
8	7	13	4	22.49	22.33
9	6	12	2	19.87	22.51
10	6	14	2	21.18	21.59
11	6	12	4	22.35	21.04
12	6	14	4	22.46	21.79
13	6	13	3	21.47	21.80
14	6	13	3	21.42	21.23
15	6	13	3	21.52	21.43

Sumber : Proses Eksperimen, 2018

Perhitungan Data *cycle time*

Setelah didapatkan nilai percobaan dan persamaan model yang menggunakan *linear interaction*, maka selanjutnya adalah menghitung data tersebut dengan tabel perhitungan manual ANOVA dengan hasil seperti pada tabel 3 berikut.

Tabel 3: Hasil analisa ANOVA

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS
Regression	6	22.2975	22.2975	3.71626
Linear	3	19.7093	4.1838	1.39461
Interaction	3	2.5883	2.5883	0.86276
Residual Error	38	4.1967	4.1967	0.11044
Lack of Fit	6	3.5244	3.5244	0.58740

Sumber : Proses Eksperimen, 2018

Uji Koefisien Determinasi Berganda

Kriteria penerimaan yaitu nilai R^2 berkisar antara 0 sampai 100% dimana nilai R^2 semakin mendekati 100% maka model semakin baik. Berikut hasil analisa dengan minitab:

$$R-Sq = 84,16\% \quad R-Sq(adj) = 81,66\%$$

Dari hasil analisa diatas dapat ditunjukkan bahwa nilai R^2 sebesar 84,16%, dengan nilai prosentase tersebut maka model dianggap sudah baik karena mendekati nilai 100%.

Uji Koefisien Secara Serentak

Kriteria penerimaan dari pengujian koefisien regresi secara serentak apabila $P_{value} < \alpha$ maka H_0 ditolak dan bila $P_{value} > \alpha$ maka H_0 diterima. Seperti pada tabel berikut:

Tabel 4: Hasil Uji Koefisien Serentak

Source	F	P
Regression	33.65	0.000
Linear	12.63	0.000
Interaction	7.81	0.000

Sumber : Minitab, 2018

Dapat dilihat nilai P_{value} dari regresi adalah 0,000 yang berarti lebih kecil dari nilai signifikansi (α) yaitu 0,05 maka dapat ditulis $P_{value} < \alpha$ sehingga H_0 ditolak yang berarti model dapat diterima secara statistik dan terdapat variabel yang mempengaruhi *Cycle Time*.

Uji Koefisien Regresi Individu

Kriteria penerimaan bila $P_{value} < \alpha$ maka H_0 ditolak dan bila $P_{value} > \alpha$ maka H_0 diterima. Seperti pada gambar 8 berikut :

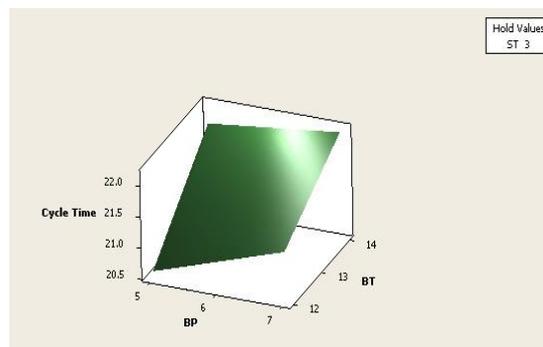
Tabel 5: Hasil Uji Koefisien Serentak

Source	F	P
Blowing Pressure (X1)	0.30	0.589
Blowing Time (X2)	10.87	0.002
Stop Time (X3)	3.42	0.072
Blowing Pressure* Blowing Time	1.40	0.245
Blowing Pressure * Stop Time	12.32	0.001
Blowing Time * Stop Time	9.72	0.003

Sumber : Minitab, 2018

Dari tabel 5 dapat diketahui bahwa dari parameter – parameter tersebut ada dua parameter yang mempengaruhi *cycle time* yaitu parameter *Blowing Time*. Dengan nilai P_{value} sebesar 0,002 karena nilai tersebut lebih kecil dari α (0,05).

Surface Plot



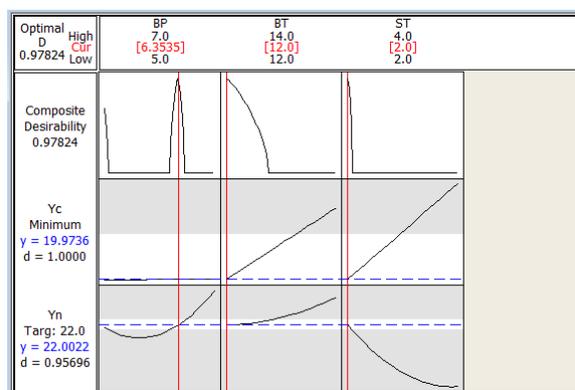
Gambar 3. Surface Plot

Dari gambar 3 menunjukkan bahwa *Cycle Time* akan tercapai jika *blowing pressure* berada diantara 5 bar sampai 7 bar dan *blowing time* berada diantara 12 detik sampai 14 detik sedangkan *stop time* berada pada 3 detik. Dengan setting parameter pada level tersebut. Maka meperoleh *cycle time* sebesar kurang 20.5 detik sampai 22 detik.

Optimasi Respon

Agar mendapatkan nilai optimal menggunakan *Respon Optimizer* maka digunakan batas atas dan bawah sebagai berikut :

($Y_{Cycle Time}$) digunakan *Smaller is Better* dengan $U_{Cycle Time} = 20.15$ detik , $T_{Cycle Time} = 20.5$ detik



Gambar 4. Konfigurasi Optimasi

Gambar 4 menjelaskan bahwa berdasarkan hasil optimasi, didapatkan *setting* variabel untuk *Blowing Pressure* sebesar 6.3535 bar, *Blowing time* sebesar 12 detik, *Stop time* sebesar 2 detik, sehingga akan mendapatkan variabel respon *cycle time* 19.9736 detik dan *netto* sebesar 22.0022 gram, dan memiliki response optimization menunjukkan nilai *composite desirability* sebesar 0.97824, maka variabel faktor respon secara bersama memberikan penekanan secara linier

4. KESIMPULAN

Setelah melakukan penelitian, pengambilan data dan analisa data dengan metode *Response Surfaced* dapat disimpulkan bahwa :

1. Untuk respon *cycle time*, parameter bebas yang paling berpengaruh adalah *blowing time* dengan nilai F_{hitung} sebesar 10,87 kemudian diikuti oleh *stop time* dengan nilai 3,42 sedangkan parameter bebas *blowing pressure* tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap respon *cycle time* dikarenakan hanya memiliki nilai F_{hitung} 0,30.
2. Untuk respon *netto*, parameter bebas yang paling berpengaruh adalah *blowing pressure* dengan nilai F_{hitung} sebesar 4,12 kemudian diikuti oleh *stop time* dengan nilai 1,24 sedangkan parameter bebas *blowing pressure* tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap respon *cycle time* dikarenakan hanya memiliki nilai F_{hitung} 0,24.
3. Keadaan optimum dihasilkan pada kondisi *blowing pressure* sebesar 6.3535 bar; *blowing time* sebesar 12 detik; dan *stop time* 2 detik. Dari keadaan optimum tersebut *cycle time* yang dihasilkan yaitu 19.97 detik dan *netto* yang dihasilkan sesuai standar yaitu 22.02 gram.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Gasperz, V. (1992). **Analisis Sistem Terapan berdasarkan Pendekatan Teknik Industri**. Tarsito, Bandung
- [2] Kahlil, M. (2016). *Optimasi Waktu Siklus Produksi Kemasan Produk 50 ml pada Proses Blow molding dengan Metode Respon Permukaan*. **ROTOR**, Vol.9, No.1, pp.35-39, Fakultas Teknik Mesin UNEJ, Jember.
- [3] Montgomery, D.C. (1990). **Probabilita dan Statistik dalam Ilmu Rekayasa dan Manajemen (Cetakan II)**. Universitas Indonesia, Jakarta
- [4] Solikhah, F. I., Rachmadita, R. N., & Maharani, A. (2018, January). Optimasi Penjadwalan Mesin Produksi Flowshop dengan Metode Campbell Dudek and Smith (CDS) dan Nawaz Enscore Ham (NEH) pada Departemen Produksi Massal. In Conference on Design and Manufacture and Its Application (Vol. 1, No. 1, pp. 414-419).

Penentuan *Critical Waste* pada Produksi *Camshaft* menuju *Lean Manufacturing Process*

Ira Anggraeni^{1*}, Anda Iviana Juniani², Mochammad Choirul Rizal³

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.^{1,2}

Program Studi Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.³

E-mail: iraanggraeni01@gmail.com^{1*}

Abstract – Industrial development has changed to industry era 4.0. This condition can't be separated from the development of industrial engineering science, especially, lean manufacturing. The industry era 4.0 and lean manufacturing provide the right combination to improve productivity, particularly in camshaft production process. This study aims to identify waste by using the value stream mapping method, followed by the selection of tools that will be used to identify waste in detail. Next is to determine the most critical waste by using the method of borda, after which the most critical waste is analyzed using a fishbone diagram for further improvement proposals. From the results of the Process Activity Mapping analysis, the percentage of VA activity was 35%, NVA activity was 3% and NNVA activity was 62%. Based on the most critical waste borda method occurs in waste motion, waiting, and motion. Some of the causes of these three wastes include the remaining oil that drips on the production floor, the lack of transportation equipment used as raw material delivery equipment and lack of labor in the unpacking division. And the proposed improvements that can be given are providing transportation equipment in the form of conveyors, replacing transportation equipment using a forklift and providing additional labor.

Keywords: *Camshaft, Lean Manufacturing, Process Activity Mapping, Value Stream Mapping, Waste.*

1. PENDAHULUAN

Perkembangan dunia industri telah memasuki di ambang pintu era Industri 4.0. Kondisi ini tentu tidak terlepas dari perkembangan keilmuan teknik industri. Bila dikaitkan dengan keilmuan teknik industri, *Lean Manufacturing* secara luas telah diakui dan diterima di lingkungan industri. *Lean Manufacturing* memberikan kombinasi teknologi yang tepat dalam meningkatkan produktivitas perusahaan industri, terutama dalam proses produksi. PT Otomotif Manufacturing merupakan perusahaan manufaktur yang bergerak dibidang otomotif khususnya dalam pembuatan suku cadang *camshaft*. Berdasarkan hasil observasi dilapangan dan wawancara dengan beberapa pihak yang bersangkutan, terdapat beberapa aktivitas – aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah. Aktivitas – aktivitas tersebut merupakan pemborosan yang terjadi pada produksi *camshaft*. Akibat dari pemborosan tersebut menyebabkan aliran proses produksi menjadi terhambat, dan tentunya provit perusahaan menjadi menurun. Diperlukan langkah yang tepat bagi pihak perusahaan untuk mengurangi pemborosan sehingga nantinya dapat memperbaiki kinerja dan produktivitas perusahaan, khususnya dalam memperbaiki proses produksi *camshaft* PT Otomotif Manufacturing. Salah satu metode dalam perbaikan produksi yang dapat digunakan ialah penerapan konsep *lean manufacturing*.

Menurut Gasperz (dalam Setiawan, 2017), konsep *lean manufacturing* merupakan suatu upaya strategi perbaikan secara kontinu dalam proses produksi untuk mengidentifikasi jenis – jenis dan faktor penyebab terjadinya *waste* agar aliran nilai (*value stream*) dapat berjalan lancar sehingga waktu produksi lebih efisien.

Hal pertama yang dilakukan yaitu pemetaan alur proses produksi dengan menggunakan *value stream mapping* atau VSM. VSM ini merupakan salah satu metode dalam aplikasi *lean manufacturing* yang digunakan untuk mengidentifikasi *waste* atau pemborosan dari suatu sistem manufaktur. Pemetaan VSM tersebut menggunakan *tools* VALSAT untuk mengetahui secara detail aliran proses produksi *camshaft*. *Dilanjutkan dengan pemilihan waste yang paling kritis pada lantai produksi camshaft, yakni dengan menggunakan metode Borda. Selanjutnya dicari akar penyebab dari pemborosan tersebut untuk mendapatkan usulan rekomendasi yang sesuai utuk produksi camshaft.*

2. METODOLOGI

2.1 Waste

Menurut Gazpersz (2007) menuliskan bahwa *waste* dapat didefinisikan sebagai segala aktivitas kerja yang tidak memberikan nilai tambah terhadap proses transformasi input menjadi output sepanjang *value stream*. Berdasarkan perspektif

lean, semua jenis pemborosan yang terdapat sepanjang proses *vaue stream*, yang mentransformasikan input menjadi output, harus dihilangkan guna meningkatkan nilai produk (barang dan atau jasa) dan selanjutnya meningkatkan *customer value*.

2.2 Value Stream Mapping

Value stream mapping. VSM merupakan salah satu metode dalam aplikasi *lean manufacturing* yang digunakan untuk memetakan aliran proses produksi. Gambaran umum dari *value stream mapping* yaitu berupa aliran informasi dimulai dari *supplier*, *produsen* dan konsumen dalam satu gambar utuh. Tujuan utama dari *value stream mapping* yaitu untuk mendapatkan suatu gambaran utuh berkaitan dengan waktu proses, sehingga dapat diketahui *value adding* dan *non value non adding activity*. Menurut Belokar, R.M (2012) pemetaan *value stream mapping* ini digunakan dengan tujuan untuk menganalisis dan memetakan dalam mengurangi limbah dalam proses produksi. Dan membuat proses produksi lebih efisien dan lebih baik.

2.3 Value Stream Analysis Tools (VALSAT)

Menurut Hines and Rich (1997) *value stream analysis tools* digunakan untuk mempermudah pemahaman terhadap analisis *value stream mapping* yang ada, guna melakukan perbaikan *waste* yang terjadi. Terdapat 7 *tools* yang digunakan dalam detail *mapping tools* dengan berdasarkan sistem bobot, diantaranya yaitu

1. Process Activity Mapping

Pendekatan teknis yang biasa dipergunakan pada aktivitas –aktivitas dilantai produksi. *Tool* ini memetakan proses secara detail langkah demi langkah, kemudian mengelompokkannya kedalam tipe – tipe aktivitas yang ada mulai dari *value adding activities*, *necessary non value adding activities*. Tipe – tipe aktivitas tersebut diantaranya yaitu Operasi (*Operation*), Transportasi (*Transportation*), Inspeksi (*Inspection*), *Delay*. PAM ini berguna untuk mengetahui berapa persen kegiatan yang dilakukan merupakan VA dan berapa persen yang NVA.

2. Supply Chain Response Matrix

Merupakan grafik yang menggambarkan hubungan antara *inventory* dengan *lead time* yang digunakan untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi kenaikan atau penurunan tingkat persediaan dan panjang *lead time* pada tiap area dalam *supply chain*. Dari fungsi yang diberikan, selanjutnya dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan manajemen untuk menaksir kebutuhan *stock* apabila dikaitkan dengan pencapaian *lead time* yang pendek.

3. Production Veriety Funnel

Merupakan suatu teknik pemetaan secara visual dengan cara melakukan plot pada sejumlah variasi produk yang dihasilkan dalam setiap tahap proses manufaktur.

4. Quality Filter Mapping

Merupakan sebuah *tool* yang digunakan untuk mengidentifikasi letak permasalahan cacat kualitas pada rantai suplai yang ada.

5. Demand Amplication Mapping

Merupakan *tool* yang digunakan untuk memetakan pola permintaan di tiap titik pada *supply chain*. Dari informasi tersebut dapat digunakan dalam pengambilan keputusan dan analisis lebih lanjut baik untuk mengantisipasi adanya perubahan permintaan serta evaluasi kebijakan *inventory*.

6. Decision Point Analysis

Menunjukkan berbagai *option* sistem produksi yang berbeda, dengan *trade off* antara *lead time* masing – masing *option* dengan tingkat *inventory* yang diperlukan untuk meng-*cover* selama proses *lead time*.

7. Phisycal Structure

Merupakan sebuah alat yang digunakan memahami kondisi rantai suplai di level produksi. Hal ini diperlukan untuk memahami kondisi industri itu, bagaimana operasinya dan dalam mengarahkan perhatian pada area yang mungkin belum mendapatkan perhatian yang cukup untuk pengembangan.

Berikut adalah tabel VALSAT yang digunakan untuk memilih *tools* yang sesuai pada *value stream*.

Wastes/structure	Mapping tool						Physical structure (a) volume (b) value
	Process activity mapping	Supply chain response matrix	Production variety funnel	Quality filter mapping	Demand amplification mapping	Decision point analysis	
Overproduction	L	M		L	M	M	
Waiting	H	H	L		M	M	
Transport	H						L
Inappropriate processing	H		M	L		L	
Unnecessary inventory	M	H	M		H	M	L
Unnecessary motion	H	L					
Defects	L			H			
Overall structure	L	L	M	L	H	M	H

Notes: H = High correlation and usefulness
 M = Medium correlation and usefulness
 L = Low correlation and usefulness

Gambar 1. The value stream mapping tools
 Sumber : Hines and Rich (2997)

Bedasarkan tabel diatas, nilai korelasi H, M, dan L akan dikalikan dengan nilai rata – rata *waste*. *High Correlation* (H) memiliki nilai 9, *Medium Correlation* (M) memiliki nilai 3 dan *Low Correlation* memiliki nilai 1. Hasil perkalian antara nilai rata – rata *waste* dengan nilai korelasi *tools* nantinya akan dijumlah kemudian akan di ranking untuk mendapatkan *tool* yang akan digunakan. Mengacu pada ranking tertinggi.

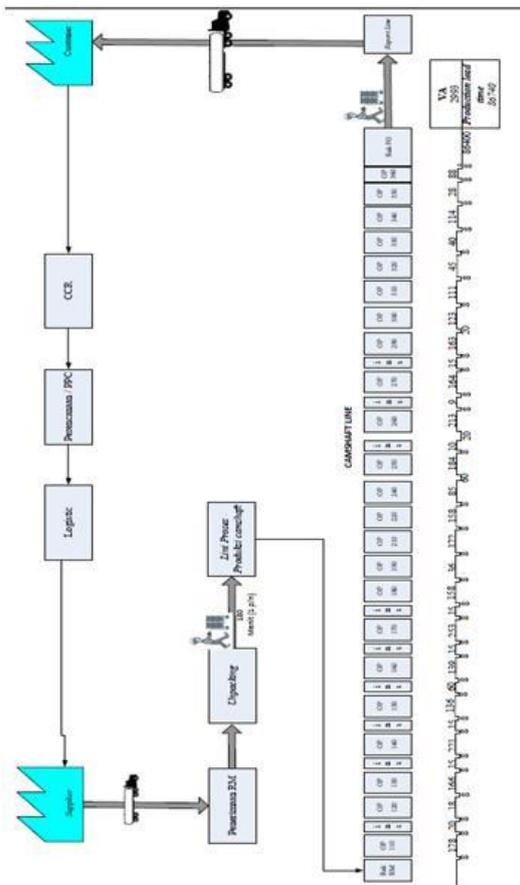
2.4 Metode Borda

Merupakan suatu metode yang digunakan pada pengambilan keputusan kelompok untuk pemilihan *single winner*. Bobot $waste = \frac{\sum(\text{Banyak nilai} \times \text{Bobot peringkat})}{\text{Total Peringkat}}$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Penggambaran Value Stream Mapping

VSM atau biasa disebut *big picture mapping* bertujuan untuk melihat bisnis proses secara keseluruhan sehingga mampu memvisualisasikan aliran produk dan mengidentifikasi *waste* guna dilakukannya *improvement*.



Gambar 2. Big Picture Mapping

3.2 Value Stream Analysis Tools (VALSAT)

Sebelum mendapatkan *tools* yang sesuai untuk memetakan aliran nilai (*value stream*), perlu dilakukan identifikasi *waste workshop* yaitu dengan melakukan penyebaran kuisioner dan proses wawancara dengan beberapa pihak yang bersangkutan. Proses wawancara ini dilakukan untuk menyamakan persepsi tentang setiap jenis pemborosan yang dimaksudkan pada kuisioner yang diberikan. Berikut data hasil penyebaran kuisioner.

Tabel 1: Hasil Pembobotan *Seven Waste*

No	Tipe Pemborosan	Responden				Total	Rata – Rata
		1	2	3	4		
1	Overproduction	2	2	2	3	9	2,25
2	Defect	3	3	3	2	11	2,75
3	Inventory	1	3	2	2	8	2
4	Overprocessing	2	3	2	3	10	2,5
5	Transportation	3	3	3	3	12	3
6	Motion	3	4	4	4	15	3,75
7	Waiting	4	3	3	3	13	3,25

(Sumber: Hasil Kuisioner)

Berdasarkan hasil pembobotan *waste* diatas maka akan dilakukan pemilihan *tools* yang relevan dengan menggunakan pendekatan VALSAT. Nantinya *tools* yang terpilih akan digunakan untuk memetakan aliran nilai (*value stream*) secara detail guna mengidentifikasi pemborosan yang terjadi pada produksi *camshaft*. Pemilihan ini dilakukan dengan mengalikan nilai rata – rata pada tabel hasil pembobotan *waste* dengan nilai korelasi *iwastes* dengan setiap *tools*. Data hasil perhitungan VALSAT diperoleh hasil pemilihan *tools* sebagai berikut

Tabel 2: Hasil Perhitungan VALSAT

Tools	Tools Weight
Process Activity Mapping	123,5
Supply Chain Response Matrix	57,75
Demand Amplification Mapping	34,5
Decision Point Analysis	25
Quality Filter Mapping	38,5
Production Variety Funnel	16,75
Physical Structure	5

(Sumber: Pengolahan Data)

3.3 Identifikasi Process Activity Mapping

Berdasarkan hasil *Process Activity Mapping* pada Tabel 4.4, maka dapat diketahui bahwa dari kelima jenis aktivitas tersebut dapat digolongkan menjadi tiga kategori. Jenis aktivitas yang termasuk dalam kategori *non value added* (NVA), *value added* (VA), dan *necessary but non value added* (NNVA). Menurut Hines dan Rich (1997) menyatakan bahwa kategori yang termasuk VA yaitu berupa pemrosesan yang dimulai dari bahan mentah atau produk setengah jadi. Kategori yang termasuk NNVA yaitu proses pengiriman atau transfer dan inspeksi. Yang terakhir yang termasuk kategori NVA ialah sesuatu yang termasuk dalam waktu menunggu. Dari 68 aktivitas yang teridentifikasi dalam *process activity mapping*, dapat disimpulkan bahwa aktivitas yang termasuk dalam kategori *non value added* memiliki presentase sebesar 3% yang terdiri dari aktivitas menunggu, aktivitas *necessary but non value added* sebesar 62% yang terdiri dari aktivitas inspeksi yang perpindahan dan aktivitas yang termasuk *value added* sebesar 35% yang terdiri dari aktivitas permesinan.

3.4 Penentuan *Critical Waste*

Penentuan *critical waste* ini bertujuan untuk menentukan prioritas proses produksi yang tepat untuk meminimalisir *waste*. Dalam penelitian ini dilakukan penyebaran kuisioner kepada beberapa pihak yang bersangkutan dan nantinya akan diolah kembali dengan menggunakan perhitungan Borda, guna mendapatkan hasil *waste* paling kritis. Berdasarkan hasil perhitungan Borda maka didapatkan 3 jenis *waste* kritis. Di antaranya yaitu *waste motion* dengan bobot sebesar 0.25, *waste waiting* dengan bobot 0.238, dan *waste transportation* dengan bobot sebesar 0.214. Ketiga *waste kritis* tersebut mendapatkan nilai hasil perhitungan yang lebih besar dari jenis *waste* yang lain.

3.5 Usulan Rekomendasi Perbaikan

Usulan rekomendasi yang diberikan yaitu memberikan alat transportasi *conveyor* sebagai alat penghubung dari OP 240 menuju OP 250. Yang kedua yaitu mengganti alat transportasi yang awalnya *handlift* menjadi *forklift*. Yang ketiga yaitu menambah tenaga kerja pada divisi *unpacking*.

4. KESIMPULAN

1. Berdasarkan pemetaan aliran nilai/penggambaran secara detail, didapatkan hasil PAM (*Process Activity Mapping*), didapatkan 68 aktivitas yang teridentifikasi pada proses produksi *camshaft*, didapatkan presentase aktivitas VA sebesar 35 %, aktivitas NVA sebesar 3 % dan aktivitas NNVA sebesar 62%.
2. Berdasarkan hasil pengolahan kuisioner *waste* dengan menggunakan metode borda maka

didapatkan hasil pemborosan yang paling kritis pada proses produksi *camshaft* yaitu pada *wastemotion* dengan bobot yang dihasilkan sebesar 0.25, *waste waiting* dengan bobot yang dihasilkan sebesar 0.238 dan *waste transportation* dengan bobot yang dihasilkan sebesar 0,214.

3. Usulan rekomendasi yang diberikan yaitu memberikan alat transportasi *conveyor* sebagai alat penghubung dari OP 240 menuju OP 250. Yang kedua yaitu mengganti alat transportasi yang awalnya *handlift* menjadi *forklift*. Yang ketiga yaitu menambah tenaga kerja pada divisi *unpacking*.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Belokar, R.M. dkk. 2012. *An Application of Value Stream Mapping in Automotive Industry: A Case Study*. **International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering**, Vol.1, University of Technology, India.
- [1] Gaspersz, V. 2007. **Lean Six Sigma**. PT. Gramedia, Jakarta.
- [3] Hines, P dan N. Rich. 1997. *The Seven Value Stream Mapping Tools*. **International Journal of Operation and Production Management**, Vol.17, No.1, pp.46-64, University Press.

Penentuan Harga Pokok Produksi Aircraft Cabin Part (Pocket Spring) Dengan Pendekatan Time Driven Activity Based Costing (Studi Kasus Pma Unit Gmf Aeroasia Tbk.)

Ahmad Rizal Fawzi^{1*}, Renanda Nia R², Aditya Maharani³

Program Studi D4 Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.¹

Program Studi Manajemen Bisnis Maritim, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.^{2,3}
E-mail: rrizalfawzi17@gmail.com^{1*}

Abstract – GMF Aeroasia Tbk. merupakan sebuah perusahaan jasa yang berjalan dibidang repairing dan maintenance pesawat. Salah satunya adalah pocket spring. pocket spring berada dibagian belakang kursi penumpang yang berguna untuk rangka tempat penyimpanan safety book aircraft. Selama ini barang tersebut biasa diimport dari luar negeri dengan harga yang cukup mahal juga dengan waktu pengiriman yang tidak singkat. Secara perlahan PMA (Parts Manufacturer Approval) mencoba untuk memproduksi sendiri pocket spring. Akan tetapi untuk menentukan harga produksi PMA masih menggunakan metode konvensional.

Time Driven Activity based Costing menawarkan solusi untuk menghitung harga pokok produksi menjadi lebih akurat. Harga pokok produksi dapat dihitung dengan mengetahui terlebih dahulu biaya kapasitas produksi dan kapasitas sumber daya yang digunakan. Untuk biaya langsung dapat langsung diketahui namun, untuk biaya tidak langsungnya dilakukan pengamatan secara langsung terhadap model estimasi unit per waktu

Harga pokok produksi pocket spring yang ditetapkan oleh perusahaan mengalami undercosting atau terlalu rendah kurang dari seharusnya. Metode konvensional perusahaan menetapkan hasil Rp. 202.0458,00/pcs, sedangkan metode time driven activity based costing mendapatkan hasil sebesar Rp. 209.877,00/pcs. Laba produk ditentukan dari markup percentage yang didapat dari target profit perusahaan dibagi dengan hasil kali volume produksi dengan harga pokok produksi. Hal ini yang mengakibatkan harga pokok produksi sangat mempengaruhi besarnya laba.

Keywords: Time Driven Activity Based Costing, harga pokok produksi, Laba, Estimasi Unit, Kapasitas Produksi

1. PENDAHULUAN

Perusahaan merupakan organisasi yang mempunyai berbagai tujuan baik jangka panjang maupun jangka pendek (Lasena, 2013). Sebagai negara berkembang Indonesia berkewajiban memiliki sektor industri yang mampu bersaing baik local, nasional, maupun internasional. Terutama dibidang manufaktur yang menjadi motor dalam perkembangan industri suatu negara. Industri manufaktur adalah sebuah bidang yang menggunakan keterampilan pekerja serta alat-alat modern yang digunakan untuk mengolah bahan mentah menjadi barang setengah jadi ataupun barang jadi. Namun untuk bertahan di fase ini bukan perkara mudah. Apalagi bagi perusahaan menengah kebawah dimana kompetitor yang semakin bertambah dan SDMnya yang semakin bervariasi. Menurut Reeve dalam (Putra, 2015), pengelolaan manajemen biaya yang baik dapat digunakan sebagai senjata yang strategis oleh perusahaan dalam menghadapi persaingan secara global. Sebagai respon manajemen pengelolaan terhadap proses produksi penentuan harga pokok produksi sangat perlu diperhitungkan. Hal ini

berdampak mutlak pada laba dan profit perusahaan. Sistem akuntansi tradisional, didalamnya menunjukkan pembebanan biaya produksi dilakukan atas biaya langsung dan tidak langsung yang berhubungan dengan produk. Secara tradisional, pembebanan biaya. atas biaya tidak langsung dilakukan dengan menggunakan dasar pembebanan secara menyeluruh atau per departemen. Hal ini akan menimbulkan banyak masalah karena produk yang dihasilkan tidak dapat mencerminkan biaya yang sebenarnya diserap untuk menghasilkan produk tersebut.

Sistem *activity based costing* menghasilkan informasi akuntansi yang mampu mencerminkan konsumsi sumber daya dalam berbagai aktivitas untuk menghasilkan produk. Metode *Activity Based Costing* merupakan suatu metode perhitungan yang sederhana untuk menentukan harga pokok produk/jasa dengan dasar bahwa aktivitas yang menyebabkan biaya, bukan dari produk dan produklah yang mengkonsumsi aktivitas. Namun seiring berkembangnya waktu ada metode pendekatan yang lebih bisa diterapkan di industri beskala kecil maupun skala besar yakni

metode *Time Driven Activity Based Costing*. Menurut (Kaplan dan Anderson, 2006), *TDABC* ini mampu memberikan solusi terhadap kelemahan *ABC* karena adanya perkiraan waktu yang diperlukan untuk setiap kegiatan sebagai pemicu biaya yang utama, yang disebut *time driver*. *TDABC* merupakan metode pendekatan yang digunakan untuk menentukan biaya dari suatu produk, baik produk jasa maupun manufaktur dengan menggunakan dua parameter dalam penerapannya, yakni waktu yang dibutuhkan tiap satuan proses dan pembebanan biaya untuk setiap aktivitas.

GMF Aeroasia Tbk. adalah anak perusahaan dari maskapai penerbangan terbesar di Indonesia dan termasuk kedalam *grup company*. Perusahaan ini bergerak dibidang jasa *repairing* dan pengadaan part untuk pesawat terbang. Namun, dilansir dari web resmi GMF Aeroasia Tbk., perusahaan ini juga menerima *repairing* dari maskapai penerbangan lain. PMA unit di GMF Aeroasia Tbk. adalah sebuah unit yang bergerak dibidang *approval* dan pembuatan *cabin part* untuk semua jenis model pesawat yang ada di Indonesia. Dengan latar belakang untuk memenuhi kebutuhan *cabin part* dengan harga yang lebih rendah dibanding kompetitor, PMA dituntut untuk benar-benar memperhitungkan harga jual yang rendah namun harus tetap dapat menutup semua biaya yang dikeluarkan perusahaan dan memberikan keuntungan.

Berdasarkan uraian diatas, penulis tertarik untuk menerapkan pendekatan metode *time driven activity based costing (TDABC)* pada unit PMA dalam penentuan harga pokok produksi *cabin part*. Sehingga penulis mengambil judul Tugas Akhir : “*Penentuan Harga Pokok Produksi Aircraft Cabin Part (Pocket Spring) Dengan Pendekatan Time Driven Activity Based Costing (Studi Kasus Pma Unit Gmf Aeroasia Tbk.)*”

2. METODOLOGI

2.1 *Time Driven Activity Based Costing*

Ketidakpastian lingkungan bisnis menyebabkan sistem pembiayaan terus mengalami perkembangan dan perbaikan. *Traditional ABC* muncul padatahun 1980an menggantikan *traditional costing*. Kemudian pada tahun 2003, konsep *Time-Driven ABC* mulai diperkenalkan dan dikembangkan untuk merevisi *Traditional ABC*. (Robert S. Kaplan dan Steven R. Anderson, 2006) menyebutkan bahwa *Time-Driven ABC* merupakan pendekatan yang sederhana dan lebih akurat dibandingkan dengan *Traditional ABC*. *Time-Driven ABC* hanya memerlukan dua parameter, yaitu: (1) Biaya per unit dari kapasitas persediaan, dan (2) waktu yang diperlukan untuk melakukan suatu transaksi atau suatu aktifitas. Dalam (Subagyo, 2008) Penelitian yang dilakukan (Patricia Everaert, dkk, 2008)

mengenai aplikasi *Time Driven ABC* pada perusahaan dagang di Belgia menemukan bukti bahwa *TDABC* memberikan informasi biaya yang lebih akurat daripada *Traditional ABC*. Berikut beberapa persoalan yang muncul didalam praktek *Traditional ABC* :

1. Proses wawancara dan survey kepada karyawan menelan biaya sangat mahal dan memakan waktu yang cukup panjang.
2. Ketidakakuratan dan bias mempengaruhi keakuratan tarif *cost driver* yang berasal dari estimasi individual subjective atas perilaku mereka di masa lalu maupun di masa mendatang
3. Karena mahal nya biaya wawancara dan survey kepada karyawan, maka sistem *ABC* tidak diupdate secara rutin
4. Sulit menambah aktifitas baru ke dalam sistem, memerlukan estimasi ulang atas jumlah biaya yang harus ditetapkan untuk aktifitas yang baru

Sulit diterapkan pada perusahaan yang beroperasi pada skala besar. Dengan kata lain, *Traditional ABC* sulit untuk merespon peningkatan dari diversity dan kompleksitas pesanan maupun pelanggan, padahal perusahaan berskala besar pasti memiliki tingkat diversity dan kompleksitas pesanan maupun konsumen yang sangat tinggi

2.2.1 Tahapan *Time Driven Activity Based Costing*

1. Estimasi Biaya Per Unit

Dengan estimasi dari: (1) Biaya dari kapasitas yang tersedia, dan (2) Kapasitas pada prakteknya dari sumber daya yang tersedia, maka dapat dihitung biaya per unit dari kapasitas yang tersedia sebagai berikut :

$$\text{Biaya per Unit} = \frac{\text{Biaya Kapasitas yang Tersedia}}{\text{Kapasitas pada Prakteknya dari Sumber Daya}} \quad (1)$$

Biaya Kapasitas yang Tersedia

Kapasitas pada Prakteknya dari Sumber Daya

Sedangkan untuk menghitung *capacity cost rate* adalah :

$$\text{Alokasi unit} = y \text{ per jam} \times \text{jam per bulan} \quad (2)$$

2. Estimasi Unit Waktu

Bagian kedua dari informasi baru yang diperlukan pada pendekatan *Time-Driven ABC* adalah estimasi waktu yang diperlukan untuk melakukan suatu transaksi. Prosedur *Time-Driven ABC* menggunakan estimasi waktu yang diperlukan setiap saat transaksi terjadi. Estimasi unit waktu ini menggantikan proses interview pekerja untuk mempelajari berapa persen waktu pekerja yang dihabiskan untuk semua aktifitas. Nilai aktivitas ini dapat dihitung dengan pendekatan :

$$\text{Nilai Aktivitas} = \frac{\text{Kapasitas Sumber Daya}}{\text{Kapasitas Praktik}} \quad (3)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Perhitungan dengan Time Driven Activity Based Costing

Dalam penentuan harga pokok produksi dengan menggunakan *TDABC*, kita harus memperhatikan faktor kapasitas dan biaya tiap unitnya. Adapun kebutuhan data mengenai sumber daya aktifitasnya. Langkah yang harus dilakukan :

A. Identifikasi aktivitas

Langkah ini dilakukan untuk mengetahui aktivitas apa saja yang perlu dilakukan untuk memproduksi 1 pcs *pocket spring*. Penulis melakukan wawancara kepada operator dan pihak manajemen. aktivitasnya meliputi

Tabel 1: Aktivitas per satuan waktu

No	Jenis Kegiatan	Jam per Hari	Jam per bulan
1	Pre Produksi	0,5	11
2	Bending Proses	5	110
3	Annealing	2	44
4	Cooling time	0,5	11

Sumber : Data Primer PMA Unit GMF Aeroasia, 2017 (Telah diolah)

Dalam data diatas ,untuk jam kerja dipakai 8 jam dalam sehari. Meskipun pada kenyataannya tidak sesuai namun dalam tugas akhir ini mentapkan jam kerja konstan 8 jam sehari. Hal ini mengacu pada hasil wawancara dengan *Head Of PMA Unit*.

B. Penyusutan Mesin

Kapasitas sumber daya oleh penyusutan mesin dalam pengerjaan *pocket spring* adalah sebesar Rp. 234.954.000,- untuk satu tahun. Namun pada data yang didapat, menjelaskan bahwa penyusutan di hitung per 6 tahun. Dengan biaya Rp. 1.409.724.000,00

Tabel 2: Penyusutan mesin

No	Jenis Kegiatan	Jam	Jam per tahun	Biaya Penyusutan
1.	Pre Produksi	-	-	-
2.	Bending Proses	8	2112	Rp. 78.318.000
3.	Annealing	8	2112	Rp. 78.318.000
4.	Cooling time	8	2112	Rp. 78.318.000
	Kapasitas Praktek		6336	Rp. 234.954.000
	Penyusutan / jam	Rp. 37.082,00 / Jam		

- * 1 hari kerja = 8 jam kerja
- * Jam per tahun adalah jam dikalikan dengan 264 (264 = 1 tahun)

Untuk biaya penyusutan mesin perjam dapat dihitung dengan rumus (1). dengan hasil perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Penyusutan/jam} = \frac{\text{Rp. 234.954.000}}{6336}$$

$$= \text{Rp. 37.082,00 / Jam}$$

Alokasi biaya penyusutan untuk masing-masing kegiatan dapat dihitung ,dengan hasil perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Penyusutan} \\ \text{Bending proses} &= \text{Penyusutan/Jam} \times \text{Jam/bulan} \\ &= \text{Rp. 37.082,00 / Jam} \times 2112 \\ &= \text{Rp. 78.318.000 / Jam} \end{aligned}$$

Biaya penyusutan yang lain juga dapat dihitung dengan cara yang sama seperti diatas Didapatkan nilai untuk setiap biaya penyusutan mesin sebesar :

$$\begin{aligned} \text{Pre-produksi} &: \text{Rp. - (karena proses ini termasuk dalam bending Proses)} \\ \text{Bending proses} &: \text{Rp. 78.318.000 / Jam} \\ \text{Annealing} &: \text{Rp. 78.318.000 / Jam} \\ \text{Cooling time} &: \text{Rp. 78.318.000 / Jam} \end{aligned}$$

C. Perawatan Mesin

$$\begin{aligned} \text{Perawatan/jam} &= \frac{\text{Rp. 27.000.000}}{1584} \\ &= \text{Rp 17.045 / Jam} \end{aligned}$$

Alokasi biaya perawatan untuk masing-masing kegiatan dapat dihitung ,dengan hasil perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Perawatan Bending proses} &= \text{Perawatan/Jam} \times \text{Jam/tahun} \\ &= \text{Rp 17.045} \times 528 \\ &= \text{Rp. 9.000.000 / Jam} \end{aligned}$$

Biaya perawatan yang lain juga dapat dihitung dengan cara yang sama seperti diatas Didapatkan nilai untuk setiap biaya perawatan mesin sebesar :

$$\begin{aligned} \text{Pre-produksi} &: \text{Rp. 4.500.000,00 / Jam} \\ \text{Bending proses} &: \text{Rp. 9.000.000,00 / Jam} \\ \text{Annealing} &: \text{Rp. 9.000.000,00 / Jam} \\ \text{Cooling time} &: \text{Rp. 4.500.000,00 / Jam} \end{aligned}$$

D. Sewa Gedung dan Inventory

Untuk biaya sewa gedung dan *inventory* dapat dihitung dengan rumus (1). dengan hasil perhitungan sebagai berikut

$$\begin{aligned} \text{Sewa Gedung dan Inventory/jam} \\ &= \frac{\text{Rp. 99.234.000}}{8448} \\ &= \text{Rp 11.746 / Jam} \end{aligned}$$

Alokasi biaya perawatan untuk masing-masing kegiatan dapat dihitung ,dengan hasil perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Sewa gedung} &= \text{sewa gedung dan} \\ &\text{inventory/Jam} \times \text{Jam/tahun} \\ \text{Bending proses} &= \text{Rp } 11.746 / \text{Jam} \times 2112 \\ &= \text{Rp. } 24.808.495 / \text{Jam} \end{aligned}$$

Biaya sewa gedung dan inventory yang lain juga dapat dihitung dengan cara yang sama seperti diatas. Didapatkan nilai untuk setiap biaya sewa gedung dan inventory sebesar :

$$\begin{aligned} \text{Pre-produksi} &: \text{Rp. } 24.808.495 / \text{Jam} \\ \text{Bending proses} &: \text{Rp. } 24.808.495 / \text{Jam} \\ \text{Annealing} &: \text{Rp. } 24.808.495 / \text{Jam} \\ \text{Cooling time} &: \text{Rp. } 24.808.495 / \text{Jam} \end{aligned}$$

E. Listrik

Untuk biaya listrik perjam dapat dihitung dengan rumus (1). dengan hasil perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Sewa Listrik /jam} &= \frac{\text{Rp. } 63.604.870}{2112} \\ &= \text{Rp } 30.116 / \text{Jam} \end{aligned}$$

Alokasi biaya listrik untuk masing-masing kegiatan dapat dihitung ,dengan hasil perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan Listrik} &= \text{sewa listrik /Jam} \times \\ &\text{Jam/tahun} \\ \text{Bending proses} &= \text{Rp } 30.114 \times 1584 \\ &= \text{Rp. } 47.700.000 / \text{Jam} \end{aligned}$$

Biaya listrik yang lain juga dapat dihitung dengan cara yang sama seperti diatas. Didapatkan nilai untuk setiap biaya listrik sebesar :

$$\begin{aligned} \text{Pre-produksi} &: \text{Rp. } 3.975.000 / \text{Jam} \\ \text{Bending proses} &: \text{Rp. } 47.700.000 / \text{Jam} \\ \text{Annealing} &: \text{Rp. } 7.950.000 / \text{Jam} \\ \text{Cooling time} &: \text{Rp. } 3.975.000 / \text{Jam} \end{aligned}$$

F. Tenaga Kerja

Untuk biaya tenaga kerja perjam dapat dihitung dengan rumus. dengan hasil perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Tenaga kerja /jam} &= \frac{\text{Rp } 110.500.000}{2112} \\ &= \text{Rp. } 52.320 / \text{Jam} \end{aligned}$$

Alokasi biaya tenaga kerja untuk masing-masing kegiatan dapat dihitung ,dengan hasil perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan} \\ \text{Tenaga kerja} &= \text{Tenaga kerja /Jam} \times \text{Jam/tahun} \\ \text{Annealing proses} &= \text{Rp. } 52.320 \times 264 \\ &= \text{Rp } 13.812.500 / \text{Jam} \end{aligned}$$

Biaya Tenaga kerja yang lain juga dapat dihitung dengan cara yang sama seperti diatas. Didapatkan nilai untuk setiap biaya tenaga kerja sebesar :

$$\begin{aligned} \text{Pre-produksi} &: \text{Rp}6.906.250 / \text{Jam} \\ \text{Bending proses} &: \text{Rp } 82.875.000 / \text{Jam} \\ \text{Annealing} &: \text{Rp } 13.812.500 / \text{Jam} \\ \text{Cooling time} &: \text{Rp } 6.906.250 / \text{Jam} \end{aligned}$$

G. Menghitung Keperluan Bahan Baku dan Penunjang

Berikut total kebutuhan biaya (tabel 3).

Tabel 3: Total Biaya Produk

No	Biaya	Jumlah
1	Bahan Baku + PPN + PPH	Rp 132.937.875,00
2	Packaging	Rp 16.200.000,00
3	Sertifikasi Produk	Rp. 95.000.000,00
4	Tenaga Kerja tak Langsung	Rp. 129.600.000,00
5	Administrasi	Rp. 59.400.000,00
Total		Rp 433.137.875,00

Untuk selanjutnya yakni menjumlahkan *capacity cost rate* dengan biaya packaging seluruh proses produksi *pocket spring*.

3.2 Perbandingan Perhitungan HPP TDABC dengan metode perusahaan

Dari penghitungan yang telah dilakukan sebelumnya dapat diamati perbandingan setiap komponen biaya yang terjadi antara metode perusahaan dan menggunakan metode TDABC. Perbandingan tersebut bisa lebih besar, sama dengan, atau lebih kecil. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4: Perbandingan hasil

Komponen Biaya	Harga Pokok Produksi <i>Pocket Spring</i>	
	Metode <i>Time Driven Activity Based Costing</i>	Metode Perusahaan (GMF Aeroasia)
Bahan Baku + PPN + PPH	Rp 132.937.875 ,-	Rp. 132.937.875 ,-
Packaging	Rp 16.200.000 ,-	Rp. 16.200.000 ,-
Sertifikasi Produk	Rp. 95.000.000 ,-	Rp. 95.000.000 ,-
Tenaga Kerja Tak Langsung	Rp. 129.600.000 ,-	Rp. 129.600.000 ,-
Administrasi	Rp. 59.400.000 ,-	Rp. 179.834.000 ,-
Penyusutan Mesin	Rp. 234.954.000 ,-	Rp. 241.926.750 ,-
Perawatan Mesin	Rp. 27.000.000 ,-	Rp. 27.000.000 ,-
Inventory Handling	Rp. 9.234.000 ,-	Rp. 9.234.000 ,-
Sewa Gedung dan Inventory	Rp. 99.234.000 ,-	Rp. 90.000.000 ,-
Listrik	Rp. 63.604.870 ,-	Rp. 60.000.000 ,-
Biaya Tenaga Kerja	Rp. 140.250.000 ,-	Rp. 110.500.000 ,-
Total	Rp. 1.007.409.875 ,-	Rp. 971.798.625 ,-

Perusahaan menargetkan laba sebesar 25% untuk setiap *packnya* dengan perhitungan harga pokok produksi menggunakan *tdabc* maka keuntungan perusahaan menjadi bertambah.

Laba Per pack =Rp. 506.145,00
(metode Perusahaan)
Laba Per pack =Rp. 516.950,00
(metode TDABC)

Jika dihitung secara keseluruhan, dengan menggunakan metode TDABC dan memproduksi sebanyak 480 pack pocket spring GMF Aeroasia mendapatkan keuntungan sebesar :

	Metode Perusahaan	Metode TDABC
Laba / pcs	Rp. 50.614,00	Rp. 52.469,00
Laba / pack	Rp. 506.145,00	Rp. 516.950,00
Laba / 1 kali produksi	Rp. 242.949.000,00	Rp. 250.136.000,00

3.3 Analisis Aktivitas

Untuk memperbaiki profitabilitas usaha penilaian aktivitas merupakan hal yang sangat mendasar. Kinerja aktivitas terletak pada tiga dimensi yakni efisiensi, kualitas, dan waktu. Efisiensi diukur dengan proporsi masukan aktivitas dan keluaran aktivitas. Kualitas berhubungan dengan mutu pelaksanaan aktivitas. Waktu berkaitan dengan berapa lama suatu aktivitas dapat dilaksanakan. Perhitungan nilai aktivitas menggunakan pendekatan (4).

$$\text{Nilai Aktivitas} = \frac{\text{Kapasitas Sumber Daya}}{\text{Kapasitas Praktik}}$$

Berdasarkan hasil wawancara dan data perusahaan, GMF Aeroasia memperkerjakan 6 orang pekerja untuk proses produksi pocket spring ini. Dengan demikian dapat dihitung :

$$\text{Nilai Aktivitas} = \frac{\text{Kapasitas Sumber Daya}}{\text{Kapasitas Praktik}}$$

$$\text{Nilai Aktivitas} = \frac{12.672}{2112}$$

Nilai Aktivitas = 6 atau 0.16 / aktivitas total

Presentase efisiensi kapasitas sumber daya waktu hanya mencapai 16 %. Hal ini menunjukkan bahwa dalam proses produksi pocket spring terdapat 84% sumber daya yang tidak terpakai. Berdasarkan hasil dan pengamatan secara langsung memang didapati kelonggaran waktu untuk pekerja. Hal ini terlihat dari jumlah kerja yang lebih terlampaui besar dari jumlah produk. PMA Unit dapat memaksimalkan kapasitas praktik untuk kedepannya. Sehingga dapat meningkatkan produktivitas dan profitabilitas perusahaan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penejelasan bab-bab diatas. Dan setelah melakukan interpretasi hasil dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Penentuan harga pokok produksi pocket spring dengan metode Time Driven Activity Based Costing melibatkan dua paramater produksi yakni kapasitas biaya per unit dan kapasitas

waktu yang digunakan. Dari kedua paramater tersebut penulis mampu menelusuri secara rinci apa saja yang menjadi biaya overhead.

2. Harga pokok produksi pocket spring yang dipakai oleh perusahaan mengalami undercosting dibebberapa aktivitas yakni biaya tenaga kerja langsung, administrasi, listrik, dan sewa gedung inventory. Dari persoalan ini perusahaan yang seharusnya mendapatkan laba lebih banyak harus mengalami penurunan. Harga pokok produksi yang di tetapkan perusahaan sebesar Rp. 202.458,00 sedangkan dengan menggunakan metode time driven activity based costing sebesar Rp. 206.780,00 Selisih laba pertahun sebesar Rp. 7.187.000,00. Hal ini diakibatkan juga karena perhitungan perusahaan tidak secara riil pada keadaan dilapangan dan terlalu mengesampingkan biaya mati. Biaya mati yang dimaksud adalah biaya yang suda menjadi kewajiban bayar bagi perusahaan yakni listrik, sewa gedung inventory, biaya administrasi, dan tenaga kerja langsung. Berbeda dengan metode time driven activity based costing yang memiliki tingkat ketepatan dan fleksibilitas yang tinggi dalam menentukan harga pokok produksi.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alishah, S dan H. Zohreh (2011). *Implementation Of Time-Driven Activity Based Costing System And Customer Profitability Analysis In The Hospitality Industry : Evidence From Iran*. **Economics and Finance Review** , Vo1. 18, Islamic Azad University, Iran.
- [2] Fahmi, I (2016). **Teori dan Teknik Pengambilan Keputusan Kualitatif dan Kuantitatif**. Rajagrafindo, Jakarta
- [3] Hardjuno, T. A., Y. Umardani, dan R. Huda. F (2014). *Pengaruh Proses Heat Treatment Annealing Terhadap Struktur Mikro Dan Nilai Kekerasan Pada Sambungan Las Thermite Baja Np-42*. **Jurnal TeknikMesin S-1**, Vol 2, No.2, Universitas Diponegoro, Semarang.
- [3] Kaplan, R. S. dan S. R. Anderson (2007). **Time-Driven Activity-Based Costing:A simple and More Powerful Path to Higher Profit**. Havard Business School Press,United States of America.
- [4] Keel, G., C. Savage, M. Rafiq, dan P. Mazzocato (2017).*Time-driven activity-based costing in health care: A systematic review of the literature*. **Health Policy**, Vol.121, Elsevier Irelan

- [5] Lestari, Y. R., Rachmadita, R. N., & Yuniati, R. N. (2018, January). Analisa Perhitungan Harga Pokok Produksi dalam Penentuan Harga Jual Screw Mixer dengan Metode Activity Based Costing (ABC) System (Studi Kasus pada PT. Srikaya Putra Mas). In *Conference on Design and Manufacture and Its Application* (Vol. 1, No. 1, pp. 367-372).

Perencanaan Jadwal Induk Produksi pada Produk *Nas Shoes* dengan Menggunakan Metode Perencanaan Agregat di Perusahaan *Furniture*

Anisya Kusumaningrum^{1*}, Renanda Nia Rachmadita², dan Rina Sandora³

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia¹

Program Studi Teknik Manajemen Bisnis, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.²

Program Studi Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.³

E-mail: Anisya.kusuma84@gmail.com^{1*}

Abstract – In furniture companies in general, which produces a variety of products including nasshoes, tenma, fukai, woodone . Nowadays the company is faced with the problem of congestion on a kind of product and experiencing deficiencies in other products because this furniture companies using production scheduling based on experience demand in the previous period. To solve this problem the company needs to establish a good Master Production Planning to balance production capacity with its own resources so as to achieve minimal cost. The purpose of this study is to determine the appropriate aggregate planning so as to obtain the optimal cost. In this study used Aggregate Planning Methods to achieve optimal production cost. First steps to make the master production schedule is calculation of forecasting using linear regression, moving average, and exponential smooting and then calculation of production cost with three agregat planning methods of transportation method, permanent labor method and trial and error method. From the calculation master production planning using aggregate planning method with three alternative that is transportation, permanent labor and last trial and error, so that obtained optimal result there is at alternative transportation with production cost as \$120.892,10 and the reduction cost as big as \$137,90 and total production equal to 2626 units for 6 month.

Keyword: Master Production Schedule, Nas Shoes, Aggregate Planning.

1. PENDAHULUAN

Perusahaan *Furniture* adalah salah satu perusahaan yang bergerak dibidang pengolahan kayu yang menghasilkan produk *furniture indoor*. Perusahaan *furniture* ini menerapkan sistem *make to stock* (MTS) sebagai strategi dalam menghadapi permintaan konsumen yang beragam. Perusahaan *Furniture* ini dalam menjalani aktivitas produksinya mengalami permintaan secara berkala pada setiap bulannya, dalam menghadapi hal tersebut perusahaan perlu melakukan perencanaan produksi dengan baik. Saat ini perusahaan dihadapkan dengan masalah penumpukan pada suatu jenis produk dan mengalami kekurangan pada produk lain sehingga mengakibatkan pembengkakan biaya produksi. Oleh karena itu apabila perusahaan tidak menyediakan perencanaan jadwal induk produksi, maka akan menyebabkan suatu kendala dalam produksi yang akan berpengaruh terhadap kinerja perusahaan yang berhubungan dengan kurangnya efektivitas tenaga kerja dan efisiensi jam kerja. Untuk mengatasi masalah tersebut perusahaan perlu menetapkan Perencanaan jadwal induk produksi yang baik sehingga dapat diketahui kapan dan berapa banyak produk yang harus diproduksi untuk dapat memenuhi permintaan

konsumen dengan tepat waktu dan jumlah yang sesuai.

Jadwal induk produksi merupakan gambaran atas periode perencanaan dari suatu permintaan, termasuk peramalan, backlog, rencana suplai/penawaran, persediaan akhir, serta kuantitas yang dijanjikan tersedia (Gasperz, 2005). Sedangkan menurut Baroto (2002), menyebutkan bahwa Jadwal induk produksi merupakan rencana induk yang akan dijadikan pedoman utama dalam rencana pengerjaan, kebijakan persediaan, kebijakan finansial, pembebanan tenaga kerja, penjadwalan mesin, dan kebijakan alternatif produksi.

Menurut penelitian sebelumnya oleh Rasbina, A, dkk (2013) mengenai perencanaan jadwal induk produksi pada PT XYZ, diperoleh bahwa penyusunan jadwal induk produksi, semua produk yang dipesan dapat diselesaikan sesuai dengan waktu yang telah ditetapkan serta tidak ditemukan keterlambatan penyelesaian order pada lantai produksi. Kemudian dilanjutkan oleh Trisna, A dan E.N. Harahap (2014) mengenai perencanaan pengendalian produksi air minum dalam kemasan diperoleh dalam menentukan permintaan pada periode berikutnya hanya melakukan peramalan permintaan berdasarkan data penjualan periode sebelumnya, sehingga perusahaan tidak dapat

memenuhi permintaan pelanggan dengan tepat waktu dan mengakibatkan penumpukan persediaan, biaya penyimpanan dan biaya persediaan yang tinggi.

Metode yang digunakan untuk merencanakan jadwal induk produksi adalah perencanaan agregat yang dapat menjadwalkan kebutuhan produksi produk *Nas Shoes*. Dengan menjadwalkan kebutuhan produksi, diharapkan dapat menghindari kekurangan produksi ketika terjadi permintaan yang tinggi atau sebaliknya dan dapat menyediakan produk sesuai dengan kebutuhan pada waktu yang tepat.

2. METODOLOGI

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah perencanaan agregat dengan langkah – langkah pengerjaan sebagai berikut :

1. Mengumpulkan data permintaan *Nas Shoes* pada periode januari 2013 sampai desember 2017.
2. Menentukan jenis pola permintaan *Nas Shoes*.
3. Melakukan perhitungan peramalan menggunakan metode peramalan yang telah terpilih yaitu perhitungan peramalan menggunakan metode regresi linier.

Regresi linier ialah suatu metode populer untuk berbagai macam permasalahan. Untuk peramalan deret waktu, formula regresi linier cocok digunakan jika pola data *trend*. Perhitungan dengan regresi linier didapatkan dengan meramalkan nilai penjualan untuk tahun yang akan datang (Baroto, 2002).

$$\hat{Y} = a + b.X \quad (1)$$

Melakukan perhitungan perencanaan agregat. Perencanaan agregat merupakan tahapan proses selanjutnya untuk menentukan jadwal induk produksi setelah peramalan (Nasution, 1999). Sedangkan menurut Baroto (2002), perencanaan agregat merupakan perencanaan yang dibuat untuk menentukan total permintaan dari seluruh elemen produksi dan jumlah tenaga kerja yang dibutuhkan.

4. Melakukan perhitungan perencanaan agregat metode transportasi.

$$\Sigma \text{tenagaKerja} = \frac{\text{Waktu Baku } X \text{ (} \Sigma \text{Kebutuhan Produksi} - \text{Inventory Awal)}}{\Sigma \text{Hari Kerja } X \text{ Jam Kerja}} \quad (2)$$

5. Melakukan perhitungan perencanaan agregat metode tenaga kerja tetap.

Kapasitas produksi waktu normal

$$= \frac{(\text{Tenaga kerja})t X (\text{Hari Kerja})t X (\text{Jam Kerja})t}{\text{Waktu Baku}} \quad (3)$$

Kapasitas produksi waktu lembur

$$\frac{(\text{Tenaga kerja})t X (\text{Hari Kerja})t X (\text{Jam Kerja lembur})t}{\text{Waktu Baku}} \quad (4)$$

6. Melakukan perhitungan perencanaan agregat metode *trial and error*.
7. Mengevaluasi biaya produksi dari tiga metode perencanaan agregat tersebut.
8. Menentukan jadwal induk produksi.
9. Melakukan analisa hasil.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengumpulan Data

Data yang diambil merupakan data permintaan masa lalu mulai dari bulan Januari 2013 sampai dengan bulan Desember 2017. Data yang dibutuhkan adalah data permintaan produk *Nas Shoes*, data kapasitas produksi per hari, data jumlah sisa produk yang disimpan, waktu produksi untuk satu unit produk, jam kerja per hari, hari kerja perbulan, jumlah jam lembur per hari, biaya penyimpanan, biaya produksi lembur, dan biaya produksi normal. Data jumlah permintaan *Nas Shoes* bulan Januari 2013 – Desember 2017 dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1: Data Permintaan Produk *Nas Shoes* bulan Januari 2013 – Desember 2017.

No	Tahun	Bulan											
		Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sep	Okt	Nov	Des
1	2013	237	242	242	246	240	236	243	246	240	240	269	280
2	2014	279	286	276	277	273	371	312	342	316	294	283	296
3	2015	313	285	300	340	355	349	353	336	349	336	382	305
4	2016	286	315	315	371	400	330	425	345	385	387	338	286
5	2017	339	397	376	387	377	398	312	406	396	435	339	397

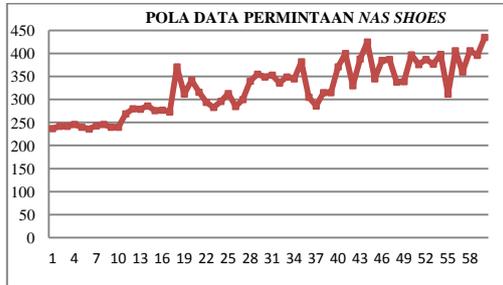
Selain data permintaan tersebut terdapat beberapa data lain yang dibutuhkan untuk pengolahan jadwal induk produksinya, data-data tersebut adalah sebagai berikut :

1. Persediaan Awal : 88 unit
2. Jam Kerja/Hari : 6,5 Jam
3. Maksimal Lembur : 2 Jam/hari dari
Jam Kerja/Hari \approx 25,5%
4. Biaya Produksi Normal : \$ 47,- per unit
5. Biaya Produksi Lembur : \$ 52,- per unit
6. Biaya Penyimpanan : \$ 0,5,- per unit
7. Waktu Baku : 3,4663 jam

3.2. Pengolahan Data

Pengolahan data yang pertama kali dilakukan yaitu mengenai peramalan serta perencanaan agregat dan penjadwalan induk produksi yang akan dilakukan.

3.2.1. Peramalan



Gambar 1. Pola Data Permintaan Produk Nas Shoes

Pada Gambar 1 menunjukkan bahwa permintaan produk Nas Shoes memiliki pola data *trend* sehingga untuk perhitungan peramalan dapat menggunakan metode peramalan metode regresi linier. Hasil perhitungan persamaan garis regresi linier dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2: Persamaan Garis Regresi Linier Untuk Nas Shoes

Produk	Nilai Intersep (a)	Nilai Slope (b)	Persamaan Garis Regresi
Nas Shoes	221,6186	3,3633	$\hat{Y} = 221,6186 + 3,3633 t$

Pada Tabel 2 menunjukkan nilai intersep (a) dan intersep (b) yang nantinya akan digunakan sebagai acuan dalam menentukan nilai peramalan untuk periode ke- 61 sampai periode ke-66. Hasil peramalan selama 6 periode dapat dilihat pada Tabel 3 sebagai berikut :

Tabel 3: Perhitungan Peramalan Bulan Ke – 61 Sampai Bulan Ke-66

Bulan	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun
Jumlah	427	430	434	437	440	444

3.2.2. Perencanaan Agregat

Penentuan perencanaan agregat menggunakan metode transportasi, metode tenaga kerja tetap, dan metode *trial and error*. Untuk melihat hasil peramalan permintaan produk Nas Shoes dapat dilihat pada Tabel 3. dan Tabel 4 merupakan hasil dari rencana kebutuhan produksi agregat.

Tabel 4: Perhitungan perkiraan Kebutuhan Produksi

Periode	Inventory Awal	Demand (Unit)	Safety Stock (Unit)	Kebutuhan Produksi	Inventory Akhir
(I)	(II)	(III)	(IV)	(V)	(VI)
			$[10\% * III]$	$[III + IV - II]$	$[II + V - III]$
61	88	427	43	382	43
62	43	430	43	430	43
63	43	433	43	433	43
64	43	437	44	437	44
65	44	440	44	440	44
66	44	443	44	443	44
TOTAL	305	2610	261	2566	261

3.2.2.1. Metode Transportasi

Metode transportasi merupakan metode yang digunakan untuk menentukan rencana pengalokasian produksi dengan biaya minimal. Metode transportasi digunakan untuk mengoptimalkan biaya pengangkutan (transportasi) komoditas tunggal dari berbagai daerah sumber menuju berbagai daerah tujuan. Tahap pertama perhitungan dengan metode transportasi yaitu dengan menghitung jumlah tenaga kerja yang digunakan yaitu sebesar 10 orang. Tabel 5 merupakan tabel yang menunjukkan proses pengalokasian kapasitas produksi menggunakan metode transportasi.

Tabel 5: Perhitungan Dengan Metode Transportasi

Sumber		Bulan						Ia	Supply
		1	2	3	4	5	6		
61	RT	47,0	47,5	48,0	48,5	49,0	49,5	431	
		382	49						
	OT	52,0	52,0	53,0	53,5	54,0	55,0		110
62	RT	47,0	47,5	48,0	48,5	49,0		450	
		381	69						
	OT	52,0	52,0	53,0	53,5	54,0			115
63	RT	47,0	47,5	48,0	48,5			488	
		364	124						
	OT	52,0	52,0	53,0	53,5				124
64	RT	47,0	47,5	48,0				469	
		313	156						
	OT	52,0	52,0	53,0					120
65	RT	47,0	47,5	48,0				413	
		284	129						
	OT	52,0							105
66	RT	47,0	47,5	48,0				61	
		314							
	OT	52,0							96
Demand	382	430	433	437	440	443	61		

Metode ini adalah metode pengalokasian yang memprioritaskan alokasi kapasitas produksi untuk memenuhi permintaan dengan ongkos produksi yang paling murah terlebih dahulu. Jumlah maksimal yang dapat dihasilkan dalam satu bulan dengan waktu produksi normal adalah sesuai dengan nilai Kapasitas produksi *regular time* yang telah diketahui. Jika kapasitas produksi secara normal masih belum cukup untuk memenuhi permintaan, maka dilakukan produksi secara lembur. Berdasarkan hasil pengalokasian tersebut, diperoleh ongkos produksi Nas Shoes seperti yang dirangkum dalam Tabel 6 sebagai berikut .

Tabel 6: Perincian Biaya Produksi Setelah Menggunakan Metode Transportasi

Periode	Kebutuhan Produksi (Unit)	Supply Capacity		Total Cost	
		Reguler Time (\$)	Over Time (\$)	Cost In Reguler (\$)	Cost In Overtime (\$)
61	382	\$47	\$52	\$17.954,00	-
62	430	\$47	\$52	\$20.234,50	-
63	433	\$47	\$52	\$20.385,50	-
64	437	\$47	\$52	\$20.601,00	-
65	440	\$47	\$52	\$20.758,00	-
66	443	\$47	\$52	\$20.885,50	-
TOTAL	2.565	\$282	\$312	\$120.818,50	-
				\$120.818,50	

Berdasarkan Tabel 6 dapat diketahui secara terperinci besarnya ongkos produksi yang dilakukan dalam waktu produksi normal dan waktu produksi lembur disesuaikan dengan jumlah produksi pada setiap periodenya sesuai dengan perhitungan perencanaan agregat menggunakan metode transportasi pada Tabel 5 sebelumnya.

3.2.2.2. Metode Tenaga Kerja Tetap

Data yang telah didapatkan pada tabel kebutuhan produksi agregat selanjutnya menentukan tenaga kerja yang dibutuhkan untuk dapat menyelesaikan produksi sesuai perencanaan agregat. Tabel 7 menjelaskan tentang Perhitungan tenaga kerja tetap dapat memberikan informasi dari periode, demand, Hari Kerja, Reguler Man Hour, Kapasitas Produksi Reguler Time, Over Man Hour, Kapasitas Produksi Overtime, Dan Inventory Akhir. Berikut merupakan tabel perhitungan tenaga kerja tetap.

Tabel 7: Data Perhitungan Metode Tenaga Kerja Tetap

Periode	Kebutuhan Produksi (Unit) (I)	Hari Kerja/Bln (II)	RMH Jam/Bln (III)	KPRT Unit/Bln (V)	KPOT Unit/Bln (VI)	Persediaan Akhir (Unit) (VII)
			(II*III*6,5)		(V*25,5%)	VI
1	382	23	1495	431	0	49
2	430	24	1560	450	0	20
3	433	26	1690	488	0	55
4	437	25	1625	469	0	32
5	440	22	1430	413	27	0
6	443	20	1300	375	68	0
Total	2.565	140	9.100	2.625	95	156

*RMH : *reguler man hour*
 *OMH: *Overtime Man Hour*
 *KPRT : *Kapasitas Produksi Reguler time*
 *KPOT: *Kapasitas Produksi Overtime*

Hasil perhitungan dari metode tenaga kerja tetap tersebut akan dibuat perhitungan biaya produksinya untuk mengetahui perubahan biaya produksi dengan menggunakan perencanaan agregat dapat dilihat pada Tabel 8 sebagai berikut :

Tabel 8: Perincian Biaya Produksi Setelah Menggunakan Tenaga Kerja Tetap

Biaya Produksi	Jumlah (Unit)	Harga Per Unit	Biaya
Waktu Normal	2.626	\$47,00	\$123.422,00
Waktu Lembur	95	\$52,00	\$4.940,00
Inventory Akhir	156	\$0,50	\$78,00
TOTAL			\$128.440,00

3.2.2.3. Metode Trial and Error

Perhitungan perencanaan agregat menggunakan metode *trial and error* ini memerlukan ketelitian dalam perhitungannya, karena sekali langkah awal salah, maka langkah selanjutnya akan salah begitu pun seterusnya. Pendekatan ini berbeda dengan metode riset operasi dimana prinsipnya adalah belum tentu biaya yang minim untuk seluruh horizon perencanaan akan meminimumkan biaya produksi per periode. Berikut ini adalah Tabel 9 yang menunjukkan perhitungan perencanaan agregat dengan metode *trial and error*.

Tabel 9: Perhitungan perencanaan agregat dengan metode *trial and error*.

Periode	Kebutuhan Produksi (Unit)	Kapasitas Produksi Reguler Time (unit)	Alternatif Produksi Yang Layak	
			Reguler Cr = \$ 47	Overtime Co = \$52
61	382	431	382(1)\$47 , 10(2)\$47,5 , 15(3)\$48 , 24(4)\$48,5	-
62	430	450	420(2)\$47 , 30(4)\$48	-
63	433	488	418(3)\$47 , 70(5)\$48	-
64	437	469	383(4)\$47 , 86(6)\$48	-
65	440	413	370(5) \$47 , 43(1a)\$48	-
66	443	375	357(6)\$47 , 17(1a)\$47,5	-
Ia=61				

Hasil perhitungan dari metode *trial and error* yang telah terpilih tersebut akan dibuat perhitungan biaya produksinya yang nantinya akan dibandingkan dengan metode transportasi serta metode tenaga kerja tetap. Berikut ini adalah perhitungan biaya produksi dari produk *Nas Shoes* menggunakan metode *trial and error* seperti yang telah dirangkum dalam Tabel 10 sebagai berikut.

Tabel 10: Perincian Biaya Produksi sesudah menggunakan *Trial And Error*

Periode	Kebutuhan Produksi (Unit)	Kapasitas Produksi Regular Time (unit)	Alternatif Produksi Yang Layak	Biaya
			Cr = \$ 47	
61	382	431	382(1)\$47 , 10(2)\$47,5 , 15(3)\$48, 24(4)\$48,5	\$20.313,00
62	430	450	420(2)\$47 , 30(4)\$48	\$21.180,00
63	433	488	418(3)\$47 , 70(5)\$48	\$23.006,00
64	438	469	383(4)\$47 , 86(6)\$48	\$22.129,00
65	440	413	370(5) \$47 , 43(1a)\$48	\$19.454,00
66	443	375	357(6)\$47 , 17(1a)\$47,5	\$17.586,50
	Ia=61		\$123.668,50	

4.2.4. Jadwal Induk Produksi

Berdasarkan hasil perhitungan perencanaan agregat diatas, maka dapat dilakukan pemilihan hasil perhitungan yang akan digunakan pada jadwal induk produksi berdasarkan pada biaya produksi yang terkecil dari produk *Nas Shoes*. Perbandingan hasil perhitungan perencanaan agregat dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11: Perbandingan Perencanaan Agregat Terbaik

Metode	Biaya produksi
Metode Transportasi	\$120.818,50
Metode Tenaga Kerja Tetap	\$128.440,00
Metode <i>Trial and error</i>	\$123.668,50

Berdasarkan metode yang terpilih adalah metode transportasi karena memiliki biaya produksi yang paling rendah diantara metode tenaga kerja tetap dan metode *trial and error*, sehingga penentuan perencanaan jadwal induk produksi berdasarkan kebutuhan produksi dari metode transportasi . Berikut adalah jadwal induk produksi *Nas Shoes* dari periode Januari sampai Juni 2018 ditunjukkan dalam Tabel 12 sebagai berikut:

Tabel 12: Jadwal Induk Produk *Nas Shoes* periode Januari - Juni 2018

Tahun	2018					
	61	62	63	64	65	66
<i>Forecast Demand</i>	427	430	433	437	440	443
<i>Production Needed</i>	382	430	433	437	440	443
Kapasitas Produksi Regular Time	431	450	488	469	413	375
<i>Master Production Schedule</i>	382	381	364	313	284	314
<i>Ending Inventory</i>	49	69	124	156	129	61

Pada Tabel 12 Perencanaan agregat yang telah didapat dengan menggunakan metode transportasi merupakan masukan bagi perencanaan jadwal induk produksi. Jadwal induk produksi produk *Nas Shoes* pada bulan Januari 2018 sebanyak 431 unit sesuai dengan kapasitas produksi waktu normal dan menyisakan produk yang disimpan untuk

memenuhi permintaan pada bulan selanjutnya yaitu sebesar 49 unit karena kebutuhan produksi pada bulan tersebut hanya 382 unit.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari perencanaan jadwal induk produksi pada produk *Nas shoes* dengan menggunakan metode perencanaan agregat adalah sebagai berikut:

1. Perencanaan jadwal induk produksi dimulai dengan perhitungan peramalan permintaan produk *Nas Shoes* menggunakan metode regresi linier, Setelah peramalan selanjutnya perhitungan perencanaan agregat dengan menggunakan tiga metode yaitu metode transportasi, metode tenaga kerja tetap, dan metode *trial and error*, setelah ditemukannya metode paling optimal maka langkah selanjutnya yaitu membuat Tabel jadwal induk produksi.
2. Dari hasil perhitungan jadwal induk produksi menggunakan metode perencanaan agregat dengan tiga alternatif yaitu transportasi, tenaga kerja tetap dan *trial and error* diperoleh hasil yang lebih optimal terdapat pada alternatif metode transportasi dengan biaya produksi sebesar \$120.892,10 total produksi sebesar 2626 unit selama 6 bulan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Baroto, T. (2002) . **Perencanaan dan Pengendalian Produksi**. PT Ghalia Indonesia. Jakarta.
- [2] Gaspersz, V. (2005). **Production Planning And Inventory Control Berdasarkan Pendekatan Sistem Terintegrasi MRP II Dan JIT Menuju Manufaturing 21**. PT. Gramedia Pusaka Utama , Jakarta.
- [3] Nasution, A.H. (1999). **Perencanaan dan Pengendalian Produksi**. PT Candimas Metropole. Jakarta.
- [4] Rasbina, A, dkk.(2013). **Perencanaan Jadwal Induk Produksi Pada PT XYZ**. **E-Jurnal Teknik Industri FT USU**, Vol 2 No.1, Hal 54-57.
- [5] Solikhah, F. I., Rachmadita, R. N., & Maharani, A. (2018, January). Optimasi Penjadwalan Mesin Produksi Flowshop dengan Metode Campbell Dudek and Smith (CDS) dan Nawaz Encore Ham (NEH) pada Departemen Produksi Massal. In Conference on Design and Manufacture and Its Application (Vol. 1, No. 1, pp. 414-419).

- [6] Trisna, A. dan E.N. Harahap.(2014).
Perencanaan Pengendalian Produksi Air Minum Dalam Kemasan Menggunakan Metode Aggregate Planning. **Malikussaleh Industrial Engginering Jurnal** ,Vol 1 No. ISSN 2302 934X.

Perhitungan Kapasitas Produksi dalam Penyusunan *Master Production Schedule* pada Divisi *Manufacturing Mould Shop*

Lutvi Ade Septian^{1*}, Anda Iviana Juniani², Dhika Aditya Purnomo³

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.^{1,2,3}
E-mail: lutviade45@gmail.com^{1*}

Abstract – *Manufacturing Division applies make to order and jobshop strategies. Some mould that produced was late in completion. One of the factor that make it late is the arranging of Master Production Schedule (MPS) without considering to the calculation of production capacity. Meanwhile the calculation of production capacity can doing validation to MPS. So it necessary to calculate production capacity as reference to arrange MPS. This research used Rough Cut Capacity Planning (RCCP) method to calculate production capacity. The arranging of MPS using transportation method by considering the result of RCCP analysis. Production scheduling did in one of the mould using Shortest Processing Time (SPT) rules with the help of WinQSB software. The results of this research are the calculation of available capacity and needed capacity. The result of RCCP analysis are 11 mould can fulfill the target and 8 mould can not fulfill the target. Improvement of MPS can solve the problem of lacking capacity by determining regular time and overtime. Total cost for machining process using transportation method is Rp 1.426.192.100,- while the company cost is Rp1.484.692.739,-. Production scheduling resulted the faster completion time than the company production schedule. The production scheduling of the company for 29 days while using software for 22 days. The results of all calculation and data processing can be used as reference by Manufacturing Division on the next production to minimize the lateness.*

Keywords: *Master Production Schedule, Production Capacity, Production Scheduling, Rough Cut Capacity Planning.*

1. PENDAHULUAN

Pada Perusahaan Manufaktur Plastik terdapat beberapa departemen salah satunya yaitu Departemen *Mould Shop*. Departemen inimerupakan departemen khusus yang memproduksi *mould* (cetakan). Proses permesinan pada Departemen *Mould Shop* dikerjakan oleh Divisi *Manufacturing*. Divisi ini melakukan produksi berdasarkan *job* yang datang (*make to order*) dan model produksinya adalah *jobshop*. Beberapa *mould* yang diproduksi di Divisi *Manufacturing* mengalami keterlambatan penyelesaian. Dimana, salah satu faktor terjadinya keterlambatan ini adalah adanya pembuatan jadwal induk produksi yang disusun tanpa mempertimbangkan kapasitas produksi di Divisi *Manufacturing*. Sedangkan, perhitungan kapasitas produksi bisa dijadikan sebagai uji kelayakan dari MPS yang sudah dibuat. Keterlambatan dalam penyelesaian salah satu *mould* akan berdampak juga pada pengerjaan *mould* selanjutnya, dan juga akan berdampak terhadap kepuasan dan kepercayaan *customer*. Sehingga, perusahaan harus tahu kapasitas sumber daya yang dimilikinya untuk menentukan waktu produksi yang tepat. Serta, penerimaan order yang mempertimbangkan kapasitas produksi yang tersedia sehingga waktu kesepakatan dengan

konsumen bisa diatur agar tidak terjadi keterlambatan.

Langkah yang dilakukan dalam usaha untuk memperbaiki masalah yang ada adalah menghitung kapasitas produksi di Divisi *Manufacturing*. Metode yang digunakan yaitu *Rough Cut Capacity Planning (RCCP)* dengan pendekatan *bill of labor*. Metode ini digunakan karena sesuai dengan karakter Divisi *Manufacturing* yang memiliki komponen produk yang banyak dan tingkat variasi yang tinggi. Metode *RCCP* digunakan untuk menghitung *available capacity* dan juga *needed capacity* mesin. Penelitian ini juga akan menganalisis kapasitas produksi pada setiap *workcenter* yang digunakan untuk membuat setiap *mould* di Divisi *Manufacturing* selama tahun 2017 sehingga, dapat digunakan sebagai acuan untuk menyusun *Master Production Schedule (MPS)* dengan menggunakan metode transportasi. Selain itu akan dilakukan penjadwalan produksi pada salah satu *mould* agar bisa digunakan perusahaan sebagai acuan. Sehingga, dalam melakukan proses pengerjaan terdapat jadwal produksi yang terencana dan mengurangi terjadinya keterlambatan dalam penyelesaian *mould*.

2. METODOLOGI

Secara garis besar penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

- Menghitung *Available Capacity* (kapasitas yang tersedia)(Gaspersz, 2005).
 $Available\ Capacity = waktu\ yang\ tersedia\ per\ periode\ waktu \times\ efisiensi \times\ utilisasi.$ (1)
- Menghitung *Needed Capacity* (kapasitas yang dibutuhkan).

Pada dasarnya terdapat empat langkah yang diperlukan untuk melaksanakan *RCCP*, yaitu:

- Memperoleh informasi tentang rencana produksi dari MPS.
 Informasi tentang rencana produksi berupa jumlah dan jenis produk yang diproduksi dalam periode waktu tertentu.
- Memperoleh informasi tentang struktur produk dan waktutunggu.
- Menentukan *bill of resources*.
 Menurut Hartanto, dkk (2013) perhitungan untuk kapasitas yang dibutuhkan dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

$$CapacityRequirement = \sum_{k=1}^n a_k b_k \quad (2)$$

Dimana :

ak = Waktu operasi pengerjaan produk k pada stasiun kerja i.

bk = Jumlah produk k yang dijadwalkan pada periode j.

- Menghitung kebutuhan sumber daya spesifik dan membuat laporan *RCCP*.
 Dari laporan *RCCP* yang dibuat akan diketahui kelebihan dan kekurangan kapasitas dari setiap *workcenter*.

- Menganalisis hasil *RCCP*.
 Analisis *Rough Cut Capacity Planning* (*RCCP*) dilakukan untuk menentukan layak atau tidaknya kapasitas produksi pada setiap *workcenter* berdasarkan target penyelesaian setiap *mould*. Untuk mendapatkan keputusan layak maka nilai *available capacity* harus lebih besar atau sama dengan nilai *needed capacity*.

- Menyusun *Master production Schedule* (MPS).
 Agar metode ini dapat diaplikasikan, kita harus memformulasikan persoalan perencanaan, sehingga (Nasution, 1999) :
 - Kapasitas tersedia (*supply*) dapat dinyatakan dalam unit yang sama dengan kebutuhan (*demand*).
 - Total kapasitas untuk horizon waktu perencanaan harus sama dengan total peramalan kebutuhan, apabila tidak sama, kita dapat menggunakan variabel bayangan (*dummy*) sebanyak jumlah selisih tersebut dengan *unit cost* = 0.
 - Semua hubungan biaya merupakan hubungan linear.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Menghitung *Available Capacity* (Kapasitas yang Tersedia)

Tabel 1: *Available Capacity Mould* IM-Cap Duppon Zorvec 100 ml

No	WC	Jumlah Mesin	Jam/Shift	Shift/Hari	Hari Kerja Efektif	Efisiensi	Utilisasi	<i>Available Capacity</i> (jam)
1	1	2	8	1	18,75	85 %	80 %	204
2	2	3	8	1	18,75	85 %	80 %	306
3	3	1	8	1	18,75	85 %	80 %	102
4	4	2	8	1	18,75	85 %	80 %	204
5	5	1	8	1	18,75	85 %	80 %	102
6	6	1	8	1	18,75	85 %	80 %	102
7	7	3	8	1	18,75	85 %	80 %	306
8	8	4	8	1	18,75	85 %	80 %	408
9	9	1	8	1	18,75	85 %	80 %	102
10	10	3	8	1	18,75	85 %	80 %	306
11	11	1	8	1	18,75	85 %	80 %	102
12	12	1	8	1	18,75	85 %	80 %	102

Perhitungan *available capacity* atau kapasitas yang tersedia pada *mould* lainnya juga menggunakan cara yang sama seperti pada Tabel 1. Dari perhitungan seluruh *available capacity* pada masing masing *mould*, maka dapat diperoleh hasil perhitungan *available capacity* pada semua *mould* di setiap *workcenter* pada Tabel 2 berikut ini :

Tabel 2a: Hasil *Available Capacity* pada semua *mould*

No	Nama Mould	<i>Available Capacity</i> setiap <i>Workcenter</i> (jam)					
		1	2	3	4	5	6
1	IM-Cap Duppont Zorvec 100 ml	204	306	102	204	102	102
2	IM-Insert Duppont Zorvec 100 ml	204	306	102	204	102	102
3	BM-Hulk 700 ml bt-A	65,28	97,92	32,64	65,28	32,64	32,64
4	BM-Hulk 700 ml bt-B	65,28	97,92	32,64	65,28	32,64	32,64
5	IM-Vitamin IPI Pot	106,08	159,12	53,04	106,08	53,04	53,04

Tabel 2b: Hasil *Available Capacity* pada semua *mould*

No	Nama Mould	<i>Available Capacity</i> setiap <i>Workcenter</i> (jam)					
		7	8	9	10	11	12
1	IM-Cap Duppont Zorvec 100 ml	306	408	102	306	102	102
2	IM-Insert Duppont Zorvec 100 ml	306	408	102	306	102	102
3	BM-Hulk 700 ml bt-A	97,92	130,56	32,64	97,92	32,64	32,64
4	BM-Hulk 700 ml bt-B	97,92	130,56	32,64	97,92	32,64	32,64
5	IM-Vitamin IPI Pot	159,12	212,16	53,04	159,12	53,04	53,04

Menghitung *Needed Capacity* (Kapasitas yang Dibutuhkan)

Perhitungan *needed capacity* atau kapasitas yang dibutuhkan didapatkan dari penjumlahan total waktu pengerjaan semua komponen penyusun dari masing-masing *demand* (masing-masing *mould*). Total waktu pengerjaan diperoleh dari data waktu proses pengerjaan yang telah ditentukan oleh perusahaan.

Tabel 3a : Hasil *Needed Capacity* pada semua *mould*

No.	Nama <i>Mould</i>	<i>Needed Capacity</i> setiap <i>Workcenter</i> (jam)					
		1	2	3	4	5	6
1	IM-Cap Duppont Zorvec 100 ml	130	34	12	0	32	112
2	IM-Insert Duppont Zorvec 100 ml	116,5	162	156	0	59,5	148
3	BM-Hulk 700 ml bt-A	2	70	0	58,25	17,25	4,25
4	BM-Hulk 700 ml bt-B	2	55	0	64,25	14,75	4,75
5	IM-Vitamin IPI Pot	170	167	60	0	32	48

Tabel 3b: Hasil *Needed Capacity* pada semua *mould*

No.	Nama <i>Mould</i>	<i>Needed Capacity</i> setiap <i>Workcenter</i> (jam)					
		7	8	9	10	11	12
1	IM-Cap Duppont Zorvec 100 ml	206	97,70	11	79,80	50	36
2	IM-Insert Duppont Zorvec 100 ml	184	420,2	11	173,25	110	20
3	BM-Hulk 700 ml bt-A	30	102,5	27	27,5	11,75	31,25
4	BM-Hulk 700 ml bt-B	27,5	99,5	24	25	6,25	30,25
5	IM-Vitamin IPI Pot	173,8	202,9	15,5	142,6	46	164

Analisis RCCP

Analisis RCCP dilakukan dengan cara mengurangi *available capacity* dengan *needed capacity*. Jika hasilnya menunjukkan nilai positif maka terjadi kelebihan kapasitas. Kelebihan kapasitas berarti menunjukkan kapasitas yang tidak digunakan. Sedangkan jika hasilnya menunjukkan nilai negatif maka terjadi kekurangan kapasitas. Jika pada salah satu *workcenter* terjadi kekurangan kapasitas maka dapat dinyatakan suatu *mould* belum bisa memenuhi target. Contoh Analisis yang dilakukan pada *mould1* dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4: Keputusan *Mould* IM-Cap Duppon Zorvec 100 ml

No.	<i>Workcenter</i>	<i>Available Capacity</i> (jam)	<i>Needed Capacity</i> (jam)	Kelebihan/ Kekurangan Kapasitas (jam)	Keputusan
1	1	204	130	74	Layak
2	2	306	34	272	Layak
3	3	102	12	90	Layak
4	4	204	0	204	Layak
5	5	102	32	70	Layak
6	6	102	112	-10	Tidak Layak
7	7	306	206	100	Layak
8	8	408	97,7	310,3	Layak
9	9	102	11	91	Layak
10	10	306	79,8	226,2	Layak
11	11	102	50	52	Layak
12	12	102	36	66	Layak

Berdasarkan Tabel 4 dapat diketahui bahwa dalam pembuatan *Mould* IM-Cap Duppon Zorvec 100 ml terjadi kekurangan kapasitas pada *workcenter* 6 (mesin *heat treatment*) sebesar 10 jam. Sedangkan untuk 11 *workcenter* yang lainnya masih memenuhi kapasitas yang tersedia. Sehingga dalam pembuatan *Mould* IM-Cap Duppon Zorvec 100 ml belum bisa memenuhi target penyelesaian yang telah ditentukan. Sedangkan untuk analisis pada *mould* yang lainnya juga menggunakan cara yang sama. Analisis RCCP menghasilkan *mould* 1,2, dan 5 belum bisa memenuhi target penyelesaian sedangkan *mould* 3 dan 4 memenuhi target penyelesaian.

Menyusun Master Production Schedule

Penyusunan MPS dilakukan dengan menggunakan metode transportasi. Contoh tabel transportasi pada *workcenter* 1 dapat dilihat pada Tabel 5. Sedangkan untuk *workcenter* 2 sampai dengan *workcenter* 12 pengerjaannya juga menggunakan tabel yang sama.

Tabel 5: Metode Transportasi pada *Workcenter*1

Periode <i>Mould</i> Ke-		1	2	3	4	5	Dummy	Kapasitas
		0i	1i	2i	3i	4i		
1	RT	130					74	204
	OT						76,5	76,5
2	RT		116,5				87,5	204
	OT						76,5	76,5
3	RT			2		0,64	62,64	65,28
	OT						24,48	24,48
4	RT				2	63,28	0	65,28
	OT						24,48	24,48
5	RT					106,08	0	106,08
	OT						39,78	39,78
Total Demand		130	116,5	2	2	170	465,88	886,38

Pengerjaan dengan metode transportasi digunakan aturan *least cost method* (metode ongkos terkecil), dimana *demand* harus terpenuhi, sebaliknya kapasitas tidak harus terpenuhi. Prioritas yang harus dipenuhi adalah *Reguler Time*, jika *Reguler Time* masih dirasa kurang maka perlu digunakannya *Over Time* dengan dilihat ongkos yang paling kecil. Hasil dari pengerjaan dengan menggunakan metode transportasi yang dinyatakan sebagai *Master Production Schedule* (MPS) dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6a : Perbaikan *Master Production Schedule*

No.	Mould	Jmlh Cav.	Target Penyelesaian		Rencana Pengerjaan
			Start	Finish	
1.	IM-Cap Duppont Zorvec 100 ml	4	23-01-2017	24-03-2017	<p>Workcenter 1=130 jam dari RT-periode mould ke-1 Workcenter 2=34 jam dari RT-periode mould ke-1 Workcenter 3=12 jam dari RT-periode mould ke-1 Workcenter 4=0 jam Workcenter 5=32 jam dari RT-periode mould ke-1 Workcenter 6=102 jam dari RT-periode mould ke-1 Workcenter 6=10 jam dari OT-periode mould ke-1 Workcenter 7=206 jam dari RT-periode mould ke-1 Workcenter 8=97,70 jam dari RT-periode mould ke-1 Workcenter 9=11 jam dari RT-periode mould ke-1 Workcenter10=79,80 jam dari RT-periode mould ke-1 Workcenter11=50 jam dari RT-periode mould ke-1 Workcenter12=36 jam dari RT-periode mould ke-1</p>
2.	IM-Insert Duppont Zorvec 100 ml	4	23-01-2017	24-03-2017	<p>Workcenter 1=116,5 jam dari RT-periode mould ke-2 Workcenter 2=162 jam dari RT-periode mould ke-2 Workcenter 3=102 jam dari RT-periode mould ke-2 Workcenter 3=54 jam dari RT-periode mould ke-1 Workcenter 4=0 jam Workcenter 5=59,5 jam dari RT-periode mould ke-2 Workcenter 6=102 jam dari RT-periode mould ke-2 Workcenter 6=38,25 jam dari OT-periode mould ke-2 Workcenter 6=7,75 jam dari OT-periode mould ke-1 Workcenter 7=184 jam dari RT-periode mould ke-2 Workcenter 8=408 jam dari RT-periode mould ke-2 Workcenter 8=12,2 jam dari RT-periode mould ke-1 Workcenter 9=11 jam dari RT-periode mould ke-2 Workcenter10=173,25 jam dari RT-periode mould ke-2 Workcenter11=102 jam dari RT-periode mould ke-2 Workcenter11=8 jam dari RT-periode mould ke-1 Workcenter12=20 jam dari RT-periode mould ke-2</p>

Tabel 6b: Perbaikan *Master Production Schedule*(lanjutan)

No.	Mould	Jmlh Cav.	Target Penyelesaian		Rencana Pengerjaan
			Start	Finish	
3.	BM-Hulk 700 ml bt-A	2	06-03-2017	07-04-2017	<p>Workcenter 1=2 jam dari RT-periode mould ke-3 Workcenter 2=70 jam dari RT-periode mould ke-3 Workcenter 3=0 jam Workcenter 4=58,25 jam dari RT-periode mould ke-3 Workcenter 5=17,25 jam dari RT-periode mould ke-3 Workcenter 6=4,25 jam dari RT-periode mould ke-3 Workcenter 7=30 jam dari RT-periode mould ke-3 Workcenter 8=102,5 jam dari RT-periode mould ke-3 Workcenter 9=27 jam dari RT-periode mould ke-3 Workcenter10=27,5 jam dari RT-periode mould ke-3 Workcenter11=11,75 jam dari RT-periode mould ke-3 Workcenter12=31,25 jam dari RT-periode mould ke-3</p>
4.	BM-Hulk 700 ml bt-B	2	06-03-2017	07-04-2017	<p>Workcenter 1=2 jam dari RT-periode mould ke-4 Workcenter 2=55 jam dari RT-periode mould ke-4 Workcenter 3=0 jam Workcenter 4=64,25 jam dari RT-periode mould ke-4 Workcenter 5=14,75 jam dari RT-periode mould ke-4 Workcenter 6=4,75 jam dari RT-periode mould ke-4 Workcenter 7=27,5 jam dari RT-periode mould ke-4 Workcenter 8=99,5 jam dari RT-periode mould ke-4 Workcenter 9=24 jam dari RT-periode mould ke-4 Workcenter10=25 jam dari RT-periode mould ke-4 Workcenter11=6,25 jam dari RT-periode mould ke-4 Workcenter12=30,25 jam dari RT-periode mould ke-4</p>

Tabel 6c: Perbaikan *Master Production Schedule*(lanjutan)

No.	Mould	Jmlh Cav.	Target Penyelesaian		Rencana Pengerjaan
			Start	Finish	
5.	IM-Vitamin IPI Pot	16	27-03-2017	19-05-2017	<p>Workcenter 1=106,08 jam dari RT-periode mould ke-5</p> <p>Workcenter 1=63,28 jam dari RT-periode mould ke-4</p> <p>Workcenter 1=0,64 jam dari RT-periode mould ke-3</p> <p>Workcenter 2=159,12 jam dari RT-periode mould ke-5</p> <p>Workcenter 2=7,88 jam dari RT-periode mould ke-4</p> <p>Workcenter 3=53,04 jam dari RT-periode mould ke-5</p> <p>Workcenter 3=6,96 jam dari RT-periode mould ke-4</p> <p>Workcenter 4=0 jam</p> <p>Workcenter 5=32 jam dari RT-periode mould ke-5</p> <p>Workcenter 6=48 jam dari RT-periode mould ke-5</p> <p>Workcenter 7=159,12 jam dari RT-periode mould ke-5</p> <p>Workcenter 7=14,68 jam dari RT-periode mould ke-4</p> <p>Workcenter 8=202,9 jam dari RT-periode mould ke-5</p> <p>Workcenter 9=15,5 jam dari RT-periode mould ke-5</p> <p>Workcenter10=142,6 jam dari RT-periode mould ke-5</p> <p>Workcenter11=46 jam dari RT-periode mould ke-5</p> <p>Workcenter12=53,04 jam dari RT-periode mould ke-5</p> <p>Workcenter12=2,39 jam dari RT-periode mould ke-4</p> <p>Workcenter12=1,39 jam dari RT-periode mould ke-3</p> <p>Workcenter12=82 jam dari RT-periode mould ke-2</p> <p>Workcenter12=25,18 jam dari RT-periode mould ke-1</p>

4. KESIMPULAN

Berdasarkan pengumpulan data, proses pengolahan, dan analisis data dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Perhitungan kapasitas produksi menghasilkan *available capacity* dan *needed capacity*. Dalam perhitungan kapasitas dengan metode RCCP mempertimbangkan utilisasi dan juga efisiensi pada Divisi *Manufacturing* sehingga kapasitas yang dihitung bisa lebih sesuai dengan keadaan yang ada di lapangan.
2. Hasil analisis dengan RCCP berisi keputusan layak tidaknya kapasitas yang ada pada setiap *workcenter* untuk memproduksi suatu *mould*. Sehingga, dapat dikatakan bahwa *Rough Cut Capacity Planning* (RCCP) melakukan validasi terhadap *Master Production Schedule* (MPS).

3. Penyusunan *Master Production Schedule* (MPS) dilakukan untuk memperbaiki MPS perusahaan sesuai hasil analisis penerapan metode RCCP. Dimana hasil penyusunan MPS ini bisa menyelesaikan masalah yang semula mengalami kekurangan kapasitas dengan cara sudah ditentukan berapa lama jam reguler dan jam lembur yang dibutuhkan untuk memproduksi suatu *mould* pada setiap *workcenternya*.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Gaspersz, V. (2005). **Production Planning and Inventory Control Berdasarkan Pendekatan Sistem Terintegrasi MRP II dan JIT Menuju Manufaktur 21**. PT. Gramedia Pusaka Utama, Jakarta.
- [2] Hartanto, D., D.Wahyuni dan I.Siregar (2013). *Perencanaan Produksi dan Kapasitas Jangka Menengah pada PT.X*. **Jurnal Teknik Industri FT USU**, Vol.3, No.2, pp.13-17, Universitas Sumatra Utara, Medan.
- [3] Nasution, A.H. (1999). **Perencanaan & Pengendalian Produksi**. PT.Candimas Metropole, Jakarta.

Redesign Tata Letak Fasilitas Produksi Gear Sebagai Upaya Pengendalian *Over Transportation*

Inggit Novita Putri^{1*}, Renanda Nia Rachmadita², Dhika Aditya Purnomo³

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.^{1,3}

*Program Studi Teknik Manajemen Bisnis, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.*²
E-mail: inggitnp@gmail.com^{1*}

Abstract – PT. Apie Indo Karunia is one of the companies engaged in the foundry located in Sidoarjo. The company itself is a company that works by order / orderan from the consumer (Make to Order). Some of the products produced are gears, industrial machinery parts, and other steel construction. Products that have serrations are used as research material because of the high level of product order quantity. In this case the problem is the existence of flow back and forth process, so that the emergence of *overtransportation* that can increase the cost of material handling and also affect the waste of time just for the process of removal. The cause of this alternating flow is because the layout of the machines is irregular (not in accordance with the process of making the gear and does not consider the type of production process of the company in the type of jobshop), where the engine layout should be grouped according to function. In addition, from the irregular arrangement of machines causes a pile of material / product (no special space for products that are queued up or processed). To handle the problem, used Methodatic System Layout Planning (SLP) developed by Richard Muther. The first step is to input data, then make Flow Process Chart, distance, time and speed of material transportation, make Activity Relationship Chart, and Activity Relationship Diagram. Result of research of layout design result 3 layout alternative then chosen one layout proposal selected with nilai cost and distance of best move with total distance material handling 5117,17 m / month and material handling cost every month equal to Rp 1.479.724,- So it can increase the efficiency of material handling cost (OMH) by 54%.

Keywords: *Factory Layout, Layout, Material Handling, OMH, SLP*

1. PENDAHULUAN

Tata letak pabrik dapat didefinisikan sebagai tata cara pengaturan fasilitas pabrik dengan memanfaatkan luas area secara optimal guna menunjang kelancaran proses produksi (Wignjosoebroto, S., 2003: 67) Tata letak yang baik selalu melibatkan tata cara pemindahan bahan di pabrik, sehingga kemudian disebut tata letak pabrik dan pemindahan bahan. Perencanaan fasilitas merupakan suatu susunan fasilitas-fasilitas fisik yang meliputi atas perlengkapan, tanah, bangunan dan sarana lain yang harus mempunyai tujuan mengoptimalkan hubungan antara petugas pelaksana, aliran barang, aliran informasi dan tata cara yang diperlukan untuk mencapai tujuan secara selektif, efisien, ekonomis dan aman (Apple, J.M., 1990: 2).

PT. Apie Indo Karunia mempunyai produk roda gigi, komponen mesin industri, dan konstruksi baja lainnya. Dari berbagai jenis produk yang dihasilkan, *gear* dipilih karena tingkat produksi yang tinggi. Saat memproduksi mempunyai permasalahan, yaitu adanya *over transportation* dalam aliran proses produksinya. Salah satu penyebab hal ini dikarekan aliran proses yang belum bisa mengikuti ketentuan yang

seharusnya atau adanya pola aliran yang bolak-balik, dimana aliran proses produksi seharusnya berurutan dari A-B-C-D-E. Sementara apabila dilihat dari segi tata letak awal disana terlihat masih tidak teratur, yang seharusnya letak dari mesin-mesin yang ada dikelompokkan berdasarkan jenis / fungsi dari mesin tersebut. Hal ini karena PT. Apie Indo Karunia merupakan perusahaan dengan sistem produksi *Job-Shop*. Permasalahan lainnya yaitu adanya penumpukan barang, yang disebabkan karena adanya tidak adanya area untuk kegiatan menunggu untuk proses (antri mesin) dan area khusus dimana digunakan sebagai tempat produk yang telah diproses / area inspeksi.

Salah satu cara yang diterapkan disana yaitu dengan melanjutkan proses dengan pola aliran yang acak (tergantung mesin mana yang kosong, maka akan didahulukan proses tersebut). Dari pola aliran yang seperti ini maka akan sering terjadinya perpindahan barang dibandingkan dengan proses apabila alirannya beruntun/ teratur. Akan tetapi, banyaknya perpindahan ini nantinya akan mempengaruhi biaya dari *material handling* dan waktu. Sementara penumpukan barang yang ada karena adanya proses menunggu, dan tidak

adanya ruang / area khusus yang ditetapkan untuk meletakkan barang ataupun alat kerja tetap tidak bias diminimalisir. Apabila penumpukan ini terus terjadi akan menyulitkan pekerja untuk melakukan pergerakan, pengecekan produk, dan membedakan produk mana yang sudah proses naik mesin maupun yang belum.

2. METODOLOGI

2.1. Metode Penelitian

Untuk menangani hal tersebut maka, tahapan-tahapan proses perancangan tata letak digunakan Metode *Systematic Layout Planning* (SLP) yang dikembangkan oleh Richard Muther.

2.2. Pengumpulan Data

2.2.1. Produk dan Routing

Produk yang akan diteliti pada penelitian ini adalah roda gigi (*gear*), karena jumlah produksi benda ini terbilang tinggi dan sering diproduksi. Jenis *gear* yang dimaksud yaitu *pinion gear* 30 pcs, *ring gear* 26 Pcs dan *worm gear* 30 Pcs. Berikut ini merupakan dari urutan *machining process* dari produk *gear* :

Pinion gear dan *worm gear*: Bubut -> Stik -> Hobbing -> Bor -> Area ukur akhir -> Pemolesan
Ring gear: Bubut -> Hobbing -> Bor -> Area ukur akhir -> Pemolesan

2.2.2. Services dan Timing

Mesin yang terdapat pada bengkel di PT. Api Indo Karunia adalah mesin milling, mesin bubut, mesin stik, mesin hobbing, mesin bor, mesin planner, mesin HZ. Tetapi yang digunakan untuk proses pembuatan *gear* hanya mesin bubut, mesin stik, mesin hobbing, mesin bor dan mesin gerenda / *polesh*. Jam kerja pada PT. Apie Indo Karunia adalah 6 hari kerja dalam seminggu dengan asumsi satu hari 21 jam pengoperasian mesin adahari senin-jumat dan 5 jam pada hari sabtu. Jadi dalam sebulan 440 jam untuk produksi (terhitung 1 bulan).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Flow Process Chart

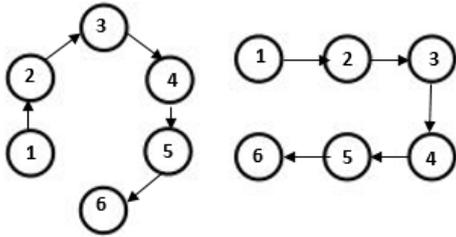
Dari data – data yang didapat dari routing table process sequence diatas maka dapat dibuat dibuat flow process chart sebagai berikut ini :

Tabel 1: *Flow Process Chart*

No	Lambang	Detail Aktivitas	Pinion	Ring	Worm
1.		Pemindahan dari departemen pengecoran menuju mesin bubut.			
2.		Proses pembubutan sampai pada ukuran yang ditentukan (diameter dan tebalnya)			
3.		Pengecekan ukuran diameter dan tebal dari gear			
4.		Pemindahan dari mesin bubut menuju mesin stik			
5.		Menunggu proses di mesin stik			
6.		Proses pembuatan keyway (pengunci as) pada gear .			
7.		Pemindahan dari mesin stik menuju mesin hobbing			
8.		Menunggu proses di mesin hobbing			
9.		Proses pembuatangerigi-gerigi pada gear .			
10.		Pemindahan dari mesin hobbing menuju mesin bor			
11.		Proses pembuatan lubang-lubang			
12.		Pemindahan dari mesin bor menuju area penyimpanan sementara			
13.		Proses pengecekan ulang ukuran dari produk			
14.		Proses gerenda / polesh untuk memperhalus			

3.2. Pola Aliran

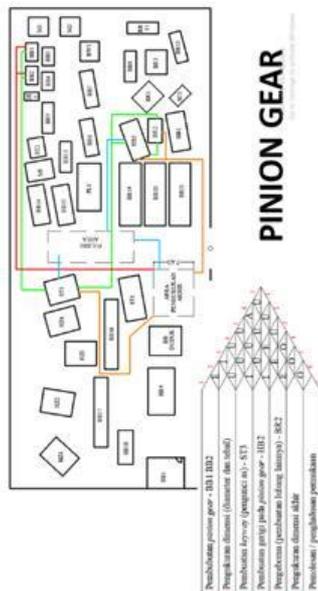
Analisis pola aliran material merupakan analisis pengukuran kuantitatif untuk setiap gerakan perpindahan material di antara departemen departemen atau aktivitas-aktivitas operasional. Pola aliran ini akan menggambarkan bagaimana material masuk sampai pada produk jadi. Pada penelitian ini alternatif *layout* akan dirancang dengan aliran material berbentuk O dan U seperti gambar di di berikut ini



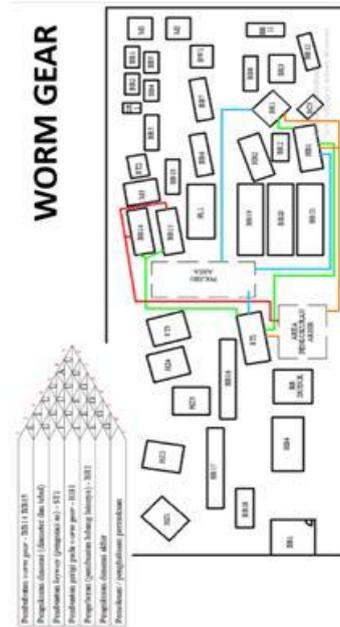
Gambar 1. Bentuk Pola Aliran Material (Wignjosoebroto, 1996)

3.3. Pembuatan Activity Relationship Chart (ARC) dan Activity Relationship Diagram (ARD)

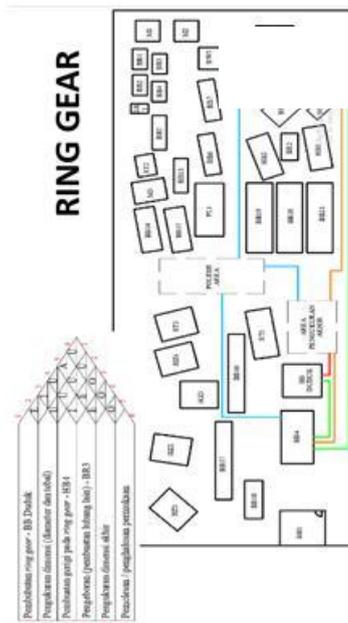
Activity Relationship Chart (ARC) diukur dengan tolok ukur derajat kedekatan hubungan antar fasilitas. Data yang dibutuhkan didapatkan dari urutan proses produksi yang dihubungkan secara berpasangan untuk mengetahui tingkat hubungan antar fasilitas. Hubungan aktivitas ini dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu barang (produk), peralatan, aliran produksi, keterkaitan pegawai dan keterkaitan fisik. Lalu dilanjutkan membuat ARD. Agar lebih memudahkan memahami gambar peta keterkaitan aktivitas, diberi simbol jumlah garis untuk menggambarkan derajat hubungan antar aktivitas.



Gambar 2. ARC dan ARD Pinion Gear



Gambar 3. ARC dan ARD Worm Gear



Gambar 4. ARC dan ARD Ring Gear

3.4. Space Requirement

Pada penelitian ini menggunakan metode fasilitas industri untuk menentukan kebutuhan luas area layout usulan. Dalam metode ini, luas ruangan dihitung melalui ukuran jenis mesin yang digunakan dikalikan jumlah mesin ditambah kelonggaran operator dan gang. Untuk tiap fasilitas produksi atau mesin digunakan kelonggaran operator (*allowance*) sebesar 50% (Purnomo, 2004).



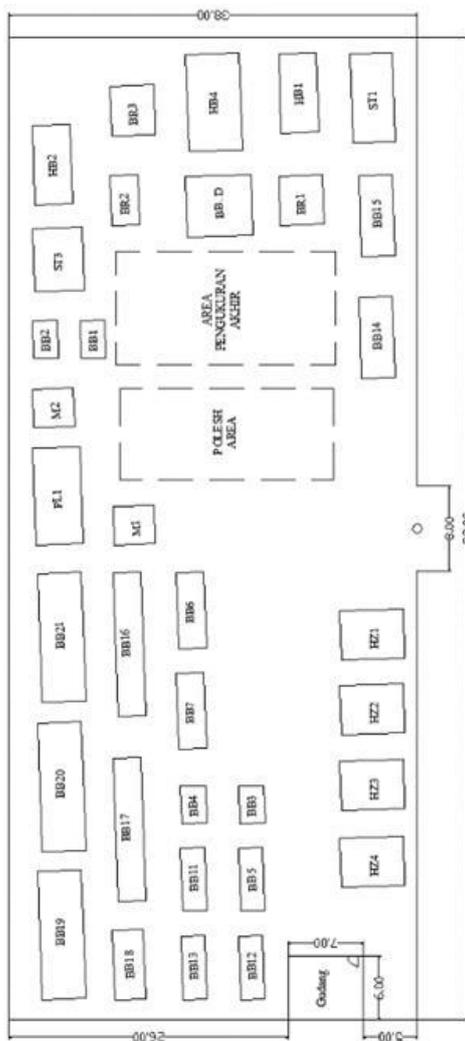
Gambar 5. Luas Area

3.5. OMH Awal

Dari tata letak awal pabrik diketahui total untuk setiap produk yaitu *pinion gear* sebesar Rp 699.938,- , *ring gear* sebesar Rp 1.704.714,- dan *worm gear* sebesar Rp 810.029,-. Maka total OMH untuk keseluruhan dari *gear* pada *layout* awal yaitu :

$$\begin{aligned} \text{OMH gear} &= \text{OMH pinion gear} + \text{OMH ring gear} + \text{OMH worm gear} \\ &= \text{Rp } 699.938 + \text{Rp } 1.704.714 + \text{Rp } 810.029 = \text{Rp } 3.214.682,- \end{aligned}$$

3.6. Layout Baru



Gambar 6. Layout Baru

Tabel 2: Data Material Handling

Keterangan	Jenis			
	Pinion	Ring	Worm	
Produk	Size	0,378	-	0,83
	Pekerja	6	5	6
	Jumlah	30	26	30
Alat angkut	Umur E	60 Bulan	120 Bulan	60 Bulan
	Kapasitas	6	1	1
	Frekuensi	5	26	30
	Depresiasi	Rp 10.000	Rp 1,75 Jt	Rp 10.000
	Operasi	Rp 16,81 Jt	Rp 15,75 Jt	Rp 16,81 Jt
	OMH/m	Rp 683	Rp 373	Rp 147

Pada *layout* yang baru, pengukuran jarak dilakukandengan menggunakan *rectilinier*(langsung dari masing-masing titik tengah mesin produksi) Berikut adalah metode perhitungan jarak dari masing-masing mesin (Purnomo, 2004):

$$|x_i - x_j| + |y_i - y_j|$$

Dengan demikian, jika jarak tempuh sudah ditentukan, frekuensi *material handling* sudah dihitung, maka ongkos material handling dapat dihitung dengan (Kusuma, 2012) dimana :

Total OMH = Jarak x Frekuensi x OMH/m
 total untuk setiap produk yaitu *pinion gear* sebesar Rp 380.568,- , *ring gear* sebesar Rp 700.390,- dan *worm gear* sebesar Rp 393.063,-. Maka total OMH untuk keseluruhan dari *gear* pada *layout* awal yaitu :

$$\begin{aligned} \text{OMH gear} &= \text{OMH pinion gear} + \text{OMH ring gear} + \text{OMH worm gear} \\ &= \text{Rp } 380.568 + \text{Rp } 700.390 + \text{Rp } 393.063 \\ &= \text{Rp } 1.479.724,- \end{aligned}$$

3.7. Perhitungan Biaya Rearrangement Layout Terpilih

Pemindahan mesin dilakukan dengan menggunakan 2 jenis alat angkut yaitu *forklift* dan *overhead crane*. Untuk biaya tersebut dikalkulasikan seperti dibawah ini :

Biaya dengan forklift

$$\begin{aligned} \text{Biaya bahan bakar} &= \text{Rp } 50.000 / \text{hari} \\ \text{Upah Operator} &= \text{Rp } 120.000 / \text{hari} \\ &= \text{Rp } 5715,- / \text{jam} \\ \text{Kecepatan forklift} &= 30 \text{ m/jam} \\ \text{Biaya} &= (\text{J. pindah} \times \text{waktu} \times \text{gaji}) + \text{BB} \\ &= \text{Rp } 369.844,48 + \text{Rp } 50.000 \\ &= \text{Rp } 419.844,00 \end{aligned}$$

Biaya dengan overhead crane

Biaya Listrik = Rp 1467,28/jam (Industri Non Subsidi B-2/TR)

Upah Operator= Rp 120.000 /hari = Rp 5715,- /jam

Kecepatan = 30 m/jam

Biaya = (Jarak pemindahan x waktu x gaji operator) + BB
 = Rp 89.447,32 + Rp 277.33
 = Rp 366.777,92

Maka, biaya yang dibutuhkan untuk memindahkan mesin adalah yang dilakukan dalam 2 hari jam kerja. Selain itu, untuk biaya pemasangan kabel listrik dengan harga kabel yang dipakai Rp 12.000,-/meter sehingga biaya yang harus dikeluarkan adalah Rp 11.044.200. Harga ini didapatkan dari harga kabel/meter x jarak mesin dengan power supply.

3.8. Pengaruh Layout Baru di Perusahaan

1. Pehitungan kerugian waktu dan produksi

Diketahui bahwa :

a. Jumlah produk gear 86 pcs dalam sebulan, harga 1 produk Rp 230.000,-

b. Keuntungan per buah/hari

$$\frac{\text{Rp } 230.000, - \times 86}{24}$$

=Rp 824.166,67

Terjadi penundaan pekerjaan 2 hari (42 jam) = 2 x Rp 824.166,6 = Rp 1.648.333

2. Perhitungan kerugian gaji pekerja

Gaji untuk seorang pekerja Rp 2.800.000/ bulan

$$= \frac{\text{Rp } 2.800.000}{440 \times 60}$$

= Rp 107/menit

Maka, terjadi kerugian sebesar Rp 107 x 60 x 21 x 2 = Rp 269.640/ pekerja

Total kerugian gaji pekerja produk gear Rp 269.640 x 17 = Rp 4.583.880,-

3. Perbandingan antara Keuntungan Perusahaan dengan merubah layout dan Biaya Pemindahan Layout

Total biaya yang harus dikeluarkan,
 = Biaya pemindahan mesin + biaya kabel + kerugian penundaan produksi + kerugian gaji pegawai

= Rp 786.622,40 + Rp11.044.200 + Rp 1.648.333 + Rp 4.583.880= Rp 18.063.035,4

keuntungan perubahan layout

a. Menghemat biaya dan material handling Rp 1.734.958/bln dan 21,28 menit untuk 86 buah gear

b. Harga produk dalam sebulan (penghasilan)Rp 230.000 x 86 = Rp 19.780.000,-

Total keuntungan perubahan layout

= Menghemat OMH + Harga produk/bln =
 Rp 1.734.958 + Rp 19.780.000= Rp 21.514.958,-

4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari perancangan layout baru untuk produksi gear di departemen machining PT. Apie Indo Karunia adalah sebagai berikut:

1. layout baru membagi ruangan menjadi 2, area mesin jasa dan mesin pembuatan gear. Penempatannya berdasar aliran proses sehingga mengurangi OMH. Tahap perancangan ulang layout dengan metode SLP dilakukan dengan cara mengolah data berupa jenis produk, jumlah mesin, luas area beserta ARC dihasilkan layout dengan nilai jarak material handling yaitu 5117,17 m/bulan .
2. layout memiliki kebutuhan luas area mesin 1307,86 m² dari total luas sebesar 3496 m² dengan total jarak material handling 5117,17 m/bulan dan ongkos material handling tiap bulan sebesar Rp. 1.479.724,- / bulan sehingga dapat meningkatkan efisiensi ongkos material handling (OMH) sebesar 54%. Dengan adanya peningkatan ini, maka overtransportation telah dapat ditangani.

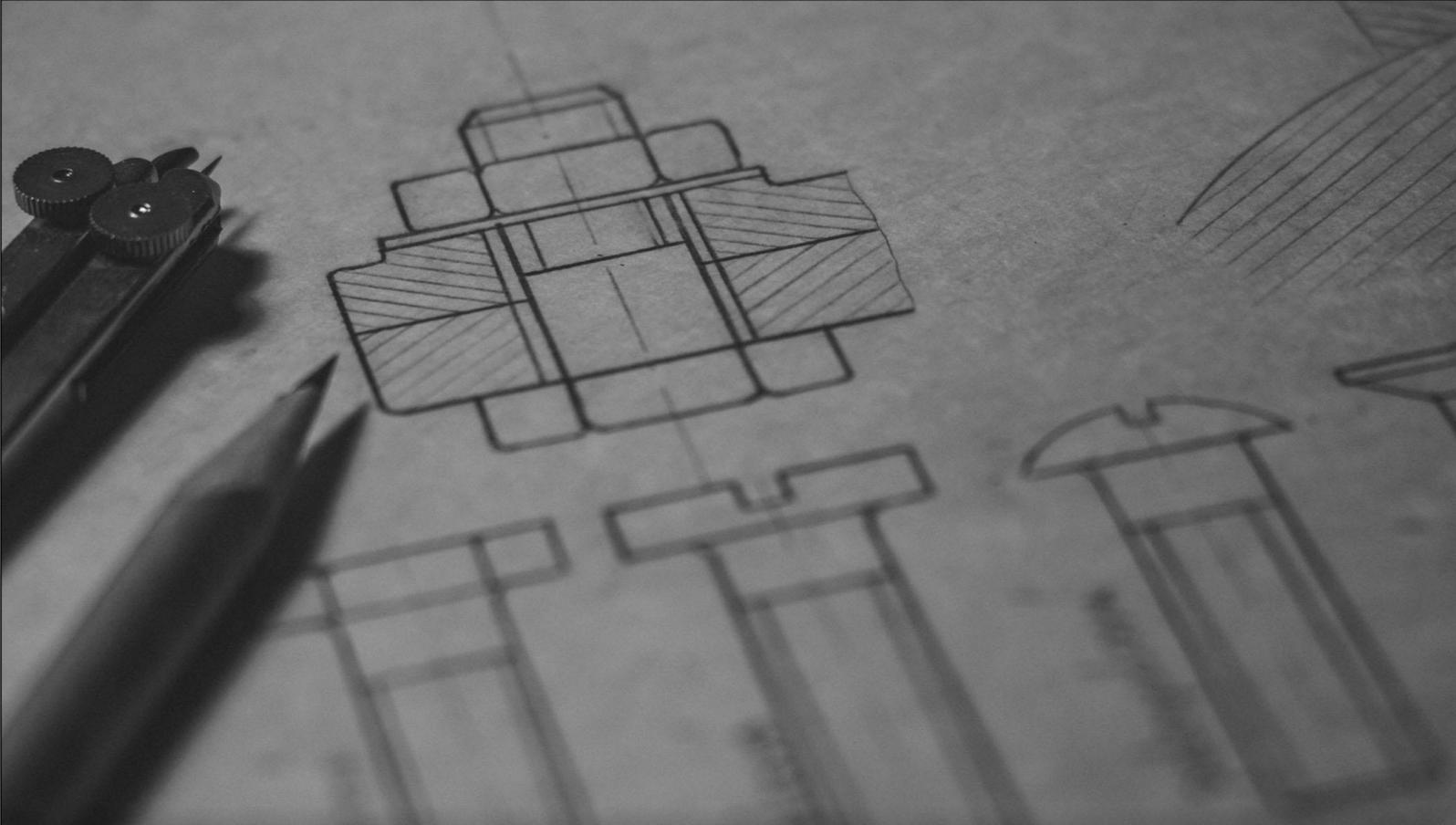
5. UCAPAN TERIMAKASIH

Terlepas dari bimbingan dan motivasi dari berbagai pihak, penulis menyampaikan rasa terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Kedua orang tua yang telah memberikan dukungan materi, motivasi, kasih sayang, do'a, dan nasehat hidup bagi penulis.
2. Ibu Renanda Nia Rachmadita, ST., MT., selaku dosen pembimbing 1 yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan selama penyelesaian jurnal tugas akhir.
3. Bapak Dhika Aditya Purnomo, ST., MT., selaku dosen pembimbing 2 yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan selama penyelesaian jurnal tugas akhir.
4. Keluarga besar dosen dan staff PPNS.
5. Bapak Sufi'I dan Supriyadi, selaku pembimbing dari PT. Apie Indo Karunia yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan selama penyelesaian jurnal tugas akhir.
6. Teman-teman seperjuangan Teknik Desain dan Manufaktur angkatan tahun 2014 yang telah memberikan motivasi, warna kehidupan, dan kebersamaan.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Apple, J. M. (1990). **Tata Letak Pabrik dan Pemindahan Bahan**. ITB, Bandung.
- [2]. Kusuma, A.D, (2015). *Perencanaan Ulang Tata Letak Pada PT. Zenith Allmart Precisindo Menggunakan Metode Systematic Layout Planning (SLP)*. **Tugas Akhir, Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur**, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya.
- [3]. Purnomo, H. (2004). **Perencanaan dan Perancangan Fasilitas**. Graha Ilmu, Yogyakarta.
- [4]. Wignjosoebroto, S. (1996). **Tata Letak Pabrik dan Pemindahan Bahan**. Guna Widya, Surabaya



Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur
Jurusan Teknik Permesinan Kapal
Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya
Kampus ITS Sukolilo, Jl. Teknik Kimia,
Keputih, Sukolilo, Keputih, Sukolilo,
Kota SBY, Jawa Timur 60111
Telepon: (031) 5947186

Surabaya, 22 September 2018