

# Jurnal Perkapalan



Diterbitkan oleh:  
Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya  
ITS

Studi Penggunaan Kayu Lokal sebagai Kayu Alternatif Pengganti Kayu Poghout ( <i>Lignum Vitae</i> ) pada Keausan Bantalan Poros Akibat Perilaku Kerja Baling-Baling Kapal <i>Hariyanto Soeroso</i> .....	61-70
Analisis Disain Kontroller P, PI, dan PID pada Sistem CVT Menggunakan Metode Tuning Parameter Margin Kestabilan Ziegler Nichols Stability <i>Mohammad Abu Jami'in dan Rini Indarti</i> .....	71-81
Pengaruh Dimensi dan Jarak Lubang Material Pengisi pada Konstruksi Sandwich <i>Fathulloh</i> .....	82-94
Analisis Bentuk dan Ukuran Utama Kapal Tradisional Berbasis Data Pengukuran Koordinat Kontrol Point <i>Muhammad Mahfud, Eko Julianto, Mohammad Abu Jami'in</i> .....	95-105
Prediksi Umur Lelah Pada Pengelasan Aluminium 5083 Dengan Proses GMAW <i>Moh. Miftachul Munir, Mohammad Thoriq Wahyudi</i> .....	106-114
Indeks Pengarang Jurnal Perkapalan Volume 8 Tahun 2010 .....	115
Indeks Mitra Bestari Jurnal Perkapalan Volume 8 Tahun 2010 .....	116

## ANALISIS DISAIN KONTROLLER P, PI, DAN PID PADA SISTEM CVT MENGGUNAKAN METODE TUNING PARAMETER MARGIN KESTABILAN ZIEGLER NICHOLS STABILITY

Mohammad Abu Jami'in <sup>(1)</sup>, Rini Indarti <sup>(2)</sup>

**Abstract :** CVT (Continuous Variable Transmission) is a transmission system that connects the drive to the load, which is the ratio of *input* to *output* speed CVT can be arranged. Goal setting CVT is to get the optimal operation point of an activator. In this paper presented controller design method rotary drive CVT speed ratio by adjusting the ratio of *input* and *output* speed CVT CVT settings through flexible transmission. Dynamic model identification method response rotational speed CVT model ARMA (Auto regressive Moving Average) with least square error optimization (LSE). Based on the model obtained will be designed controllers P, PI, PID parameter search methods Ziegler Nichols stability margin. Under this method is best obtained controller parameters PI controller with  $K_p$  = proportional constant value of 10 743, integral constant  $T_i$  = 0.20284. Implementation of PI controller in the plant control system flexible transmission ratio can minimize the amount of absolute error to sampling error 1.9232 to 100, while the value of steady state error  $2.4662 \times 10^{-8}$ . Before the addition of controllers CVT speed ratio control system has a number of absolute error to sampling the 100 is 67,586, and the value of steady state error 0.6645.

**Key Words:** Money Turan rasio CVT, identifikasi ARMA, LSE, Ziegler Nichols Stability, Parameter Controls, minimum absolute error

CVT adalah sistem transmisi poros dengan rasio antara kecepatan *input* dan *output*nya dapat diatur. Sasaran dari pengaturan rasio ini adalah untuk memperoleh pengoperasian mesin yang optimal didasarkan pada kriteria optimal konsumsi bahan bakar spesifik. Melalui pengaturan rasio kecepatan menggunakan CVT diperoleh penurunan konsumsi bahan bakar spesifik 6% sampai 13 persen dibanding tanpa menggunakan CVT pada diesel generator kapal Caraka Jaya III [Jami'in, M.A, & Julianto, E, 2008]. Dibandingkan dengan sistem transmisi manual, keunggulan penggunaan CVT pada motor bakar diesel atau bensin adalah motor selalu dapat dioperasikan pada daerah pengoperasian optimal meskipun daya dan atau torsi yang diserap beban bervariasi. Penggunaan CVT dapat dihasilkan *output* daya 35% lebih besar, dan waktu percepatan turun menjadi 75% dibanding menggunakan manual transmission [Jami'in, M.A, Jazidee, A & Kadir R.E.A, 2007] [Jami'in, M.A, 2008]

B. Bonsen dkk, menggunakan CVT flexible transmission untuk pengendaliann *slip* dan sekaligus rasio rpm menggunakan *controller Gam Scheduled PI* (Proporsional + Integral) *Controller*. *Slip* akibat perubahan torsi beban dikendalikan melalui *slip variator* dengan tipe *kontroller* tipe robust PI (Proporsional + Integral), sedangkan

<sup>(1)</sup> Mohammad Abu Jami'in adalah Dosen Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal PPNS Surabaya

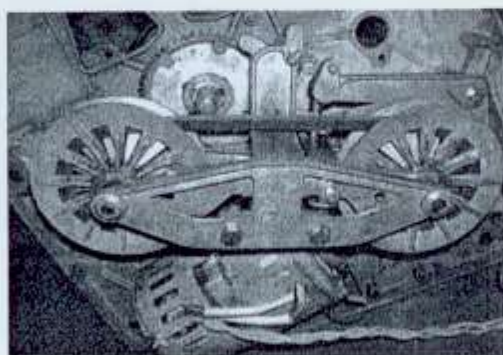
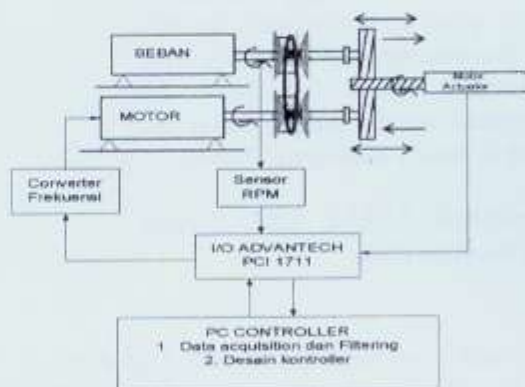
<sup>(2)</sup> Rini Indarti adalah Dosen Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal PPNS Surabaya

kontroller untuk pengaturan rasio dikendalikan melalui pengaturan gaya *clamping* pada *pulley* primer dan sekunder. Nilai *slip* diatur dengan nilai 0.5 persen pada rasio 2.25 dan 1.5 persen pada rasio 0.43 [Bonsen, B., Klaassen, T.W.G.L., Pulles, R.J., Simons, S.W.H., Steimbach, M. & Veenhuizen, P.A. 2005]. Dalam makalah ini akan dirancang *kontroller* untuk pengaturan rasio kecepatan *gearbox* menggunakan CVT tipe fleksibel transmission. Disain *kontroller* yang digunakan adalah *kontroller* Proporsional (P), *kontroller* Proporsional Integral (PI), dan *kontroller* Proporsional Integral Differensial (PID). Berdasarkan analisa response transient dan *steady state response* pengaturan rasio kecepatan dari ketiga tipe *kontroller* tersebut, dipilih *kontroller* dengan kriteria pemilihan adalah minimum jumlah *absolute error* dan minimum *steady state error*.

## TINJAUAN PUSTAKA

### Identifikasi Sistem

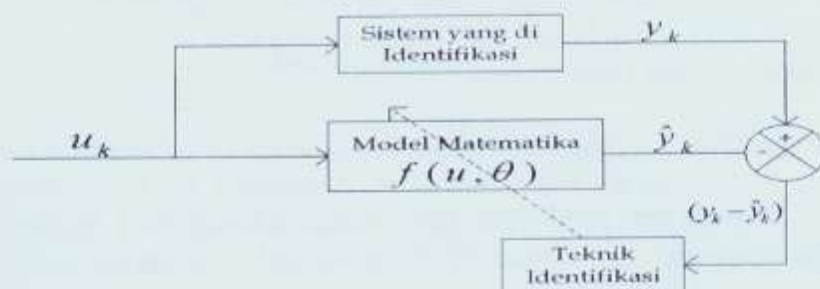
Identifikasi sistem dilakukan untuk memperoleh model dari hasil pengukuran *input* *output* sistem CVT (*plant* yang dikendalikan). Sistem akuisisi data hasil pengukuran *input* dan *output* sistem pengaturan rasio menggunakan modul *interface* PCI 1711 dengan waktu sampling 0.1 detik. Skematik diagram rancangan *hardware* CVT dan sistem akuisisi data ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gambar 2 [Jani'in, M.A. 2008]



Gambar 1. Sistem akuisisi data I/O plant CVT

Gambar 2. Sisten Fisik CVT

Diagram skematik untuk memperoleh model dinamis sistem CVT ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Blok Identifikasi Parameter Sistem.

Representasi model dinamis sistem dalam bentuk persamaan beda adalah sebagai berikut [Ogata, K, 1995].

$$y(k) + a_1 y(k-1) + \dots + a_{na} y(k-na) = b_0 u(k-d) + \dots + b_{nb} u(k-d-nb) \quad (1)$$

Dalam bentuk matrik identifikasi parameter, persamaan 1 dengan derajat polinomial satu dapat ditulis sebagai:

$$\begin{bmatrix} -y(k-1) & u(k-1) \\ y(k) & u(k) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ b_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y(k) \\ y(k+1) \end{bmatrix} \quad \rightarrow \quad \Phi \cdot \theta = Y \quad (2)$$

$\Phi$  = Vektor parameter estimasi.                       $\theta$  = parameter estimasi.

$Y$  = Vektor *output*

$$\Phi = \begin{bmatrix} -y(k-1) & -y(k-na) & x(k-d) & x(k-d-nb) \\ -y(k) & -y(k-na+1) & x(k-d+1) & x(k-d-nb+1) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ -y(N-1) & -y(N-2) & x(N-d) & x(N-d+nb) \end{bmatrix} \theta = [a_1 \quad \dots \quad a_{na} \quad b_0 \quad \dots \quad b_{nb}]^T$$

$$Y = [y(k) \quad y(k+1) \quad \dots \quad y(N)]^T$$

Untuk derajat polinomial *output* adalah  $n_a$ , derajat polinomial *input*  $n_b$ , dan faktor delay  $d$ , vektor parameter estimasi untuk  $N$  pengukuran ditulis sebagai berikut [Ogata, K, 1995]

Teknik optimasi untuk pencarian parameter estimasi model dilakukan dengan meminimalkan jumlah nilai kuadrat error antara model dengan hasil pengukuran *input output* sistem. Pencarian parameter dengan metode LSE untuk  $N$  data pasangan *input output* pengukuran di formulasikan dalam persamaan 3. Pencarian titik optimal dengan kriteria jumlah kuadrat error terkecil dilakukan dengan metode gradien, yaitu mendifferensialkan  $J$  terhadap  $\theta$ , sedangkan untuk memperoleh model yang mendekati response plant hasil pengukuran dilakukan iterasi jumlah vektor pengukuran dan orde polinomial model. [Jang J.S.R, Sun C.T., Mizutani E., 1997] [Widodo, T.S., 2005]

$$[Y - \Phi\theta]^T [-\Phi] = 0, \quad \rightarrow \quad -Y^T\theta + \theta^T [\Phi^T\Phi] = 0$$

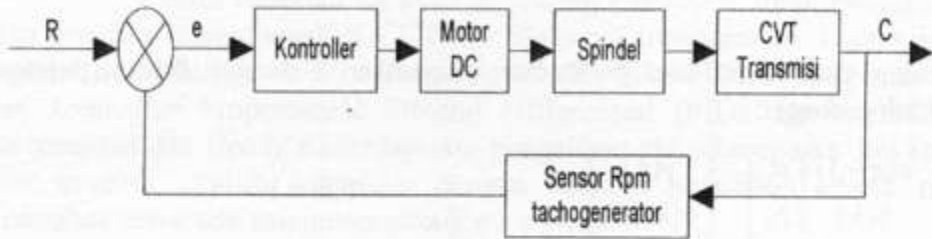
diperoleh:

$$\theta = (\Phi^T \Phi)^{-1} \Phi^T Y \quad (3)$$

**Model Dinamis Pengaturan Rasio**

Mekanisme pengaturan rasio diatur dengan *spindle* yang ditunjukkan pada Gambar 4. Penggerak *spindle* CVT adalah motor DC servo pengatur posisi. Selisih tegangan antara *setting reference* kecepatan terhadap *output* sensor kecepatan dari *tachogenerator* menghasilkan sinyal error. Sinyal error tersebut diumpankan ke *controller* Proporsional (P), Proporsional Integral (PI), dan Proporsional Integral Differensial (PID) dan penguat

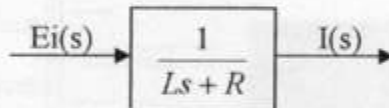
tegangan untuk menggerakkan motor DC pengatur posisi spindle. Diagram Blok pengaturan rasio menggunakan sistem transmisi CVT ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram Blok Mekanisme Pengaturan Kecepatan Putar Motor Melalui Pengaturan Posisi Spindle CVT Flexible Transmission

Fungsi transfer dari motor DC penguatan terpisah adalah,  $Ei = L \frac{di}{dt} + Ri$ , dalam bentuk transformasi *laplace* dapat ditulis dengan,

$$Ei(s) = Ls.I(s) + R.I(s) \tag{4}$$



Torsi elektrik yang dihasilkan oleh motor DC penguat terpisah adalah,

$$T = Ktm.I \tag{5}$$

Torsi yang dihasilkan motor diubah untuk memutar poros untuk pengaturan posisi *spindel* CVT yaitu,

$$T = J \frac{d^2\theta}{dt^2} + B \dot{\theta} = J \frac{d\omega}{dt} + B \omega \tag{6}$$

Model matematis dari sistem CVT pengaturan rasio terhadap momen inersia, dan gesekan poros diformulasikan sebagai,

$$J = \frac{\omega_2}{\omega_1} J_m + \frac{\omega_1}{\omega_2} J_L \tag{7}$$

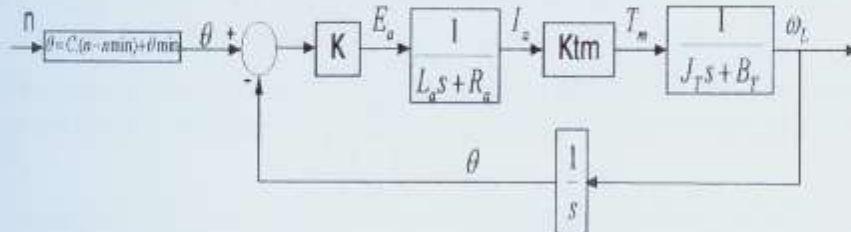
$$B = \frac{\omega_2}{\omega_1} B_m + \frac{\omega_1}{\omega_2} B_L \tag{8}$$

Dengan rasio CVT ( $n$ ),  $n = \frac{\omega_2}{\omega_1} \tag{9}$

Rasio CVT ( $n$ ) adalah sebanding dengan posisi CVT, sehingga hubungan rasio dengan posisi CVT dirumuskan dengan teknik interpolasi linier yaitu,

$$\frac{n - n_{\min}}{n_{\max} - n_{\min}} = 2\pi \frac{\theta - \theta_{\min}}{\theta_{\max} - \theta_{\min}}, \theta = C.(n - n_{\min}) + \theta_{\min}, C = \frac{1}{2\pi} \frac{\theta_{\max} - \theta_{\min}}{n_{\max} - n_{\min}}$$

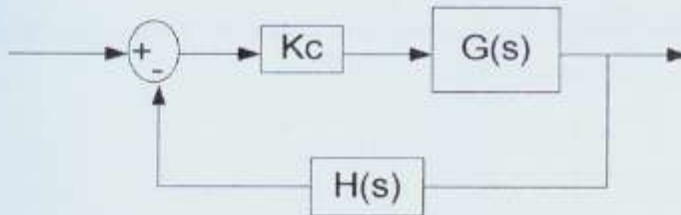
Diagram blok secara keseluruhan pengatur posisi spindel melalui pengaturan posisi sudut motor DC ditunjukkan pada Gambar 6 [Jami'in, M.A. & Endrasmono, J., 2009]



Gambar 6. Diagram Blok Model Matematis Pengaturan Kecepatan Putar CVT

### Analisa Kestabilan Routh

Tujuan dari analisis kestabilan *routh* adalah untuk mencari nilai range  $K_c$  sedemikian hingga pada batas batas nilai  $K_c$  tersebut sistem pada kondisi stabil. Konstruksi blok diagram sistem loop tertutup adalah :



Gambar 7. Blok Diagram Sistem Loop Tertutup

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G(s)}{1 + G(s).H(s)} \tag{11}$$

Persamaan karakteristik dari sistem *loop* tertutup diatas adalah,

$$1 + G(s).H(s) = 0 \tag{12}$$

Berdasarkan Persamaan 12, diperoleh batas batas nilai  $K_c$  sedemikian hingga sistem dalam keadaan stabil. Sistem dapat dikatakan stabil apabila letak akar berada disebelah kiri atau memiliki *pole negative*, sedangkan sistem tidak stabil jika letak akar berada disebelah kanan. Persaman karakteristik letak akar berdasarkan Persamaan 12 adalah merupakan fungsi polinomial berderajat  $n$  yaitu:

$$a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + a_2 s^{n-2} + \dots + a_n = 0 \tag{13}$$

Table *routh array* dibuat berdasarkan nilai koefisien persamaan karakteristik polinomial yaitu persamaan (13). [Ogata, K., 1995]

Tabel 1. Tabel Routh Array analisa kestabilan

Row1	a0	a2	a4	.....	.....
Row2	a1	a3	a5	.....	.....
Row3	b1	b2	b3	.....	.....
Row4	c1	c2	c3	.....	.....

$$b_1 = \frac{a_1 a_2 - a_0 a_3}{a_1} \quad (14)$$

$$b_2 = \frac{a_1 a_4 - a_0 a_5}{a_1} \quad (15)$$

$$c_1 = \frac{b_1 a_3 - a_1 b_2}{b_1} \quad (16)$$

$$c_2 = \frac{b_1 a_5 - a_1 b_3}{b_1} \quad (17)$$

Letak akar pada persamaan karakteristik dengan nilai akar hanya terdiri dari akar imejiner, nilai Kc pada posisi ini disebut gain margin dan phasenya adalah  $\pm 180^\circ$  yang disebabkan oleh letak akarnya hanya mengandung komponen imajiner. Nilai Kc dengan akar memiliki hanya komponen imajiner disebut *ultimate controller gain* (Kcu) yang diperoleh dengan persyaratan koefisien *routh* lebih besar dari nol. Pemilihan nilai parameter *controller* berdasarkan gain dan *phase margin* Ziegler - Nichols Stability yaitu [Ogata, K, 1995]

Tabel 2. Pemilihan Parameter Controller Berdasarkan Gain Margin dan Phase Margin Metode Ziegler - Nichols

Tipe Kontroller	Kc	Ti	Td
P	0.5 Kcu	-	-
PI	0.45Kcu	Pu/1.2	-
PID	0.6Kcu	Pu/2	Pu/8

$$P_u = \frac{2\pi}{\omega_c} \quad (18)$$

Fungsi transfer dari *controller* berdasarkan parameter pada Tabel 2 adalah, *Kontroller* Proporsional (P)

$$g_c(s) = Kc \quad (19)$$

*Kontroller* Proporsional Integral (PI)

$$g_c(s) = Kc \left( 1 + \frac{1}{T_i s} \right) \quad (20)$$

*Kontroller* Proporsional Integral Differensial (PID)

$$g_c(s) = Kc \left( 1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$$

### METODE PENELITIAN

Disain *kontroller* pengatur rasio kecepatan CVT dilakukan dengan menganalisa *response* kecepatan dengan kriteria pemilihan *kontroller* adalah jumlah kuadrat *error* terkecil dan *error steady state*. *Response* kecepatan menggunakan *kontroller* Proporsional, Proporsional Integral, dan Proporsional Integral Differensial. Berdasarkan model dinamis yang diperoleh dari identifikasi sistem dapat dihitung tipe dan parameter *kontroller* P, PI, PID.



Langkah identifikasi sistem untuk memperoleh model dinamis *response* kecepatan menggunakan pengaturan rasio CVT *flexible transmission* adalah [Jami'in, M.A & Endramono, J., 2009].

1. Perancangan *hardware* sistem CVT dan sistem akuisisi data.
2. Pemodelan sistem CVT menggunakan metode pemodelan ARMA dengan kriteria model\*terbaik adalah jumlah kuadrat *error* terkecil.

Data I/O akuisisi data sistem CVT dengan *input* sinusoidal dengan sampling 0.1 detik ditunjukkan tabel 3. Response kecepatan sistem CVT ditunjukkan pada Gambar 8 [Jami'in, M.A., 2008]

Hasil pengukuran I/O pada tabel 3 dimodelkan dengan metode ARMA (*Auto Regressive Moving Average*) dengan kriteria optmasi model adalah LSE (Least Square Error). Selanjutnya, berdasarkan hasil identifikasi tersebut dirancang *kontroller* P, PI, PID dengan metode tuning parameter gain margin kestabilan Ziegler Nichols. *Flowchart* Metode Penelitian ditunjukkan pada Gambar 9.

Tabel 3. Hasil Pengukuran *Input* dan *Output* Sistem Pengaturan Rasio Kecepatan dengan CVT

Hasil Akuisisi Data I/O CVT					
<i>t</i>	<i>u</i>	<i>y</i>	<i>t</i>	<i>u</i>	<i>y</i>
0	0	0	1.6	0.55883	0.08301
0.1	0.035	0	1.7	0.5936	0.22461
0.2	0.07	0.01465	1.8	0.62833	0.0293
0.3	0.10499	0.00488	1.9	0.66304	0.25879
0.4	0.13998	0.00488	2	0.69772	0.04883
0.5	0.17496	0.01953	2.1	0.73236	0.06348
0.6	0.20994	0.01953	2.2	0.76696	0.27344
0.7	0.2449	0.00488	2.3	0.80153	0.19531
0.8	0.27985	0.01465	2.4	0.83605	0.29785
0.9	0.31479	0.03418	2.5	0.87054	0.27344
1	0.34971	0.0293	2.6	0.90498	0.07813
1.1	0.38462	0.00977	2.7	0.93938	0.01953
1.2	0.41951	0.02441	2.8	0.97374	0.26367
1.3	0.45437	0.0293	2.9	1.008	0.1709
1.4	0.48922	0.13184	3	1.0423	0.37109
1.5	0.52404	0.05859	3.1	1.0765	0.38086

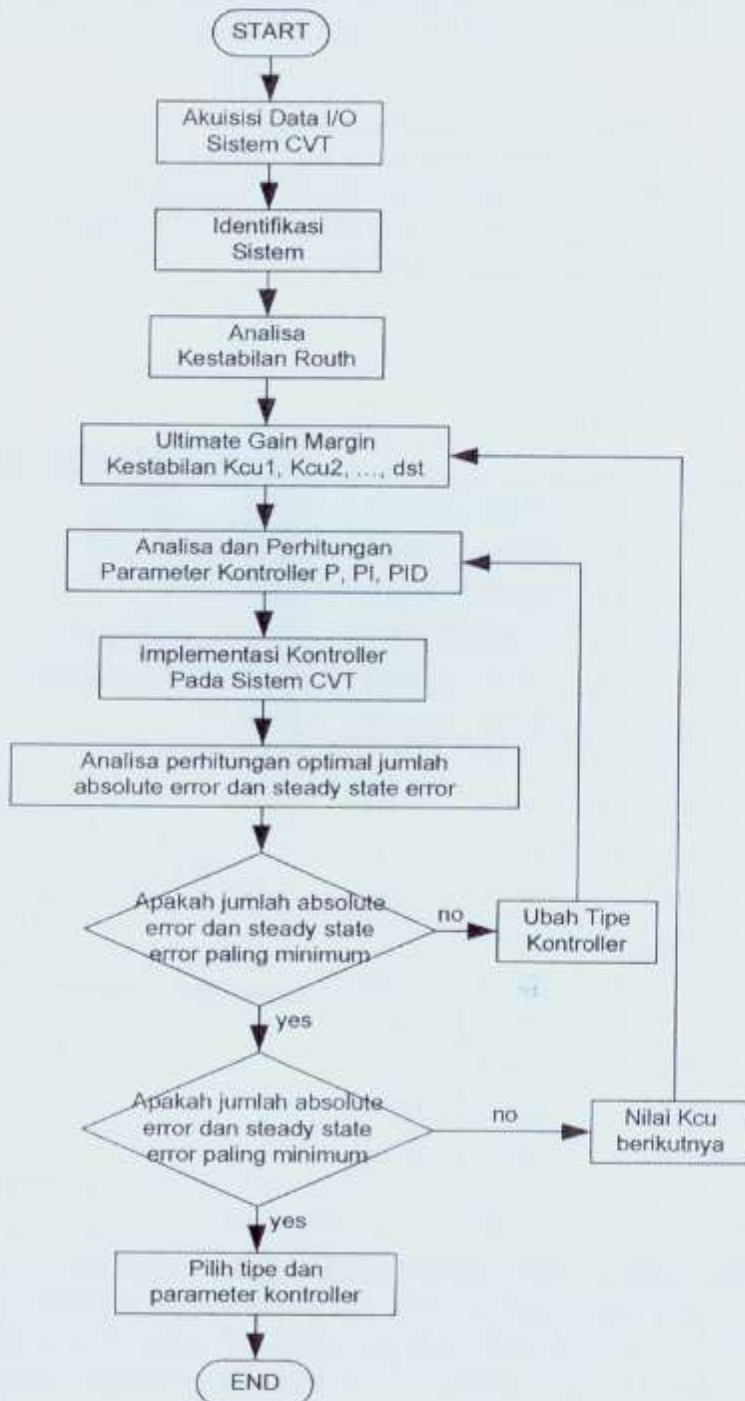


Gambar 8 Hasil Pengukuran Response Kecepatan I/O CVT

Berdasarkan model dinamis plant dalam bentuk domain *s* (*laplace transform*), dihitung nilai *gain margin* dan *phase margin*. *Gain* dan *phase margin* diperoleh dengan mencari solusi akar persamaan karakteristik pada persamaan 12, letak akar berada pada sumbu imajiner yang disebut dengan *ultimate gain* dan *phase margin* (Kcu). Selanjutnya,

berdasarkan nilai gain dan phase margin dihitung *kontroller* P, PI, dan PID dengan aturan *tuning margin* kestabilan Ziegler Nichols pada tabel 2.

Nilai gain margin dari solusi persamaan karakteristik diperoleh satu nilai  $K_{cu}$  atau lebih, sehingga pencarian tipe dan parameter *kontroller* dicari pada berbagai nilai gain margin dan diiterasi sampai memperoleh disain *kontroller* yang paling memberikan jumlah *absolute error* dan *error steady state* terkecil.



Gambar 9. Flowchart Metode Penelitian Disain dan Pemilihan *Kontroller*

**HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

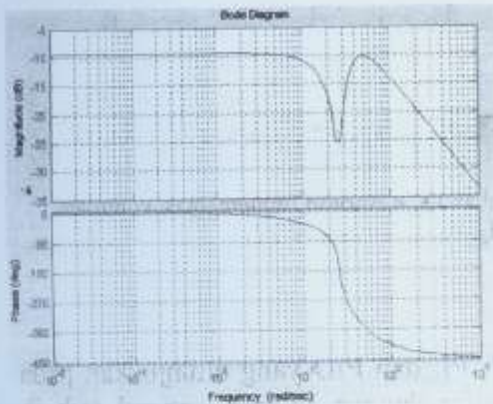
Analisa untuk pencarian model matematis *plant* dengan waktu sampling 0.1 detik menggunakan model ARMA dengan metode optimasi model LSE, diperoleh model dinamis *plant* yaitu,

$$\frac{C(z)}{R(z)} = \frac{0.1853 z + 0.1971}{z^2 + 0.1462 z - 0.006779} \tag{22}$$

Transformasi model diskrit ke model kontinu domain s, dengan formulasi transformasi bilinier diperoleh model kontinu yaitu,

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{21.08s^2 - 72.46s + 14100}{s^3 + 66.91s^2 + 2394s + 42030} \tag{23}$$

Nilai ultimate gain margin dihitung berdasarkan grafik diagram bode yang ditunjukkan pada Gambar 9, nilai  $K_{cu}$  terletak pada phase margin  $-180^\circ$  yaitu 23.874. Berdasarkan nilai  $K_{cu}$  diperoleh parameter *kontroller* P, PI, PID metode tuning parameter gain margin Ziegler Nichols ditunjukkan pada tabel 4. Implementasi *kontroller* P, PI, PID pada sistem kontrol rasio kecepatan dengan CVT ditunjukkan Gambar 10, Gambar 11, Gambar 12, dan Gambar 13. Perhitungan kriteria optimal dari masing-masing *kontroller* sampai sampling ke 100 ditunjukkan pada Tabel 4.



Tabel 4 Tipe dan Parameter Kontroler P, PI, dan PID

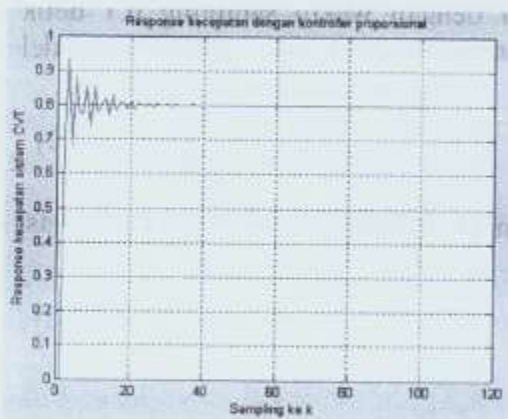
Tipe Kontroler	Kc	Ti	Td
P	11.937	0	0
PI	10.743	0.20284	0
PID	14.325	0.12171	0.030426

Gambar 10 Bode Diagram Pencarian Ultimate Gain Margin dan Phase Margin

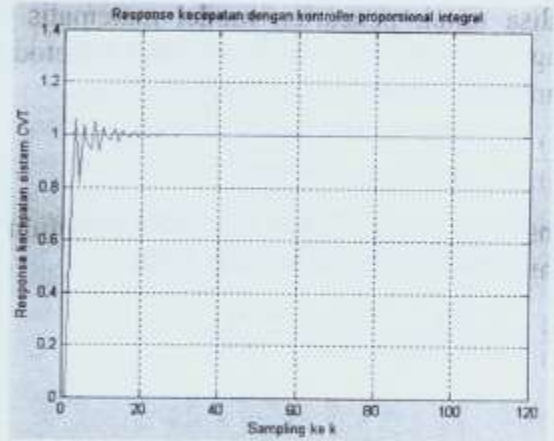
Tabel 5 Nilai Kriteria Optimal pada Plant dan Masing-masing *Kontroller*

Tipe Kontroler	J	Ess
Tanpa <i>Kontroller</i>	67.586	0.66453
P	21.015	0.19982
PI	1.9232	$2.466 \times 10^{-8}$
PID	1.9823	$4.368 \times 10^{-5}$

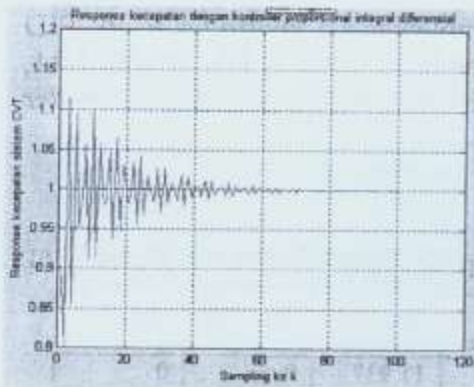
Note : J = Sigma absolute error, Ess = Nilai steady state error



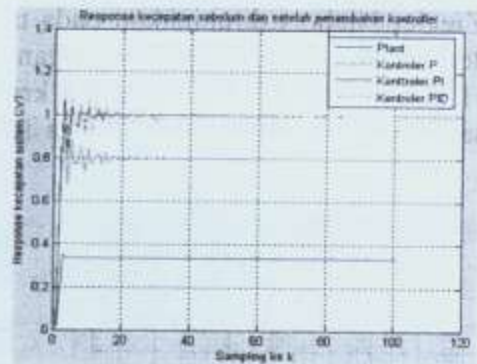
Gambar 10 Response Implementasi kontroler Proporsional pada Sistem CVT



Gambar 11 Response Implementasi *kontroller* Proporsional Integral pada Sistem CVT



Gambar 12. Response Implementasi kontroler PID Sistem CVT



Gambar 13. Response Implementasi kontroler P, PI, PID pada Sistem CVT.

Bedasarkan hasil implementasi tiap *kontroller* P, PI, dan PID yang ditunjukkan pada tabel 4, maka dapat disimpulkan bahwa *kontroller* dengan kriteria optimal terbaik adalah *kontroller* PI yang memiliki sigma absolute error sampai sampling ke 100 adalah 1.9232 dan error steady state  $2.466 \times 10^{-8}$

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Berdasarkan analisa dan pembahasan yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan yaitu:

1. *Kontroller* dengan criteria optimal terbaik adalah *kontroller* tipe Proporsional Integral (PI) dengan parameter  $P = 10.743$  dan  $T_i = 0.20284$ .
2. Implementasi *kontroller* PI lebih baik dibandingkan dengan sebelum penambahan *kontroller* yaitu implementasi *kontroller* PI menghasilkan jumlah *absolute error* pada sampling ke 100 adalah 1.9232 dan *error steady state*  $2.466 \times 10^{-8}$ . Sebelum

penambahan *kontroller*, jumlah absolute error sampai sampling ke 100 adalah 67.586, dan error steady state 0.66453.

- Implementasi *kontroller* Proporsional (P) memiliki jumlah absolute error sampai sampling ke 100 adalah 21.015, dan *error steady state* 0.199882. Implementasi *kontroller* Proporsional Integral differensial (PID) memiliki jumlah *absolute error* sampai sampling ke 100 adalah 1.9823, dan *error steady state*  $4.368 \times 10^{-5}$ .

### Saran

Berdasarkan analisis hasil yang dilakukan kami sarankan:

- Dalam penelitian ini, aplikasi *kontroller* PID diterapkan pada sistem transmisi motor stensil dengan daya lebih kurang 0.5 HP, untuk real aplikasi perlu dilakukan permodelan yang disesuaikan dengan plant sesungguhnya.
- Berdasarkan hasil penelitian disarankan pilihlah *kontroller* yang memiliki jumlah *absolute error* dan *steady state error* minimum. *Kontroller* dengan kriteria optimal terbaik adalah *kontroller* tipe Proporsional Integral (PI).

### DAFTAR RUJUKAN

- Jami'in, M.A, & Julianto, E, 2008, "Disain Sistem Koordinasi CVT dan Governoor yang Adaptif untuk Mengurangi SFOC Diesel Generator", *Laporan Penelitian DIPA 2008, PPNS ITS Surabaya*.
- Jami'in, M.A, Jazidie. A & Kadir R.E.A, 2007, "Pemodelan MISO untuk Kontrol Kecepatan Melalui Kombinasi *Input* Pengaturan Posisi CVT dan Frekuensi Motor Induksi Menggunakan JST", *Prosiding Seminar Pasca Sarjana VII*, 2 Agustus 2007 ITS Surabaya.
- Jami'in, M.A, 2008, "Disain *Kontroller* JST State Feedback Optimal Untuk Pengendalian Kecepatan Pada Sistem CVT Dengan Penggerak Motor Induksi", *Tesis Master Teknik Sistem Pengaturan Tahun 2008*, ITS Surabaya .
- Bonsen, B.,Klaassen, T.W.G.L., Pulles, R.J., Simons, S.W.H., Steinbuch, M. & Veenhuizen, P.A, 2005, "Performance optimisation of the push-belt CVT by variator slip control", *Int. J. Vehicle Design*, Vol. 39, No. 3, pp.232 – 256.
- Ogata, K., 1995, "*Discrete -Time Control Systems*", Prentice Hall inc, Upper Saddle River, New Jersey USA
- Jang J.S.R, Sun C.T., Mizutani E., 1997, "Neuro Fuzzy And Soft Computing", *Prentice Hall Inc*, A Viacom Company Upper Saddle River, USA.
- Widodo, T.S , 2005, "*Sistem Neuro Fuzzy untuk Pengolahan Informasi, Pemodelan, dan Kendali*", Penerbit Graha Ilmu Yogyakarta
- Jami'in,M.A & Endramono, J., 2009, "Pemodelan Response Kecepatan Putar Motor Induksi dengan Pengaturan Rasio Flexible Transmission CVT, *Jurnal Teknik Mesin*, ITS Surabaya.