

ISSN 1411 - 9471

Volume 10 nomor 2, Mei 2010

Jurnal TEKNIK MESIN



TERAKREDITASI

Nomor : 43/DIKTI/Kep/2008

JURNAL
TEKNIK MESIN

Volume 10

Nomor 2

Halaman
79 - 146

SURABAYA
Mei 2010

ISSN
1411-9471

JURNAL TEKNIK MESIN

ISSN 1411 - 9471, TERAKREDITASI Nomor : 43/DIKTI/Kep/2008

*Jurnal Teknik Mesin terbit tiga kali setahun pada bulan Januari, Mei dan September.
Berisi tulisan yang diangkat dari hasil penelitian dan kajian analitis kritis di bidang Teknik Mesin.*

Ketua Penyunting

Dr. Ing. Herman Sasongko

Wakil Penyunting

Prof. Dr. Ir. Wajan Berata, DEA.

Penyunting Pelaksana

Prof. Ir. Sutardi, M.Eng. PhD.

Ir. Sudjud Darsopuspito, MT.

Dr. Bambang Sudarmanta, ST. MT.

Ika Dewi Wijayanti, ST

Latifah Nurahmi, ST

Penyunting Ahli

Prof. Ir. Djati Nursuhud, MSME.

Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, MSc., PhD.

Prof. Dr. Ir. TriyogiYuwono, DEA.

Ir. Bambang Daryanto W., MSME., PhD.

Ir. Sudiyono Kromodihardjo, MSc., PhD.

Ir. Budi Utomo KukuhW, ME.

Dr. Ir. Abdullah Shahab, MSc.

Dr. Eng. Prabowo, M.Eng.

Dr. Ir. Agus Sigit Pramono, DEA.

Prof. Dr. Ing. I Made Londen Batan, ME.

Prof. Dr. Ir. Johny Wahyuadi Soedarsono, DEA.

Dr. Ir. Suhanan, DEA.

Dr. Ir. Berkah Fajar T., Dipl.Ing.

Dr. Ir. Iwan Kusmarwanto

Dr. Ing. Harwin Saptoadi, MSc.

Mesin-Mesin Konversi Energi - Jurusan Teknik Mesin ITS

Automotive - Jurusan Teknik Mesin ITS

Mekanika&Mesin Fluida - Jurusan Teknik Mesin ITS

Vibrasi&Sistem Dinamis - Jurusan Teknik Mesin ITS

Sistem Manufaktur&Otomasi Industri - Jurusan Teknik Mesin ITS

Perpindahan Panas&Termodinamika Terapan - Jurusan Teknik Mesin ITS

Metalurgi - Jurusan Teknik Mesin ITS

Perpindahan Panas&Termodinamika Terapan - Jurusan Teknik Mesin ITS

Mekanika Benda Padat - Jurusan Teknik Mesin ITS

Metrologi&Kalibrasi Dimensi - Jurusan Teknik Mesin ITS

Departemen Metalurgi dan Material -UI

Perpindahan Panas - Jurusan Teknik Mesin UGM

Perpindahan Panas & Massa - Jurusan Teknik Mesin UNDIP

Praktisi Industri, Ahli Aeronautics

Teknik Pembakaran - Jurusan Teknik Mesin UGM

Tata Pelaksana Usaha

Sri Suharti, BA

Imam Dahroni

**Jurnal Teknik Mesin diterbitkan oleh
Jurusan Teknik Mesin FTI - ITS**

E-mail : jurnalme@me.its.ac.id,

jurnalme@yahoo.co.id

Website : www.me.its.ac.id/Data/jurnal.html,

jurnalme.bravehost.com

Alamat Redaksi

Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS

Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

Telp. 031- 5922941, 5946230, Fax. 031-5922941

Penyunting menerima sumbangan tulisan yang belum pernah diterbitkan dalam media lain.

Naskah diketik mengikuti Persyaratan Naskah Jurnal Teknik Mesin

seperti tercantum pada bagian dalam sampul belakang Jurnal Teknik Mesin.



Jurnal TEKNIK MESIN

Volume 10 Nomor 2, Mei 2010

ISSN 1411 – 9471, TERAKREDITASI Nomor : 43/DIKTI/Kep/2008

- Pengembangan Model Pembentuk Obyek 3D Menggunakan Metode Deposisi Fusi Polypropelene
A.E. Tontowi, E. Yuniarto

halaman 79 - 89

- Studi Komparasi Simulasi Numerik Aliran Melintasi Dua Silinder Teriris (Tipe I-65°) dan Dua Silinder Sirkular Tersusun Tandem ($L/D = 1,5$) akibat Pengaruh Dinding Datar Pada Berbagai Jarak Gap (G/D)
Wawan Aries Widodo, Triyogi Yuwono, Heru Mirmanto

halaman 90 - 98

- Pengaruh Ukuran Butir Zeolite pada Axial Flow Catalytic Converter terhadap Unjuk Kerja dan Emisi Gas Buang (CO & HC) Motor Otto Empat Langkah
Slamet Wahyudi, Wahyu Sucahyono

halaman 99 - 107

- Pengukuran Konsumsi Udara pada Komponen Penumatik. Bagian 1. Pengujian Statis dan Dinamis Karakteristik Sensor Aliran
Harus Laksana Guntur, Denny Ghofar

halaman 108 - 114

- Pengaruh Penggunaan Campuran Bahan Bakar Bensin-Etanol 10% Volume Terhadap Emisi Gas Buang Pada Kendaraan Hibrida Honda Civic
Iman K.Rekswardojo, Very Ahmad, Prawoto, Puji Lestari
Bagus A. Nugroho, Wiranto Arismunandar

halaman 115 - 122

- Effect of Cutting Edge Geometry, Cutting Speed and Feed on Cutting Force When Turning Hardened Steel Using Ceramic Cutting Tool
Hendriko

halaman 123 - 128

- Analisis Sifat Mampu Bentuk Baja Lembaran Dingin Hasil Proses Anil Untuk Aplikasi Press Forming
Alfirano

halaman 129 - 135

- Disain Kontroler Optimal Kuadratik (LQR) untuk Pengaturan Rasio Kecepatan Motor Induksi pada Sistem CVT Flexible Transmission
Mohammad Abu Jami'in, Ali Imron As, Susetyadi Purwonugroho

halaman 136 - 141

- Analisis Sifat Fisis dan Mekanis Coran Lug dari Paduan Aluminium dengan Cetakan Logam
Indreswari Suroso

halaman 142 - 146



Disain Kontroler Optimal Kuadratik (LQR) untuk Pengaturan Rasio Kecepatan Motor Induksi pada Sistem CVT Flexible Transmission

Mohammad Abu Jami'in⁽¹⁾

Ali Imron As⁽²⁾, Susetiyadi Purwonugroho⁽³⁾

^(1,3) Staff Pengajar, Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal

⁽²⁾ Staff Pengajar, Jurusan Teknik Bangunan Kapal

Politeknik Perkapalan Negeri – ITS, Surabaya-60111

e-mail: jammy@elect-eng.its.ac.id

Diterima 08 Mei 2009; diterima terkoreksi 18 Agustus 2009; disetujui 08 Februari 2010

Abstract

This paper gives the explanation about design of optimal controller. The controller control shaft speed using CVT system (Flexible Transmission CVT). CVT fixed on output shaft of the induction motor and the Shaft speed will be controlled by turning position of spindle in the CVT system using voltage adjustment of direct current motor. Based on LSE method, the dynamic modeling of the CVT system can be found, and then the mathematic modeling of the response between the angular speed and the voltage of direct current motor. The purpose of the state feedback of optimal controller LQR (Linier Quadratic Regulator) are controlling shaft speed, minimize the performance index of the steady state error and the energy drive. Based on analysis of optimal state feedback controller using LQR formulation, will be found the gain of the state feedback, those are state x_1 (speed) 2.5067, state of x_2 (acceleration) 2.6753, state of x_3 (gradient of acceleration) 1.9728, and gain of integral 0.7683. The result of implementation of the state feedback optimal controller in the CVT system can improve the speed response of CVT. The result after using gain state feedback controller in CVT system have steady state error 0% and performance index minimum 184.83, and before using the gain of the state feedback controller it have steady state error 14.46% and performance index minimum 233.44.

Keywords: cvt flexible transmission, control of ratio, speed response, lqr controller, gain state feedback, index performance, error of steady state.

Motor induksi memiliki karakteristik kecepatan putar yang merupakan fungsi dari frekuensi sumber listrik dan slip motor. Umumnya frekuensi sumber listrik yang tersedia adalah konstan, dan slip motor berubah ubah tergantung daya dan torsi beban. Pengaturan kecepataan putar motor induksi ke beban dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu: secara elektrik menggunakan frekuensi inverter melalui pengaturan frekuensi sumber, dan secara mekanik menggunakan CVT (*Continuous Variable Transmission*) [1].

CVT adalah sistem transmisi poros antara penggerak dan beban dengan rasio kecepatan putar yang dapat diatur. Pengaturan rasio dilakukan dengan mengatur posisi spindle CVT menggunakan motor DC sebagai actuator penggerak, yaitu dengan mengatur

tegangannya melalui pengaturan posisi potensiometer putar.

Pengukuran input output sistem CVT dilakukan menggunakan modul akuisisi data PCI industri Advantech 1710. Input dan output pengukuran merupakan besaran analog dengan konversi 1 volt sebanding dengan 200 rpm. Hasil pengukuran input dan ouput sistem CVT dimodelkan dalam bentuk fungsi transfer model diskrit dengan *time sampling* 0,2 [2].

Berdasarkan model tersebut, dirancang kontroler untuk mengendalikan kecepatan putar motor induksi menggunakan kontroler *optimal* kuadratik LQR (*Linier Quadratic Regulator*). Sasaran atau kriteria pengendalian optimal adalah untuk meminimalkan *error* dan meminimalkan *energy drive*.

Sistem transmisi CVT telah banyak digunakan baik industri di darat (land use) maupun industri di laut (marine use). Umumnya sasaran dari pengaturan rasio menggunakan sistem transmisi CVT adalah untuk kenyamanan berkendaraan, reduksi emisi gas buang dan sekaligus untuk meminimalkan konsumsi bahan bakar spesifik [3].

Identifikasi Sistem

Identifikasi sistem dilakukan untuk memperoleh model yang memiliki dinamika yang sama dengan hasil pengukuran input output sistem CVT. Diagram skematik untuk memperoleh model dinamis sistem CVT ditunjukkan pada Gambar 1. Representasi model dinamis sistem dalam bentuk persamaan beda adalah sebagai berikut [4],

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

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 diformulasikan dalam persamaan (2) [5]. Pencarian titik optimal dengan criteria jumlah kuadrat error terkecil dilakukan dengan metode gradien, yaitu mendifferensialkan J terhadap θ ,

$$\begin{aligned} [Y - \Phi\theta]^T [-\Phi] &= 0 \\ -Y^T\theta + \theta^T [\Phi^T\Phi] &= 0. \end{aligned}$$

Sehingga diperoleh nilai parameter estimasi θ yaitu,

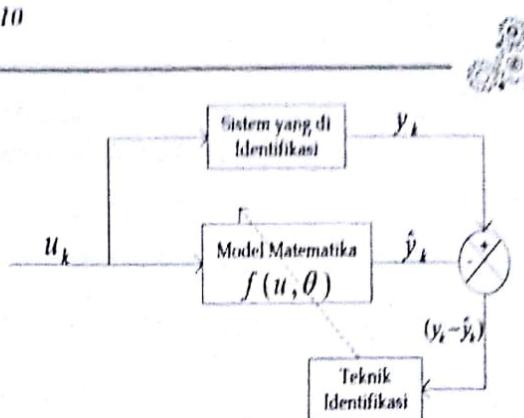
$$\theta = (\Phi^T\Phi)^{-1}\cdot\Phi^T Y. \quad (2)$$

$$J = \sum_{k=1}^N e^2(k) = E^T \cdot E. \quad (3)$$

dimana nilai error E ,

$$E = Y - \Phi\theta. \quad (4)$$

Rasio kecepatan secara geometris diformulasikan sebagai,



Gambar 1. Diagram Blok Identifikasi Parameter Sistem [2]

$$Rg = \frac{R_1}{R_2}. \quad (5)$$

Rasio kecepatan dari hasil pengukuran sensor kecepatan di output dan input CVT adalah:

$$n = \frac{\omega_2}{\omega_1}. \quad (6)$$

Hubungan antara radius pulley primer saat running terhadap posisi aksial spindel CVT seperti pada Gambar 2 diformulasikan sebagai berikut [6,7]:

$$R_{1r} = R_{1min} + \frac{x}{2tg(\delta)}. \quad (7)$$

$$\sin(\delta) = \frac{R_2 - R_1}{a}. \quad (8)$$

Radius pulley sekunder dapat dihitung menggunakan persamaan (7),

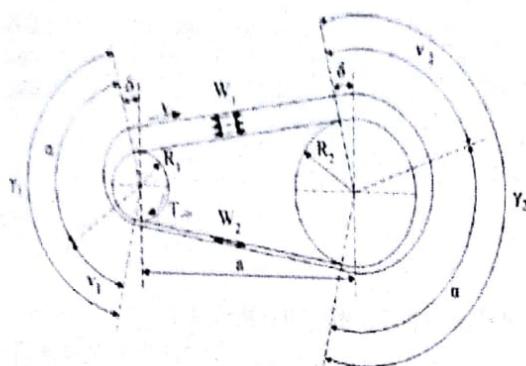
$$R_2 = R_1 - \frac{a\pi}{2} + \sqrt{\frac{a^2\pi^2}{4} - 2a\pi R_1 - 2a^2 + aL} \quad (9)$$

dimana,

L = Panjang lintasan belt penghubung pulley primer dan sekunder.

Sifat non linieritas dari sistem CVT akibat perubahan bentuk geometris sistem CVT pada persamaan 9 dianalisa menggunakan formulasi describing function dengan mengatur rasio CVT dalam 9 kondisi (nilai rasio) dan mencari fungsi transfernya pada tiap kondisi tersebut menggunakan model orde dua sebagai mana ditunjukkan pada persamaan (10) [8],

$$\frac{y(s)}{x(s)} = \frac{k(s+a)}{(s+b)(s+c)}. \quad (10)$$



Gambar 2. Bentuk geometris CVT Flexible Transmission [6,7]

Kontrol Optimal LQR

Sebuah kontrol optimal dirancang berdasarkan optimasi untuk meminimalkan fungsi kriteria tertentu yang disebut sebagai indeks performance. Kontroler bekerja dengan mengatur sinyal kontrol (u_k) untuk meminimalkan indeks performance (J). Penyelesaian analitik untuk mendapatkan solusi pada masalah kontrol optimal (solvable) adalah linieritas sistem, sedangkan indeks performance mengacu pada indeks performance kuadratik yang disebut dengan kontroler LQR (*Linier Quadratic Regulator*).

Dalam bentuk persamaan *state* dinamika sistem linier model diskrit ditunjukkan pada persamaan (10) [4].

$$x(k+1) = A.x(k) + B.u(k). \quad (10)$$

dengan,

$x(k)$ = Vektor State (n – vektor)

$u(k)$ = Vektor Kontrol (r – vektor)

A = ($n \times n$, matrik non singular)

B = ($n \times r$ matrik)

Indeks performance kuadratik pada interval waktu finit ($0 \leq k \leq N$) ditunjukkan pada persamaan (11).

$$J = x'(N)Sx(N) + 0.5 \sum_{k=0}^{N-1} [x'(k)Qx(k) + u'(k)Ru(k)]. \quad (11)$$

dimana,

Q = $n \times n$ (positive definit atau positive semi definit, matrik hermitian / matrik simetrik real)

R = $r \times r$ (positive definit, matrik hermitian),

$S = n \times n$ (positive definit atau positive semi definit, matrik hermitian).

Matrik Q , R , dan S dipilih sebagai bobot pada indeks performance. Untuk memperoleh urutan sinyal kontrol $u(0), u(1), u(2), \dots, u(N-1)$ yang memenuhi kriteria indeks performance kuadratik (J) dilakukan dengan penyelesaian persamaan Ricati. Oleh karenanya, persamaan state (13) dan indeks performance (14) ditransformasikan dalam bentuk persamaan Ricati. Vektor kontrol optimal (u_k) diperoleh dalam bentuk state feedback, ditunjukkan pada persamaan (12),

$$u(k) = -K(k).x(k). \quad (12)$$

dimana, $K(k)$ = gain matrik state feedback.

Bentuk persamaan Ricati hasil transformasi adalah,

$$p(k) = Q + A'p(k+1)A[I + BR^{-1}B'p(k+1)]^{-1}A. \quad (13)$$

$p(k+1)$ adalah matrik positive definit atau matrik positive semi definit. Parameter $p(k+1)$ diperoleh melalui penyelesaian persamaan Ricati dengan melakukan iterasi $p(k)$ menggunakan persamaan (13), sedangkan Matrik gain state feedback $K(k)$ diperoleh menggunakan persamaan (14),

$$K(k) = R^{-1}B'[P^{-1}(k+1) + BR^{-1}B']^{-1}A. \quad (14)$$

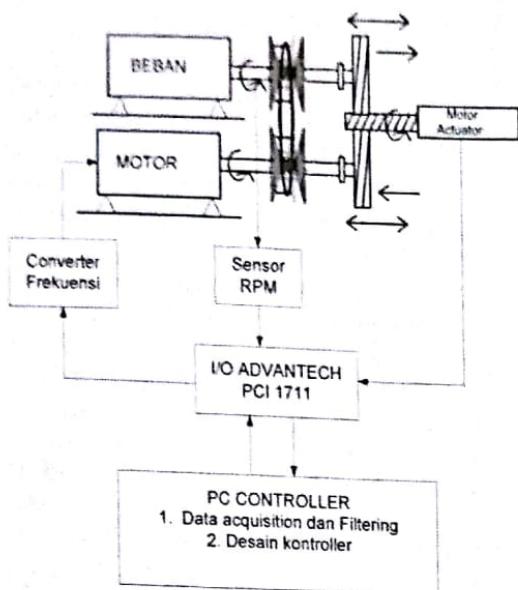
Kontrol optimal (u_k) diperoleh dengan substitusi persamaan 14 dengan persamaan (12).

Metode Penelitian

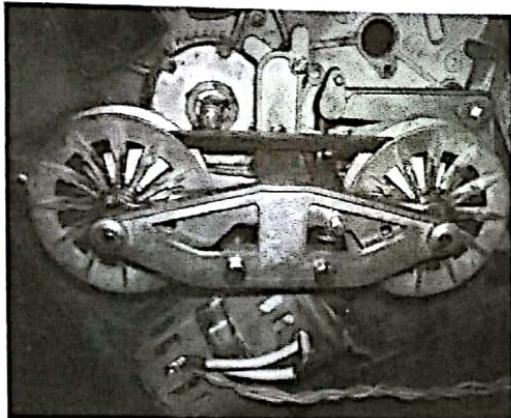
Tahapan yang dilakukan untuk mendapatkan response sistem kontrol dengan kriteria optimal kuadratik (LQR) adalah:

- Identifikasi sistem untuk mendapatkan model dinamis sistem dalam bentuk persamaan fungsi transfer diskrit.
- Desain kontrol optimal kuadratik regulator (LQR).
- Pengujian kontrol optimal untuk mendapatkan response dinamik dari kontroler.

Skematik diagram rancangan hardware CVT dan sistem akuisisi data ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4 [9].



Gambar 3. Skematic diagram rancangan CVT dan sistem akuisisi data I/O plant CVT Flexible Transmission



Gambar 4. CVT Flexible Transmission

Disain kontrol optimal digunakan persamaan state untuk memperoleh persamaan Ricati, sehingga fungsi transfer diskrit harus diubah menjadi persamaan state,

$$\frac{y(z)}{x(z)} = \frac{b_0 z^{-3} + b_1 z^{-2} + b_2 z + b_3}{z^{-3} + a_1 z^{-2} + a_2 z^{-1} + a_3}. \quad (15)$$

Transformasi kedalam bentuk persamaan state adalah,

$$x(k+1) = \begin{bmatrix} -a_1 & 1 & 0 \\ -a_2 & 0 & 1 \\ -a_3 & 0 & 0 \end{bmatrix} x(k) + \begin{bmatrix} b_1 - a_1 b_0 \\ b_2 - a_2 b_0 \\ b_3 - a_3 b_0 \end{bmatrix} u(k). \quad (16)$$

$$y(k) = [1 \ 0 \ 0] x(k) + [b_0] u(k). \quad (17)$$

Bobot indeks performance optimal pada persamaan (14) adalah,

$$Q = [0,1 \ 0 \ 0 \ 0; 0 \ 1 \ 0 \ 0; 0 \ 0 \ 1 \ 0; 0 \ 0 \ 0 \ 1];$$

$$R = [1].$$

Analisa dan Pembahasan

Analisa untuk mencari model dinamis dari plant dilakukan dalam dua tahap yaitu:

1. Menentukan orde polinomial model dengan cara iterasi dari model orde 1 sampai model orde 3.
2. Mencari parameter model dari orde satu sampai orde 3 dengan metode LSE yang diformulasikan dalam persamaan (2).

Dengan memperhatikan sifat non linieritas dari model CVT [6,7,8], maka dilakukan pemodelan sistem dengan mengambil beberapa posisi CVT yaitu $0^\circ, 60^\circ, 120^\circ, 270^\circ$. Hasil dari pengukuran input dan output dari keempat posisi tersebut dimodelkan dengan iterasi orde satu sampai orde 3 [2]. Berdasarkan analisa yang diperoleh dengan menggabungkan empat kelompok data hasil pengujian pada posisi tuas $0^\circ, 60^\circ, 120^\circ, 270^\circ$, dapat disimpulkan bahwa model sistem CVT flexible transmission yang terbaik dengan kriteria jumlah kuadrat error terkecil adalah model dengan orde 3 dengan jumlah kuadrat error 0.65191, yaitu [2],

$$\frac{y(z)}{x(z)} = \frac{0.1458 z^{-1} + 0.0034 z^{-2} - 0.0101 z^{-3}}{1 - 1.156 z^{-1} + 0.3018 z^{-2} - 0.00663 z^{-3}}$$

Konversi fungsi transfer diskrit dalam bentuk persamaan state diperoleh,

$$A = [1.156 \ 1 \ 0; -0.3018 \ 0 \ 1; 0.00663 \ 0 \ 0];$$

$$B = [0.1458; 0.0034; 0.0101];$$

$$C = [1 \ 0 \ 0]; D = [0].$$

Disain dan pengujian kontrol optimal menggunakan program Matlab, selanjutnya hasil perhitungan dari pemrograman Matlab untuk disain kontroler diuji untuk mengetahui response sistem kontrol sebelum dan sesudah penambahan kontroler menggunakan simulink. Disain pengujian kontroler menggunakan



Matlab Simulink ditunjukkan pada Gambar 5. Solusi persamaan Ricati dengan 150 iterasi diperoleh matrik $P(k)$, positif definit,

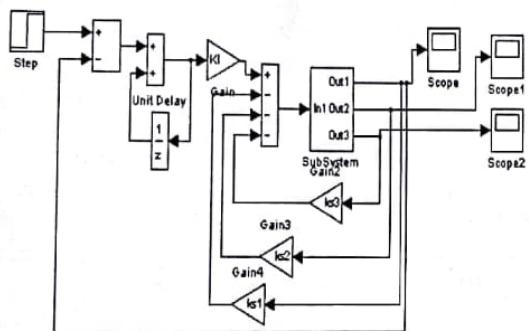
$$P = \begin{bmatrix} 158268 & 164665 & 141086 & -5,177 \\ 164665 & 185074 & 126718 & -5,1463 \\ 141086 & 126718 & 129141 & -2,5786 \\ -5,1770 & -5,1463 & -2,5786 & 3,4514 \end{bmatrix}$$

Dengan mensubstitusikan solusi Ricati $P(k)$ pada persamaan (14) diperoleh gain state feedback,

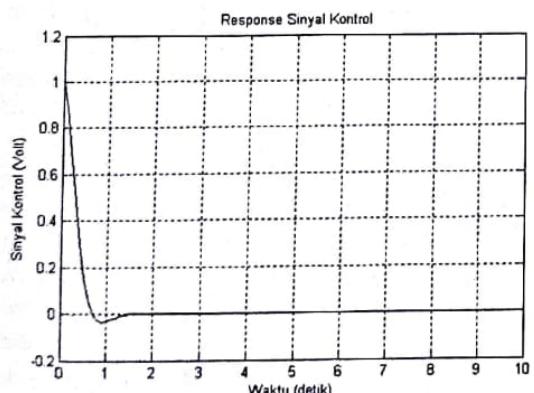
$$K = [2.5057 \quad 2.6753 \quad 1.9728]$$

$$\text{Gain Integral} = [0.7683]$$

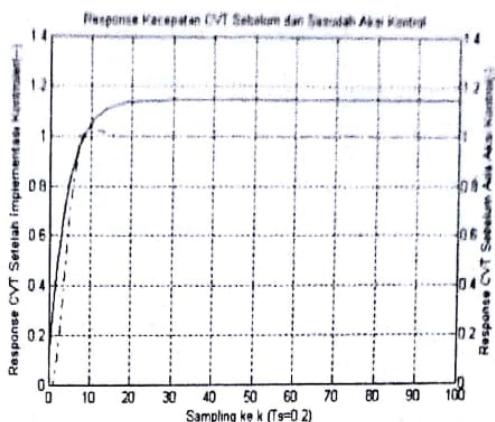
Substitusi gain matrik state feedback pada persamaan (12), diperoleh sinyal kontrol u_k , hasilnya ditunjukkan pada Gambar 6. Sinyal kontrol u_k diinputkan pada plant yang dikendalikan CVT, sehingga diperoleh hasil yang ditunjukkan pada Gambar 7.



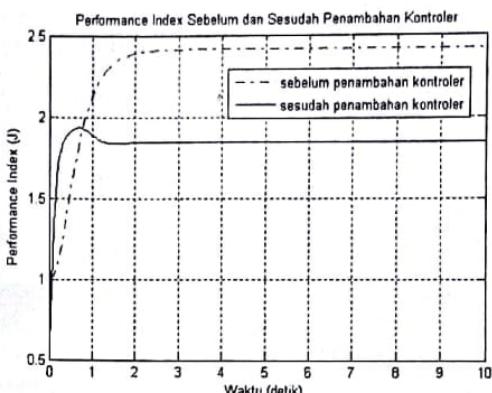
Gambar 5. Pengujian kontroler menggunakan Matlab Simulink



Gambar 6. Response sinyal kontrol optimal pada sampling ke k



Gambar 7. Response Sistem Kontrol Pengendalian Kecepatan CVT Sebelum dan Sesudah Penambahan Kontroler



Gambar 8. Response Indeks Performance (J) Sebelum dan Sesudah Penambahan Kontroler

Pada Gambar 7 terlihat bahwa sinyal kontrol mula-mula tinggi kemudian menurun, hal ini disebabkan tingginya sinyal kontrol untuk memperkecil error pada kondisi transient. Ketika setting output sistem CVT sesuai dengan setting referensi kecepatan yang diinginkan maka sinyal kontrol bernilai nol yang berarti tidak ada aksi kontrol karena tidak ada error.

Gambar 7 adalah response pengendalian kecepatan sebelum dan sesudah penambahan kontroler. Pada gambar tersebut terlihat bahwa sebelum penambahan kontroler sistem CVT memiliki steady state error 14,46%, dan setelah penambahan kontroler sistem CVT memiliki error 0%. Grafik indeks performance kontrol optimal (J) fungsi dari waktu sebelum penambahan kontroler (grafik warna hijau) dan



sesudah penambahan kontroler (grafik warna biru) ditunjukkan pada Gambar 8.

Berdasarkan grafik response indeks performance pada Gambar 8, jumlah indeks performance sampai sampling ke 100 diperoleh nilai J sebelum penambahan kontroler 233,44. Sesudah penambahan kontroler optimal nilai J dapat dikurangi menjadi 184,83 atau turun 20,8%. Dengan demikian, penambahan kontroler optimal dengan bobot steady state error 50% dan minimum energy drive 50% kriteria performance J dapat diturunkan sampai 20,8% dibanding dengan sebelum penambahan kontroler.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisa dan pembahasan yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan yaitu:

1. Berdasarkan hasil penyelesaiaan persamaan Ricati, parameter titik optimal diperoleh dengan memberikan umpan balik gain state feedback untuk state $x_1(k)=2,5057$, $x_2(k) = 2,6753$, $x_3(k)=1,9728$, dan gain integral 0,7683.
2. Pada Penambahan kontroler optimal state feedback LQR dengan tujuan meminimalkan indeks performance (J), diperoleh penurunan indeks performance 20,8%, yaitu sebelum penambahan kontroler $J = 233,44$, dan setelah penambahan kontroler $J = 184,83$ pada sampling ke 100.
3. Response dinamik pengatur kecepatan melalui CVT diperbaikai dengan menambah kontroler optimal state feedback, sehingga diperoleh perbaikan response dengan error steady state 0%, sedangkan error steady state sebelum penambahan kontroler 14,46%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Jami'in, M. A., 2008, "Desain Kontroler JST State Feedback Optimal Untuk Pengendalian Kecepatan Pada Sistem CVT Dengan Penggerak Motor Induksi", *Tesis Master Program Studi Teknik Sistem Pengaturan*, ITS, Surabaya.
- [2] Jami'in, M. A. & Endrasmono, J., 2009, "Pemodelan Response Kecepatan Putar Motor Induksi dengan Pengaturan Rasio Flexible Transmission CVT", *Jurnal Teknik Mesin*, Vol. 9, No. 1, 38-47, ITS, Surabaya.
- [3] Bonsen, Klaassen B, Pulles R.J, Simons S.W.H, Stein Buch M., & Veenhuizen P.A., 2005, "Performance Optimisation of the push – belt CVT by variator slip control", *International Journal Vehicle Design*", Vol. 39, No. 3, 232 – 256.
- [4] 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.
- [5] Klaassen B., Meraakker K.G.O van de T.W.G.L., Venhuizen P.A., & Steinbuch, M., 2003, "Analysis of slip in a continuously variable transmission", *Proceedings of IMECE 2003*, No. 41360.
- [6] Meesters J.A.C., 2006, "Identification and control of the EMAct CVT", *Master's thesis, Technische Universiteit Eindhoven Department Mechanical Engineering Dynamics and Control Technology Group*, Eindhoven.
- [7] Isa Rachman, 2007, "Desain Nonlinier Feedback Controller pada Pengaturan Kecepatan Continuous Variable Transmission", *Prosiding Seminar Nasional Pasca sarjana VII*, Vol. 1, 2 Agustus, ITS, Surabaya.
- [8] 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, ITS, Surabaya.