

Simulasi sistem kontrol posisi motor DC dengan umpan balik kecepatan kontroler-observer untuk meningkatkan *trackability* terhadap *position command*.

R. Lulus Lambang G. Hidayat^{1,*}, Budi Santoso¹

¹Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret Surakarta,
Jln Ir. Sutami 36a Kentingan Surakarta 57124, Indonesia

*lulus_l@yahoo.com, lulus_l@staff.uns.ac.id

Abstrak

Paper ini menyajikan metode baru untuk menentukan gain umpan balik kontroler-observer yang digunakan pada sistem kontrol posisi motor DC. Metode ini dikembangkan untuk sistem kontrol posisi motor DC yang mempunyai *loop* minor kecepatan dan *loop* mayor umpan balik posisi. Gain pertama yaitu gain umpan balik kecepatan dan gain kedua adalah gain kontroler-umpan balik yang diletakkan sebelum *plant*. Simulasi sistem kontrol posisi motor DC magnet permanent dilakukan untuk menentukan unjuk kerja daripada metode yang diajukan ini. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem kontrol posisi motor DC dengan gain umpan-balik kecepatan, H_i dan gain kontroler-umpan balik, H_o mempunyai *trackability* yang lebih baik secara signifikan dibandingkan dengan sistem kontrol posisi motor DC dengan gain umpan balik sama dengan 1 dan gain umpan-balik berupa kontroler-observer.

Kata kunci : kriteria stabilitas Routh, kontroler-observer, motor DC, motor-servo, umpan-balik

PENDAHULUAN

Motor DC magnet permanen adalah motor yang banyak digunakan dalam motor-servo. Struktur servo terdiri dari motor DC magnet permanen dan sistem kontrol yang dilengkapi umpan balik kecepatan dan/atau umpan balik posisi [1,2,3]. Kontrol motor-servo atau motor DC dengan kontrol umpan-balik telah banyak dipelajari terutama bagaimana sistem kontrol diterapkan sehingga diperoleh tujuan-tujuan kontrol yaitu memperbaiki respon transien, mengurangi *steady-state error* dan mereduksi sensitivitas terhadap perubahan parameter beban [3, 4, 5].

Paper ini menyajikan metode baru untuk menentukan suatu gain umpan balik kecepatan H_i dan gain kontroler umpan-balik H_o yang digunakan pada suatu sistem kontrol posisi motor DC. Metode ini dikembangkan berdasarkan kriteria stabilitas Routh. Dengan metode ini diperoleh hubungan sederhana antara nilai gain umpan-balik kecepatan H_i dengan nilai gain kontroler H_o . Blok kontroler dengan gain H_o ini diletakkan sebelum *plant*. Strategi kontrol ini selanjutnya dibandingkan dengan strategi kontrol lain, yaitu strategi kontrol dengan nilai gain H_i dan H_o sama

dengan 1, dan strategi kontrol dengan H_i sebagai kontroler-observer dan $H_o = 1$.

Simulasi sistem kontrol posisi motor DC magnet permanen selanjutnya dilakukan untuk menentukan unjuk kerja daripada metode yang diajukan ini. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem kontrol posisi motor DC dengan gain H_i dan H_o mempunyai *trackability* yang lebih baik secara signifikan dibandingkan dengan sistem kontrol posisi motor DC dengan strategi-strategi kontrol yang lain seperti dijelaskan dalam bab Metode Penelitian.

Sistem kontrol motor-servo dengan menggunakan umpan-balik kecepatan dan umpan-balik posisi telah dikembangkan sebagai sistem kontrol PIV (*proportional/position, integral and velocity*) [5]. Sistem kontrol ini menggunakan estimasi kecepatan dari umpan-balik posisi yang diumpan ke blok kontroler integral dan blok kontroler proporsional. Dalam penelitian ini, sistem kontrol posisi menggunakan umpan-balik kecepatan untuk mendapatkan selisih tegangan sebagai input motor DC. Perbedaannya dengan sistem kontrol PIV adalah bahwa sinyal kecepatan diperoleh langsung dari output

sensor kecepatan dan tidak diperoleh dengan cara estimasi berdasarkan pengukuran posisi.

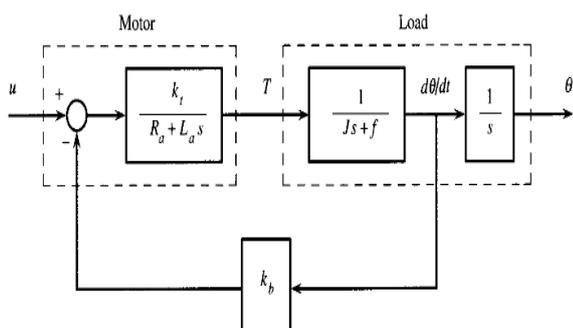
Materi yang disajikan dalam paper ini disusun sebagai berikut. Bab 2 membahas Dasar Teori dan Tinjauan Pustaka. Bab 3 menjelaskan metode penelitian yang meliputi metode baru untuk menentukan gain sistem kontrol posisi motor DC. Bab 4 menjabarkan hasil penelitian dan pembahasan dan Bab 5 berisi tentang kesimpulan penelitian ini.

DASAR TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA

Sistem servomotor dengan kontrol *feedback*

Konsep-konsep kontrol pada sistem kontrol gerak motor-servo tidak banyak berubah selama bertahun-tahun. Sistem kontrol *closed-loop* motor-servo, terutama jika dibandingkan dengan kontrol *open-loop*, telah dapat memperbaiki sifat transien dan mereduksi sensitifitas terhadap perubahan parameter dan perubahan beban. Contoh fluktuasi parameter adalah perubahan pada input daya dari jala-jala listrik dan contoh perubahan beban adalah perubahan inersia atau massa beban dan adanya gangguan torsi pada poros pada saat motor-servo bekerja [6, 9].

Struktur servo terdiri dari motor DC dengan pengaturan jangkar (*armature controlled DC motor*) seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Input sistem, u adalah *control law* yaitu berupa fungsi tegangan jangkar, dan output sistem adalah sudut rotasi. Sistem servo yang ditunjukkan ini menggunakan umpan-balik kecepatan. Suku $d\theta/dt$ diumpan balik ke blok umpan balik dengan gain k_b dan untuk selanjutnya dibandingkan dengan nilai dari *control law*, u .



Gambar 1. Diagram blok motor-DC pengaturan jangkar [9].

Gambar 1 menunjukkan diagram blok motor-DC pengaturan jangkar dengan:

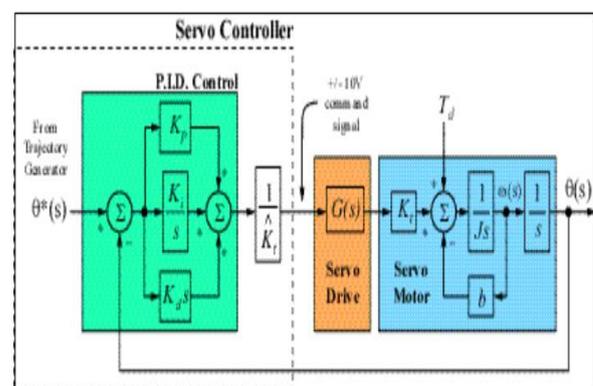
u = input (*control law*)

T = torsi poros motor

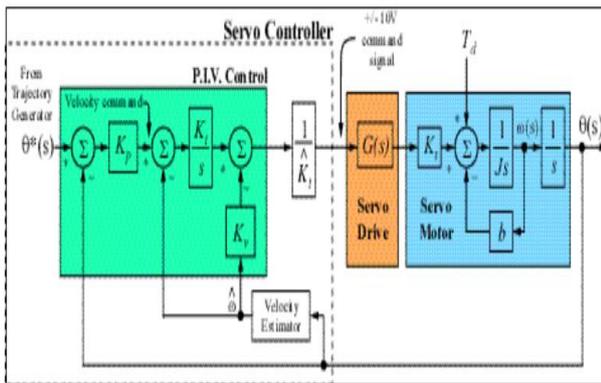
$d\theta/dt$ = kecepatan sudut / putaran poros motor

θ = posisi / sudut putaran poros motor.

Secara umum persoalan kontrol motor-servo dikelompokkan menjadi: *command tracking* dan *disturbance rejection* [1, 2, 5, 9]. Persoalan *command tracking* membahas bagaimana perintah gerakan (*command*) dari pengguna dapat diikuti oleh output sistem dengan cukup akurat tanpa ada kesalahan. Persoalan *disturbance rejection* diselesaikan dengan menerapkan kontroler PID atau PIV. Selain fungsi *disturbance rejection*, kedua kontroler tersebut mempunyai unjuk kerja *command tracking* tertentu. Kontroler PID bekerja berdasarkan selisih antara posisi sesungguhnya (output sistem) dengan posisi *setting*, seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Sehingga *control law* sistem ini ditentukan oleh pilihan parameter kontrolernya yaitu: K_p , K_i dan K_d . Sedangkan kontroler PIV bekerja dengan mengkombinasikan *loop* posisi dan *loop* kecepatan seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Gambar 3 menunjukkan *error* posisi dikalikan dengan K_p untuk mendapatkan *velocity correction command* dan suku integral K_i langsung diberikan pada *velocity error* untuk menghasilkan *control law* [5] Gambar 2 dan Gambar 3 menggunakan asumsi fungsi transfer motor sama dengan 1.



Gambar 2. Basic PID servo control topology [5]

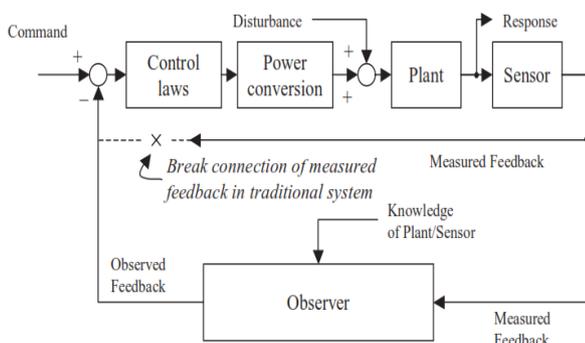


Gambar 3. Basic PIV sensor control topology [5]

Persoalan daripada struktur kontroler seperti Gambar 2 dan 3 adalah dalam hal pemilihan gain, yaitu suku-suku K_p , K_i dan K_d pada kontroler PID dan PIV. Kontroler PID menunjukkan karakteristik *overshoot* dan *settling time* yang berkaitan erat sehingga sulit untuk menentukan nilai masing-masing gain tersebut secara terpisah. Sebaliknya, kontroler PIV merupakan metode untuk melepaskan-gandeng *overshoot* dan *settling time* sehingga memudahkan set-up dan pada akhirnya menghasilkan karakteristik *disturbance rejection* yang lebih baik dibandingkan kontroler PID [5].

Kontroler-berbasis-observer

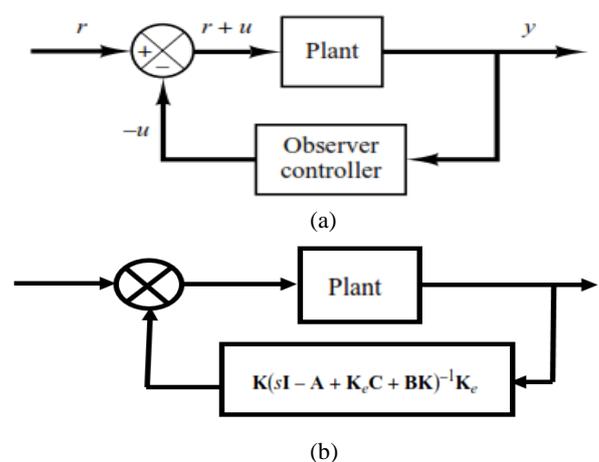
Suatu observer bekerja menggunakan informasi (parameter) sistem kontrol dan sinyal umpan-balik dari output pengukuran sistem menggunakan sensor. Sensor bekerja mengukur *state-space* dari sistem yang kemudian digunakan untuk menghasilkan *control law* seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Peran observer dalam suatu sistem kontrol [7].

Keuntungan menggunakan observer adalah observer memberikan sinyal umpan balik yang lebih akurat dari sinyal sensor, observer dapat bekerja bersama-sama dengan sensor mutu rendah untuk menghasilkan sinyal umpan-balik yang baik seperti jika menggunakan sensor dengan mutu tinggi [9], dan dalam kasus ekstrim observer dapat menggantikan atau menghilangkan pemakaian suatu sensor. Kerugian dari observer adalah memerlukan tambahan kalkulasi dan kurang tangguh (*robust*) dibandingkan dengan sensor terutama jika parameter *plant* berubah drastis selama *plant* bekerja [7].

Output blok observer diumpan-balik ke blok kontroler untuk menghasilkan *control law*. Maka struktur kontroler seperti ini menjadi kontroler basis-observer dan diagram bloknya ditunjukkan pada Gambar 5a. Selanjutnya persoalan disain kontroler-observer adalah menentukan K_e dan K seperti ditunjukkan pada Gambar 5b. Gain observer K_e ditentukan sedemikian untuk mendapatkan karakteristik observer yang diinginkan sedangkan gain kontrol K ditentukan untuk mendapatkan persamaan karakteristik sistem yang diinginkan. Dalam penelitian ini karakteristik sistem yang diinginkan mempunyai koefisien peredaman sebesar 0,6. Gain kontroler-observer K_e ditentukan sama dengan -5 (lihat Gambar 5b).

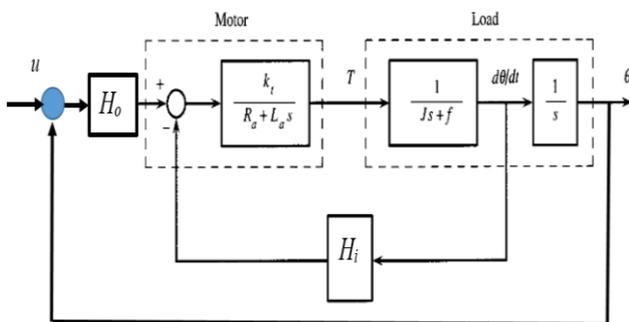


Gambar 5. (a) Diagram blok sistem dengan kontroler-observer umpan-balik; (b) Gain dari pada blok kontroler-observer [8, 9]

METODE PENELITIAN

Menentukan gain dengan kriteria stabilitas Routh.

Bab ini menjelaskan metode baru untuk menentukan gain umpan balik kecepatan H_i dan gain kontroler H_o . Metode ini dikembangkan menggunakan kriteria stabilitas Routh. Strategi kontrol ini digunakan pada sistem kontrol posisi motor DC dengan umpan-balik kecepatan dan umpan-balik sudut rotasi. Loop minor adalah umpan balik kecepatan dan loop mayor adalah umpan balik posisi. Gain H_i pada loop minor dan gain H_o pada loop mayor seperti ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Diagram blok motor DC pengaturang jangkar dengan umpan balik sudut rotasi.

Gambar diatas mirip dengan Gambar 1 ‘Diagram blok motor DC pengaturang jangkar’ kecuali dengan tambahan umpan-balik sudut rotasi θ dan blok kontroler H_o . Input untuk blok kontroler H_o adalah beda antara sudut rotasi sistem aktual θ dengan sudut rotasi referensi θ^* . Selanjutnya fungsi transfer untuk diagram blok diatas adalah:

$$T = T(s) = \frac{\theta}{\theta^*} = \frac{GH_o}{(1+GH_i)s+GH_o} \quad (1)$$

dengan $G = G(s)$ adalah fungsi transfer plant,

$$G = G(s) = \frac{1}{s^2+2\zeta\omega_n s+\omega_n^2} \quad (2),$$

$H_o = H_o(s)$ adalah fungsi transfer umpan-balik sudut rotasi (konstanta), dan $H_i = H_i(s)$ adalah fungsi transfer umpan-balik kecepatan.

Persamaan karakteristik fungsi transfer

(1) diatas adalah :

$$\Delta(s) = s^3 + 2\zeta\omega_n s^2 + (\omega_n^2 + H_i)s + H_o = 0 \quad (3)$$

Kriteria stabilitas Routh diterapkan untuk memperoleh sistem yang stabil, maka ditentukan nilai untuk H_o dan H_i masing-masing sebagai berikut.

$$(\omega_n^2 + H_i) - \frac{H_o}{2\zeta\omega_n} > 0 \quad (4a)$$

$$\text{dan } H_o > 0 \quad (4b)$$

Selanjutnya dengan menentukan relasi

$H_o = 4\zeta\omega_n H_i$ maka diperoleh:

$$H_i < c\omega_n \text{ dengan } c < \omega_n \quad (5a)$$

$$\text{dan } H_o = 4\zeta H_i \quad (5b)$$

Suku ω_n dan suku ζ masing-masing adalah

$$\omega_n = \sqrt{\frac{R_a f}{L_a J}} \text{ dan } \zeta = \frac{1}{2\omega_n} \left(\frac{f}{J} + \frac{R_a}{L_a} \right).$$

Parameter untuk motor adalah resistor (R_a) dan induktor (L_a), sedangkan parameter beban adalah momen inersia atau massa, (J) dan koefisien gesekan viskos (f).

Untuk nilai L_a/R_a diabaikan (kasus umum motor DC) [8, 9] dan menggunakan diagram blok seperti Gambar 6, maka diperoleh persamaan karakteristik :

$$s(\tau s + 1 + H_i) + H_o = 0$$

$$\text{atau } \tau s^2 + (1 + H_i)s + H_o = 0 \quad (6)$$

Dengan menggunakan kriteria stabilitas Routh [8, 9] diperoleh

$$\frac{H_o}{\tau} > 0. \text{ dengan } \tau = \frac{J}{f} \quad (7a),$$

$$\text{dan } (1 + H_i)H_o > 0 \quad (7b)$$

Menentukan gain dengan tinjauan kontroler-observer

Untuk menentukan unjuk kerja secara kualitatif dari sistem kontrol posisi motor DC dengan gain H_o dan H_i dari metode diatas, maka perlu dibandingkan dengan sistem kontrol posisi motor DC dengan kontroler-observer seperti pada Gambar 5. Dalam penelitian ini gain minor H_i ditentukan sebagai kontroler-observer.

Metode simulasi

Untuk mempelajari efek dari strategi kontrol yang dikembangkan, maka dilakukan simulasi sistem kontrol motor DC magnet permanen dengan parameter sebagai berikut [10]:

(J) momen inersia rotor: 0,01 kg.m²

(f) konstanta gesekan viskos: 0,1 N.m.s

(K_e) konstanta gaya gerak listrik:

0,01 V/rad/sec

- (K_t) konstanta torsi motor: 1,0 N.m/Amp
(data sebelumnya 0,01 N.m/Amp)
(R_a) resistansi listrik 1 Ohm
(L_a) induktansi listrik 0,5 H

Selanjutnya simulasi pertama yaitu simulasi dengan input fungsi tangga (*step function*). Simulasi ini untuk mengetahui karakteristik transien sistem. Simulasi kedua yaitu simulasi untuk menampilkan sudut rotasi poros motor-servo terhadap waktu yang dihasilkan dari suatu perintah *trajectory generator*. *Trajectory generator* menghasilkan fungsi posisi terhadap waktu yang berbentuk trapezoidal. Simulasi dikerjakan menggunakan *software* MATLAB.

Pembahasan hasil simulasi sistem kontrol posisi motor DC dilakukan dengan perbandingan respon tangga dan output sudut rotasi untuk sistem sebagai berikut:

1. Sistem kontrol posisi motor DC dengan L_a/R_a diabaikan. Ini adalah umum untuk model kontrol motor DC [8, 9]. Nilai $H_o = c \cdot \tau$ dengan $c > 0$.
2. Sistem kontrol posisi motor DC dengan parameter tertentu (*given*)

Simulasi output torsi dilakukan pada sistem kontrol posisi motor DC dengan parameter tertentu. Fungsi transfer antara input sudut rotasi referensi θ^* dan output torsi $T(s)$ adalah sebagai berikut:

$$\frac{T(s)}{\theta^*(s)} = \frac{H_o \left(\frac{\left(\frac{K_m}{sL_a + R_a} \right)}{1 + H_i \left(\frac{K_m}{sL_a + R_a} \right) \frac{1}{(sJ + f)}} \right)}{1 + \frac{1}{s(sJ + f)} \left(\frac{\left(\frac{K_m}{sL_a + R_a} \right)}{1 + H_i \left(\frac{K_m}{sL_a + R_a} \right) \frac{1}{(sJ + f)}} \right)} \quad (8)$$

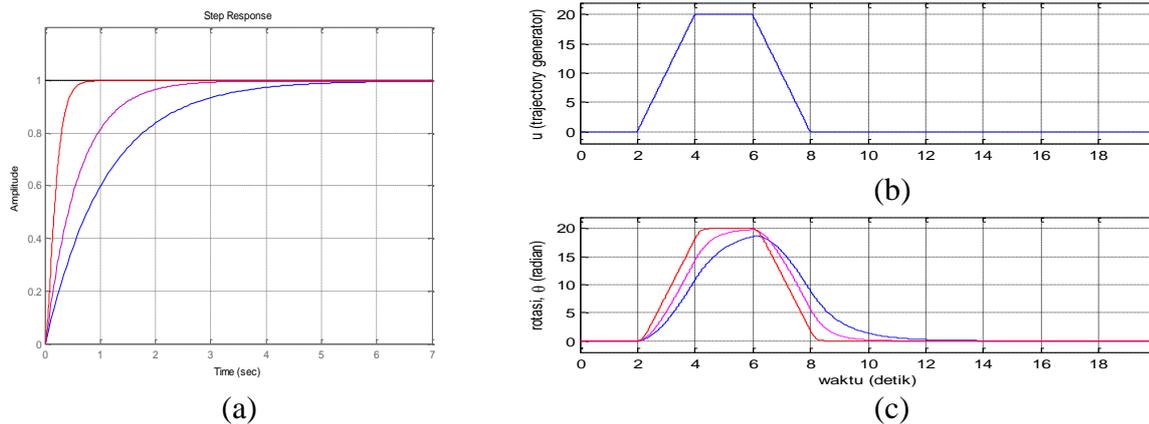
Penurunan persamaan diatas adalah menyusun kembali diagram blok pada Gambar 6 untuk input sudut rotasi referensi dan output torsi. Persamaan (8) ini menunjukkan bahwa H_o adalah gain fungsi transfer yang menentukan *overshoot* dan *settling time*, dan dapat ditentukan secara bebas (*independent*). Tetapi dalam penelitian ini, gain H_o ditentukan berdasarkan gain H_i menurut persamaan (5a, b)

atau (7a, b). Hasil penelitiannya menunjukkan perbaikan unjuk kerja *trackability*. Dengan demikian metode ini dapat menjadi kontribusi baru untuk pengembangan sistem kontrol posisi motor DC.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Simulasi sistem kontrol posisi motor DC dengan L_a/R_a diabaikan.

Output sistem terhadap input tangga menunjukkan karakteristik transien sistem yang antara lain adalah persentase *overshoot* dan *settling time*. Nilai-nilai karakteristik yang diinginkan untuk sistem kontrol posisi motor DC adalah persentase *overshoot* dan *settling time* yang kecil [5]. Kedua nilai tersebut tidak dapat dipenuhi secara simultan (bersama-sama) oleh suatu sistem kontrol pada umumnya. Metode yang dikembangkan dalam penelitian ini berhasil menunjukkan perbaikan respon input tangga sistem dalam hal persentase *overshoot* dan *settling time*, seperti ditunjukkan pada Gambar 7a. Simulasi dilakukan dengan mengubah nilai H_i dan H_o . Selanjutnya dari Gambar 7a ini dapat dilihat kecenderungan bahwa karakteristik transien sistem (persentase *overshoot* dan *settling time*) dapat menjadi semakin kecil dengan memilih gain $H_o = c\tau$, dengan nilai c yang semakin kecil. Dalam simulasi ini, nilai c ditentukan secara *trial and error* sampai diperoleh bentuk respon posisi seperti ditunjukkan pada Gambar 7c.



Gambar 7(a) Respon sistem terhadap input tangga satuan. (b) input *trajectory generator* (c) output berupa sudut rotasi untuk sistem dengan: $H_o = 1, H_i = 1$ (garis biru); $H_o = 5\tau, H_i = H_o$ (garis magenta); $H_o = \tau, H_i = H_o$ (garis merah).

Gambar 7c menunjukkan output *tracking* untuk sistem kontrol posisi motor DC dengan variasi nilai gain: (a) $H_o = 1, H_i = 1$; (b) $H_o = 5\tau, H_i = H_o$; dan (c) $H_o = \tau, H_i = H_o$. Output *tracking* yang terbaik dalam hal ini, diperoleh untuk sistem dengan gain $H_o = \tau$, dan $H_i = H_o$. Kutup-kutup untuk strategi kontrol dengan nilai gain (a), (b) dan (c) masing-masing adalah : $p_1=-109,0833, p_2=-0,9167$; $p_1=-58,2843, p_2=-1,7157$, dan $p_1=-10, p_2=-10$. Hal ini menunjukkan efek H_o dan H_i yang dipilih adalah mempercepat laju penurunan (*decay*) respon sistem.

Simulasi sistem kontrol posisi motor DC dengan parameter tertentu (*given*)

Perhitungan pendahuluan untuk kontroler- observer yang diletakkan sebelum *plant* menunjukkan bahwa sistem dengan strategi ini tidak stabil. Analisis menggunakan kriteria stabilitas Routh seperti ditunjukkan pada Gambar 8.

| | |
|---|---|
| <code>>>routh(sys_obsvr1.den{:})</code> | <code>>>routh(sys_obsvr2.den{:})</code> |
| 0.0050 1.6000 -1.6000 | 0.0050 1.4000 0.2500 |
| 0.1850 2.3000 0 | 0.1850 0.9100 0 |
| 1.5378 -1.6000 0 | 1.3754 0.2500 0 |
| 2.4925 0 0 | 0.8764 0 0 |
| -1.6000 0 0 | 0.2500 0 0 |
| (a) | (b) |

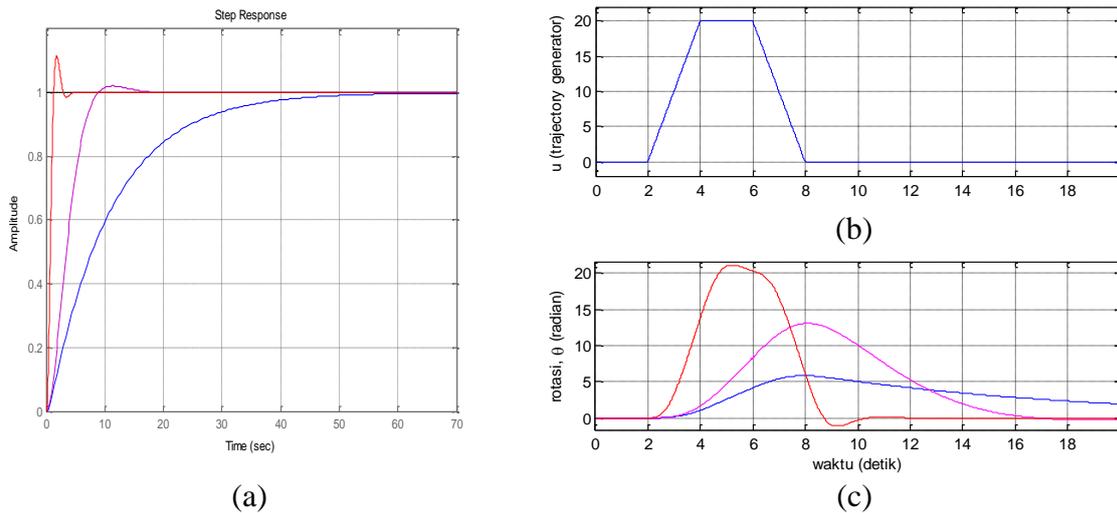
Gambar 8. Analisis stabilitas Routh untuk *plant* dengan kontroler-observer yang dipasang secara (a) seri (b) umpan-balik.

Perubahan tanda terjadi satu kali pada bilangan-bilangan di kolom pertama Gambar

8(a) menunjukkan terdapat 1 kutup berada di sebelah kanan sumbu vertikal ($j\omega$) bidang- s , dengan demikian sistem tidak stabil. Gambar 8(b) menunjukkan semua bilangan pada kolom pertama mempunyai tanda sama, sehingga semua kutup berada di sebelah kiri sumbu vertical ($j\omega$) bidang- s , maka sistem ini adalah stabil.

Respon tangga dari sistem kontrol posisi motor DC dengan parameter tertentu untuk nilai gain (a): $H_i = 1, H_o = 1$; (b): $H_i =$ gain kontroler-observer, $H_o = 1$; dan (c) $H_i = \omega_n, H_o = 4\zeta H_i$, ditunjukkan pada Gambar 9(a). Strategi kontrol dengan nilai gain (c) menunjukkan respon transien yaitu *settling time* yang paling kecil dibandingkan strategi kontrol dengan nilai gain lainnya. Selain itu, persentase *overshoot*-nya lebih kecil daripada kriteria *overshoot* 20%.

Analisis *root locus* untuk sistem dengan gain (a) tidak menunjukkan suku peredaman, sedangkan sistem dengan gain (b) menunjukkan koefisien peredaman 0,775, *overshoot* 2,13% dan frekuensi 0,443 rad/detik, dan sistem kontrol dengan gain (c) menunjukkan koefisien peredaman 0.56, *overshoot* 12% dan frekuensi 2,25 rad/detik. Sehingga *settling time* masing-masing adalah sebesar 11,6508 detik dan 3,1746 detik. Untuk sistem kontrol posisi motor DC lebih diinginkan *settling time* yang cepat [5].



Gambar 9(a) Respon sistem terhadap input tangga satuan. (b) input *trajectory generator* (c) output sudut rotasi untuk sistem dengan: $H_i = 1, H_o = 1$ (garis biru); $H_i =$ gain kontroler-observer, $H_o = 1$ (garis magenta); $H_i = \omega_n, H_o = 4 \zeta H_i$ (garis merah).

Gambar 9c menunjukkan output sudut rotasi θ dari sistem kontrol untuk masing-masing nilai gain. Input berasal dari *trajectory generator* berupa *position command* yang ditunjukkan pada Gambar 9b. *Trackability* untuk sistem dengan gain $H_i = \omega_n$, dan $H_o = 4 \zeta H_i$ adalah terbaik dibandingkan dengan sistem kontrol yang menggunakan nilai gain lainnya.

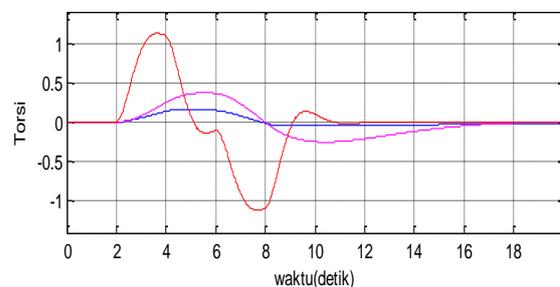
Torsi

Fungsi transfer sistem output torsi terhadap input sudut rotasi referensi pada persamaan (8) untuk strategi kontrol dengan masing-masing nilai gain kontrol (a), (b) dan (c) adalah:

| | |
|-----|---|
| (a) | $\frac{0.02 s (s+10)^2}{(s+10) (s+9.769) (s+2.135) (s+0.09588)}$ |
| (b) | $\frac{0.02 s (s+25) (s+10)^2}{(s+26.8) (s+10) (s+9.509) (s^2 + 0.6861s + 0.1962)}$ |
| (c) | $\frac{0.48 s (s+10)^2}{(s+10) (s+9.481) (s^2 + 2.519s + 5.063)}$ |

Tiap fungsi transfer menunjukkan pembatalan *pole-zero* (*pole-zero cancellation*) sedemikian sehingga zero yang tinggal adalah *zero* sama dengan nol.

Hal ini berarti bahwa output sistem adalah turunan respon tangga dari sistem order kedua dan besarnya ditentukan oleh gain H_o . Gambar 9 menunjukkan output torsi terhadap waktu untuk sistem kontrol dengan nilai gain kontrol (a), (b) dan (c). Sistem kontrol dengan gain (c) memberikan gain terbesar, yaitu 0,48 sehingga output torsi lebih besar dari output torsi sistem kontrol lainnya dan lebih cepat memberi respon pada perubahan input.



Gambar 10. Output torsi berdasarkan persamaan (8) untuk sistem kontrol dengan gain: (a) $H_i = 1, H_o = 1$ (garis biru); (b) $H_i =$ gain kontroler observer, $H_o = 1$ (garis magenta); dan (c) $H_i = \omega_n, H_o = 4 \zeta H_i$ (garis merah).

KESIMPULAN

Penelitian ini telah berhasil mengembangkan metode untuk memperoleh gain umpan-balik kecepatan dan gain kontroler untuk strategi kontrol posisi motor DC. Sistem terdiri dari umpan balik kecepatan dan umpan-balik sudut rotasi.

Dengan pemilihan nilai gain H_o dan H_i yang tepat maka diperoleh motor-servo dengan *track-ability* yang baik. Nilai gain diperoleh dengan cara *trial and error* namun demikian proses kalkulasinya lebih sederhana dibandingkan dengan menentukan gain atau gain fungsi transfer dari kontroler-observer umpan-balik.

Simulasi untuk model motor-servo dengan L_a/R_a yang diabaikan dan model dengan parameter tertentu menyiratkan bahwa perhitungan menentukan H_o dan H_i akan semakin rumit dengan semakin besarnya *type* kontroler, yaitu order dari persamaan karakteristik. Penelitian selanjutnya adalah mengembangkan metode menentukan H_o dan H_i untuk persamaan karakteristik order tinggi dengan/tanpa melibatkan perhitungan kontroler-observer.

REFERENSI

- [1] C. B Prakash, R.S. Naik, Tuning of PID Controller by Ziegler-Nichols Algorithm for Position Control of DC Motor. IJISET - International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology, Vol. 1 Issue 3, May 2014. ISSN 2348 – 7968 (2014)
- [2] S.A. Kamilu, M.D. Abdul Hakeem, L. Olatomiwa, Design and Comparative Assessment of State Feedback Controllers for Position Control of 8692 DC Servomotor., I.J. Intelligent Systems and Applications (2015) 09, 28-33
- [3] N.A. Bhagat, M. Bhaganagare, P.C. Pandey, DC Motor Speed Control using PID Controllers., "EE 616 Electronic System Design Course Project, EE Dept, IIT Bombay, November-December 1 (2009)
- [4] A.O. Shuaib, M.M. Ahmed, Robust PID Control System Design Using ITAE Performance Index (DC Motor Model), International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. Vol. 3, (2014)
- [5] ____, Fundamental of Servo motion control. Parker Hannifin–Electromechanical Automation Div. / 800-358-9070 / www.parkermotion.com
- [6] Y. Koren, S. Malkin, Torque and speed DC servo motor for robots, Annals of the CIRP. Vol 33/1/1984 (1984)
- [7] G. Ellis, Observers in Control Systems A Practical Guide, Danaher Corporation ACADEMIC PRESS. An imprint of Elsevier Science, USA ISBN: 0-12-237472-X (2002)
- [8] K. Ogata, Modern Control Engineering, fifth edition, Prentice Hall, 2010, pp. 281-304.
- [9] R.C. Dorf, R.H. Bishop, Modern Control Systems, twelfth edition, ISBN-13:978-0-13-602458-3, Prentice Hall, 2011, pp. 288-314.
- [10] Information on: <http://ctms.engin.umich.edu/CTMS/index.php/example=MotorSpeed§ion=SystemModeling>. Diakses 22 April 2016.