

PEMBELAJARAN PERANCANGAN SISTEM KONTROL PID DENGAN SOFTWARE MATLAB

Muhamad Ali

muhal.uny@gmail.com

Website : <http://muhal.wordpress.com>

Dosen Jurusan Pendidikan Teknik Elektro Fakultas Teknik

Universitas Negeri Yogyakarta

Abstrak Pembelajaran sistem kontrol PID pada mata kuliah Sistem Kontrol di perguruan tinggi kebanyakan masih menggunakan metoda analisis trial and error dengan perhitungan manual. Metode pembelajaran semacam ini mempunyai kelemahan yaitu memerlukan waktu yang lama dan mempunyai tingkat kesulitan yang tinggi. Untuk lebih meningkatkan pemahaman mahasiswa dalam materi sistem kontrol dapat digunakan media pembelajaran berbantuan komputer. Matlab merupakan salah satu software yang sangat membantu pemahaman mahasiswa dalam pembelajaran untuk melihat tanggapan berbagai kombinasi parameter dengan variasi masukan yang berbeda. Dari hasil penelitian tindakan kelas didapatkan hasil yang cukup signifikan dalam peningkatan pemahaman mahasiswa dalam mata kuliah sistem kontrol khususnya materi aksi kontrol PID.

Kata Kunci : pembelajaran, sistem kontrol PID

Perkembangan teknologi komputer baik *hardware* maupun *software* terus berkembang seiring perkembangan teknologi elektronika yang semakin maju, demikian juga teknologi kontrol yang mengalami banyak kemajuan dari kontrol konvensional ke kontrol otomatis sampai ke kontrol cerdas. Perkembangan teknik kontrol sudah merambah dari peralatan industri yang kompleks, perlengkapan militer sampai ke peralatan rumah tangga. Beberapa sistem kontrol yang mudah dijumpai di antaranya adalah pengaturan suhu, pengaturan kelembaban ruangan, pengaturan pencucian pakaian, pengaturan gerak robot, pengaturan mobil *remote* dan lain sebagainya. Hal inilah yang menjadikan pemikiran sistem kontrol menjadi kompetensi yang harus dimiliki oleh mahasiswa Jurusan Pendidikan Teknik Elektro untuk memenuhi kebutuhan masyarakat.

Dalam mata kuliah sistem kontrol, salah satu materi yang diberikan adalah perancangan sistem kontrol. Untuk dapat merancang sistem kontrol yang baik diperlukan analisis untuk mendapatkan gambaran tanggapan sistem terhadap aksi pengontrolan. Sebelum dapat merancang sistem kontrol tentunya mahasiswa harus lebih dulu dibekali materi pemodelan sistem dinamik. Sistem kontrol dibutuhkan untuk memperbaiki tanggapan sistem dinamik agar didapat sinyal keluaran seperti yang diinginkan. Sistem kontrol yang baik mempunyai tanggapan yang baik terhadap sinyal masukan yang beragam. Dalam perancangan sistem kontrol ini diperlukan gambaran tanggapan sistem dengan sinyal masukan dan aksi pengontrolan yang meliputi : (1)Tanggapan sistem terhadap masukan yang dapat berupa fungsi langkah, fungsi undak, fungsi impuls atau fungsi lainnya, (2) Kestabilan sistem yang dirancang, (3)Tanggapan sistem terhadap berbagai jenis aksi pengontrolan

Permasalahan yang dihadapi dalam perancangan sistem kontrol adalah mendapatkan fungsi alih dari sistem tersebut. Setelah fungsi alih didapatkan permasalahan selanjutnya adalah menganalisisnya apakah sistem yang dibuat sudah baik atau belum. Dalam mempelajari sistem kontrol tentu saja menjadi kewajiban bagi mahasiswa untuk dapat mencari fungsi alih sistem dengan pendekatan model matematik. Tetapi setelah mendapatkan model fungsi alihnya, seringkali mahasiswa mengalami

kesulitan dalam menganalisis sistem karena kerumitannya. Dengan adanya *Software Matlab* proses analisis fungsi alih akan menjadi jauh lebih mudah dan cepat sehingga akan memudahkan dalam proses pembelajaran terutama dalam perancangan sistem kontrolnya.

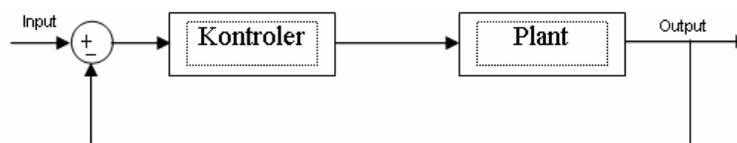
Media Pembelajaran

Metode pembelajaran memegang peranan yang penting dalam proses pembelajaran. Penggunaan media pendidikan, khususnya media visual dan simulasi dapat membantu dosen dalam menyampaikan materi perkuliahan. Bourden dan Paul (1998) menyatakan bahwa penggunaan media pembelajaran dapat menghemat waktu persiapan mengajar, meningkatkan motivasi belajar mahasiswa dan mengurangi kesalahfahaman mahasiswa terhadap penjelasan yang diberikan. Namun demikian, belum banyak penelitian mengenai penggunaan media pembelajaran interaktif berbantuan komputer dalam proses pembelajaran formal di kelas.

Media pembelajaran yang berkualitas dapat digunakan berulang-ulang sehingga biaya yang dikeluarkan untuk pembelajaran dapat lebih hemat. Media interaktif memuat materi yang berisi benda asli dari lingkungan autentik yang dapat memberi pengalaman langsung kepada mahasiswa sehingga pengetahuan mahasiswa dapat bertahan lebih lama. Heinrich (1989) menjelaskan bahwa media pembelajaran yang berkualitas adalah media yang pengembangannya melalui proses seleksi, desain, produksi dan digunakan sebagai bagian integral sistem instruksional.

Materi Sistem Kontrol PID

Salah satu bahasan dalam mata kuliah sistem kontrol adalah kontrol PID yang sering digunakan dan banyak diberikan dalam materi sistem kontrol di perguruan tinggi. Hal ini disebabkan karena sistem ini merupakan sistem kontrol loop tertutup yang cukup sederhana dan kompatibel dengan sistem kontrol lainnya sehingga dapat dikombinasikan dengan sistem kontrol lain seperti *Fuzzy control*, *Adaptif control* dan *Robust control*.



Gambar 1. Diagram blok sistem kontrol berumpan balik

Fungsi alih $H(s)$ pada sistem kontrol PID merupakan besaran yang nilainya tergantung pada nilai konstanta dari sistem P, I dan D

$$H(s) = \frac{K_D s^2 + K_P s + K_I}{s^3 + K_D s^2 + K_P s + K_I}$$

Sistem kontrol PID terdiri dari tiga buah cara pengaturan yaitu kontrol P (*Proportional*), D (*Derivative*) dan I (*Integral*), dengan masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan. Dalam implementasinya masing-masing cara dapat bekerja sendiri maupun gabungan diantaranya. Dalam perancangan sistem kontrol PID yang perlu dilakukan adalah mengatur parameter P, I atau D agar tanggapan sinyal keluaran sistem terhadap masukan tertentu sebagaimana yang diinginkan.

Tabel 1 Tanggapan sistem kontrol PID terhadap perubahan parameter

Tanggapan Loop Tertutup	Waktu Naik	Overshoot	Waktu Turun	Kesalahan Keadaan Tunak
Proporsional (Kp)	Menurun	Meningkat	Perubahan Kecil	Menurun
Integral (Ki)	Menurun	Meningkat	Meningkat	Hilang
Derivative (Kd)	Perubahan Kecil	Menurun	Menurun	Perubahan Kecil

Untuk merancang sistem kontrol PID, kebanyakan dilakukan dengan metoda coba-coba atau (*trial & error*). Hal ini disebabkan karena parameter Kp, Ki dan Kd tidak *independent*. Untuk mendapatkan aksi kontrol yang baik diperlukan langkah coba-coba dengan kombinasi antara P, I dan D sampai ditemukan nilai Kp, Ki dan Kd seperti yang diinginkan.

Metode Pembelajaran Konvensional

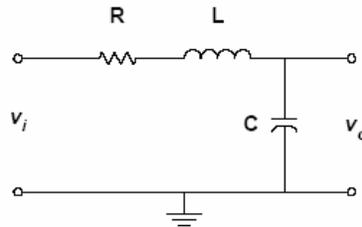
Langkah awal dalam pembelajaran perancangan sistem kontrol yaitu menjelaskan bagaimana membuat diagram blok sistem. Diagram blok digunakan sebagai bahan analisis yaitu dengan memberikan aksi pengontrolan yang berbeda. Tanggapan sistem dapat dilihat setelah sistem diberikan sinyal masukan yang berbeda. Kombinasi antara sinyal masukan dan aksi pengontrolan ini akan menghasilkan tanggapan yang berbeda-beda. (Ogata, Katsuhiko, 1997) menjelaskan langkah-langkah yang harus dilakukan dalam perancangan sistem kontrol sebagai berikut: (1) Memahami cara kerja system, (2) Mencari model sistem dinamik dalam persamaan differensial, (3) Mendapatkan fungsi alih sistem dengan Transformasi Laplace, (4) Memberikan aksi pengontrolan dengan menentukan konstanta Kp, Ki dan Kd, (5) Menggabungkan fungsi alih yang sudah didapatkan dengan jenis aksi pengontrolan, (6) Menguji sistem dengan sinyal masukan fungsi langkah, fungsi undak dan impuls ke dalam fungsi alih yang baru, (7) Melakukan Transformasi Laplace balik untuk mendapatkan fungsi dalam kawasan waktu, (8) Menggambar tanggapan sistem dalam kawasan waktu

Dalam pembelajaran konvensional untuk melihat tanggapan suatu sistem dengan berbagai macam kombinasi sinyal masukan dan aksi pengontrolan merupakan hal yang sulit, diperlukan kesabaran dan ketelitian untuk mendapatkan hasil penggambaran yang baik dan hasilnya pun seringkali kurang akurat. Hal ini menjadikan mahasiswa merasa bahwa materi perancangan sistem control sangat sulit yang berdampak pada keengganan untuk mempelajari lebih jauh tentang materi sistem kontrol.

Metode Pembelajaran Dengan Simulasi Komputer

Hadirnya *software* komputer sangat membantu perhitungan dan proses analisis tanggapan sistem terhadap sinyal masukan dan aksi pengontrolan. Berbeda dengan perhitungan manual yang rumit dan lama, perhitungan dengan bantuan *software* komputer jauh lebih mudah dan cepat dan hasilnya tepat.

Matlab merupakan salah satu *software* yang dikembangkan dalam bidang pengaturan yang dilengkapi *Control Toolbox*. *Toolbox* ini dilengkapi dengan berbagai macam fungsi pendukung yang dipergunakan dalam analisis sistem kontrol. Beberapa fungsi pendukung yang sering dipergunakan untuk menganalisis suatu sistem adalah : *feedback*, *step*, *rlocus*, *series*, dll. Untuk menganalisis suatu sistem, *software* hanya memerlukan masukan berupa fungsi alih yang ditulis dalam Transformasi Laplace (kawasan frekuensi) atau matriks ruang keadaan. Sebagai contoh, suatu sistem kontrol memiliki fungsi alih sebagai berikut :



Gambar 2. Sistem rangkaian listrik RLC

Model matematik sistem dinamik dapat dituliskan dengan menggunakan Hukum Kirchoff Arus dan Tegangan sehingga menjadi :

$$V(i) = L \frac{di}{dt} + R(i) + \frac{1}{c} \int i dt$$

$$V(o) = \frac{1}{c} \int i dt$$

Fungsi alih dari model dinamik sistem di atas dapat dilakukan dengan melakukan transformasi Laplace sehingga di dapat persamaan sbb:

$$Vi(s) = L s i(s) + R i(s) + \frac{1}{C} \frac{1}{s} i(s)$$

$$Vi(s) = L s^2 i(s) + R s i(s) + \frac{1}{C} i(s)$$

$$Vo(s) = \frac{1}{C} \frac{1}{s} i(s)$$

$$\text{Fungsi Alih} = \frac{Vo(s)}{Vi(s)} = \frac{1}{LC s^2 + RC s + 1}$$

Fungsi alih ini dapat ditulis sebagai

$$\frac{p(s)}{q(s)} = \frac{1}{LC s^2 + RC s + 1}$$

Dari fungsi alih inilah akan dicari tanggapan sistem terhadap sinyal masukan yang beragam. Tanggapan sistem yang baik dari suatu sistem kontrol mempunyai criteria: Waktu naik cepat, Minimasi *overshoot* dan minimasi kesalahan keadaan tunak.

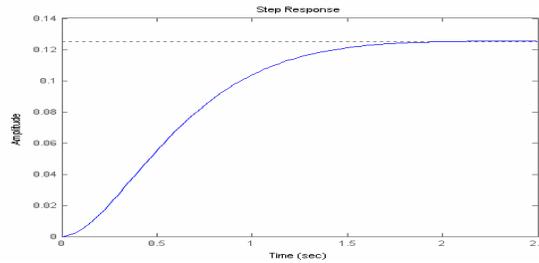
Adapun langkah-langkah yang harus dilakukan untuk analisis dengan Matlab adalah menentukan nilai R, L dan C (misal R = 100 Ohm, L = 1,25 mH, C = 6250 µF), memasukkan koefisien pembilang (Ps) dan penyebut (Qs) dari fungsi alih, dan memilih jenis masukan yang akan dimasukkan ke sistem (fungsi langkah, undak, impuls atau lainnya).

Contoh penulisan *Command Editor* di Matlab

$$\frac{p(s)}{q(s)} = \frac{1}{LC s^2 + RC s + 1} = \frac{1}{0,125s^2 + 0,625s + 1} = \frac{1}{s^2 + 5s + 8}$$

```
Ps = [1];
Qs = [1 5 8];
step(Ps, Qs)
```

Tanggapan sistem terbuka diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Tanggapan sistem terhadap masukan fungsi langkah

Grafik di atas menunjukkan bahwa sistem memiliki kesalahan keadaan tunak yang tinggi sebesar 0,88 hal ini dapat dilihat pada tanggapan sistem menuju ke nilai amplitudo 0,12. Dari Gambar3 dapat juga diketahui bahwa sistem memiliki waktu naik yang lama (1,5 detik). Untuk menghasilkan sistem kontrol yang baik, diperlukan sistem *loop* tertutup.

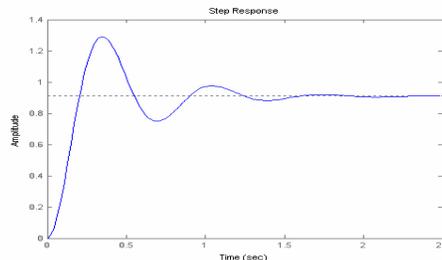
Pembelajaran Aksi Kontrol Proporsional

Karakteristik aksi pengontrolan Proporsional adalah mengurangi waktu naik, menambah *overshoot*, dan mengurangi kesalahan keadaan tunak. Fungsi alih sistem dengan menambahkan aksi pengontrolan P menjadi :

$$\frac{p(s)}{q(s)} = \frac{K_p}{s^2 + 5s + (8 + K_p)}$$

Misal, diambil konstanta $K_p = 80$, maka :

- $K_p = 80$;
- $P_s = [K_p]$;
- $Q_s = [1 \ 5 \ 8 + K_p]$;
- $t = 0 : 0.01 : 2$;
- `step(Ps, Qs)`
- `title('Tanggapan Sistem Loop Tertutup Proporsional')`



Gambar 4. Tanggapan sistem terhadap aksi kontrol proporsional

Penambahan aksi kontrol P mempunyai pengaruh mengurangi waktu naik dan kesalahan keadaan tunak, tetapi konsekuensinya *overshoot* naik cukup besar. Kenaikan *overshoot* ini sebanding dengan kenaikan nilai parameter K_p . Waktu turun juga menunjukkan kecenderungan yang membesar.

Pembelajaran Aksi Kontrol Proportional Derivative

Fungsi alih sistem dengan aksi pengontrolan PD menjadi :

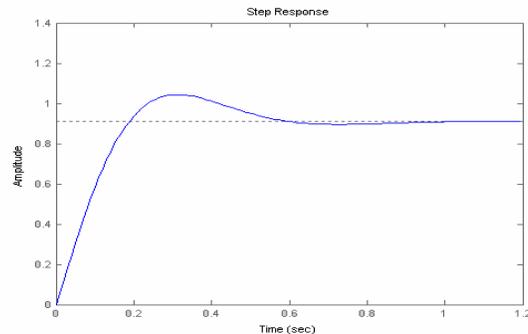
$$\frac{p(s)}{q(s)} = \frac{K_p + K_D s}{s^2 + (5 + K_D) s + (8 + K_p)}$$

Misal, $K_p = 80$ dan $K_d = 6$, maka :

```

Kp = 80;
Kd = 6;
Ps = [Kd Kp];
Qs = [1 5+Kd 8+Kp];
t = 0 : 0.01 : 2;
step(Ps, Qs)
title('Tanggapan Sistem Loop Tertutup PD')
    
```

Tanggapan sistem ini diperlihatkan seperti Gambar 5.



Gambar 5. Tanggapan sistem terhadap aksi kontrol Proporsional Derivative

Pada grafik di atas terlihat bahwa penggunaan control Proporsional Derivative (PD) dapat mengurangi *overshoot* dan waktu turun, tetapi kesalahan keadaan tunak tidak mengalami perubahan yang berarti.

Pembelajaran Aksi Kontrol Proportional-Integral

Fungsi alih sistem dengan penambahan aksi pengontrolan PI menjadi :

$$\frac{p(s)}{q(s)} = \frac{K_i + K_p s}{s^3 + 5s^2 + (8 + K_p)s + K_i}$$

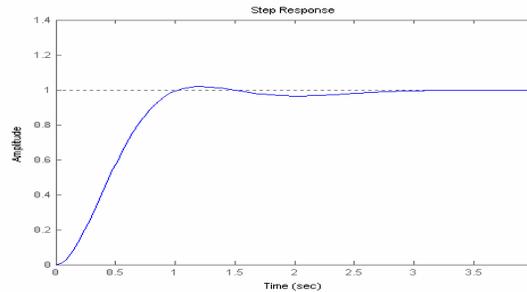
Integral Controller memiliki karakteristik mengurangi waktu naik, menambah *overshoot* dan waktu turun, serta menghilangkan kesalahan keadaan tunak.

Misal, $K_p = 9$ dan $K_i = 16$, maka tanggapan sistem dapat diperoleh dengan cara menuliskan sintaks berikut dalam editor Matlab :

```

Kp = 9;
Ki = 16;
Ps = [Kp Ki];
Qs = [1 5 8+Kp Ki];
t = 0 : 0.01 : 2;
step(Ps,Qs)
    
```

Aksi kontrol P dan I memiliki karakteristik yang sama dalam waktu naik dan *overshoot*. Oleh karena itu, nilai K_p harus dikurangi untuk menghindari *overshoot* yang berlebihan.



Gambar 6. Tanggapan sistem terhadap aksi kontrol Proporsional Integral

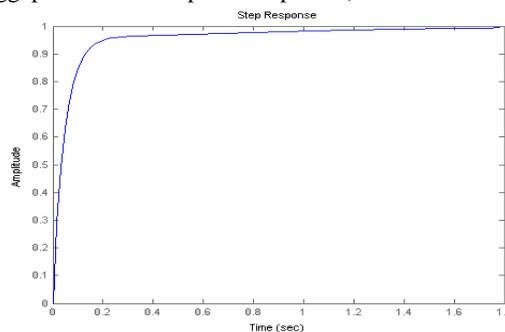
Dari grafik gambar 6 di atas terlihat bahwa waktu naik sistem menurun, dengan *overshoot* yang kecil, serta kesalahan keadaan tunak dapat diminimalkan. Tanggapan sistem memberikan hasil yang lebih baik daripada aksi control sebelumnya tetapi asih mempunyai waktu naik yang lambat.

Pembelajaran Aksi Kontrol Proportional-Integral-Derivative

Aksi kontrol PID merupakan gabungan dari aksi P, I dan D dan fungsi alih sistem menjadi :

$$\frac{p(s)}{q(s)} = \frac{K_D s^2 + K_p s + K_i}{s^3 + (5 + K_D) s^2 + (8 + K_p) s + K_i}$$

Kp = 85;
 Ki = 90;
 Kd = 20;
 Ps = [Kd Kp Ki];
 Qs = [1 5+Kd 8+Kp Ki];
 t = 0 : 0.01 : 2;
 step(Ps,Qs)
 title('Tanggapan Sistem Loop Tertutup PID')



Gambar 7. Tanggapan sistem terhadap aksi kontrol PID

Dengan aksi kontrol P, I dan D, terlihat bahwa kriteria sistem yang diinginkan hampir mendekati, terlihat dari grafik tanggapan sistem tidak memiliki *overshoot*, waktu naik yang cepat, dan kesalahan keadaan tunaknya sangat kecil mendekati nol. Grafik tanggapan sistem terhadap sinyal masukan fungsi langkah, tergantung pada nilai parameter Kp, Kd dan Ki.

HASIL

Metode pembelajaran berbantuan komputer dengan software Matlab ini diimplementasikan dalam kelas dalam mata kuliah Kendali Adaptif. Materi sistem kontrol PID, sebenarnya telah diberikan pada kuliah Sistem Kendali Dasar, tetapi karena mahasiswa masih mengalami banyak kesulitan sehingga perlu penyegaran lagi sebelum mempelajari kontrol adaptif. Sebagian besar mahasiswa mengalami kesulitan dalam memodelkan perilaku sistem dinamik, dan setelah mereka mampu mencari model dinamiknyanya kesulitan yang dihadapi adalah bagaimana mencari tanggapan sistem terhadap sinyal masukan.

Setelah dilakukan tindakan kelas dengan mengenalkan metode pembelajaran dengan bantuan *Software* Matlab, terjadi peningkatan yang cukup signifikan terhadap pemahaman dan ketertarikan mahasiswa dalam mempelajari materi sistem kontrol. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan metoda pembelajaran berbantuan komputer sangat membantu dosen dalam menyampaikan materi kepada mahasiswa. Penggunaan *software* Matlab dalam materi sistem kontrol tidak hanya pada materi kontrol PID, tetapi dapat dikembangkan pada materi-materi yang lain seperti penggambaran tempat kedudukan akar, plot diagram Bode, penentuan kestabilan dan lain sebagainya.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan yang dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Pengembangan metode pembelajaran materi perancangan sistem kontrol PID pada mata kuliah sistem kontrol dengan simulasi komputer sangat membantu mahasiswa dalam memahami materi secara keseluruhan.
2. Perancangan sistem kontrol PID dengan bantuan *software* Matlab sangat memudahkan untuk mendapatkan hasil sesuai dengan yang diinginkan.
3. Penerimaan materi dengan metode simulasi komputer berbantuan Matlab lebih baik dibandingkan dengan metode pembelajaran konvensional.
4. Metode pembelajaran inovatif perlu dikembangkan untuk mendapatkan hasil pemahaman mahasiswa yang lebih baik dalam mempelajari materi.

DAFTAR PUSTAKA

- Bourden, Paul R. (1998). "*Methods for effective teaching*" second edition. Boston: Allyn and Bacon.
- Heinrich, R (1989), "*Instructional Media and The New technologies of instruction*" 3 edition. New York: Mac Millan Publishing Company.
- Ogata, Katsuhiko, (1997), "*Teknik Kontrol Automatik Jilid I dan II*" Edisi 2. Jakarta: Erlangga.
- Stanley M. Shinnars, (1998), "*MATLAB & Simulink Based Books. Modern Control System Theory and Design*, 2ed. New York: John Wiley & Sons, Inc.