

Rancang Bangun Modul Praktikum Teknik Kendali dengan Studi Kasus pada Identifikasi Sistem Motor-DC berbasis Arduino-Simulink Matlab

Fahmizal, Nur Sulistyawati, Muhammad Arrofiq
Departemen Teknik Elektro dan Informatika Sekolah Vokasi
Universitas Gadjah Mada

Intisari — Praktikum merupakan aspek utama dalam pembelajaran dibidang ilmu terapan. Sekolah Vokasi Diploma Teknik Elektro (DTE) Universitas Gadjah Mada yang merupakan sekolah berbasis ilmu terapan yang telah mengarahkan kurikulumnya kearah praktisi. Oleh karena itu, modul praktikum memiliki peranan sangat penting sebagai wadah pembelajaran mahasiswa vokasi. Praktikum teknik kendali adalah salah satu praktikum yang diselenggarakan oleh DTE bagi mahasiswa konsentrasi teknik elektronika. Seiring dengan perkembangan teknologi, aplikasi teknik kendali diarahkan menggunakan mikrokontroler atau mikroprosesor. Salah satu kasus yang dipelajari oleh mahasiswa dalam praktikum teknik kendali adalah kendali motor DC. Praktikum kendali Motor DC bertujuan untuk membuat mahasiswa memahami dan terampil dalam hal perancangan kendali Motor DC serta mengidentifikasinya. Kendali Motor DC ini meliputi pemahaman model Motor DC, strategi kendali motor DC serta pengaturan kecepatan dan posisi. Untuk membantu proses pembelajaran ini, peneliti bertujuan ingin mengembangkan suatu modul praktikum teknik kendali yang dapat digunakan sebagai fasilitas untuk memahami kendali Motor DC terkhusus dalam hal identifikasi model Motor DC dan pengaturan kecepatan Motor DC.

Keywords— *Identifikasi sistem; Teknik kendali; motorDC.*

I. PENDAHULUAN

Baharuddin dkk (2007) membuat dan merancang sistem kendali kecepatan motor DC berbasis PWM. Penelitian ini bertujuan meningkatkan kinerja motor DC dalam menjaga kecepatan agar tetap pada set point ketika terjadi perubahan beban serta kecepatan motor DC ketika diberi tegangan melalui PWM (*Pulse Width Modulation*). Metode yang digunakan adalah metode mode phase current yaitu nilai register counter TCNTn yang mencacah naik dan turun secara terus-menerus akan selalu dibandingkan dengan register pembanding OCRn. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan menggunakan teknologi mikrokontroler khususnya pengendalian dengan PWM dapat meningkatkan efisiensi daya karena tidak terbuang ke transistor, transistor bekerja dengan mode *on* atau *off* yang disaturasi periodenya secara PWM.

Muchlas dkk (2006) merancang pengendali kecepatan motor DC secara *remote* dengan algoritma DC Chooper atau PWM berbasis mikrokontroler M68HC11. Susunan perangkat keras pengendali kecepatan motor DC pada penelitian ini

terdiri atas 5 bagian utama rangkaian, yaitu sistem *remote*, modul mikrokontroler M68HC11, motor driver, motor DC, dan rotary encoder. Sistem *remote* terdiri atas pemancar dan penerima. Sisi pemancar digunakan mengatur kecepatan motor secara *remote*, terdiri atas tiga tombol yang berfungsi untuk menaikkan, menurunkan, dan mereset kecepatan. Sistem *remote* bekerja pada frekuensi 27 MHz dan digunakan untuk mengatur 8 tingkat kecepatan motor DC. Hasil penelitian menunjukkan sistem dapat bekerja untuk mengendalikan kecepatan motor DC secara *remote* dengan 8 tingkat kecepatan. Tingkat kesalahan rata-rata dari tingkat 1 sampai 8 berdasarkan set point terhadap kecepatan yang tertampil pada LCD dengan menggunakan tingkat kepercayaan 95% kurang dari 1,55%. Sedangkan tingkat kesalahan rata-rata *duty cycle* dari tingkat 1 sampai 8 berdasarkan teori terhadap penelitian berkisar antara 0,1% sampai dengan 2,1%.

H. Samsul Bachri M. dkk (2004) meneliti tentang sistem kendali *hybrid pid - logika fuzzy* pada pengaturan kecepatan motor DC. Permasalahan yang diangkat ialah sering terjadi permasalahan dalam sistem kendali Proportional Integral Derivative (PID) bila dibuat sangat sensitif, maka respon sistem terhadap *disturbance* menghasilkan *overshot/undershot* yang besar, sehingga kemungkinan dapat terjadi osilasi semakin tinggi. Bila dibuat kurang sensitif memang akan menghasilkan *overshot/undershot* kecil, tetapi akibatnya akan memperpanjang *recovery time*. Untuk mengatasi hal ini, diterapkan sistem kendali *hybrid* yaitu sistem kendali PID yang akan di-*hybrid*-kan dengan sistem kendali logika fuzzy. Dalam sistem ini kendali utama adalah kendali PID sedangkan kendali logika fuzzy bekerja membantu untuk meminimalkan *overshot/undershot* yang terjadi dan juga meminimalkan *recovery time* dari respon sistem. Sistem kendali logika fuzzy yang didesain mempunyai 2 input yaitu error dan delta error dan output kecepatan motor. Besar *output* dari sistem kendali logika fuzzy hanya 50 % dari kendali PID. Hal ini dilakukan dengan membatasi semesta pembicaraan dari himpunan fuzzy untuk output. Dari desain sistem ini diharapkan sistem kendali secara keseluruhan yang merupakan *hybrid* antara PID dengan Kendali Logika Fuzzy dapat menghasilkan respon sistem yang lebih baik.

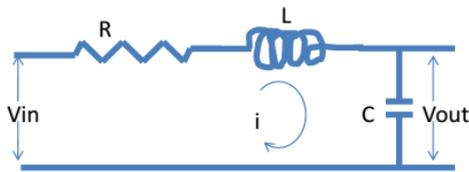
Dari tinjauan literatur, saat ini peneliti lebih banyak fokus pada pengaturan atau kendali kecepatan motor DC. Ada hal penting yang harus diteliti sebelum fokus pada pengaturan kecepatan motor DC yaitu identifikasi model motor DC. Oleh karena itu, hal ini menjadi motivasi bagi peneliti untuk membuat suatu modul identifikasi sistem yang akan diterapkan pada motor DC. Hasil modul ini nantinya juga akan dimanfaatkan

sebagai modul praktikum Teknik Kendali di lingkungan Teknik Elektro Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada.

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Identifikasi Sistem

Untuk mengetahui dan mempelajari suatu sifat pada sistem diperlukan identifikasi sistem, hal ini diperoleh dengan cara memodelkannya secara matematika berdasarkan sifat-sifat komponennya. Dari hasil pemodelan ini diperoleh *transfer function*. Dengan model *transfer function* ini, dapat diketahui sifat respon sistem terhadap berbagai input. Berdasarkan pengetahuan atas sifat sistem tersebut, dapat ditentukan tindakan atau perlakuan yang tepat agar sistem berperilaku sesuai yang diinginkan. Sebagai contoh pemodelan sistem R-L-C pada gambar 1.



Gambar 1. Sistem Elektronis R-L-C

Dengan penurunan rumus hukum Kirchoff pembagi tegangan maka dapat diperoleh *transfer function* pada sistem R-L-C sebagai berikut:

$$V_{in} = V_R + V_L + V_C \rightarrow V_C = V_{out}$$

$$V_{in} = i_c R + L \frac{di_c}{dt} + V_{out} \rightarrow i = i_c$$

$$V_{in} = R \left(C \frac{dV_C}{dt} \right) + L \left(\frac{d \left(C \frac{dV_C}{dt} \right)}{dt} \right) + V_{out}$$

$$V_{in} = RC \frac{dV_{out}}{dt} + LC \frac{d^2 V_{out}}{dt^2} + V_{out}$$

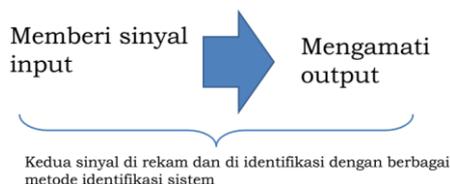
$$V_{in} = RCV_{out}S + LCV_{out}S^2 + V_{out}$$

$$V_{in} = (RCS + LCS^2 + 1)V_{out} \quad (1)$$

Sehingga diperoleh transfer function sistemnya ialah

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{1}{(RCS + LCS^2 + 1)} \quad (2)$$

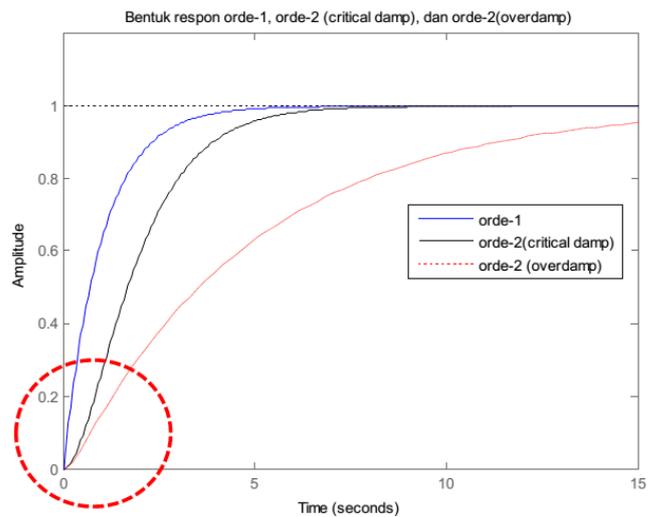
Untuk sistem yang dapat diketahui model matematisnya dapat dilakukan dengan cara penurunan rumus matematis. Lalu bagaimana untuk sistem yang susah diturunkan secara matematis. Maka dari itu perlu dilakukannya pengidentifikasian sistem secara *black box*. Umumnya, teknik dalam mengidentifikasi suatu sistem dilakukan dengan cara sebagai berikut yang dijelaskan oleh gambar 2.



Gambar 2. Langkah pengidentifikasian sistem

Beberapa hal yang perlu diperhatikan saat mengidentifikasi sistem:

1. Kemampuan membedakan jenis respon orde-1 dan 2 seperti yang dijelaskan pada gambar 3.

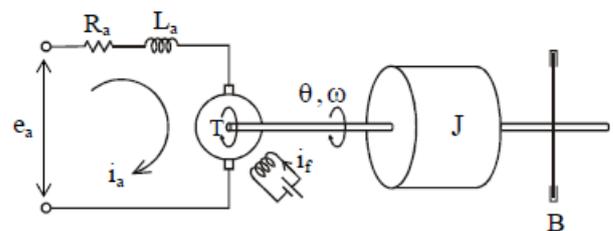


Gambar 3. Respon sistem orde-1 dan 2

2. Keterampilan mengambil data *input-output* pada Simulink Matlab.

B. Model Matematis Motor DC

Pengaturan kecepatan pada motor DC dengan penguatan medan dengan menggunakan magnet permanen ini dapat dilakukan dengan mengatur tegangan pada kumparan jangkar. Karena medan magnet yang dihasilkan berasal dari magnet permanen maka kuat medan magnet tersebut bernilai tetap. Skema rangkaian motor sederhana dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Diagram Skematik Motor DC

di mana,

L_a = Induktansi kumparan jangkar

R_a = Resistansi kumparan jangkar

I_a = Arus kumparan jangkar

i_f = Arus medan

θ = Perpindahan sudut dari poros motor

ω = Kecepatan sudut dari poros motor

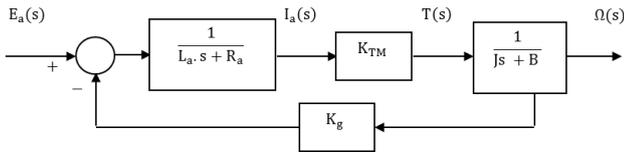
e_a = Tegangan kumparan jangkar

e_{gg} = Tegangan gaya gerak listrik balik

J = Momen inersia ekuivalen dari motor dan beban pada poros motor

B = Koefisien gesekan viskos ekuivalen dari motor dan beban pada poros motor

Untuk keperluan identifikasi model motor DC berdasarkan analitik maka *transfer function* sistem diperoleh seperti yang diuraikan pada gambar 5.



Gambar 5. Diagram Blok dari Persamaan model motor DC

Fungsi alih loop tertutup $\Omega(s)/E_a(s)$ dapat dihitung sebagai berikut:

$$\frac{\Omega(s)}{E_a(s)} = \frac{\frac{K_{TM}}{(L_a s + R_a)(J s + B)}}{1 + \frac{K_{TM} \cdot K_g \cdot s}{(L_a s + R_a)(J s + B)}}$$

$$= \frac{K_{TM}}{(L_a s + R_a)(J s + B) + (K_{TM} \cdot K_g)}$$

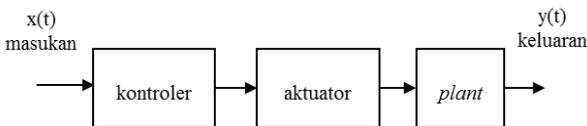
$$= \frac{K_{TM}}{J L_a s^2 + (B L_a + J R_a) s + (R_a B + K_{TM} K_g)} \quad (3)$$

Pada umumnya induktansi dari kumparan jangkar motor L_a sangat kecil sekali harganya sehingga dapat diabaikan, sehingga Persamaan (3) menjadi Persamaan (4).

$$\frac{\Omega(s)}{E_a(s)} = \frac{K_{TM}}{(J R_a) s + R_a B + K_{TM} K_g} \quad (4)$$

C. Metode Identifikasi Penelitian

Proses identifikasi dilakukan secara open loop melalui PC-Simulink Matlab. Sinyal uji dikirimkan ke komputer selanjutnya sinyal uji sampai ke *plant* dan keluaran *plant* diakuisisi oleh komputer melalui serial port. Pada komputer keluaran dari *plant* diplot menjadi sebuah grafik. Dari grafik tersebut, bisa didapatkan nilai parameter-parameter *plant*. Metode yang digunakan untuk identifikasi adalah metode identifikasi statis. Identifikasi statis salah satu yang paling banyak digunakan adalah dengan metode *open loop* dengan masukkan *step*, maka kita dapat menentukan fungsi alih *plant*. Proses identifikasi dilakukan secara *open loop* dengan memberikan sinyal uji berupa sinyal masukan *step* dengan besar konstan yang secara langsung akan mengendalikan *plant*. Diagram blok identifikasi sistem ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Diagram Blok Identifikasi Plant

Adapun alur penelitian ini diuraikan dalam diagram blok yang dijelaskan pada gambar 7.



Gambar 7. Alur penelitian modul praktikum teknik kendali motor DC

D. Alat dan Bahan Penelitian

Berikut ini alat dan bahan yang diperlukan dalam proses penelitian ini:

1. Bahan atau Materi Penelitian
Yang digunakan sebagai bahan penelitian adalah
 - Rangkaian sensor kecepatan dan posisi pada Motor DC
 - Rangkaian modul kontroller Arduino *Shield* berikut dengan *driver* motornya.
 - Rangkaian ADC (*Analog Digital Converter*) dan PWM (*Pulse Width Modulation*)

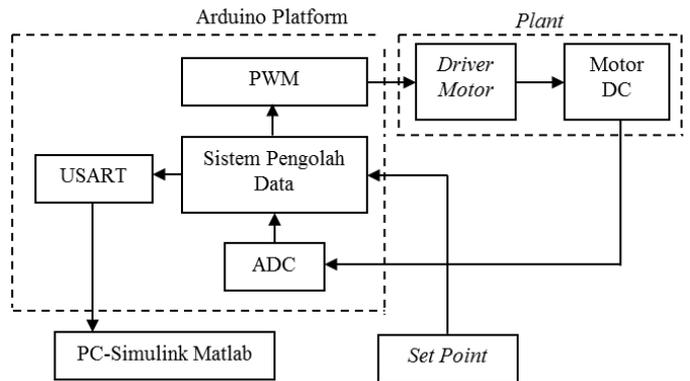
2. Alat Penelitian

Sebagian alat yang digunakan dalam penelitian adalah alat yang langsung terintegrasi dengan komputer. Alat-alat yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Perangkat keras:
Oscilloskop, Arduino, Motor DC
- Perangkat lunak:
Simulink Matlab, Arduino IDE

3. Perancangan Alat Penelitian

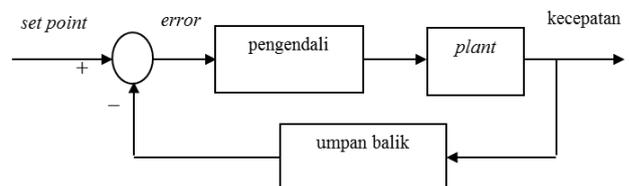
Penelitian ini merancang sistem modul mikrontroller berbasis Arduino sebagai data akuisisi dan data proses yang dijelaskan pada gambar 8.



Gambar 8. Diagram Blok Sistem Elektronis Pengendali Kecepatan Motor DC

4. Proses Analisis Hasil Penelitian

Setelah proses identifikasi model motor DC diperoleh, tahapan selanjutnya adalah sistem kendali kecepatan motor DC yang digambarkan dalam diagram blok pada gambar 9.



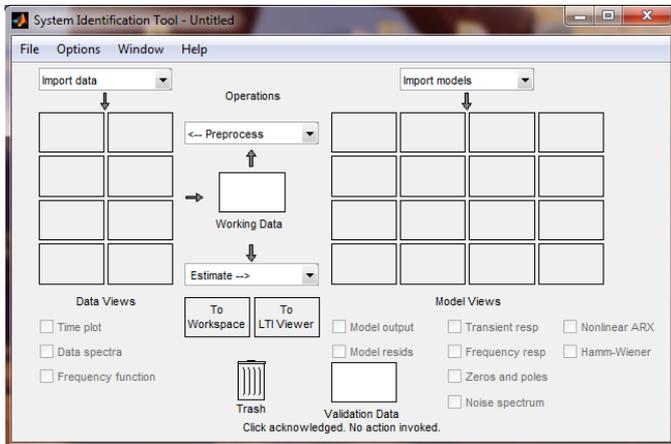
Gambar 9. Diagram Blok Sistem Pengendali Kecepatan Motor DC

E. Simulink Matlab sebagai Identifikasi Model

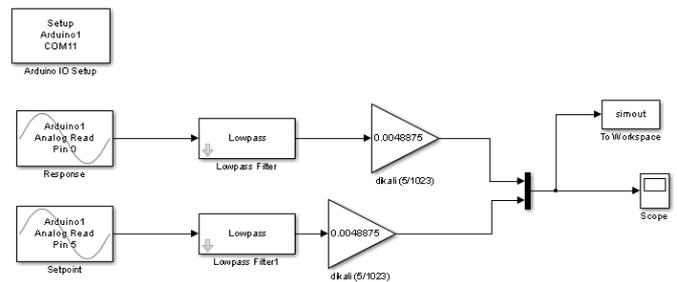
Simulink merupakan bagian tambahan dari *software* MATLAB (Mathworks Inc.). Simulink dapat digunakan sebagai sarana pemodelan/identifikasi yang dijelaskan pada gambar 10, simulasi dan analisis dari sistem dinamik dengan menggunakan antarmuka grafis (GUI). Simulink terdiri dari beberapa kumpulan *toolbox* yang dapat digunakan untuk analisis sistem linier dan non-linier. Beberapa *library* yang sering digunakan dalam sistem kontrol antara lain *math*, *sinks*, dan *sources*.



Gambar 11. Perangkat modul identifikasi dan kendali Motor DC berbasis Arduino



Gambar 10. System Identification Tool pada Simulink Matlab



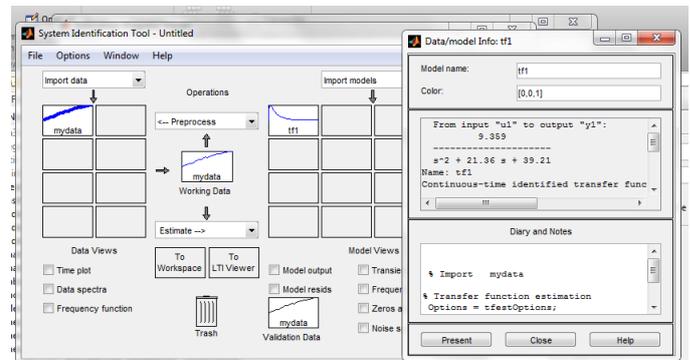
Gambar 12. Blok Simulink untuk data akuisisi

III. HASIL SIMULASI DAN PERCOBAAN

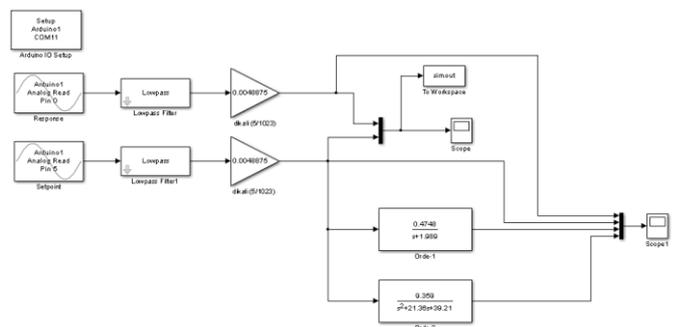
Pada penelitian ini, peneliti telah berhasil mewujudkan sebuah modul identifikasi dan kendali Motor DC berbasis Arduino (Gambar 11). Modul ini dapat terintegrasi dengan Simulink Matlab. Dengan capaian ini, peneliti dapat melakukan proses pemodelan sistem Motor DC dan data pemodelan ini seterusnya akan digunakan sebagai acuan model matematis dari Motor DC. Tahap selanjutnya ialah perancangan kendali Motor DC dengan kontroler PID untuk kasus kendali posisi. Gambar 12 menjelaskan Blok Simulink untuk data akuisisi, Gambar 13 menjelaskan Sistem identifikasi dengan toolbox matlab dan Gambar 14 menjelaskan proses verifikasi *transfer function* dengan respon *plant*. Berikut Tabel 1 hasil identifikasi dengan pendekatan dua tipe pendekatan.

Tabel 1 Hasil pendekatan model

Pendekatan orde 1	$\frac{0.4748}{s + 1.989}$
Pendekatan orde 2	$\frac{9.359}{s^2 + 21.36s + 39.21}$



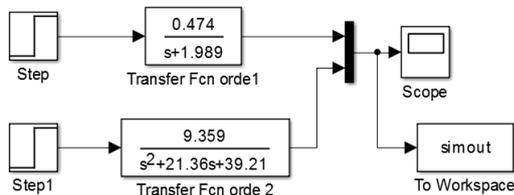
Gambar 13. Sistem identifikasi dengan toolbox Simulink-Matlab



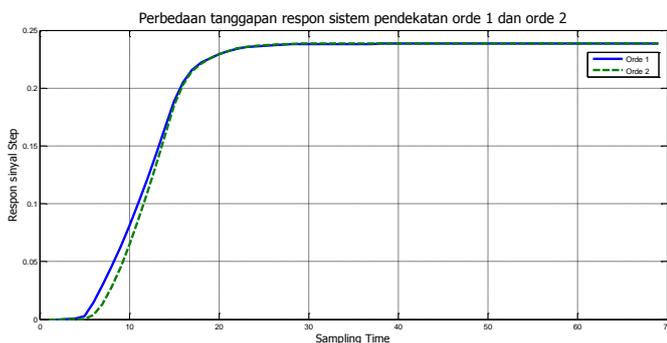
Gambar 14. Verifikasi *transfer function* dengan respon *plant*

IV. PEMBAHASAN DAN KESIMPULAN

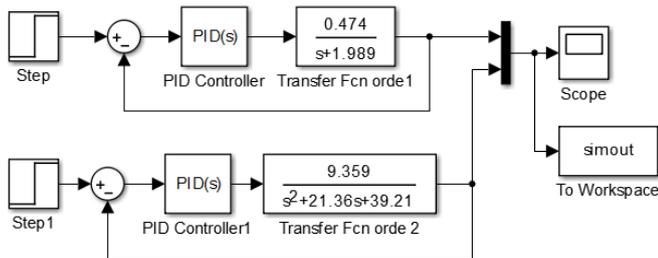
Berikut ini pengujian dan pembahasan hasil identifikasi motor DC dengan dua tipe pendekatan, yaitu orde 1 dan orde 2. Dengan memberikan sinyal masukan step terlihat pada gambar 15-16 bahwa hasil pendekatan orde 1 dan orde 2 tidak jauh berbeda. Namun saat ditambah kontroler PID dengan umpan balik dengan parameter $P=38$; $I=87$; $D=1$ dan koefisien filter=45 terlihat sistem orde 2 mengalami *overshoot* yang dipaparkan pada gambar 17-19.



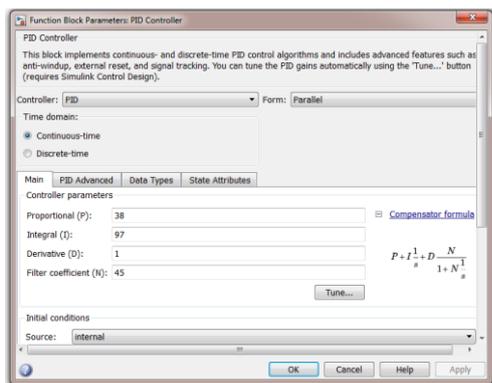
Gambar 15. Respon sinyal step pada sistem orde 1 dan orde 2



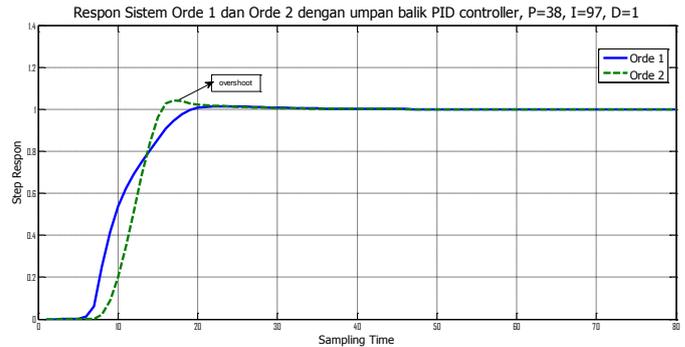
Gambar 16. Perbedaan tanggapan respon sistem pendekatan orde 1 dan orde 2



Gambar 17. Respon sinyal step pada sistem orde 1 dan orde 2 dengan umpan balik kontroler PID



Gambar 18. Menggunakan PID tuner untuk mendapatkan nilai parameter kendali yang diinginkan



Gambar 19. Perbedaan tanggapan respon sistem pendekatan orde 1 dan orde 2 dengan umpan balik dan kontroler PID

Dari hasil proses indentifikasi sistem ini mempermudah untuk mengetahui dan merancang parameter sistem kendali yang akan diterapkan atau diimplementasi kan secara *embedded system* dalam hal ini menggunakan Arduino. Se jauh ini metode *tuner* yang digunakan menggunakan fasilitas *tuner* PID yang telah disediakan oleh Simulink Matlab. Tahapan penelitian selanjutnya ialah mencoba dengan cara *tuning* analitik ataupun ekperimental lainnya seperti menggunakan metode Ziegler-Nichols, metode Cohen-Coon dan metode empirik. Selanjutnya kendali cerdas seperti Fuzzy logic dapat pula diterapkan pada sistem ini.

DAFTAR PUSTAKA

- H. Samsul Bachri M., Sistem Kendali Hybrid Pid - Logika Fuzzy Pada Pengaturan Kecepatan Motor DC, Makara Teknologi, Vol. 8, No. 1, April 2004: 25-34.
- Handy Wicaksono, Josaphat Pramudijanto, Kontrol PID Untuk Pengaturan Kecepatan Motor DC Dengan Metode Tuning Direct Synthesis, Jurnal Teknik Elektro Vol. 4, No. 1, Maret 2004: 10 – 17.
- J. Van de Vegte, Feedback Control Sistem, 3rd Ed., Prentice Hall Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, 1994.
- Landau, Ioan dan Gianluca Zito., Digital Control Systems Design, Identification and Implementation. Germany: SpringerVerlag London Limited, 2006.
- Muhammad Rizki Setiawan, M. Aziz Muslim dan Goegoes Dwi Nusantoro, Kontrol Kecepatan Motor DC Dengan Metode PID Menggunakan Visual Basic 6.0 Dan Mikrokontroler ATmega 16, Jurnal EECCIS Vol. 6, No. 2, Desember 2012.
- Ogata, Katsuhiko. Modern Control Engineering Third Edition. New Jersey : Prentice Hall, Upper Saddle River. 1997.