

PENGANTAR

Bismillahirrohmanirrohim. Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Metode Root Locus untuk Mencari Parameter PID pada Pengendalian Kecepatan Motor DC D-6759 Menggunakan Arduino Mega 2560” dengan baik. Tak lepas shalawat serta salam tercurahkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW yang telah menjadi suri tauladan bagi yang mengharapkan rahmat dan hidayah-Nya.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan serta dorongan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar – besarnya kepada:

- Allah SWT yang telah memberikan kelancaran, kemudahan dan hidayah-Nya.
- Kedua orang tua Gatot Triono dan Dwi Iswahyuni, serta mbak Citra Prabaningrum yang telah banyak memberikan do'a, kasih sayang, dukungan, serta semangat.
- Bapak M. Aziz Muslim, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
- Bapak Hadi Suyono ST., MT., Ph.D selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya sekaligus dosen penasehat akademik.
- Bapak Ir. Purwanto, MT. selaku KKDK Sistem Kontrol sekaligus dosen pembimbing skripsi.
- Ibu Dr. Ir. Erni Yudaningtyas, M.T. selaku Ketua Laboratorium Sistem Kontrol sekaligus dosen pembimbing skripsi yang telah memberikan banyak waktu, ilmu, masukan, dan kesabaran dalam membimbing.
- Bapak, Ibu dosen serta segenap staf dan karyawan Jurusan Teknik Elektro baik secara langsung maupun tidak langsung yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.
- Mbak Eka selaku Laboran Lab. Sistem Kontrol sekaligus sebagai pendengar keluh kesah serta kakak terbaik selama berada di Lab.
- Keluarga Besar Laboratorium Sistem Kontrol, Mas Darmoman, Mas Salmi, Mas Irjan, Mas Along, Mas Gladi, Mbak Yoshiko, Mas Ade, Mas Sendok, Mas Khairul, Mas Dito, Mas Hakiki, Mbak Hamu, Mbak Ika, Mbak Dina, Mbak Ayu, Mbak Neta, Bang Zai, Samid, Mirza, Azri, Tesu, Rozi, Suraduita, Andri, Dennis,

Yudha, Hilmi, Faris, Indrut, Apip, Yudha Nur, Ana, Diana, Ronny, Iqbal, Zaini, Rifan, terimakasih telah memberikan banyak bantuan dalam belajar dan menyelesaikan masalah.

- Teman-teman Tim Robot 2011, Desta, Irham, Guntur, Bustanul, Tegar, Mirza, Amanda, Yanto, Jaka, Ainun, dan Liza yang selalu menemani dan memberi semangat.
- Adik-adik Tim Robot 2012 dan 2013 yang membantu secara langsung maupun tidak langsung.
- Teman seperjuangan saat mengerjakan skripsi, Desta, Naufal, Wirangga, Joko, Yanto, Brilli Latuconsina, Ababiel, Ucup, Rifan, Tegar, Johanes, Bustanul, Jaka, Fadianto Mirza dan Irham terima kasih untuk semuanya.
- Prof Azri, Dimas dan Rozi yang tidak pernah lelah mengingatkan dan menyemangati untuk terus mengerjakan skripsi.
- Jaja, Adib item, Sandy, Indra bosu, Oky, Gagah, dan juga Bona yang telah meluangkan waktu untuk bercanda dan bercengkerama bersama selama tinggal di kost.
- Tak lupa keluarga besar INVERTER'11, tak terkecuali cilik sebagai Ketua Angkatan yang memberikan semangat, do'a, dan dukungan.
- Semua pihak yang telah memberikan bantuan serta dukungan baik secara langsung maupun tidak langsung atas penyusunan skripsi ini.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa skripsi ini belumlah sempurna, karena keterbatasan ilmu dan kendala – kendala lain yang terjadi selama penggerjaan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis berharap kritik dan saran untuk penyempurnaan tulisan di masa yang akan datang, semoga tulisan ini dapat bermanfaat dan dapat digunakan untuk pengembangan lebih lanjut.

Malang, Januari 2016

Penulis

RINGKASAN

Bayu Prabariantos, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Januari 2016, *Metode Root Locus Untuk mencari Parameter PID pada Pengendalian Kecepatan Motor DC D-6759 Menggunakan Mikrokontroller Arduino Mega 2560*, Dosen Pembimbing : Erni Yudaningsya dan Purwanto.

Motor DC merupakan aktuator yang banyak digunakan dalam industri pada bidang kontrol. Motor DC dapat menyediakan sebuah torsi awal yang tinggi dan juga memungkinkan untuk mendapatkan berbagai kontrol kecepatan. Motor DC memiliki respon yang cepat, namun masih memiliki *error steady state*. Oleh karena itu dibutuhkan suatu kontroler yang tepat dan sesuai dengan plant sistem. Kontroler Proporsional Integral Diferensial (PID) adalah kontrol aksi yang memiliki respon cepat, sehingga sesuai untuk mengontrol kecepatan motor DC. Diantara metode yang biasa digunakan untuk mencari parameter PID metode *root locus* dianggap lebih akurat untuk mencari parameter PID pada plant motor DC D-6759. Oleh karena itu pada skripsi ini digunakan metode *root locus* untuk mendapatkan nilai parameternya dan didapat nilai parameter $K_p = 2.3286$, $K_i = 8$, dan $K_d = 0.0345$. Dari parameter tersebut diimplementasikan pada motor DC untuk dibandingkan antara hasil respon sistem menggunakan aplikasi *simulink* Matlab dengan hasil respon sistem implementasi pada motor DC.

Respon motor DC hasil implementasi dengan *setpoint* 150, 250 dan 350 rpm memiliki *settling time* adalah 8 detik, 9 detik dan 9.5 detik. Namun, hasil simulasi matlab tidak sama dengan hasil respon motor DC pada hasil implementasi. Implementasi pada motor DC terdapat gangguan yang berupa piringan besi sehingga menimbulkan kelembaman pada putaran motor DC. Namun, hasil implementasi tidak memiliki nilai *error steady state* dan sangat responsif ketika diberi gangguan.

Kata Kunci—Motor DC, Kontrol kecepatan, Kontroler PID, *root locus*.



SUMMARY

Bayu Prabariantoro, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, in January 2016, Root Locus method To find the PID parameters in DC Motor D-6759 Speed Control Using Arduino Mega 2560 Microcontroller, Academic Supervisor: Erni Yudaningtyas and Purwanto.

A DC motor actuators are widely used in industry in the field of control. DC motor can provide a high starting torque and also makes it possible to obtain a wide range of speed control. DC motor has a fast response, but still have a steady state error. Therefore we need a controller that is appropriate to the plant system. Controller Proportional Integral Differential (PID) is a control action has a quick response, so it is suitable for DC motor speed control. Among the methods used to find PID parameter root locus method is considered more appropriate to look for PID parameters on the DC motor plant D-6759. Therefore, in this paper the root locus method is used to get the value of the parameters and parameter values obtained $K_p = 2.3286$, $K_i = 8$, dan $K_d = 0.0345$. From these parameters are implemented on a DC motor for a comparison between the results of the system response using Matlab Simulink application with the results of implementation of the system response to a DC motor.

DC motor response to the results of the implementation of setpoint 150, 250 and 350 rpm pick the settling time is 8 seconds, 9 seconds and 9.5 seconds. However, the results are not the same as matlab simulation results DC motor response to the results of implementation. Implementation of a DC motor there is interference in the form of iron disc, causing inertia in rotation DC motor. However, the results of implementation has no steady state error value and highly responsive when given disorder.

Keyword-DC motor, speed control, PID controller, root locus.



DAFTAR ISI

| | |
|--|-----|
| PENGANTAR | i |
| RINGKASAN | iii |
| SUMMARY | iv |
| DAFTAR ISI | v |
| DAFTAR GAMBAR | vii |
| DAFTAR TABEL | ix |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 2 |
| 1.3 Batasan Masalah | 2 |
| 1.4 Tujuan | 3 |
| 1.5 Sistematika Pembahasan | 3 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1 Pemodelan | 5 |
| 2.2 Mikrokontroller Arduino Mega 2560 | 5 |
| 2.3 Motor DC D-6759 | 7 |
| 2.4 <i>Incremental Rotary Encoder</i> | 8 |
| 2.5 Driver Motor | 9 |
| 2.6 <i>Pulse Width Modulation (PWM)</i> | 10 |
| 2.7 Matlab R2013a | 11 |
| 2.8 <i>Pseudo Random Binary Square (PRBS)</i> | 12 |
| 2.9 Kontroller | 14 |
| 2.9.1 Kontroller Proporsional | 15 |
| 2.9.2 Kontroller Integral | 15 |
| 2.9.3 Kontroller Differensial | 16 |
| 2.9.2 Kontroller Proporsional Integral Differensial | 17 |
| 2.10 Metode Perancangan Kontroller PID Menggunakan Metode <i>Root Locus</i> .. | 17 |
| BAB III METODE PENELITIAN | 21 |
| 3.1 Perancangan Diagram Blok Sistem | 21 |
| 3.2 Pembuatan Perangkat Keras | 21 |



| | |
|---|-----------|
| 3.3 Pengujian Alat | 23 |
| 3.4 Pengambilan Kesimpulan dan Saran..... | 23 |
| BAB IV PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT | 25 |
| 4.1 Spesifikasi Alat | 25 |
| 4.2 Pembuatan Perangkat Keras | 27 |
| 4.3 Prinsip Kerja Sistem | 28 |
| 4.4 Penentuan Fungsi Alih Motor DC D-6759 | 29 |
| 4.5 Validasi Fungsi Alih Motor DC D-6759 | 33 |
| 4.6 Perancangan Perangkat Lunak (<i>Software</i>) | 34 |
| 4.6.1 Flowchart Sistem secara keseluruhan | 34 |
| 4.6.2 Flowchart Hitung Pulsa | 35 |
| 4.6.3 Flowchart Kontrol PID | 36 |
| 4.7 Penentuan Parameter Kontrol PID | 36 |
| BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS SISTEM | 41 |
| 5.1 Pengujian Sistem | 41 |
| 5.1.1 Motor DC D-6759 | 41 |
| 5.1.2 Pengujian Driver H-Bridge BTS7960 | 43 |
| 5.1.3 Pengujian Rotary Encoder E50S8-360-3-N-24 | 45 |
| 5.2 Pengujian Sistem Keseluruhan | 47 |
| 5.2.1 Pengujian Sistem Pada Simulasi Matlab | 47 |
| 5.2.2 Pengujian Sistem Pada Alat | 49 |
| 5.2.3 Pengujian Sistem pada Alat dengan diberi Gangguan | 51 |
| BAB VI PENUTUP | 55 |
| 6.1 Kesimpulan | 55 |
| 6.2 Saran | 55 |
| DAFTAR PUSTAKA | 57 |
| LAMPIRAN 1 | 59 |
| LAMPIRAN 2 | 63 |
| LAMPIRAN 3 | 69 |
| LAMPIRAN 4 | 71 |

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|-------------|---|----|
| Gambar 2.1 | Arduino Mega 2560 | 5 |
| Gambar 2.2 | Elemen-elemen Dasar Motor DC D-6759 | 7 |
| Gambar 2.3 | Motor DC D-6759 | 8 |
| Gambar 2.4 | Sinyal Keluaran Encoder | 8 |
| Gambar 2.5 | <i>Increment Rotary Encoder E50 Series</i> | 9 |
| Gambar 2.6 | Driver Motor H-Bridge BTS7960 | 9 |
| Gambar 2.7 | Konfigurasi Driver Motor H-Bridge BTS7960 | 10 |
| Gambar 2.8 | Sinyal PWM Secara Umum | 11 |
| Gambar 2.9 | Tampilan Software Matlab 2013a | 12 |
| Gambar 2.10 | Register Geser 5 Bit dengan Umpang Balik | 14 |
| Gambar 2.11 | Diagram Blok Kontroller Proporsional | 15 |
| Gambar 2.12 | Diagram Blok Kontroller Integral..... | 16 |
| Gambar 2.13 | Diagram Blok Kontroller Differensial | 16 |
| Gambar 2.14 | Diagram Blok Kontroller Proporsional Integral Differensial | 17 |
| Gambar 2.15 | Sistem Kendali Loop Tertutup | 18 |
| Gambar 3.1 | Diagram Blok Sistem Loop Tertutup | 21 |
| Gambar 3.2 | Skema Pembuatan Perangkat Keras | 23 |
| Gambar 4.1 | Power Supply Unit (PSU) | 25 |
| Gambar 4.2 | Arduino Mega 2560 | 26 |
| Gambar 4.3 | Driver Motor H-Bridge BTS7960 | 26 |
| Gambar 4.4 | Motor DC D-6759 | 26 |
| Gambar 4.5 | <i>Rotary encoder</i> Autonics E50S8-360-3-N-24 | 26 |
| Gambar 4.6 | Skema Pembuatan Perangkat Keras | 27 |
| Gambar 4.7 | Pembuatan modul Motor DC D-6759 dan <i>Rotary Encoder</i> E50 series .. | 27 |
| Gambar 4.8 | Pembuatan modul Arduino Mega 2560 dan <i>Driver</i> motor | 28 |
| Gambar 4.9 | Respon sinyal PRBS dan kecepatan motor DC D-6759 | 30 |
| Gambar 4.10 | <i>System Identification Toolbox</i> | 31 |
| Gambar 4.11 | Hasil Estimasi Sistem | 31 |

| | | |
|-------------|---|----|
| Gambar 4.12 | Respon Fungsi Alih Motor DC dengan masukan Unit Step | 32 |
| Gambar 4.13 | Diagram Blok Sistem Keseluruhan | 33 |
| Gambar 4.14 | Validasi Fungsi Alih dengan Respon Motor DC D-6759 | 34 |
| Gambar 4.15 | <i>Flowchart</i> Sistem Keseluruhan | 35 |
| Gambar 4.16 | <i>Flowchart</i> Perhitungan Pulsa Kecepatan Motor DC | 35 |
| Gambar 4.17 | <i>Flowchart</i> Kontrol PID | 36 |
| Gambar 4.18 | Letak Pole pada Diagram <i>Root Locus</i> (Perancangan) | 37 |
| Gambar 4.19 | Grafik respon sistem tanpa kontroller PID | 39 |
| Gambar 4.20 | Grafik respon sistem dengan kontroller PID | 39 |
| Gambar 5.1 | Grafik perubahan kecepatan motor DC terhadap perubahan tegangan .. | 43 |
| Gambar 5.2 | Grafik perubahan tegangan <i>output driver</i> terhadap <i>duty cycle</i> | 45 |
| Gambar 5.3 | Grafik perubahan respon kecepatan motor DC terhadap <i>duty cycle</i> | 47 |
| Gambar 5.4 | Grafik respon sistem simulasi Matlab dengan <i>setpoint</i> sebesar 150 Rpm | 48 |
| Gambar 5.5 | Grafik respon sistem simulasi Matlab dengan <i>setpoint</i> sebesar 250 Rpm | 48 |
| Gambar 5.6 | Grafik respon sistem simulasi Matlab dengan <i>setpoint</i> sebesar 350 Rpm | 49 |
| Gambar 5.7 | Grafik respon Motor DC dengan <i>setpoint</i> sebesar 150 Rpm..... | 50 |
| Gambar 5.8 | Grafik respon Motor DC dengan <i>setpoint</i> sebesar 250 Rpm..... | 50 |
| Gambar 5.9 | Grafik respon Motor DC dengan <i>setpoint</i> sebesar 350 Rpm | 51 |
| Gambar 5.10 | Grafik respon Motor DC dengan <i>setpoint</i> sebesar 150 Rpm dengan gangguan..... | 52 |
| Gambar 5.11 | Grafik respon Motor DC dengan <i>setpoint</i> sebesar 250 Rpm dengan gangguan | 52 |
| Gambar 5.12 | Grafik respon Motor DC dengan <i>setpoint</i> sebesar 250 Rpm dengan gangguan..... | 53 |



DAFTAR TABEL

| | | |
|-----------|---|----|
| Tabel 2.1 | Tabel Variasi Panjang Sekuensial PRBS | 13 |
| Tabel 4.1 | Parameter PID dengan $s_1 = -8.08$ | 38 |
| Tabel 5.1 | Data pengujian kecepatan motor DC terhadap tegangan | 42 |
| Tabel 5.2 | Data pengujian <i>driver</i> motor H-Bridge BTS7960 | 44 |
| Tabel 5.3 | Data pengujian <i>rotary encoder</i> E50S8-360-3-N-24 | 46 |





UNIVERSITAS BRAWIJAYA

