



**SIMULASI SISTEM KENDALI KESTABILAN MOTOR DC
MENGUNAKAN KENDALI PID DAN *FUZZY LOGIC CONTROLER*
(FLC)**

skripsi

disusun sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Sarjana Sains
Program Studi Fisika

oleh

Arif In Amilah
4211410026



JURUSAN FISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2016

PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi ini bebas plagiat, dan apabila dikemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam skripsi ini, maka saya menerima sanksi sesuai ketentuan perundang-undangan.



UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul

“Simulasi Sistem Kendali Kestabilan Motor DC Menggunakan Kendali PID Dan Fuzzy Logic Controller(FLC)”.

disusun oleh : Arif In Amilah (4211410026)

Telah dipertahankan di hadapan Sidang Panitia Ujian Skripsi FMIPA UNNES pada :

Hari : Kamis

Tanggal : 28 April 2016

Panitia:



Ketua
Prof. Dr. Zaenuri, S.E, M.Si, Akt.
196412231988031001

Sekretaris

Dr. Subarto Liatuwih, M.Si
196807141996081005

Penguji 1

Prof. Dr. Susilo, M.S.
195208011976031006

Penguji 2

Dr. Sujarwata, M.T.
196101041989031001

Pembimbing

Sumiarto, S.Si, M.Si
197201121999031003

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

Motto :

- * *“wahai orang yang beriman, bersabaralah kamu dan kuatkanlah kesabaranmu...”* (QS. Ali-Imron: 200)
- * *“jika kamu berbuat baik (berarti) kamu berbuat baik bagi dirimu sendiri dan sebaliknya jika kamu berbuat jahat, maka kejahatan itu untuk dirimu sendiri pula”* (QS. Al-Isra’: 7)
- * Waktu itu bagaikan sebilah pedang, kalau engkau tidak memanfaatkannya, maka ia akan memotongmu (Ali bin Abu Thalib)

Persembahan :

- * Bapak Khamim dan Ibu Zakiyah
- * Bapak dan Ibu Dosen Fisika UNNES
- * Siti Maghfiroh
- * Pengasuh PONPES Al-Asror KH. Almamnuhin Kholid
- * Sahabat Kos Plat-G
- * Teman Fisika angkatan 2010

KATA PENGANTAR

Bismillahirrohmanirrohim,

Segala puji dan syukur penulis panjatkan hanya kepada Allah SWT atas segala rakhman dan rokhim-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Simulasi Sistem Kendali Kestabilan Motor DC Menggunakan Kendali PID Dan *Fuzzy Logic Controller* (FLC)”.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak yang telah memberikan saran, bimbingan, petunjuk serta dukungan sehingga penulisan skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada

1. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M. Hum, Rektor Universitas Negeri Semarang.
2. Prof. Dr. Zaenuri, S.E, M.Si (Akt), dekan FMIPA Universitas Negeri Semarang.
3. Dr. Suharto Linuwih, M.Si, Ketua Jurusan Fisika.
4. Sunarno, S.Si, M.Si, dosen pembimbing utama yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan saran kepada penulis selama penyusunan skripsi serta selama proses perkuliahan.
5. Dr. Sugianto, M.Si, selaku dosen wali yang memberikan pengarahan dan saran kepada penulis selama proses perkuliahan.
6. Prof. Dr. Susilo, M.S., selaku dosen penguji.
7. Dr. Sujarwata, M.T., selaku dosen penguji.
8. Teman kos Plat-G yang memberikan motivasi selama kuliah.

9. Teman di PONPES Al-Asror yang mengajarkan ketekunan dan kesabaran serta berjiwa besar.
10. Teman-teman seperjuangan Fisika 2010 yang telah mendahului lulus.
11. Semua pihak yang telah membantu penulis selama penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, karena kesempurnaan hanyalah milik Allah SWT. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis, pada khususnya, lembaga, masyarakat dan pembaca pada umumnya.

Semarang, 28 April 2016

Penulis

Arif In Amilah
4211410026

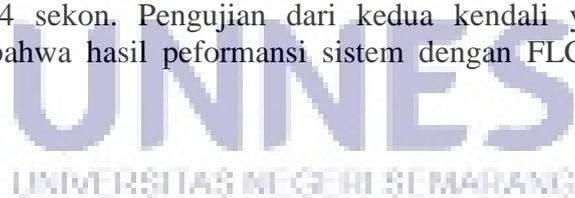


ABSTRAK

Amilah, Arif In. 2016. *Simulasi Sistem Kendali Kestabilan Motor DC Menggunakan Kendali PID dan Fuzzy Logic Controller (FLC)*. Skripsi, Jurusan Fisika, Universitas Negeri Semarang. Pembimbing Utama Sunarno S.Si, M.Si

Kata kunci: *Fuzzy Logic Controller (FLC), Motor DC, PID (Proporsional, Integral, Derivative), Simulink matlab.*

Banyak penelitian yang sudah dilakukan dalam pengembangan pengendali logika fuzzy-PID. Kebanyakan pengendali yang sudah dikembangkan kemudian diuji menggunakan beberapa model matematis yang mempunyai karakteristik berbeda-beda yang mendekati karakteristik beberapa sistem yang nyata kemudian melakukan analisis secara matematis dan melakukan simulasi dengan sebuah perangkat lunak (*software*). Penelitian ini bertujuan untuk membuat simulasi sistem kendali kestabilan Motor DC, agar didapatkan performansi sistem yang baik. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu pemodelan dan simulasi sistem Motor DC dan kendalinya menggunakan Simulink matlab. Kendali yang ditetapkan pada penelitian ini menggunakan kendali PID dan FLC (*Fuzzy Logic Controller*). Pengujian pada kendali PID dilakukan sebanyak 6 kali sehingga dapat mengetahui pengaruh pemberian penguatan terhadap hasil peformansi sistem. Hasil pemberian penguatan $K_p = 0.08$, $K_i = 2.4$, $K_d = 0.0002$ menunjukkan peformansi sistem yang sesuai dengan desain kriteria. Karakteristik peformansi sistem yang dihasilkan pada kendali PID yaitu *settling time* 1.24 sekon, dengan *overshoot* 3.2%, *rise time* 0.047 sekon. Pengujian pada FLC dilakukan dengan dua variasi aturan logika fuzzy yaitu 5 aturan, dan 9 aturan. Peformansi sistem yang optimal dan sesuai dengan desain kriteria pada pemberian 9 aturan logika fuzzy, dengan karakteristik sistem yaitu *settling time* 1.4 sekon, *overshoot* 1.84%, *rise time* 0.004 sekon. Pengujian dari kedua kendali yang telah dilakukan menunjukkan bahwa hasil peformansi sistem dengan FLC lebih baik daripada kendali PID.



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Batasan Masalah	3
1.3. Rumusan Masalah	4
1.4. Tujuan Penelitian	4
1.5. Manfaat Penelitian	4
1.6. Sistematika Skripsi	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Transformasi Laplace	6
2.2. Fungsi Alih	6
2.3. Diagram Blok	7
2.4. Diagram Blok Loop Tertutup	7

2.5. Sistem Kontrol	8
2.6. Sistem Motor DC (<i>Direct Current</i>)	8
2.7. Model Matematik Motor DC	9
2.8. Jenis Kontrol	11
8.1.Kontrol Proporsional	11
8.2.Kontrol Integral	12
8.3.Kontrol Derivatif	12
8.4.Kontrol Proporsional Integral (PI)	12
8.5.Kontrol Proporsional Derivatif (PD)	13
8.6.Kontrol Proporsional Derivatif (PID)	13
2.9. Logika <i>Fuzzy</i>	14
2.9.1. Gambaran Logika <i>Fuzzy</i>	14
2.9.2. Metode Mamdani	16
2.10. Respon Transien	17

BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Pelaksanaan Penelitian	19
3.2. Fokus Penelitian	19
3.3. Prosedur Penelitian	19
3.4. Pengambilan Data	19
3.5. Analisis Data	20
3.6. Diagram Alir Penelitian	20

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Simulasi Motor DC Pada Sistem Loop Terbuka.....	25
--	----

4.2. Simulasi Motor DC Dengan Kendali PID	28
4.2.1. Pengujian 1	29
4.2.2. Pengujian 2	30
4.2.3. Pengujian 3	30
4.2.4. Pengujian 4	31
4.2.5. Pengujian 5	32
4.2.6. Pengujian 6	34
4.3. Sistem Motor DC Dengan <i>Fuzzy Logic Controller</i> (FLC)	35
4.3.1. Pengujian 1	35
4.3.2. Pengujian 2	38
BAB V PENUTUP	
5.1. Kesimpulan	41
5.2. Saran	41
DAFTAR PUSTAKA	42
HALAMAN LAMPIRAN	44



DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1. Tanggapan Sistem Kontrol PID Terhadap Perubahan Parameter P, I dan D.....	14
4.1. Pengujian Sistem Motor DC Menggunakan Kendali PID	29
4.2. Pengujian 1 Sistem Motor DC Dengan Kendali PID.....	29
4.3. Pengujian 2 Sistem Motor DC Dengan Kendali PID.....	30
4.4. Pengujian 3 Sistem Motor DC Dengan Kendali PID.....	31
4.5. Pengujian 4 Sistem Motor DC Dengan Kendali PID.....	32
4.6. Pengujian 5 Sistem Motor DC Dengan Kendali PID.....	33
4.7. Pengujian 6 Sistem Motor DC Dengan Kendali PID.....	34
4.8. Pengujian 1 Sistem Motor DC Dengan Kendali <i>Fuzzy</i>	37
4.9. Pengujian 2 Sistem Motor DC Dengan Kendali <i>Fuzzy</i>	40



DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1. Diagram Blok Sistem.....	7
2.2. Diagram Blok Sistem Loop Tertutup.....	7
2.3. Elemen – Elemen Sistem Kontrol Loop Tertutup.....	8
2.4. Motor DC	9
2.5. Rangkaian Sederhana Motor DC Magnet Permanen	10
2.6. Diagram Blok Fungsi Alih Motor DC	11
2.7. Kontrol PID- <i>Fuzzy</i>	15
2.8. Kurva Respon Transien.....	17
3.1. Diagram Alir Penelitian	22
4.1. Sistem Dari Persamaan Motor DC.....	24
4.2. Sistem Motor DC Loop Terbuka	25
4.3. Grafik Keluaran Motor DC Openloop Dengan Beban 0 kg	25
4.4. Grafik Keluaran Motor DC Openloop Dengan Beban 0.1 kg	26
4.5. Grafik Keluaran Motor DC Openloop Dengan Beban 0.5 kg	26
4.6. Grafik Keluaran Motor DC Openloop Dengan Beban 3 kg	26
4.7. Grafik Keluaran Motor DC Openloop Dengan Beban 100 kg	27
4.8. Sistem Motor DC Dengan Kendali PID.....	28
4.9. Grafik Keluaran Sistem Motor DC Dengan Kendali PID Pengujian 1	29
4.10. Grafik Keluaran Sistem Motor DC Dengan Kendali PID Pengujian 2	30
4.11. Grafik Keluaran Sistem Motor DC Dengan Kendali PID Pengujian 3	31
4.12. Grafik Keluaran Sistem Motor DC Dengan Kendali PID Pengujian 4	32

4.13. Grafik Keluaran Sistem Motor DC Dengan Kendali PID Pengujian 5	33
4.14. Grafik Keluaran Sistem Motor DC Dengan Kendali PID Pengujian 6	34
4.15. Sistem Motor DC Dengan Kendali FLC.....	35
4.16. Grafik <i>Input</i> Variabel.....	36
4.17. Grafik <i>Output</i> Variabel	36
4.18. <i>Rule Fuzzy</i>	37
4.19. Grafik Keluaran Sistem Motor DC Dengan Kendali <i>Fuzzy</i>	37
4.20. Grafik <i>Input</i> Variabel.....	38
4.21. Grafik <i>Output</i> Variabel	38
4.22. <i>Rule Fuzzy</i>	39
4.23. Grafik Keluaran Sistem Motor DC Dengan Kendali <i>Fuzzy</i>	40



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Script Matlab untuk Motor DC	45
2. Modeling Pada Simulink Matlab	47
3. Struktur FIS Pada Aturan Kendali Fuzzy	48



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Kontrol otomatis telah memegang peranan yang penting dalam perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi terutama dibidang industri. Kontrol otomatis merupakan bagian terpenting dalam pabrik dan industri modern. Sebagai contoh kontrol yang digunakan untuk mengatur tekanan, temperatur, kecepatan, viskositas dan aliran. Dengan kontrol yang tepat dapat meningkatkan kualitas dan menurunkan biaya produksi serta mempertinggi laju produksi itu sendiri (Sukendar, 2007).

Pada umumnya, sistem penggerak yang diinginkan adalah mempunyai dinamika respon yang cepat dan tanpa lonjakan (*overshoot*) terhadap perubahan sinyal rujukan, kinerja peredaman gangguan yang baik dan tidak peka terhadap gangguan eksternal dan perubahan internal pada parameter sistem. Penggunaan pengontrol otomatis pada Motor DC dapat menyebabkan sistem pengaturan kecepatannya tidak akan menghasilkan lonjakan arus pada kumparan jangkarnya. Hal ini dapat memperpanjang usia pemakaian Motor DC tersebut.

Suatu sistem diharapkan mempunyai performansi yang sangat baik ditinjau dari respon sistem terhadap masukan yang di sengaja seperti perubahan set point ataupun yang tidak disengaja seperti gangguan dari luar sistem dan dari dalam sistem itu sendiri (Nayiroh, 2010).

Dalam suatu sistem kontrol telah dikenal adanya beberapa macam aksi kontrol, diantaranya yaitu aksi kontrol proporsional (K_p), aksi kontrol integral (K_i)

dan aksi kontrol derivatif (K_d). Masing-masing aksi kontrol ini mempunyai keunggulan-keunggulan tertentu, dimana aksi kontrol proporsional mempunyai keunggulan *rise time* yang cepat, aksi kontrol integral mempunyai keunggulan untuk memperkecil error, dan aksi kontrol derivatif mempunyai keunggulan untuk memperkecil error atau meredam *overshot / undershot*. Untuk itu agar di dapatkan hasil *output* dengan *rise time* yang tinggi dan error yang kecil yaitu dengan cara menggabungkan ketiga aksi kontrol ini menjadi aksi kontrol PID, dan pada masalah ini sistem kendali yang digunakan adalah sistem kendali PID digital.

Di lain pihak juga berkembang suatu teknologi dimana banyak orang tidak lagi memakai cara konvensional untuk mendapatkan suatu hasil yang diinginkan dengan memakai persamaan matematika. Tetapi dengan menerapkan suatu sistem kemampuan manusia untuk mengendalikan sesuatu, yaitu dalam bentuk aturan-aturan. Jika – maka (*If – Then Rules*), sehingga proses pengendalian akan mengikuti pendekatan secara linguistik, sistem ini disebut dengan sistem kendali logika *fuzzy*, yang mana sistem kendali logika *fuzzy* ini tidak memiliki ketergantungan pada variabel–variabel proses kendali. Sistem ini dikembangkan dalam bidang teknik kontrol, terutama untuk sistem nonlinier dan dinamis. Pada industri-industri yang membutuhkan suatu sistem kontrol dengan kecepatan tinggi dan keakuratan data *output*, maka pemakaian aksi kontrol PID mungkin masih dianggap kurang memuaskan. Sebab jika menggunakan aksi kendali PID didapatkan jika suatu kontroler di set sangat sensitif, maka *overshot / undershot* yang dihasilkan akan semakin peka, sehingga osilasi yang ditimbulkan akan lebih

tinggi, sedangkan bila kontroler di set kurang peka maka terjadinya *overshot* / *undershot* dapat diperkecil, tetapi waktu yang dibutuhkan akan semakin lama dan ini akan menjadikan suatu masalah dalam suatu proses industri (Bachri M., 2004).

Berkaitan dengan permasalahan yang muncul dari penjabaran sebelumnya, dapat dirumuskan masalah yaitu meneliti kestabilan Motor DC dengan judul “Simulasi sistem kendali kestabilan Motor DC menggunakan kendali PID dan *Fuzzy Logic Controller* (FLC)“. Dengan adanya simulasi pengendali ini maka diharapkan akan mendapat suatu respon yang mempunyai tingkat kestabilan yang tinggi dan analisa menjadi mudah.

1.2 Batasan Masalah

- a. Motor penggerak dibagi menjadi dua yaitu Motor AC dan Motor DC, dalam penelitian ini hanya membahas Motor DC karena magnet permanen pada Motor DC memberikan kontrol yang lebih baik daripada Motor AC pada beban torsi tinggi dan Motor DC telah digunakan dalam aplikasi industri yang luas.
- b. Perancangan kontrol menggunakan kontrol PID dan logika *fuzzy*, kedua kontrol ini lebih sederhana dalam perhitungan matematis serta simulasinya dibandingkan kontrol lain seperti *pole placement controller*.
- c. Untuk model logika *fuzzy* ada 3 metode yaitu Mamdani, Sugeno dan Tsukamoto. Namun untuk kontrol PID dan logika *fuzzy* yang digunakan adalah metode Mamdani karena penggunaan metode Mamdani dinilai lebih efisien.

1.3 Rumusan Masalah

- a. Bagaimana desain simulasi sistem kendali kestabilan Motor DC dengan menggunakan simulink matlab ?
- b. Apakah kestabilan Motor DC kendali *fuzzy* lebih baik dibandingkan dengan kestabilan Motor DC kendali PID ?

1.4 Tujuan Penelitian

- a. Membuat desain simulasi sistem kendali kestabilan Motor DC dengan menggunakan simulink-matlab.
- b. Menganalisis performansi sistem Motor DC dengan kendali *fuzzy* dan PID serta membandingkan performansi kedua kendali yang digunakan.

1.5 Manfaat Penelitian

Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi yang berguna bagi peneliti maupun pihak lainnya, khususnya bagi industri yang telah menggunakan sistem kendali otomatis menggunakan simulasi kontrol dengan berbasis matlab. Selain itu juga diharapkan penelitian ini dapat memberikan informasi mengenai pemahaman suatu sistem kontrol dan analisis suatu sistem kepada ilmu pengetahuan di bidang pendidikan tingkat perguruan tinggi.

1.6 Sistematika Skripsi

Adapun sistematika penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut :

Bagian pendahuluan, berisi : halaman judul, pernyataan, halaman pengesahan, motto dan persembahan, kata pengantar, abstrak, daftar isi, daftar tabel, daftar gambar, dan daftar lampiran.

Bagian isi skripsi, terdiri dari lima bab yang meliputi:

- Bab I Pendahuluan, bab ini memuat latar belakang, batasan masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika skripsi.
- Bab II Tinjauan Pustaka, bab ini berisi kajian mengenai landasan teori yang mendasari penelitian.
- Bab III Metodologi penelitian, bab ini berisi uraian tentang waktu dan tempat pelaksanaan penelitian, metode pengumpulan data.
- Bab IV Hasil dan pembahasan, bab ini berisi tentang hasil penelitian dan pembahasan.
- Bab V Penutup, bab ini berisi tentang kesimpulan hasil penelitian, dan saran-saran sebagai implikasi dari hasil penelitian.

Bagian penutup, bagian ini berisi daftar pustaka dan lampiran-lampiran.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Transformasi Laplace

Transformasi Laplace adalah salah satu alat matematis yang digunakan untuk mencari persamaan diferensial linear biasa. Transformasi Laplace dari fungsi $f(t)$ didefinisikan sebagai berikut (Ogata, 1991: 19):

$$\mathcal{L}\{f(t)\} = F(s) = \int_0^{\infty} e^{-st} f(t) dt \quad 2.1$$

dimana $f(t)$ = fungsi waktu t sedemikian rupa sehingga $f(t) = 0$ untuk $t < 0$, s = variabel kompleks, dan $F(s)$ = Transformasi Laplace dari $f(t)$.

Proses matematik dalam mengubah ekspresi variabel kompleks menjadi ekspresi waktu disebut Transformasi balik. Notasi Transformasi balik adalah \mathcal{L}^{-1} sehingga (Ogata, 1991: 19)

$$\mathcal{L}^{-1}[F(s)] = f(t) \quad 2.2$$

secara matematis, $f(t)$ diperoleh dengan ekspresi sebagai berikut (Ogata, 1991: 38):

$$f(t) = \frac{1}{2\pi j} \int_{c-j\omega}^{c+j\omega} F(s) e^{st} ds \quad 2.3$$

2.2 Fungsi Alih

Fungsi alih didefinisikan sebagai perbandingan antara Transformasi Laplace keluaran terhadap Transformasi Laplace masukan dengan anggapan semua syarat awal adalah nol. Misal persamaan matematika sistem yang ditulis sebagai berikut (Ogata, 1996: 46):

$$a_0 y^n + a_1 y^{n-1} + \dots + a_{n-1} y + a_n y = b_0 x^m + b_1 x^{m-1} + \dots + b_{m-1} x + b_m x \quad 2.4$$

dengan ($n \geq m$), maka fungsi alih persamaan sistem dapat ditulis:

$$\text{Fungsi alih} = G(s) = \frac{\text{Laplace [keluaran]}}{\text{Laplace [masukan]}}$$

$$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{b_0 s^m + b_1 s^{m-1} + \dots + b_{m-1} s + b_m s}{a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_{n-1} s + a_n s} \quad 2.5$$

2.3 Digram Blok

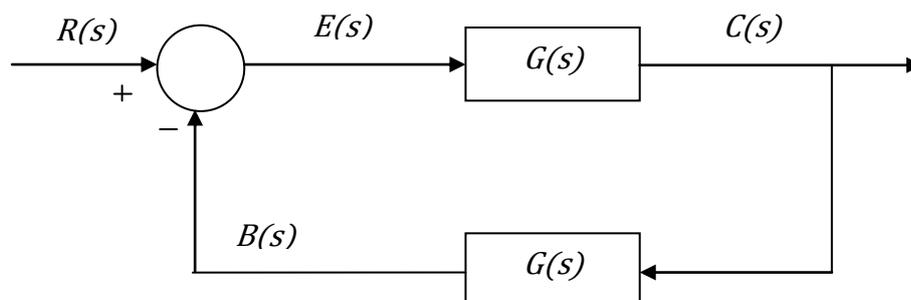
Diagram blok adalah suatu pernyataan gambar yang diringkas dari hubungan sebab dan akibat antar masukan dan keluaran dari suatu sistem fisis. Bentuk paling sederhana dari diagram blok adalah blok tunggal, dengan satu masukan dan satu keluaran (Joseph, 1985: 12).



Gambar 2.1 Diagram Blok Tunggal

2.4 Diagram Blok Loop Tertutup

Bentuk diagram blok tertutup dapat dilihat pada Gambar 2.2, $G(s)$ adalah fungsi alih sistem dan $H(s)$ adalah fungsi alih umpan balik



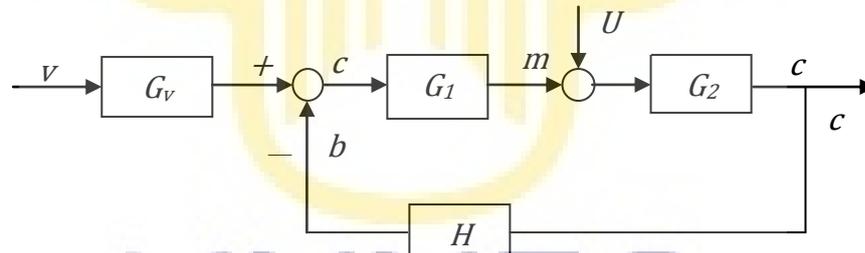
Gambar 2.2 Diagram Blok Sistem Loop Tertutup

keluaran $C(s)$ diumpan balikkan ke titik penjumlahan untuk dibandingkan dengan masukan acuan $R(s)$, dari Gambar 2.2 maka dapat diketahui (Ogata, 1996: 49-50):

1. Fungsi Alih Loop Terbuka = $\frac{B(s)}{E(s)} = G(s)H(s)$
2. Fungsi Alih Umpan Maju = $\frac{C(s)}{E(s)} = G(s)$
3. Fungsi Alih Loop Tertutup = $\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G(s)}{1+G(s)R(s)}$

2.5 Sistem Kontrol

Suatu proses kontrol secara fungsional dapat dinyatakan oleh blok diagram yang bentuknya bergantung pada jumlah elemen. Blok diagram yang umum diberikan pada Gambar 2.3.



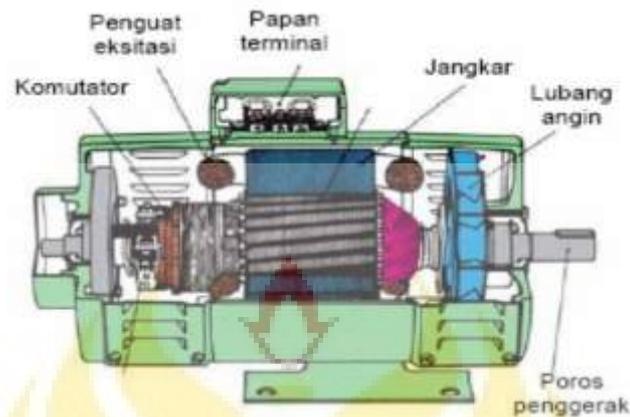
Gambar 2.3 Elemen – Elemen Sistem Kontrol Loop Tertutup

Secara umum, elemen dari sebuah sistem kontrol rangkaian tertutup terdiri dari: masukan (G_2), pengontrol (G_2), sistem (G_2), jalur umpan balik (H), dan jalur umpan maju (Pakpahan, 1994: 14-15).

2.6 Sistem Motor DC (*Direct Current*)

Motor DC adalah motor yang digerakkan oleh energi listrik DC. Salah satu jenis Motor DC adalah Motor DC magnet permanen (*Permanent Magnet Exited*

Brushed DC Motor). Sebuah Motor DC magnet permanen biasanya tersusun atas magnet permanen, kumparan jangkar dan sikat (*Brush*).



Gambar 2.4 Motor DC Magnet Permanen
(<https://kaptenivan.wordpress.com/author/sanjaya29/>)

2.7 Model Matematik Motor DC

Pengaturan kecepatan pada Motor DC dengan penguat medan dan magnet permanen dapat dilakukan dengan mengatur tegangan pada kumparan jangkar. Dari rangkaian pada gambar 2.4. Didapat persamaan :

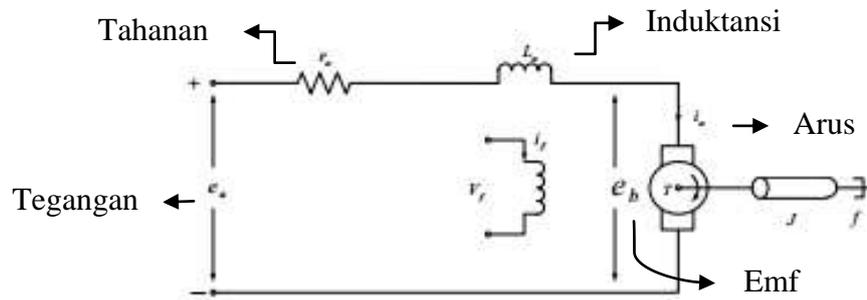
$$e_a = i_a r_a + L_a \frac{di_a}{dt} + e_b \quad 2.6$$

dimana e_a adalah tegangan pada kumparan jangkar. L_a adalah induktansi dari kumparan jangkar, dan r_a menyatakan tahanan dari kumparan jangkar.

Arus yang mengalir pada kumparan jangkar bernilai i_a dalam hal ini gaya gerak listrik induksi dan emf dituliskan sebagai e_b . Karena rapat medan, fluks, yang dihasilkan konstan, maka

$$e_b = K_e \omega \quad 2.7$$

dengan K_e adalah konstanta motor.



Gambar 2.5 Rangkaian Sederhana Motor DC Magnet Permanen (Ogata, 1991)

Keterangan Gambar 2.5 :

r_a = Tahanan

e_a = Tegangan

L_a = Induktansi

i_a = Arus

e_b = Gaya Gerak Listrik (Emf)

Persamaan kesetimbangan torsi yang dialami oleh motor diberikan oleh persamaan:

$$J \frac{d\omega}{dt} f \omega = K_t i_a \quad 2.8$$

dengan K_t adalah konstanta torsi motor.

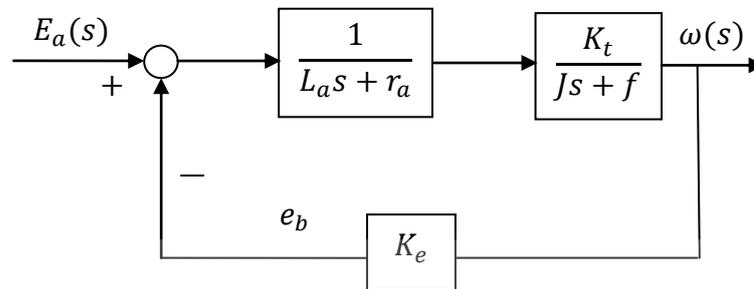
Bila dianggap kondisi awal dari persamaan di atas adalah nol, maka bentuk fungsi alih dari kecepatan keluaran motor terhadap besar tegangan masukan dapat dituliskan:

$$E_a(s) = \frac{r_a}{K_t} [sJ\omega(s) + f\omega(s)] + sL_a \left[\frac{sJ\omega(s) + f\omega(s)}{K_t} \right] + K_t \omega(s)$$

$$E_a(s) = \frac{\omega(s)}{K_t} [r_a sJ + r_a f + s^2 L_a J + sL_a f + K_e K_t]$$

$$\frac{\omega(s)}{E_a(s)} = \frac{K_t}{L_a J s^2 + (L_a f + r_a J) s + r_a f + K_t K_e} \quad 2.9$$

persamaan fungsi alih di atas dapat digambarkan blok seperti di bawah ini



Gambar 2.6 Diagram Blok Fungsi Alih Motor DC

Pada umumnya induktansi dari kumparan jangkar motor L_a sangat kecil sekali harganya, sehingga dapat diabaikan. Dengan demikian fungsi alih antara kecepatan keluaran motor ω dengan tegangan masukan E_a dapat dinyatakan sebagai :

$$\frac{\omega(s)}{E_a} = \frac{K_m}{s(\tau_M s + 1)} \quad 2.10$$

dengan K_m menyatakan konstanta penguatan motor DC dan τ_M adalah konstanta waktu motor DC.

2.8 Jenis Kontrol

2.8.1 Kontrol Proporsional

Untuk kontroler dengan aksi kontrol proporsional, hubungan antara masukan kontroler $u(t)$ dan sinyal pembangkit kesalahan $e(t)$ adalah

$$u(t) = K_p e(t) \quad 2.11$$

atau dalam besaran transformasi Laplace

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \quad 2.12$$

dengan K_p adalah suku penguatan proporsional.

2.8.2 Kontrol Integral

Pada kontroler dengan aksi kontrol integral nilai masukan kontroler $u(t)$ diubah pada laju proporsional dari sinyal pembangkit kesalahan $e(t)$ sehingga didapatkan

$$u(t) = K_i \int_0^t e(t) dt \quad 2.13$$

dengan K_i adalah konstanta yang dapat diubah. Fungsi alih dari integral adalah

$$\frac{U(s)}{E(s)} = \frac{K_i}{s} \quad 2.14$$

2.8.3 Kontrol Derivatif

Kontrol derivatif menghasilkan keluaran yang bergantung pada laju perubahan sinyal kesalahan yang terjadi. Persamaan masukan dan keluaran kontrol derivatif adalah

$$u(t) = K_d \frac{de(t)}{dt} \quad 2.15$$

dengan transformasi Laplace maka didapatkan fungsi alih persamaan (2.15) yaitu

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_d T_d s \quad 2.16$$

2.8.4 Kontrol Proporsional Integral (PI)

Aksi kontroler proporsional ditambah integral didefinisikan dengan persamaan berikut

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt \quad 2.17$$

Fungsi alih kontroler ini adalah

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left[1 + \frac{1}{T_i s} \right] \quad 2.18$$

dengan K_p penguatan proporsional dan T_i disebut waktu integral.

2.8.5 Kontrol Proporsional Derivatif (PD)

Aksi kontrol proporsional ditambah turunan didefinisikan dengan persamaan berikut:

$$u(t) = K_p e(t) + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} \quad 2.19$$

Fungsi alihnya adalah

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p (1 + T_d s) \quad 2.20$$

dengan K_p adalah penguatan proporsional dan T_d konstanta yang disebut waktu turunan.

2.8.6 Kontrol Proporsional Integral Derivatif (PID)

Kombinasi dari aksi kontrol proporsional, aksi kontrol integral, dan aksi kontrol turunan disebut aksi kontrol proporsional ditambah integral ditambah turunan. Persamaan dengan tiga kombinasi ini diberikan oleh:

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} \quad 2.21$$

Fungsi alihnya adalah

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left[1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right] \quad 2.22$$

dengan K_p penguatan proporsional, T_i waktu integral, dan T_d waktu turunan.

Efek dari setiap controller (K_p , K_i , K_d) dalam sistem loop tertutup diperlihatkan pada tabel di bawah ini:

Tabel 2.1 Tanggapan Sistem Kontrol PID Terhadap Perubahan Parameter P, I dan D

Tanggapan loop tertutup	Waktu naik	Overshoot	Waktu turun	Kesalahan keadaan tunak
Proporsional (K_p)	Menurun	Meningkat	Perubahan kecil	Menurun
Integral (K_i)	Menurun	Meningkat	Meningkat	Hilang
Derivatif (K_d)	Perubahan kecil	Menurun	Menurun	Perubahan kecil

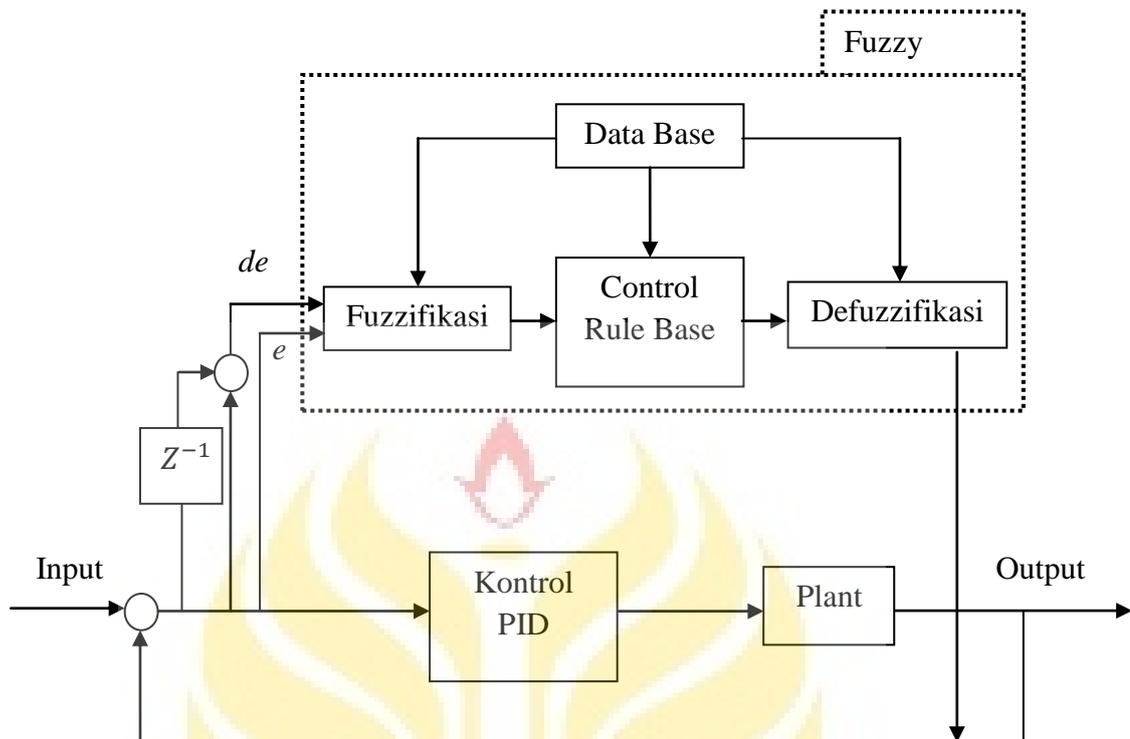
Perhatikan bahwa hubungan korelasi tersebut mungkin tidak sepenuhnya akurat, karena K_p , K_i , dan K_d saling bebas (Hartanto dan Prasetyo, 2003).

2.9 Logika Fuzzy

2.9.1 Gambaran Logika Fuzzy

Kontrol PID-Fuzzy *Self Tuning* bekerja dengan menerima sinyal dari sensor sebagai output dari plant yang telah terkontrol. Sinyal tersebut kemudian dibandingkan dengan *set point* sehingga menghasilkan error yang baru (Rohmad, 2015).

Selanjutnya mencari kwantisasi dari error dan delta error berdasarkan tabel kwantisasi yang telah dibuat sebelumnya. Nilai kwantisasi kemudian dijadikan dalam nilai-nilai *fuzzy* melalui proses fuzzifikasi yang akan menghasilkan derajat keanggotaan dari error dan delta error.



Gambar 2.7 Kontrol PID dan Logika *Fuzzy* (Sukendar, 2007)

Proses selanjutnya membandingkan antara derajat keanggotaan dari sinyal estimasi e dan de . Derajat keanggotaan yang terkecil dipilih sebagai derajat keanggotaan untuk sinyal kontrol dalam hal ini adalah nilai K_p (T_i dan T_d konstan) dengan menggunakan rumus yang telah ada harga K_p yang masih dalam bentuk *fuzzy* dirubah menjadi harga sebenarnya melalui proses Defuzzifikasi. Untuk mendapatkan sinyal kontroler maka harga K_p , K_i dan K_d dimasukkan dalam rumus PID (Sukendar, 2007).

Untuk membuat perancangan desain kendali *fuzzy* dalam sistem integral ganda dapat digunakan untuk banyak model benda mekanik, hidrolis dan listrik seperti Motor DC dan menggunakan kendali *fuzzy* ke input sistem mampu memperkecil sinyal gangguan (Namazov, 2010).

2.9.2 Metode Mamdani

Metode Mamdani sering disebut dengan nama Metode Max Min. Metode ini diperkenalkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975. Dalam metode Mamdani untuk mendapatkan *output*, diperlukan 4 tahapan :

1. Pembentukan himpunan *fuzzy*

Pada metode mamdani, baik variabel input maupun output dibagi menjadi satu atau lebih himpunan *fuzzy*.

2. Aplikasi fungsi implikasi (aturan)

Pada metode mamdani fungsi implikasi yang digunakan adalah MIN.

3. Komposisi aturan

Tidak seperti penalaran monoton, apabila sistem terdiri dari beberapa aturan, maka inferensi diperoleh dari kumpulan dan korelasi antar aturan. Ada tiga metode yang digunakan dalam melakukan inferensi sistem *fuzzy*, yaitu max, *additive*, dan probabilistik OR (probor).

4. Metode Max (*Maximum*)

Pada metode ini, solusi himpunan *fuzzy* diperoleh dengan cara mengambil nilai maksimum aturan, kemudian menggunakannya untuk memodifikasi daerah *fuzzy*, dan mengaplikasikannya ke output dengan menggunakan operator OR (*union*). Menurut Khuntia, sebagaimana dikutip oleh Adewuyi (2013: 36), *Mamdani-type FIS based controller is used because of its closeness to human reasoning and language at both sides of the system, that is, input and output*. Jika semua proposisi telah dievaluasi, maka output

akan berisi suatu himpunan *fuzzy* yang merefleksikan kontribusi dari tiap-tiap proposisi. Secara umum dapat dituliskan (Kusumadewi, 2002: 93-94):

$$\mu_{sf}[x_i] \leftarrow \max (\mu_{sf}[x_i], \mu_{kf}[x_i])$$

dengan: $\mu_{sf}[x_i]$ = nilai keanggotaan solusi fuzzy sampai aturan ke-i;

$\mu_{kf}[x_i]$ = nilai keanggotaan konsekuen fuzzy aturan ke-i;

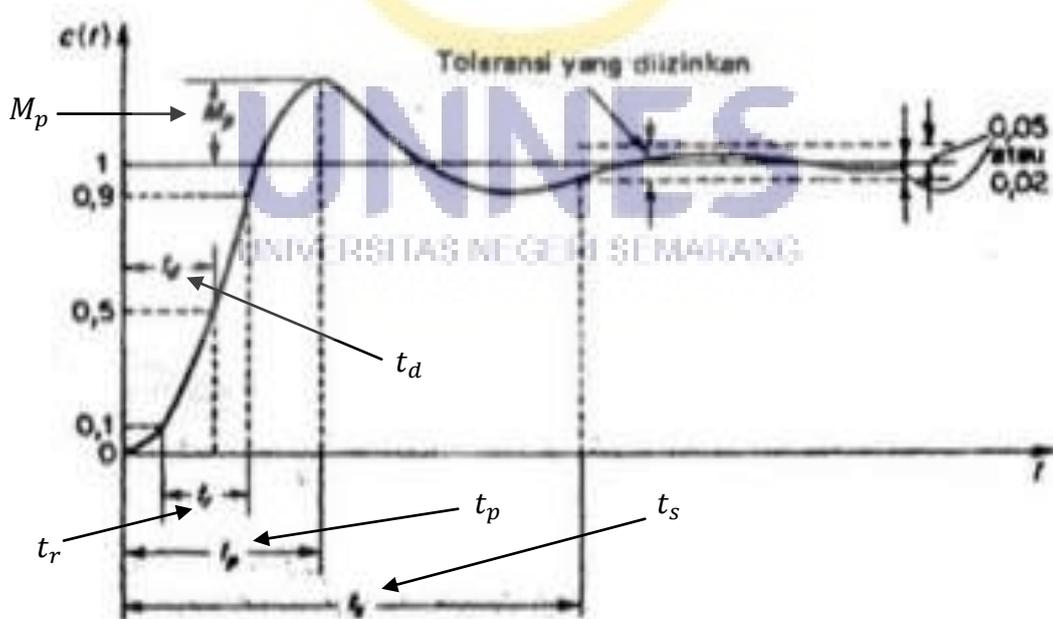
Misalkan ada 3 aturan (proposisi) sebagai berikut:

[R1] IF Biaya Produksi RENDAH And Permintaan NAIK
THEN Produksi Barang BERTAMBAH;

[R2] IF Biaya Produksi STANDAR
THEN Produksi Barang NORMAL;

[R3] IF Biaya Produksi TINGGI And Permintaan TURUN
THEN Produksi Barang BERKURANG

2.10 Respon Transien



Gambar 2.8 Kurva Respon Transien (Ogata, 1991)

Keterangan Gambar 2.8 :

t_d = Waktu Tunda

t_r = Waktu Naik

t_r = Waktu Puncak

M_p = Lonjakan Maksimum

t_s = Waktu Penetapan

Respon transien adalah kinerja yang menunjukkan kecepatan respon sistem dalam satuan waktu pada saat gejala peralihan. Respon transien didapatkan dari sebuah sistem yang telah dipengaruhi oleh sinyal masukan kemudian nilai yang dihasilkan membentuk sinyal keluaran yang akan ditampilkan melalui sebuah grafik.

Tanggapan peralihan suatu sistem kontrol terhadap masukan tangga satuan (*unit step*), umumnya dikelompokkan sebagai berikut (Ogata, 1996: 286-287): waktu tunda (t_d), waktu naik (t_r), waktu puncak (t_r), lewatan maksimum (M_p) dan waktu penetapan (t_s).

BAB V

PENUTUP

5.1 Simpulan

1. Simulasi kendali Motor DC berhasil dibuat menggunakan Simulink Matlab dan menghasilkan performansi sistem yang cukup baik dengan hasil yaitu waktu naik (t_r) < 1 sekon, lonjakan (M_p) < 5 %, waktu penetapan (t_s) < 2 sekon, dan kesalahan keadaan tunak (SSE) yaitu 0 %, sehingga sesuai dengan desain kriteria yang ditetapkan.
2. Dari hasil perbandingan analisis performansi sistem FLC dengan kendali PID didapatkan bahwa sistem *fuzzy logic controller* (FLC) lebih baik dibanding dengan kendali PID, yaitu dengan t_r yang lebih cepat, *overshoot* lebih kecil, t_r lebih cepat, dan tidak ada *steady state error* (SSE).

5.2 Saran

1. Dalam melakukan penelitian menggunakan metode kendali PID dan kendali logika *fuzzy* dapat dikembangkan pada sistem lain yang diperlukan peneliti. Seperti motor *stepper*, pengisian kapasitor, dan pengatur waktu *delay*.
2. Parameter yang telah ditentukan masih dapat diakurasikan kembali sesuai dengan kebutuhan dan disesuaikan dengan data yang diinginkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adewuyi, P. A. 2013. DC Motor Speed Control: A Case between PID Controller and Fuzzy Logic Controller. *International Journal of Multidisciplinary Sciences and Engineering*, Vol. 4, No. 4, pp. 36-40.
- Hartanto, T. W. D. & Prasetyo, Y. W. 2003. *Analisis dan Desain Sistem Kontrol dengan Matlab*. Yogyakarta: Andi.
- <https://kaptenivan.wordpress.com/author/sanjaya29>
- Joseph, J. D. 1985. *Sistem Pengendalian dan Umpan Balik*. Jakarta: Erlangga.
- Kusumadewi, Sri. 2002. *Analisis & Desain Sistem Fuzzy Menggunakan Toolbox Matlab*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Mathworks Inc., *Simulink® Response Optimization™ Getting Started Guide*, 3rd printing, 2008.
- Namazov, M. 2010. DC Motor Position control using fuzzy proportional-derivative controllers with different defuzzification methods. *TJFS (eISSN: 1309-1190) an Official Journal of Turkish Fuzzy Systems Association*, Vol. 1, No. 1, pp. 36-54.
- Ogata, Katsuhiko. 1991. *Teknik kontrol otomatis jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Ogata, Katsuhiko. 1996. *Teknik kontrol otomatis jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Pakpahan. S. 1998. *Kontrol Otomatik : Teori dan Penerapan*. Jakarta: Erlangga.
- Philip, A. A. 2013. DC Motor Speed Control: A case Between PID Controller and Fuzzy Logic Controller. *International Journal of Multidisciplinary Sciences and Engineering*. Vol.4, No.4, 36-40.
- Rohmad. 2015. *Desain dan Analisis Kendali Sistem Suspensi Menggunakan PID dan Logika Fuzzy dengan Simulink Matlab*. *Skripsi*. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- Shakya, R., K. Rajanwal, S. Patel, & R. K. Maurya. 2014. *International journal of scientific engineering research*, ISSN 2229-5518 Vol.5, Issue.1, pp. 2040-2048.
- Shakya, R., K. Rajanwal, S. Patel, & S. Dinkar,. 2014. *Design and Simulation of PD, PID and Fuzzy Logic Controller for Industrial Application*. *International Journal of Information and Computation Technology*. ISSN 0974-2239 Vol. 4, No. 4, pp. 363-368.

Sukendar, T. & Munthe, B. 2007. DiSainTek, Vol.01,Des. Bandung.

Tirono, M. dan Nayiroh, N. 2010. Pemodelan dan Pembuatan Simulasi Kestabilan Respon Transien Motor DC Menggunakan Graphical User Interface (GUI) pada Matlab. Universitas Islam Negeri (UIN) Malang.

