

**SISTEM KENDALI Pengereman pada kontrol
MOTOR DC menggunakan kontroler fuzzy logic**

TESIS

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar magister

**MILIK PERPUSTAKAAN
FMIPA - UI**

**B.S. RAHAYU PURWANTI
0606001172**

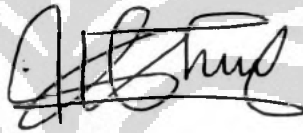


**PROGRAM MAGISTER
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM MAGISTER FISIKA
DEPOK, DESEMBER 2008**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINILITAS

Tesis ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya cantumkan dengan benar

Nama : B. S. Rahayu Purwanti
NPM : 0606001172
Tanda Tangan :



Tanggal : 30 Desember 2008

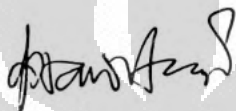


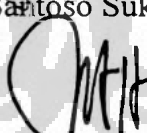
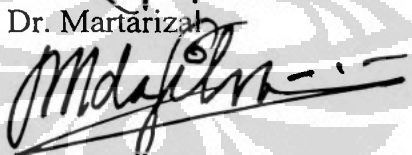
Universitas Indonesia	
Pusat Perpustakaan dan Kearsifan	
Pusat Perpustakaan dan Kearsifan	
Pusat Perpustakaan dan Kearsifan	
Dari :	
41427	Tgl. Terima :

HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :
Nama : B.S. Rahayu Purwanti
NPM : 0606001172
Program Studi : Fisika
Judul : **Sistem Kendali Pengereman pada Kontrol Motor DC
Menggunakan Fuzzy Logic**

Telah berhasil dipertahankan di depan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Instrumentasi pada Program Studi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing 1 : 
Dr. Prawito
Pembimbing 2 : 
Dr. Sastra Kusuma Wijaya
Penguji 1 : 
Dr. Santoso Sukirno
Penguji 2 : 
Dr. Martarizah
Penguji 3 : 
Dr. BEF Da Silva, M. Sc

Program Studi Magister Fisika
Program Pasca Sajana FMIPA UI
Ketua



Dr. Dedi Suryanto
NIP. 130 935 271

Depok, 30 Desember 2008

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat dan rahmatNya dapat menyelesaikan tesis ini. Penyusunan tesis dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Instrumentasi Jurusan Fisika pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia. Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, baik dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan tesis sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan tesis ini. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr Prawito selaku dosen pembimbing I, Dr. Sastra Kusuma Wijaya selaku pembimbing II yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam tesis ini,
2. Semua staf pengajar dan para staf administrasi Program Magister FMIPA, Universitas Indonesia,
3. Politeknik Negeri Jakarta yang telah mengizinkan dan memfasilitasi terselesaikannya studi Magister di FMIPA UI,
4. Suami, anak-anak yang selalu mendorong dan memberikan bantuan dukungan materiil maupun moril,
5. Bpk Endang Wijaya, Ibu Rika Novita dan semua sahabat, teman-teman (tidak dapat disebut satu-persatu) yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan tesis ini.

Akhir kata penulis berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga tesis ini bermanfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 30 Desember 2008

Penulis

**LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS
(Hasil Karya Perorangan)**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : B.S. Rahayu Purwanti
NPM : 0606001172
Program Studi : Fisika
Departemen : Instrumetasi
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis Karya : Tesis

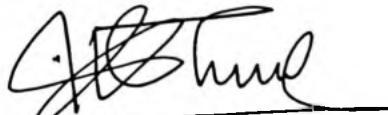
Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif (No-Exclusive Royalty Free Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Sistem Kendali Pengereman pada Kontrol Motor DC Menggunakan Fuzzy Logic beserta perangkat yang ada (bila diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/memformat-kan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (*database*), mendistribusikannya, dan menampilkan/mepublikasikannya di Internet atau media lain untuk kepentingan akademis tanpa meminta ijin dari saya selama tetap mencanatumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai Pemilik Hak Cipta. Segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah ini menjadi tanggung jawab saya pribadi.
Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Di buat di: Depok

Pada tanggal: 30 Desember 2008

Yang menyatakan:



(B.S. Rahayu Purwanti)

ABSTRAK

Nama : B.S. Rahayu Purwanti
Program Studi : Fisika Instrumentasi
Judul : Sistem Kendali Pengreman Pada Kontrol Motor DC
Menggunakan Fuzzy Logic

Salah satu transportasi masa adalah Kereta Api Listrik (KRL). Persoalan utama pada KRL adalah pengereman konvensional, tuas rem ditarik oleh masinis. Pengereman konvensional saatnya ditinjau, teknologi modern memungkinkan melakukan pengereman secara otomatis untuk kenyamanan penumpang. Saat tuas rem diaktifkan sampai kereta berhenti, sepenuhnya menjadi keahlian si masinis kereta api. Masinis harus mengatur kecepatan hingga kereta berhenti pada jarak tertentu. Hentakan akibat pengereman mendadak menimbulkan rasa tidak nyaman bagi penumpang yang berada di dalam KRL. **Kenyamanan** dimaksudkan terjadinya penurunan kecepatan (Δa) secara tetap dan kontinu, tanpa hentakan sampai kecepatannya nol/berhenti. Analisis Matematik berdasarkan peristiwa Fisika pada perputaran motor DC menunjukkan karakteristik pengereman adalah fungsi eksponensial. Perancangan dan implementasi sistem pengereman menggunakan dua motor DC. *Fuzzy Logic Controller* (FLC) digunakan untuk memproses input *Error*, $E(k)$ dan *Cange in Error* $dE(k)$. Kedua input menggunakan 7 fungsi keanggotaan yaitu NB, NM, NS, Z, PS, PM, PB. Outputnya adalah $U(k)$, terdiri dari 49 kemungkinan. Proses FLC dilakukan dengan komputer menggunakan program *Matlab/LabVIEW 8.5*. Tegangan output diskrit $U(k)$ dikonversi menjadi tegangan output fungsi kontinu $U(t)$ menggunakan DAC. Tegangan output $U(t)$ diperkuat oleh *Power Amplifier*, selanjutnya diumpankan ke motor DC M2 untuk melawan torsi dari M1. Jika torsi motor DC M2 sama besar dengan torsi motor DC M1, maka motor DC M1 akan berhenti berputar. Implementasi pengereman motor dengan FLC telah sesuai dengan rencana. Untuk Motor berhenti meme input $E(k) = -0,5 \dots +0,5$ dan $dE(k) = -0,01 \dots +0,01$, menghasilkan output $U(k) = -1 \dots +1$.

Kata Kunci : sistem pengereman, karakteristik, motor DC, torsi, *Power Amplifier*, FLC, *Matlab, LabVIEW V 8.5*.

ABSTRACT

Nama : B.S. Rahayu Purwanti
Program Studi : Fisika Instrumentasi
Judul : Breaking System on Speed Control of DC Motor Based on Fuzzy Logic Controller

One of transportations public are The Electricity Train. The top problems in the Electricity Train are conventional braking system, operationally by motorman. At time see again the conventional braking system. Modern Technologies may be to do it with braking automatically system for safety of passenger. That time put on the brakes activity to stopped train, fully skill by motorman train. Waddle a side effect suddenly brake to don't fell pleasurable for passenger in the inside of train. The fell pleasurable mean are reduction of speed (Δa) to constant and continue, free waddle go to zero speed or stopped. Mathematics analysis based on physic process at the rotation of DC motor like this a brake characteristic are exponential function. Design and implementation brake system used two DC motor with Fuzzy Logic Controller (FLC). FLC for processing Error, $E(k)$ and delta Error, $dE(k)$ each used 7 memberships functions are NB, NM, NS, Z, PS, PM, PB. The output are $U(k)$, there are 49 probability. FLC process with computer used program of Matlab/ LabVIEW V.8.5. Output at system are voltage, $U(k)$ and must be to conversion be continue output voltage, $U(t)$ used Digital Analog Conversion (DAC). Output voltage, $U(t)$ to strongly by Power Amplifier, furthermore to put out as bait to DC motor M2 for fight torsion from motor M1. If motor DC torsion M2 to same motor DC torsion M1, so DC motor M1 stopped resolution. Implementation FLC motor brake system had agree with plan. Data input used $E(k) = -0,5 \dots +0,5$ dan $dE(k) = -0,01 \dots +0,01$, data output $U(k) = -1 \dots +1$.

Key words: brake system, characteristic, DC motor, torsion, Power Amplifier, FLC, Matlab, LabVIEW V 8.5.

DAFTAR ISI

Cover	Hal	i
Judul		ii
Pernyataan Orisinilitas		iii
Lembar Pengesahan		iv
Ucapan Terima Kasih		v
Lembar Pernyaan Publikasi		vi
Abstrak		vii
Abstract		viii
Daftar Isi		ix
Daftar Gambar		xiii
Daftar Tabel		
BAB 1 PENDAHULUAN		
1.1 Latar Belakang		1
1.2 Tujuan Penelitian		2
1.3 Pembatasan Masalah		2
1.4 Peralatan dan Bahan		3
1.5 Sistematika Penulisan		3
1.6 Metode Penelitian		4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA		
2.1 Motor DC		5
2.2 Metode Pengereman		6
2.3 Sistem Pengendali Fuzzy		7
2.3.1 Logika Fuzzy		8
2.3.2 Himpunan Fuzzy		8
2.3.3 Fuzzifikasi		9
2.3.4 Rule Evaluation		11
2.3.5 Defuzzifikasi		12
2.4 Power Driver		14
2.5 Statistik Dasar Pengukuran		
2.5.1. Analisis Statistik Data Eksperimen		15
2.5.2. Metode Kuadrat Terkecil		16
2.6 NI-DAQ USB 6008		
2.6.1. Teknik Akuisisi Data		17
2.6.2. Konektivitas kabel USB		18
2.6.3. NI-DAQ 6008		18
BAB 3 PERANCANGAN DAN DESAIN		
3.1 Penjabaran Matematis dan Tinjauan Fisis		
3.1.1. Rangkaian pada Motor DC		19
3.1.2. Model Matematika dan Fungsi Transfer dari Sistem		20
3.2 Deskripsi Sistem		29
3.3 Konfigurasi Sistem		29

3.3.1. Software PC (Blok 1)	30
3.3.2. NIDAQ 6008 USB (Blok 2)	32
3.3.3. Motor DC (Blok 3)	33
3.4 Perancangan Alat	
3.4.1 Motor DC M1 dan M2	34
3.4.2 Program Konversi Kecepatan ke Tegangan	36
3.5 Kontroler Fuzzy (FLC)	
3.5.1. Konversi Perancangan Data Analog ke Data Digital	36
3.5.2. Kontroler Fuzzy	38
3.6 Perancangan Program Aplikasi Sistem	39
3.7 Flowchart	42
BAB 4 PENGUJIAN DAN ANALISIS DATA	
4.1 Realisasi Sistem	43
4.1.1. Realisasi Software	44
4.1.2. Front Panel	44
4.1.3. Blok Diagram pada Program Aplikasi Sistem	46
4.2 Pengujian Sistem	47
4.2.1 Deskripsi Pengujian Sistem	48
4.2.2 Prosedur Pengujian Sistem	49
4.2.3 Data Hasil Pengujian Sistem	51
4.2.4 Analisa Data Hasil Pengujian Driver	51
4.3 Pengujian Hardware pada Sistem	
4.3.1. Deskripsi Pengujian Sistem	52
4.3.2. Prosedur Pengujian	53
4.3.3. Pengujian Software pada Sistem	54
4.3.4. Hasil Simulasi Kontroler Fuzzy Logic dengan Matlab	55
4.3.5. Rule-rule Menggunakan Matlab	57
4.4 Hasil Pengujian Simulasi Menggunakan LabVIEW	
4.5.1 Variabel input Error (E)	60
4.5.2 Variabel input Change in Error (dE)	61
4.5.3 Variabel Output (U)	62
4.6 Studi Kasus:	
4.6.1 <u>Kasus 1</u>	63
4.6.2 <u>Kasus 2</u>	64
4.6.3 <u>Kasus 3</u>	66
4.7 Data Hasil Pengujian Performa Sistem Pengreman	71
4.8 Analisis Hasil Pengujian	72
4.9 Analisis Data Pengukuran pada LabVIEW	75
4.10 Data Nilai Pengereman	77
BAB 5 SIMPULAN DAN SARAN	
DAFTAR REFERENSI	
LAMPIRAN	

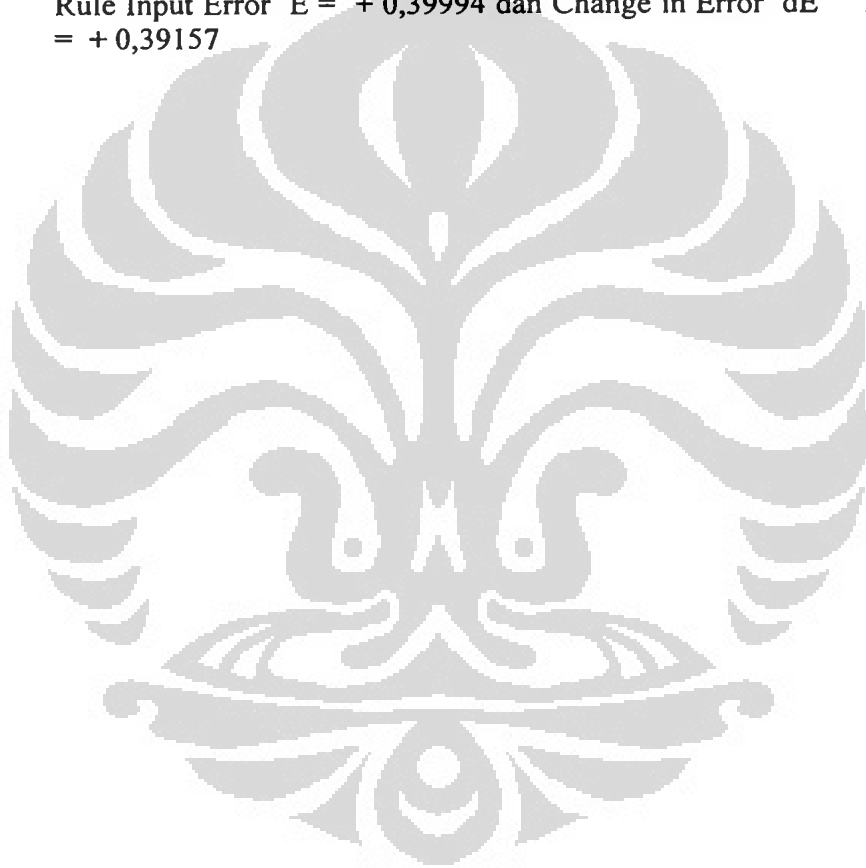
DAFTAR GAMBAR

		Hal
Gambar 1.1	Blok Diagram Penelitian	2
Gambar 2.1	Konstruksi Motor DC	6
Gambar 2.2	Gaya Medan Magnet pada Konduktor yang Dialiri Arus Listrik	6
Gambar 2.3	Blok Diagram Proses Fuzzyfication	9
Gambar 2.4	Respon Kontrol Fuzzy	10
Gambar 2.5	Fungsi Keanggotaan Variabel input Error, e	10
Gambar 2.6	Fungsi Keanggotaan Variabel Input Change in Error, dE(t)	10
Gambar 2.7	Fungsi Keanggotaan Variabel Output u(t)	11
Gambar 2.8	Diagram Blok Proses Rule Evaluation	11
Gambar 2.9	Metode Centroid	13
Gambar 2.10	Proses Defuzzification	13
Gambar 2.11	Diagram Blok Kontrol Lup Terbuka dengan FLC NI-	14
Gambar 2.12	DAQ USB 6008	18
Gambar 3.1	Skematik Motor DC dengan Pengontrol Medan	19
Gambar 3.2	Grafik Fungsi Model Matematik pada Penurunan Kecepatan Motor	24
Gambar 3.3	Rangkaian Pengontrol Arus Medan	25
Gambar 3.4	Konfigurasi Sistem Pengereman Motor DC	29
Gambar 3.5	Karakteristik Transfer $\omega = f(d)$	30
Gambar 3.6	Program Konversi Jarak ke Kecepatan	30
Gambar 3.7	Karakteristik Transfer $V = f(\omega)$	30
Gambar 3.8	Program Konversi Kecepatan ke Tegangan	31
Gambar 3.9	Karakteristik Transfer $V = f(d)$	31
Gambar 3.10	Program Konversi Jarak ke Tegangan	32
Gambar 3.11	Modul Motor DC M1 dan M2	33
Gambar 3.12	Karakteristik Sensor dan Signal Conditioner	34
Gambar 3.14	Diagram Blok Power Driver	34
Gambar 3.15	Skematik Rangkaian Power Driver	35
Gambar 3.16	Karakteristik Transfer Kecepatan Menjadi Tegangan	36
Gambar 3.17	Program Konversi Kecepatan ke Tegangan	36
Gambar 3.18	Tanggapan Sistem Pengereman Saat Awal Pengereman	37
Gambar 3.19	Diagram Blok FLC	38
Gambar 3.20	Hasil Rancangan Program Aplikasi Sistem Menggunakan LabVIEW V.85	39
Gambar 3.21	Hasil Rancangan Program Menggunakan LabVIEW V.85	40
Gambar 3.22	Visualisasi Sistem	41
Gambar 3.23	Flowchart	42

Gambar 4.1	Konfigurasi Hardware Sistem	43
Gambar 4.1a	Instalasi Pengawatan Sistem	44
Gambar 4.3	Bentuk Tampilan Front Panel pada Layar Monitor	45
Gambar 4.4	Program Aplikasi Sitem	46
Gambar 4.5a	Data Hasil Pengukuran Power Amplifier	47
Gambar 4.5	Program Analisis Hasil	47
Gambar 4.6	Karakteristik Motor DC M1 dan M2	48
Gambar 4.6a	Konfigurasi Hardware Pengujian Driver	49
Gambar 4.7	Konfigurasi Software Pengujian Driver	50
Gambar 4.8	Data Hasil Pengujian Driver	51
Gambar 4.8a	Konfigurasi Analisa Hasil	52
Gambar 4.9	Grafik Hasil Pengujiab Driver Menggunakan LabVIEW	52
Gambar 4.9a	Konfigurasi Hardware Pengujian Sistem	53
Gambar 4.10	Konfigurasi Software Pengujian Sistem Controller Fuzzy	54
Gambar 4.11a	Fungsi Keanggotaan Variabel Input Error (E)	56
Gambar 4.11b	Fungsi Keanggotaan Variabel Input Change in Eror (dE)	56
Gambar 4.11c	Fungsi Keanggotaan Variabel Outpu (U)	57
Gambar 4.11d	Tampak Permukaan Pengereman (3D)	57
Gambar 4.11e	Implikasi untuk Input E, dE, dan Output U	58
Gambar 4.12	Fungsi Keanggotaan Variabel Input Error (E)	60
Gambar 4.13	Setup Variabel Input Error (E)	61
Gambar 4.14	Fungsi Keanggotaan Variabel Input Change in Eror (dE)	61
Gambar 4.15	Setup Variabel Input Change in Eror (dE)	62
Gambar 4.16	Fungsi Keanggotaan Variabel Outpu (U)	62
Gambar 4.17	Setup Variabel Output (U)	63
Gambar 4.18	Implikasi untuk $E = 0$ dan $dE = 0$	63
Gambar 4.19	Hasil Test Fuzzy Controller pada LABVIEW V 8.5	64
Gambar 4.20	Implikasi untuk $E = 0,0835$ dan $dE = 0,00165$	65
Gambar 4.21	Hasil Test Fuzzy Controller pada LABVIEW V 8.5	65
Gambar 4.22	Daerah Input Variabel Error $E = + 0,3$	66
Gambar 4.23	Daerah Input Variabel Change in Error $dE = + 0,004$	67
Gambar 4.28	Daerah Input Variabel Error E	68
Gambar 4.29	Daerah Input Variabel Change in Error dE	68
Gambar 4.30	Rule Input Error (E) = + 0.3 dan dError (dE) = + 0,004	68
Gambar 4.31	Daerah Inference Rule 1	69
Gambar 4.32	Daerah Inference Rule 2	69
Gambar 4.33	Daerah Inference Rule 3	69
Gambar 4.34	Daerah Inference Rule 4	69
Gambar 4.35	Defuzifikasi Error (E) = + 0.3, dError (dE) = + 0,004	70
Gambar 4.37	Data Hasil Pengujian Performa Sistem Pengereman	71
Gambar 4.38	Daerah Input Variabel Error $E = + 0,39994$	72
Gambar 4.39	Daerah Input Variabel Change in Error $dE = + 0,39157$	73
Gambar 4.40	Daerah Implikasi Input Variabel Error E	74
Gambar 4.41	Daerah Input Variabel dError dE	74
Gambar 4.42	Inference Rule 1	74
Gambar 4.43	Inference Rule 2	75
Gambar 4.44	Hasil Inference pada Output	75
Gambar 4.45	Nilai Input FLC U = 0,81 untuk $E = 0,40$ dan $dE = 0,39$	76
Gambar 4.46	Hubungan Kecepatan Putaran Motor dengan Tegangan	77

DAFTAR TABEL

	Hal	
Tabel 2.1	Matriks Aturan Fuzzy Konsep Mac Vicar Whelan	11
Tabel 2.2	Aturan Fuzzy Berdasarkan Tabel 2.1	12
Tabel 2.3	Bentuk Metode Defuzification	13
Tabel 2.4	Terminal Analog <i>NI-DAQ</i>	21
Tabel 3.2	Matriks Aturan Fuzzy dengan Menerapkan Konsep Mac Vicar Whelan	37
Tabel 3.3	Identifikasi parameter kontroler FLC	38
Tabel 4.1	Data Hasil Pengukuran Motor DC	48
Tabel 4.2	Daftar Penalaan Pengukuran Sistem	54
Tabel 4.3	Aturan Fuzzy	59
Tabel 4.4	Rule Input Error (E) = + 0.3 dan dError (dE) = + 0,004	67
Tabel 4.5	Rule Input Error E = + 0,39994 dan Change in Error dE = + 0,39157	73



BAB 1 PENDAHULUAN

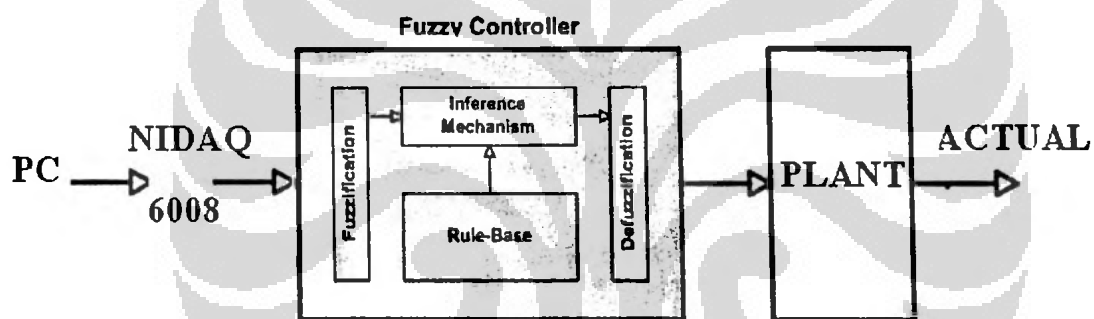
Sarana transportasi umum seperti Kereta Api Listrik (KRL), menjadi awal inspirasi/ide untuk mengamati cara kerja pengeremannya. Bagian yang paling menarik adalah kecepatan, khususnya penurunan/reduksi kecepatan (perlambatan/pengereman). Pada umumnya pengurangan/reduksi kecepatan angkutan KRL dilakukan dengan menarik tuas rem dan dilakukan secara manual. Pengereman konvensional, dengan menarik tuas rem sudah saatnya ditinjau kembali mengingat kemajuan teknologi memungkinkan melakukan pengereman secara otomatis.

1. 1. Latar Belakang

Sejak mengaktifkan pedal/tuas rem sampai kendaraan berhenti, sepenuhnya menjadi keahlian si pengemudi kendaraan (masinis kereta api). Masinis harus mampu mengatur & menghentikan kereta pada jarak tertentu. Hentakan akibat pengereman mendadak menimbulkan rasa tidak nyaman bagi penumpang sebagai pengguna transportasi yang berada di dalam KRL. **Kenyamanan** dimaksudkan terjadinya penurunan kecepatan (Δa)/percepatan secara tetap/sama dan kontinu sampai kecepatannya nol/berhenti. Reduksi kecepatan yang nyaman dirasakan adalah bagian dari menjaga keselamatan penumpang.

Kontroler *Proporsional Integral Diferensial (PID)* adalah salah satu kontrol konvensional, gabungan dari aksi kontrol proporsional (P), kontrol integral (I), dan kontrol diferensial (D). Masing-masing mempunyai keunggulan, keunggulan kontrol P *risetime* cepat, keunggulan kontrol I memperkecil *error*, dan keunggulan kontrol D memperkecil *derror* (meredam), *overshot/undershot*. Sistem kontrol konvensional memerlukan model matematika yang baik dan tepat, dengan memperhatikan fungsi alih (*transfer function*). **Baik** artinya dapat mewakili dan memiliki kompetensi *plant* pada sistem kontrol. **Tepat** dimaksudkan mempunyai model matematika baik sesuai dengan *plant*. Representasi peristiwa fisika yang tepat sehingga terbentuk Model Matematika akan mempengaruhi kinerja pengaturan yang direncanakan.

Perkembangan pengendali Logika Fuzzy sebagai sistem cerdas pada umumnya tidak membahas Model Matematika. Tetapi tidak tertutup kemungkinan dilakukan aksi pengendali penurunan/reduksi kecepatan dengan Logika Fuzzy disertai pembahasan Model Matematika. Penjabaran Model Matematika untuk memperoleh acuan karakteristik respon output pada *plant*. Metode Logika Fuzzy digunakan untuk mengendalikan kecepatan motor 2 pada sistem, diharapkan mampu menurunkan/menghentikan kecepatan motor DC dengan halus. Halus dimaksudkan terjadi penurunan kecepatan (Δa) sampai kekecepatannya nol/berhenti dalam waktu setel (sesuai waktu yang diinginkan) tanpa hentakan dan terprogram menggunakan *rule-rule* Logika Fuzzy. Algoritma Logika Fuzzy perkembangannya semakin beragam. Logika Fuzzy murni maupun yang telah dikombinasikan dengan algoritma lain.



Gambar 1. 1. Blok Diagram Penelitian

1. 2. Tujuan Penelitian

Pembuatan model matematika fungsi pengereman, simulasi sistem pengereman secara otomatis dalam waktu setel (sesuai waktu yang diinginkan) sesuai karakteristik peredaman. Jarak pemberhentian ditetapkan sebagai input, uotputnya adalah kecepatan dengan memperhitungkan waktu tempuhnya. Hasil penelitian diharapkan menjadi dasar pemikiran pengembangan bidang transportasi, khususnya pengereman yang "*smooth*", terbebas dari hentakan.pada KRL.

1. 3. Pembatasan Masalah

Pengendalian penurunan kecepatan lebih halus dan mulus atau *smooth*, kebal terhadap derau.. Penelitian mencakup permasalahan tentang

- Penjabaran model matematis pada kecepatan putar motor DC yang dipengaruhi oleh elektromagnetik.
- Pemrograman kontrol reduksi kecepatan (pengereman) menggunakan *Fuzzy Logic* (Matlab/LabVIEW)
- Demo Plant Kontrol Pengereman menggunakan Fuzzy Logic

Kualitas, karakteristik bahan/material alat tidak dibahas. Pengukuran dilakukan pada temperatur kamar, tidak dilakukan pengujian variasi motor DC dan pengaruh interferensi medan elektromagnetik di sekeliling alat.

1. 4. Peralatan dan Bahan Penelitian

Bahan yang diperlukan untuk melaksanakan penelitian adalah:

- Motor DC lengkap dengan Encoder dan Lempeng rem (aluminium)
- *Software Matlab/LabVIEW*
- NIDAQ 6008 dan Personal Computer

1. 5. Sistematika Penulisan

Bab 1 Pendahuluan, membahas latar belakang masalah, tujuan, pembatasan masalah, peralatan dan bahan penelitian, sistematika penulisan.

Bab 2 Tinjauan Pustaka, penjabaran matematis, mempelajari dan membahas pengereman dari penelitian-penelitian yang sudah ada, rule dan pemrograman pada *Fuzzy Logic Controller (FLC)*

Bab 3 Menjelaskan tentang cara kerja *plant*, perencanaan dan pemrograman pada sistem kontrol Fuzzy menggunakan Matlab

Bab 4 Berisi hasil eksperimen dan pengambilan data.

Hasil eksperimen pengujian rule pengereman pada *Fuzzy Logic (Matlab)*. Hasil pengujian akan memaparkan kinerja kerja alat, penyebab ketidaksempurnaan alat, kendala pembuatan *software/program* berkaitan dengan *hardware*.

Bab 5 Berisi kesimpulan penelitian dan saran-saran. Hal-hal yang mungkin bisa dilakukan untuk memperbaiki kerja alat ataupun memodifikasi alat agar menjadi lebih sempurna. Implementasi perangkat lunak juga berpeluang lebih optimal.

1. 6. Metode Penelitian

Metode penelitian dilakukan dengan beberapa cara untuk saling melengkapi dan saling mendukung, antara lain:

- Metode Literatur tentang kontrol kecepatan motor DC, digunakan untuk memperoleh informasi mengenai metode kontrol reduksi kecepatan motor DC. Media yang digunakan adalah buku-buku kontrol dan aplikasinya, pemrograman, datasheet, jurnal serta sumber pustaka lainnya.
- Pemodelan Matematika pada kecepatan dan percepatan putaran motor DC
- Simulasi kontrol reduksi kecepatan (*speed control*) dengan variable input kecepatan dan tingkat perubahan kecepatan dengan asumsi jarak tertentu.
- Pemrograman reduksi kontrol kecepatan menggunakan Fuzzy Logic, pengolahan hasil pengamatan menggunakan Matlab/LabVIEW.
- Analisis data percobaan perubahan kecepatan (pengereman) menggunakan Logika Fuzzy.
- *LabVIEW* (PC) dihubungkan dengan suatu modul sistem data akuisisi (*NI-DAQ 6008*). *LabVIEW* menampilkan keseluruhan proses dengan keadaan sebenarnya dan waktu nyata (*real-time*).

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Perpindahan posisi benda dapat membantu/memudahkan aktifitas manusia, Angkutan darat misalnya KRL, memanfaatkan perpindahan posisi benda. Kecepatan (v) adalah perubahan posisi (Δs) suatu benda dalam selang waktu tertentu (Δt). Perubahan kecepatan untuk menempuh jarak tertentu ($a = \frac{\Delta s}{\Delta t}$), jika a bernilai positif disebut percepatan, a bernilai negatif disebut perlambatan. Perlambatan berguna bagi keamanan kendaraan, masalahnya menjadi tidak mudah jika perlambatannya harus terasa "*smooth*" dan dilakukan secara otomatis. Fisika dapat menjelaskan dan mengupas persoalan perlambatan melalui fenomena fisis.

Plant pada kontrol kecepatan motor DC dapat direpresentasikan menjadi suatu Model Matematika [1]. Model matematika diperoleh dari hubungan komponen/alat pada *plant* sehingga membentuk suatu persamaan Matematika.

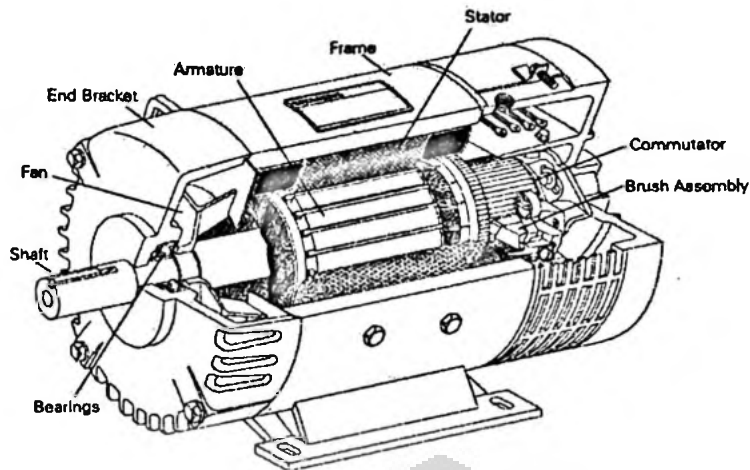
Peristiwa Fisika yang direpresentasikan menjadi Persamaan Matematika [2] disebut Model Matematika. Model matematika diperoleh dari fenomena fisis pada *plant* sehingga membentuk suatu persamaan Matematika.

2. 1. Motor DC

Motor DC memiliki beberapa kelebihan antara lain sederhana, murah dan mudah pemeliharaannya. Karakter listrik motor DC; kumparan medan utama dikenal sebagai stator, dan kumparan jangkar dikenal sebagai rotor. Konstruksi Motor DC, tersusun dari beberapa komponen utama seperti Gambar 2.1.

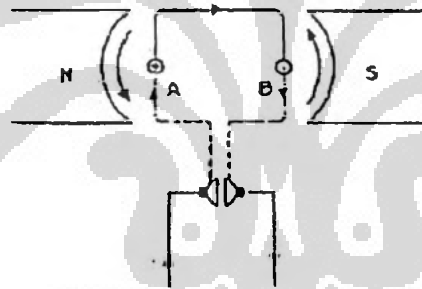
Keterangan gambar:

- Rangka -*Frame*
- As - *Shaft*
- *Bearings*
- Kumparan Medan Utama- *Main field Windings (Stator)*
- Jangkar, rotor *Armature*
- *Commutator*
- Sikat- *Brush Assembly*



Gambar 2.1. Konstruksi Motor DC [3]

Pemakaian motor DC meliputi berbagai bidang diantaranya sarana transportasi. Prinsip kerja motor DC didasarkan pada sebuah konduktor yang dialiri arus listrik diletakkan dalam medan magnet, maka tercipta gaya pada konduktor tersebut yang cenderung membuat konduktor berotasi (Gambar 2.2)



Gambar 2.2. Gaya Medan Magnet pada Konduktor yang Dialiri Arus Listrik [3]

Motor DC standar (Gambar 2.2) akan dioptimasi menggunakan algoritma Fuzzy untuk dapat berkamufase dengan plant aktualnya [4]. Input yang diperhatikan adalah tegangan input dan parameter keluaran yang diperhatikan adalah kecepatan angular yang dihasilkan.

2.2. Metode Pengereman

Reduksi putaran kecepatan pada rotor dapat dilakukan secara mekanik maupun secara elektrik [5]. Pengereman dinamik pada motor DC bertujuan menghentikan fasa putaran motor lebih cepat dibandingkan tanpa pengereman. Sistem pengereman secara dinamik dilakukan dengan membuat medan magnetik

motor stasioner. Keadaan tersebut dilaksanakan dengan menginjeksikan arus DC pada kumparan stator motor DC setelah hubungan kumparan stator dilepaskan dari sumber tegangan suplai.

Pada pengereman elektrik [6], torsi pengereman dihasilkan dari arus injeksi yang diberikan pada belitan stator. Pada pengereman secara elektrik energi putaran rotor diubah menjadi energi elektrik. Energi listrik dikembalikan ke suplai daya. Pada stator diberikan suatu medan magnet stasioner sehingga putaran rotor akan berkurang dengan sendirinya. Pengereman secara elektrik cara ini lebih halus dan tidak ada hentakan yang terjadi. Pengereman secara elektrik tidak dapat menghasilkan torsi untuk menahan beban dalam keadaan sudah berhenti. Mengoperasikan pengereman membutuhkan sumber energi listrik, berupa arus injeksi DC pada belitan stator. Torsi pengereman sebanding dengan arus injeksi. Sedangkan nilai tahanan (R) berpengaruh pada nilai kecepatan torsi pengereman. Semakin kecil nilai tahanan (R), semakin cepat torsi pengereman terjadi.

Pengereman manual pada kereta api akan menimbulkan hentakan (gaya yang besar), terjadi secara tiba-tiba. Hentakan ditimbulkan karena pemberian gaya pengereman yang terlalu besar ke kereta api pada saat kecepatannya masih tinggi. Momen inersia juga sangat besar sebagai akibat pemberian gaya pengereman yang besar dan tiba-tiba. Kejadian ini sangat mengganggu dan mengurangi kenyamanan bagi penumpang yang berada di dalam kereta api. Permasalahan dapat diminimalisasi jika masinis memberikan gaya pengereman secara bertahap dan gaya pengereman sesuai dengan kecepatan kereta api.

2. 3. Sistem Pengendali Fuzzy

Pada pengendali PID sangat ditentukan perhitungan dan *setting* K_p (konstanta proporsional), K_i (konstanta integral), K_d (konstanta diferensial). Aksi kontrol PID sudah baku, menghasilkan output dengan risetime yang tinggi dan error yang kecil. Respon tanggapan aksi kontrol PID termasuk aksi kontrol kontinu dan sudah baki rumusnya. Pengendali diskrit menerapkan suatu system dengan membentuk aturan-aturan jika – maka (*If – Then Rules*) [7]. Aturan jika - maka mengikuti pendekatan secara linguistik yang dibentuk dari kondisi suatu nilai kontinu menjadi nilai diskrit, disebut sistem logika fuzzy. Sistem Logika

Fuzzy ini tidak memiliki ketergantungan pada variabel–variabel proses kendali. Sistem ini dikembangkan dalam bidang teknik kontrol, terutama untuk sistem nonlinier dan dinamis.

2.3.1. Logika Fuzzy

Logika Fuzzy adalah pengembangan dari logika Boolean dengan konsep “kebenaran sebagian”. Logika Boolean menyatakan bahwa segala hal dapat diekspresikan dalam istilah binary (0 atau 1, hitam atau putih, ya atau tidak). Logika Fuzzy menggantikan kebenaran Boolean dengan tingkat kebenaran yang lebih luas dan fleksibel. Logika Fuzzy memungkinkan mengembangkan nilai keanggotaan antara 0 dan 1. Tingkat “keabuan/kesamaran” pada hitam dan putih dalam bentuk *linguistic* akan memperluas konsep tidak pasti seperti "sedikit", "lumayan", dan "sangat". Logika Fuzzy memungkinkan kita bermain dengan “pasti” dan tidak pasti”. Aplikasi-aplikasi yang menggunakan sistem Logika Fuzzy sering sekali dianggap atau dinamakan sebagai pengendali fuzzy.

Prof. Lotfi A Zadeh mengemukakan bahwa *true* atau *false* dalam logika Boolean tidak dapat merepresentasikan pernyataan yang tidak pasti. Pernyataan tidak pasti atau kabur berada diantara pernyataan *true* atau *false*, seperti yang sering terjadi dalam dunia nyata [8]. Logika Fuzzy memiliki banyak nilai kemungkinan (*multi value*), sedangkan Logika Boolean hanya memiliki dua nilai kemungkinan (*two value*). Jika pada Boolean, dua kemungkinannya misalnya benar dan salah pada Fuzzy terdapat kemungkinan lain. Pernyataan lebih spesifik diantara pernyataan *true* atau *false* dapat diperoleh dalam Logika Fuzzy. Spesifiknya pernyataan harus diolah sesuai prosedur pada Logika Fuzzy. Berawal dari menentukan fungsi keanggotaan (*membership function*) bagi tiap nilai input dari proses Fuzzy (*crispt input*). Derajat keanggotaan (*degree of membership*) menyatakan derajat dari *crispt input* sesuai *membership function* antara 0 - 1, sehingga memungkinkan bagi suatu persamaan memiliki nilai *true* dan *false* secara bersamaan.

2.3.2. Himpunan Fuzzy

Teori himpunan Fuzzy memungkinkan derajat keanggotaan (*member of degree*) obyek suatu himpunan dinyatakan dalam interval antara “0” dan “1” atau

[0 1]. Himpunan fuzzy F dalam semesta X biasanya dinyatakan sebagai pasangan berurutan dari elemen x dan mempunyai derajat keanggotaan [9]:

$$F = \{(x, \mu_F(x)) / x \in X\} \dots\dots\dots(2.1)$$

F : notasi himpunan fuzzy
 x : elemen generik dari X μ

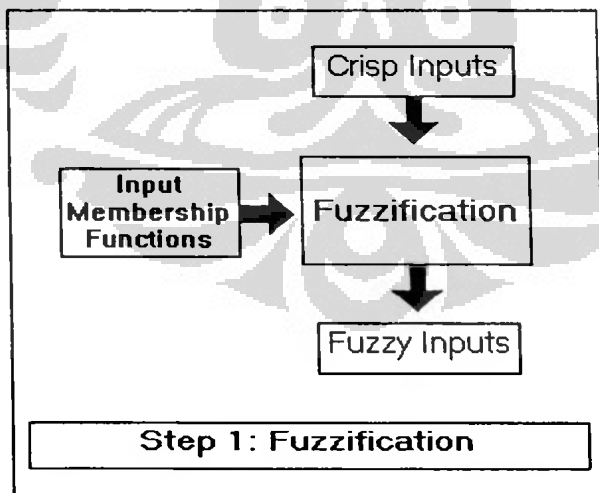
X : semesta pembicaraan
 F(x): derajat keanggotaan dari x.

Fungsi keanggotaan (*membership function*) dari himpunan Fuzzy [10] disajikan dalam bentuk gabungan derajat keanggotaan tiap-tiap elemen pada semesta pembicaraan dinyatakan dengan persamaan:

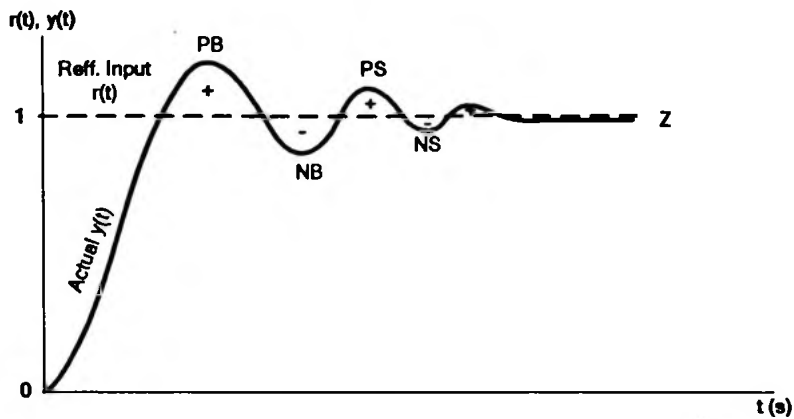
$$F = \sum \mu_F(u_i) / u_i \dots\dots\dots(2.2)$$

2.3.3. Fuzzifikasi (*Fuzzyfication*)

Fuzzifikasi merupakan proses pemetaan nilai-nilai input (*crisp input*) dari sistem ke dalam himpunan Fuzzy. Umumnya input yang dikontrol (*besaran non fuzzy*) diubah ke dalam himpunan Fuzzy menurut fungsi keanggotaannya. Himpunan Fuzzy tersebut merupakan input Fuzzy yang akan diolah seperti yang terlihat pada Gambar 2.8. Contoh respon pada kontrol fuzzy dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.3 Blok Diagram Proses Fuzzyfication [8.12]

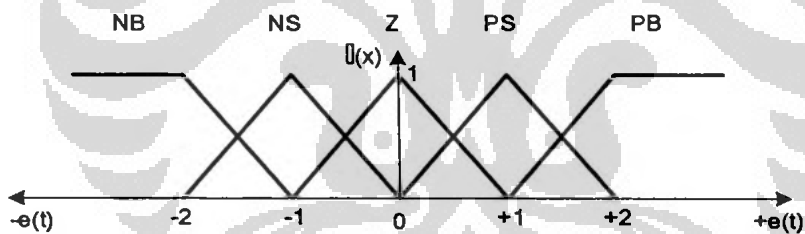


Gambar 2.4 Respon Kontrol Fuzzy

Dapat diambil contoh himpunan dengan 5 keadaan, yaitu :

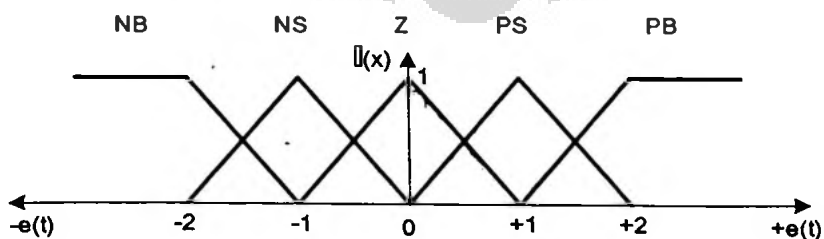
- Positive-Big (PB) = 2
- Positive-Small (PS) = 1
- Zero (Z) = 0
- Negative-Small (NS) = -1
- Negative-Big (NB) = -2

Membership function Error, $e(t)$:

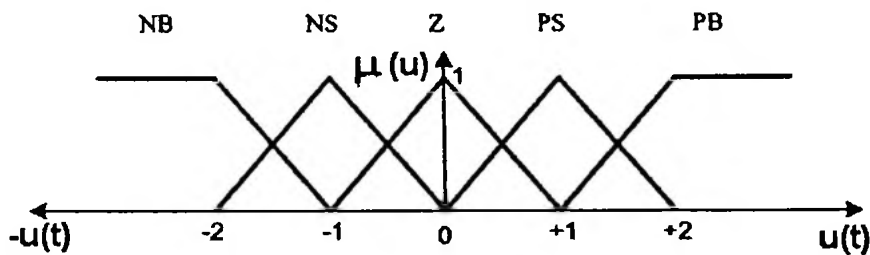


Gambar 2.5 Fungsi Keanggotaan Variabel input Error, e

Jika membership function pada change in error dibuat sama, maka $de(t)$:

Gambar 2.6 Fungsi Keanggotaan Variabel Input Change in Error, $de(t)$

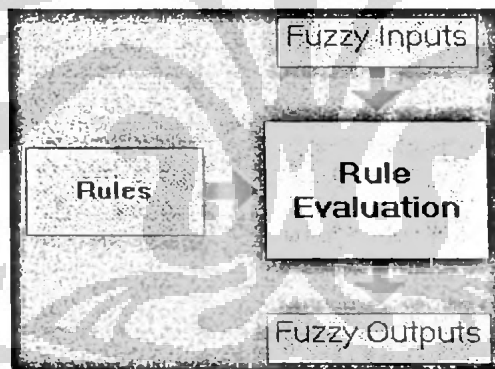
Jika membership function pada output dibuat sama, maka $u(t)$:



Gambar 2.7 Fungsi Keanggotaan Variabel Output $u(t)$

2.3.4. Rules Evaluation

Tahap *rule evaluation* disusun berdasarkan hubungan yang dikehendaki. antara nilai-nilai input (*crisp input*) dan nilai-nilai output (*crisp output*). *Rule evaluation* nantinya akan menentukan respon sistem terhadap berbagai kondisi setting point dan gangguan yang terjadi pada sistem. *Rules* yang dipakai adalah jenis “*if - then*”.



Gambar 2.8. Diagram Blok Proses Rule Evaluation [8,12]

Jika digunakan himpunan dengan 5 (lima) keadaan, maka matriks dan *rule base* dapat dilihat pada Tabel 2.1 dan Tabel 2.2

Tabel 2.1 Matriks Aturan Fuzzy Konsep Mac Vicar Whelan

Output, U		Error, E				
		NB	NS	Z	PS	PB
Delta	NB	NB	NB	NB	NS	Z
Error,	NS	NB	NS	NS	Z	PS
dE	Z	NB	NS	Z	PS	PB
	PS	NS	Z	PS	PS	PB
	PB	Z	PS	PB	PS	PB

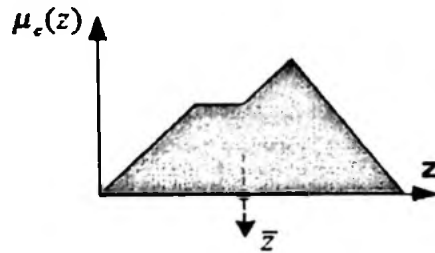
Tabel 2.2 Aturan Fuzzy Berdasarkan Tabel 2.1

N0	IF	Error, e Is	AND	Change In Error, de Is	THEN	Out, U Is
1		NB		NB		NB
2		NB		NS		NB
3		NB		Z		NB
4		NB		PS		NS
5		NB		PB		Z
6		NS		NB		NB
7		NS		NS		NS
8		NS		Z		NS
9		NS		PS		Z
10		NS		PB		PS
11		Z		NB		NB
12		Z		NS		NS
13		Z		Z		Z
14		Z		PS		PS
15		Z		PB		PB
16		PS		NB		NS
17		PS		NS		Z
18		PS		Z		PS
19		PS		PS		PS
20		PS		PB		PS
21		PB		NB		Z
22		PB		NS		PS
23		PB		Z		PB
24		PB		PS		PB
25		PB		PB		PB

2.3.5. Defazifikasi (*Defuzzification*)

Defuzzifikasi merupakan proses perubahan besaran Fuzzy yang disajikan dalam bentuk himpunan-himpunan Fuzzy. Biasanya dibutuhkan alat bantu (*software*) untuk mengembangkan aplikasi Fuzzy mulai dari tahap perancangan, evaluasi, implementasi dan penalaan (*tuning*). Kontroler Fuzzy digunakan untuk memberikan respon yang baik terhadap kondisi keadaan tunak (*steady state*) [10].

Pada tahap Defuzzifikasi dilakukan pemetaan bagi nilai-nilai fuzzy output ke nilai-nilai output kuantitatif yang sesuai. Ada berbagai metode untuk melakukan proses defuzzification, diantaranya *Center Of Gravity* (COG). Pada metode (COG) nilai keluarannya diperoleh berdasarkan titik berat dari kurva hasil proses pengambilan keputusan yang dapat dilukiskan pada Gambar 2. 13.



Gambar 2.9. Metode Centroid

Tabel 2.3 Bentuk Metode Defuzification [8, 12]

Assessment	Method		
Criteria	Center-of-Gravity (COG)	Center-of-Maximum (COM)	Mean-of-Maximum
Linguistic Characteristic	Center-of-Area (COA)	Best Compromise	Most Plausible Result
Fit with Intuition	Best Compromise	Good	Good
Continuity	Implausible with varying membership function shapes and strong overlapping membership function	Yes	No
Computational Effort	Yes	Low	Very Low
Application Field	Closed-loop Control, Decision Support, Data Analysis	Closed-loop Control, Decision Support, Data Analysis	Pattern Recognition, Decision Support, Data Analysis

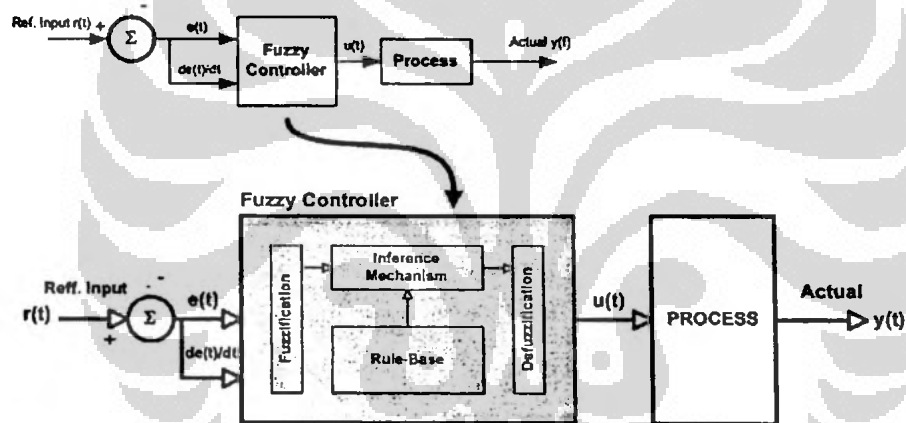


Gambar 2.10. Proses Defuzzification [8, 12]

Metode (COG) [9] akan menghitung pusat titik berat pada semua *membership function output* yang dipenuhi untuk menentukan besarnya output yang harus diberikan. Persamaan perhitungan COG adalah:

$$U = \frac{\sum_{j=1}^q u_j \cdot \mu(u_j)}{\sum_{j=1}^q \mu(u_j)}; \text{ untuk } q = n \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

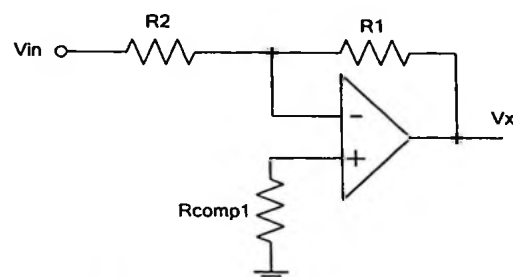
Fuzzy Logic Control melakukan pengaturan sinyal keluaran berdasarkan sinyal error yang berasal dari selisih *set point* (SP) dan sinyal proses variable (PV) [11] . Pengambilan keputusan Fuzzy sebagai keluaran sinyal kontrol dilakukan melalui proses kuantisasi dan fuzzifikasi dengan membuat *rule base* setelah sinyal error dan change in error. Keluarannya berupa data kualitatif, diubah melalui proses defuzzifikasi menjadi data kuantitatif. Kontrol Fuzzy termasuk kontrol cerdas. Diagram blok kontrol lup terbuka dengan FLC seperti Gambar 2.15.



Gambar 2.11 Diagram Blok Kontrol Lup Terbuka dengan FLC

2. 4. Power Driver

Pada suatu power driver dibutuhkan penguatan jika diinginkan driver memiliki pengali untuk tegangan dan arus. *Amplifier* bekerja dengan perbandingan antara R_1 dan R_2 yang akan menjadi penguatan dari rangkaian.



Gambar 2.12 Rangkaian Penguat Amplifier

$$A_v = \frac{\Delta V_{out}}{\Delta V_{in}} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dari rangkaian penguatan sistem akan didapatkan dari pembagian antara V_{out} dan V_{in} .

$$A_v = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dari persamaan (2.10) maka jika kita telah menetapkan untuk memberikan suatu output tegangan penguatan, maka kita dapat menyetel rangkaian *amplifier* ini dengan pemilihan nilai R_1 dan R_2 . Pemilihan nilai R_1 dan R_2 harus dengan satuan kiloohm, karena jika nilai resistor besar maka nilai arus akan kecil dimana arus yang kecil tidak akan mengganggu arus rangkaian yang lain.

2. 5. Statistik Dasar Pengukuran

2.5.1. Analisis Statistik Data Eksperimen

Data hasil eksperimen (sampel) umumnya menyebar/acak dan belum atau tidak dapat terbaca bentuk fungsinya. Perbedaan pembacaan data hasil eksperimen perlu dikelompokkan agar dapat mewakili nilai sampel/populasi data. Pengambilan data melalui sampel harus mengindikasikan dan mencerminkan kondisi populasinya. Salah satu yang dapat diperhatikan adalah pengambilan perhitungan rata-rata (mean) dari seluruh data [9]. Jika setiap pembacaan data ditandai dengan x_i dan ada n jumlah pembacaan, maka rata-rata aritmatik (*arithmetic mean*) ialah:

$$x_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \dots\dots\dots(2.7)$$

Deviasi atau penyimpangan d_i dari masing-masing pembacaan data didefinisikan sebagai

$$d_i = x_i - x_m \dots\dots\dots(2.8)$$

Rata-rata (*average*) deviasi seluruh pembacaan data adalah nol, karena

$$\bar{d}_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - x_m) \dots\dots\dots(2.9)$$

$$\bar{d}_i = x_m - \frac{1}{n}(nx_m) = 0 \dots\dots\dots(2.10)$$

Rata-rata nilai absolut deviasi diberikan oleh:

$$|\bar{d}_i| = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\bar{d}_i| = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - x_m| \dots\dots\dots(2.11)$$

Deviasi standar (*standard deviation*) didefinisikan sebagai

$$\sigma = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - x_m)^2 \right]^{1/2} \dots\dots\dots(2.12)$$

2.5.2. Metode Kuadrat Terkecil (Least Square Method)

Diumpamakan dua variabel y dan x diukur dalam suatu jangkauan nilai, persamaan analitik sederhana untuk y sebagai fungsi dari x . Fungsi yang paling sederhana ialah fungsi linier, metode kuadrat terkecil merupakan cara yang lebih dapat diandalkan untuk mendapatkan hubungan fungsional yang lebih baik daripada cara menggambarkan dengan kira-kira [9].

Persamaan yang kita cari berbentuk:

$$y = ax + b \dots\dots\dots(2.13)$$

Nilai maksimum pada persamaan (2.13) akan diperoleh apabila diferensial ke satu fungsi $y = ax + b$ adalah nol, sehingga untuk:

$$S = \sum_{i=1}^n [y_i - (ax_i + b)]^2 \dots\dots\dots(2.14)$$

Dari persamaan (2.14) diturunkan terhadap a dan b , $\frac{\partial S}{\partial a} = 0$, $\frac{\partial S}{\partial b} = 0$, diperoleh:

$$nb + a \sum x_i = \sum y_i \dots\dots\dots(2.15)$$

$$b \sum x_i + a \sum x_i^2 = \sum x_i y_i \dots\dots\dots(2.16)$$

Pemecahan persamaan diatas secara serentak memberikan

$$a = \frac{n \sum x_i y_i - (\sum x_i)(\sum y_i)}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \dots\dots\dots (2.17)$$

$$b = \frac{(\sum y_i)(\sum x_i^2) - (\sum x_i y_i)(\sum x_i)}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \dots\dots\dots (2.18)$$

Kesalahan standar taksiran y untuk data ini adalah:

$$\left[\frac{\sum (y_i - \hat{y})^2}{n-2} \right]^{1/2} = \left[\frac{\sum (y_i - ax_i - b)^2}{n-2} \right]^{1/2} \dots\dots\dots (2.19)$$

Jika nilai x_i dan y_i diambil dari nilai data dalam y dan nilai pada kurva yang dipastikan untuk nilai x yang sama, maka anggapannya ialah bahwa ketidakpastian dalam y lebih menonjol. Relasi ketidakpastian dalam y lebih menonjol dari pada x membuat regresi dari x terhadap y

Jika ketidakpastian dalam x dan y dianggap sama besarnya, maka perlu dilakukan suatu teknik membuat rata-rata. Pada kasus lain, meminimumkan jumlah kuadrat deviasi pada titik-titik sebenarnya dari kurva yang diandaikan, dan juga mengandaikan bahwa x tidak berubah banyak pada masing-masing titik. Jika kita dapat $y = a + bx$ dan kita selesaikan untuk mendapatkan:

$$x = \frac{1}{b}y - \frac{a}{b} \dots\dots\dots (2.20)$$

2. 6. NI-DAQ USB 6008

2.6.1. Teknik Akuisisi Data

Teknik akuisisi data didefinisikan sebagai suatu sistem yang berfungsi mengambil, mengumpulkan dan menyiapkan data untuk diproses oleh komputer. Jenis serta metode yang dipilih pada umumnya bertujuan untuk menyederhanakan setiap langkah yang dilaksanakan pada keseluruhan proses.

Peralatan data akuisi [11] terdiri dari ADC (analog to digital converter), MUX (multiplexer), DAC (digital to analog converter) dan sistem komunikasi data serial.

2.6.2. Konektivitas kabel USB

Modul data akuisisi memiliki keunggulan dalam konektivitas USB. Sistem secara otomatis dapat terdeteksi sehingga semua sinyal input yang masuk akan diubah ke dalam bentuk digital oleh modul NI-DAQ USB 6008 [12] dan selanjutnya data dilewatkan melalui kabel USB yang kemudian dianalisa lalu ditampilkan

2.6.3. NI-DAQ 6008

Sebelum bisa mengukur suatu sinyal fisik, seperti kecepatan putaran, sensor (transduser) diubah dari sinyal fisik ke sinyal elektrik, tegangan atau arus. Aplikasi *LabVIEW* mengontrol sistem DAQ dengan memperoleh data mentah, menganalisa, dan menampilkan hasilnya. *NI-DAQ (National Instrument Data Acquisition) USB 6008* [13] adalah modul akuisisi data multifungsi yang menyediakan akuisisi data.. *NI-DAQ 6008* merupakan interface [14] antara plant yang akan di kontrol dengan komputer sebagai user atau pengontrolnya. *Plug-and-play konektivitas USB* cukup praktis untuk pengukuran cepat, juga pengukuran yang lebih kompleks.



Gambar 2.12 NI-DAQ USB 6008

BAB 3 PERANCANGAN SISTEM

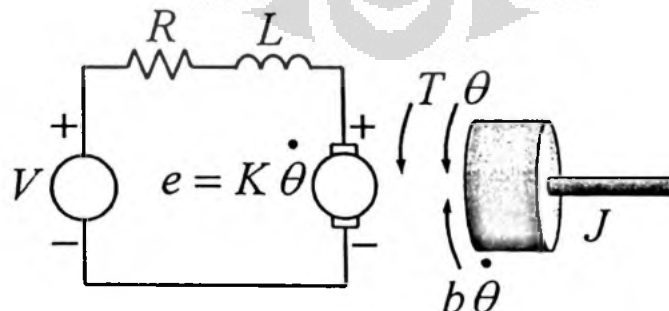
Perancangan sistem pengereman motor DC diawali dengan penjabaran matematis dan tinjauan fisis pada motor DC. Sebelum realisasi alat dilakukan simulasi pengereman menggunakan program *LabVIEW V 8.5*. Alasan penggunaan *LabVIEW V 8.5* karena dapat dihubungkan pada *NIDAQ 6008* sebagai unit pemroses data pada plant.

3.1. Penjabaran Matematis dan Tinjauan Fisis

Sebuah motor DC yang dihubungkan secara seri dengan Resistor (R), Induktor (L) dan sumber tegangan V , dapat diuraikan rumusan berikut:

3.1.1. Rangkaian pada Motor DC

Jika suatu konduktor dililitkan dengan kawat berarus maka akan dibangkitkan medan magnet putar. Kontribusi dari setiap putaran akan merubah intensitas medan magnet pada kumparan dan terbentuk medan magnet yang kuat. Tenaga yang digunakan untuk mendorong *flux magnet* disebut *Magnetomotive Force (MF)*. Medan magnet dibangkitkan oleh magnet permanen, jadi tidak perlu tenaga untuk membuat medan magnet. Flux medan magnet pada stator tidak dipengaruhi oleh arus armature. Oleh karena itu, kurva perbandingan antara kecepatan dengan torsi adalah linier. Pada prinsipnya jika sebuah penghantar dilalui arus listrik (I_a), akan menghasilkan medan magnet disekelilingnya.



Gambar 3.1. Skematik Motor DC dengan Pengontrol Medan

- *Moment of inertia of the rotor (J)* dalam m^2/s^2
- *Damping ratio of the mechanical system (b)* dalam Nms
- *Electromotive force constant ($K=K_e=K_t$)* dalam Nm/Amp
- *Electric resistance (R)* dalam ohm
- *Electric inductance (L)* dalam henry
- *Input (V): Source/armature Voltage* dalam volt
- *Output (θ): speed of shaft* dalam rad/sec

3.1.2. Model Matematika dan Fungsi Transfer dari Sistem

- Persamaan Pada Rangkaian Listrik

Mengacu Hukum Kirchhoff:

$$V_R + V_L - V_s + E_a = 0 \text{ atau}$$

$$V_L = V_s - E_a - V_R \text{(3.1)}$$

Dengan V_R , V_L , V_s , V_a masing masing adalah penurunan tegangan di R, penurunan tegangan L, penurunan tegangan sumber dan tegangan armature. Selanjutnya dapat ditulis sebagai:

$$L \frac{di}{dt} = (V_s - E_a - iR) \text{(3.2)}$$

$$E_a = k \cdot \phi \cdot \frac{d}{dt}(\theta(t))$$

k: konstanta juga nilai ϕ : *fluks magnetik* (weber) adalah konstan sehingga dapat dinyatakan sebagai:

$$E_a = K \left(\frac{d}{dt} \theta(t) \right) \text{(3.3)}$$

Nilai (arus) $i = i(t)$, tegangan sumber $V_s = v(t)$, sudut putar $\theta = \theta(t)$

(rad) dan kecepatan putar motor $\frac{d\theta}{dt} = \frac{d}{dt} \{ \theta(t) \}$ (rpm) merupakan fungsi

dari waktu (t), maka persamaan (3.2) dapat dinyatakan sebagai:

$$L \left(\frac{d}{dt} [i(t)] \right) = v(t) - R i(t) - K \left(\frac{d}{dt} \theta(t) \right) \text{(3.4)}$$

$$L\left(\frac{d}{dt}[i(t)]\right) + Ri(t) + K\left(\frac{d}{dt}\theta(t)\right) = v(t) \dots\dots\dots(3.5)$$

- $i = i(t)$: Arus (ampere)
 $V_s = v(t)$: Tegangan Sumber (volt)
 R : Tahanan lilitan jangkar (ohm)
 $\theta = \theta(t)$: sudut putar (rad)
 $\frac{d}{dt}\{\theta(t)\}$: Kecepatan Putar Motor (rpm)
 K : Konstanta
 E_s : Perlawanan Tegangan (volt)

$$(T - T_L - B\omega) = 0 \dots\dots\dots(3.6)$$

$$(T = T_L + B\omega) \dots\dots\dots(3.7)$$

$$T = J\left(\frac{d^2}{dt^2}\theta(t)\right) + b\left(\frac{d}{dt}(\theta(t))\right) \dots\dots\dots(3.8)$$

$$T = K_t i(t) \dots\dots\dots(3.9)$$

Dari persamaan (3.8) dan (3.9) diperoleh:

$$J\left(\frac{d^2}{dt^2}\theta(t)\right) + b\left(\frac{d}{dt}(\theta(t))\right) = K(i(t)) \dots\dots\dots(3.10)$$

$$i(t) = \frac{J}{K}\left(\frac{d^2}{dt^2}\theta(t)\right) + \frac{b}{K}\left(\frac{d}{dt}(\theta(t))\right) \dots\dots\dots(3.11)$$

Dengan diferensiasi diperoleh persamaan

$$\frac{d}{dt}[i(t)] = \frac{J}{K}\left(\frac{d^3}{dt^3}\theta(t)\right) + \frac{b}{K}\left(\frac{d^2}{dt^2}(\theta(t))\right) \dots\dots\dots(3.12)$$

Substitusikan persamaan (3.11) dan (3.12) ke persamaan (3.5), maka:

$$L\left\{\frac{J}{K}\left\{\frac{d^3}{dt^3}[\alpha(t)]\right\}+\frac{b}{K}\left\{\frac{d^2}{dt^2}[\alpha(t)]\right\}\right\}+R\left[\frac{J}{K}\left\{\frac{d^2}{dt^2}\alpha(t)\right\}+\frac{b}{K}\left\{\frac{d}{dt}\alpha(t)\right\}\right]+K\left(\frac{d}{dt}\alpha(t)\right)=v(t)$$

.....(3.13)

Persamaan (3.13) dapat dibuat Fungsi transfer (Transfer Function), dengan menggunakan Transformasi Laplace diperoleh:

$$\left(\frac{L J}{K}\left\{\frac{d^2}{dt^2}[\alpha(t)]\right\}\right)+\left[\frac{R J+L b}{K}\right]\frac{d}{dt}[\alpha(t)]+\left[\frac{b R+K^2}{K}\right](\alpha(t))=v(t)$$

.....(3.14)

Selanjutnya jika kedua ruas dilaplacekan dapat dinyatakan dalam bentuk:

$$\frac{\alpha(s)}{V(s)}=\left[\frac{K\left\{\left(R J+L b\right) \alpha'(0)+\left(R b+K^2\right) \alpha(0)\right\}}{\left\{L J s^2+\left(R J+L b\right) s+\left(R b+K^2\right)\right\}}\right] \dots\dots\dots(3.15)$$

$$\frac{\alpha(s)}{V(s)}=\left[\frac{K\left\{\left(R J+L b\right) \alpha'(0)+\left(R b+K^2\right) \alpha(0)\right\}}{\left\{L J s^2+\left(R J+L b\right) s+\left(R b+K^2\right)\right\}}\right] \dots\dots\dots(2.16)$$

Untuk kondisi $\alpha(0)=0$ dan $\alpha'(0)=0$, diperoleh:

$$\frac{\alpha(s)}{V(s)}=\left[\frac{K}{\left\{L J s^2+\left(R J+L b\right) s+\left(R b+K^2\right)\right\}}\right] \dots\dots\dots(3.17)$$

Persamaan (3.18) dapat menunjukkan input dan output:

$$\alpha(s)=\left[\frac{K}{\left\{L J s^2+\left(R J+L b\right) s+\left(R b+K^2\right)\right\}}\right]\left[\{V(s)\}\right] \dots\dots\dots(3.18)$$

Penyelesaian persamaan (3.18) menunjukkan bahwa **Fungsi Transfer** open loop reduksi kecepatan $\alpha(t)$ adalah

hanya tergantung pada nilai input tegangan. Nilai tegangan sangat bergantung pada arus. Agar motor DC dapat bekerja secara optimal haruslah memperhatikan besarnya arus.

Torsi merupakan suatu gaya yang menyebabkan benda berotasi terhadap porosnya. Dalam kaitannya pada motor, maka torsi merupakan putaran yang dilakukan oleh rotor. Hubungan antara kecepatan putaran motor (α) dengan tegangan armatur (V) diperlihatkan pada persamaan (3.18), penyelesaiannya merupakan sistem persamaan diferensial orde dua:

$$\frac{\alpha(s)}{V(s)} = G(s) = \left[\frac{1}{\{LJ s^2 + (RJ + Lb) s + (Rb + K^2)\}} \right] \dots\dots\dots(3.19)$$

$$G(t) = \text{Inv Lap} \left[\frac{1}{\{LJ s^2 + (RJ + Lb) s + (Rb + K^2)\}} \right] \dots\dots\dots(3.20)$$

Putaran motor bergantung pada *moment of inertia*, *damping ratio*, *electromotive force constant*, *electric resistance*, *electric inductance*, dan *armature voltage*. Dapat dilihat contoh respon kecepatan motor DC terhadap tegangan armature pada Gambar 2.2 dengan data dan hasil pengukuran dan perhitungan *plant*:

Moment of inertia of the rotor; ($J = 3,2284 \cdot 10^6 [kg.m^2 / s^2]$)

Damping ratio of the mechanical system ($b = 3,5077 \cdot 10^6 [Nms]$)

Electromotive force constant ($K = K_c = K_t = 0,274 [Nm / Amp]$)

Electric Resistance ($R = 4 [ohm]$)

Electronic Inductance ($L = 2,75 [henry]$)

Input (V): Source Armature Voltage = 1 volt

Output (α rpm) speed of shaft

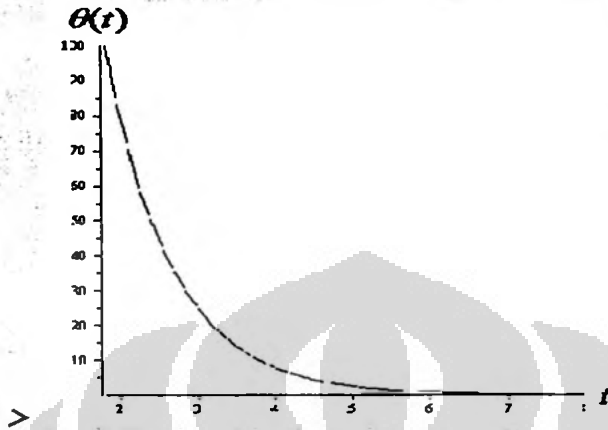
Penyelesaian persamaan (3.20) menggunakan Maple adalah:

$$2.75 \cdot 3.2284 \cdot 10^6 \cdot s^2 + (4 \cdot 3.2284 \cdot 10^6 + 2.75 \cdot 3.5077 \cdot 10^6) \cdot s + (4 \cdot 3.5077 \cdot 10^6 + 0.274^2) = 0$$

`solve ({ (1) }, [s])`

$$y = 515.1753421 \cdot \exp(-1.086513468 \cdot t) + 384.8246579 \cdot \exp(-1.454545430 \cdot t)$$

$$y = 515.1753421 e^{-1.086513468 t} + 384.8246579 e^{-1.454545430 t}$$



Gambar 3.2 Grafik Fungsi Model Matematiak pada Penurunan Kecepatan Motor

Penurunan kecepatan (belum ada kontrol) pada motor berbentuk fungsi eksponensial (identik dengan karakteristik peredaman). Pengereman sebagai suatu proses penurunan/reduksi kecepatan, idealnya dapat menghentikan putaran motor dengan cepat tetapi mulus tanpa hentakan.

Tinjauan Matematika dan Fisika yang lebih rinci tentang beberapa variabel yang memungkinkan dapat dikontrol.. Perhatikan Gambar 3.3 dapat diturunkan :

Persamaan Mekanik:

- Fluks Motor

$$\phi = k_1 i_f \dots\dots\dots(3.21)$$

- Torsi Motor

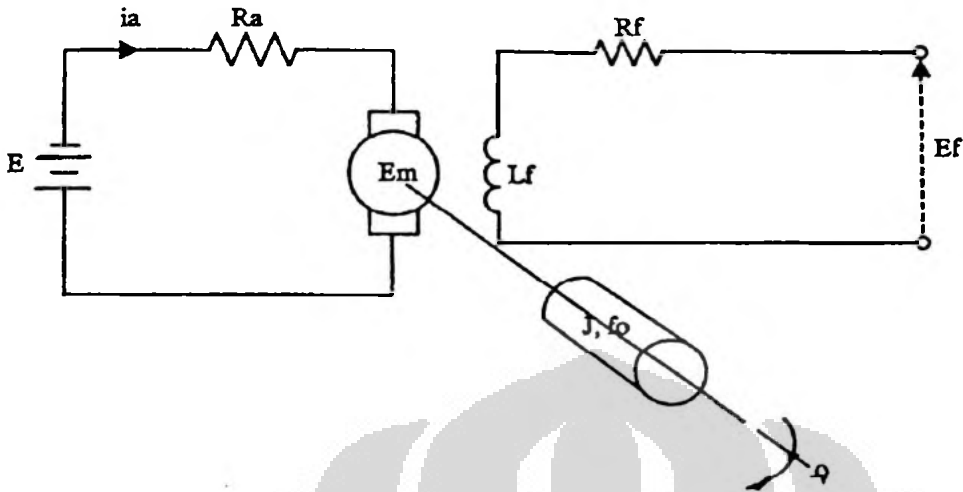
$$T = k_2 \phi i_a \dots\dots\dots(3.22)$$

Substitusikan persamaan (3.21) ke (3.22) diperoleh:

$$T = k_1 k_2 i_a i_f \dots\dots\dots(3.23)$$

Karena k_1 , k_2 , i_a adalah tetap maka dapat dinyatakan sebagai:

$$T = k_1 i_f \dots\dots\dots(3.24)$$



Gambar 3.3 Rangkaian Pengontrol Arus Medan

Di sisi lain:

$$(T - T_L - f_0 \omega) = 0 \dots\dots\dots(3.25)$$

$$T = T_L + f_0 \omega \dots\dots\dots(3.26)$$

$$T = J \left(\frac{d^2}{dt^2} \theta(t) \right) + f_0 \left(\frac{d}{dt} (\theta(t)) \right) \dots\dots\dots(3.27)$$

Dari persamaan (3.26) dan (3.27) diperoleh:

$$J \left(\frac{d^2}{dt^2} \theta(t) \right) + b \left(\frac{d}{dt} (\theta(t)) \right) = k_1 i_f \dots\dots\dots(3.28)$$

- Persamaan Pada Rangkaian Listrik:

$$L_f \frac{di_f}{dt} + R_f i_f = E_f \dots\dots\dots(3.29)$$

$$i_f = \frac{E_f}{R_f} - \left(\frac{L_f}{R_f} \right) \frac{di_f}{dt} \dots\dots\dots(3.30)$$

$$\frac{J}{k_t} \left(\frac{d^2}{dt^2} \theta(t) \right) + \frac{b}{k_t} \left(\frac{d}{dt} (\theta(t)) \right) = i_f \dots\dots\dots(3.31)$$

Persamaan (3.31) dapat ditulias sebagai:

$$\left(\frac{d^2}{dt^2} \theta(t) \right) = \frac{k_t}{J} i_f - \frac{b}{J} \left(\frac{d}{dt} (\theta(t)) \right) \dots\dots\dots (3.32)$$

Jika persamaan (3. 31) didiferensialkan menghasilkan:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} (i_f) &= \frac{d}{dt} \left[\frac{J}{k_t} \left(\frac{d^2}{dt^2} \theta(t) \right) + \frac{b}{k_t} \left(\frac{d}{dt} (\theta(t)) \right) \right] \\ \frac{d}{dt} (i_f) &= \left[\frac{J}{k_t} \left(\frac{d^3}{dt^3} \theta(t) \right) + \frac{b}{k_t} \left(\frac{d^2}{dt^2} (\theta(t)) \right) \right] \dots\dots\dots(3.33) \end{aligned}$$

Substitusikan persamaan (3.30), (3.33) ke persamaan (3.29), diperoleh:

$$\begin{aligned} L_f \left[\frac{J}{k_t} \left(\frac{d^3}{dt^3} \theta(t) \right) + \frac{b}{k_t} \left(\frac{d^2}{dt^2} (\theta(t)) \right) \right] + R_f \left[\frac{J}{k_t} \left(\frac{d^2}{dt^2} \theta(t) \right) + \frac{b}{k_t} \left(\frac{d}{dt} (\theta(t)) \right) \right] &= E_f \\ \left[\frac{JL_f}{k_t} \left(\frac{d^3}{dt^3} \theta(t) \right) \right] + \left[\frac{JR_f}{k_t} + \frac{bL_f}{k_t} \right] \left[\frac{d^2}{dt^2} (\theta(t)) \right] + \left[\frac{bR_f}{k_t} \left(\frac{d}{dt} (\theta(t)) \right) \right] &= E_f \\ \left[\frac{JL_f}{k_t} \left(\frac{d^3}{dt^3} \theta(t) \right) \right] + \left[\frac{JR_f}{k_t} + \frac{bL_f}{k_t} \right] \left[\frac{d^2}{dt^2} (\theta(t)) \right] + \left[\frac{bR_f}{k_t} \left(\frac{d}{dt} (\theta(t)) \right) \right] &= E_f \\ \left[\left(\frac{d^3}{dt^3} \theta(t) \right) \right] = \left\{ \frac{k_t}{JL_f} E_f - \left[\frac{R_f}{L_f} + \frac{b}{J} \right] \left[\frac{d^2}{dt^2} (\theta(t)) \right] - \left[\frac{bR_f}{JL_f} \left(\frac{d}{dt} (\theta(t)) \right) \right] \right\} \dots\dots\dots & \\ \dots\dots\dots & \dots\dots\dots(3.34) \end{aligned}$$

Jika diambil ketentuan bahwa:

$$\dot{\theta}_1(t) = E_f \dots\dots\dots(3.35)$$

$$\dot{\theta}_2(t) = \theta(t) \dots\dots\dots(3.36)$$

$$\dot{\theta}_3(t) = \frac{d}{dt} \{\theta(t)\} \dots\dots\dots(3.37)$$

$$\dot{\theta}_4(t) = \frac{d^2}{dt^2} \{\theta(t)\} \dots\dots\dots(3.38)$$

Dari persamaan (3.32) dan (3.35) diperoleh:

$$\frac{d}{dt} \left\{ \dot{\theta}_1(t) \right\} = \frac{k_r}{J} i_f - \frac{b}{J} \left(\dot{\theta}_1(t) \right) \dots\dots\dots(3.39)$$

Dari persamaan (3.35) dan (3.37) diperoleh:

$$\frac{d}{dt} \left[\dot{\theta}_2(t) \right] = \dot{\theta}_3(t) \dots\dots\dots(3.40)$$

Dari persamaan (3.34), (2.37), (3.38) diperoleh:

$$\left[\frac{d}{da} \left(\dot{\theta}_4(t) \right) \right] = \left\{ \frac{k_r}{JL_f} \left(\dot{\theta}_1(t) \right) - \left[\frac{R_f}{L_f} + \frac{b}{J} \right] \left(\dot{\theta}_4(t) \right) - \left[\frac{b R_f}{JL_f} \left(\dot{\theta}_3(t) \right) \right] \right\} \dots\dots\dots(3.41)$$

Selanjutnya dari persamaan (3.37) dapat dituliskan:

$$\frac{d}{dt} \left\{ \dot{\theta}_3(t) \right\} = \dot{\theta}_4(t) \dots\dots\dots(3.42)$$

Dari persamaan (3.39), (3.40), (3.41) dan (3.42) dapat ditulis dalam bentuk matrik

$$\begin{bmatrix} \frac{d}{dt} \left(\dot{\theta}_1(t) \right) \\ \frac{d}{dt} \left(\dot{\theta}_2(t) \right) \\ \frac{d}{dt} \left(\dot{\theta}_3(t) \right) \\ \frac{d}{dt} \left(\dot{\theta}_4(t) \right) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{b}{J} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ \frac{k_r}{JL_f} & 0 & \frac{b R_f}{JL_f} & -\left(\frac{R_f}{L_f} + \frac{b}{J} \right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1(t) \\ \dot{\theta}_2(t) \\ \dot{\theta}_3(t) \\ \dot{\theta}_4(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\frac{k_r}{J} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} [i_f] \dots\dots\dots(3.43)$$

$$i_f = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \frac{J}{k_t} & \frac{b}{k_t} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1(t) \\ \dot{\theta}_2(t) \\ \dot{\theta}_3(t) \\ \dot{\theta}_4(t) \end{bmatrix} \dots\dots\dots(3.44)$$

Dari persamaan (3.43) dapat dinyatakan:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \dot{\theta}(t) \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} \dot{\theta}(t) \end{bmatrix} + B \dots\dots\dots(3.45)$$

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{b}{J} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ \frac{k_t}{JL_f} & 0 & \frac{bR_f}{JL_f} & -\left(\frac{R_f}{L_f} + \frac{b}{J}\right) \end{bmatrix} \text{ dan } B = \begin{bmatrix} -\frac{k_t}{J} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \dots\dots\dots(3.46)$$

Persamaan (3.45) menunjukkan. penurunan kecepatan (percepatan/ perlambatan) $\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \dot{\theta}(t) \end{bmatrix}$ hanya tergantung pada $\begin{bmatrix} \dot{\theta}(t) \end{bmatrix}$. Keduanya dinyatakan dalam sistem ruang vektor yang tidak mudah digambarkan secara manual. Penyelesaian persamaan (3.45) memerlukan bantuan software karena memungkinkan untuk mendapatkan hasil penyelesaian yang tidak tunggal. Persamaan (3.44) dapat dituliskan:

$$i_f = C \begin{bmatrix} \dot{\theta}(t) \end{bmatrix} + D \dots\dots\dots(3.47)$$

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \frac{J}{k_t} & \frac{b}{k_t} \end{bmatrix} \text{ dan } D = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \dots\dots\dots(3.48)$$

- i_f Sistem sinyal input A : Matrik Sistem
- $\frac{d}{dt} \dot{\theta}(t)$ Sistem sinyal output B : Matrik Input
- $\dot{\theta}(t)$ Sistem ruang vector C : Matrik Output
- D : Direct through matrix

Dari persamaan (3.47) dan (3.48) terlihat bahwa **reduksi kecepatan/ percepatan (output) tergantung pada besarnya arus (input).**

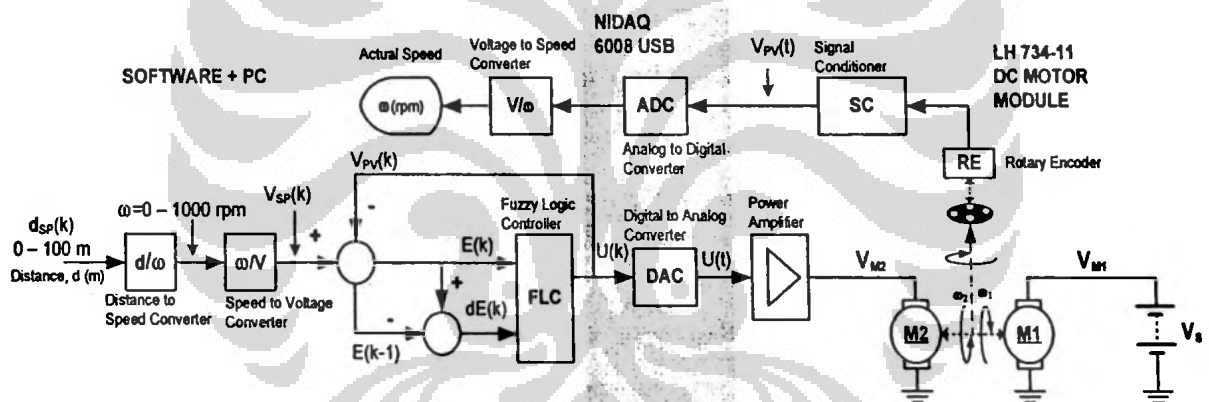
3.2. Deskripsi Sistem

Nama Sistem: Sistem Pengendali Pengereman Motor DC
Menggunakan Kontroler Logika Fuzzy

Fungsi : Mengerem motor DC

Spesifikasi : Jarak : 100 m
Kecepatan Motor DC : 1000 rpm (konstan)
Lewatan Maksimum Output, M_p : < 5%
Kesalahan keadaan mantap, E_{ss} : < 1%
Settling-time, T_s : 1- 5 Menit
(Variabel)
Kontroler : Logika Fuzzy

3.3. Konfigurasi Sistem



Gambar 3-4 Konfigurasi Sistem Pengereman Motor DC

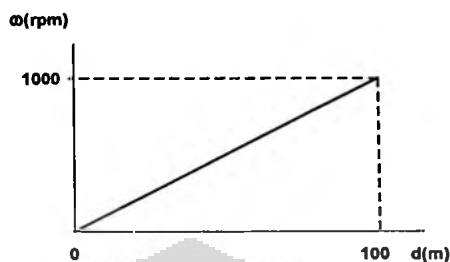
Keterangan:

d	: Distance (0 – 100 m)	DAC	: Digital to analog converter
d/ω	: Distance to speed converter	ADC	: Analog to digital converter
ω/V	: Speed to voltage converter	M1	: DC Motor 1
E	: Error = $V_{sp} - V_{pv}$	M2	: DC Motor 2
dE	: Change in error = $E(k) - E(k-1)$	SC	: Signal conditioner
FLC	: Fuzzy Logic Controller	RE	: Rotary encoder
U	: FLC output		

3.3.1. Software/PC (Blok 1)

a Konversi Jarak ke Kecepatan

Untuk mengkonversi jarak, $d = 0 - 100$ m menjadi kecepatan putaran motor, $\omega = 0 - 1000$ rpm sebagai berikut:



Gambar 3-5 Karakteristik Transfer $\omega = f(d)$

Dua titik yang dapat diperhatikan adalah (0,100) dan (0, 1000) dapat ditentukan persamaan korelasinya:

$$\frac{d - 0}{100 - 0} = \frac{\omega - 0}{1000 - 0} \text{ atau } d = \frac{\omega}{10}, \text{ sehingga:}$$

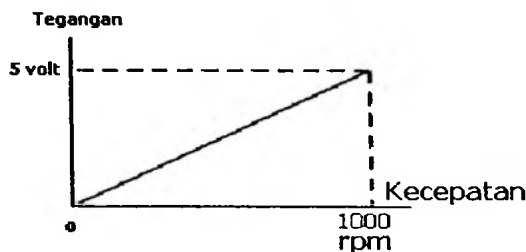
$$\omega = 10 \cdot d \text{ rpm; } d = 0 - 100 \text{ m} \dots\dots\dots(3.49)$$

Realisasi pembacaan jarak menggunakan program LabVIEW 8.5 diperlihatkan pada Gambar 3-6



Gambar 3-6 Program Konversi Jarak ke Kecepatan

b Konversi Kecepatan ke Tegangan



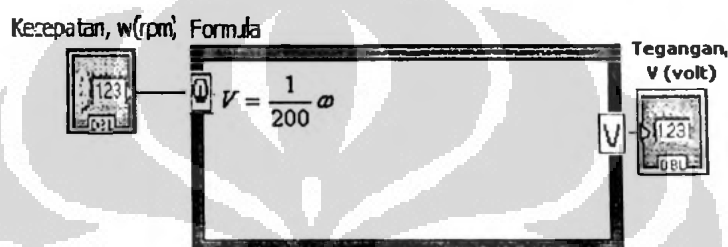
Gambar 3-7 Karakteristik Transfer $V = f(\omega)$

Dua titik yang dapat diperhatikan adalah (0, 1000) dan (0, 5) dapat ditentukan persamaan korelasinya:

$$\frac{V - 0}{5 - 0} = \frac{\omega - 0}{1000 - 0} \text{ atau } V = \frac{\omega}{200}, \text{ sehingga:}$$

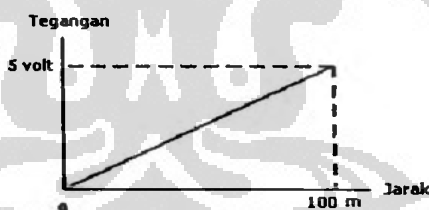
$$V = \frac{1}{200} \omega \text{ volt, } \omega = 0 - 1000 \text{ rpm.....(3.50)}$$

Realisasi pembacaan jarak menggunakan program LabVIEW 8.5 diperlihatkan pada Gambar 3-8



Gambar 3.8 Program Konversi Kecepatan ke Tegangan

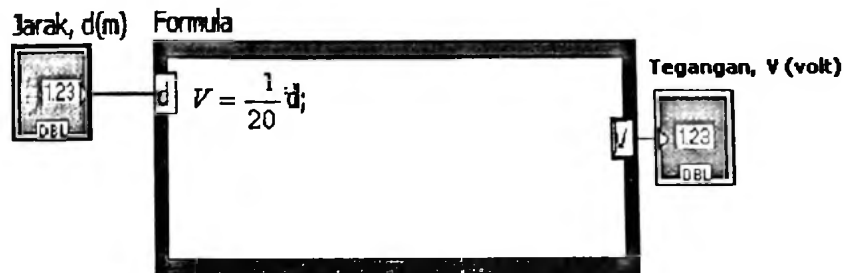
c Konversi Jarak ke Tegangan



Gambar 3.9 Karakteristik Transfer $V = f(d)$

Dari persamaan (3.49) dan (3.40) dapat diperoleh kesimpulan bahwa konversi jarak ke tegangan adalah:

$$V = \frac{1}{200} \omega = \frac{1}{200} 10 d = \frac{1}{20} d \text{ volt, } d = 0 - 100 \text{ m.....(3.50)}$$



Gambar 3.10 Program Konversi Jarak ke Tegangan

3.3.2. NIDAQ 6008 USB (Blok 2)

a Set Point dan Proses Variabel

Kecepatan putar motor DC diset ($V_{SP} = 1000$ rpm), tetapi pada kenyataannya saat diukur adalah $V_{PV} = 900$ rpm. Selisih antara V_{SP} dan V_{PV} adalah 100 rpm, dinyatakan dalam persen adalah $V_{SP} - V_{PV} = \pm 0,1$. Nilai error $V_{SP} - V_{PV}$ disebut sebagai $E(k)$.

b Error dan dError

Kontroler FLC digunakan untuk memproses Error, $E(k)$ dan Change in error, $dE(k)$ yang terjadi, hasil proses adalah output $U(k)$. Proses Variabel Input (kecepatan) bernilai analog, sedangkan FLC menggunakan variabel diskrit. Pengubahan variabel analog ke variabel diskrit dilakukan dengan komputer menggunakan program aplikasi kontrol logika fuzzy berbasis *Matlab/LabVIEW 8.5*. Selanjutnya tegangan output diskrit $U(k)$ dikonversi menjadi tegangan output fungsi kontinyu $U(t)$ menggunakan DAC. Power amplifier digunakan untuk memperkuat tegangan output $U(t)$ dan selanjutnya diumpankan ke motor DC M2 untuk melawan torsi dari M1. Pada saat torsi motor DC M2 sama besar dengan torsi motor DC M1, maka motor DC M1 akan berhenti berputar.

c ADC dan DAC

ADC (analog to digital converter) dan DAC (digital to analog converter) menggunakan modul NI-DAQ USB 6008 dengan spesifikasi:

- o Tegangan input ADC, V_{in} : ± 10 V
- o Tegangan Output DAC, V_{out} : 0 – 5 V
- o Resolusi ADC dan DAC : 12 Bit

Level kuantisasi ADC adalah 12 bit maka $2^{12} = 4096$

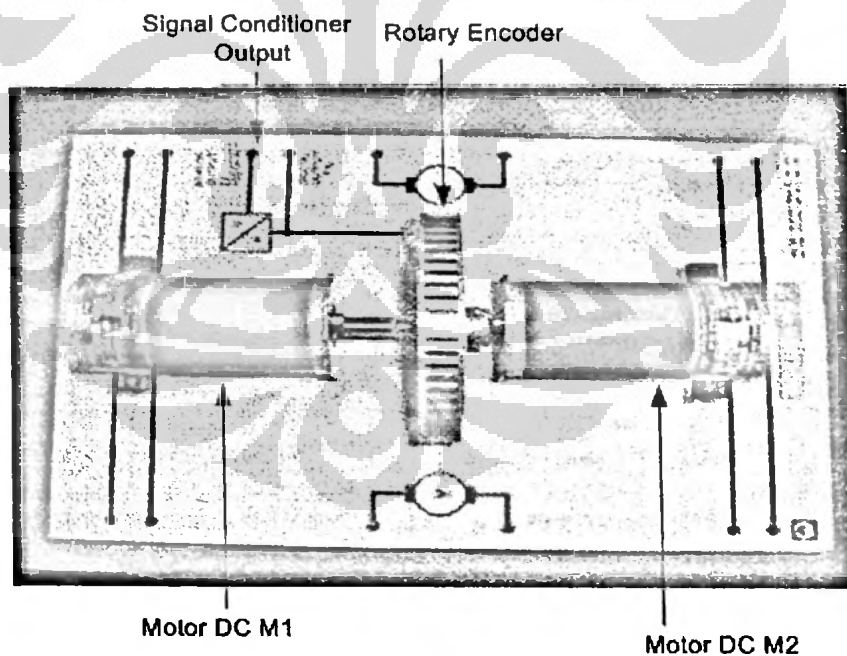
Resolusi untuk skala penuh,

$$FS = 5V \rightarrow R = \frac{FS}{2^{12}} = \frac{5}{4096} = 1,33mV.$$

$$\text{Untuk skala } FS = \pm 10V \rightarrow R = \frac{FS}{2^{12}} = \frac{20}{4096} = 4,88mV$$

3.3.3. Motor DC (Blok 3)

a Motor DC



Gambar 3-11 Modul motor DC M1 dan M2 LH 734-11

Motor DC yang akan direm adalah M1, sedangkan motor DC M2 digunakan untuk mengerem motor DC M1. Motor

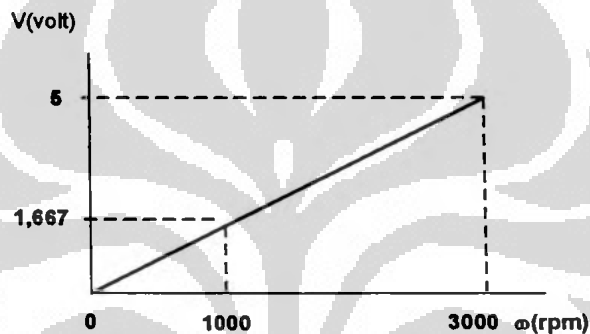
DC M1 dan M2 dikopel secara mekanik, seperti diperlihatkan pada Gambar 3-11.

b Rangkaian Sensor dan Signal Conditioner (SC)

Sensor rotary encoder dan rangkaian signal conditioner terintegrasi pada modul LH 734-11 dengan karakteristik transfer diperlihatkan pada Gambar 3-12

Kecepatan motor, $\omega = 0 - 3000$ rpm

Tegangan output, $V_{PV} = 0 - 5V$



Gambar 3. 12 Karakteristik Transfer Sensor dan Signal Conditioner

3. 4. Perancangan Alat

3.4.1. Motor DC M1 dan M2

Motor DC M1 dan M2 yang digunakan memiliki merk dan spesifikasi yang sama. Motor M1 diberi tegangan sehingga mengkopel motor M2. Motor M2 akan menghasilkan tegangan, diukur menggunakan multimeter. Hasil dari pengukuran tegangan dikonversikan menjadi jumlah putaran dengan menggunakan rumus regresi linear.

- **Blol Diagram**

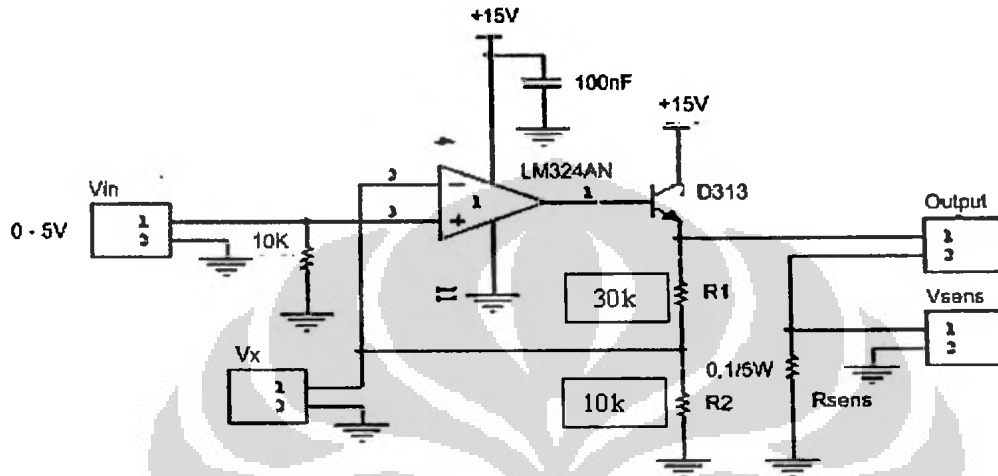


Gambar 3. 14 Diagram Blok Power Driver

• Skematik Rangkaian

Dengan menggunakan rumus $A_v = \frac{R_1}{R_2} + 1$

Untuk penguatan A_v sebesar 4x, dipilih $R_1 = 30\text{ k}\Omega$, maka $R_2 = 10\text{ k}\Omega$.



Gambar 3-15 Skematik Rangkaian Power Driver

- V_{sens} dihubungkan dengan input NI-DAQ 6008 untuk mengamati arus output, $I_{sens} = \frac{V_{sens}}{R_{sens}}$, dipilih $R_{sens} = 0,1\Omega \pm 5\%$ (5W)
- V_x digunakan untuk mengamati tegangan output power amplifier, dengan rumus:

$$V_{out} = \frac{R_2 + R_1}{R_2} \times V_x \dots\dots\dots(3.52)$$

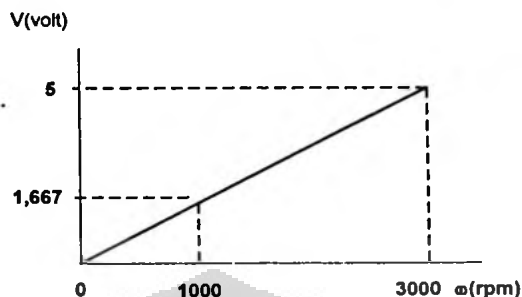
• Menentukan Transistor

Karena arus output (I_{out}) adalah 3A maka dipilih transistor D313 dengan spesifikasi sebagai berikut :

- $I_{c(max)} = 5A$
- $V_{ce} = 60\text{ V}$
- $h_{fe(min)} = 40$

3.4.2. Program Konversi Kecepatan ke Tegangan

Untuk mengkonversi Kecepatan, $\omega = 0 - 3000$ rpm menjadi Tegangan, $V = 0 - 5$ volt diperlihatkan pada Gambar 3-9.



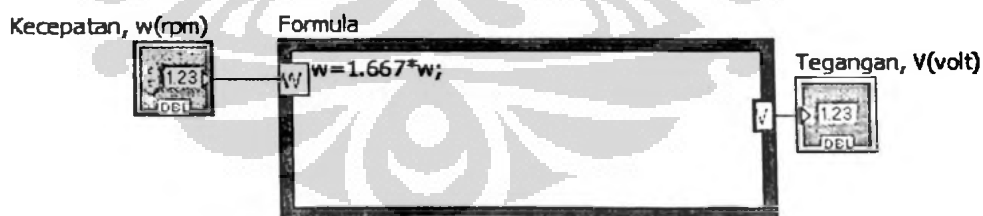
Gambar 3. 16 Karakteristik Transfer Kecepatan Menjadi Tegangan

Berdasarkan Gambar 3. 16, persamaan korelasinya menjadi:

$$V = 1,667 \cdot \omega \text{ (mV); } \omega = 0 - 3000 \text{ rpm.} \dots\dots\dots(3.53)$$

Untuk kecepatan motor, $\omega = 1000$ rpm, maka tegangan output, $V_{PV}=1,667V$.

Realisasi program menggunakan LabVIEW 8.5 diperlihatkan pada Gambar 3.17.



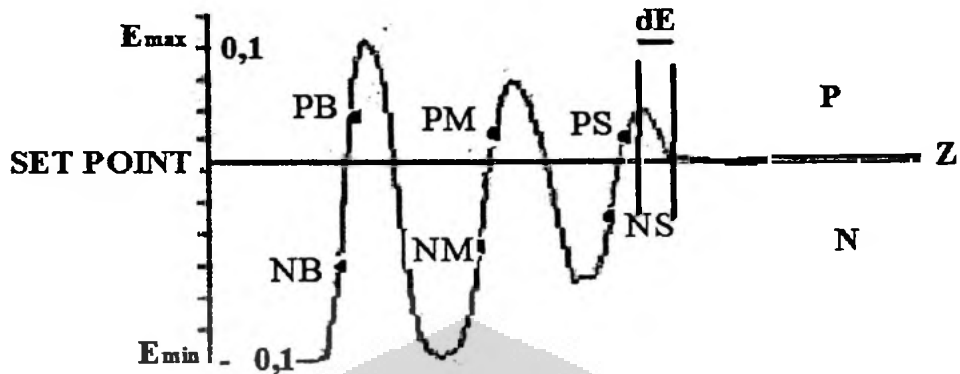
Gambar 3-17 Program Konversi Kecepatan ke Tegangan

3. 5. Kontroler Fuzzy (FLC)

3.5.1. Konversi Perancangan Data Analog ke Data Digital

Awal mula kita berfikir merancang kontrol Fuzzy, memperhatikan Gambar 3.18. Bagian kiri dari dE (baca delta error) belum terkontrol, dE diasumsikan sesaat menjelang terkontrol. Sebelah

kanan dE diasumsikan sudah tercapai rancangan kontrol yang diinginkan, dalam hal ini berhenti (kecepatannya nol).



Gambar 3.18 Tanggapan Sistem Penurunan Kecepatan Saat Awal Pengereman

Keterangan:

NB: Negatif Big	PS: Positif Small
NM: Negatif Medium	PM: Positif Medium
NS: Negatif Small	PB: Positif Big
Z: Zerro (Kecepatan Nol)	

Dari penempatan kondisi sesuai posisi tujuh keanggotan keadaan sebelum stabil, input Error (E) dan dError (dE) dipetakan dalam bentuk aturan Fuzzy seperti pada Tabel 3.2:

Tabel 3.2

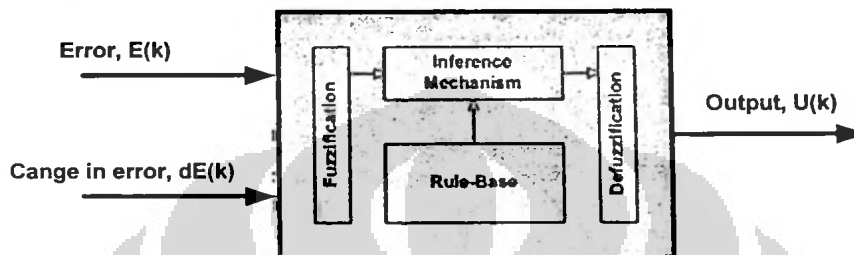
Matriks Aturan Fuzzy dengan Menerapkan Konsep Mac Vicar Whelan

Out, U	Change in Error, dE							
	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB	
Error, E	NB	NB	NB	NB	NB	NM	NS	Z
	NM	NB	NB	NB	NM	NS	Z	PS
	NS	NB	NB	NM	NS	Z	PS	PM
	Z	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
	PS	NM	NS	Z	PS	PM	PB	PB
	PM	NS	Z	PS	PM	PB	PB	PB
	PB	Z	PS	PM	PB	PB	PB	PB

Matrik pemetaan Aturan Fuzzy Error (7) dan dError (7) sangat membantu untuk melihat Output (U), jumlah outputnya $(7 \times 7) = 49$ aturan.

3.5.2. Kontroler Fuzzy

Kontroler Fuzzy dirancang menggunakan konsep Mac Vicar Whelan. Blok diagram FLC (*Fuzzy Logic Controller*) diperlihatkan pada Gambar 3-19. Identifikasi input dan output diperlihatkan pada Tabel 3-2. Pemilihan nilai input Error, E dan change in error, dE dipilih agar pada kondisi steady state ($E = 0$ dan $dE = 0$) jatuh pada nilai output, $U = 0$ (setpoint).



Gambar 3-19 Diagram Blok FLC

Tabel 3-3 Identifikasi parameter kontroler FLC

Variabel	Spesifikasi	Linguistik
Variabel Input:		
Error, e	-0,5 ... +0,5	NB, NM, NS, Z, PS, PM, PB
Change in Error, de	-0.01 ... +0,01	NB, NM, NS, Z, PS, PM, PB
Variabel Output:		
Output, U	-1....+1	NB, NM, NS, Z, PS, PM, PB

- **Fungsi Keanggotaan**

Fungsi keanggotaan pada sistem menggunakan segitiga *full symetris* dengan 7 (tujuh) linguistik agar memperoleh karakteristik transfer yang linier naik dan linier turun.

- **Fuzzyfication**

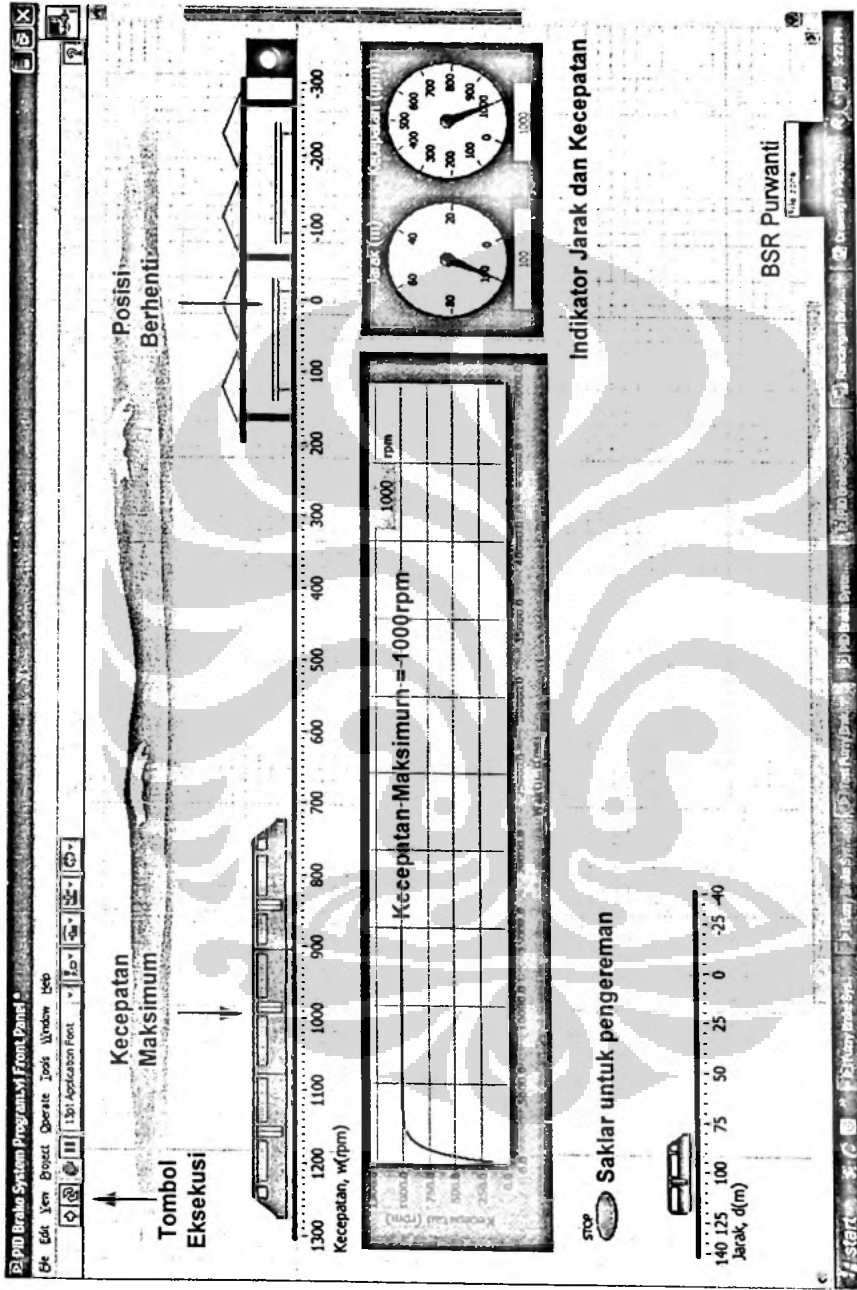
Pada proses ini terdapat 2 variabel input dan satu variabel output yang akan di petakan, yaitu Error (E) dan dError (dE)

- **Defazzyfication**

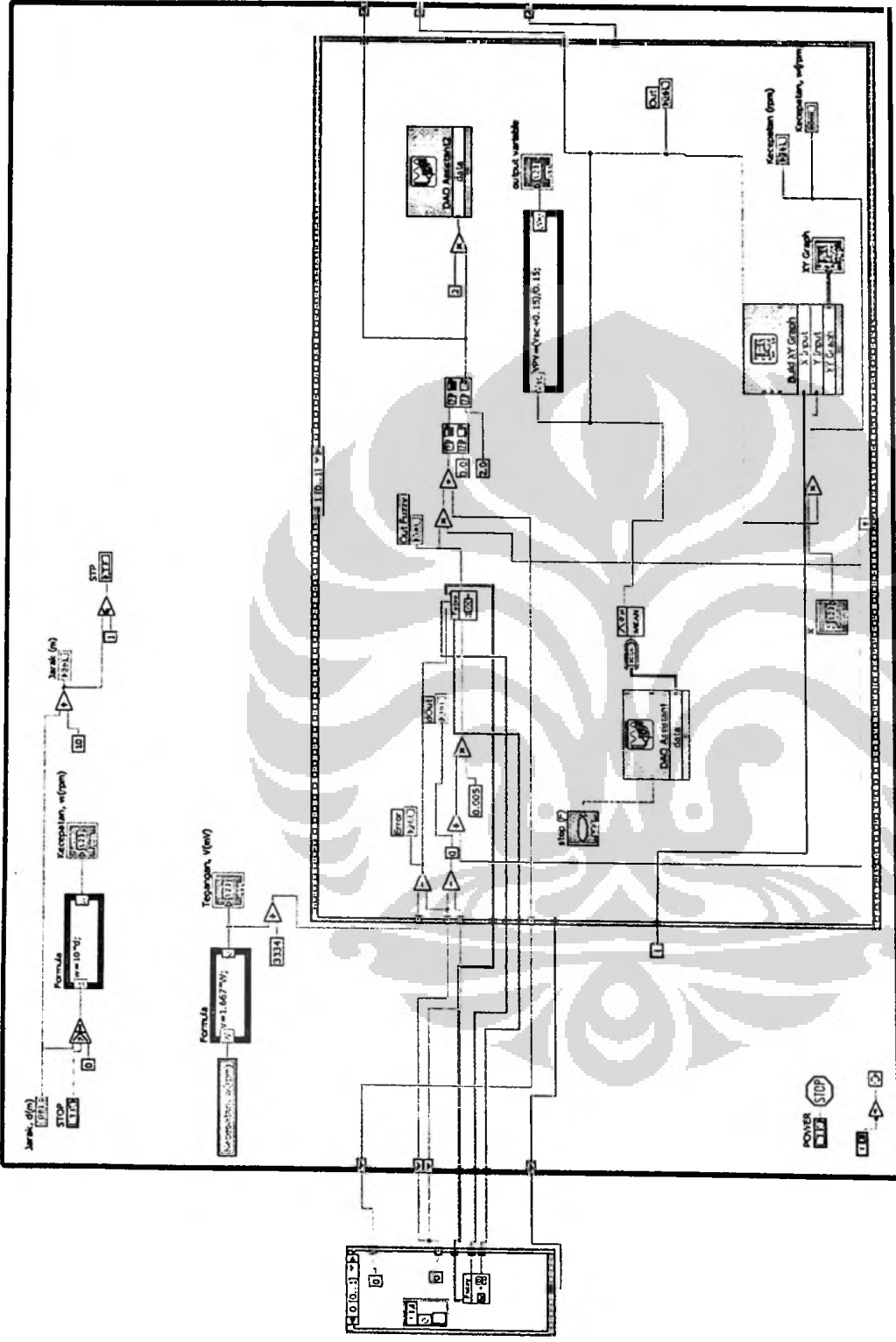
Metode defuzifikasi yang digunakan adalah *Center Of Gravity (COG)*.

3. 6. Perancangan Program Aplikasi Sistem

Software yang digunakan untuk membuat program aplikasi sistem adalah LabVIEW 8.5. Hasil rancangan diperlihatkan pada Gambar 3-20 & Gambar 3-21, dengan rancangan panel kontrol dan monitor (Front Panel) diperlihatkan pada Gambar 3-22.



Gambar 3-20 Hasil Rancangan Program Aplikasi Sistem Menggunakan LabVIEW 8.5

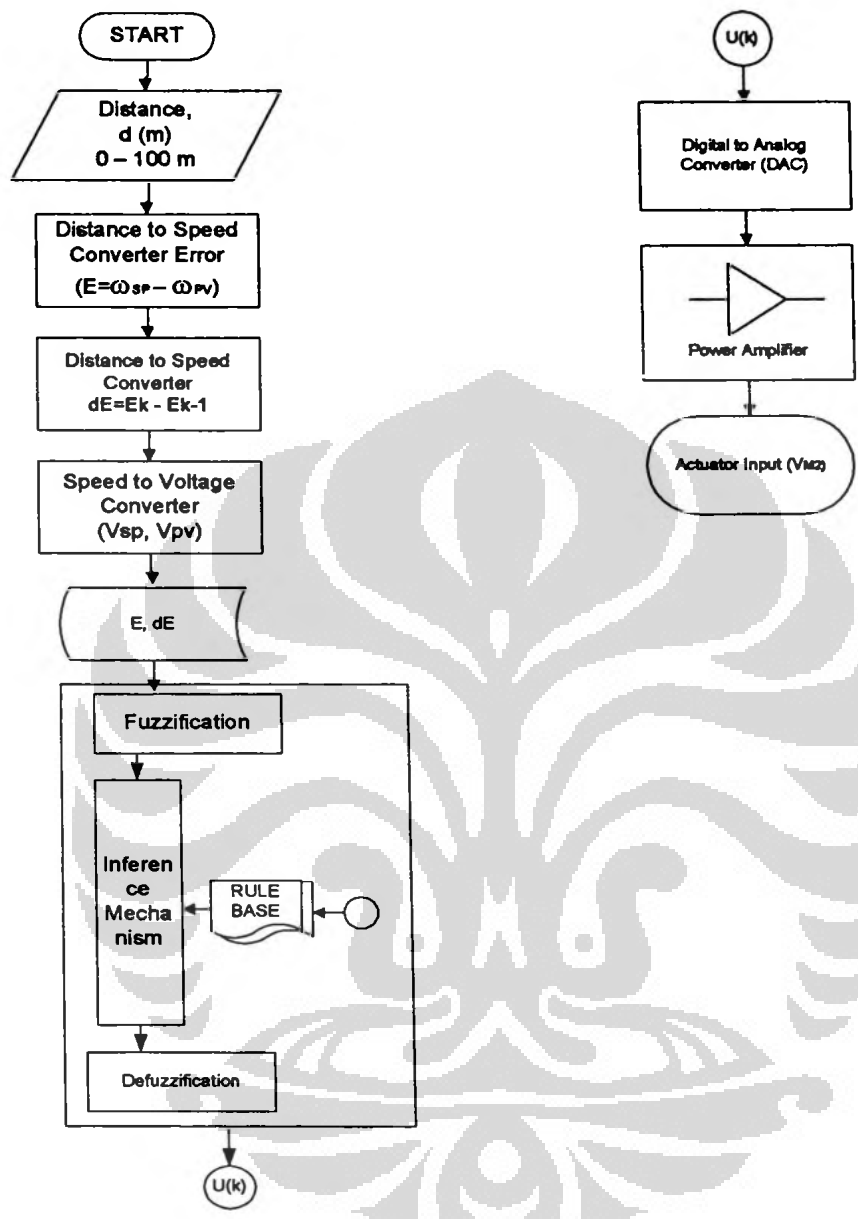


Gambar 3-21 Hasil Rancangan Program Menggunakan Labview 8.5



Gambar 3-22 Visualisasi Sistem

3.7. Flowchart



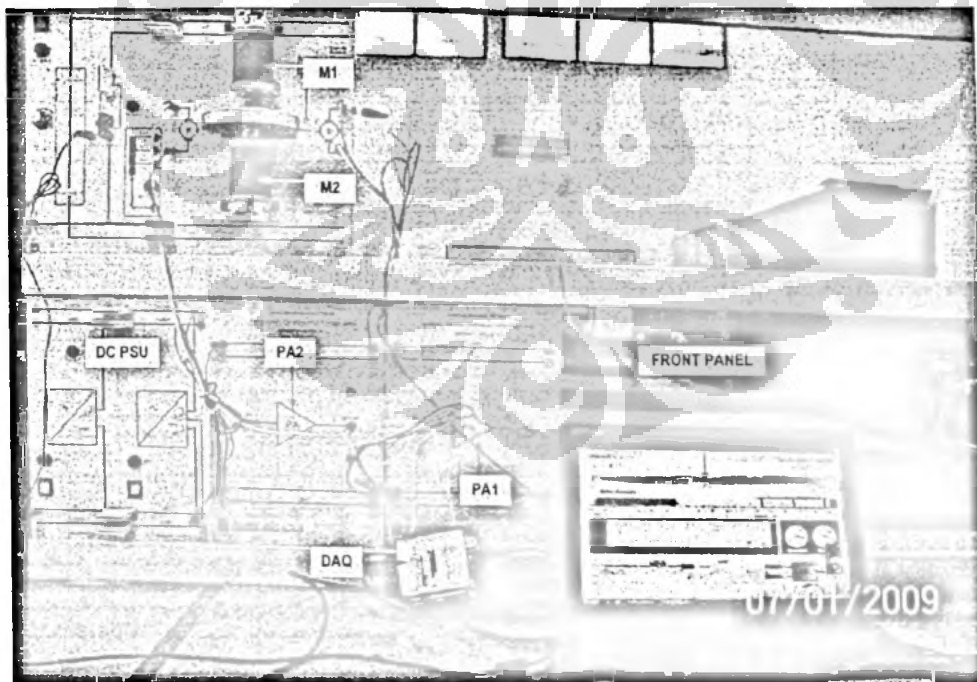
Gambar 3-23 Flowchart

BAB 4 PENGUJIAN DAN ANALISIS DATA

Hasil pengamatan akan melalui pengujian/analisis data. Beberapa pengujian dilakukan melalui pengukuran, analisis data maupun studi kasus. Realisasi/pengujian system, dilaksanakan di Laboratorium Instrumentasi dan Kontrol, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta, yaitu tempat peneliti melakukan aktifitas sehari-hari sebagai pengajar tetap. Waktu penelitian dilaksanakan selama 3 (tiga) bulan, Oktober-Desember 2008.

4.1. Realisasi Sistem

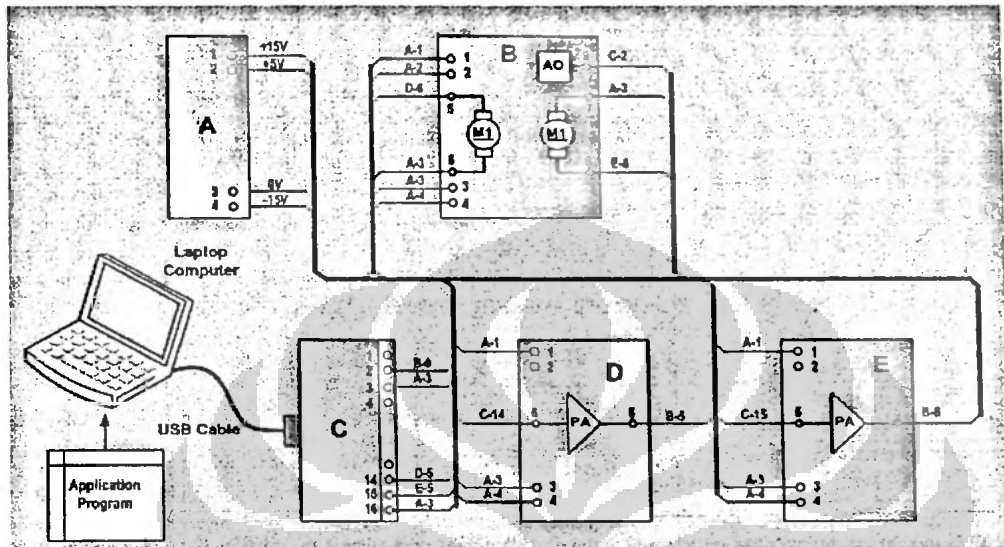
Realisasi sistem terdiri dari Hardware dan Software Aplikasi. Konfigurasi hardware sistem direalisasi dengan memanfaatkan peralatan Laboratorium Instrumentasi dan Kontrol, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta, seperti diperlihatkan pada Gambar 4.1. Sedangkan instalasi pengawatan sistem diperlihatkan pada Gambar 4.1a.



Gambar 4.1 Konfigurasi Hardware Sistem

Keterangan gambar 4.1:

- | | | | |
|----|-------------------|--------|--------------------|
| M1 | : Motor 1 | DAQ | : Data Acquisition |
| M2 | : Motor 2 | DC PSU | : DC Power Supply |
| PA | : Power Amplifier | | |



Gambar 4. 1a Instalasi Pengawatan Sistem

Keterangan Gambar 4. 1.a:

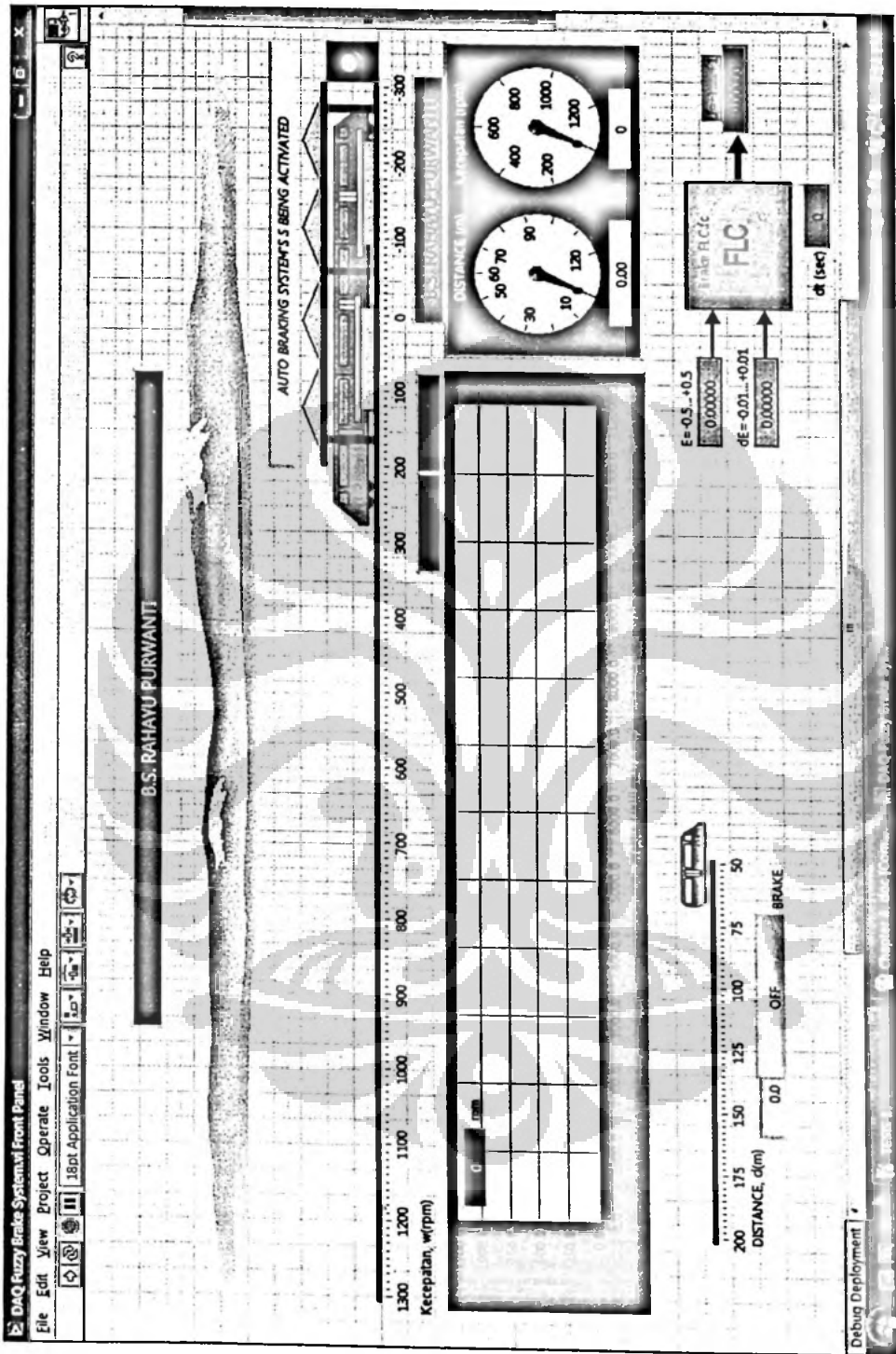
- | | | | |
|---|-------------------------|---|-------------------|
| A | : DC PSU | D | : Power Amplifier |
| B | : Modul motor M1 dan M2 | E | : Power Amplifier |
| C | : DAQ 6008 USB | | |

Realisasi software menggunakan *LabVIEW8.5 Measurement and Automation Software* produk National Instruments dengan teknik pemrograman grafis. Software terdiri dari dua bagian, yaitu Front Panel dan Block Diagram (Program aplikasi sistem).

a. Front Panel

Front panel digunakan sebagai perantara operator dengan mesin, semua aktifitas pemantauan dan pengendalian oleh operator dilakukan melalui panel ini.

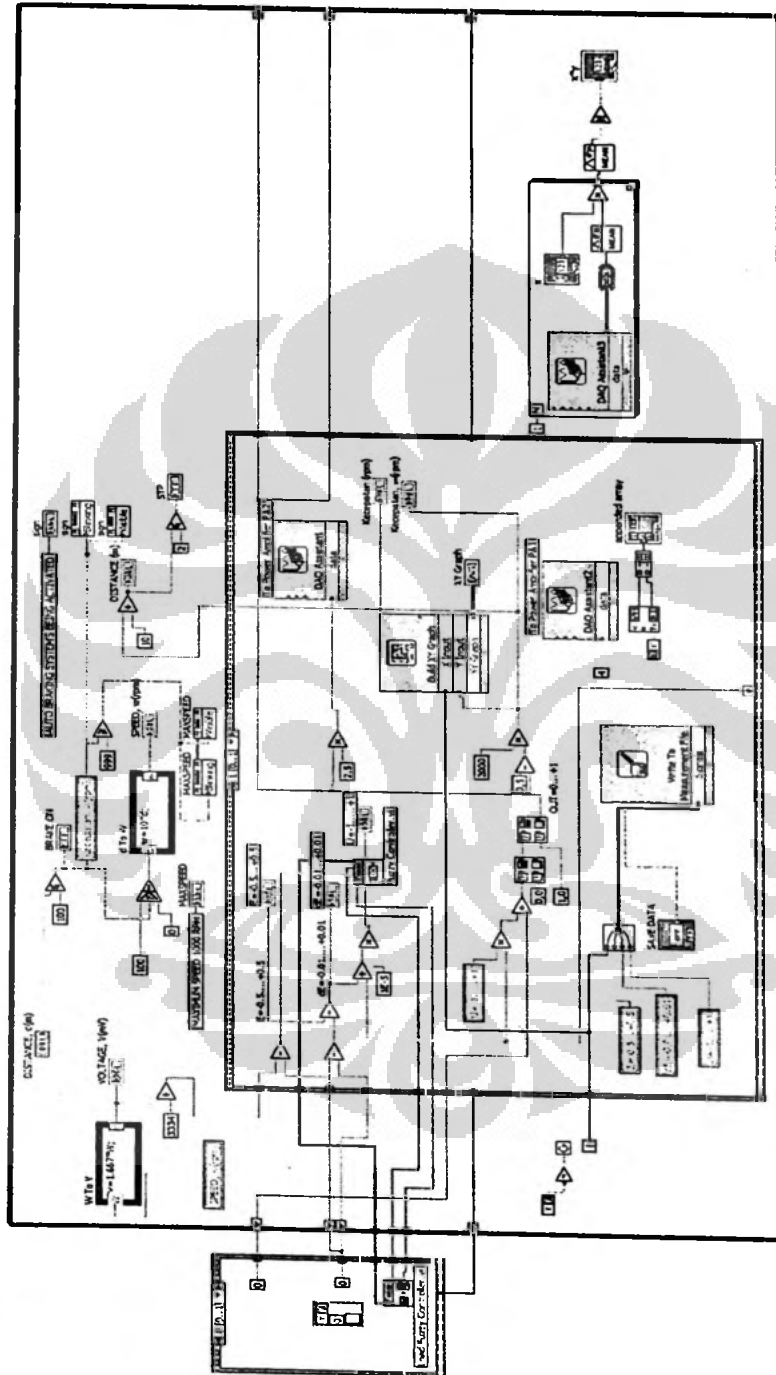
Teknik pembuatan Front Panel selain menggunakan LabVIEW8.5, juga menggunakan beberapa software pendukung antara lain ACD See Photo Canvas dan Visio Drawing. Hasil realisasi Front Panel diperlihatkan pada gambar 4. 3.



Gambar 4. 3 Bentuk Tampilan Front Panel pada Layar Monitor Komputer

b. Blok Diagram pada Program Aplikasi pada Sistem

Program aplikasi sistem (istilah yang digunakan dalam konsep pemrograman LabVIEW adalah Block Diagram) direalisasi menggunakan LabVIEW 8.5, terdiri dari proses numerik (pengolahan angka), Boolean (operasi on/off) dan string (pengolahan huruf). Hasil rancangan program aplikasi sistem diperlihatkan pada Gambar 4-4.

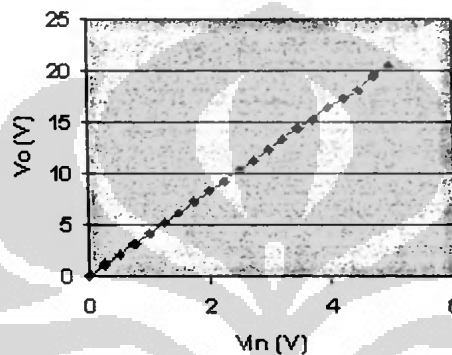


Gambar 4. 4 Program Aplikasi Sistem

4.2. Pengujian Sistem

Pengujian sistem dibagi menjadi tiga bagian, yaitu pengujian hardware, software dan pengujian performa sistem. Data hasil pengujian hardware Power Amplifier (PA) diperlihatkan pada Gambar 4.5a. Data hasil pengujian software, masing-masing diperlihatkan pada Tabel 4.1 untuk sub program konversi Jarak ke Kecepatan/Tegangan dan tabel 4.3 untuk sub program Fuzzy Logic Controller.

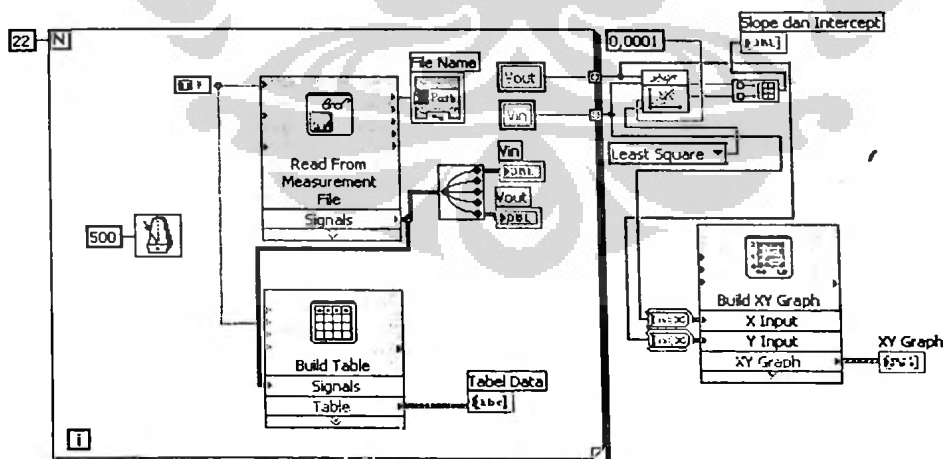
Pengukuran Power Amplifier



Gambar 4.5a. Data Hasil Pengukuran Power Amplifier (PA)

Data hasil pengukuran tegangan pada Amplifier menunjukkan bahwa hubungan linier input dan output dengan persamaan:

$$V_i = 0,0025887 + 4,08716883116883.V_o$$



Gambar 4.5. Program Analisis Hasil

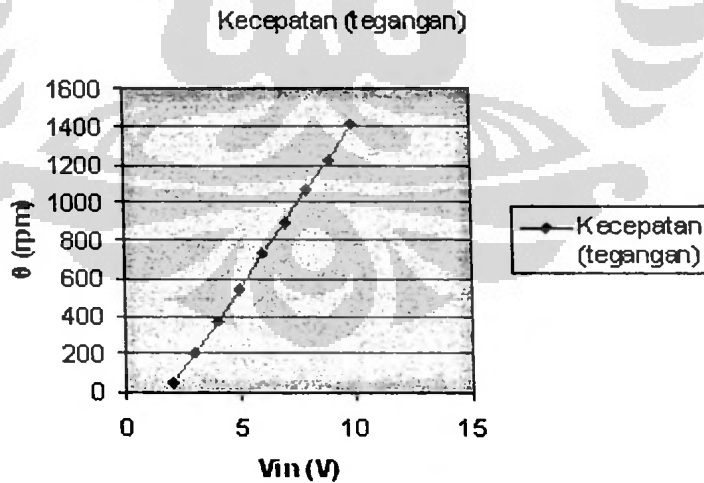
4.2.1. Deskripsi Pengujian Driver

Data hasil pengukuran [$V_{m1} = V_{m2} = V_m$ (Volt), θ (rpm)] motor DC diperlihatkan pada Tabel 4-1.

Tabel 4.1 Data Hasil Pengukuran Motor DC

V_m (Volt)	θ (rpm)
2.0	45.9
3.0	206.3
4.0	368.2
5.0	543.6
6.0	729.6
7.0	891.7
8.0	1068
9.0	1226.4
10.0	1413.3

Karakteristik transfer diperlihatkan Gambar 3.13. Fungsi transfer diperlihatkan pada persamaan (4.1), diperoleh menggunakan cara regresi linier sesuai persamaan (2.17), (2.18) dan (2.20). Perlu diperhatikan bahwa $y = \theta$ (rpm) dan $x = V_m$ (volt)



Gambar 4.6 Karakteristik motor DC M1 dan M2

$$\theta = 171,293 V_m - 306,316 \text{ rpm} ; V_m = 2 \dots 10V \dots \dots \dots (4.1)$$

Jika kecepatan motor konstan sebesar 1000 rpm, dapat ditentukan V_m dengan menggunakan persamaan (4.1):

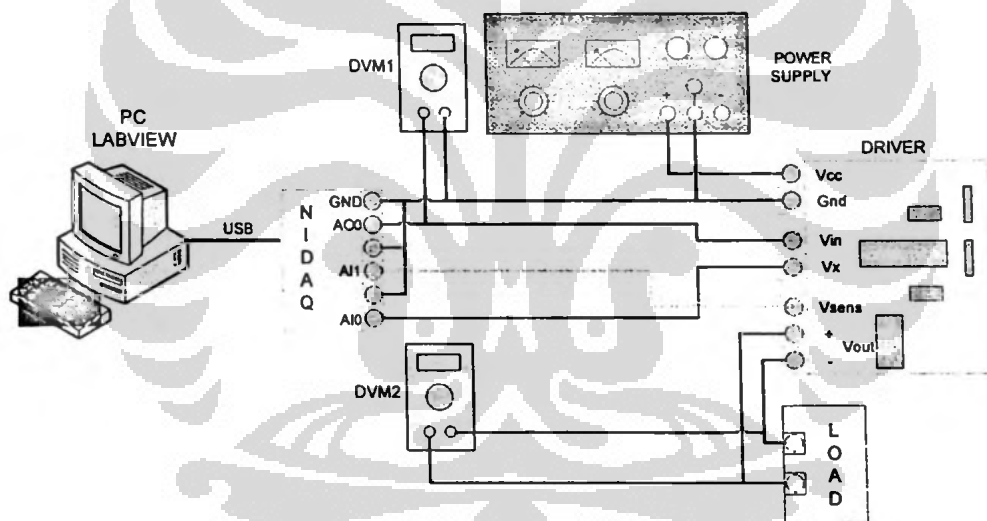
$$1000 \text{ rpm} = 171,293 V_m - 306,316 \text{ rpm} \text{ atau}$$

$$V_m = \frac{1000 + 306,316}{171,293} \text{ rpm} = 7,626208$$

Untuk kecepatan motor sebesar 1000 rpm dibutuhkan tegangan eksitasi motor sebesar 7,63V.

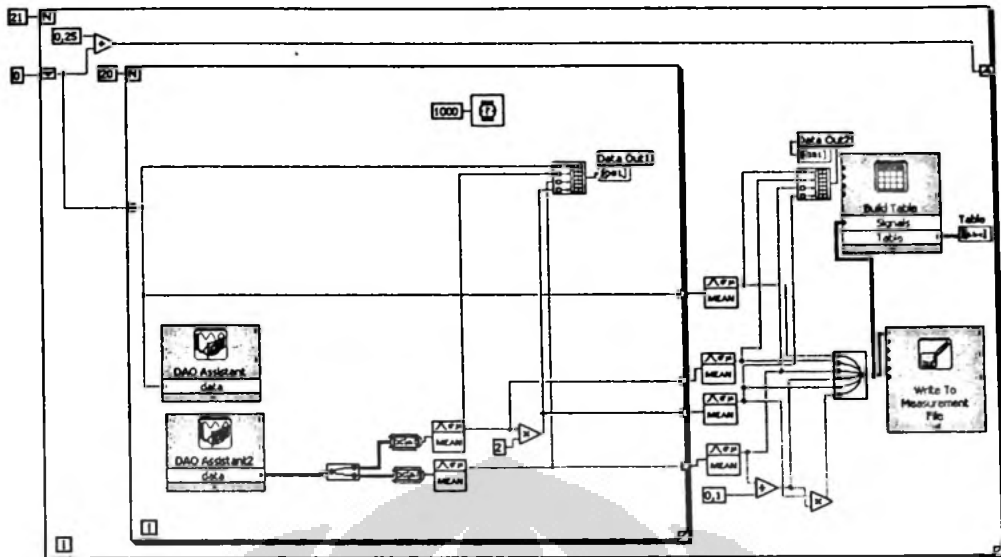
4.2.2. Prosedure Pengujian Driver

a. Konfigurasi Pengujian Driver



Gambar 4.6a. Konfigurasi Hardware Pengujian Driver

Untuk pengujian driver dibantu dengan program *LabVIEW V 8. 5*, program terlihat seperti pada Gambar 4.6a.



Gambar 4.7. Konfigurasi Software Pengujian Driver

b. Daftar Peralatan pengujian

Tabel 4.2 Daftar Peralatan Pengujian Driver

Alat Dan Bahan	Merk / Tipe	Jumlah
Power supply Dual Track	Kikusui Elektronik/xxx	1
Multimeter digital	Fluke/78 III	2
Motor-Generator	Leybold/xxxx	1
Data aquisition (DAQ)	National Instrument/NI DAQ6008	1
Komputer (PC)	ACER	1

c. Prosedur Pengujian

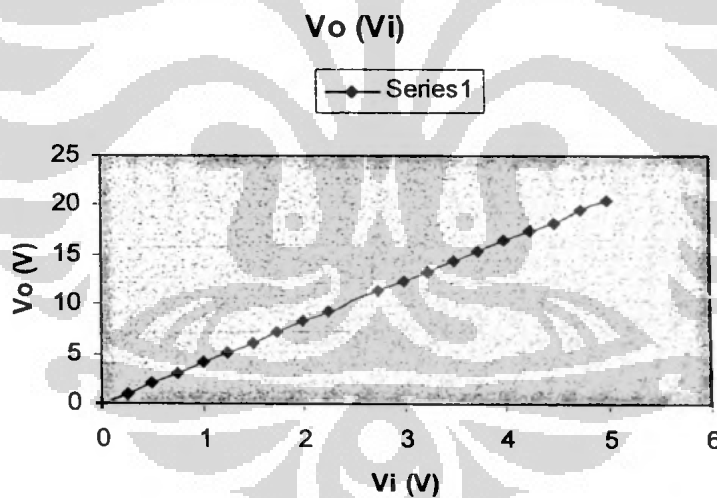
Langkah – langkah pengujian adalah sebagai berikut :

- Mempersiapkan peralatan yang digunakan seperti pada daftar peralatan yang ada pada Tabel 4.1.
- Menyusun peralatan yang ada,sesuai dengan konfigurasi yang ada pada Gambar 4.1.
- Menghidupkan Power supply dan mengatur tegangan supply (Vcc) untuk driver sebesar 15Volt.
- Mempersiapkan komputer yang berisi program LabView dan NIDAQ.

- Menghubungkan NIDAQ ke komputer menggunakan kabel USB/RS 232.
- Menjalankan software yang telah dibuat untuk menjalankan driver secara otomatis.
- Melakukan pengukuran terhadap V_{in} (DVM1) dan V_{out} (DVM2) pada driver, kemudian membandingkan dengan hasil pada software LabVIEW.
- Melakukan pengukuran untuk setiap penambahan tegangan input sebesar 0.25V. Pengukuran dilakukan hingga tegangan input (V_{in}) sebesar 5 volt.

4.2.3. Data Hasil Pengujian Driver

Setelah pembuatan program regresi linier selesai, aktifkan front panel untuk melihat data hubungan V_i (V) dan V_o (V). Akan terlihat kurva linier seperti pada Gambar 4.8

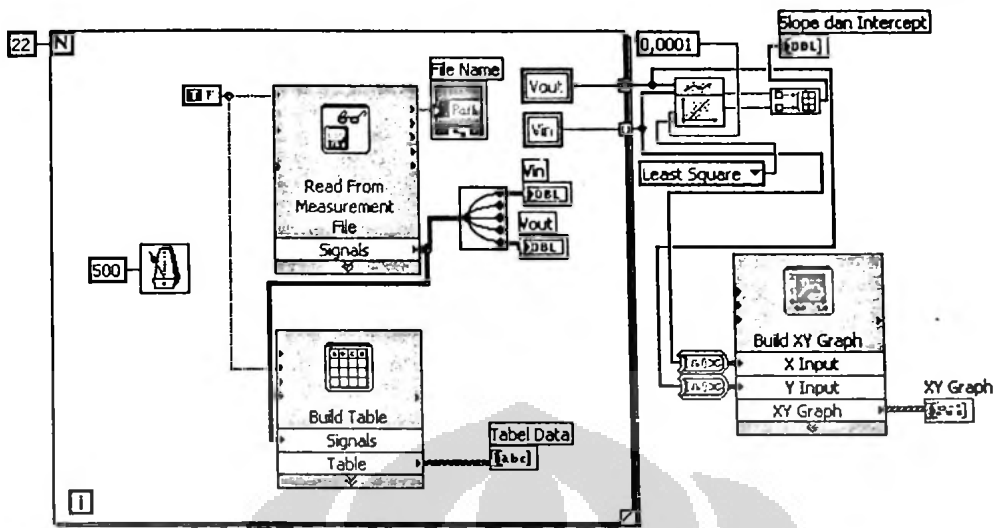


Tabel 4.8. Data Hasil Pengujian Driver

4.2.4. Analisa Data Hasil Pengujian

Jika menggunakan program LabVIEW didapat hubungan antara y dan x (y sebagai fungsi linier x). Dengan x sebagai input (0-5V) dan y sebagai

output.

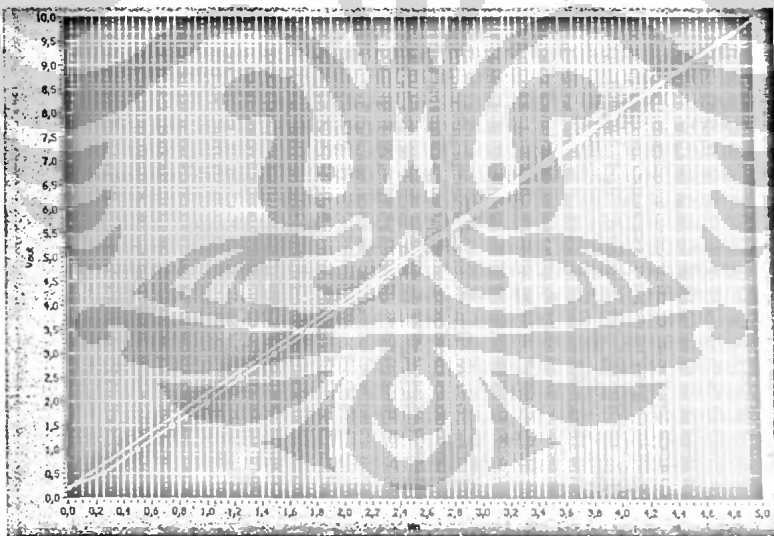


Gambar 4.8a. Konfigurasi Analisa Hasil

Dengan program diatas maka didapat hasil

$$y = 1,98x + 0,03 \tag{4.2}$$

Dengan grafik seperti pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Grafik Hasil Pengujian Driver Menggunakan Labview

4. 3. Pengujian Hardware pada Sistem
4.3. 1 Deskripsi Pengujian Sistem
a. Tujuan Pengujian

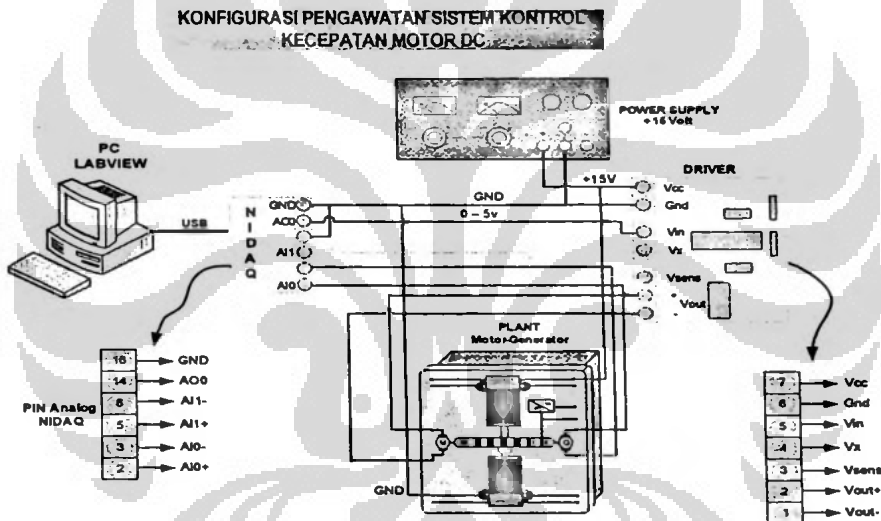
- Untuk mendapatkan data-data yang diperlukan yang kemudian dianalisis, agar kinerja dan spesifikasi sistem setelah direalisasikan dapat diketahui
- Jika terjadi penyimpangan pada parameter-parameter yang telah diisyaratkan, dapat dapat dijadikan masukan untuk dilakukannya perbaikan.

b. Target Pengujian Sistem

Mengetahui berapa penurunan kecepatan dan waktu yang diperlukan untuk berhenti menggunakan controller Fuzzy.

4.3.2 Prosedur Pengujian Sistem

a. Konfigurasi Pengujian System



Gambar 4.9a. Konfigurasi Hardware Pengujian Sistem

b. Daftar Peralatan Pengujian

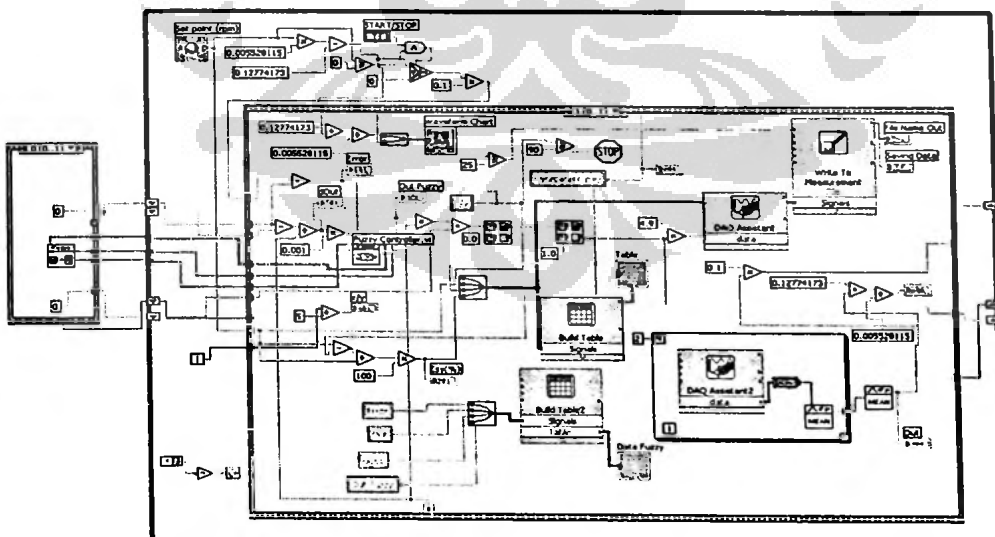
Tabel 4.2 Daftar Peralatan Pengujian Sistem

No	Alat Dan Bahan	Merk	Jumlah
1.	Power supply Dual Track	Kikusui Elektronik	1
2.	Multimeter digital	Fluke/78 III	2
3.	Motor-Generator	Leybold	1
4.	Data aquisition (DAQ)	National Instrument	1
5.	Komputer (PC)	ACER	1

c. Prosedur Pengujian

- Mempersiapkan peralatan yang digunakan seperti pada daftar peralatan yang ada pada tabel 4.2.
- Menyusun peralatan yang ada,sesuai dengan konfigurasi yang ada pada Gambar 4.9a.
- Menghidupkan Power supply dan mengatur tegangan supply (Vcc) untuk driver sebesar 15Volt.
- Mempersiapkan komputer yang berisi program *LabView* dan *NIDAQ*.
- Menghubungkan NIDAQ ke komputer menggunakan kabel USB.

4.3.3 Pengujian Software pada Sistem



Gambar 4.10 Konfigurasi Software Pengujian Sistem Kontroler Fuzzy

- Membuat program LabView untuk reduksi kecepatan
- Menjalankan software yang telah dibuat untuk menjalankan sistem.
- Mengatur Set point pada program LabVIEW pada kecepatan 1000 rpm sebagai sample.
- Menguji system input, konversi jarak ke kecepatan putar motor, kecepatan putar motor ke tegangan
- Menguji system output, konversi tegangan ke kecepatan putar motor, sehingga diperoleh data waktu tempuh untuk kecepatan 1000 rpm dengan jarak 100 m

4.3.4 Hasil Simulasi Kontroler Fuzzy Logic dengan Matlab

Penggunaan Kontrol Fuzzy pada Matlab diperlukan tahapan agar output yang dikehendaki sesuai dengan input dan sesuai dengan tujuan pemrograman.

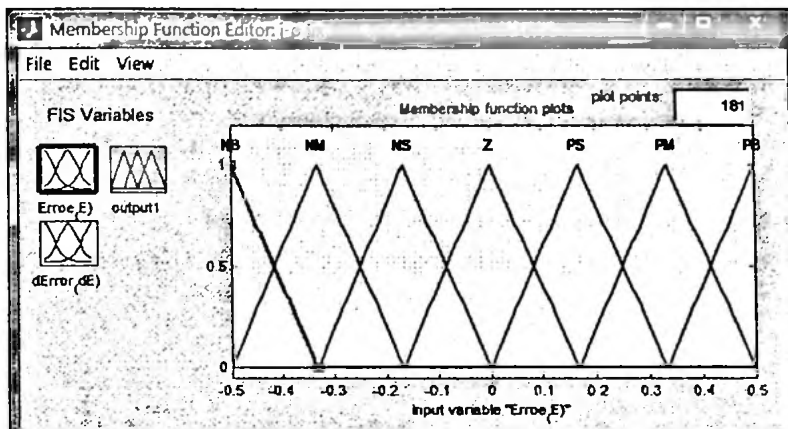
a Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan pada sistem menggunakan segitiga *full symetris* yaitu NB, NM, NS, Z, PS, PM, PB. Agar memperoleh karakteristik transfer yang linier naik dan linier turun digunakan 7 (tujuh) linguistik.

b Fuzzyfication

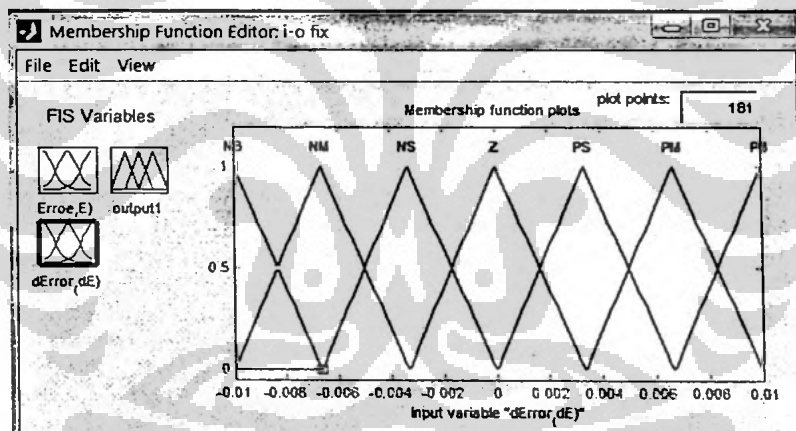
Pada proses ini terdapat 2 (dua) variabel input dan satu variabel output yang akan di petakan, yaitu:

- Variabel input Error (E)
Nilai numerik input proses variabel diset -0,5 sampai +0,5.
Maka, Nilai variabel input Error, E adalah $\pm 0,5$.



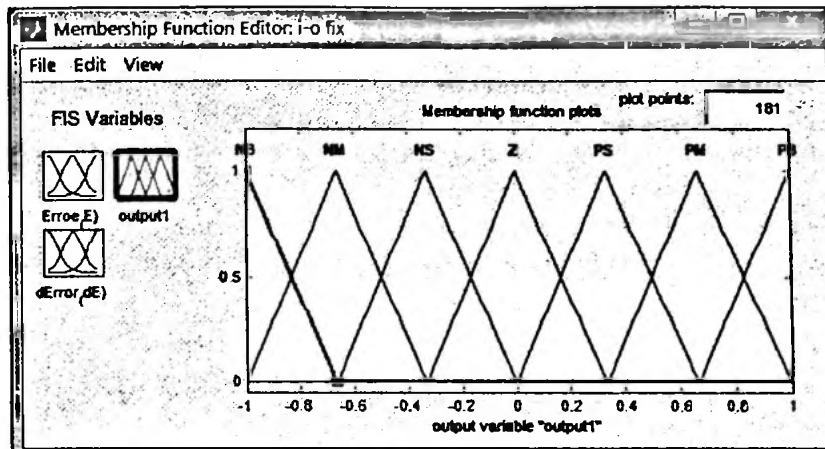
Gambar 4.11a Fungsi Keanggotaan Variabel Input Error (E)

- Variabel input Change in Error (dE)
 Dengan mempertimbangkan agar diperoleh tracking yang halus, maka nilai variabel input change in error, dE diset pada nilai $\pm 0,01$.



Gambar 4.11b. Fungsi Keanggotaan Variabel Input Change in Error (dE)

- Variabel Output (U)
 Setpoint output FLC ditentukan pada nilai $U = 0$, yaitu pada saat $E = 0$ dan $dE = 0$. Variasi nilai output, $U_{(\min)} = -1$ dan $U_{(\max)} = 1$.



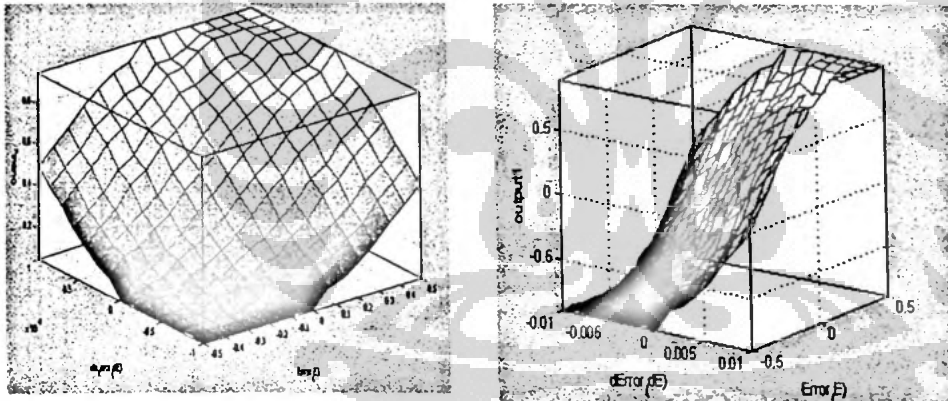
Gambar 4.11c Fungsi Keanggotaan Variabel Output (U)

c Defuzzification

Mengacu pada Tabel 2.1, metode defuzifikasi yang digunakan adalah *Center Of Gravity* (COG). Analisis yang dilakukan untuk sampel uji dengan nilai outputnya tertentu dapat ditentukan fungsi keanggotaan dan nilai $E = 0$, $dE = 0$

4.3.5 Rule-rule Menggunakan Matlab

a. Tampilan Permukaan Hasil Pengereman dengan Matlab

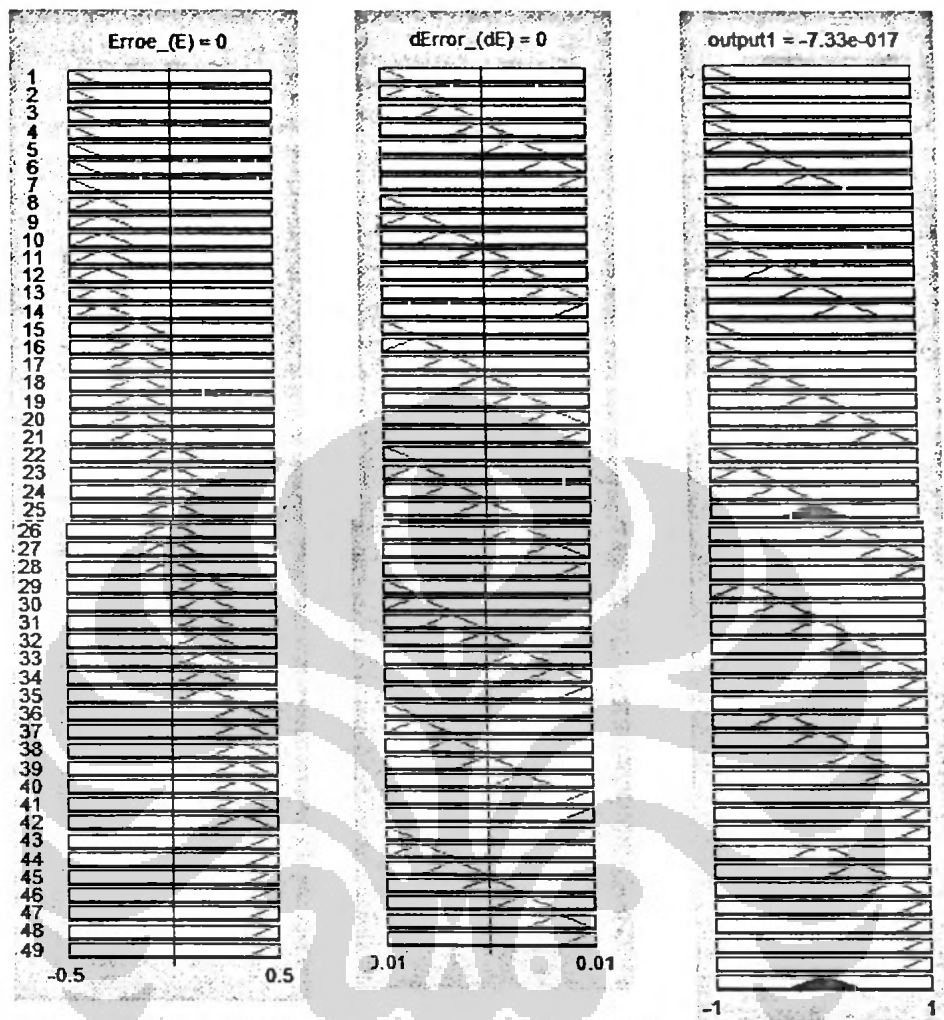


Gambar 4.11d. Tampak Permukaan Pengereman (3D)

Bentuk luaran dari korelasi input yang terdiri dari Error (E), dError (dE), dan output U jika diperhatikan dari permukaan (3D) dapat dilihat pada Gambar (4.11).

Universitas Indonesia

b. Implikasi Rule-rule Fuzzy pada Matlab



Gambar 4.11e. Implikasi untuk E , dE dan Output U

Dari gambar 4.12 terlihat bahawa untuk Error (E) = 0, dError (dE) = 0 , dan output U = 0 terjadi pada rule yang sama, yaitu rule ke 25. Hal ini sesuai dengan rule keanggotaan Fuzzy pada Tabel 4.1.

c. Rule Fuzzy pada Manual

Tabel 4.3 Aturan Fuzzy berdasarkan Tabel 4.4

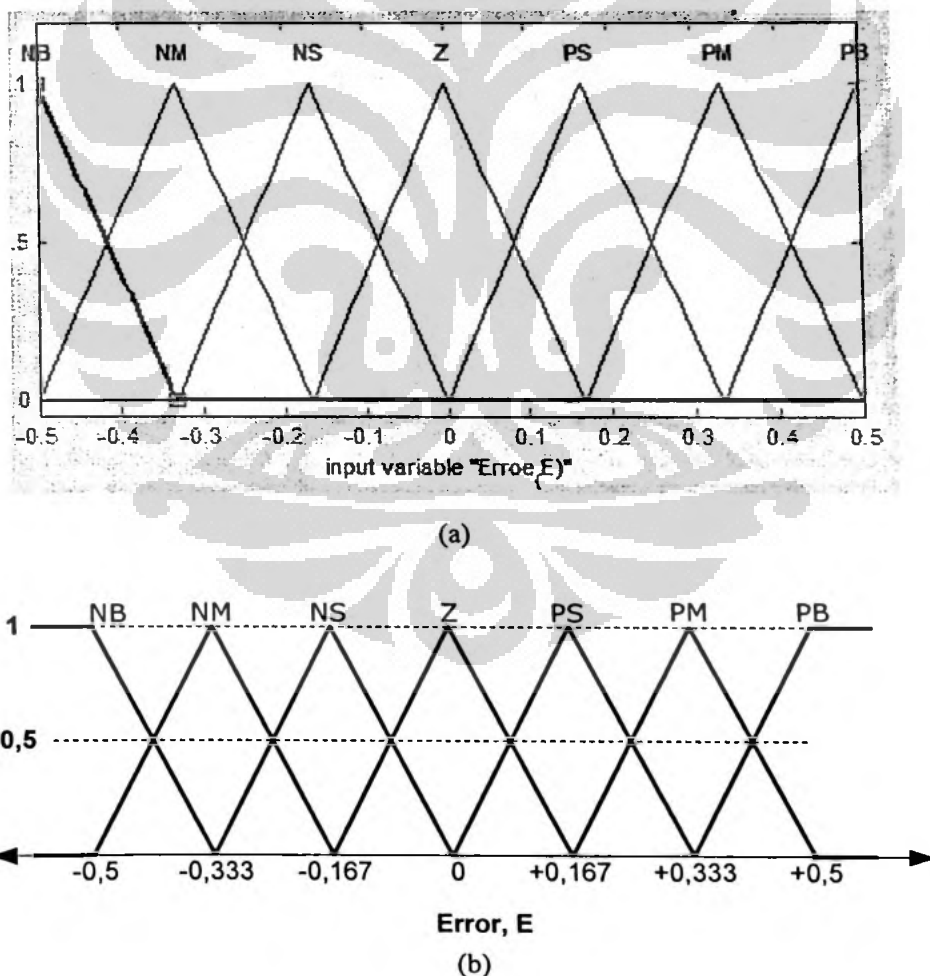
n	IF	Error, E is	AND	Change in Error, De Is	THEN	Out, U is
1		NB		NB		NB
2		NB		NM		NB
3		NB		NS		NB
4		NB		Z		NB
5		NB		PS		NM
6		NB		PM		NS
7		NB		PB		Z
8		NM		NB		NB
9		NM		NM		NB
10		NM		NS		NB
11		NM		Z		NM
12		NM		PS		NS
13		NM		PM		Z
14		NM		PB		PS
15		NS		NB		NB
16		NS		NM		NB
17		NS		NS		NM
18		NS		Z		NS
19		NS		PS		Z
20		NS		PM		PS
21		NS		PB		PM
22		Z		NB		NB
23		Z		NM		NM
24		Z		NS		NS
25		Z		Z		Z
26		Z		PS		PS
27		Z		PM		PM
28		Z		PB		PB
29		PS		NB		NM
30		PS		NM		NS
31		PS		NS		Z
32		PS		Z		PS
33		PS		PS		PM
34		PS		PM		PB
35		PS		PB		PB
36		PM		NB		NS
37		PM		NM		Z
38		PM		NS		PS
39		PM		Z		PM
40		PM		PS		PB
41		PM		PM		PB
42		PM		PB		PB
43		PB		NB		Z
44		PB		NM		PS
45		PB		NS		PM
46		PB		Z		PB
47		PB		PS		PB
48		PB		PM		PB
49		PB		PB		PB

4.4. Hasil Pengujian Simulasi Menggunakan LabView V 8.5

Pengujian Simulasi variable input Error, dError dan Output Simulasi ditampilkan menggunakan Matlab dan LabVIEW. Kedua Program mempunyai tampilan yang berbeda tetapi nilai variable input Error, dError dan Output sama. Kesamaan nilai simulasi kedua program menunjukkan bahwa simulasi (Matlab) dan rencana realisasi (LabVIEW) sudah terjadi keselarasan sehingga realisasi control reduksi kecepatan layak dilaksanakan.

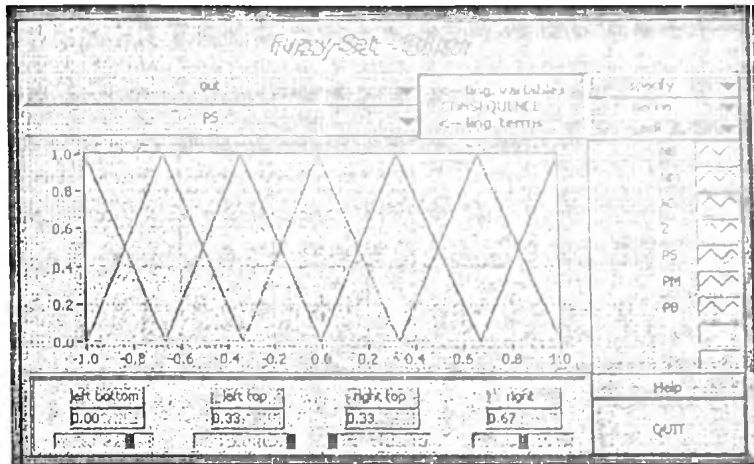
4.4.1 Variabel input Error (E)

Nilai numerik input proses variabel pada program LabVIEW diset -0,5 sampai +0,5. Maka, nilai variabel input Error, E adalah $\pm 0,5$ seperti diperlihatkan pada Gambar 4-12 dan 4-13.



Gambar 4-12 Fungsi Keanggotaan Variabel Input Error (E)

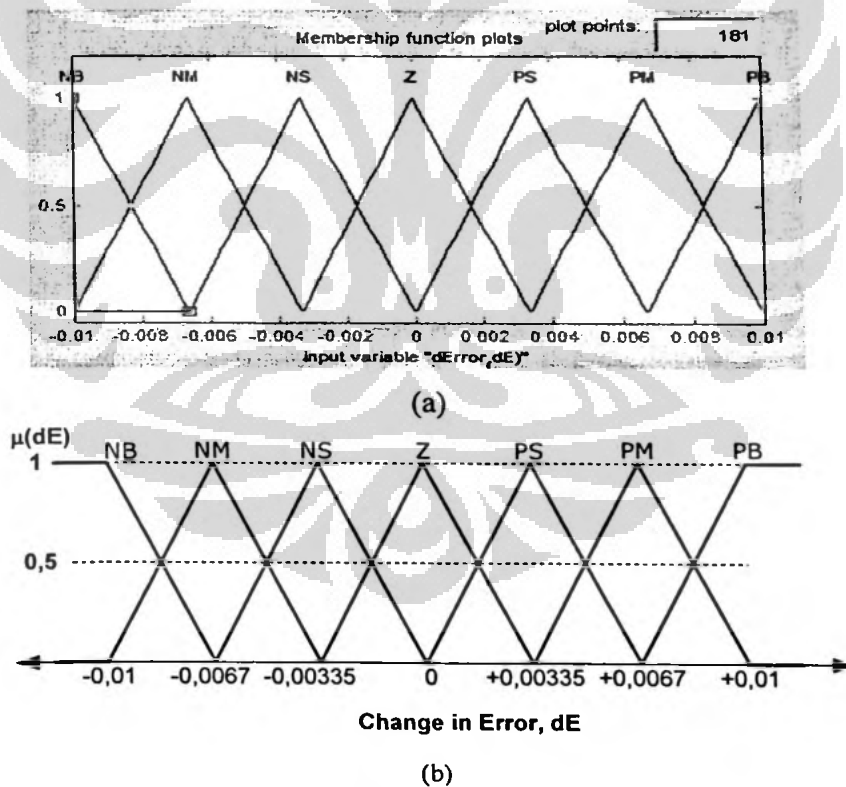
(a) dengan Matlab dipertegas titik-titiknya (b), duplikasi dengan Visio



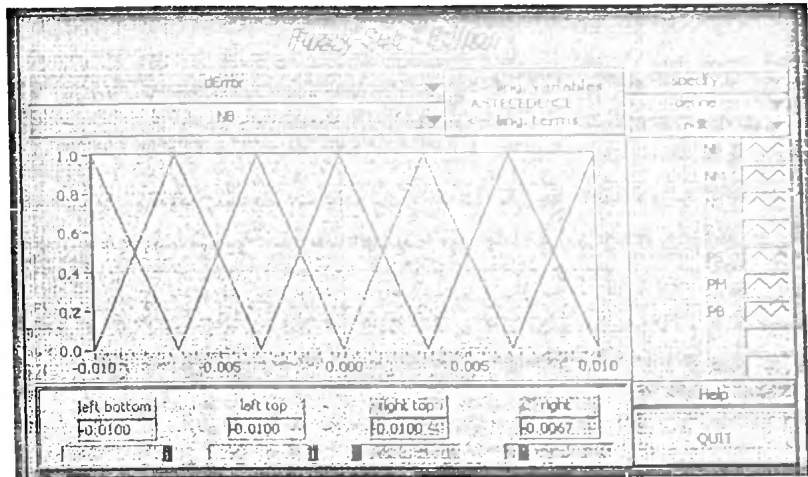
Gambar 4-13 Setup Variabel Input Error (E) dengan LabVIEW V8. 5

4.5.2. Variabel input Change in Error (dE)

Dengan mempertimbangkan agar diperoleh tracking yang halus, maka nilai variabel input change in error, dE diset pada nilai $\pm 0,01$ seperti diperlihatkan pada gambar 4.14 dan 4.15.



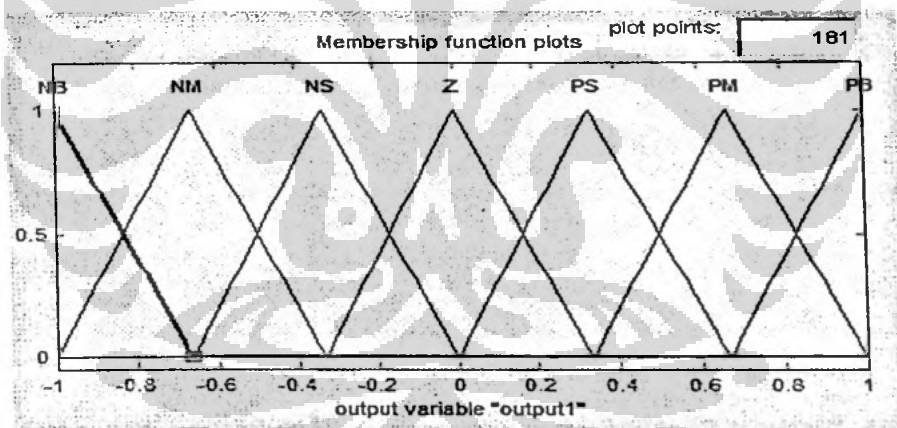
Gambar 4-14 Fungsi keanggotaan variabel input Change in Error (dE) (a) dengan Matlab dipertegas titik-titiknya (b), duplikasi dengan Visio



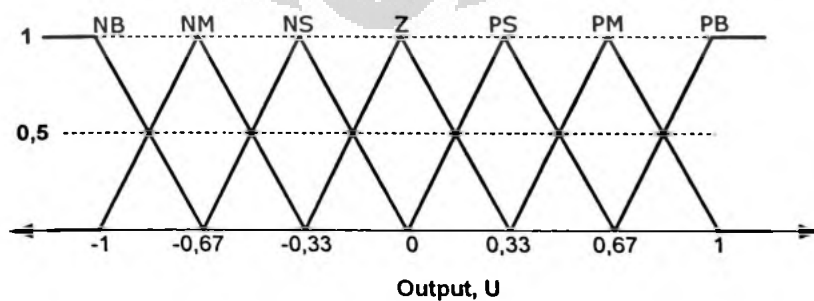
Gambar 4-15 Setup variabel input dE dengan LabVIEW V8.5

4.5.3. Variabel Output (U)

Setpoint output FLC ditentukan pada nilai $U = 0$, yaitu pada saat $E = 0$ dan $dE = 0$. Variasi nilai output, $U_{(\min)} = -1$ dan $U_{(\max)} = 1$, seperti diperlihatkan pada Gambar 4.16 dan 4.17.



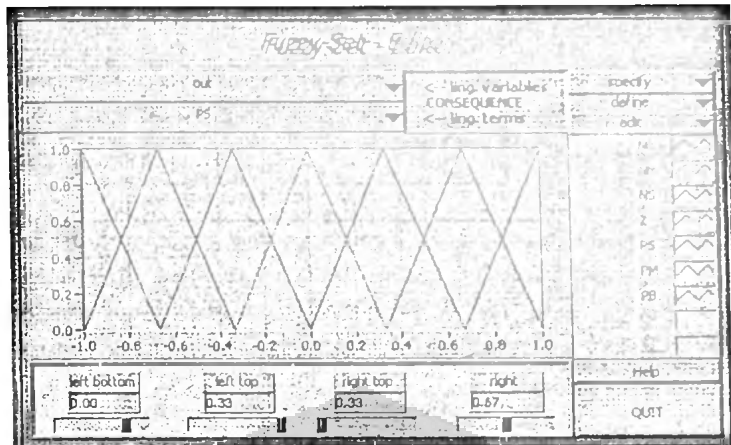
(a)



(b)

Gambar 4.16 Fungsi keanggotaan variabel Output (U)

(a) dengan Matlab dipertegas titik-titiknya (b), duplikasi dengan Visio

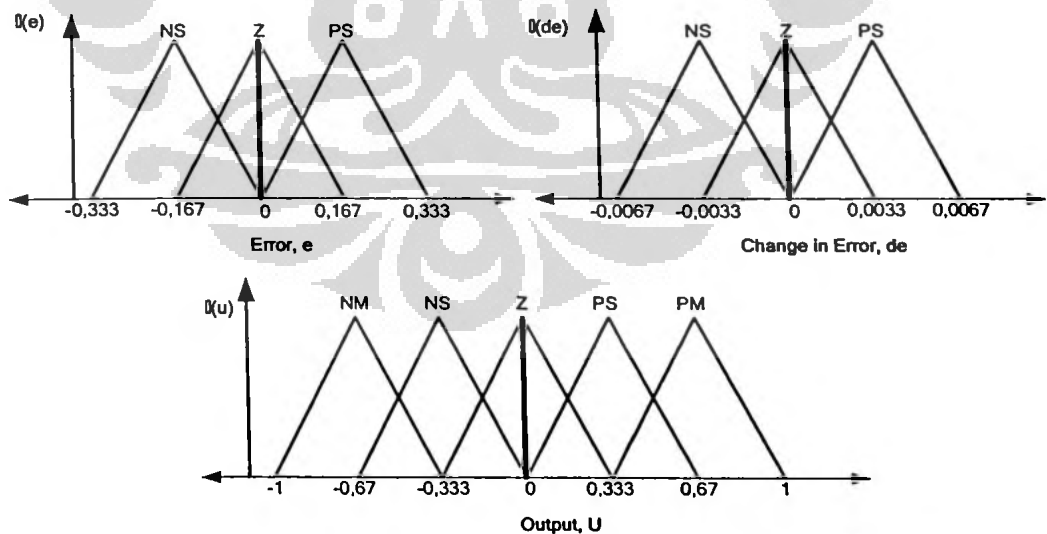


Gambar 4.17 Setup Variabel Output (U) dengan LabVIEW V8. 5

4.6. Studi Kasus

Studi kasus dilakukan untuk melihat kesamaan/perbedaan hasil perhitungan secara teori dengan hasil perhitungan program pada Matlab/LabVIEW.

4.6.1 Kasus 1, Error (E) dan dError (dE) berada tepat di puncak klasifikasi fungsi keanggotaan



Gambar 4.18 Implikasi untuk $E=0$ dan $dE=0$

Mengacu pada Gambar 4.18, terdapat 9 aturan (17, 18, 19, 24, 25, 26, 31, 32 dan 33) yang terkena implikasi, akan tetapi hanya ada satu

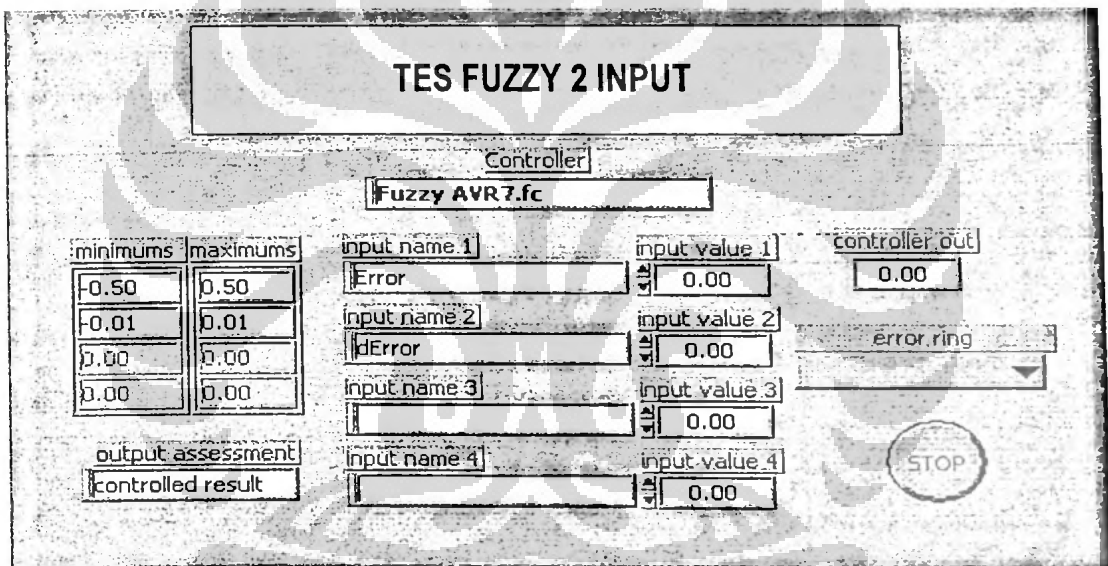
Universitas Indonesia

yang bernilai yaitu aturan no. 25 dari Tabel 4.4 (lainnya nol). Dengan menggunakan metode COG, nilai output adalah:

$$U = \frac{\sum_{j=1}^q u_j \cdot \mu(u_j)}{\sum_{j=1}^q \mu(u_j)}; \text{ untuk } q=9$$

$$= \frac{(0) + (0) + (0) + (0) + (0) + (1)(0) + (0) + (0) + (0) + (0)}{(0) + (0) + (0) + (0) + (1) + (0) + (0) + (0) + (0)} = \frac{0}{1} = 0$$

Hasil yang sama diperoleh dengan menggunakan Test Fuzzy Controller pada LabVIEW V8.5, diperlihatkan pada Gambar 4-19.



Gambar 4.19 Hasil Test Fuzzy Controller pada LabVIEW V8.5

4.6.2 Kaus 2, Error (E) dan dErrors (dE) berada tepat ditengah-tengah klasikasi fungsi keanggotaan

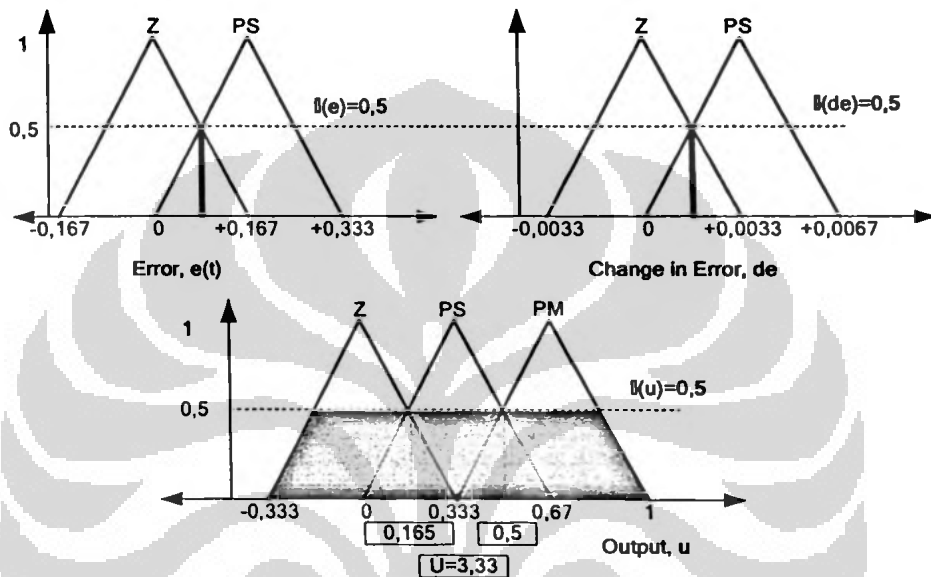
Dengan mengacu pada Gambar 4-20, untuk sampel uji $E=0,0835$ dan $dE=0,00165$ terdapat 4 aturan (25, 26, 32 dan 33) yang terkena implikasi dengan semua nilai $\mu = 0,5$.

Dengan demikian nilai output, U:

$$U = \frac{\sum_{j=1}^q u_j \cdot \mu(u_j)}{\sum_{j=1}^q \mu(u_j)}; \text{ untuk } q = 4$$

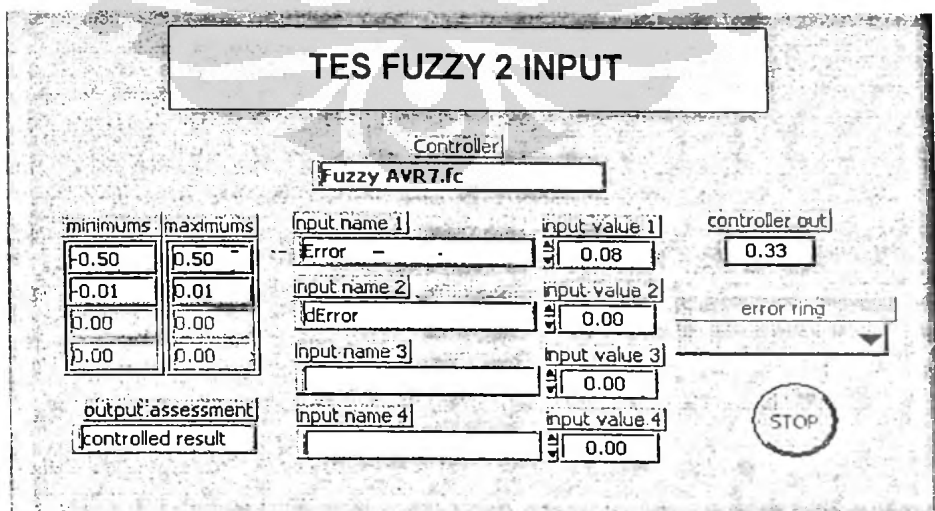
$$= \frac{(0,5)(0,165) + (0,5)(0,165) + (0,5)(0,5) + (0,5)(0,5)}{(0,5) + (0,5) + (0,5) + (0,5)}$$

$$= \frac{6,665}{2} = 3,3325$$



Gambar 4-20 Implikasi untuk E=0,0835 dan dE=0,00165

Hasil yang sama diperoleh dengan menggunakan Test Fuzzy Controller pada LabVIEW V8.5, seperti diperlihatkan Gambar 3-21.



Gambar 4-21 Hasil Test Fuzzy Controller pada LabVIEW V8. 5

Dari hasil analisis dan pengetesan dengan LabVIEW 8.5, dapat disimpulkan bahwa rancangan controller fuzzy telah sesuai dengan yang direncanakan. Perbedaan 2 desimal terakhir dibelakang koma disebabkan oleh ketelitian yang digunakan dalam perhitungan teori.

4.6.3 Kasus 3,

Analisis Fuzzy Inference untuk Nilai Input Error(E) = + 0,3 dan dError (dE) = +0,004. Outputnya akan kita hitung sesuai prosedur.

Sampel uji nilai adalah selain yang disebut dalam implikasinya. Dari nilai keanggotaan input E dan dE dapat dirunut nilai keanggotaan output. Permasalahan ini dibahas lebih jelas pada studi kasus untuk input E = +0,3 dan dE = +0,004

a Bentuk Aturan Kanonik

Variabel Input:

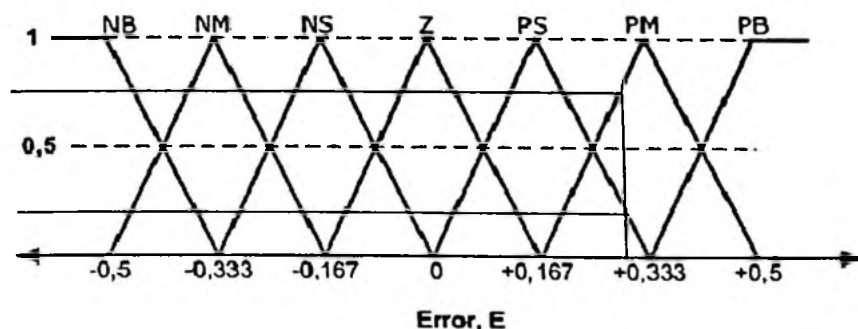
Error, e	-0,5 ... +0,5
Change in Error, de	-0.01 ... +0,01

Variabel Output:

Output, U	-1....+1
-----------	----------

Aturan Kanonik menunjukkan range variable input error (E), dan dError (dE) serta variable outputnya.

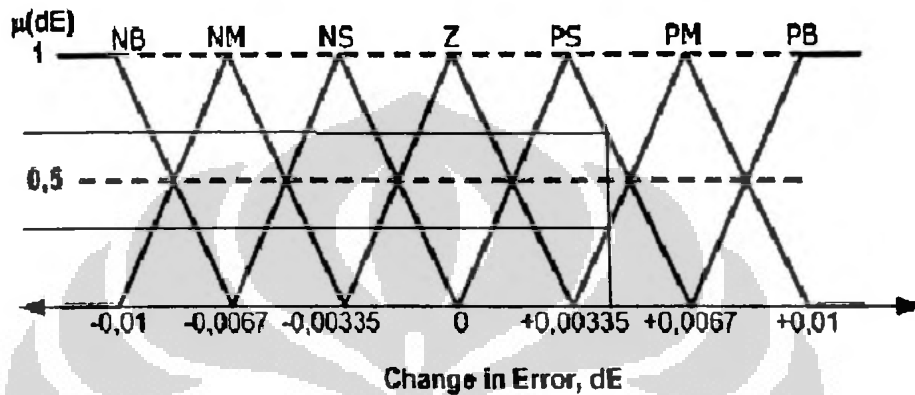
b Implikasi pada Input Error (E)



Gambar 4. 22. Daerah Input Variabel Error (E) = + 0,3

Pada nilai input Error (E) + 0,3, proyeksikan +0,3 vertikal ke atas, berpotongan pada Fungsi Keanggotaan input PS (linier turun) dan PM (linier naik)

c Implikasi pada Input dError (dE)



Gambar 4. 23. Daerah Input Variabel dError $d(E) = + 0,004$

Pada nilai input dError (dE) + 0,004, proyeksikan +0,004 vertikal ke atas, berpotongan pada Fungsi Keanggotaan input PM (linier naik) dan PS (linier turun)

d Implikasi pada Output

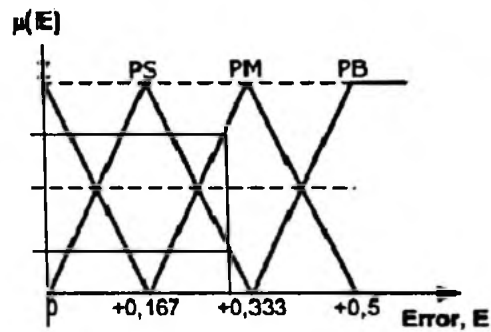
- Fungsi Keanggotaan

Kondisi pernyataan secara keseluruhan pada Error (E) = +0,3 dan dError (dE) = +0,004 adalah sesuai pada rule no 33, 34, 40 dan 41 di Tabel 4.1 yaitu:

Tabel 4.5. Rule Input Error (E) = + 0.3 dan dError (dE) = + 0,004

IF	Error, E	AND	Change in Error, De	THEN	Out, U
	is		Is		is
	PS		PS		PM
	PS		PM		PB
	PM		PS		PB
	PM		PM		PB

Perhitungan $\mu(E)$:



Gambar 4,28. Daerah Implikasi Input Variabel Error

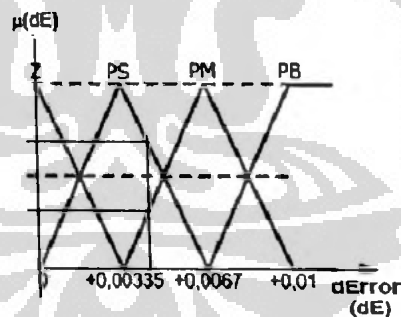
Linier Turun pada PS dan

$$\mu(E) = \frac{0,333 - 0,3}{0,333 - 0,167} = \frac{0,033}{0,166} = 0,1988$$

Linier Naik pada PM

$$\mu(E) = \frac{0,3 - 0,167}{0,333 - 0,167} = \frac{0,133}{0,166} = 0,8012$$

Perhitungan $\mu(dE)$



Gambar 4,29. Daerah Implikasi Input Variabel dError

Linier Turun pada PS

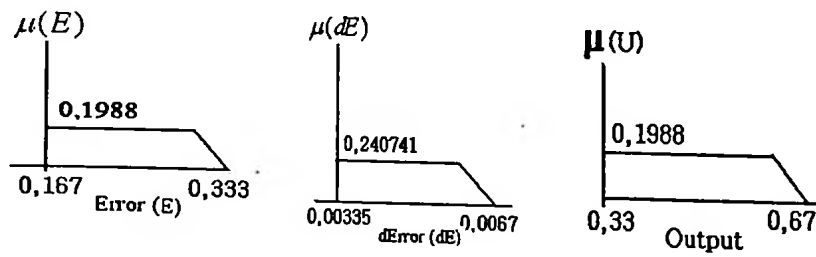
$$\mu(dE) = \frac{0,004 - 0,00335}{0,0067 - 0,0035} = \frac{0,00065}{0,0027} = 0,240741$$

Linier Naik pada PM

$$\mu(dE) = \frac{0,0067 - 0,004}{0,0067 - 0,0035} = \frac{0,0027}{0,00335} = 0,80597$$

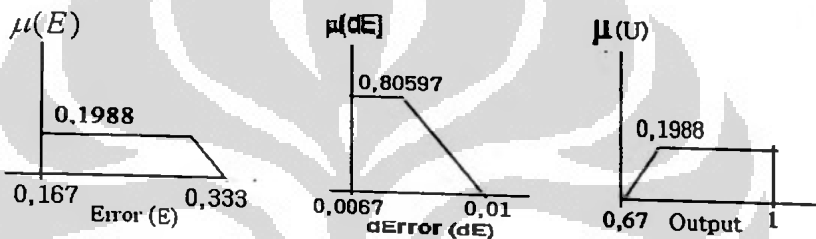
• Graphical Techniques Inference

Rule 1



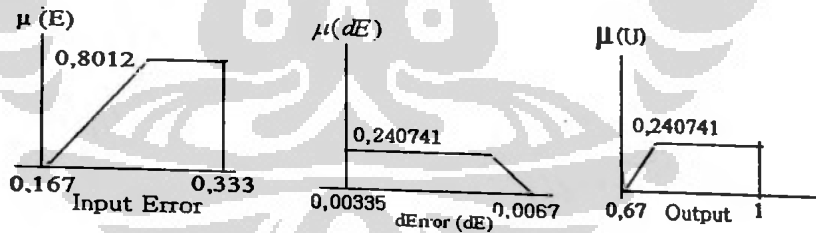
Gambar 4,30. Daerah Inference Rule 1

Rule 2



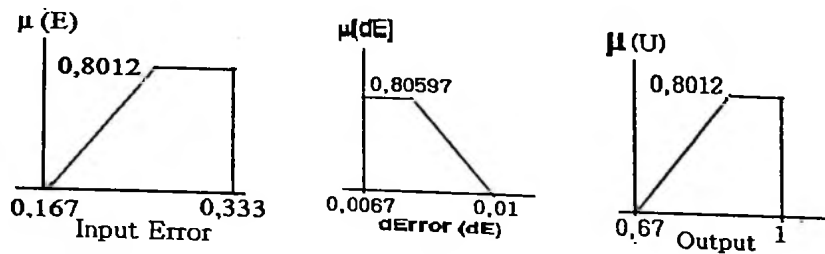
Gambar 4,31. Daerah Inference Rule 2

Rule 3



Gambar 4,32. Daerah Inference Rule 3

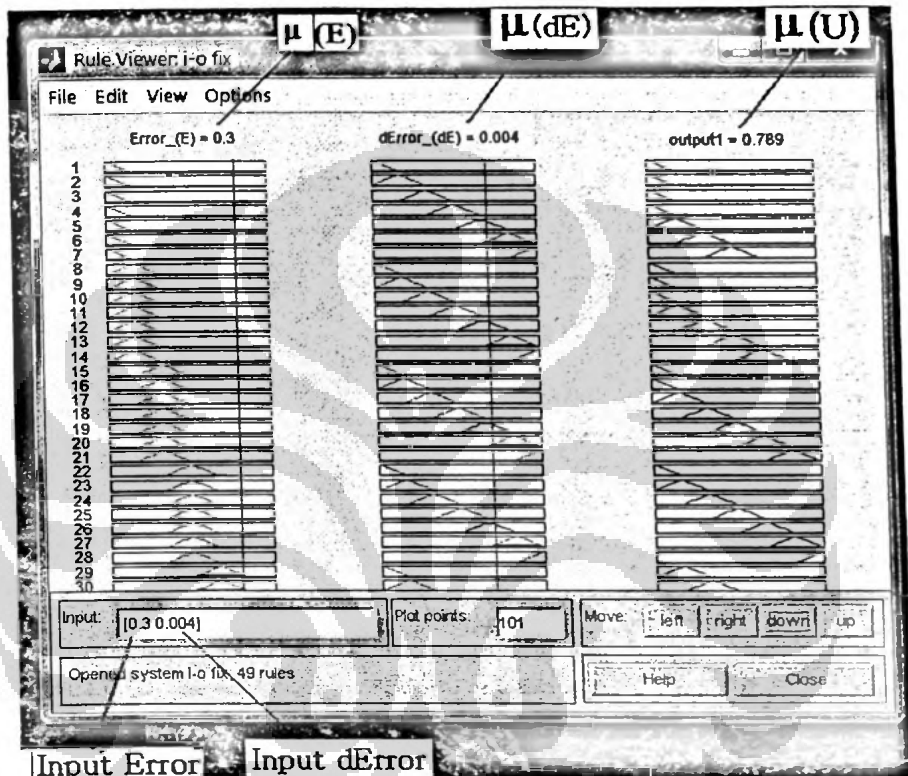
Rule 4



Gambar 4,33. Daerah Inference Rule 4

- Defazifikasi pada Matlab

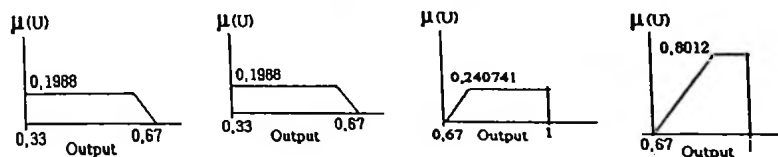
Defazzyfikasi pada Matlab dilakukan dengan memasukkan nilai input Error (E)= 0.3 dan nilai input dError (dE)= 0.004 , kemudian klik Enter. Selanjutnya akan muncul dan terbaca $\mu(E)=0,3$, $\mu(dE)=0.004$, dan $\mu(U)= 0,788$ secara otomatis seperti pada Gambar 4.28.



Gambar 4.34. Defazifikasi Error (E)= 0.3 , dError (dE)= 0.004), dengan Matlab

- Defazifikasi Metode CEG

Untuk menentukan Output dari variable input Error (E) = $+0,3$ dan dError (dE) = $+0,004$ digunakan Metode CEG, yaitu:



Gambar 4. 35. Hasil Inference Output

$$U = \frac{\sum_{j=1}^q u_j \cdot \mu(u_j)}{\sum_{j=1}^q \mu(u_j)}; \text{ untuk } q = 4$$

$$= \frac{(0,1988)(0,5) + (0,1988)(0,8355) + (0,240741)(0,835) + (0,8012)(0,835)}{(0,1988) + (0,1988) + (0,24071) + (0,8012)}$$

$$= 0,788737$$

- **Perbedaan Hasil**

Jika dibandingkan hasil defazifikasi pada Matlab nilai $\mu(U) = 0,778$ sedangkan dengan Metode Graphical Techniques Inference nilai $\mu(U) = 0,778737$. Selisih perhitungan nilai $\Delta\mu(U) = 0,000737$, tiga decimal terakhir. Perbedaan 3 desimal terakhir dibelakang koma disebabkan oleh ketelitian yang digunakan dalam perhitungan teori..

4.7. Data Hasil Pengujian Performa Sistem Pengereman

Pengamatan Reduksi Kecepatan Motor DC Menggunakan Kontroler Fuzzy dilakukan pada kecepatan 1000 rpm dengan jarak 100 m. Motor M2 memerlukan waktu 141 detik untuk menghentikan Motor M1.

Time (s)	Error, E	Change in error, GE	Out. U
65,00000	0,49255	0,48310	0,98163
66,00000	0,49045	0,46935	0,95277
67,00000	0,47166	0,46288	0,94333
68,00000	0,46207	0,45248	0,92414
69,00000	0,45264	0,44321	0,90528
70,00000	0,44344	0,43425	0,88689
71,00000	0,43439	0,42524	0,86878
72,00000	0,42552	0,41665	0,85104
73,00000	0,41679	0,40806	0,83358
74,00000	0,40832	0,39986	0,81664
75,00000	0,39994	0,39157	0,79989
76,00000	0,39178	0,18361	0,78336
77,00000	0,38378	0,37578	0,76706
78,00000	0,37594	0,36811	0,75105
79,00000	0,36831	0,36067	0,73561
80,00000	0,36079	0,35337	0,72158
81,00000	0,35339	0,34599	0,70787
82,00000	0,34613	0,33858	0,69454
83,00000	0,33910	0,33207	0,68162
84,00000	0,33213	0,32516	0,66907
85,00000	0,32516	0,31820	0,65697
86,00000	0,31820	0,31102	0,64528
87,00000	0,31132	0,30454	0,63422
88,00000	0,30464	0,29797	0,62374
89,00000	0,29813	0,29162	0,61428
90,00000	0,29172	0,28530	0,60582
91,00000	0,28543	0,27914	0,59825
92,00000	0,27924	0,27304	0,59150
93,00000	0,27320	0,26716	0,58553
94,00000	0,26728	0,26136	0,58036
95,00000	0,26151	0,25574	0,57595

mbar 4.37. Data Hasil Pengujian Performa Sistem Pengereman

Perekaman data Error, $dError$, dan Output dilakukan dengan cara me-replay program *LabVIEW* hasilnya seperti pada Gambar 4. 37 . Analisis pengujian menggunakan salah satu sampel data Error, $dError$, dan Output yang terekam. Data hasil pengukuran Error, $dError$, dan Output yang tersimpan pada file dibandingkan dengan hasil perhitungan menggunakan teori. Perbedaan hasil data dan hasil perhitungan kemungkinan akan terjadi, selama masih dalam batas toleransi maka perbedaan tersebut berpengaruh sangat kecil terhadap sistem

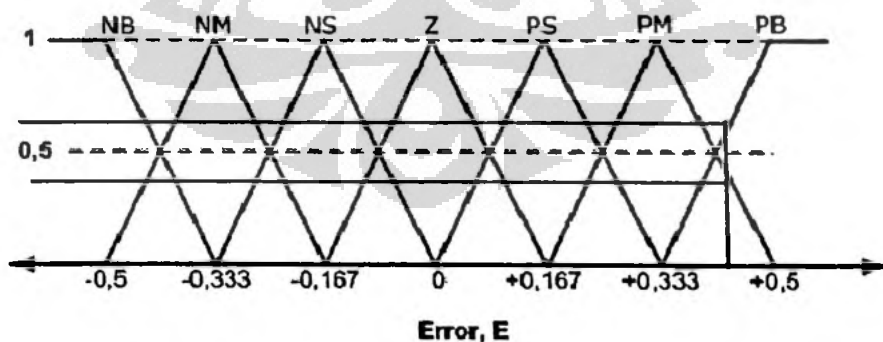
4.8. Analisis Hasil Pengujian

Analisis Fuzzy Inference untuk Data Nilai Input Error(E) = + 0,39994 dan $dError$ (dE) = +0,39157.

Outputnya akan kita hitung sesuai prosedur teoritis.

uji nilai diambil dari salah satu data hasil pengamatan (Gambar 4. 37). Dari nilai keanggotaan input nilai input Error(E) = + 0,39994 dan $dError$ (dE) = +0,39157 dapat dirunut nilai keanggotaan outputnya.

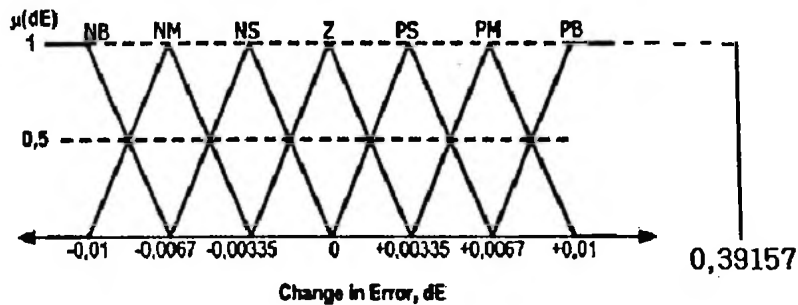
a. Implikasi pada Input Error (E)



Gambar 4. 38. Daerah Input Variabel Error (E) = + 0,39994

Pada nilai input Error (E) + 0,39994, proyeksikan vertikal ke atas, berpotongan pada Fungsi Keanggotaan input PM (linier turun) dan PB (linier naik)

b. Implikasi pada Input dError (dE)



Gambar 4. 39. Daerah Input Variabel dError d(E) = + 0,39157

Pada nilai input dError (dE) + 0,39157, proyeksikan vertikal ke atas, berpotongan pada fungsi keanggotaan 1

c. Kondisional Pernyataan

- Fungsi Keanggotaan

Kondisi pernyataan secara keseluruhan pada Error (E) = +0,39994 dan dError (dE) = +0,39157 adalah sesuai pada rule no 42 dan 49 pada Tabel 4.1, yaitu:

Tabel 4.5.
Rule Input Error E = + 0,39994 dan Change in Error dE = + 0,39157

IF	Error, E is	AND	Change in Error, dE is	THEN	Out, U is
	PM		PB		PB
	PB		PB		PB

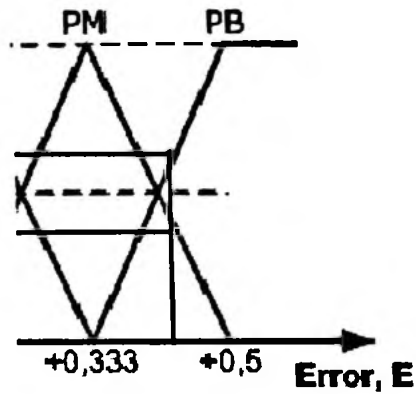
Perhitungan $\mu(E)$:

Linier Turun pada PM dan

$$\mu(E) = \frac{0,39994 - 0,333}{0,5 - 0,333} = \frac{0,06667}{0,167} = 0,400599$$

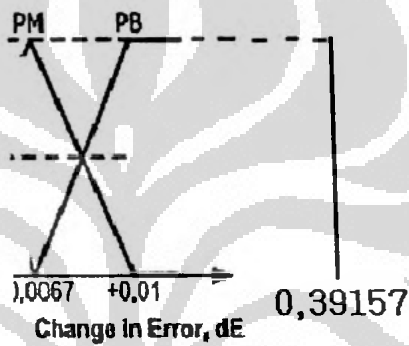
Linier Naik pada PB

$$\mu(E) = \frac{0,5 - 0,39994}{0,5 - 0,333} = \frac{0,1006}{0,167} = 0,5992$$



Gambar 4,40. Daerah Implikasi Input Variabel Error

Perhitungan $\mu(dE)$

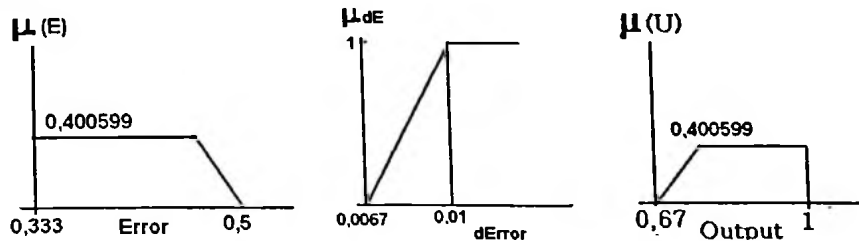


Gambar 4,41. Daerah Implikasi Input Variabel dError

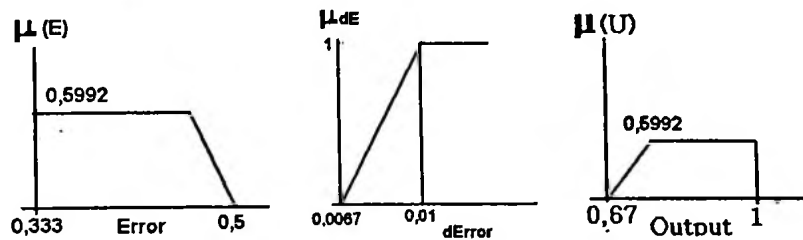
Terlihat pada Gambar 4.41 untuk dError (dE) = 0,3994 nilai μ (dE) adalah tunggal yaitu 1.

• Graphical Techniques Inference

Rule 1



Gambar 4. 42. Inference Rule 1

Rule 2

Gambar 4. 43. Inference Rule 2

- **Defazzyfikasi Metode COG**

Untuk menentukan Output dari variable input Error (E) = +0,3 dan dError (dE) = +0,004 digunakan Metode CEG, yaitu:



Gambar 4. 44. Hasil Inference pada Output

$$U = \frac{\sum_{j=1}^q u_j \cdot \mu(u_j)}{\sum_{j=1}^q \mu(u_j)}; \text{ untuk } q = 4$$

$$= \frac{(0,400599)(0,835) + (0,5992)(0,835)}{(0,400599 + 0,5992)} = 0.79989$$

4.9. Analisis Data Pengukuran pada LabVIEW

Jelaskan system power ampliifiernya sehingga diperoleh Persamaan korelasi rangkaian power amplifier yang diharapkan adalah,

$$V_{out} = 4 V_{in} \text{ untuk } V_{in} = 0-5V.$$

Sedangkan berdasarkan data hasil pengujian yang diperlihatkan pada tabel 4.1 dengan menggunakan metode Chi-square (regresi linier) didapat persamaan korelasi,

$$V_{out} = 3,99 V_{in} + 0,01 \text{ volt}; \text{ untuk } V_{in} = 0-5V.$$

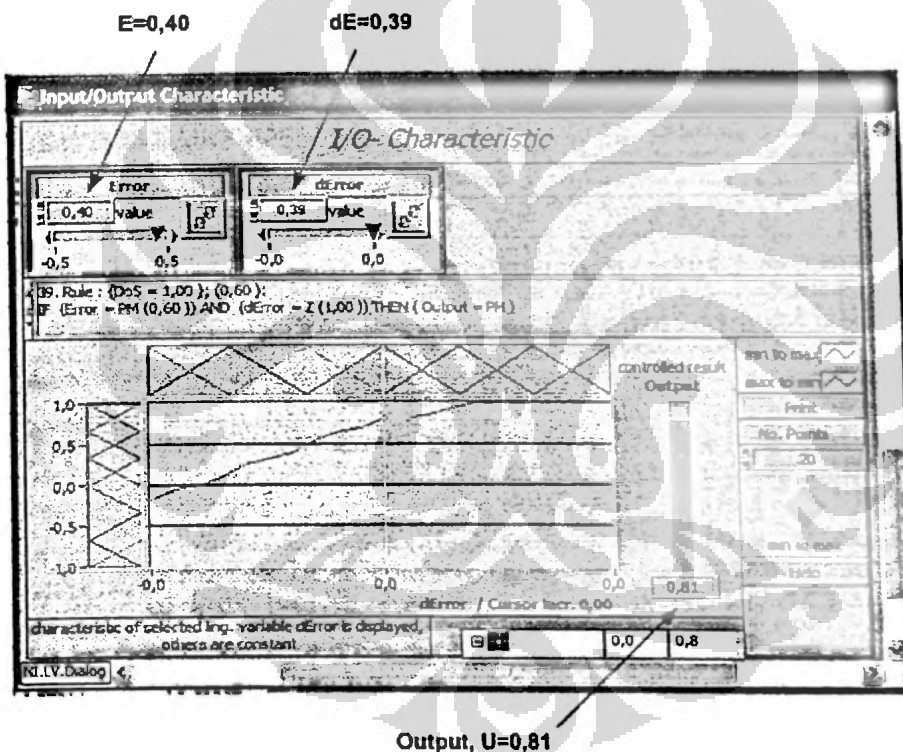
Dengan demikian, maka:

Kesalahan nol (Offset-null) = +0,01V atau 10mV

Linieritas = $\pm 0,25\%$

Tunjukkan juga hasilnya dalam bentuk grafik

Berdasarkan hasil pengukuran yang diperlihatkan pada Gambar 4.37, output FLC $U=0,79989$ ($\approx 0,80$) untuk kondisi $E=0,39994$ ($\approx 0,40$) dan $dE=0,39157$ ($\approx 0,39$). Sedangkan hasil simulasi menggunakan LabVIEW Fuzzy Test Controller (default kepresisian dua poin di belakang koma), didapat hasil sebesar $U=0,81$. Terjadi perbedaan hasil sebesar 0,01 antara pengukuran dengan hasil analisis test fuzzy controller.



Gambar 4.45. Nilai output FLC $U = 0,81$ untuk $E = 0,40$ dan $dE = 0,39$

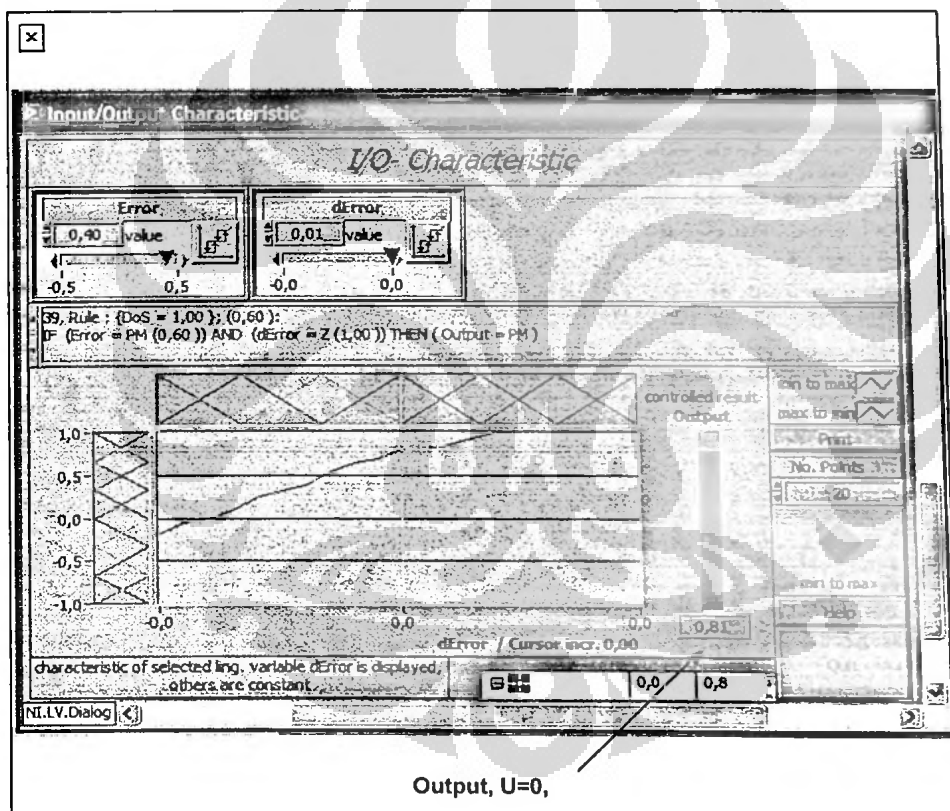
Dengan demikian, maka:

Kesalahan nol (Offset-null) = +0,01V atau 10mV

Linieritas = $\pm 0,25\%$

Tunjukkan juga hasilnya dalam bentuk grafik

Berdasarkan hasil pengukuran yang diperlihatkan pada Gambar 4.37, output FLC $U=0,79989$ ($\approx 0,80$) untuk kondisi $E=0,39994$ ($\approx 0,40$) dan $dE=0,39157$ ($\approx 0,39$). Sedangkan hasil simulasi menggunakan LabVIEW Fuzzy Test Controller (default kepresisian dua poin di belakang koma), didapat hasil sebesar $U=0,81$. Terjadi perbedaan hasil sebesar 0,01 antara pengukuran dengan hasil analisis test fuzzy controller.



Gambar 4.45. Nilai output FLC $U = 0,81$ untuk $E = 0,40$ dan $dE = 0,39$

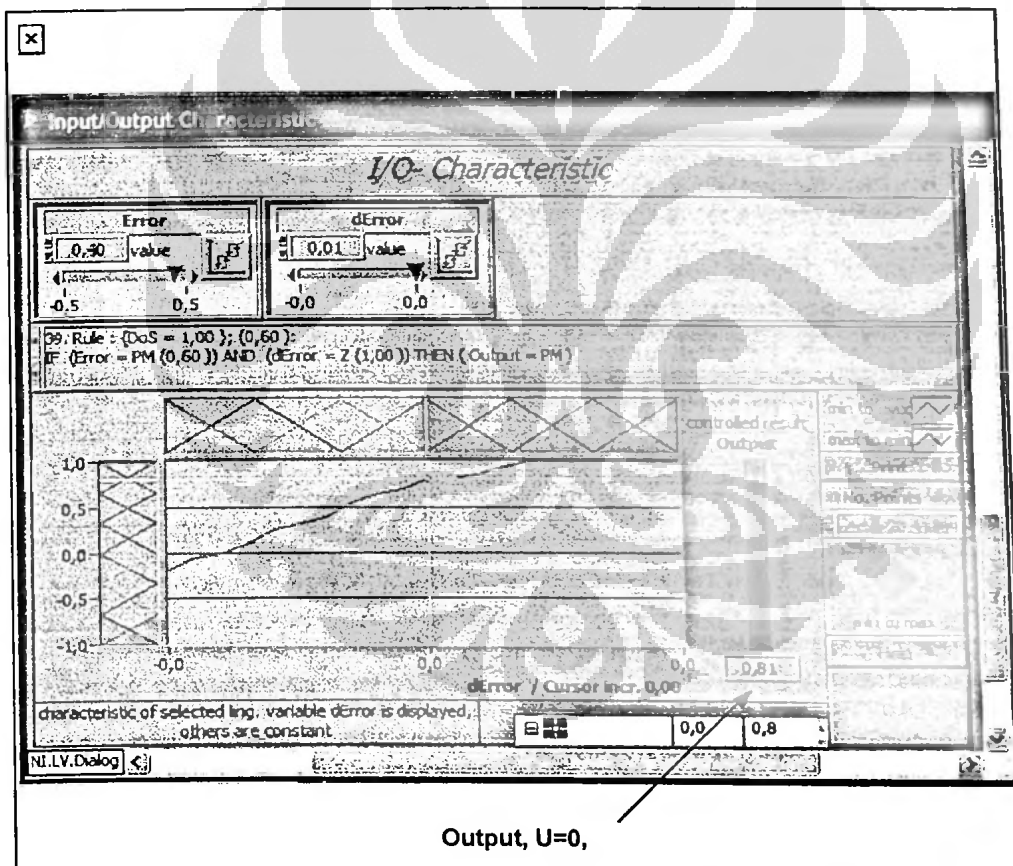
Dengan demikian, maka:

Kesalahan nol (Offset-null) = +0,01V atau 10mV

Linieritas = $\pm 0,25\%$

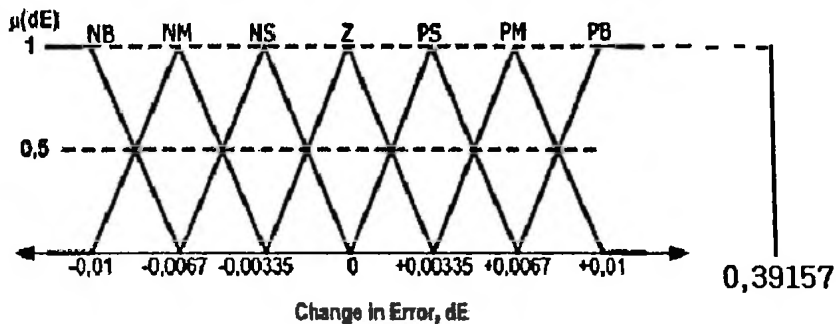
Tunjukkan juga hasilnya dalam bentuk grafik

Berdasarkan hasil pengukuran yang diperlihatkan pada Gambar 4.37, output FLC $U=0,79989$ ($\approx 0,80$) untuk kondisi $E=0,39994$ ($\approx 0,40$) dan $dE=0,39157$ ($\approx 0,39$). Sedangkan hasil simulasi menggunakan LabVIEW Fuzzy Test Controller (default kepresisian dua poin di belakang koma), didapat hasil sebesar $U=0,81$. Terjadi perbedaan hasil sebesar 0,01 antara pengukuran dengan hasil analisis test fuzzy controller.



Gambar 4.45. Nilai output FLC $U = 0,81$ untuk $E = 0,40$ dan $dE = 0,39$

b. Implikasi pada Input dError (dE)



Gambar 4. 39. Daerah Input Variabel dError $d(E) = +0,39157$

Pada nilai input dError (dE) + 0,39157, proyeksikan vertikal ke atas, berpotongan pada fungsi keanggotaan 1

c. Kondisional Pernyataan

- Fungsi Keanggotaan

Kondisi pernyataan secara keseluruhan pada Error (E) = +0,39994 dan dError (dE) = +0,39157 adalah sesuai pada rule no 42 dan 49 pada Tabel 4.1, yaitu:

Tabel 4.5. Rule Input Error (E) = + 0.3 dan dError (dE) = -0,004

IF	Error, E	AND	Change in Error, dE	THEN	Out, U
	is		is		is
	PM		PB		PB
	PB		PB		PB

Perhitungan $\mu(E)$:

Linier Turun pada PM dan

$$\mu(E) = \frac{0,39994 - 0,333}{0,5 - 0,333} = \frac{0,06667}{0,167} = 0,400599$$

Linier Naik pada PB

$$\mu(E) = \frac{0,5 - 0,39994}{0,5 - 0,333} = \frac{0,1006}{0,167} = 0,5992$$

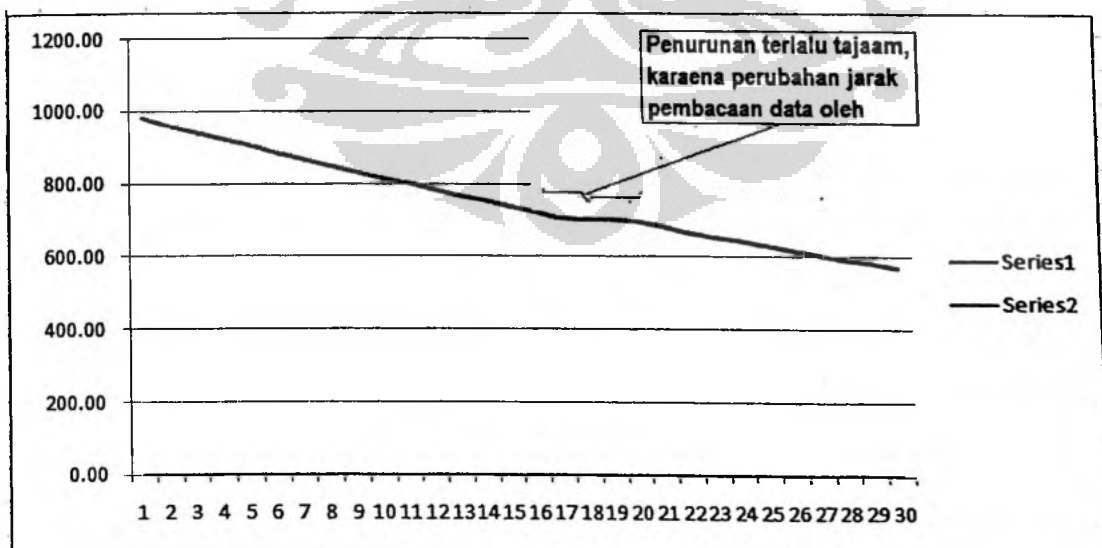
4.10. Data Nilai Penegasan

Dari gambar 4.37, hasil analisis statistik terhadap sampel pengukuran didapatkan bahwa pada kondisi setpoint 1000 rpm, Kecepatan output generator, $\theta_{out} = 1999,16 \pm 1,53$ rpm.

Pengambilan 30 sampel pada hasil percobaan, seperti gambar 4.46 menunjukkan bahwa:

- Sumbu vertikal perekaman kecepatan, sumbu horisontal adalah output tegangan.
- Bentuk regresi linier keduanya perlu diuji kebenarannya apakah ada hubungan linier negatif, linier positif antara penurunan tegangan dengan kecepatan output generator
- Pengujian menggunakan persamaan regresi dari hasil perhitungan pada gambar 4.37
- Persamaan regresi adalah:

$$y = 0.765137439 - 0.000535878 x$$



Gambar 4. 46, Hubungan Kecepatan Putar Motor-Tegangan Output

Menurut kurva pada Gambar 4.46, bentuk kurva data ke 15 dan 16 kurang mulus hal ini akibat dari penurunan drastic pada pembacaan data.

Hasil Uji Hubungan Kecepatan Putar Motor dengan Tegangan Output menggunakan Regresi Linier.

Hasil perhitungan untuk $x=799.89$ dengan rumus regresi adalah: 0.336493348

Jika menggunakan table, untuk x yang sama nilai y adalah 0.32516

Selisih perhitungan adalah 0.011333346

Dianggap bahwa tidak ada pengaruh penurunan kecepatan putaran motor dengan penurunan tegangan. Akan diuji apakah hubungan keduanya benar ada menggunakan $B= 1.1, 1.2, 1.3$ dan 1.5 . Tingkat keyakinan adalah 1%, 2%, 5%, dan 10%. Bandingkan hasil perhitungannya menggunakan rumus:

Perhitungan Nilai t_o dan Nilai t_α

(a). Nilai t_o menggunakan rumus:

$$t_o = \frac{b}{s_b}$$

Dari perhitungan diperoleh nilai $t_o = 3.931088$

(b). Nilai t_α

α	1%	2%	5%	10%
Nilai t_α	2.763	2.467	2.048	1.701

Nilai t_α diperoleh dari tabel distribusi t yang biasa dipergunakan pada perhitungan statistic.

Dari hasil perhitungan dapat disimpulkan bahwa, karena nilai $t_\alpha > t_o$, maka pendapat bahwa tidak ada pengaruh penurunan putaran motor terhadap penurunan tegangan tidak benar/ditolak, sehingga ada pengaruh penurunan kecepatan putaran motor terhadap tegangan

BAB 5 SIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan data dan analisa data yang telah diperoleh maka dapat ditarik kesimpulan bahwa :

- Torsi motor DC M2 sama besar dengan torsi motor DC M1, maka motor DC M1 akan berhenti berputar. Implementasi pengereman motor dengan FLC telah sesuai dengan rencana.. Untuk menghentikan Putaran Motor M2 dihentikan menggunakan input $E(k) = -0,5 \dots +0,5$ dan $dE(k) = -0,01 \dots +0,01$, menghasilkan output $U(k) = -1 \dots +1$.
- Kereta akan berhenti dalam waktu 141 detik dengan jarak tempuh 100 m pada kecepatan 1000 rpm.
- Semakin tinggi kecepatan putar motor dibutuhkan tegangan yang besar untuk menghentikan putaran motor.
- Proses eksperimen menunjukkan bahwa teknik kendali *fuzzy logic* relatif mudah untuk dirancang. Proses kendali dapat diamati secara online dimana hal ini sangat dibutuhkan dalam penalaan fuzzy.
- *Fuzzy Logic Controller* merupakan suatu sistem kendali yang penerapannya tetap memerlukan model matematis dari sistem untuk memperoleh input, output yang sesuai.
- Pada plant ini 7 kaidah dasar (*basic rules*) merupakan kaidah pokok yang digunakan pada titik-titik *zero*

Berdasarkan data dan analisa data yang telah diperoleh maka hal-hal yang masih perlu diperbaiki/dikembangkan adalah penelusuran pemilihan cara defazifikasi sesuai dengan jenis dan karakteristik system kontrolnya.

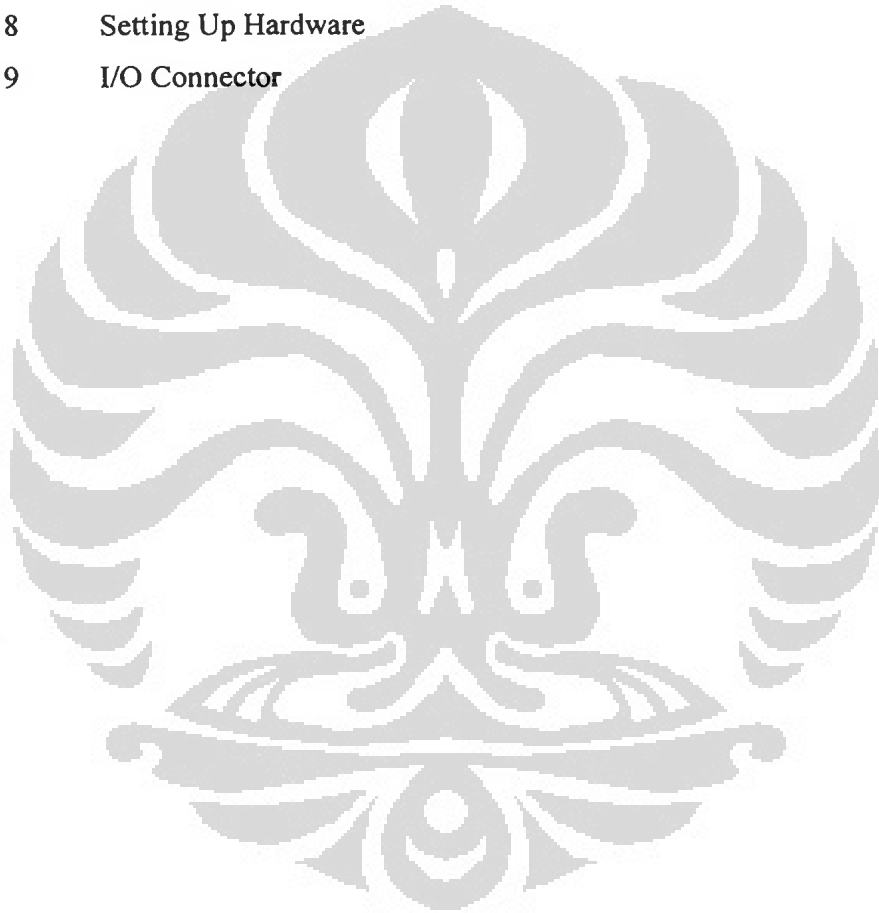
DAFTAR REFERENSI

- [1]. Resmana, Hany Ferdinando, Thiang, Agus Suryo Widagdo. 1999. Implementasi Fuzzy Logic Pada Microcontoller untuk Kendali Putaran Motor DC. Proceedings, Industrial Electronic Seminar (IES'99). hanyf@petra.ac.id resmana@petra.ac.id
- [2]. Breedveld, P. C., 2002, Integrated Modeling of Physical System: Dynamic System. Control Engineering Group – University of Twente, Enschede, the Netherlands.
- [3]. Dhogal, P.S. 1985. Basic Electrical Engineering, Volume I., McGraw-Hill,
- [4]. Sukmadi, Tedjo. 2006. Estimasi Parameter Adaptif Motor DC dengan Metode Algoritma Genetik. Transmisi, Vol. 11, No. 1, Juni 2006 hal: 28 – 34. tejo@elektro.ft.undip.ac.id
- [5]. P. C. Sen, 1997. *Principles Of Electric Machines And Power Electronics, Second Edition*, John Wiley & Sons, USA.
- [6]. Warsito, Agung. Pengereman Dinamik Pada Motor Induksi Tiga Fasa. Transmisi, Vol. 11, No. 1, Juni 2006 : 1 – 5
- [7]. Wang, L. X., 1997, *A Course in Fuzzy Systems and Control*, Prentice Hall, New Jersey.
- [8]. Jamsidi Mohammad, Nader Vadiéc and Timothy J Ross. 1993. “*Fuzzy Logic and Control : Software and Hardware Applications*”, Prentice Hall, Inc. New Jersey.
- [9]. Holman, J.P dan Jasjfi. 1985. *Metode Pengukuran Teknik* . Penerbit Erlangga, Jakarta.

- [10]. Felix Pasila , Thiang, Oscar Final. 2000. Pengaturan. Kecepatan Motor DC Menggunakan Kendali Hybrid PID-Fuzzy. Proceeding, Industrial Electronic Seminar (IES 2000). Email: felix@petra.ac.id, thiang@petra.ac.id
- [11]. Ross, Timothy J. 1997. Fuzzy Logic With Engginering Applications. McGraw Hill International Editions
- [12]. National Instrument. 2006. *Datasheet USB-6008/6009 User Guide and Specifications.*
- [13]. National Instruments. 2006. *PID And Fuzzy Control Toolset User Manual*, Austin Texas, USA.
- [14]. National InstrumentsTM. 2006. *Revolutioning Measurement and Automation with Virtual Instrument.* US Corporate Headquarters, Austin.

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Daftar Bimbingan Tesis
Lampiran 2. Penjabaran Matematika untuk Pengereman
Lampiran 3. Simulasi Alat Pengereman
Lampiran 4. Perhitungan Regresi Linier
Lampiran 5. Grafik Kecepatan Putar Motor dan Tegangan
Lampiran 6 Hasil Uji Kecepatan Putar Motor dengan Tegangan
Lampiran 7 NIDAQ USB 8008-6009
Lampiran 8 Setting Up Hardware
Lampiran 9 I/O Connector



DAFTAR BIMBINGAN TESIS

No	Hari/Tanggal		Materi Bimbingan
1	Senin	1 -09- 2008	Bab 1 : Pendahuluan , membahas latar belakang masalah, tujuan dan pembatasan masalah,
2	Rabu	10-09- 2008	Bab 1 : peralatan dan bahan penelitian sistematika penulisan.
3	Jum'at	12 -09-2008	Bab 2: Tinjauan Pustaka , penjabaran metematis, mempelajari dan membahas pengereman
4	Senin	15 -09-2008	Bab 2: Tinjauan Pustaka , rule dan pemrograman pada <i>Fuzzy Logic</i>
5	Rabu	17 -09-2008	Bab 3: Perencanaan cara kerja pembuatan perancangan instrumentasi dan mekanikal, penguat arus,
6	Jum'at	19-09- 2008	Bab 3: Perencanaan pengkondisi sinyal, akuisisi data, bahasa pemrograman
7	Senin	2 -12- 2008	Bab 4: Hasil Hasil eksperimen dan pengambilan data, displai kontrol kecepatan
8	Rabu	3 -12- 2008	Bab 4: Pengujian Hasil pengujian kinerja kerja alat, kendala pembuatan <i>software/</i> program berkaiatan dengan <i>hardware</i> .
9	Jum'at	5 -12- 2008	Bab 5 : Simpulan dan Saran
10	Selasa	9 -12- 2008	Penyempurnaan Laporan

LAMPIRAN PENJABARAN MATEMATIKA UNTUK Pengereman

$$> 2.75 \cdot 3.2284 \cdot 10^6 \cdot s^2 + (4 \cdot 3.2284 \cdot 10^6 + 2.75 \cdot 3.5077 \cdot 10^6) \cdot s + (4 \cdot 3.5077 \cdot 10^6 + 0.274^2) = 0$$

$$8.878100000 \cdot 10^6 s^2 + 2.255977500 \cdot 10^7 s + 1.403080008 \cdot 10^7 = 0$$

> solve({ (1) }, [s])

$$[[s = -1.086513468], [s = -1.454545430]]$$

$$> 8.878100000 s^2 + 2.255977500 \cdot 10 s + 1.403080008 \cdot 10 = 0$$

$$8.878100000 s^2 + 22.55977500 s + 14.03080008 = 0$$

> solve({ (3) }, [s])

$$[[s = -1.086513468], [s = -1.454545430]]$$

$$> y = A \cdot \exp(-1.086513468 \cdot t) + B \cdot \exp(-1.454545430 \cdot t)$$

$$y = A e^{-1.086513468 t} + B e^{-1.454545430 t}$$

$$> \frac{d}{dt} (A e^{-1.086513468 t} + B e^{-1.454545430 t})$$

$$\frac{d (A e^{-1.086513468 t} + B e^{-1.454545430 t})}{dt}$$

> diff((6), t)

$$\frac{1}{dt} (d (-1.086513468 A e^{-1.086513468 t} - 1.454545430 B e^{-1.454545430 t}))$$

$$> -1.086513468 \cdot (B - 900) - 1.454545430 B = 0$$

$$-2.541058898 B + 977.8621212 = 0$$

> solve({ (8) }, [B])

$$[[B = 384.8246579]]$$

>

$$> A + 384.8246579 = 900$$

$$A + 384.8246579 = 900$$

> solve({ (10) }, [A])

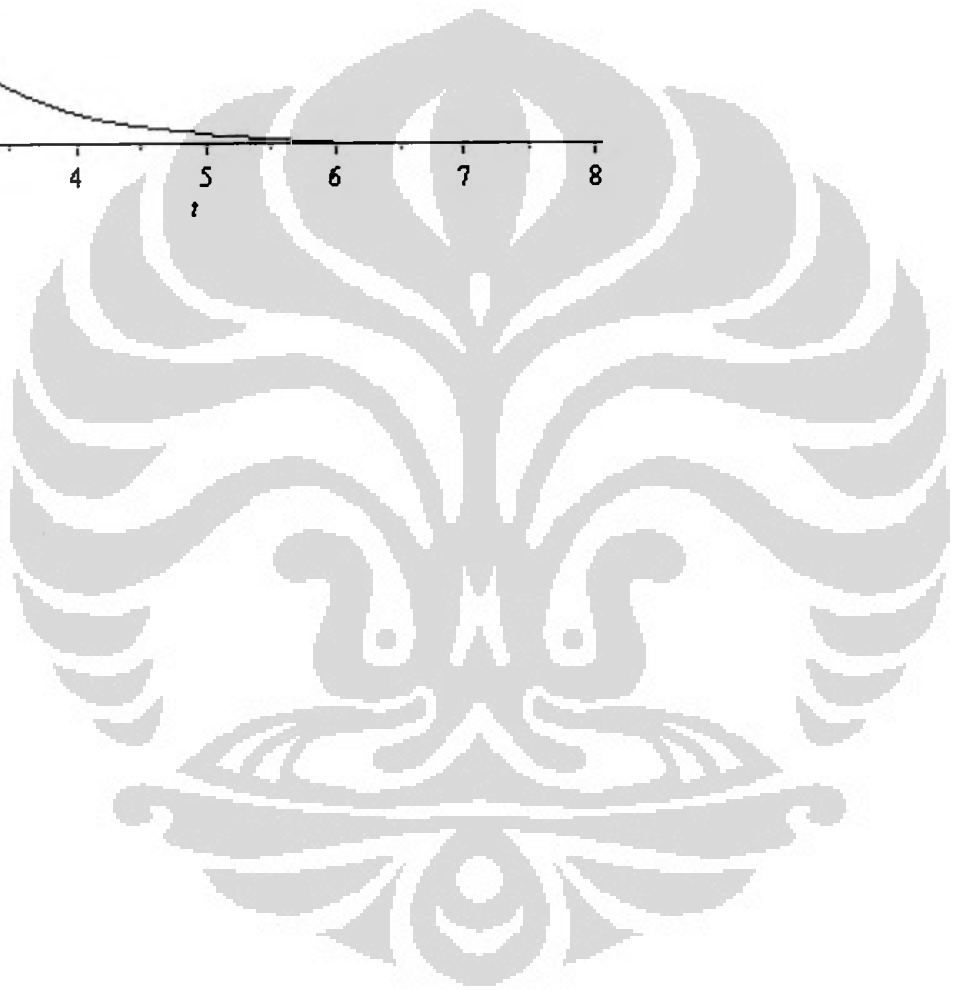
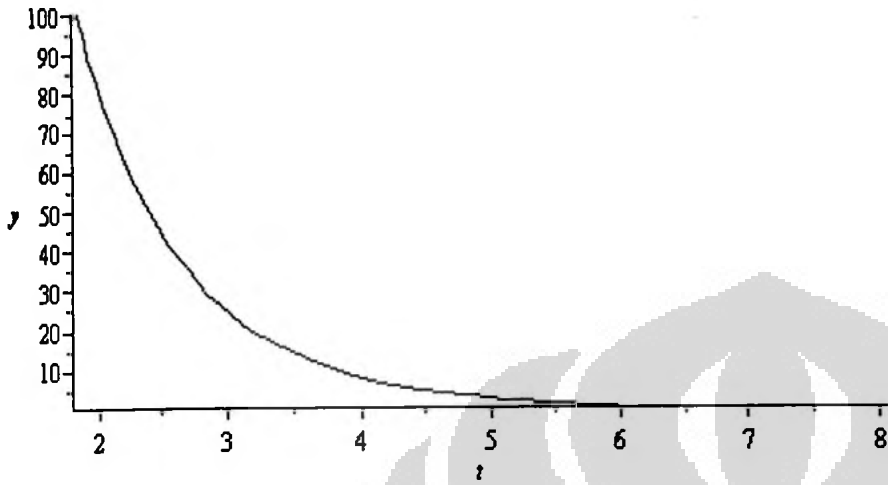
$$[[A = 515.1753421]]$$

$$> y = 515.1753421 \cdot \exp(-1.086513468 \cdot t) + 384.8246579 \cdot \exp(-1.454545430 \cdot t)$$

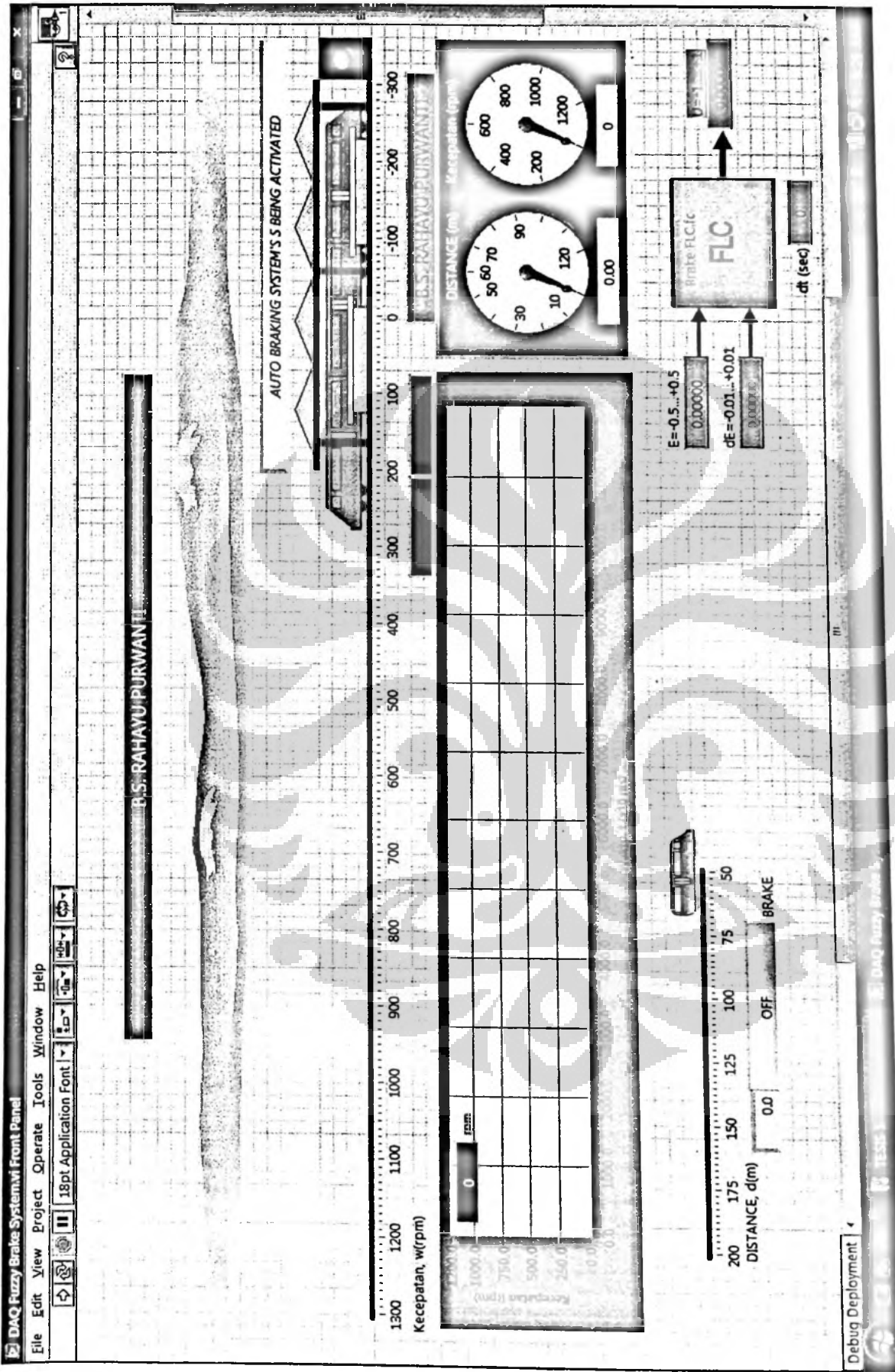
$$y = 515.1753421 e^{-1.086513468 t}$$

$$+ 384.8246579 e^{-1.454545430 t}$$

```
> plots[implicitplot](12, t = 0 .. 8, y = -100 .. 100)
```



TAMPILAN SIMULASI ALAT PENEREMAN



Lampiran Perhitungan Regresi Linier

NO	X	Y	X ²	Y ²	XY	X-X (rat)	Y-Y (rat)
1	981,63	0,26136	963597,4569	0,068309050	256,5588	229,3120	-0,1006277
2	959,27	0,26716	920198,9329	0,071374466	256,2786	206,9520	-0,0948277
3	943,33	0,27304	889871,4889	0,074550842	257,5668	191,0120	-0,0889477
4	924,14	0,27914	854034,7396	0,077919140	257,9644	171,8220	-0,0828477
5	905,28	0,28530	819531,8784	0,081396090	258,2764	152,9620	-0,0766877
6	886,89	0,29162	786573,8721	0,085042224	258,6349	134,5720	-0,0703677
7	868,78	0,29797	754778,6884	0,088786121	258,8704	116,4620	-0,0640177
8	851,04	0,30454	724269,0816	0,092744612	259,1757	98,7220	-0,0574477
9	833,58	0,31102	694855,6164	0,096733440	259,2601	81,2620	-0,0509677
10	816,64	0,31820	666900,8896	0,101251240	259,8548	64,3220	-0,0437877
11	799,89	0,32516	639824,0121	0,105729026	260,0922	47,5720	-0,0368277
12	783,56	0,33207	613966,2736	0,110270485	260,1968	31,2420	-0,0299177
13	767,56	0,33888	589148,3536	0,114839654	260,1107	15,2420	-0,0231077
14	751,89	0,34598	565338,5721	0,119702160	260,1389	-0,4280	-0,0160077
15	736,61	0,35327	542594,2921	0,124799693	260,2222	-15,7080	-0,0087177
16	721,68	0,36067	520822,0224	0,130082849	260,2883	-30,6380	-0,0013177
17	706,77	0,36811	499523,8329	0,135504972	260,1691	-45,5480	0,0061223
18	700,73	0,37578	491022,5329	0,141210608	263,3203	-51,5880	0,0137923
19	700,04	0,38361	490056,0016	0,147156632	268,5423	-52,2780	0,0216223
20	696,72	0,39157	485418,7584	0,153327065	272,8147	-55,5980	0,0295823
21	680,97	0,39986	463720,1409	0,159888020	272,2927	-71,3480	0,0378723
22	667,38	0,40806	445396,0644	0,166512964	272,3311	-84,9380	0,0460723
23	654,22	0,41665	428003,8084	0,173597223	272,5808	-98,0980	0,0546623
24	641,49	0,42534	411509,4201	0,180914116	272,8514	-110,8280	0,0633523
25	628,74	0,43425	395313,9876	0,188573063	273,0303	-123,5780	0,0722623
26	616,28	0,44321	379801,0384	0,196435104	273,1415	-136,0380	0,0812223
27	603,87	0,45248	364658,9769	0,204738150	273,2391	-148,4480	0,0904923
28	591,90	0,46288	350345,6100	0,214257894	273,9787	-160,4180	0,1008923
29	580,05	0,46935	336458,0025	0,220289423	272,2465	-172,2680	0,1073623
30	568,56	0,48310	323260,4736	0,233385610	274,6713	-183,7580	0,1211123
	22569,49	10,85963	17410794,82	4,059321934	7938,6997	-0,0500	0,0000000

$$\boxed{\sum \theta_i} \quad \boxed{\sum (V_{out})_i} \quad \boxed{(\sum \theta_i)^2} \quad \boxed{\sum (V_{out})_i^2} \quad \boxed{\sum \theta_i (V_{out})_i}$$

$$\sum 752,316 \quad 0,361987667$$

$$\bar{\theta} = \frac{\sum \theta}{n} = \frac{22568,49}{30} = 752,316$$

$$\text{dan } \bar{V}_{out} = \frac{\sum V_{out}}{n} = \frac{10,85963}{30} = 0,361987667$$

Perhitungan b menggunakan rumus:

$$b = \frac{n \sum \theta_i (V_{out})_i - \sum \theta_i \sum (V_{out})_i}{n \sum \theta_i^2 - (\sum \theta_i)^2}$$

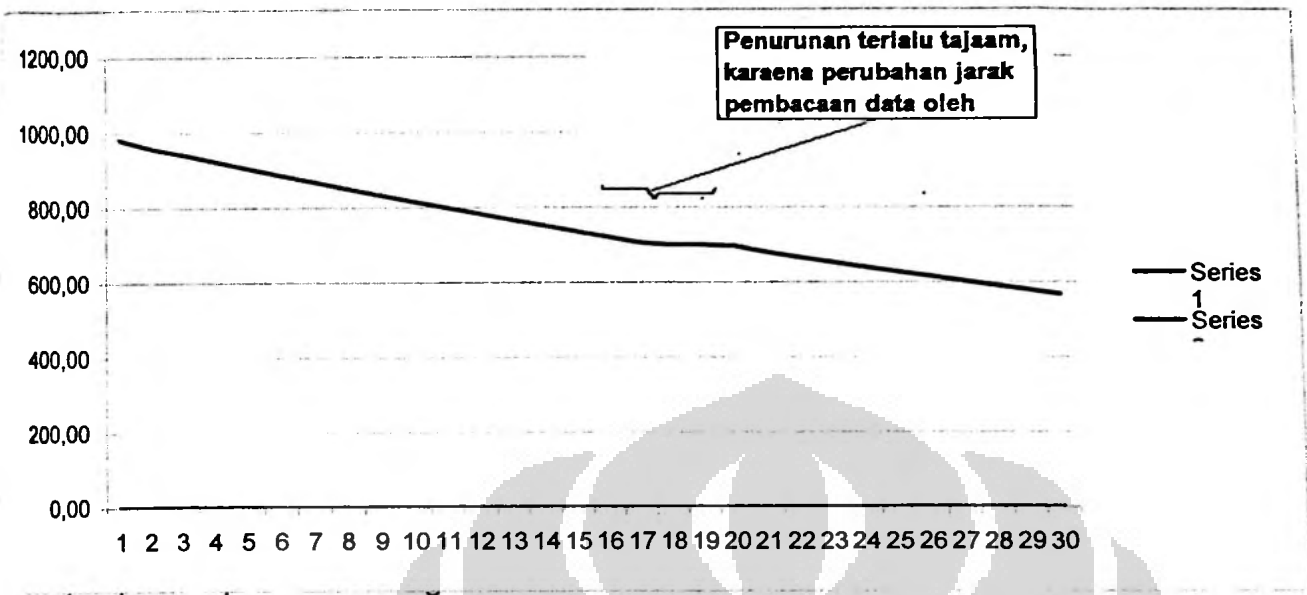
$$b = -0,00053588$$

Perhitungan a menggunakan rumus:

$$a = \bar{V}_{out} - b * \bar{\theta}$$

$$\text{dan } a = 0,76513726$$

Grafik Hubungan Kecepatan Putar Moyor dan Tegangan



$$y = 0.765137439 - 0.000535878 x$$

Hasil perhitungan y, untuk x=799.89 dengan rumus regresi adalah: 0,336493346
 jika dilihat pada tabel, nilai y untuk x yang sama adalah: 0,32516
 Selisih perhitungan adalah: 0,011333346

Terjadi selisih perhitungan akibat pembulatan pada data, namun nilainya cukup kecil sehingga dapat diabaikan.

Grafik juga terlihat penurunan/perubahan tajam (keterangan pada Gambar 4.47 akibat dari

$\sum x_i^2$	$\sum y_i^2$	$\sum x_i * y_i$	$(\sum y_i)^2$	$(\sum x_i)^2$	$\sum x_i$	$\sum y_i$
1,7E+07	4,059321934	7938,699736	17410794,82	4,059321934	22569,49	10,85963
$S_c^2 =$	$S_a^2 =$	$S^2 =$	S_b^2	$s_a = \sqrt{S_a^2}$	$s_b = \sqrt{S_b^2}$	
0,32354	0,010798619	-0,21569278	1,85827E-08	0,56880504	0,000136318	

Akhirnya diperoleh nilai: $\hat{Y} = 0.56880504 + 0.000136318X$

Hasil Uji Hubungan Kecepatan Putar Motor dengan Tegangan Output

Dianggap bahwa tidak ada pengaruh penurunan kecepatan putaran motor dengan penurunan tegangan. Akan diuji apakah hubungan keduanya benar ada menggunakan $B = 1.1, 1.2, 1.3$ dan 1.5 . Tingkat keyakinan adalah $1\%, 2\%, 5\%$, dan 10% . Bandingkan hasil perhitungannya dalam matrik 4×4 , apa kesimpulannya?.

Perhitungan Nilai t_0 dan Nilai t_α

(a). Nilai t_0 menggunakan rumus:

$$t_0 = \frac{b}{s_b}$$

$$t_0 = 3,931088$$

(b). Nilai t_α

α	1%	2%	5%	10%
Nilai t_α	2,763	2,467	2,048	1,701

Karena $t_\alpha > t_0$, maka pendapat bahwa tidak ada pengaruh penurunan putaran motor dengan penurunan tegangan tidak benar/ditolak, sehingga ada pengaruh penurunan kecepatan putaran motor dengan tegangan

Table 2. Differences Between the USB-6008 and USB-6009

Feature	USB-6008	USB-6009
AI Resolution	12 bits differential, 11 bits single-ended	14 bits differential, 13 bits single-ended
Maximum AI Sample Rate, Single Channel*	10 kS/s	48 kS/s
Maximum AI Sample Rate, Multiple Channels (Aggregate)*	10 kS/s	48 kS/s
DIO Configuration	Open collector	Open collector or active drive
* System dependent.		

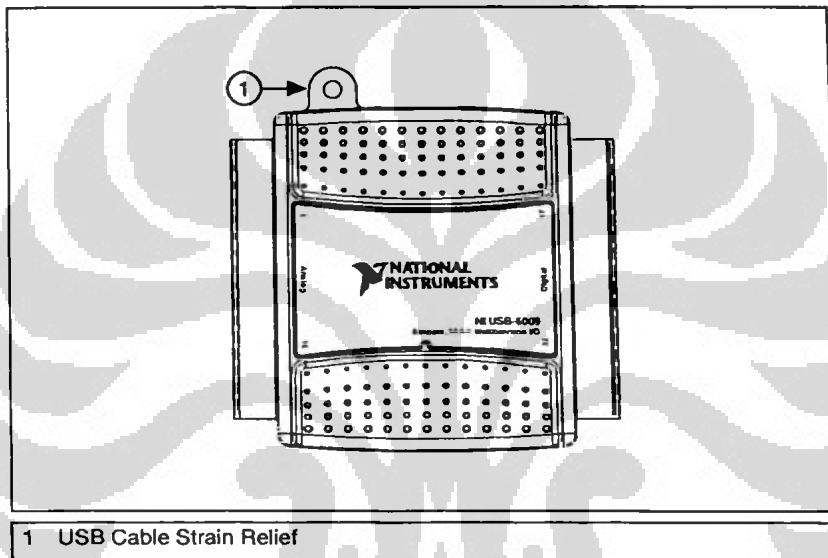


Figure 1. USB-6008/6009

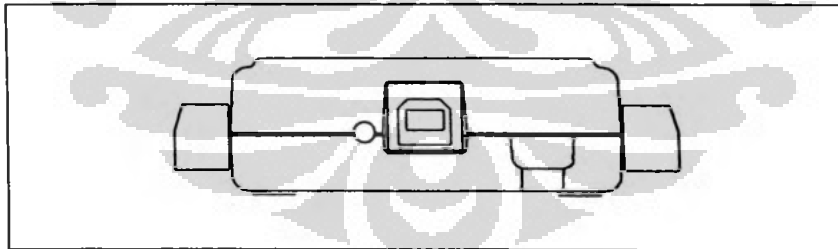


Figure 2. USB-6008/6009 Back View

Setting Up Hardware

Complete the following steps to set up the hardware:

1. Install combicon screw terminal blocks by inserting them into the combicon jacks.



Note The USB-6008/6009 kit ships with signal labels. You can apply the signal labels to the screw terminal blocks for easy signal identification.

2. Refer to Table 3 and Figure 4 for signal label orientation and affix the provided signal labels to the screw terminal blocks. Until the signal labels are applied, you can insert the screw terminal blocks into either of the combicon jacks.

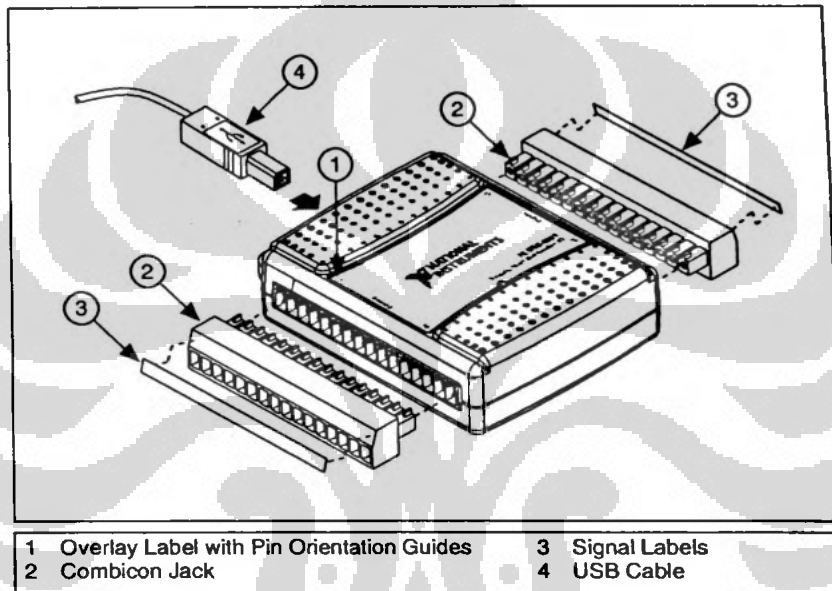


Figure 4. Signal Label Application Diagram



Note Once you label the screw terminal blocks, you must only insert them into the matching combicon jack, as indicated by the overlay label on the USB-6008/6009 device.

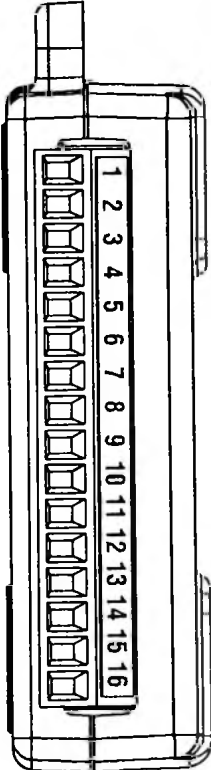
3. Connect the wiring to the appropriate screw terminals.

I/O Connector

The USB-6008/6009 ships with one detachable screw terminal block for analog signals and one detachable screw terminal block for digital signals. These terminal blocks provide 16 connections that use 16 AWG to 28 AWG wire.

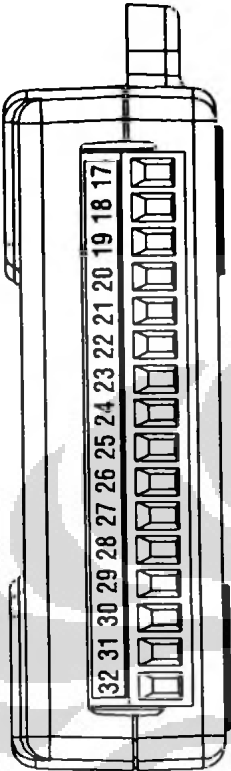
Table 3 lists the analog terminal assignments, and Table 4 lists the digital terminal assignments.

Table 3. Analog Terminal Assignments



Module	Terminal	Signal, Single-Ended Mode	Signal, Differential Mode
	1	GND	GND
	2	AI 0	AI 0+
	3	AI 4	AI 0-
	4	GND	GND
	5	AI 1	AI 1+
	6	AI 5	AI 1-
	7	GND	GND
	8	AI 2	AI 2+
	9	AI 6	AI 2-
	10	GND	GND
	11	AI 3	AI 3+
	12	AI 7	AI 3-
	13	GND	GND
	14	AO 0	AO 0
	15	AO 1	AO 1
	16	GND	GND

Table 4. Digital Terminal Assignments

Module	Terminal	Signal
	17	P0.0
	18	P0.1
	19	P0.2
	20	P0.3
	21	P0.4
	22	P0.5
	23	P0.6
	24	P0.7
	25	P1.0
	26	P1.1
	27	P1.2
	28	P1.3
	29	PFI 0
	30	+2.5 V
	31	+5 V
	32	GND