

**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO (S-1)
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**



SKRIPSI

ANALISIS PERBANDINGAN METODE DEFUZZIFIKASI *CENTER OF AREA* DAN *MEAN OF MAXIMA* PADA KENDALI LOGIKA FUZZY YANG DI IMPLEMENTASIKAN PADA MOTOR DC MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK MATLAB

Disusun oleh:
MUHAMMAD SYA'BAN
Nim : 01.12.010

Maret 2007

LEMBAR PERSETUJUAN

ANALISIS PERBANDINGAN METODE DEFUZZIFIKASI *CENTER OF AREA* DAN *MEAN OF MAXIMA* PADA KENDALI LOGIKA FUZZY YANG DI IMPLEMENTASIKAN PADA MOTOR DC MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK MATLAB

SKRIPSI

Disusun Untuk Melengkapi dan Memenuhi Syarat-Syarat Guna Mencapai Gelar Sarjana Teknik

Disusun Oleh :

**MUHAMMAD SYA'BAN
NIM. 01.12.010**

**Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Elektro**



**Ir. F. YUDI LIMPRAPTONO, MT
NIP. Y. 103 950 0274**

**Menyetujui,
Dosen Pembimbing**



**Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT
NIP.Y. 101 880 0189**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO (S-1)
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

ABSTRAKSI

ANALISIS PERBANDINGAN METODE DEFUZZIFIKASI *CENTER OF AREA* DAN *MEAN OF MAXIMA* PADA KENDALI LOGIKA FUZZY YANG DI IMPLEMENTASIKAN PADA MOTOR DC MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK MATLAB

(Muhammad Sya'ban, 01.12.010, Teknik Elektro S-1/Teknik Energi Listrik)
(Dosen Pembimbing : Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT)

Kata Kunci : Kendali Logika Fuzzy, *Center Of Area*, *Mean Of maxima*

Salah satu yang penting dalam mendesain sistem kendali konvensional adalah model matematika dari sistem. Model matematika untuk sistem linear masih bisa didapatkan tetapi pada sistem non-linear tidak mudah menurunkan model matematika dari sistem. Kendali logika fuzzy memberikan alternatif lain dalam sistem kendali. Dalam kendali logika fuzzy tidak diperlukan model matematika dari sistem karena kendali logika fuzzy bekerja berdasarkan aturan-aturan yang diekstrak sesuai dengan pemikiran dan pengetahuan manusia baik sebagai operator atau ahli. Pada skripsi ini disajikan hasil penelitian tentang implementasi kendali logika fuzzy dengan metode defuzzifikasi *center of area* dan *mean of maxima*. Dalam penelitian ini, kedua metode defuzzifikasi ini dibandingkan dengan mengimplementasikannya pada sistem plan yang sama.

Plan yang dipilih adalah sebuah motor dc yang dikendalikan kecepatannya. Proses logika fuzzy dilakukan dengan simulink menggunakan perangkat lunak matlab 7.0. Pengujian telah dilakukan dengan menggunakan variabel linguistik 5 dan variabel linguistik 7 dan bentuk *membership function* segitiga dan trapesium. Metode defuzzifikasi *center of area* memberikan respon yang lebih baik dibandingkan dengan metode *mean of maxima*.

KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur kehadiran Allah SWT, berkat limpahan Rahmat dan Hidayah-Nya, sehingga penyusun dapat menyelesaikan skripsi ini.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan dalam menyelesaikan studi program strata satu (S-1) jurusan Teknik Elektro, Program Studi Teknik Energi Listrik, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang

Sebelum dan selama penyusunan skripsi ini, penyusun telah banyak mendapatkan bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini penyusun menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Abraham Lomi, MSEE, selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang.
2. Bapak Ir. Mochtar Asroni, MSME, Selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Nasional Malang.
3. Bapak Ir. F. Yudi Limpraptono, MT, selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Nasional Malang.
4. Bapak Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT, selaku Dosen pembimbing.
5. Kedua orang tuaku, yang selalu memberikan do'a, kasih sayang dan dukungan hingga terselesaikannya skripsi ini.
6. Kakak dan adik-adikku yang selalu memberikan dorongan agar cepat menyelesaikan studi.

7. Serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu – persatu, yang turut serta membantu menyelesaikan skripsi ini.

Penyusun menyadari akan segala kekurangan yang ada dalam skripsi ini, maka dengan kerendahan hati penyusun mengharapkan kritik dan saran demi penyempurnaan skripsi ini. Akhirnya, kepada semua pihak yang telah bekerja keras dan bersungguh-sungguh hingga terwujudnya skripsi ini , saya menyampaikan penghargaan dan terima kasih.

Malang, Maret 2007

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
ABSTRAKSI.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xiv

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan	2
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Metodologi Penelitian.....	3
1.6. Sistematika Pembahasan.....	4
1.7. Kontribusi.....	4

BAB II LANDASAN TEORI

2.1. Umum	5
2.2. Prinsip Kerja Motor DC.....	6
2.3. Jenis-Jenis Motor DC.....	9
2.4. Motor DC Penguatan Terpisah.....	11

2.5. Pengaturan Kecepatan Motor DC	13
2.6. Pengaturan Tegangan Jangkar.....	14
2.7. Spesifikasi Motor DC	15

BAB III TEORI HIMPUNAN DAN KONSEP FUZZY

3.1. Umum	17
3.1.1. Konsep Dasar Logika Fuzzy.....	19
3.2. Himpunan Klasik.....	19
3.3. Himpunan Fuzzy	20
3.4. Fungsi Keanggotaan Himpunan Fuzzy.....	23
3.4.1. Operasi Himpunan Fuzzy.....	25
3.5. <i>Variabel Linguistik</i>	26
3.6. Pengendali Dengan Logika Fuzzy	28
3.6.1. Fuzzyfikasi.....	31
3.6.2. Basis Pengetahuan.....	32
3.6.2.1. Basis Data	32
3.6.2.1. Basis Aturan.....	35
3.7. Logika Pengambilan Keputusan.....	36
3.7.1. Bentuk Aturan Kendali Fuzzy	36
3.7.2. Fungsi Implikasi.....	37
3.8. Mekanisme Inferensi.....	38
3.9. Defuzzifikasi	40

BAB IV ANALISIS DAN SIMULASI PERBANDINGAN KINERJA

SISTEM KENDALI

4.1. Pemodelan Sistem 44

4.2. Kendali Logika Fuzzy..... 45

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan 60

5.2. Saran 60

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1	Konstruksi Motor DC	6
Gambar 2-2	Interaksi Antara Medan magnet Dan Penghantar Yang Dialiri Arus.....	7
Gambar 2-3	Rangkaian Jenis Motor DC Penguatan Terpisah.....	10
Gambar 2-4	Rangkaian Jenis Motor DC Penguatan Sendiri	11
Gambar 2-5	Diagram Skematik Jangkar-Medan Ter kendali Motor DC.....	14
Gambar 3-1	Himpunan Fuzzy Dan Istilahnya	21
Gambar 3-2	Himpunan Fuzzy Dan Penyokongnya	22
Gambar 3-3	Bentuk-Bentuk Fungsi Keanggotaan.....	23
Gambar 3-4	Fungsi Keanggotaan Segitiga.....	24
Gambar 3-5	Himpunan Fuzzy Untuk Kecepatan	27
Gambar 3-6	Bagian Pokok Kendali Fuzzy	29
Gambar 3-7	Diagram Blok Sistem Dengan Logika Fuzzy	30
Gambar 3-8	Himpunan fuzzy yang Terkuantisasi	34
Gambar 3-9	Blok Diagram Mekanisme Inferensi	39
Gambar 3-10	Mekanisme Inferensi MISO Dengan Operasi Max-Min	40
Gambar 3-11	Metode-metode Defuzzifikasi.....	41
Gambar 4-1	Teraan parameter Motor DC	43
Gambar 4-2	Model Simulink Sistem Pengaturan Kecepatan Motor DC	42
Gambar 4-3	Proses Fuzzyfikasi FIS Editor	42

Gambar 4-4	Respon Sistem Terhadap Setling Time (Ts) Dengan Kendali Fuzzy Dengan Beban Nol Menggunakan Metode COA Dengan 5 Fungsi Keanggotaan (Segitiga)	47
Gambar 4-5	Respon Sistem Terhadap Setling Time (Ts) Dengan Kendali Fuzzy Dengan Beban Nol Menggunakan Metode COA Dengan 7 Fungsi Keanggotaan (Segitiga)	47
Gambar 4-6	Respon Sistem Terhadap Setling Time (Ts) Dengan Kendali Fuzzy Dengan Beban Nol Menggunakan Metode COA Dengan 5 Fungsi Keanggotaan (Trapeسيوم)	48
Gambar 4-7	Respon Sistem Terhadap Setling Time (Ts) Dengan Kendali Fuzzy Dengan Beban Nol Menggunakan Metode COA Dengan 7 Fungsi Keanggotaan (Trapeسيوم).....	48
Gambar 4-8	Respon Sistem Terhadap Setling Time (Ts) Dengan Kendali Fuzzy Dengan Beban Nol Menggunakan Metode MOM Dengan 5 Fungsi Keanggotaan (Segitiga)	49
Gambar 4-9	Respon Sistem Terhadap Setling Time (Ts) Dengan Kendali Fuzzy Dengan Beban Nol Menggunakan Metode MOM Dengan 7 Fungsi Keanggotaan (Segitiga)	49
Gambar 4-10	Respon Sistem Terhadap Setling Time (Ts) Dengan Kendali Fuzzy Dengan Beban Nol Menggunakan Metode MOM Dengan 5 Fungsi Keanggotaan (Trapeسيوم).....	50
Gambar 4-11	Respon Sistem Terhadap Setling Time (Ts) Dengan Kendali Fuzzy Dengan Beban Nol Menggunakan Metode MOM	

	Dengan 7 Fungsi Keanggotaan (Trapeسيوم).....	50
Gambar 4-12	Respon Sistem Terhadap Setling Time (T_s) Dengan Kendali Fuzzy Dengan Beban Berubah ($T_b=0,50$) Menggunakan Metode COA Dengan 5 Fungsi Keanggotaan (Segitiga).....	51
Gambar 4-13	Respon Sistem Terhadap Setling Time (T_s) Dengan Kendali Fuzzy Dengan Beban Berubah ($T_b=0,50$) Menggunakan Metode COA Dengan 7 Fungsi Keanggotaan (Segitiga).....	51
Gambar 4-14	Respon Sistem Terhadap Setling Time (T_s) Dengan Kendali Fuzzy Dengan Beban Berubah ($T_b=1$) Menggunakan Metode COA Dengan 5 Fungsi Keanggotaan (Segitiga).....	52
Gambar 4-15	Respon Sistem Terhadap Setling Time (T_s) Dengan Kendali Fuzzy Dengan Beban Berubah ($T_b=1$) Menggunakan Metode COA Dengan 7 Fungsi Keanggotaan (Segitiga).....	52
Gambar 4-16	Respon Sistem Terhadap Setling Time (T_s) Dengan Kendali Fuzzy Dengan Beban Berubah ($T_b=0,50$) Menggunakan Metode COA Dengan 5 Fungsi Keanggotaan (Trapeسيوم).....	53
Gambar 4-17	Respon Sistem Terhadap Setling Time (T_s) Dengan Kendali Fuzzy Dengan Beban Berubah ($T_b=0,50$) Menggunakan Metode COA Dengan 7 Fungsi Keanggotaan (Trapeسيوم).....	53
Gambar 4-18	Respon Sistem Terhadap Setling Time (T_s) Dengan Kendali Fuzzy Dengan Beban Berubah ($T_b=1$) Menggunakan Metode COA Dengan 5 Fungsi Keanggotaan (Trapeسيوم).....	54

Gambar 4-19	Respon Sistem Terhadap Setling Time (T_s) Dengan Kendali Fuzzy Dengan Beban Berubah ($T_b=1$) Menggunakan Metode COA Dengan 7 Fungsi Keanggotaan (Trapeسيوم).....	54
Gambar 4-20	Respon Sistem Terhadap Setling Time (T_s) Dengan Kendali Fuzzy Dengan Beban Berubah ($T_b=0,50$) Menggunakan Metode MOM Dengan 5 Fungsi Keanggotaan (Segitiga)	55
Gambar 4-21	Respon Sistem Terhadap Setling Time (T_s) Dengan Kendali Fuzzy Dengan Beban Berubah ($T_b=0,50$) Menggunakan Metode MOM Dengan 7 Fungsi Keanggotaan (Segitiga)	55
Gambar 4-22	Respon Sistem Terhadap Setling Time (T_s) Dengan Kendali Fuzzy Dengan Beban Berubah ($T_b=1$) Menggunakan Metode MOM Dengan 5 Fungsi Keanggotaan (Segitiga)	56
Gambar 4-23	Respon Sistem Terhadap Setling Time (T_s) Dengan Kendali Fuzzy Dengan Beban Berubah ($T_b=1$) Menggunakan Metode MOM Dengan 7 Fungsi Keanggotaan (Segitiga)	56
Gambar 4-24	Respon Sistem Terhadap Setling Time (T_s) Dengan Kendali Fuzzy Dengan Beban Berubah ($T_b=0,5$) Menggunakan Metode MOM Dengan 5 Fungsi Keanggotaan (Trapeسيوم)	57
Gambar 4-25	Respon Sistem Terhadap Setling Time (T_s) Dengan Kendali Fuzzy Dengan Beban Berubah ($T_b=0,5$) Menggunakan Metode MOM Dengan 7 Fungsi Keanggotaan (Trapeسيوم)	57
Gambar 4-26	Respon Sistem Terhadap Setling Time (T_s) Dengan Kendali Fuzzy Dengan Beban Berubah ($T_b=1$) Menggunakan	

Metode MOM Dengan 5 Fungsi Keanggotaan (Trapezium)	58
Gambar 4-27 Respon Sistem Terhadap Setling Time (T_s) Dengan Kendali Fuzzy Dengan Beban Berubah ($T_b=1$) Menggunakan Metode MOM Dengan 7 Fungsi Keanggotaan (Trapezium)	58

DAFTAR TABEL

Tabel 3-1	Data Kuantisasi Himpunan Fuzzy	33
Tabel 3-2	Aturan Kendali Fuzzy Macvivar-Whelan.....	36
Tabel 4-1	Parameter Motor.....	44
Tabel 4-2	Fuzzy <i>If-Then Rule</i> Untuk Bentuk Segitiga Dan Trapesium <i>Variabel Linguistik 5</i>	46
Tabel 4-3	Fuzzy <i>If-Then Rule</i> Untuk Bentuk Segitiga Dan Trapesium <i>Variabel Linguistik 7</i>	46
Tabel 4-4	Nilai <i>Setling Time</i> (Ts) Hasil Simulasi Kendali Logika Fuzzy Dengan Metode <i>Center Of Area</i> Dan <i>Mean Of Maxima</i> Bentuk Segitiga Dan Trapesium Dengan <i>Variabel Linguistik 5</i> Dan 7.....	59

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Salah satu yang penting dalam mendesain sistem kendali konvensional adalah model matematika dari sistem. Model matematika untuk sistem linear masih bisa didapatkan tetapi pada sistem non-linear tidak mudah menurunkan model matematika dari sistem. Kendali logika fuzzy memberikan alternatif lain dalam sistem kendali. Dalam kendali logika fuzzy tidak diperlukan model matematika dari sistem karena kendali logika fuzzy bekerja berdasarkan aturan-aturan yang diekstrak sesuai dengan pemikiran dan pengetahuan manusia baik sebagai operator atau ahli. Dalam penelitian ini disajikan implementasi kendali logika fuzzy untuk pengaturan kecepatan motor dc. Proses fuzzy *inference* dalam kendali logika fuzzy terdiri atas 3 bagian yaitu fuzzifikasi, evaluasi rule dan defuzzifikasi. Fuzzifikasi mengubah nilai *crisp input* menjadi nilai *fuzzy input*. Proses evaluasi rule mengolah *fuzzy input* sehingga menghasilkan *fuzzy output*. Defuzzifikasi mengubah *fuzzy output* menjadi nilai *crisp output*. Sistem fuzzy yang didesain mempunyai satu *input* dan satu *output*. Dalam penelitian ini digunakan bentuk segitiga dan bentuk trapesium. Jumlah label *membership function* yang digunakan yaitu lima dan tujuh. Hal ini dilakukan untuk menguji bagaimana pengaruh jumlah label terhadap respon sistem kendali. Ada dua metode defuzzifikasi yang diterapkan yaitu *Center Of Area* dan *Mean Of Maxima*.

Dari kedua metode ini akan dibandingkan yang mana menghasilkan respon sistem yang baik.

1.2. Rumusan Masalah

1. Bagaimana perbandingan antara bentuk segitiga dan bentuk trapesium dalam memberikan respon sistem.
2. Bagaimana perbandingan antara *variabel linguistik 5* dan *variabel linguistik 7* dengan metode *Center Of Area* dalam memberikan respon sistem.
3. Bagaimana perbandingan antara metode *Center Of Area* dan *Mean Of Maxima* dalam memberikan respon sistem.

1.3. Tujuan Penelitian

Skripsi ini bertujuan untuk membandingkan metode defuzzifikasi *Center Of Area* dan *Mean Of Maxima* terhadap bentuk fungsi keanggotaan segitiga dan trapesium dengan *variabel linguistik 5* dan *variabel linguistik 7* agar mendapatkan hasil yang lebih optimal.

1.4. Batasan Masalah

Agar pembahasan skripsi ini lebih terarah sesuai dengan tujuan, maka permasalahan dibatasi oleh hal-hal sebagai berikut:

1. Perbandingan metoda *CENTER OF AREA* dan *MEAN OF MAXIMA* pada kendali logika fuzzy untuk pengaturan arus jangkarnya sedangkan arus medannya dijaga konstan.
2. Analisis dilakukan dengan mengimplementasikan motor DC penguatan terpisah tanpa beban sebagai objek yang dikendalikan, motor DC yang digunakan dianggap ideal serta tidak dibahas secara mendetail.
3. Perbandingan metoda *CENTER OF AREA* dan *MEAN OF MAXIMA* terhadap bentuk fungsi keanggotaan segitiga dan trapesium dengan variabel linguistik 5 dan variabel linguistik 7.
4. Simulasi dengan *software* Simulink MatLab 7.0.

1.5. Metodologi Penelitian

Metode yang dipakai untuk menyelesaikan masalah-masalah diatas adalah:

1. Studi Literatur
2. Perancangan simulasi dengan *software* Simulink Matlab.
3. Simulasi dan analisa data hasil perancangan.
4. Penarikan kesimpulan.

1.6. Sistematika

Pembahasan dalam Skripsi ini akan diuraikan dalam lima bab, yang penjabarannya adalah sebagai berikut :

- Bab I** : PENDAHULUAN
- Bab II** : LANDASAN TEORI
- Bab III** : TEORI HIMPUNAN DAN KONSEP LOGIKA FUZZY
- Bab IV** : ANALISIS DAN SIMULASI PERBANDINGAN KINERJA
SISTEM KENDALI
- Bab V** : PENUTUP

1.7. Kontribusi

Dengan membandingkan metode *Center Of Area* dan *Mean Of Maxima* dapat diketahui metode mana yang lebih baik apabila di implementasikan pada motor dc dan diharapkan akan dapat memperbaiki respon sistem pada motor dc.

BAB II

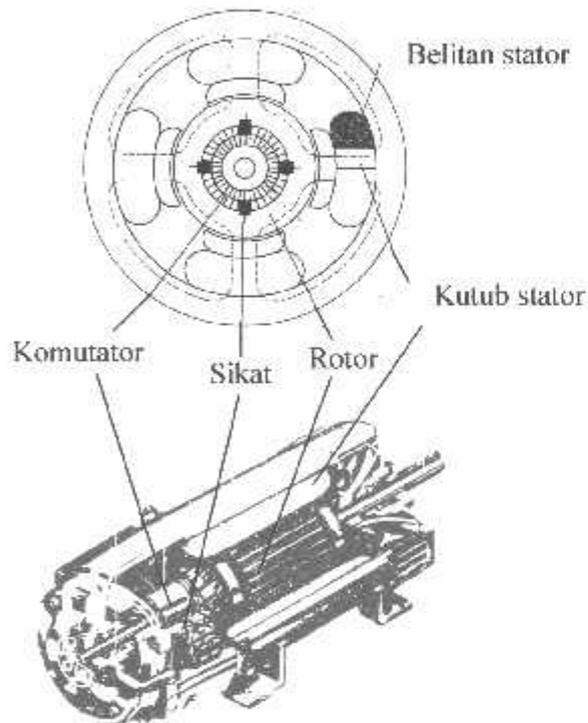
LANDASAN TEORI

2.1. Umum

Motor DC adalah peralatan elektromekanis yang mengubah daya listrik menjadi daya mekanis dengan arus searah sebagai suplai energi listriknya. Motor DC terdiri dari dua bagian dasar yaitu *stator* dan *rotor*. *Stator* merupakan bagian dari motor DC yang tidak bergerak sedangkan *rotor* merupakan bagian yang bergerak. Pada *stator* terdapat belitan yang dinamakan belitan medan karena berfungsi menghasilkan medan magnet, sedangkan pada *rotor* terdapat belitan yang dinamakan belitan jangkar karena berfungsi membawa arus beban. Pada poros *rotor* terdapat komutator dan sikat, komutator bergerak bersamaan dengan poros *rotor* sedangkan sikat tidak bergerak tetapi menyentuh komutator. Komutator berupa silinder yang terbuat dari beberapa segmen tembaga yang terisolasi satu sama lain, dan sikat terbuat dari bahan karbon. Komutator dan sikat secara bersamaan berfungsi sebagai penyearah. Gambar 2.1 merupakan gambar konstruksi motor DC.

Penggunaan motor arus searah sudah sangat dikenal secara luas. Keuntungan-keuntungan yang menonjol akan penggunaan motor-motor arus searah tersebut timbul dengan penunjukan karakteristik operasinya. Motor DC secara luas dipergunakan dalam berbagai macam penerapan yang memerlukan putaran yang dapat diatur dan beberapa penerapannya digunakan pada industri tekstil, industri kertas dan lain-lain.

Motor DC terutama motor DC penguatan terpisah mempunyai keunggulan-keunggulan tersendiri, yang mana motor DC penguatan terpisah ini mempunyai kecepatan yang hampir konstan pada tegangan jepit yang konstan meskipun terjadi perubahan beban.

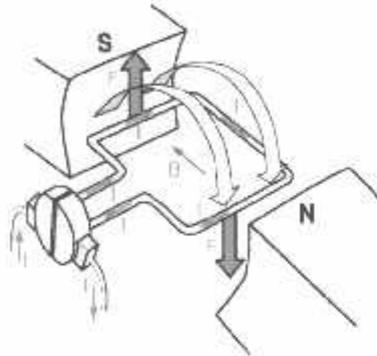


Gambar 2.1.
Konstruksi Motor DC⁽¹⁵⁾

2.2. Prinsip Kerja Motor DC

Prinsip kerja motor DC berdasarkan pada penghantar yang dialiri arus ditempatkan dalam suatu medan magnet sehingga penghantar tersebut akan mengalami gaya. Gaya menimbulkan torsi sehingga menghasilkan putaran.

Penghantar yang berputar akan menimbulkan tegangan AC sehingga diubah menjadi tegangan DC oleh komutator dan sikat.



Gambar 2.2.
Interaksi Antara Medan Magnet Dan Penghantar Yang Dialiri Arus^[4]

Gaya yang dihasilkan sebesar:

$$F = B.I.l \dots\dots\dots(2-1)$$

Gaya itu menimbulkan torsi sebesar:

$$T = F.r \dots\dots\dots(2-2)$$

$$T = B.I.l.r$$

dengan:

F = Gaya (N).

B = Rapat fluks (T).

I = Arus yang mengalir pada penghantar (A).

l = Panjang penghantar (m).

r = Jari-jari inti jangkar (m).

T = Torsi (Nm).

Jangkar memiliki jumlah penghantar dan cabang paralel penghantar sehingga dari Persamaan (2-1) dan (2-2) didapatkan:

$$T = \frac{Z}{a} B I_a l_r \dots\dots\dots(2-3)$$

dengan:

Z = Jumlah penghantar jangkar.

a = Jumlah cabang paralel penghantar jangkar yang berada di antara sikat.

I_a = Arus jangkar (A).

Rapat fluks yang dihasilkan sebesar:

$$B = \frac{\phi \cdot p}{2\pi r l} \dots\dots\dots(2-4)$$

Jika Persamaan (2-4) diberikan ke Persamaan (2-3) didapatkan:

$$T = \frac{z}{a} B I_a l_r = \frac{z}{a} \frac{\phi \cdot p}{2\pi r l} B I_a l_r$$

maka akan didapatkan nilai T sebesar :

$$T = \frac{p \cdot Z}{2\pi a} \phi I_a \dots\dots\dots(2-5)$$

Dimana telah diketahui bahwa besarnya nilai K pada motor DC sebagai berikut :

$$K = \frac{p \cdot z}{2\pi \cdot a}$$

Sehingga persamaan (2-5) dapat ditulis juga sebagai berikut :

$$T = K \phi I_a \dots\dots\dots(2-6)$$

dengan:

p = Jumlah kutub stator.

ϕ = Fluks tiap kutub stator (Wb).

K = Konstanta mesin.

Putaran jangkar yang berada dalam medan magnet akan menghasilkan gaya gerak listrik lawan sebesar:

$$E_a = K \phi \omega_m \dots\dots\dots(2-7)$$

Daya yang dihasilkan sebesar:

$$P = E_a I_a \dots\dots\dots(2-8)$$

Dari persamaan (2-7) dan (2-8):

$$P = K \phi I_a \omega_m \dots\dots\dots(2-9)$$

$$P = T \omega_m \dots\dots\dots(2-10)$$

dengan:

E_a = Gaya gerak listrik lawan (V).

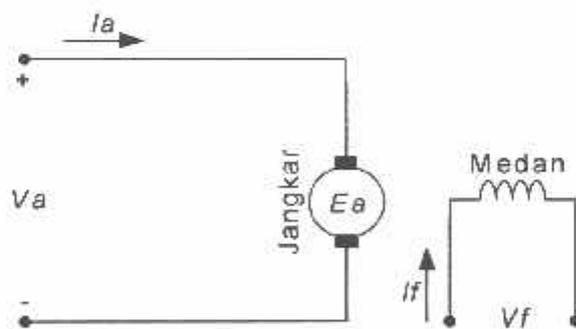
P = Daya (W).

ω_m = Putaran (rad/s).

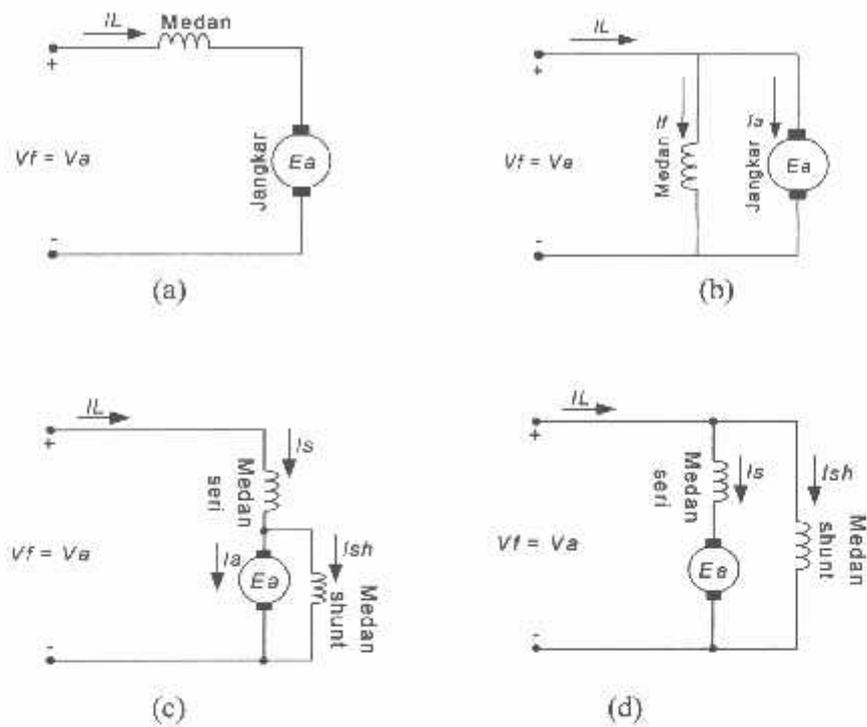
2.3. Jenis-Jenis Motor DC

Motor DC berdasarkan jenis penguatannya terbagi menjadi 2 yaitu: motor DC penguatan terpisah dan motor DC penguatan sendiri. Penguatan pada motor DC diberikan oleh belitan medan sehingga jenis penguatan motor DC berdasarkan pada cara pemberian catu tegangan pada belitan medan yang akan menimbulkan medan magnet.

Motor DC penguatan terpisah dicatu oleh dua sumber tegangan terpisah pada belitan medan dan belitan jangkarnya seperti pada Gambar 2.3. Motor DC penguatan sendiri dicatu oleh satu sumber pada belitan medan dan belitan jangkarnya. Motor DC penguatan sendiri berdasarkan cara menghubungkan belitan medan dan belitan jangkarnya terbagi menjadi tiga yaitu: motor DC *shunt*, seri dan kompon. Motor DC *shunt* belitan medan dan belitan jangkarnya dihubungkan paralel, motor DC seri belitan medan dan belitan jangkarnya dihubungkan seri, sedangkan motor DC kompon merupakan penggabungan dari motor DC *shunt* dan motor DC seri yang terbagi menjadi dua macam yaitu: kompon panjang dan kompon pendek seperti pada Gambar 2.4. Motor DC penguatan terpisah dibandingkan motor DC penguatan sendiri memiliki kelebihan dalam pengaturan tegangan sumbernya yaitu pengaturan tegangan jangkar dan pengaturan tegangan medan sehingga memiliki jangkauan pengaturan yang lebih luas.



Gambar 2.3.
Rangkaian Jenis Motor DC Penguatan Terpisah¹³



Gambar 2.4.
Rangkaian Jenis Motor DC Penguatan Sendiri (a) Seri. (b) Shunt.
(c) Kompon Pendek. (d) Kompon Panjang^[3]

Untuk selanjutnya di sini hanya akan ditinjau motor DC penguatan terpisah.

2.4. Motor DC Penguatan Terpisah

Rangkaian motor DC penguatan terpisah seperti pada Gambar 2.3. terdiri atas belitan medan dan belitan jangkar yang modelnya dapat diwakili oleh unsur-unsur resistansi dan induktansi. Berdasarkan rangkaian tersebut didapatkan persamaan:

$$V_f = R_f I_f + L_f \frac{dI_f}{dt} \dots\dots\dots(2-11)$$

$$V_a = E_a + I_a \cdot R_a + L_a \frac{dI_a}{dt} \dots\dots\dots(2-12)$$

Jika persamaan (2-7) diberikan ke persamaan (2-12) didapatkan:

$$V_a = K \cdot \phi \cdot \omega_m + I_a \cdot R_a + L_a \frac{dI_a}{dt} \dots\dots\dots(2-13)$$

Berdasarkan persamaan (2-6) untuk model mekanis motor DC penguatan terpisah adalah:

$$T = J \frac{d\omega}{dt} + B \cdot \omega + T_w \dots\dots\dots(2-14)$$

dengan:

V_f = Tegangan medan (V).

L_f = Induktansi belitan medan (H).

R_f = Resistansi belitan medan (Ω).

I_f = Arus medan (A).

V_a = Tegangan jangkar (V).

L_a = Induktansi belitan jangkar (H).

R_a = Resistansi belitan jangkar (Ω).

I_a = Arus jangkar (A).

J = Momen inersia ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$).

B = Koefisien gesekan motor $\{\text{Nm}/(\text{rad/s})\}$.

T_w = Torsi beban (Nm).

Untuk operasi motor dalam keadaan mantap pada persamaan (2-11), (2-12), (2-13), dan (2-14) turunan terhadap waktunya adalah nol sehingga persamaannya berturut-turut menjadi:

$$V_f = R_f \cdot I_f \quad \dots\dots\dots(2-15)$$

$$V_a = E_a + I_a \cdot R_a \quad \dots\dots\dots(2-16)$$

$$V_a = K \phi \omega_m + I_a \cdot R_a \quad \dots\dots\dots(2-17)$$

$$T = B \cdot \omega + T_u \quad \dots\dots\dots(2-18)$$

Untuk menghitung kinerja dari motor DC maka digunakan keempat persamaan di atas, yang terdiri atas tiga persamaan sistem listrik pada jangkar dan medan yaitu: persamaan (2-15), (2-16), (2-17) dan satu persamaan sistem mekanik pada poros *rotor* yaitu persamaan (2-18).

Berdasarkan persamaan (2-17) didapatkan hubungan antara *torsi* dan kecepatan motor DC penguatan terpisah sebagai berikut:

$$\omega = \frac{V_a - I_a \cdot R_a}{K \phi} \quad \dots\dots\dots(2-19)$$

2.5. Pengaturan Kecepatan Motor DC

Motor DC merupakan mesin penggerak yang banyak digunakan karena memiliki kelebihan pada pengaturan kecepatannya. Pada umumnya pengaturan kecepatan motor DC penguatan terpisah dan motor DC penguatan sendiri hampir sama. Pengaturan kecepatan pada motor DC penguatan terpisah lebih luas dibandingkan pengaturan kecepatan pada motor DC penguatan sendiri dikarenakan motor DC penguatan terpisah dicatu oleh dua sumber.

Untuk selanjutnya di sini hanya akan ditinjau pengaturan kecepatan motor DC penguatan terpisah.

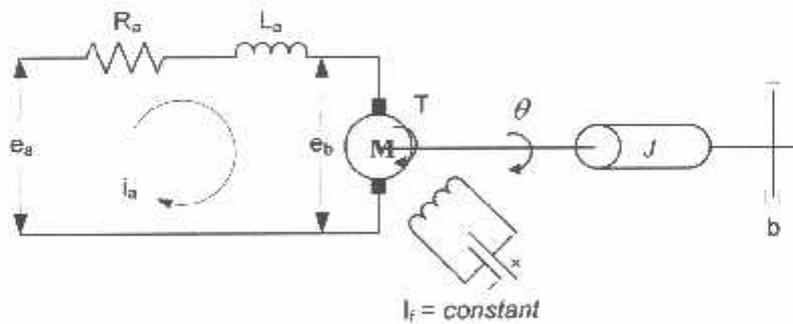
Kecepatan motor DC penguatan terpisah dapat diatur sesuai persamaan (2-19) dengan menggunakan tiga metode yaitu:

- Pengaturan fluksi/medan.
- Pengaturan resistansi jangkar.
- Pengaturan tegangan jangkar.

Untuk selanjutnya di sini hanya akan ditinjau motor DC penguatan terpisah dengan pengaturan jangkar.

2.6. Pengaturan Tegangan Jangkar

Pada metode ini resistansi jangkar dan sisi medannya dijaga konstan sehingga pengaturan hanya dilakukan pada tegangan jangkarnya. Pengaturan kecepatan dilakukan dengan mengatur tegangan jangkar seperti pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5.
Diagram Skematik Jangkar-Magnet Terkendali Motor DC⁽¹⁾

Dimana :

- R_a = tahanan kumparan jangkar (*ohm*)
- L_a = induktansi kumparan jangkar (*Henry*)
- e_a = tegangan yang dikenakan pada jangkar (*volt*)
- e_b = gaya gerak listrik (ggl) lawan motor (*volt*)
- i_a = arus kumparan jangkar (*ampere*)
- i_f = arus medan (*ampere*)
- θ = perpindahan sudut dari poros motor (*radian*)
- T = torsi yang diberikan oleh motor (*radian*)
- J = moment inersia ekivalen dari motor dan beban pada poros (*Kg-m²*)
- b = koefisien gesek (*N-m/rad/det*)

2.7. Spesifikasi Motor DC

Adapun parameter motor DC yang akan digunakan dalam Skripsi ini adalah sebagai berikut :

Adapun spesifikasi dari motor DC yang digunakan adalah sebagai berikut :

Data motor DC penguatan terpisah yang dipergunakan berdasarkan *name plate* adalah sebagai berikut:

- Jenis Motor : Motor DC *shunt*
- Daya : 1,1 kW
- Tegangan nominal jangkar : 220 V
- Arus nominal jangkar : 6,5 A

- Tegangan nominal medan : 190 V
- Arus nominal medan : 0,38 A
- Putaran : 3000 rpm

Dari pengujian didapat nilai-nilai parameter motor DC sebagai berikut :

- $V_u = 150 V$
- $T = 0,07 Nm$
- $N = 2500 rpm$
- $I_u = 0,84 A$
- $R_a = 4,71 \Omega$
- $L_a = 0,0293 H$
- $R_f = 422 \Omega$
- $L_f = 3,3 H$

Untuk menentukan konstanta motor ($K\phi$) diambil beberapa parameter dari data pengujian sebelumnya yaitu:

- $V_a = 150 V$
- $T = 0,07 Nm$
- $N = 2500 rpm$
- $I_a = 0,84 A$

Berdasarkan data di atas maka konstanta motor ($K\phi$) dapat dihitung sesuai persamaan (2-19).

BAB III

TEORI HIMPUNAN DAN KONSEP LOGIKA FUZZY

3.1. UMUM

Dalam bab ini akan dibahas mengenai konsep dasar logika fuzzy dan prinsip pengendaliannya pada sistem tenaga listrik, khususnya pada pengaturan kecepatan motor dc. Sistem tenaga listrik merupakan sistem yang kompleks dan sangat sulit untuk memodelkannya dalam suatu model matematis yang akurat, hal ini menyebabkan sistem tenaga listrik sangat cocok untuk diterapkan dengan menggunakan pengendali berbasis logika fuzzy.

Pada dasarnya orang mengenal obyek dengan memberikan kualifikasi secara kualitatif seperti besar, kecil, tinggi, rendah, agak, cukup, sangat dan sebagainya yang kesemuanya itu dikatakan sebagai variabel linguistik. Variabel linguistik inilah yang digunakan dalam konsep himpunan fuzzy.

Suatu dapat dikatakan benar dalam suatu kondisi dan juga bisa salah dalam kondisi lainnya "Batu kapur berwarna putih" adalah suatu dalil. Namun jika kita menemukan batu magnet yang mempunyai warna hitam maka dalil "batu berwarna putih" adalah salah. Sebaliknya jika yang kita jumpai atau kita pegang batu berwarna putih maka dalil tersebut benar. Tetapi bagaimana bila kita menjumpai batu sungai yang berwarna kelabu, maka dalil itu tidak salah dan tidak benar. Hal inilah yang melahirkan konsep himpunan fuzzy (*fuzzy set*).

Konsep himpunan fuzzy pertama kali dikenalkan oleh Prof. Lotfi A. Zadeh dari California University di Berkeley dalam makalahnya " *Fuzzy Set* " pada

tahun 1965. Teori dan aplikasinya terus dikembangkan oleh para ahli diantaranya adalah Richard Tong yang mengembangkan teori tentang model dinamis suatu sistem pengaturan dengan logika fuzzy melalui penurunan persamaan waktu diskrit dan konsep kestabilan serta M.M Gupta dan T. Yamakawa yang mengajukan struktur multi variabel untuk menganalisa sistem pengaturan fuzzy.

Secara laksikal, fuzzy berarti kabur atau tidak jelas. Logika fuzzy merupakan suatu metodologi untuk menyatakan hukum operasional sistem dengan ungkapan bahasa bukan dengan persamaan matematis.

Pada perancangan suatu sistem kendali umumnya ditentukan model matematisnya terlebih dahulu. Dalam kenyataannya, sistem asli ternyata tidak sepenuhnya dapat diwakilkan oleh model matematis yang dipakai untuk menyatakan sistem tersebut. Sehingga persamaan matematis sulit digunakan untuk mempresentasikan sistem tersebut. Dalam kasus seperti itu ungkapan bahasa yang digunakan dalam logika fuzzy dapat membantu mendefinisikannya, melalui ungkapan bahasa yang dinyatakan dalam implikasi logika yaitu aturan jika-maka (*if-then*), seperti contoh ini : **Jika** suhu ruangan panas **maka** atur kecepatan kipas angin pada posisi sedang. Ungkapan panas dan sedang sebenarnya adalah himpunan yang mendefinisikan sekumpulan variabel linguistik dan mempunyai nilai-nilai yang dikenal dengan fungsi keanggotaan.

Kendali logika fuzzy memiliki kelebihan yaitu variabel-variabel yang digunakan adalah variabel-variabel linguistik sehingga kendali logika fuzzy ini mengizinkan adanya unsur ketidakpastian, seperti halnya terdapat pada cara berpikir manusia. Kendali logika fuzzy ini mampu membuat model matematis

untuk melakukan pendekatan terhadap ketidakpastian pada cara berpikir manusia sehingga hal yang diinginkan untuk melakukan pendekatan terhadap ketidakpastian pada cara berpikir manusia sehingga hal yang diinginkan untuk dikerjakan oleh komputer yang menggunakan logika Boolean (ekstrim 0 atau 1) yang akan dibahas pada sub bab selanjutnya.

3.1.1. Konsep Dasar Logika Fuzzy

Ketidakpastian merupakan dasar pemikiran dari logika fuzzy, dan bagaimana logika fuzzy mampu untuk mempresentasikan ketidakpastian yang ada pada suatu sistem merupakan tujuan digunakannya pengendali berbasis logika fuzzy.

Pada awalnya persamaan matematis maupun teori probabilitas masih mampu menjawab tantangan terhadap sistem-sistem sederhana maupun yang kompleks, namun seiring dengan meningkatnya kompleksitas sistem diiringi dengan kebutuhan akan akurasi sistem yang baik, menyebabkan adanya kesulitan dalam memodelkan kerja sistem pengendalian konvensional. Dalam sistem pengendalian berbasis logika fuzzy tidak diperlukan adanya model matematis maupun fungsi alih, tetapi didasarkan kepada pengalaman kerja seorang operator dan pembelajaran sendiri dengan menggunakan kecerdasan buatan.

3.2. HIMPUNAN KLASIK

Pada himpunan klasik yang digunakan adalah logika Boolean (*Boolean logic*). Himpunan klasik memberikan jawaban yang merupakan suatu anggota

atau tidak dari suatu himpunan. Nilai yang dimungkinkan terbatas antara 0 dan 1 yang menunjukkan bukan anggota atau anggota himpunan bagian. Seperti hitam atau putih serta tidak mempunyai suatu keputusan untuk abu-abu. Harga 0 dan 1 diberikan oleh derajat keanggotaan (*degree of membership*) μ . Suatu pernyataan yang menggunakan logika Boolean dinamakan *crisp* atau pernyataan *non fuzzy*. Contoh dari pernyataan *crisp* yaitu :

- Jika kita menyatakan sekarang pasti turun hujan, pernyataan tersebut dapat bernilai 0 atau 1. Pernyataan ini dinamakan *crisp*.⁽¹¹⁾

Harga kebenaran himpunan A dalam semesta pembicaraan X dapat dinyatakan dengan :⁽⁶⁾

$$\mu_A(X) : \begin{cases} 1 \text{ jika } \in A \\ 0 \text{ jika } \notin A \end{cases} \dots\dots\dots(3.1)$$

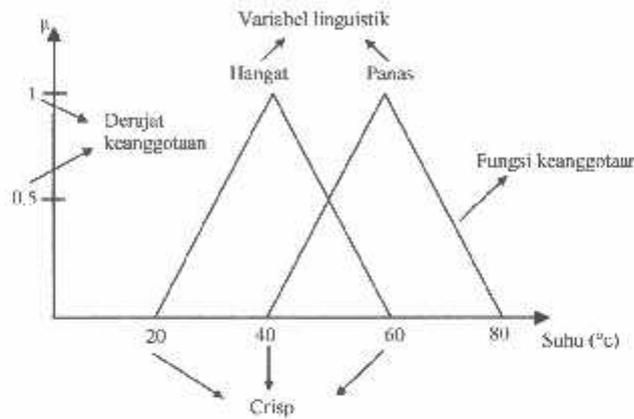
dimana \in adalah bagian himpunan.

3.3. HIMPUNAN FUZZY

Dalam mengendalikan sistem atau proses, seorang operator seringkali menggunakan besaran pengukuran yang dinyatakan dengan ungkapan cepat, lambat, cukup, agak dan sebagainya. Untuk mempresentasikan yang tidak eksak ini digunakan suatu pendekatan dengan himpunan fuzzy.

Pada logika fuzzy harga kebenaran ini diberikan oleh terminologi linguistik dengan menyatakan derajat kekaburannya (*fuzziness*). Logika fuzzy

dikembangkan dari logika boolean atau logika klasik (*crisp*) dimana pada logika fuzzy terdapat level-level diantara 0 samapai 1 atau antara salah dan benar. Agar lebih jelas gambar 3-1 memperlihatkan himpunan fuzzy beserta istilah-istilahnya.



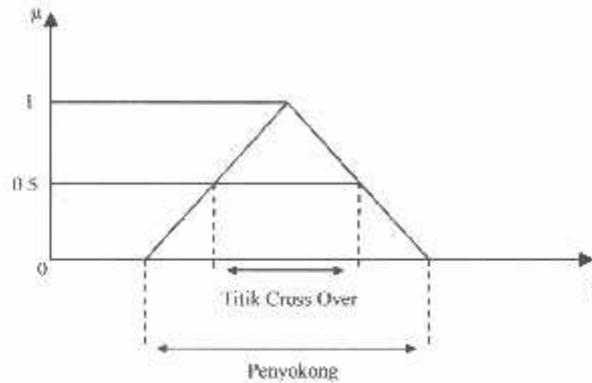
Gambar 3-1
Himpunan Fuzzy Dan Istilahnya

Jika X mempunyai elemen-elemen atau titik-titik yang terdiri dari x maka suatu elemen x dalam himpunan bagian fuzzy A mempunyai derajat keanggotaan $\mu_A(x)$. Jika $\mu_A(x) = 1$ maka x adalah himpunan bagian A , begitu pula sebaliknya. Jika $\mu_A(x) = \mu$ dengan $0 < \mu < 1$ maka dikatakan anggota A mempunyai derajat keanggotaan μ . Dalam himpunan fuzzy A , x disebut sebagai penyokong (*support*) A .

Penyokong himpunan bagian fuzzy A adalah kumpulan semua titik mulai dari x_1, x_2, \dots, x_n yang mana $\mu_A(x) > 0$ atau dapat ditulis sebagai :

$$\text{Penyokong} = \{x \mid \mu_A(x) > 0\} \dots\dots\dots(3.2)$$

Jika $\mu_A(x) = 0.5$ dikatakan sebagai titik cross over di A. Gambar 3-2 akan menjelaskan pernyataan tersebut.



Gambar 3-2
Himpunan Fuzzy Dan Penyokongnya

Himpunan fuzzy beserta unsur-unsur penyokongnya dapat dinyatakan sebagai berikut :

- $A = \{ \mu_A(x_i), i = 1, 2, 3, \dots, n \text{ dan } x \in X = \text{semesta pembicaraan} \}$ atau dapat pula dinyatakan dalam
- $A = \mu_1/x_1 + \mu_2/x_2 + \dots + \mu_n/x_n$, dimana tanda + menyatakan gabungan

$$= \sum_{i=1}^n \mu_i/x_i$$

$$= \bigcup_i \mu_i/x_i \dots\dots\dots(3.3)$$

Contoh sederhana agar lebih memahami pernyataan-pernyataan tersebut yaitu :

- Jika $X = \{ \text{lalapan, roti isi, rujak, tahu campur} \}$ adalah himpunan makanan yang harus dipilih untuk dijadikan sarapan dipagi hari.
- Himpunan fuzzy $C = \text{Sarapan yang diinginkan untuk dimakan pada pagi hari}$.

$$C = \{ (\text{lalapan}, 0.2), (\text{rujak}, 0.4), (\text{Roti isi}, 0.8), (\text{Tahu campur}, 0.6) \}$$

Atau

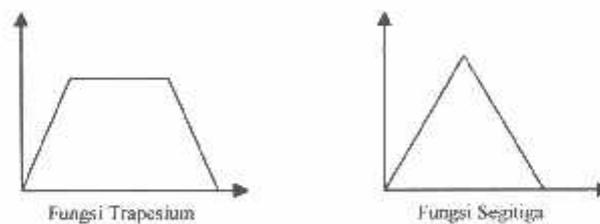
$$C = \text{Lalapan} \mid 0.2 + \text{Rujak} \mid 0.4 + \text{Roti isi} \mid 0.8 + \text{Tahu campur} \mid 0.6$$

Derajat keanggotaan yang terbesar mempunyai bobot lebih besar untuk menjadi anggota himpunan fuzzy tersebut. Dalam hal ini roti isi lebih diminati untuk dijadikan menu sarapan pagi daripada jenis makanan lainnya yang kurang diminati sebagai menu sarapan pagi.

3.4. FUNGSI KEANGGOTAAN HIMPUNAN FUZZY

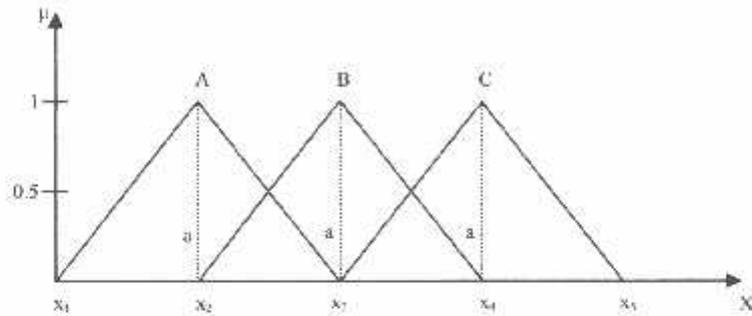
Untuk menyatakan tiap keanggotaan dari tiap penyokong dalam himpunan fuzzy digunakan fungsi keanggotaan (*membership function*). Fungsi keanggotaan ini mengkarakteristikan tiap penyokong dari himpunan fuzzy sedemikian rupa sehingga setiap penyokong mempunyai nilai keanggotaan dalam interval $[0 : 1]$.

Fungsi keanggotaan dapat berbentuk fungsi segitiga, fungsi eksponen, trapesium, fungsi S atau fungsi Z. Gambar 3-3 memperlihatkan fungsi-fungsi yang dimaksud. Disini dipilih pendekatan dengan fungsi segi tiga karena mempunyai perhitungan yang lebih cepat.⁽⁵⁾



Gambar 3-3
Bentuk Bentuk Fungsi Keanggotaan

Untuk menurunkan rumus dalam mencari derajat keanggotaan pada fungsi keanggotaan segitiga, gambar 3-4 dapat dijadikan dasar agar memudahkan penurunan rumus tersebut.



Gambar 3-4
Fungsi Keanggotaan Segitiga

Derajat keanggotaan himpunan A adalah :

$$\begin{aligned} \mu_A(x) &= 0 && \forall x \leq x_1 \text{ atau } x \geq x_2 \\ \mu_A(x) &= (x-x_1)/x_2 && \forall x_1 \leq x \leq x_2 \\ &= (x_3-x)/x_2 && \forall x_2 \leq x \leq x_3 \dots\dots\dots(3.4) \end{aligned}$$

dimana \forall = "didefinisikan dengan" atau "dimana".

Derajat keanggotaan masing-masing himpunan bagian fuzzy dapat pula ditentukan dengan rumus :

$$\mu_I(x) = 1 - \sqrt{\frac{(x-a)^2}{b}} \dots\dots\dots(3.5)$$

dimana b adalah titik tengah semua himpunan bagian fuzzy. Karena yang digunakan adalah fungsi segitiga simetris (seragam) maka nilai b adalah sama

untuk semua himpunan. Dalam hal ini $b = (x_3 - x_1)/2$ untuk himpunan A, $(x_4 - x_2)/2$ untuk himpunan B dan $(x_5 - x_3)/2$ untuk himpunan C. Sedangkan a adalah titik tengah masing-masing himpunan bagian fuzzy, yaitu untuk himpunan A: $a = x_2$ untuk himpunan B: $a = x_3$ dan untuk himpunan C: $a = x_4$.

Pada umumnya fungsi keanggotaan yang digunakan didefinisikan dengan dua cara yaitu

- 1) Pendefinisian secara numerik, digunakan untuk mendefinisikan fungsi keanggotaan pada himpunan fuzzy dengan bilangan.
- 2) Pendefinisian secara fungsional digunakan untuk mendefinisikan fungsi keanggotaan pada himpunan fuzzy dengan fungsi keanggotaan.

3.4.1. Operasi Himpunan Fuzzy

Operasi himpunan A dan B dari semesta pembicaraan (*universe of discourse*) X dengan fungsi keanggotaan masing-masing μ_A dan μ_B adalah :

- a. A adalah komplemen B

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_B(x)$$

- b. Gabungan (union) A dengan B atau ($A \cup B$)

$$\begin{aligned} \mu_{A \cup B}(x) &= \text{Max} [\mu_A, \mu_B] (x) \\ &= \vee [\mu_A, \mu_B] \end{aligned}$$

- c. Irisan (Intersection) A dengan B atau ($A \cap B$)

$$\begin{aligned} \mu_{A \cap B}(x) &= \text{Min} [\mu_A, \mu_B] \\ &= \wedge [\mu_A, \mu_B] \end{aligned}$$

3.5. VARIABEL LINGUISTIK

Sistem kendali dengan pendekatan logika fuzzy merupakan sistem pengaturan yang menirukan cara kerja manusia dalam melakukan proses pengambilan keputusan melalui ungkapan-ungkapan kualitatif yang diindranya. Sebagai contoh, seorang operator yang mengatur suatu proses secara manual akan menggunakan ungkapan-ungkapan seperti sangat besar, sedang, mendekati maksimum, sekitar *set poin* dan sebagainya.

Dalam sistem kendali variabel linguistik dapat dinyatakan dengan ungkapan linguistik NB (Negatif Besar), NS (Negatif Sedang), NK (Negatif Kecil), SN (Sekitar Nol), PK (Positif Kecil), PS (Positif Sedang), dan PB (Positif Besar) untuk variabel masukan dan keluaran.

Secara sederhana *variabel linguistik* dapat dinyatakan dengan pasangan $(\mu, T(\mu), X)$. μ menyatakan nama variabel dan $T(\mu)$ adalah istilah yang menyatakan seperangkat nama dari besaran linguistik untuk himpunan bagian fuzzy pada semesta pembicaraan X . Sebagai contoh variabel kecepatan dipakai sebagai variabel linguistik, maka seperangkat istilah $T(\text{kecepatan})$ pada semesta pembicaraan X (kecepatan putaran generator) dapat dituliskan :

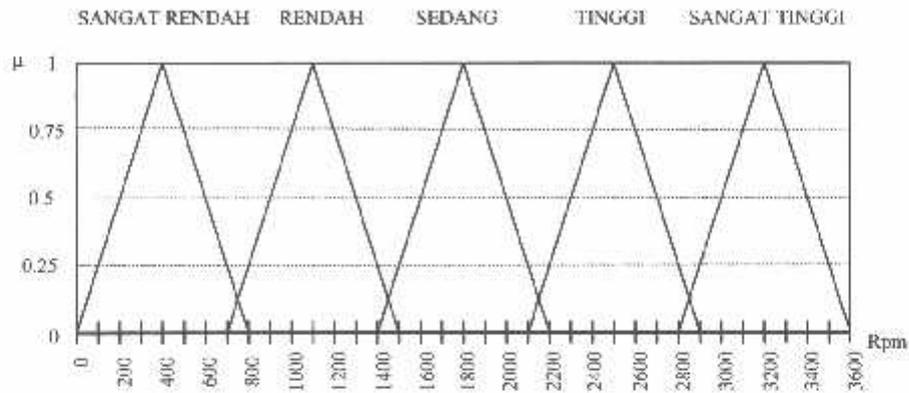
- $T(\text{kecepatan}) = \{ \text{sangat rendah, rendah, sedang, tinggi, sangat tinggi} \}$

Jika jelajah dari semesta pembicaraan X dimisalkan dengan nilai $[0:3600]$

rpm maka berlaku ketentuan seperti :

Kecepatan putaran sangat rendah $[0:800]$, rendah $[700:1500]$, sedang $[1400:2200]$, tinggi $[2100:2900]$, dan sangat tinggi $[2800:3600]$.

Derajat keanggotaan dan fungsi keanggotaan untuk data diatas dapat digambarkan dalam gambar 3-5



Gambar 3-5
Himpunan Fuzzy Untuk Kecepatan

Perhitungan derajat keanggotaan dapat dicari sebagai berikut (untuk fungsi segitiga) :

- $\mu_{(0)} = (0-0)/400 = 0$ (untuk himpunan Rendah)
- $\mu_{(720)} = (800-720)/400 = 0.2$ (untuk himpunan Sangat Rendah)
 $= (720-700)/400 = 0.05$ (untuk himpunan Rendah)

Atau dapat dinyatakan dengan

- $\mu_{(0)} = 1 - \sqrt{\frac{(0-400)^2}{400}} = 0$ (untuk himpunan Rendah)
- $\mu_{(720)} = 1 - \sqrt{\frac{(720-400)^2}{400}} = 0.2$ (untuk himpunan Sangat Rendah) dan
- $\mu_{(720)} = 1 - \sqrt{\frac{(720-1100)^2}{400}} = 0.05$ (untuk himpunan Rendah)

Tinjau himpunan Sangat Rendah dan Rendah, untuk kecepatan 720 rpm mempunyai derajat keanggotaan masing-masing 0.2 dan 0.05 masing-masing pada himpunan Sangat Rendah dan himpunan Rendah, sehingga mempunyai nilai kebenaran yang sama kuat untuk menjadi anggota himpunan Sangat Rendah. Sedang untuk 750 rpm mempunyai nilai kebenaran yang sama kuat untuk menjadi anggota himpunan Sangat Rendah dan himpunan Rendah dengan derajat keanggotaan = 0.05.

3.6. PENGENDALI DENGAN LOGIKA FUZZY

Perancangan kendali logika fuzzy menggabungkan aspek pendefinisian himpunan fuzzy dengan aspek logika fuzzy untuk memperoleh suatu sistem kendali yang dapat beroperasi layaknya seorang operator ahli, sehingga dikenal dengan sistem pengaturan cerdas. Sistem pengaturan cerdas ini dapat dirancang berdasarkan empat pendekatan yaitu

1. Pendekatan berdasarkan basis pengetahuan (*knowledge Base*) seorang operator ahli.
2. Pendekatan logika fuzzy dengan *variabel linguistik*.
3. Pendekatan dengan jaringan syaraf tiruan (*artificial neural network*).
4. Gabungan antara *artificial neural network* dan logika fuzzy yang dikenal sebagai Neuro fuzzy.

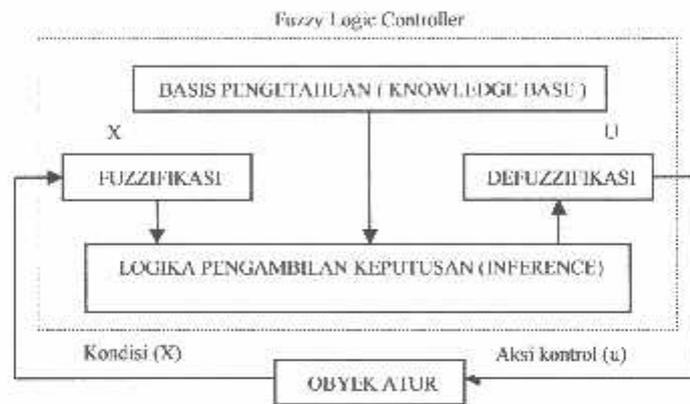
Kesemuanya ini dikenal sebagai pendekatan yang berorientasi manusia (*human oriented*). Disini hanya digunakan suatu sistem kendali dengan

pendekatan logika fuzzy. Kendali logika fuzzy membuat keputusan dengan menggunakan aturan *if-then* (jika-maka) berdasarkan masukan dan keluaran.

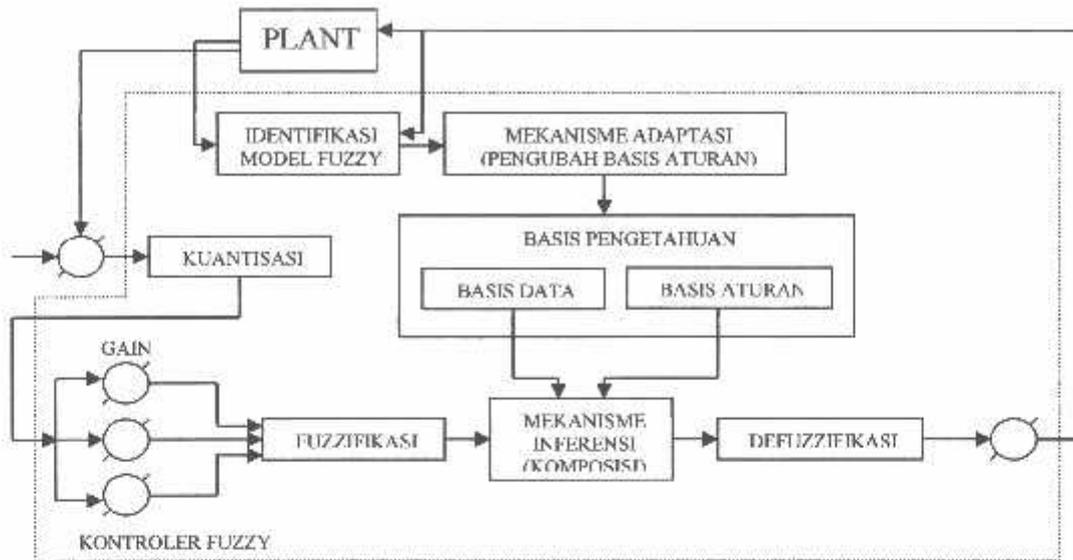
“ Jika $e = NB$ dan $\Delta e = PK$ maka $u = NS$ “

Dimana e = error output dengan variabel linguistik NB, Δe = perubahan error dengan variabel linguistik PK, dan u = sinyal atur dengan variabel linguistik NS.

Secara umum kendali logika fuzzy mempunyai empat bagian pokok yang dipresentasikan dalam gambar 3-6.



Gambar 3-6
Bagian Pokok Kendali Logika Fuzzy



Gambar 3-7
Diagram Blok Sistem Pengaturan Dengan Logika Fuzzy

Keempat bagian tersebut mempunyai fungsi sebagai berikut :

- 1) Fuzzifikasi, berfungsi untuk mentransformasikan sinyal masukan yang bersifat *crisp (non fuzzy)* ke himpunan fuzzy dengan menggunakan operator *fuzzier*.
- 2) Basis pengetahuan, berisi basis data dan basis aturan yang mendefinisikan himpunan fuzzy atas daerah-daerah masukan dan keluaran dan menyusunnya kedalam basis aturan. Penyusunan basis pengetahuan didasari oleh pengetahuan dan pengalaman seseorang sehingga data-data yang ada dapat dibuat aturan kendalinya.
- 3) Logika pengambilan keputusan, adalah inti dari kendali logika fuzzy yang mempunyai kemampuan seperti manusia dalam mengambil keputusan dan kesimpulan.

- 4) Defuzzifikasi, berfungsi untuk mentransformasikan kesimpulan tentang aksi kendali yang bersifat fuzzy menjadi sinyal yang bersifat *crisp* melalui operator *defuzzier*.

3.6.1. Fuzzifikasi

Dalam aplikasi suatu pengaturan, besaran masukan yang diperoleh dari sistem melalui sensor akan selalu berupa *crisp* yang bersifat pasti dan kualitatif. Pemetaan dari masukan *crisp* kedalam himpunan fuzzy yang memakai variabel linguistik dinamakan pengkaburan atau fuzzyfikasi (*fuzzyfication*).

Fuzzifikasi merupakan proses awal untuk mengubah masukan yang berupa *non fuzzy* menjadi himpunan fuzzy menjadi himpunan fuzzy sehingga dalam tahap ini, mula-mula dikembangkan fungsi keanggotaan dan derajat keanggotaan. Suatu masukan *crisp* mempunyai derajat keanggotaan dalam beberapa fungsi keanggotaan sekaligus dalam suatu saat. Hal ini dapat ditunjukkan dalam gambar 3-5. 720 rpm dimiliki oleh himpunan sangat rendah dengan $\mu = 0.2$ dan himpunan rendah dengan $\mu = 0.05$.

Fuzzifikasi dinyatakan oleh pernyataan $x = Fuzzifier$ dimana X adalah masukan *crisp* (*non fuzzy*), x adalah himpunan fuzzy yang disertai dengan derajat keanggotaan dan *fuzzifier* adalah operator fuzzifikasi. Sebagai contoh, *fuzzifier* (720 rpm) = himpunan Sangat Rendah dengan derajat keanggotaan 0.2 dan *fuzzifier* (720 rpm) = himpunan Rendah dengan derajat keanggotaan 0.05.

3.6.2. Basis Pengetahuan

Basis pengetahuan (*knowledge base*) dalam kendali logika fuzzy adalah bagian yang berisi Basis Data dan Basis Aturan. Basis pengetahuan harus dipersiapkan terlebih dahulu sebelum proses yang lain dimulai, sehingga pada saat melakukan proses mekanisme inferensi basis pengetahuan langsung dapat dipergunakan.

3.6.2.1. Basis Data

Basis data mendefinisikan himpunan fuzzy atas himpunan *input-output* dalam bentuk variabel linguistik. Pembuatan basis data harus memperhatikan hal-hal sebagai berikut :

1) Kuantisasi.

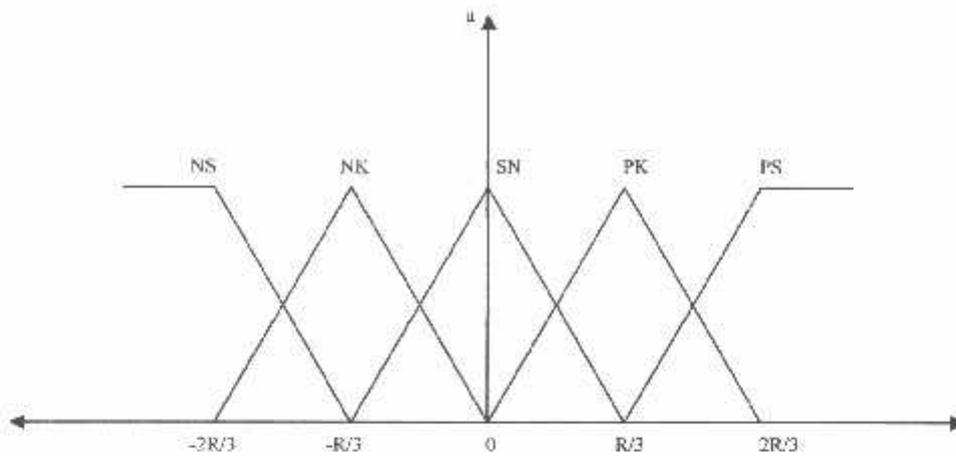
Dalam aplikasi industri harga terukur adalah analog. Harga ini harus diubah menjadi harga digital dengan ADC (*Analog to Digital Converter*) agar dapat diproses oleh komputer. Selanjutnya oleh komponen elektronik dirangkaian pengendali (biasanya dengan IC khusus logika fuzzy yaitu AL 220 atau NLX 220) dilakukan proses kuantisasi yaitu pembagian semesta pembicaraan dalam segmen-segmen tertentu yang disebut dengan level kuantisasi. Prosedur ini biasanya dinyatakan dalam bentuk tabulasi penerapannya dalam bentuk *look up table* (tabel pandang).

Himpunan fuzzy untuk setiap variabel dinyatakan dengan ungkapan linguistik NB (Negatif Besar), NS (Negatif Sedang), NK (Negatif Kecil), SN (Sekitar Nol), PK (Positif Kecil), PS (Positif Sedang), dan PB (Positif Besar) atau

ungkapan lainnya seperti tinggi, sedang, kecil, panas, hangat, dingin dan sebagainya. Tabel 3-1 menunjukkan contoh data kuantisasi dengan lima variabel linguistik dan gambar 3-8 merupakan himpunan fuzzy yang terkuantisasi.⁽⁵⁾

Tabel 3-1
Data Kuantisasi Himpunan Fuzzy

RANGE SEGMENT	JANGKAUAN	a	b	HIMPUNAN FUZZY
$(-R, R)$	$(-R, -R/3)$	$-2R/3$	$R/3$	NS
$(-R, R)$	$(-2R/3, 0)$	$-R/3$	$R/3$	NK
$(-R, R)$	$(-R/3, -R/3)$	0	$R/3$	SN
$(-R, R)$	$(0, -2R/3)$	$R/3$	$R/3$	PK
$(-R, R)$	$(R/3, R)$	$2R/3$	$R/3$	PS



Gambar 3-8
Himpunan Fuzzy Yang Terkuantisasi

Pada tabel tersebut terdapat lima level kuantisasi. Pemilihan jumlah level kuantisasi mempengaruhi kepekaan kendali logika fuzzy terhadap masukan dan kehalusan aksi kendali pada keluaran. Semakin banyak level kuantisasinya adalah semakin baik. Tetapi karena *look up table* menggunakan beberapa memori pada komputer maka dalam menentukan jumlah level harus ada kompromi antara penghematan memori dan biaya.

2) Pemilihan fungsi keanggotaan

Pemilihan fungsi keanggotaan dapat dipilih bebas termasuk jenis fungsinya beserta nilai keanggotaannya. Tetapi pemilihan ini harus dapat menggambarkan karakteristik masing-masing himpunan fuzzy. Jenis-jenis fungsi keanggotaan telah dibahas dalam subbab 3.3.

3.6.2.2 Basis Aturan

Basis aturan adalah bagian yang menggambarkan dinamika suatu sistem terhadap masukan yang dikarakteristikan oleh sekumpulan variabel-variabel linguistik dan berbasis pengetahuan seorang operator ahli. Pernyataan tersebut umumnya dinyatakan oleh suatu pernyataan bersyarat. Dalam pembentukan basis aturan perlu diperhatikan aspek :

1. Variabel masukan dan keluaran *error* (e) dan perubahan *error* (Δe) tetap menjadi acuan utama bagi aturan kendali suatu sistem kendali yang berbasis logika fuzzy ini sehingga akan menghasilkan aksi kendali (u) yang sesuai.
2. Penurunan aturan kendali fuzzy

Salah satu cara menurunkan aturan kendali fuzzy adalah dengan mengumpulkan aturan-aturan kendali fuzzy yang dibentuk dari analisa perilaku obyek atur. Aturan kendali diturunkan dengan jalan mengoreksi simpangan keluaran sistem menuju keadaan yang diinginkan.

Agar diperoleh kinerja sistem kendali yang lebih baik digunakan tujuh variabel linguistik yaitu NB, NS, NK, SN, PK, PS dan PB yang masing-masing berarti negatif besar, negatif sedang, negatif kecil, sekitar nol, positif kecil, positif sedang, positif besar untuk variabel e , Δe dan u . Penyempurnaan aturan kendali terus menerus dilakukan oleh para ahli. Mac Vicar Whelan yang meneliti masalah penyempurnaan basis aturan menemukan pola hubungan antara e , Δe dan u . Penurunan lengkap dari aturan kontrol ini ditunjukkan dalam tabel 3-2 yang

disebut sebagai tabel Mac Vicar Whelan. Hasil penyempurnaan ini sangat dianjurkan oleh operator ahli.

Tabel 3-2
Aturan Kendali Fuzzy Macvicar-Whelan

		Δe						
		NB	NS	NK	SN	PK	PS	PB
e	NB	NB	NB	NB	NB	NS	NK	SN
	NS	NB	NB	NB	NS	NK	SN	PK
	NK	NB	NB	NS	NK	SN	PK	PS
	SN	NB	NS	NK	SN	NK	PS	PB
	PK	NS	NK	SN	PK	PS	PB	PB
	PS	NK	SN	PK	PS	PB	PB	PB
	PB	SN	PK	PS	PB	PB	PB	PB

3.7. LOGIKA PENGAMBILAN KEPUTUSAN

Persoalan dari kendali logika fuzzy terletak pada logika pengambilan keputusannya yang meniru pengambilan keputusan pada manusia. Untuk memahami proses pengambilankesimpulan dalam logika fuzzy, hal-hal berikut ini harus diperhatikan.

3.7.1. Bentuk Aturan Kendali Fuzzy

Seorang operator ahli yang berpengalaman akan menggunakan aturan kendali yang berbentuk *If-Then*. Untuk sistem dengan satu masukan-satu keluaran (*Single Input Single Output = SISO*) aturannya adalah :

- Aturan ke-1 : Jika A adalah x_1 maka B adalah y_1 .
-
-
- Aturan ke-n : Jika A adalah x_n maka B adalah y_n

Dimana A adalah variabel masukan dan B adalah variabel keluaran serta x dan y adalah variabel linguistiknya. Sedangkan untuk sistem banyak masukan satu keluaran (*Multi Input Single Output*) aturan kendalinya adalah :

- Aturan ke-1 : Jika A adalah x_1 dan B adalah y_1 maka C adalah z_1
-
-
- Aturan ke-n : Jika A adalah x_n dan B adalah y_n maka C adalah z_n

Dimana A dan B adalah variabel masukan (misalnya e dan Δe), x dan y adalah himpunan fuzzy dengan variabel linguistik yaitu, NB, NS, NK, SN, PK, PS, PB, C adalah variabel keluaran, z adalah himpunan fuzzy untuk z yaitu, NB, NS, NK, SN, PK, PS, PB.

3.7.2. Fungsi Implikasi

Aturan kendali pada dasarnya adalah relasi fuzzy yang dinyatakan sebagai suatu hubungan sebab akibat yang disebut sebagai implikasi fuzzy (*fuzzy implication*). Pada suatu sistem kendali dengan logika fuzzy hubungan ini menyatakan suatu pemetaan antara variabel fuzzy melalui pernyataan kondisional yaitu :

- Jika A adalah x maka B adalah y atau $A \rightarrow B$ dimana $x \in X$ dan $y \in Y$
atau

$$\mu_R = \mu (A \rightarrow B) (x,y) \dots\dots\dots(3.6)$$

Tanda (\rightarrow) menyatakan fungsi implikasi yang menghubungkan suatu input (*antecedent*) dari himpunan A dengan output B (*consequent*). Implikasi linguistik ini dinamakan relasi fuzzy.

Persamaan (3.5) diatas digunakan untuk sistem satu input-satu output (SISO). Untuk sistem MISO berlaku ⁽⁵⁾

- Jika A adalah X dan B adalah y maka C adalah z atau $A \times B \rightarrow C$ atau

$$\begin{aligned} \mu_R = \mu (A \text{ dan } B \rightarrow C) (x,y,z) \text{ dimana } x \in X, y \in Y \text{ dan } z \in Z \\ = [\mu_A (x) \text{ dan } \mu_B (y)] \rightarrow \mu_c (z) \dots\dots\dots(3.7) \end{aligned}$$

3.8. MEKANISME INFERENSI

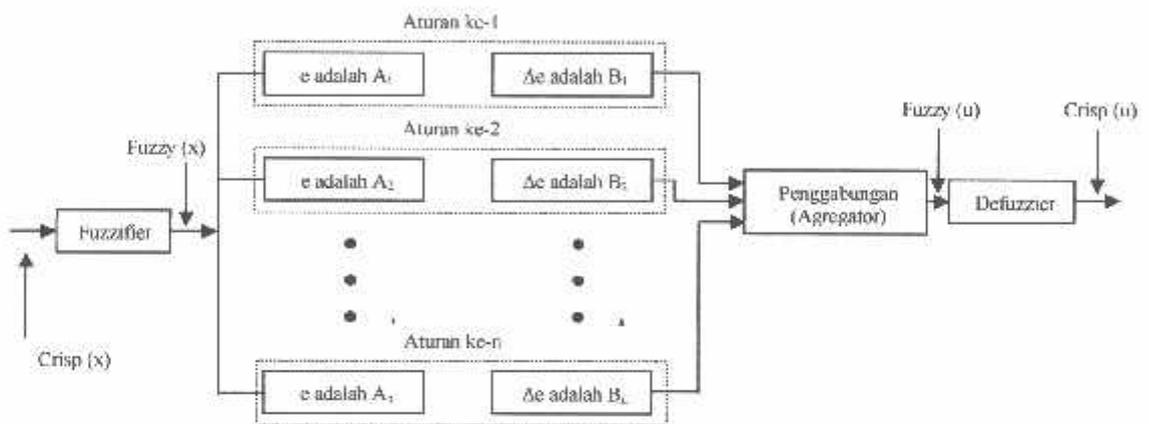
Untuk mengkombinasikan aturan-aturan kendali yang digunakan kata hubung yang secara umum dinyatakan dengan :

- **Rule 1** : Jika e adalah A_1 dan Δe adalah B_1 maka u adalah C_1
- **Rule 2** : Jika e adalah A_2 dan Δe adalah B_2 maka u adalah C_2
-
-
- **Rule n** : Jika e adalah A_n dan Δe adalah B_n maka u adalah C_n
- **Kesimpulan** : u adalah C.

Maksud dari pernyataan diatas adalah variabel masukan e dan Δe masing-masing mempunyai linguistik A (A_1, \dots, A_n) dan B (B_1, \dots, B_n) dan variabel

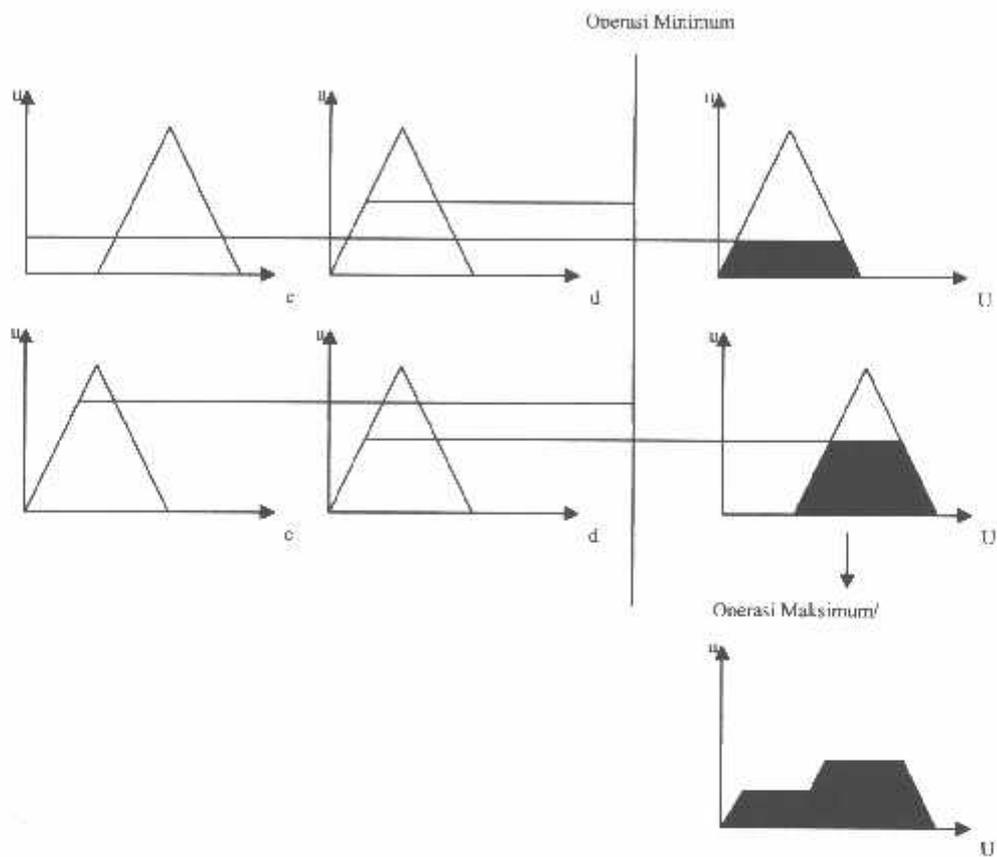
keluaran u mempunyai variabel linguistik C (C_1, \dots, C_n). Keseluruhan aturan kendali ini harus dapat menghasilkan satu keluaran berupa kesimpulan. Proses pengambilan kesimpulan ini dinyatakan sebagai mekanisme inferensi.⁽⁴⁾

Dari uraian diatas, mekanisme inferensi yang terdiri dari beberapa aturan (*rule*) dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 3-9
Blok Diagram Mekanisme Inferensi

Metode inferensi yang banyak digunakan adalah metode inferensi Mamdani, seorang pakar sistem kendali dari *Queen Mari Colledge* di London yang mempunyai nama lengkap Ebrahim H. Mamdani. Metode inferensi Mamdani ini pertama kali dipakai untuk mengendalikan kombinasi ketel dan mesin uap dengan menggunakan aturan kendali dan variabel linguistik yang didapat dari operator yang berpengalaman. Metode inferensi untuk MISO dari Mamdani yang digunakan adalah metode *maksimum-minimum (max-min method)*. Prinsip dasar operasi max-min terlihat dalam gambar 3-10.



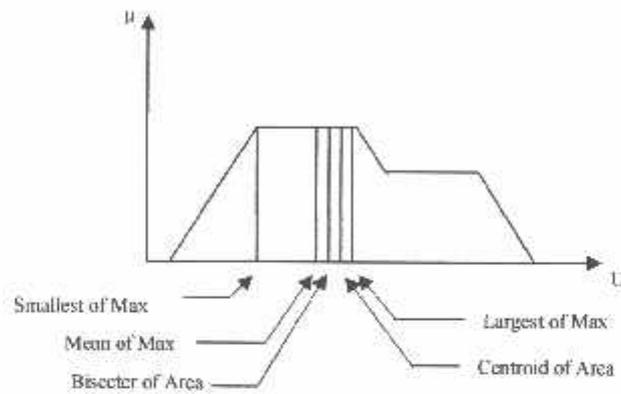
Gambar 3-10
Mekanisme Inferensi MISO Dengan Operasi Max-Min

3.9. DEFUZZIFIKASI

Proses defuzzifikasi merupakan kebalikan dari proses fuzzifikasi, yaitu mentransformasikan harga fuzzy ke harga bukan fuzzy (*crisp*) atau pemetaan dari ruang aksi kendali fuzzy ke ruang aksi kendali *crisp*. Secara garis besar strategi defuzzifikasi bertujuan menghasilkan aksi kendali yang nyata yang dapat mempresentasikan aksi kendali masing-masing basis aturan. Defuzzifikasi ini dinyatakan sebagai :

$$U = \text{Defuzzifier}(U) \dots\dots\dots(3.8)$$

Ada beberapa metode defuzzifikasi yang terdapat dalam literatur, yaitu *centroid of area*, *mean of max membership*, *bisevter of area*, *smallest of max* dan *largest of max*. Gambar 3-11 mempresentasikan metode-metode defuzzifikasi yang dimaksud.



Gambar 3-11
Metode-Metode Defuzzifikasi

Dari lima metode defuzzifikasi tersebut, yang paling banyak digunakan adalah *centroid of area method* atau yang disebut juga sebagai *center of area* dan *center of gravity*. Metode ini didefinisikan sebagai nilai yang terletak dalam jangkauan variabel sinyal atur u dengan daerah yang terletak dibawah fungsi keanggotaan dibagi dua sub daerah yang sama.

Metode defuzzifikasi yang akan digunakan dalam simulasi adalah dua metode, yaitu :

- **Metode Center Of Area (COA)**^[2]

Metode COA ini adalah metode yang paling sering digunakan. Strategi ini dibangkitkan dari pusat berat (*center of gravity*) pada aksi kendali. Dalam kasus diskrit aksi kendali ditunjukkan sebagai :

$$U = \frac{\sum U_i \mu_i}{\sum \mu_i} \text{ untuk SISO(3.9)}$$

Sedangkan untuk MISO berlaku :

$$U = \frac{\sum U_i \mu_i}{\sum \mu_i} \text{(3.10)}$$

Dimana :

$i = 1, \dots, 49$ menyatakan jumlah aturan kendali MISO (7 x 7)

U_i adalah titik pusat masing-masing himpunan variabel keluaran ke- i

μ_i adalah variabel minimum untuk tiap variabel linguistik.

- **Metode Main Of Maxima (MOM)**^[2]

Metode MOM mempresentasikan nilai titik tengah dari keluaran yang fungsi anggotanya maximum. Fungsinya ditunjukkan sebagai :

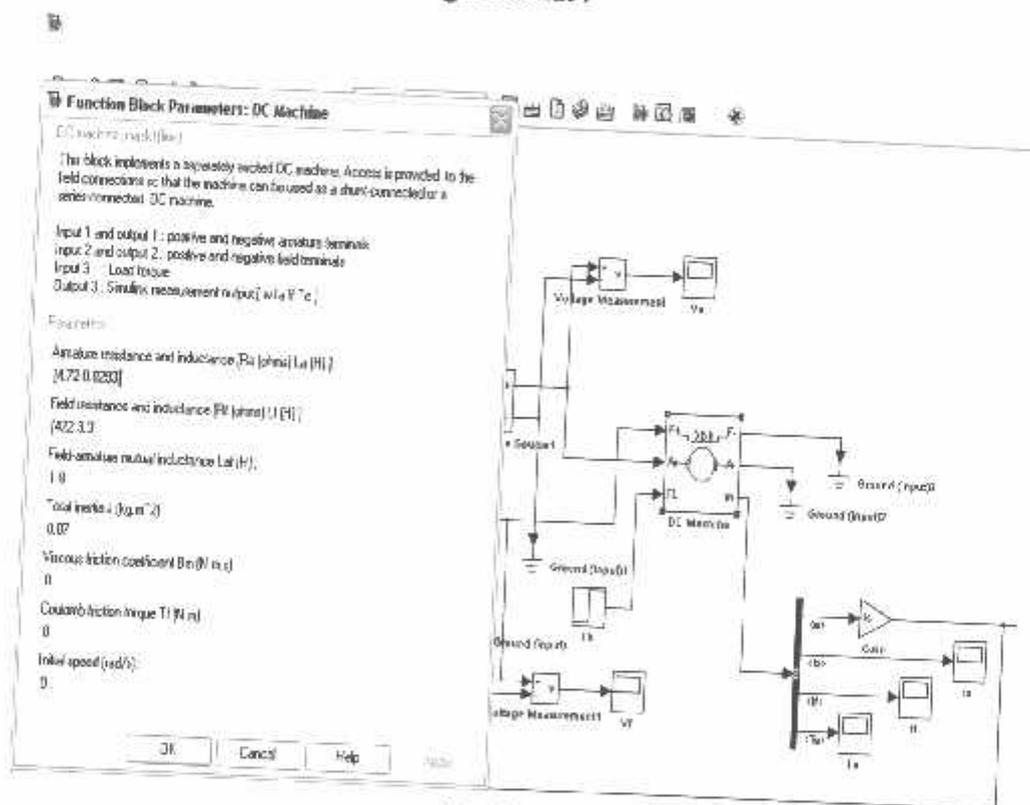
$$Z_0 = \sum_{l=1}^n \frac{z_l}{l} \text{(3.11)}$$

BAB IV

ANALISIS DAN SIMULASI PERBANDINGAN KINERJA SISTEM KENDALI

Dalam bab ini akan dilakukan simulasi pengaturan kecepatan motor DC. Simulasi dilakukan dengan Simulink MatLab 7.0 . Sebelum simulasi terlebih dahulu dibuat model simulink dan rangkaian pengaturan motor DC nya.

Pada pengujian ini motor yang digunakan yaitu, motor DC shunt, dengan teraan parameter-parameter sebagai berikut :



Gambar 4.1
Teraan Paramcter Motor DC

Tabel 4-2
Fuzzy If-Then Rule untuk bentuk Segitiga dan Trapesium 5 variabel linguistik

		Error					
		ΔV	NB	NK	ZE	PK	PB
DError	NB	NB	PB	PB	ZE	NK	NK
	NK	NK	PB	PB	ZE	NK	NK
	ZE	ZE	PB	PB	ZE	NK	NK
	PK	PK	PK	PK	NK	NK	NK
	PB	PB	PK	ZE	NB	NB	NB

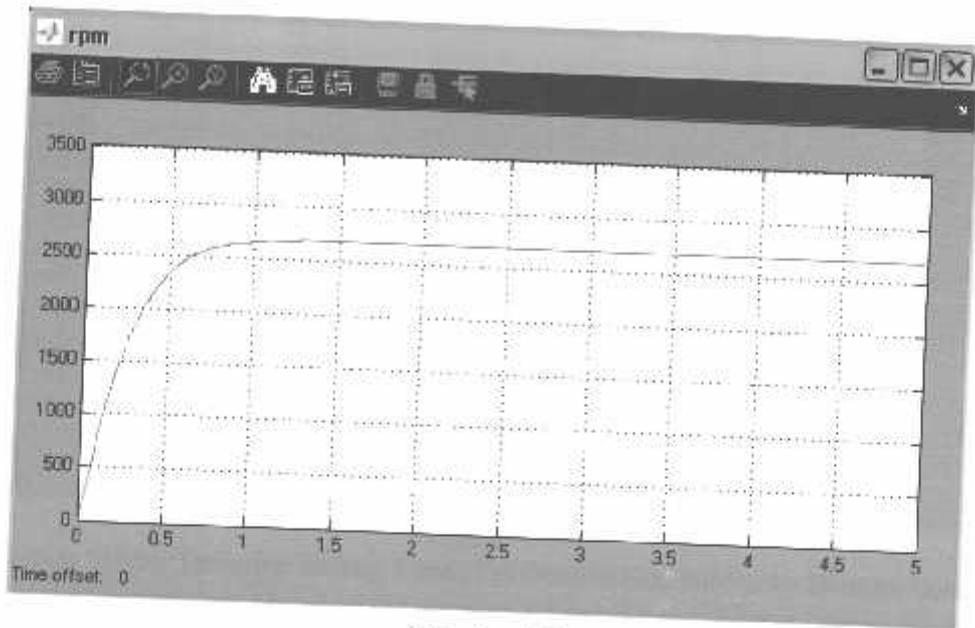
Tabel 4-3
Fuzzy If-Then Rule untuk bentuk Segitiga dan Trapesium 7 variabel linguistik

		Error							
		ΔV	NB	NS	NK	ZE	PK	PS	PB
DError	NB	NB	PB	PS	PK	PS	NK	NK	NS
	NS	NS	PB	PS	PK	PB	NK	NK	NS
	NK	NK	PB	PS	PK	PK	NK	NK	NS
	ZE	ZE	PB	PS	PK	ZE	NK	NK	NS
	PK	PK	PB	PS	PK	NK	NK	NK	NB
	PS	PS	PB	PK	ZE	NB	NS	NS	NB
	PB	PB	PB	PK	NK	NS	NS	NS	NB

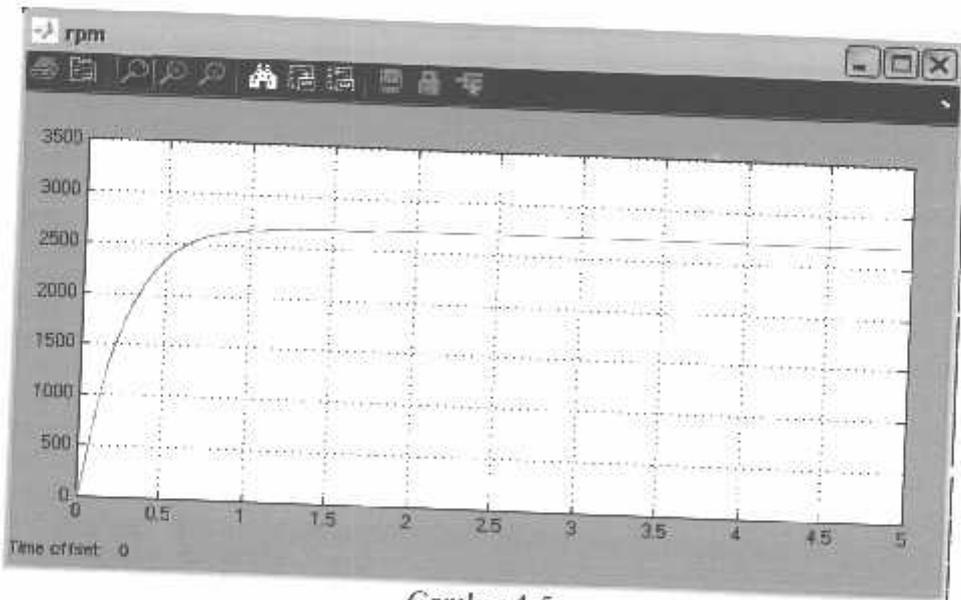
Ket :

- NB = Negatif Besar
- NS = Negatif Sedang
- NK = Negatif Kecil
- ZE = Zero
- PB = Positif Besar
- PS = Positif Sedang
- PK = Positif Kecil

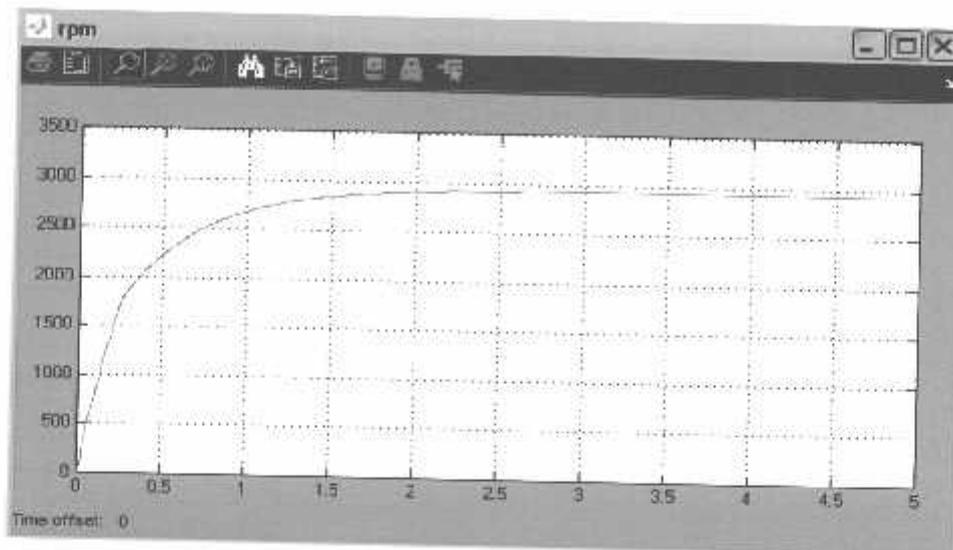
Berikut gambar hasil simulasi :



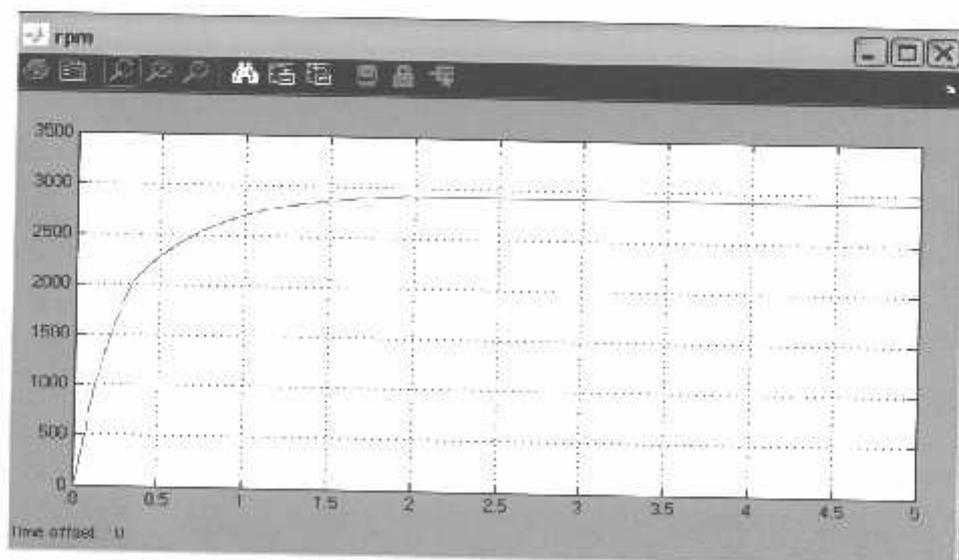
Gambar 4-4
Respon Sistem Terhadap Setling Time (T_s) Dengan Kendali Fuzzy Dengan Beban Nol Menggunakan Metode COA Dengan 5 Fungsi Keanggotaan (Segitiga)



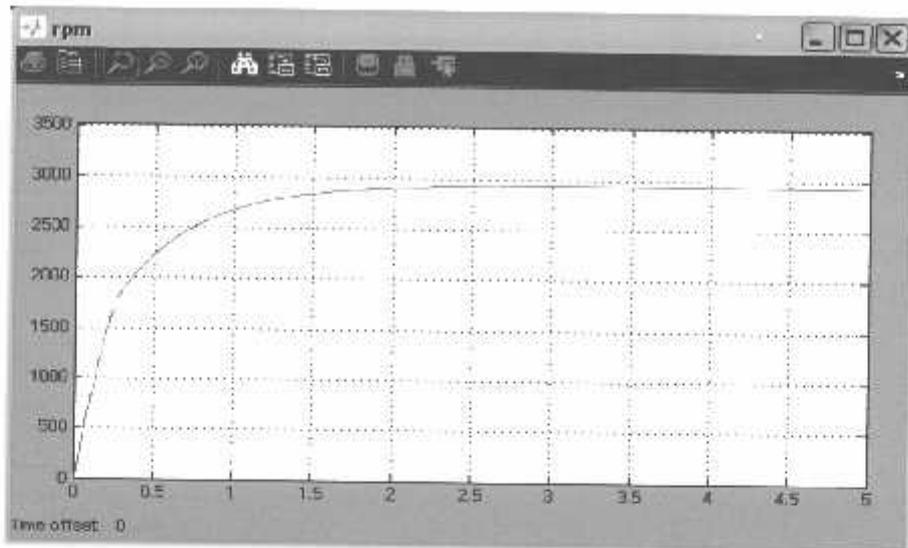
Gambar 4-5
Respon Sistem Terhadap Setling Time (T_s) Dengan Kendali Fuzzy Dengan Beban Nol Menggunakan Metode COA Dengan 7 Fungsi Keanggotaan (Segitiga)



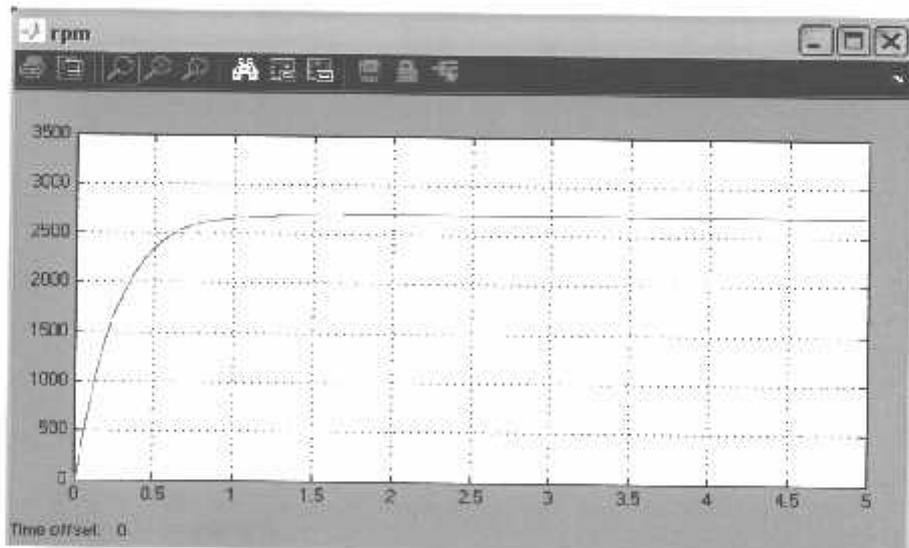
Gambar 4-8
 Respon Sistem Terhadap *Settling Time* (T_s) Dengan Kendali Fuzzy Dengan Beban Nol Menggunakan Metode MOM Dengan 5 Fungsi Keanggotaan (Segitiga)



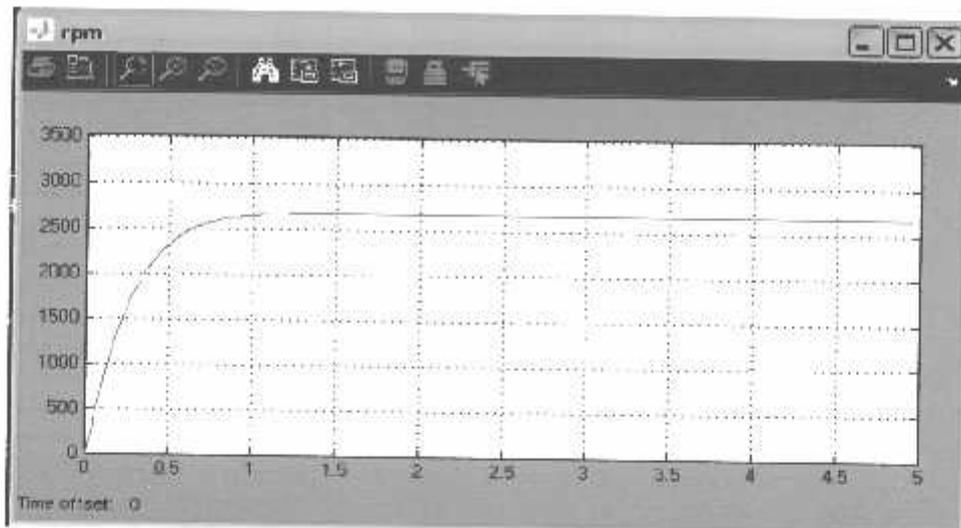
Gambar 4-9
 Respon Sistem Terhadap *Settling Time* (T_s) Dengan Kendali Fuzzy Dengan Beban Nol Menggunakan Metode MOM Dengan 7 Fungsi Keanggotaan (Segitiga)



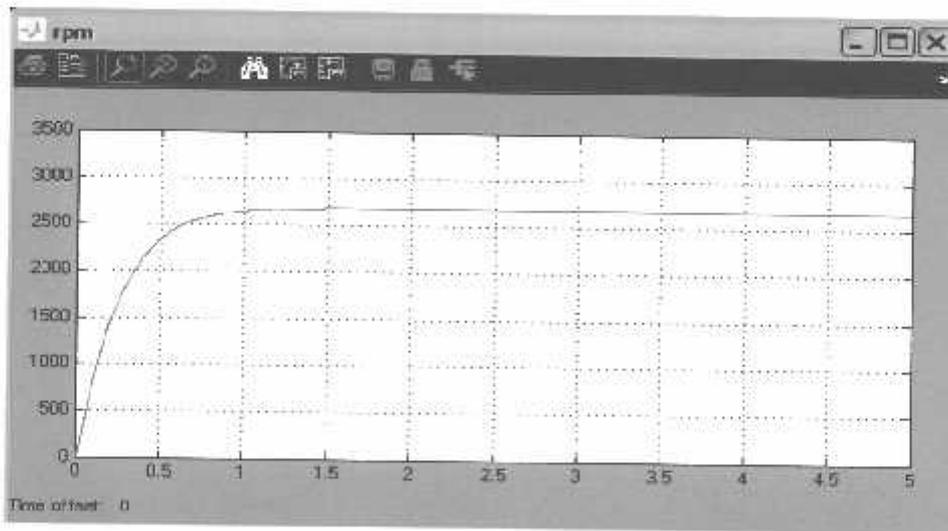
Gambar 4-10
 Respon Sistem Terhadap *Setling Time* (T_s) Dengan Kendali Fuzzy Dengan Beban Nol Menggunakan Metode MOM Dengan 5 Fungsi Keanggotaan (Trapezium)



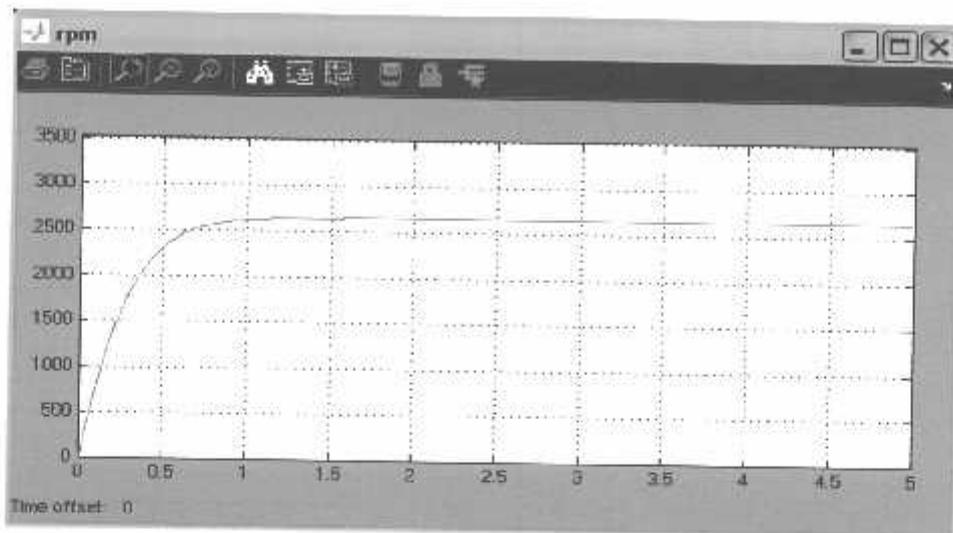
Gambar 4-11
 Respon Sistem Terhadap *Setling Time* (T_s) Dengan Kendali Fuzzy Dengan Beban Nol Menggunakan Metode MOM Dengan 7 Fungsi Keanggotaan (Trapezium)



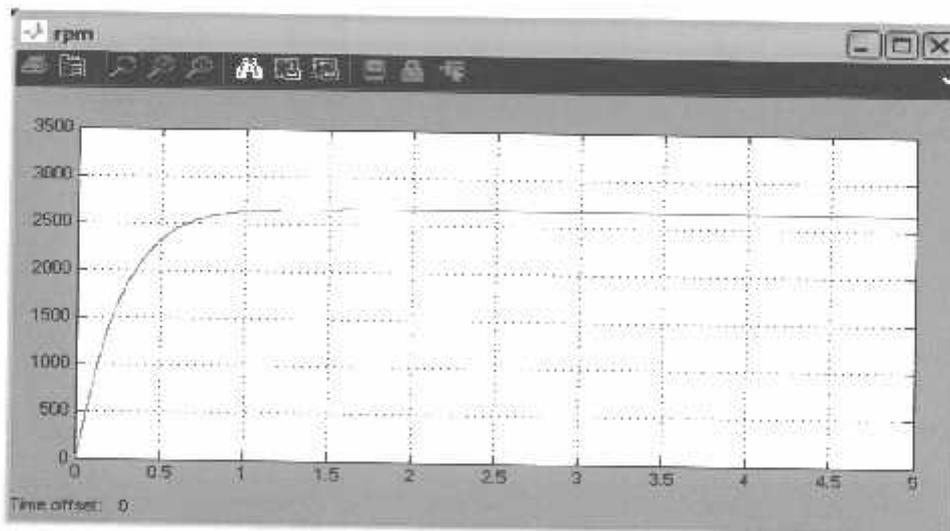
Gambar 4-12
 Respon Sistem Terhadap *Setling Time* (T_s) Dengan Kendali Fuzzy Dengan Beban Berubah ($T_b=0,50$) Menggunakan Metode COA Dengan 5 Fungsi Keanggotaan (Segitiga)



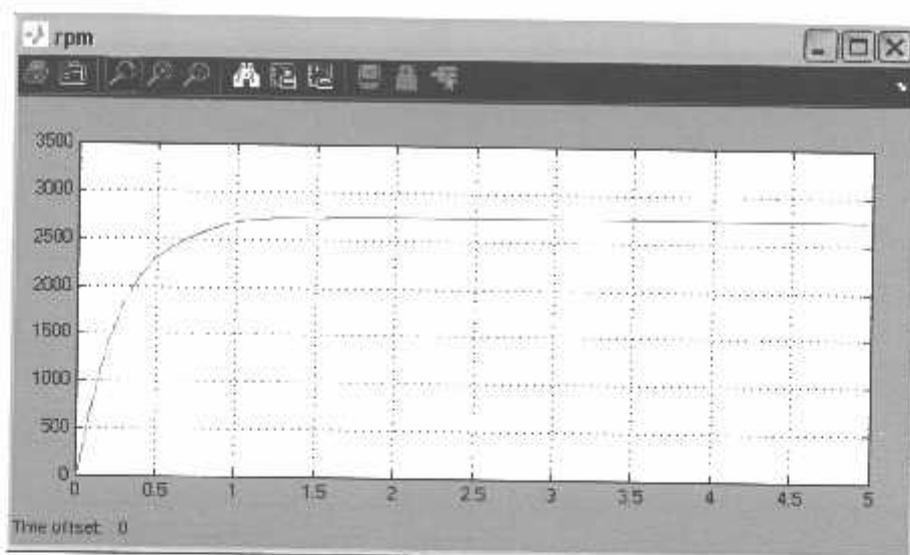
Gambar 4-13
 Respon Sistem Terhadap *Setling Time* (T_s) Dengan Kendali Fuzzy Dengan Beban Berubah ($T_b=0,50$) Menggunakan Metode COA Dengan 7 Fungsi Keanggotaan (Segitiga)



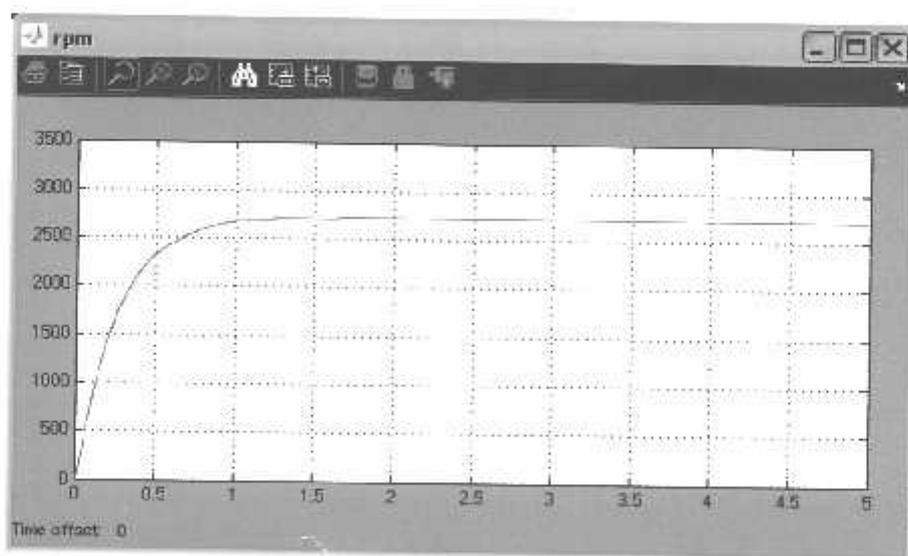
Gambar 4-14
 Respon Sistem Terhadap *Settling Time* (T_s) Dengan Kendali Fuzzy Dengan Beban Berubah ($T_b=1$) Menggunakan Metode COA Dengan 5 Fungsi Keanggotaan (Segitiga)



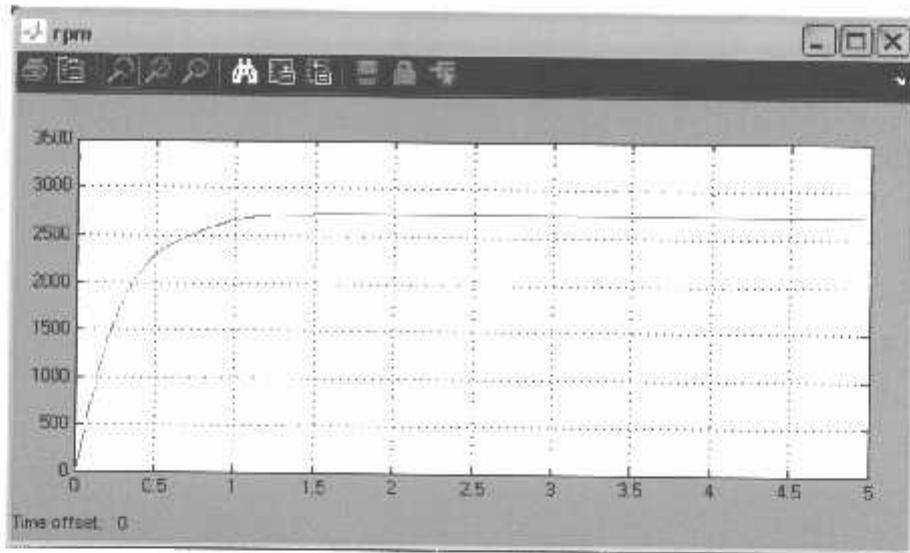
Gambar 4-15
 Respon Sistem Terhadap *Settling Time* (T_s) Dengan Kendali Fuzzy Dengan Beban Berubah ($T_b=1$) Menggunakan Metode COA Dengan 7 Fungsi Keanggotaan (Segitiga)



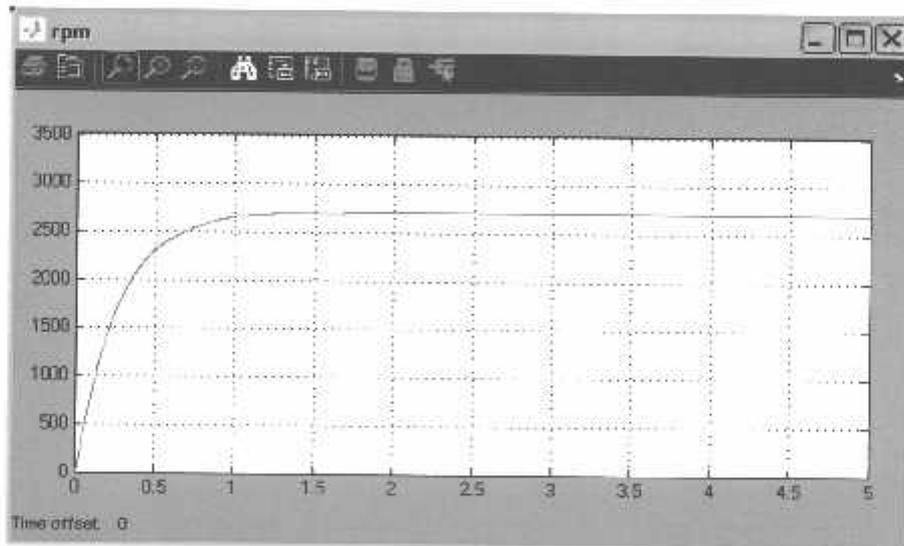
Gambar 4-16
 Respon Sistem Terhadap *Setling Time* (T_s) Dengan Kendali Fuzzy Dengan Beban Berubah ($I_b=0,50$) Menggunakan Metode COA Dengan 5 Fungsi Keanggotaan (Trapeسيوم)



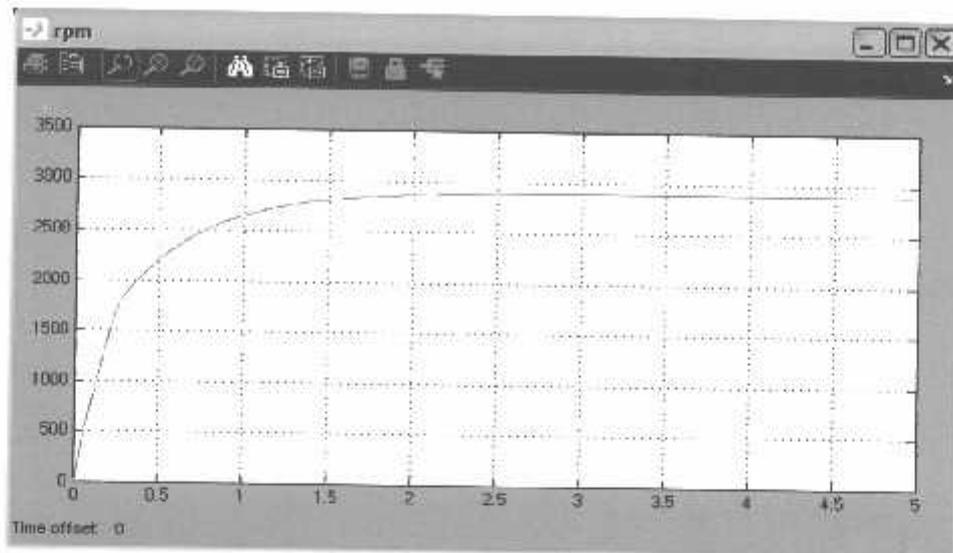
Gambar 4-17
 Respon Sistem Terhadap *Setling Time* (T_s) Dengan Kendali Fuzzy Dengan Beban Berubah ($T_b=0,50$) Menggunakan Metode COA Dengan 7 Fungsi Keanggotaan (Trapeسيوم)



Gambar 4-18
 Respon Sistem Terhadap *Setling Time* (T_s) Dengan Kendali Fuzzy Dengan Beban Berubah ($T_b=1$) Menggunakan Metode COA Dengan 5 Fungsi Keanggotaan (Trapeسيوم)

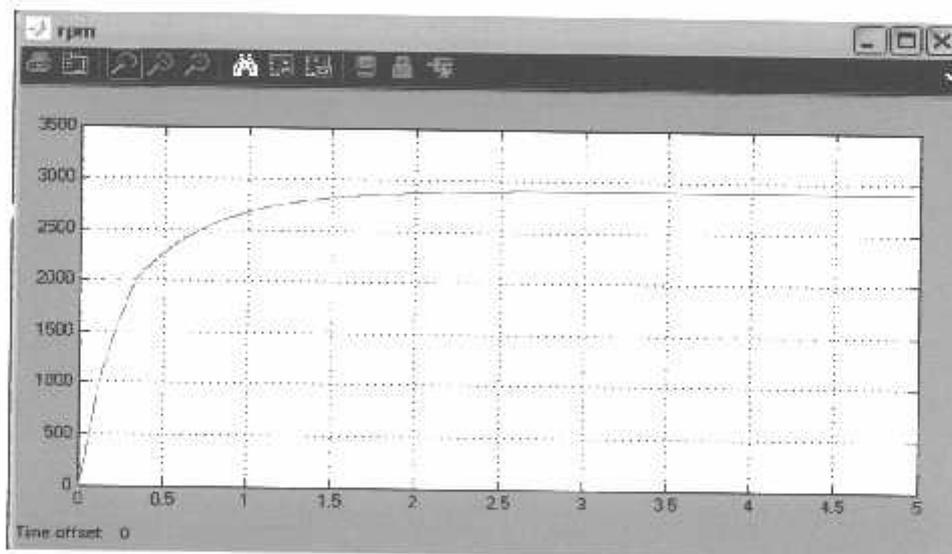


Gambar 4-19
 Respon Sistem Terhadap *Setling Time* (T_s) Dengan Kendali Fuzzy Dengan Beban Berubah ($T_b=1$) Menggunakan Metode COA Dengan 7 Fungsi Keanggotaan (Trapeسيوم)



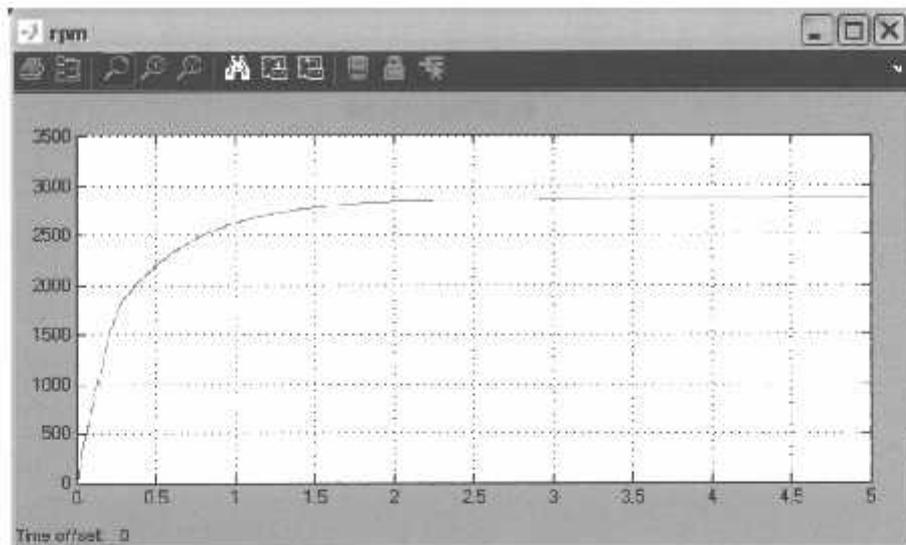
Gambar 4-20

Respon Sistem Terhadap *Setling Time* (T_s) Dengan Kendali Fuzzy Dengan Beban Berubah ($T_b=0,50$) Menggunakan Metode MOM Dengan 5 Fungsi Keanggotaan (Segitiga)



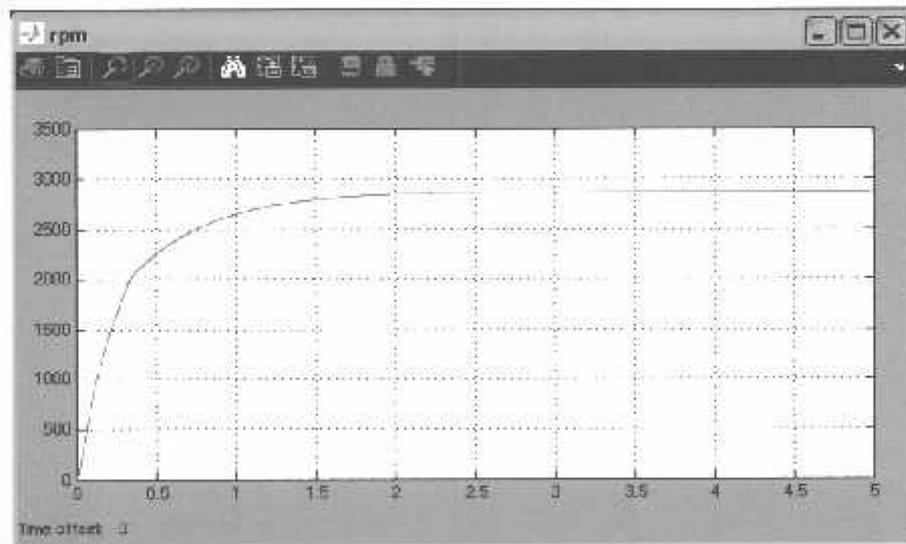
Gambar 4-21

Respon Sistem Terhadap *Setling Time* (T_s) Dengan Kendali Fuzzy Dengan Beban Berubah ($T_b=0,50$) Menggunakan Metode MOM Dengan 7 Fungsi Keanggotaan (Segitiga)



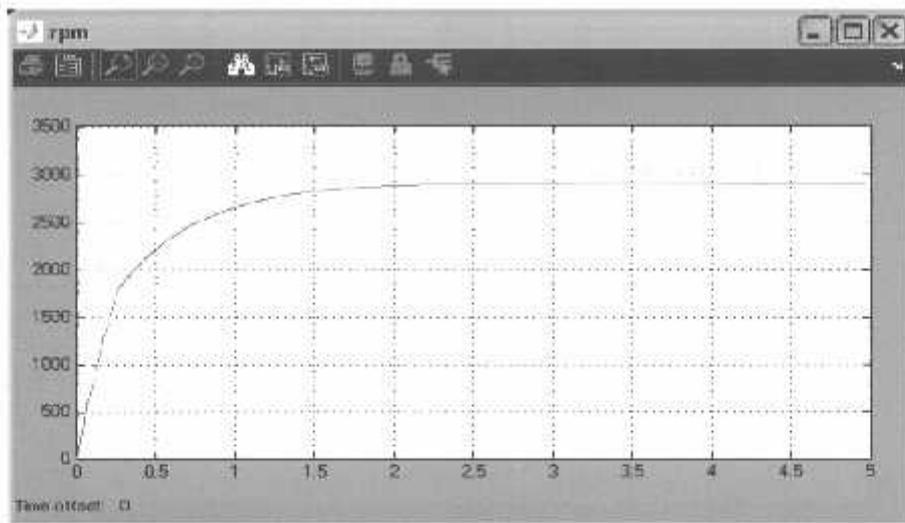
Gambar 4-22

Respon Sistem Terhadap *Settling Time* (T_s) Dengan Kendali Fuzzy Dengan Beban Berubah ($T_b=1$) Menggunakan Metode MOM Dengan 5 Fungsi Keanggotaan (Segitiga)



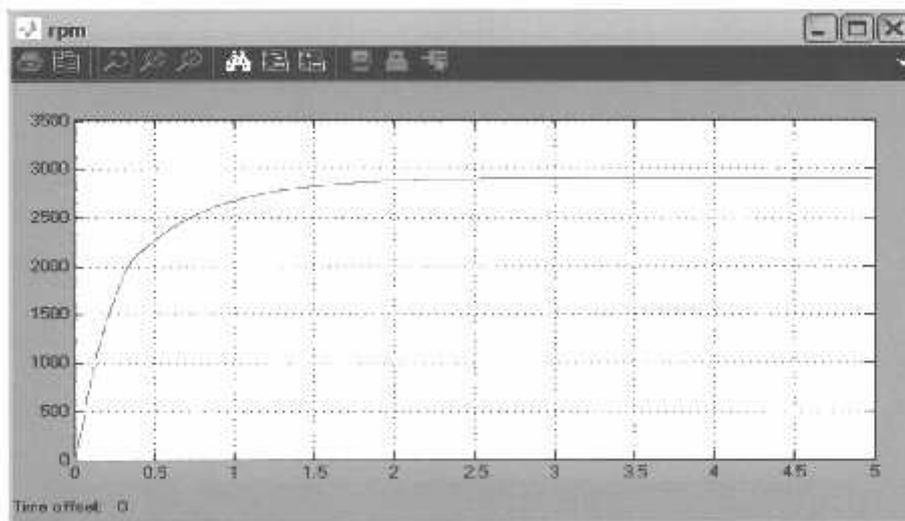
Gambar 4-23

Respon Sistem Terhadap *Settling Time* (T_s) Dengan Kendali Fuzzy Dengan Beban Berubah ($T_b=1$) Menggunakan Metode MOM Dengan 7 Fungsi Keanggotaan (Segitiga)



Gambar 4-24

Respon Sistem Terhadap *Setling Time* (T_s) Dengan Kendali Fuzzy Dengan Beban Berubah ($T_b=0,5$) Menggunakan Metode MOM Dengan 5 Fungsi Keanggotaan (Trapeسيوم)



Gambar 4-25

Respon Sistem Terhadap *Setling Time* (T_s) Dengan Kendali Fuzzy Dengan Beban Berubah ($T_b=0,5$) Menggunakan Metode MOM Dengan 7 Fungsi Keanggotaan (Trapeسيوم)

Tabel 4-4
 Nilai *Settling Time* Hasil Simulasi Kendali Logika Fuzzy Dengan Metode *Center Of Area* (COA) Dan *Mean Of Maxima* (MOM) Bentuk Segitiga Dan Trapesium Dengan *Variabel Linguistik* 5 Dan 7

Metode	Behan (Newton Meter)	Segitiga		Trapesium	
		Jumlah Fungsi Keanggotaan			
		5	7	5	7
		Detik			
<i>Center Of Area</i>	0	1,28	1,72	1,36	2,18
	0,5	1,26	1,49	1,55	1,61
	1	1,55	1,56	1,50	1,68
<i>Mean Of Maxima</i>	0	2,58	1,96	2,62	2,68
	0,5	2,50	2,56	2,53	2,55
	1	2,92	2,22	2,46	2,60

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari percobaan dengan simulasi serta analisis yang dilakukan dalam penelitian ini, maka dapat diambil beberapa kesimpulan dari kendali logika fuzzy, seperti yang diuraikan sebagai berikut ini :

1. Bentuk segitiga memberikan respon sistem yang lebih baik dibandingkan bentuk trapesium.
2. *Variabel linguistik 5* dengan metode *Center Of Area* memberikan respon sistem yang lebih baik dibandingkan *variabel linguistik 7* dengan metode *Center Of Area*.
3. Metode *Center Of Area* memberikan respon sistem yang lebih baik dibandingkan dengan metode *Mean Of Maxima*.

5.2. Saran

Banyak hal menarik untuk dikaji dari kendali logika fuzzy ini salah satunya adalah prinsip kerjanya yang hanya berdasarkan aturan yang sangat sederhana yaitu 'jika-maka'. Dari kesederhanaan dan kelebihan yang dimilikinya, pengendali ini sangat diminati dalam perancangan suatu sistem kendali. Oleh karena itu untuk pengembangan yang lebih lanjut disarankan:

1. Mencoba menggunakan sistem kendali lain yang berkaitan dengan logika fuzzy misalnya; Neuro fuzzy, Fuzzy Adaptif, Fuzzy Swa-atur.
2. Jika yang digunakan selain bentuk segitiga dan trapesium bisa jadi akan didapat hasil yang lebih optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ogata, Katsuhiko, "*Teknik Kontrol Automatik Jilid 1*", University Of Minnesota, Edisi kedua, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1997.
- [2] Thiang, Resmana, Wahyudi "*Kendali Logika Fuzzy Dengan Metoda Defuzzifikasi Center Of Area Dan Mean Of Maxima*" Jurusan Teknik Elektro, Universitas Kristen Petra.
- [3] Zuhail,"*Dasar Teknik Tenaga Listrik*", Penerbit ITB Bandung, 1991.
- [4] [http:// www.HyperPhysics.com](http://www.HyperPhysics.com)
- [5] [http:// www.NEETS.com](http://www.NEETS.com)

LAMPFRAN



LABORATORIUM KONVERSI ENERGI ELEKTRIK
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
KAMPUS II : JL. Raya Karanglo, Km 2 Tlp (0341) 417636 EXT 604

No :
Lampiran : Lembar
HAL : Peminjaman & Penggunaan alat
Lab. Konversi Energi Elektrik

Malang, Oktober 2006

Kepada Yth : **Ka. Lab Konversi Energi Elektrik**
Di-
Tempat

Dengan Hormat,
Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

1. Nama : Muhammad Sya'ban
2. Nim : 01.12.010
3. Jurusan : T. Energi Listrik S-1
4. Judul Skripsi / T.A :
5. Alat yang digunakan : 1. Motor DC shunt. ✓
2. 
3. 
4. 

Mengajukan permohonan peminjaman dan penggunaan alat untuk menyelesaikan Skripsi / Tugas Akhir dengan judul di atas di Laboratorium Konversi Energi Elektrik ITN Malang.

Dengan konsekuensi sebagai berikut :

1. Apabila terjadi kerusakan pada alat yang digunakan, saya sanggup mengganti.
2. Bersedia mematuhi segala peraturan yang berlaku di Lab. Konversi Energi Elektrik.

Instruktur Pendamping

Cosmas D. Anthy

Pemohon

M.Sya'ban

Mengetahui
Kasie. Lab. Konversi Elektrik

Ir. M. Abdul hamid, MT



LABORATORIUM KONVERSI ENERGI ELEKTRIK
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
KAMPUS II : JL. Raya Karanglo, Km 2 Tlp (0341) 417636 EXT 604

No :
Lampiran : Lembar
HAL : Peminjaman & Penggunaan alat
Lab. Konversi Energi Elektrik

Malang, Oktober 2006

Kepada Yth : Ka. Lab Konversi Energi Elektrik
Di-
Tempat

Dengan Hormat,
Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Muhammad Sya'ban
Nim : 01.12.010
Jurusan : T. Energi Listrik S-1
Judul Skripsi / T.A :

Mengajukan permohonan peminjaman dan penggunaan alat untuk menyelesaikan Skripsi / Tugas Akhir dengan judul di atas di Laboratorium Konversi Energi Elektrik ITN Malang

Daftar peralatan yang dipinjam

No	Tanggal	2006 s/d	2006
No	Kode Alat	Nama alat	
1	DL 1023 P	MOTOR DC SHUNT	✓

Catatan: 1. Apabila terjadi kerusakan pada alat yang digunakan, saya sanggup mengganti.
2. Bersedia mematuhi segala peraturan yang berlaku di Lab. Konversi Energi Elektrik.

Instruktur Pendamping

Cosmas D. Anthy

Pemohon

M.Sya'ban

Mengetahui
Kasie. Lab. Konversi Elektrik

Ir. M. Abdul hamid, MT



PERMOHONAN PERSETUJUAN SKRIPSI

Yang betanda, tangan dibawah ini :

Nama : MUHAMMAD SYA BAN
NIM : 012010
Semester : X
Fakultas : Teknologi Industri
Jurusan : Teknik Elektro S
Konsentrasi : Teknik Elektronika / Teknik Energi Listrik
Alamat :

Dengan ini kami mengajukan permohonan untuk mendapatkan persetujuan untuk membuat **SKRIPSI Tingkat Sarjana**. Untuk melengkapi permohonan tersebut, bersama kami lampirkan persyaratan-persyaratan yang harus dipenuhi:

Adapun persyaratan-persyaratan pengambikan **SKRIPSI** adalah sebagai berikut :

1. Telah melaksanakan semua praktikum sesuai dengan konsentrasinya (.....)
2. Telah lulus dan menyerahkan Laporan Praktek Kerja (.....)
3. Telah lulus seluruh mata kuliah keahlian (MKB) sesuai konsentrasinya (.....)
4. Telah menempuh mata kuliah ≥ 134 sks dengan IPK ≥ 2 dan tidak ada nilai E (.....)
5. Telah mengikuti secara aktif kegiatan seminar skripsi yang diadakan Jurusan (.....)
6. Memenuhi persyaratan administrasi (.....)

Demikian permohonan ini untuk mendapatkan penyelesaian lebih lanjut dan atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Telah diteliti kebenaran data tersebut diatas
Recording Teknik Elektro

Melampirkan lampiran no. 200
Pemohon

M. SYA BAN

Disetujui
Ketua Jurusan Teknik Elektro

Ir. F. Yudi Limpraptono, MT
NIP. P. 1039500274

Mengetahui
Desen Wali

Ir. IMAM W. M. F.

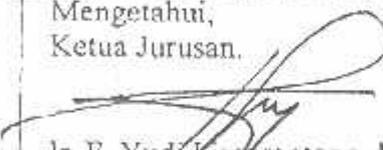
Catatan :

Bagi mahasiswa yang telah memenuhi persyaratan dan telah mengajukan permohonan kepada BAKHUM agar membuat proposal dan mendapat persetujuan dari dosen pembimbing dan dosen wali.

1. IPK 374/138 = 2.71
2. prakerja
3. prakerja teknik lengkap

LEMBAR PENGAJUAN JUDUL SKRIPSI
 JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1

Spesialisasi : Teknik Energi Listrik/Teknik Elektronika

Nama Mahasiswa :	MUHAMMAD SYAFAR	Nim :	0112010
Waktu pengajuan	Tanggal :	Bulan	Tahun :
		Juli	2006
Spesifikasi judul (berilah tanda silang)			
a. Sistem Tenaga Elektrik	e. Elektronika & Komponen		
<input checked="" type="checkbox"/> b. Energi & Konversi Energi	f. Elektronika Digital & Komputer		
c. Tegangan Tinggi & Pengukuran	g. Elektronika Komunikasi		
d. Sistem Kendali Industri	h. lainnya		
Konsultasikan judul sesuai materi bidang ilmu kepada Dosen *) :		Mengetahui, Ketua Jurusan.	
Ir. M. Abd. Hamid, MT. <i>By</i>		 Ir. F. Yudi Limpraptono, MT Nip. Y. 1030500274	
Judul yang diajukan mahasiswa :	ANALISIS PERAMBIKIAN METODE DEFUZIFIKASI CENTER OF AREA DAN MENCARI MAXIMA PADA LEMBARAN LOGIKA FUZZY YANG DI IMPLEMENTASIKAN DALAM SISTEM D. JALUR MASA DEPAN PERANGKAT LUNAK MATIAS		
Perubahan Judul yang disetujui Dosen sesuai materi bidang ilmu			
Catatan :			
Persetujuan Judul Skripsi yang dikonsultasikan kepada Dosen materi bidang ilmu	Disetujui, Dosen 5-7-2006 		

Perhatian :

1. Formulir Pengajuan ini harap dikembalikan kepada jurusan paling lambat satu minggu setelah disetujui kelompok dosen keahlian dengan dilampirkan proposal skripsi beserta persyaratan skripsi sesuai form S-1
2. Keterangan : * coret yang tidak perlu
 ** dilingkari a, b, c, atau g sesuai bidang keahlian



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2
MALANG

Lampiran : 1 (satu) berkas

Pembimbing Skripsi

Kepada : Yth. Bapak Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT,

Dosen Institut Teknologi Nasional

MALANG

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Muhammad Sya'ban

Nim : 01.12.010

Jurusan : Teknik Elektro S-1

Konsentrasi : Teknik Energi Listrik

Dengan ini mengajukan permohonan, kiranya Bapak bersedia menjadi Dosen Pembimbing Utama / pembimbing *), untuk penyusunan Skripsi dengan judul (proposal terlampir) :

**SIMULASI PERBANDINGAN METODE DEFUZZIFIKASI
CENTER OF AREA DAN MEAN OF MAXIMA PADA KENDALI
LOGIKA FUZZY YANG DI IMPLEMENTASIKAN PADA
MOTOR UNIVERSAL MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK
MATLAB**

Adapun tugas tersebut sebagai salah satu syarat untuk menempuh Ujian Akhir Sarjana Teknik.

Demikian permohonan kami dan atas kesediaan Bapak kami ucapkan terima kasih.

Malang, 26 Juli 2006

**Ketua
Jurusan Teknik Elektro S-1**


Ir. F. Yudi Limpraptono, MT
Nip. 103 950 0274

Hormat kami,


Muhammad Sya'ban

*) coret yang tidak perlu

Form S-3a



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2
MALANG

PERNYATAAN KESEDIAAN DALAM PEMBIMBINGAN SKRIPSI

Sesuai permohonan dari mahasiswa :

Nama : Muhammad Sya'ban
Nim : 01.12.010
Semester : X (sepuluh)
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik

Dengan ini Menyatakan bersedia Membimbing Skripsi dari mahasiswa tersebut,
dengan judul :

**SIMULASI PERBANDINGAN METODE DEFUZZIFIKASI CENTER OF
AREA DAN MEAN OF MAXIMA PADA KENDALI LOGIKA FUZZY YANG
DI IMPLEMENTASIKAN PADA MOTOR UNIVERSAL MENGGUNAKAN
PERANGKAT LUNAK MATLAB**

Demikian surat pernyataan ini kami buat agar dipergunakan seperlunya.

Malang, 26 juli 2006

**Kami yang Membuat
pernyataan**

Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT
Nip. Y. 101 880 0189

Catatan :
Setelah disetujui agar formulir ini
Diserahkan mahasiswa yang
bersangkutan
Kepada jurusan untuk diproses lebih
lanjut

Form S-3b



BERITA ACARA SEMINAR PROPOSAL SKRIPSI JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1

Konsentrasi : Teknik Energi Listrik/Teknik Elektronika*)

1.	Nama Mahasiswa: MUHAMMAD SYARIFAN		Nim: 01.12.010	
2.	Keterangan	Tanggal	Waktu	Tempat
	Pelaksanaan	4 Agustus 2008	09.00	Ruang:
	Spesifikasi Judul (berilah tanda silang**)			
3.	a. Sistem Tenaga Elektrik	e. Elektronika & Komponen		
	b. Energi & Konversi Energi	f. Elektronika Digital & Komputer		
	c. Tegangan Tinggi & Pengukuran	g. Elektronika Komunikasi		
	<input checked="" type="checkbox"/> d. Sistem Kendali Industri	h. lainnya		
4.	Judul Proposal yang diseminarkan Mahasiswa	ANALISIS PERBANDINGAN METODE DEFUZZIFIKASI CENTER OF AREA DAN MEAN CF MAXIMA PADA KENDALI LOGIKA FUZZY YANG DI IMPLEMENTASIKAN PADA MOTOR DC MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK MATLAB		
5.	Perubahan Judul yang diusulkan oleh Kelompok Dosen Keahlian		
6.	Catatan:			
	Catatan:			
	Persetujuan Judul Skripsi			
7.	Disetujui, Dosen Keahlian I	Disetujui, Dosen Keahlian II		
			
	Mengetahui, Ketua Jurusan.	Disetujui, Calon Dosen Pembimbing ybs		
	Ir. F. Yudi Limpraptono, MT NIP. P. 1039500274	 Ir. YUDI ISMAIL, MT		

Perhatian:

1. Keterangan: *) Coret yang tidak perlu

**) dilingkari a, b, c, atau g sesuai bidang keahlian

Form S-3c



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

PERSEROJ MALANG
: NIAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

Malang, 05 Okt. 2006

Nomor : ITN-1774/I.TA/2/06
Lampiran :
Perihal : Bimbingan Skripsi

Kepada : Yth. Sdr. Ir. YUSUF ISMAIL NAKHODA, MT

Dosen Pembimbing
Jurusan Teknik Elektro S-1
di
Malang

Dengan hormat,
Sesuai dengan permohonan dan persetujuan dalam proposal skripsi
untuk mahasiswa:

Nama : MUHAMMAD SYA'BAN
Nim : 0112010
Fakultas : Teknologi Industri
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Energi listrik

Maka dengan ini pembimbingan tersebut kami serahkan sepenuhnya
kepada Saudara/i selama masa waktu 6 (enam) bulan, terhitung mulai
tanggal:

04 Agt. 2006 s/d 04 Feb. 2007

Sebagai satu syarat untuk menempuh Ujian Sarjana Teknik,
Jurusan Teknik Elektro
Demikian atas perhatian serta kerisahan yang baik kami ucapkan
terima kasih



Ketua Jurusan
Teknik Elektro S-1

Ir. F. Yudi Limprapto, MT
NIP. Y. 1039500274

Form S-1a



FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : MUHAMMAD SYA'BAN
Nim : 01.12.010
Masa Bimbingan : 4 Februari 2007 s/d 4 Agustus 2007
Judul Skripsi : ANALISIS PERBANDINGAN METODE DEFUZZIFIKASI *CENTER OF AREA* DAN *MEAN OF MAXIMA* PADA KENDALI LOGIKA FUZZY YANG DI IMPLEMENTASIKAN PADA MOTOR DC MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK MATLAB

No.	Tanggal	Uraian	Parap Pembimbing
1.	01-03-2007	Konsultasi Bab I, II, III dan IV	
2.	03-03-2007	Perbaikan Sistematika Penulisan Pada Bab I, II, III, IV	
3.	05-03-2007	Perbaikan Bab I dan IV	
4.	06-03-2007	Cek Kesimpulan dan Batasan Masalah	
5.	07-07-2007	Periksa kembali kesimpulan dan batasan masalah apakah sudah sesuai dengan tujuan pembahasan dan hasil analisa	
6.	10-03-2007	Acc makalah seminar hasil	
7.	20-03-2007	Konsultasi seluruh bab dan Acc Ujian skripsi	
8.			
9.			
10.			

Malang, Maret 2007
Dosen Pembimbing,

Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT



**BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

Nama : MUHAMMAD SYA'BAN
Nim : 01.12.010
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
Judul Skripsi : ANALISIS PERBANDINGAN METODE DEFUZZIFIKASI
CENTER OF AREA DAN *MEAN OF MAXIMA* PADA
KENDALI LOGIKA FUZZY YANG DI
IMPLEMENTASIKAN PADA MOTOR DC
MENGUNAKAN PERANGKAT LUNAK MATLAB

Dipertahankan dihadapan Majelis Penguji Skripsi Jenjang Strata Satu (S-1) pada :

Hari : Rabu
Tanggal : 21 Maret 2007
Dengan Nilai : 78,95 (B+) *B+*



Ir. Mochtar Asroni, MSME
Ketua

Panitia Ujian Skripsi

Ir. F. Yudi Limpraptono, MT
Sekretaris

Anggota Penguji

Ir. H. Choirul Saleh, MT
Penguji Pertama

Bambang Prio Hartono, ST, MT
Penguji Kedua