

SKRIPSI

**ANALISA PENGGUNAAN METODE FUZZY LOGIC
CONTROLLER UNTUK MENGENDALIKAN KECEPATAN
MOTOR INDUKSI 3 FASA DENGAN FLUKSI KONSTAN
DI LAB. KONVERSI ENERGI ELEKTRIK ITN MALANG**



Disusun Oleh :
SHOFANA ADAM
NIM 02.12.019



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

MARET 2009

SKRIPSI

ANALISA VEKTOR BLOK DAN MAMBUKUNYU ABJANA
KONTROL UNTUK MEMBANTU KENDALIAN
MOTOR INDIKOR 3 TASA DENGAN FILTRASI KONTAK
DI LAB. KONVERSI ENERGI ELEKTRIK (TUMANG)



Disusun oleh :
NAMA ALYANUS
010.01.00 000

KELOMPOK PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN
KEMAHIRAN DAN TEKNOLOGI LISTRIK
FAKULTAS TEKNIK ELEKTRO
UNIVERSITAS BINA SARANA INFORMATIKA

DEKAT 2000

LEMBAR PERSETUJUAN

ANALISIS PENGGUNAAN METODE *FUZZY LOGIC CONTROLLER* UNTUK MENGENDALIKAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI 3 FASA DENGAN FLUKSI KONSTAN DI LAB. KONVERSI ENERGI ELEKTRIK ITN MALANG

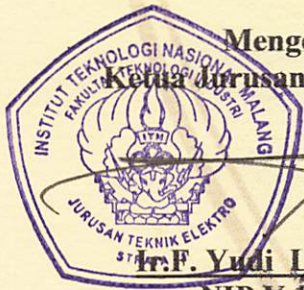
SKRIPSI

Disusun Untuk Melengkapi dan Memenuhi Persyaratan Guna Mencapai Gelar Sarjana Teknik Elektro Strata Satu (S-1)

Disusun Oleh :

SHOFANA ADAM

NIM: 02.12.019



Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1

Ir. F. Yudi Limpraptono, MT
NIP.Y.103 9500 274

Menyetujui,
Dosen Pembimbing

Ir. M. Abdul Hamid, MT
NIP.Y. 101 8800 188

**KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
MARET 2009**

ABSTRAKSI

ANALISIS PENGGUNAAN METODE *FUZZY LOGIC CONTROLLER* UNTUK MENGENDALIKAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI 3 FASA DENGAN FLUKSI KONSTAN DI LAB. KONVERSI ENERGI ELEKTRIK ITN MALANG

(Shofana Adam, 02.12.019, Teknik Energi Listrik S-1)
(Dosen Pembimbing I : Ir. M. Abdul Hamid, MT)
E-Mail: Adam_grezz@yahoo.co.id

Kata kunci : Motor Induksi, metode FLC, Matlab Simulink

Motor induksi dengan rotor jenis sangkar adalah mesin populer bagi aplikasi industri. Motor induksi mempunyai kelebihan, murah harganya tetapi pengontrolannya terbatas. Pengontrolan kecepatan motor sangat diperlukan apabila motor tersebut akan digunakan pada kecepatan yang diinginkan, suatu metode pengendalian kecepatan motor sangat bervariasi dipandang dari segi kerumitan, performa keseluruhan dan kecocokan pada kondisi pabrik. Beberapa diantaranya membutuhkan pengujian-pengujian (*No-Load Test, Blocked Rotor Test*).

Makalah ini menyajikan sebuah pendekatan baru dalam pengendalian kecepatan motor induksi 3 fasa. Pengendalian dilakukan dengan menggunakan berbagai macam metode dan salah satunya adalah dengan menggunakan metode *Fuzzy Logic Controller (FLC)* yang selanjutnya disimulasikan dengan menggunakan MATLAB 7.0. Penulisan ini menganalisa hasil arus, kecepatan dan torsi motor. Hasilnya terbukti bahwa menggunakan metode *FLC* pencapaian kondisi *steady state* lebih cepat dibandingkan dengan tanpa menggunakan metode *FLC*

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas rahmat dan karunia-Nya memungkinkan penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul, “Analisa Penggunaan Metode *Fuzzy Logic Controller* Untuk Mengendalikan Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Dengan Fluksi Konstan Di Lab. Konversi Energi Elektrik ITN Malang”.

Skripsi ini bertujuan untuk memenuhi kurikulum akademik yang harus ditempuh oleh setiap mahasiswa ITN Malang guna mengakhiri pendidikan pada jenjang strata satu jurusan Teknik Elektro konsentrasi Teknik Energi Listrik di Institut Teknologi Nasional Malang.

Atas segala bimbingan, pengarahan dan bantuan yang diberikan, sehingga tersusunnya skripsi ini, maka penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Dr. Ir. Abraham Lomi, MSEE, selaku Rektor ITN Malang.
2. Ir. Sidik Noertjahjono, MT, selaku Dekan FTI ITN Malang.
3. Ir. F Yudi Limpraptono, MT, selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro (S1) ITN Malang.
4. Ir. M. Abdul Hamid, MT, selaku Dosen Pembimbing.
5. Kedua orang tua saya yang telah membesarkan, dengan sabar mendidik, mendukung dan selalu mendoakan sampai terwujud cita-citaku.
6. Kakak-kakaku dan keponakanku yang selalu mendo'akan dan memberikan semangat.

7. Rekan-rekan elektro energi listrik yang saling membantu dan saling mengisi dalam pengerjaan skripsi ini.

Akhirnya penulis mengharapkan skripsi dapat berguna dan bermanfaat bagi rekan-rekan mahasiswa khususnya pada jurusan Teknik Elektro konsentrasi Teknik Energi Listrik.

Malang, Oktober 2008

Penulis

DAFTAR ISI

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

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang	1
1.2.. Perumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	2
1.4. Batasan Masalah.....	2
1.5. Metodologi Penelitian	3
1.6. Relevansi	4
1.7. Sistematika Penulisan.....	4

BAB II LANDASAN TEORI MOTOR INDUKSI TIGA PHASA

2.1. Teori Dasar Motor Induksi	6
2.2. Konstruksi Dasar Motor Induksi	7
2.2.1. Stator	7

2.2.2. Rotor.....	7
2.3. Prinsip Kerja Motor Induksi.....	8
2.4. Rangkaian Ekuivalen.....	10
2.4.1. Rangkaian Ekuivalen Stator.....	10
2.4.2. Rangkaian Ekuivalen Rotor	11
2.5. Operasional Motor Induksi.....	17
2.5.1. Performa <i>Steady State</i>	17
2.5.2 Performa <i>Transient</i>	17
2.6. Pengujian Motor Induksi Tiga Phasa	19
2.6.1. Pengujian Arus Searah (<i>DC Test</i>)	19
2.6.2 Pengujian Tanpa Beban (<i>No-Load Test</i>)	20
2.6.3. Pengujian Rotor Tertahan (<i>Blocked Rotor Test</i>)	21

BAB III METODE FUZZY LOGIC CONTROLLER

3.1. Pendahuluan	24
3.1.1. Konsep Dasar Logika Fuzzy	25
3.2. Himpunan klasik (<i>Crisp</i>).....	26
3.3. Himpunan <i>fuzzy</i>	26
3.4. Fungsi Keanggotaan Himpunan <i>Fuzzy</i>	29
3.4.1. Operasi Himpunan <i>Fuzzy</i>	31
3.5. Variabel Linguistik.....	32
3.6. Kontroller Dengan <i>Fuzzy Logic</i>	34
3.6.1. Fuzifikasi.....	37

3.6.2. Basis Pengetahuan.....	38
3.6.2.1. Basis Data.....	38
3.6.2.2. Basis Aturan	41
3.6.3. Logika Pengambilan Keputusan.....	42
3.6.3.1. Bentuk Aturan Kontrol Fuzzy	42
3.6.3.1. Fungsi Implikasi	43
3.6.3.1. Mekanisme Inferensi	44
3.6.4. Defuzifikasi	46
3.7. Penyusunan Basis Aturan.....	48
3.8. Algoritma Pemograman	55
3.8.1. Algoritma Pemecahan Masalah.....	55
3.9. Flowchart Algoritma Pemograman	56
3.9.1. Flowchart Pemecahan Masalah Secara Umum	56
3.9.1. Flowchart Proses Pembentukan FIS.....	57

BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISIS HASIL SIMULASAI

4.1. Pengujian Parameter Motor Induksi	59
4.1.1. Alat-alat yang digunakan	59
4.1.2. Data Pengujian Arus Searah.....	60
4.1.3. Data Pengujian Tanpa Beban	60
4.1.4. Data Pengujian Rotor Tertahan	61
4.2. Menghitung Parameter Motor Induksi	61
4.2.1. Analisa Data Pengujian Arus Searah	61

4.2.2. Analisa Data Pengujian Tanpa Beban	62
4.2.3. Analisa Data Pengujian Rotor Tertahan.....	62
4.3. Nilai-nilai Input untuk Program Fuzzy Logic Controller	65
4.4. Analisa Hasil Simulasi	66
4.4.1. Tampilan Parameter	66
4.4.2. Analisa hasil Simulasi menggunakan metode <i>FLC</i>	67
4.4.2.1. Analisa hasil Simulasi tanpa beban.....	67
4.4.2.2. Analisa hasil Simulasi Untuk Beban 25%.....	70
4.4.2.3. Analisa hasil Simulasi Untuk Beban 50%.....	72
4.4.2.4. Analisa hasil Simulasi Untuk Beban 75%.....	75
4.4.3 Analisa hasil Simulasi tanpa menggunakan metode <i>FLC</i>	77
4.4.3.1. Analisa hasil Simulasi tanpa beban.....	77
4.4.3.2. Analisa hasil Simulasi Untuk Beban 25%.....	80
4.4.3.3. Analisa hasil Simulasi Untuk Beban 50%.....	82
4.4.3.4. Analisa hasil Simulasi Untuk Beban 75%.....	85
BAB V PENUTUP	
5.1. Kesimpulan.....	88
5.2. Saran.....	88
DAFTAR PUSTAKA	90

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1	Konstruksi Motor Induksi	7
Gambar 2-2	Stator Motor Induksi Tiga Phasa.....	7
Gambar 2-3	Motor Induksi Rotor Belitan Dan Rotor Sangkar Bajing.....	8
Gambar 2-4	Rangkaian Ekuivalen Stator	10
Gambar 2-5	Rangkaian Ekuivalen rotor.....	12
Gambar 2-6	Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi.....	13
Gambar 2-7	Rangkaian Ekuivalen DQ Motor Induksi.....	14
Gambar 2-8	Rangkaian Pengujian Arus Searah (<i>DC Test</i>)	19
Gambar 2-9	Diagram Rangkaian Pengujian Tanpa Beban.....	20
Gambar 2-10	Rangkaian Ekuivalen Pengujian Rotor Tertahan dan Rangkaian Pengujian Rotor Tertahan.....	22
Gambar 3-1	Himpunan Fuzzy Dan Istilahnya.....	27
Gambar 3-2	Himpunan Fuzzy Dan Penyokongnya.....	28
Gambar 3-3	Bentuk-bentuk Fungsi Keanggotaan.....	30
Gambar 3-4	Fungsi Keanggotaan Segitiga.....	30
Gambar 3-5	Himpunan Fuzzy Untuk Kecepatan	33
Gambar 3-6	Bagian Pokok Fuzzy Logic Controller.....	35
Gambar 3-7	Diagram Blok Sistem Pengendalian Dengan <i>Fuzzy Logic</i>	36
Gambar 3-8	Himpunan Fuzzy Yang Terkuantisasi	40
Gambar 3-9	Blok Diagram Mekanisme Inferensi	45

Gambar 3-10	Mekanisme Inferensi MISO Dengan Operasi Max-Min.....	46
Gambar 3-11	Metode-metode Defuzzifikasi	47
Gambar 3-12	Proses Fuzzyfikasi FIS Editor	52
Gambar 3-13	Membership Function Input 2	53
Gambar 3-14	Langkah Kerja Fuzzy Logic Controller.....	54
Gambar 3-15	Flowchart Pemecahan Secara Umum.....	56
Gambar 3-16	Flowchart Proses Pembentukan FIS.....	57
Gambar 3-17	Diagram blok Proses Pembentukan FIS	58
Gambar 4-1	diagram blok parameter motor induksi 3 fasa.....	66
Gambar 4-2	Blok Simulasi Metode FLC Pada Kondisi tanpa beban.....	67
Gambar 4-3	Grafik arus, kecepatan, torsi, fluksi terhadap waktu pada kondisi tanpa beban.....	69
Gambar 4-4	Blok Simulasi Metode FLC Pada Kondisi baban 25%	70
Gambar 4-5	Grafik arus, kecepatan, torsi, fluksi terhadap waktu pada kondisi beban 25%.....	71
Gambar 4-6	Blok Simulasi Metode FLC Pada Kondisi baban 50%	72
Gambar 4-7	Grafik arus, kecepatan, torsi, fluksi terhadap waktu pada kondisi beban 50%.....	74
Gambar 4-8	Blok Simulasi Metode FLC Pada Kondisi baban 75%	75
Gambar 4-9	Grafik arus, kecepatan, torsi, fluksi terhadap waktu pada kondisi beban 75%.....	76
Gambar 4-10	Blok Simulasi tanpa Metode FLC Pada Kondisi tanpa beban ...	77

Gambar 4-11 Grafik arus, kecepatan, torsi, fluksi terhadap waktu pada	
kondisi tanpa beban	79
Gambar 4-12 Blok Simulasi tanpa Metode FLC Pada Kondisi beban 25%	80
Gambar 4-13 Grafik arus, kecepatan, torsi, fluksi terhadap waktu pada	
kondisi beban 25%	81
Gambar 4-14 Blok Simulasi tanpa Metode FLC Pada Kondisi beban 50%	82
Gambar 4-15 Grafik arus, kecepatan, torsi, fluksi terhadap waktu pada	
kondisi beban 50%	84
Gambar 4-16 Blok Simulasi tanpa Metode FLC Pada Kondisi beban 75%	85
Gambar 4-17 Grafik arus, kecepatan, torsi, fluksi terhadap waktu pada	
kondisi beban 75%	86

DAFTAR TABEL

Tabel 3-1	Data Kuantisasi Himpunan Fuzzy	39
Tabel 3-2	Aturan Kontrol Fuzzy Mac Vicar-Whelan	42
Tabel 4-1	Data Pengujian Arus Searah.....	60
Tabel 4-2	Data Hasil Pengujian Beban Nol.....	60
Tabel 4-3	Data Hasil Rotor Tertahan.....	61
Tabel 4-4	Hasil Perhitungan Pengujian Parameter Motor induksi Tiga Phasa	64

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Selama tahun-tahun terakhir ini, signifikansi dari motor-motor induksi terutama tipe sangkar-tupai, secara luas digunakan untuk berbagai kepentingan khususnya di bidang industri. Sekitar delapan puluh persen untuk motor listrik dan sekitar tiga puluh lima persen total konsumsi listrik dari motor induksi di perlukan pengujian-pengujian untuk mengetahui nilai efisiensi suatu motor induksi yang telah terhubung pada peralatan beban. Sifat motor listrik adalah tidak berisik dan memiliki efisiensi tinggi. Motor listrik dapat dijadikan peralatan multi guna, sehingga kita dapat memilih setting perencanaan motor yang sesuai dengan yang kita butuhkan dalam berbagai kebutuhan aplikasi.

Motor induksi mempunyai struktur yang sangat sederhana, mudah pengoperasiannya, memiliki keandalan yang tinggi, perawatan yang tidak terlalu sulit dan harganya relatif murah. Akan tetapi sampai sekarang masih banyak permasalahan-permasalahan yang sangat krusial terjadi pada motor induksi, salah satunya metode pengendalian yang efisien.

Dalam suatu pengontrolan motor induksi banyak metode yang bisa dipakai tetapi yang mempunyai efisiensi yang baik dalam pengontrolannya itu sangatlah sulit. Maka perlunya analisis yang mendalam untuk mendapatkan efisiensi yang baik dalam suatu kontrol motor induksi. Dengan ini saya mencoba meneliti salah satu metode baru untuk mengendalikan motor sesuai dengan kebutuhan.

Makalah ini membahas mengenai pengendalian kecepatan motor induksi tiga fasa dengan fluksi konstan menggunakan metode *Fuzzy Logic Controller*.

1.2. RUMUSAN MASALAH

Dengan latar belakang tersebut maka terdapat permasalahan yang perlu dibahas yaitu:

1. Bagaimana mengendalikan motor induksi tiga fasa menggunakan metode *Fuzzy Logic Controller* dengan fluksi konstan dengan bantuan software MATLAB Simulink.
2. Melihat hasil simulasi pengendalian motor induksi tiga fasa dengan menggunakan metode *Fuzzy Logic Controller* dengan fluksi konstan apakah sesuai atau tidak.

1.3. TUJUAN PENULISAN

Tujuan dari penulisan skripsi ini adalah untuk menganalisis penggunaan metode *Fuzzy Logic Controller* terhadap motor induksi tiga fasa dengan fluksi konstan di Laboratorium Konversi Energi Elektrik ITN Malang.

1.4. BATASAN MASALAH

Agar pembahasan dalam skripsi akan lebih terarah sesuai dengan tujuan dan judul yang ada maka permasalahan dibatasi oleh beberapa hal sebagai berikut :

- a. Analisis dilakukan pada motor induksi tiga fasa jenis rotor sangkar DE LORENZO/DL 1021, 1,1 kW, 220/380(Δ /Y) Volt, 4,3/2,5(Δ /Y) Ampere, $\text{Cos } \phi$ 0,83, 50 Hz, 2830 rpm, 2 kutub.
- b. Analisis ditekankan pada penggunaan metode *Fuzzy Logic Controller* untuk mengendalikan kecepatan motor induksi 3 fasa dengan fluksi konstan
- c. Besaran-besaran rotor diasumsikan berpatokan pada besaran stator pada rangkaian ekivalen motor induksi.
- d. Motor beroperasi pada keadaan steady state.
- e. Tidak membahas pengasutan motor induksi.
- f. Tidak membahas sistem proteksi motor induksi.
- g. Simulasi menggunakan software matlab 7.0.

1.5. METODELOGI PENELITIAN

Dalam melaksanakan penulisan skripsi ini metodologi yang digunakan adalah sebagai berikut :

a. Studi Literature

Pengumpulan bahan yang berkaitan dengan metode *Fuzzy Logic Controller* dengan fluksi konstan serta penurunan rumus-rumus yang digunakan dalam skripsi ini.

b. Pengumpulan Data

Melakukan percobaan dan pengambilan data dari pengukuran yang dilakukan.

- c. Melakukan eksperimen dan pengambilan data dari motor induksi yang akan di analisa melalui percobaan dengan metode pengujian arus searah (*DC Test*), Pengujian rotor tertahan (*Block Rotor Test*) dan pengujian tanpa beban (*No Load Test*).
- d. Menganalisa hasil pengukuran dan mensimulasikannya dengan menggunakan software Matlab Simulink 7.0.
- e. Menampilkan hasil percobaan simulasi berupa kecepatan, torsi dan fluksi pada penggunaan metode *Fuzzy Logic Controller* dengan fluksi konstan.
- f. Menarik kesimpulan.

1.6 RELEVANSI

Bahwa sistem pengendalian kecepatan motor induksi mempunyai peranan yang sangat penting. Sehingga diharapkan dengan menggunakan metode *Fuzzy Logic Controller* (*FLC*) ini menjadi alternatif dalam mengendalikan kecepatan motor induksi sehingga dapat membuat sistem pengendalian yang lebih produktif, ekonomis dan bermanfaat lebih bagi industri – industri yang ada.

1.7 SISTEMATIKA PENULISAN

Skripsi ini dibagi menjadi lima bab, yaitu :

BAB I : PENDAHULUAN

Berisikan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, metodologi penulisan, relevansi dan sistematik penulisan.

BAB II : KONSEP DASAR MOTOR INDUKSI

Membahas tentang teori dasar mengenai motor induksi, konstruksi, prinsip kerja motor induksi, rangkaian ekivalen dan pengujian motor induksi tiga phasa.

BAB III : METODE *FUZZY LOGIC CONTROLLER*

Berisikan tentang teori dasar *Fuzzy Logic Controller* dan algoritma pemograman.

BAB IV : SIMULASI DAN ANALISIS

Membahas tentang analisa data pengujian yang digunakan motor induksi tiga phasa, flowchart program, identifikasi parameter dan perbandingan hasil pengujian dengan program *Fuzzy Logic Controller* dengan menggunakan software Matlab Simulink 7.0.

BAB V : PENUTUP

Berisikan kesimpulan dan saran sesuai dengan analisa yang dilakukan.

BAB II

KONSEP DASAR MOTOR INDUKSI

2.1 TEORI DASAR MOTOR INDUKSI

Motor arus bolak-balik (Motor AC) adalah suatu mesin yang berfungsi untuk mengubah tenaga listrik menjadi tenaga mekanik atau tenaga gerak, dimana tenaga gerak ini berupa perputaran pada poros motor. Salah satu jenis motor AC ini adalah motor induksi atau motor tak serempak.

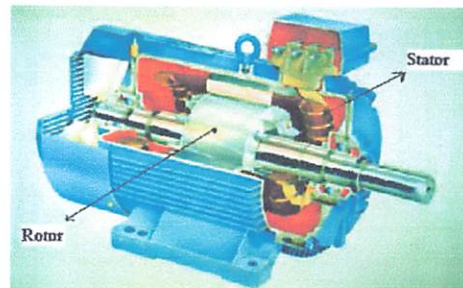
Dinamakan motor tak serempak (*asynchrone*) karena putaran poros motor tidak sama dengan putaran medan fluks magnet stator. Dengan kata lain, bahwa antara putaran rotor dan putaran fluks magnet terdapat selisih putaran yang disebut slip.

Motor induksi *polyphase* banyak dipakai dikalangan industri. Ini berkaitan dengan beberapa keuntungannya. yaitu:

1. Sangat sederhana dan daya tahan kuat (konstruksi hampir tak pernah mengalami kerusakan, khususnya tipe rotor sangkar bajing).
2. Harga relatif murah dan perawatan mudah.
3. Efisiensi tinggi. pada kondisi berputar normal, tidak dibutuhkan sikat dan karenanya rugi daya yang ditimbulkan dapat dikurangi (khususnya motor induksi rotor belitan).

2.2 Konstruksi Dasar Motor Induksi

Konstruksi motor induksi terdiri dari dua bagian utama yaitu stator dan rotor. Hal ini dapat dilihat pada gambar 2-1 di bawah ini :

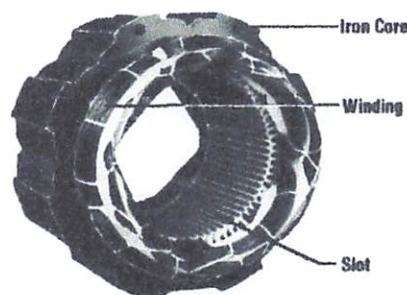


Gambar 2-1 Konstruksi Motor Induksi^[5]

2.2.1 Stator

Pada dasarnya konstruksi stator pada motor induksi mempunyai bentuk fisik yang sama dengan mesin sinkron, yang terdiri dari :

- Rumah stator terbuat dari besi tuang.
- Inti stator dari besi atau baja silikon.
- Alur dan gigi materialnya sama dengan inti, alur tempat meletakkan belitan.
- Belitan stator dari tembaga.



Gambar 2-2 Stator motor induksi 3 fasa^[5]

2.2.2 Rotor

Konstruksi dari rotor motor induksi mempunyai dua bentuk, yaitu :

- a. Rotor Belitan (*wound rotor/ rotor slip ring*).

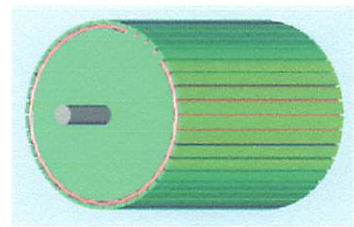
Motor induksi jenis ini mempunyai rotor dengan belitan kumparan tiga-fasa sama seperti kumparan stator. Kumparan stator dan rotor juga mempunyai jumlah kutub yang sama.

- b. Rotor sangkar (*squirrel cage rotor*).

Motor induksi jenis ini mempunyai rotor dengan kumparan yang terdiri atas beberapa batang konduktor yang disusun sedemikian rupa sehingga menyerupai sangkar tupai.



Gambar 2-3 (a) Rotor Belitan



(b) Rotor Sangkar

2.3 Prinsip Kerja Motor Induksi

Motor induksi tiga fasa dapat dibandingkan dengan transformator karena merupakan piranti yang melibatkan perubahan kebocoran fluks pada kumparan stator. Dalam hubungan ini diasumsikan bahwa rotor terdiri atas tipe lilitan dan hubungan bintang. Dengan lilitan rotor dalam keadaan rangkaian terbuka tidak ada torsi yang dibangkitkan. Dengan demikian pemberian tegangan tiga fasa pada kumparan stator tiga fasa menimbulkan medan magnet putar dan memotong kumparan rotor pada frekuensi f_1 . Nilai rata-rata ggl induksi per fasa dari kumparan rotor dinyatakan dengan persamaan :

$$E_2 = 4,44 f_1 N_2 k_{w2} \Phi_m \dots\dots\dots (2.1)$$

Perlu diketahui bahwa frekuensi stator f_1 digunakan disini karena rotor tersebut dalam keadaan diam / berhenti. Dengan demikian E_2 merupakan ggl frekuensi saluran . Fluks (Φ_m) tentu merupakan tiap elektroda (pole) dari kumparan stator dan rotor.

Rumus yang serupa menyatakan nilai rata-rata ggl induksi tiap phasa yang terjadi dari kumparan stator, yaitu :

$$E_1 = 4,44 f_1 N_1 k_{w1} \Phi_m \dots\dots\dots (2.2)$$

Berdasarkan persamaan (2.1) dan (2.2) dapat dirumuskan rasio :

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1 K_{w1}}{N_2 K_{w2}} \dots\dots\dots (2.3)$$

Pada dasarnya, motor induksi pada keadaan diam menyerupai karakteristik transformator dengan kumparan stator sebagai sisi primer dan kumparan rotor sebagai sisi sekundernya.

Untuk menghasilkan torsi mula (dan torsi penggerak berturut-turut) perlu arus yang mengalir dalam kumparan rotor. Mula-mula ggl induksi E_2 mengakibatkan arus rotor I_2 mengalir melalui rangkaian hubung-singkat, menghasilkan distribusi *ampere-conductor* yang berkerja dengan medan fluks untuk menghasilkan torsi mula. Pengaruh torsi ini selalu mengakibatkan rotor berputar dalam arah yang sama sebagaimana medan putar. Anggaplah bahwa medan fluks putar searah jarum jam pada kecepatan tertentu yang bergantung pada frukuensi stator dan banyaknya kutub dari kumparan stator. Kecepatan ini disebut “kecepatan sinkron” dan dinyatakan :

$$n_s = \frac{120f}{p} \text{ rpm} \dots\dots\dots (2.4)$$

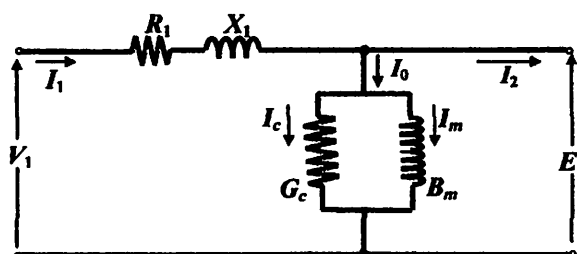
karena rotor meningkat kecepatannya, laju yang mengijinkan medan stator memotong kumparan rotor menurun. Hal ini mengurangi ggl induksi resultan per fasa, pada gilirannya menurun magnitude distribusi *amper-conductor* dan menghasilkan torsi yang lebih kecil. Pada kenyataan proses ini berlanjut hingga kecepatan rotor mampu untuk menghasilkan ggl yang cukup agar arus yang diperlukan untuk membangkitkan torsi yang setara dengan torsi lawan.

2.4 RANGKAIAN EKIVALEN

2.4.1 Rangkaian Ekivalen Stator

Apabila kumparan stator diberikan tegangan catu dari jala-jala sebesar V_L , maka akan mengalir arus putar tiga fasa pada kumparan stator yang membangkitkan medan magnet tiga fasa. Arus stator (I_1) bercabang menjadi dua komponen arus yaitu :

1. Komponen arus beban (I_2)
2. Komponen arus eksitasi (I_0)



Gambar 2-4. Rangkaian Ekivalen Stator^[2]

Dimana : V_1 = tegangan terminal per-phaasa

R_1 = resistansi kumparan stator per-phaasa

X_1 = reaktansi bocor kumparan stator per-phaasa

E_1 = tegangan induksi (ggl) per-phaasa di dalam kumparan stator

G_c = konduktansi rugi-rugi inti stator per-phaasa

B_m = suseptansi magnetisasi stator per-phaasa

2.4.2 Rangkaian Ekuivalen Rotor

Pada saat rotor diam, medan putar stator akan memotong batang konduktor rotor dengan kecepatan putar sinkron (n_s), sehingga frekuensi arus rotor sama dengan frekuensi arus stator ($f_s = f_r$) dan slip sama dengan satu ($s=1$). Dengan mengetahui bahwa frekuensi arus / tegangan rotor adalah frekuensi slip, maka reaktansi bocor rotor (*leakage reactance*) per phaasa adalah :

$$X_2' = sX_2 \dots\dots\dots (2.5)$$

$$X_2 = 2\pi f_s L_2 \dots\dots\dots (2.6)$$

dimana X_2 merupakan reaktansi rotor pada start atau diam.

Tegangan induksi pada rotor :

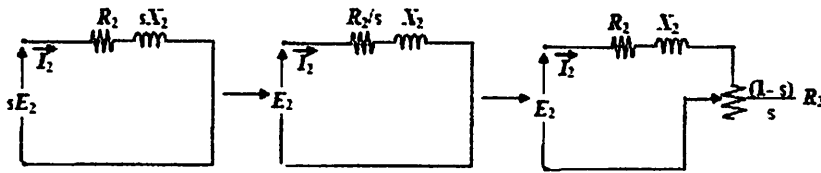
$$E_2 = 4,44 f_2 N_2 \Phi_m \dots\dots\dots (2.7)$$

Pada slip, s , frekuensi rotor menjadi $s f_s$, maka tegangan induksi pada rotor (E_2') pada slip, s , adalah :

$$E_2' = 4,44 s f_1 N_2 \Phi_m \dots\dots\dots (2.8)$$

Dengan memasukkan persamaan (2.12) ke (2.13) maka didapat persamaan :

$$E_2' = s E_2 \dots\dots\dots (2.9)$$



Gambar 2-5. Rangkaian Ekivalen Rotor

Dimana :

S = Slip

E₂ = tegangan induksi per-fasa di dalam rotor pada keadaan diam

R₂' = resistansi kumparan rotor per-fasa berpatokan pada stator

X₂' = reaktansi bocor rotor per-fasa berpatokan pada stator

Berdasarkan persamaan (2.10) dan (2.14) maka diperoleh rangkaian ekivalen rotor seperti pada gambar 2-6.

Besar arus rotor (I₂) saat berputar adalah :

$$I_2 = \frac{sE_2}{\sqrt{R_2^2 + (sX_2)^2}} \dots\dots\dots (2.10)$$

Atau

$$I_2 = \frac{E_2}{\sqrt{\left(\frac{R_2}{s}\right)^2 + X_2^2}} \dots\dots\dots (2.11)$$

Sedangkan torsi untuk motor induksi dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

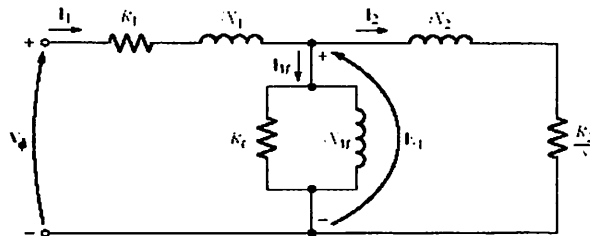
$$P_o = T_o \cdot \omega_r \dots\dots\dots (2.12)$$

$$T_o = \frac{P_o}{\omega_r} \dots\dots\dots (2.13)$$

$$\omega_r = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_r}{60} \dots\dots\dots (2.14)$$

$$P_{in} = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I \cdot \cos \varphi \dots\dots\dots (2.15)$$

Jadi rangkaian ekivalen secara keseluruhan ketika motor berjalan adalah sebagai berikut:



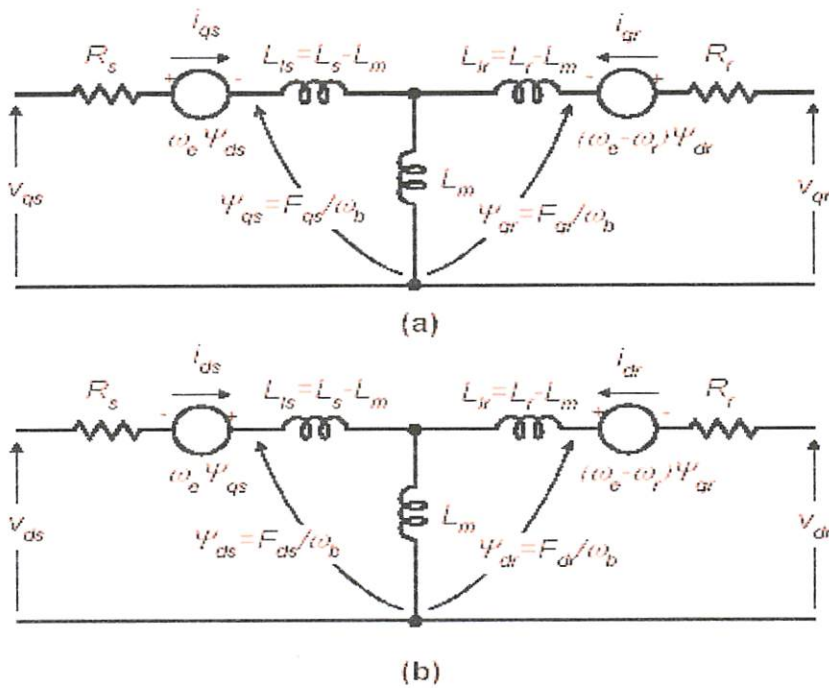
Gambar 2.6. Rangkaian Ekivalen Motor Induksi [2]

Dimana :

- V_1 = Tegangan terminal
- R_1 = Resistansi kumparan stator
- X_1 = Reaktansi kumparan stator
- X_m = Reaktansi magnetik (ohm)
- I_1 = Arus Input (amp)
- I_2 = Arus Rotor (amp)
- I_m = Arus Magnetisasi (amp)
- E_1 = Tegangan induksi (ggl) di dalam kumparan stator (volt)
- S = Slip
- R_2 = Resistansi kumparan rotor (ohm)
- X_2 = Reaktansi bocor rotor(ohm)

- R_c = Resistansi Rugi Inti (ohm)
- P_o = Daya Output (Watt)
- P_{in} = Daya Input (Watt)
- T_o = Torsi Mekanik (Nm)
- ω_r = Kecepatan sudut rotor (rad/sec)

Untuk dapat melakukan menganalisis respons *transient* pada motor induksi dengan perubahan torsi mekanik yang bervariasi maka rangkaian ekuivalen harus dirubah dalam bentuk rangkaian DQ :



Gambar 2.7. Rangkaian Ekuivalen DQ Motor Induksi [2]

$$v_{qs} = r_s i_{qs} + \frac{\omega}{\omega_b} \Psi_{ds} + \frac{P}{\omega_b} \Psi_{qs} \dots \dots \dots (2.16)$$

$$v_{ds} = r_s i_{ds} + \frac{\omega}{\omega_b} \Psi_{ds} + \frac{P}{\omega_b} \Psi_{ds} \dots \dots \dots (2.17)$$

$$v_{os} = r_s i_{os} + \frac{P}{\omega_b} \Psi'_{os} \dots\dots\dots (2.18)$$

$$v'_{qr} = r' i'_{qr} + \left(\frac{\omega - \omega_r}{\omega_b} \right) \Psi'_{dr} + \frac{P}{\omega_b} \Psi'_{qr} \dots\dots\dots (2.19)$$

$$v'_{dr} = r' i'_{dr} + \left(\frac{\omega - \omega_r}{\omega_b} \right) \Psi'_{qr} + \frac{P}{\omega_b} \Psi'_{dr} \dots\dots\dots (2.20)$$

$$v'_{or} = r' i'_{or} + \frac{P}{\omega_b} \Psi'_{or} \dots\dots\dots (2.21)$$

$$\Psi_{qs} = X_{is} i_{qs} + X_M (i_{qs} + i'_{qr}) \dots\dots\dots (2.22)$$

$$\Psi_{ds} = X_{is} i_{ds} + X_M (i_{ds} + i'_{dr}) \dots\dots\dots (2.23)$$

$$\Psi_{os} = X_{is} i_{os} \dots\dots\dots (2.24)$$

$$\Psi'_{qr} = X'_{ir} i'_{qr} + X_M (i_{qs} + i'_{qr}) \dots\dots\dots (2.25)$$

$$\Psi'_{dr} = X'_{ir} i'_{dr} + X_M (i_{ds} + i'_{dr}) \dots\dots\dots (2.26)$$

$$\Psi'_{or} = X'_{ir} i'_{or} \dots\dots\dots (2.27)$$

Dimana :

- d : Sumbu *direct*
- q : Sumbu *quadrature*
- r : Rotor variabel
- F_{ij} : Fluks
- V_{qs}, V_{ds} : Tegangan stator sumbu q dan d
- F_{mq}, F_{md} : Fluks Magnetic sumbu q dan d
- R_r : Resistansi rotor

R_s	:	Resistansi stator
X_{ls}	:	Reaktansi Stator
X_{lr}	:	Reaktansi Rotor
I_{qs}, I_{ds}	:	Arus stator sumbu q dan d
I_{qr}, I_{dr}	:	Arus Rotor sumbu q dan d
P	:	Jumlah dari Kutub
T_e	:	Torsi Output Elektrik
T_L	:	Torsi Beban
J	:	Moment Inertia
ω_e	:	Frekuensi elektrik sudut stator
ω_b	:	Frekuensi dasar elektrik sudut motor

Pada umumnya pada sebuah motor induksi telah terdapat informasi pada *name plate* dimana data informasi itu merupakan dasar dalam pengopersian motor tersebut. Data tersebut berupa:

- Daya Output (Hp/KW)
- Tegangan Nominal $V_{Y-\Delta}$ (Volt)
- Arus Nominal (Amp)
- Power Faktor
- Kecepatan (rpm)
- Jumlah Kutub

2.5 Operasional Motor Induksi

Menjalankan motor induksi 3 phasa akan mengalami dua keadaan yaitu keadaan *transient* (peralihan) dan keadaan *steady state* (mantap).

2.5.1 Performa *Steady State*

Kondisi motor dalam keadan *steady state* adalah kondisi dimana motor dalam keadaan mantap dimana hampir tidak ada perubahan arus, torsi maupun tegangan serta kecepatan sehingga motor dikatakan telah bekerja sesuai dengan name plate. Keadaan *steady state* ini merupakan gambaran secara keseluruhan dari motor tersebut yang dapat dijadikan acuan untuk penggunaannya.

2.5.2 Performa *Transient*

Keadaan *transient* atau peralihan merupakan kondisi motor sesaat dimana keadaan berubah-ubah dan dapat menentukan beberapa faktor penting dalam pengendalian motor, sedangkan keadaan *steady state* adalah kondisi dimana motor dalam keadaan mantap.

Kondisi pada awal atau start, pengereman, perubahan kecepatan akan mengalami keadaan *transient* pada motor induksi. Misalnya pada keadaam start motor induksi dengan kapasitas besar akan menghasilkan arus starting yang besar dimana besarnya 3 sampai 8 kali arus nominal yang tertera pada name plate motor.

Beban motor induksi merupakan factor yang penting dalam stabilitas power system karena adanya beberapa alasan yaitu:

- Perubahan yang cepat dari penambahan beban
- Untuk beban dengan power faktor rendah akan meminta daya reaktif yang tinggi
- Akan menyebabkan tegangan turun ketika beban pada motor ditambah

Perubahan arus torsi dan tegangan yang terjadi misalnya pada keadaan penambahan torsi beban yang berubah-ubah merupakan informasi yang diperlukan oleh teknisi di bidang kontrol sehingga dapat menentukan jenis pengaman yang akan digunakan dan peralatan kontrol yang mana akan digunakan. Keadaan *transient* berlangsung dalam waktu yang cukup singkat tetapi jika diperhatikan secara baik akan menyebabkan bahaya pada motor tersebut. Jadi adanya *transient* respons ini sangat berhubungan dengan waktu..

Perubahan torsi beban pada motor akan mempengaruhi, arus stator, tegangan dan fluks rotor. Tidak semua motor dijalankan pada torsi yang konstan misalnya suatu motor dijalankan pada 0,5 dari torsi rata-rata pada awal dan torsi penuh setelah motor berjalan beberapa detik. Faktor-faktor dalam ini merupakan suatu gejala peralihan ketika motor dioperasikan dengan beban ataupun torsi yang berubah-ubah. Perubahan ini juga akan mengakibatkan pada arus, dan flux rotor. Ketika motor pertama kali dijalankan atau pada kondisi startup dapat diketahui akan mengalami *transient* respons adanya gejala naik turun arus, tegangan, kecepatan dan flux sebelum motor tersebut beroperasi dalam kondisi steady state.

Dalam menganalisa gejala transient ada motor induksi, maka motor induksi digunakan dalam dua fasa yaitu motor dalam D (*direct*) dan Q

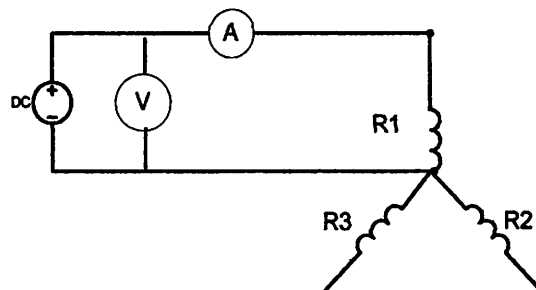
(*quadrature*) sumbu. Konsep ini dianggap mudah karena terdiri dari dua pengaturan medan yaitu pada stator dan pada rotor.

2.6 Pengujian Motor Induksi Tiga Fasa

Untuk menganalisis motor diperlukan inputan parameter motor yang dapat diperoleh dengan melakukan pengujian.

2.6.1. Pengujian Arus Searah (*DC Test*)

Tujuan dari pengujian arus searah (*DC Test*) adalah untuk menentukan nilai resistansi stator. Diagram pengukuran ditunjukkan pada gambar 2.13.



Gambar 2-8

Pengujian Arus Searah (DC Test)^[14]

Kumparan stator terhubung bintang (Y) dan bila sumber DC disuplai melalui kumparan kumparan 1 , dengan kumparan ke tiga (kumparan c) dalam keadaan terbuka (*open circuit*), maka nilai dari resistansi ekivalen (R_{dc}) :

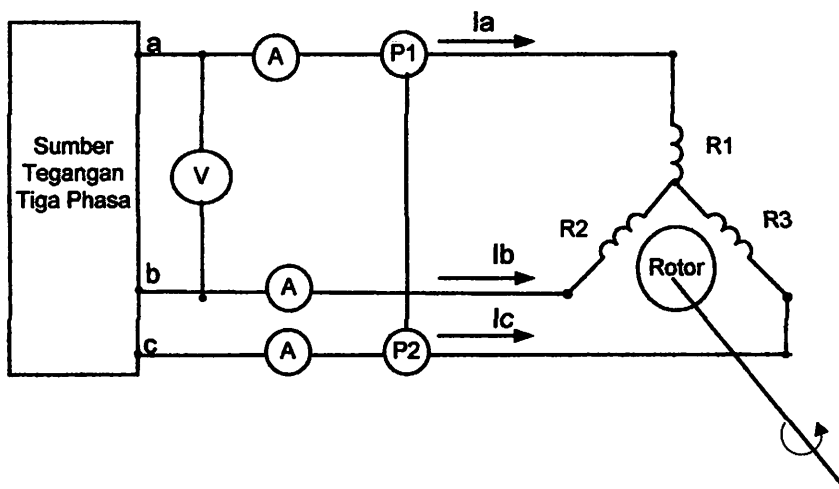
untuk nilai resistansi kumparan a dan b :

$$R_{ab} = R_1 = \frac{V_{DC}}{I_{DC}} \Omega \dots\dots\dots (2.32)$$

Dalam pengujian arus searah dijaga agar arus DC (I_{DC}) tidak melampaui nilai dari arus nominal motor induksi.

2.6.2. Pengujian Tanpa Beban (*No-Load Test*)

Pengujian Tanpa Beban (No-Load Test) bertujuan untuk menentukan nilai resistansi rugi-rugi inti (R_c) dan reaktansi pemagnetan (X_m). Pada pengujian ini motor induksi disuplai pada tegangan dan frekuensi nominalnya, serta rotor berputar tanpa terhubung dengan peralatan beban dimana harga slip sangat kecil (mendekati 0,0001 atau lebih kecil)



Gambar 2-9

Rangkaian Pengujian Tanpa Beban (No Load Test)^[14]

$P_{3-\phi}$, daya total yang terukur dari P1 dan P2 :

$$P_{3-\phi} = P1 + P2 \text{ Watt}$$

$$P_{nl} \text{ daya per fasa } P_{nl} = \frac{P_{3-\phi}}{3} \text{ Watt/ perphasa}$$

Dengan asumsi bahwa tegangan antar fasa stator seimbang, maka tegangan fasa stator:

$$V_{nl} = \frac{V_{ab}}{\sqrt{3}} \text{ Volt/fasa} \dots\dots\dots (2.28)$$

Untuk arus pada no load

$$I_{nl} = \frac{I_a + I_b + I_c}{3} \text{ Ampere} \dots\dots\dots (2.29)$$

$$Z_{nl} = \frac{V_{nl}}{I_{nl}} \text{ ohm} \dots\dots\dots (2.30)$$

$$R_{nl} = \frac{P_{3\phi}}{3I_0} \text{ ohm} \dots\dots\dots (2.31)$$

$$X_{nl} = \sqrt{Z_{nl}^2 - R_{nl}^2} \text{ ohm} \dots\dots\dots (2.32)$$

R_c , resistansi rugi-rugi inti :

$$P_c = P_{nl} - P_{rs} \dots\dots\dots (2.33)$$

$$R_c = \frac{E_a^2}{P_c} \text{ ohm/fasa} \dots\dots\dots (2.34)$$

Rugi Rugi Stator

$$P_{rs} = 3I_{nl}^2 \cdot R_s \text{ (Watt)} \dots\dots\dots (2.35)$$

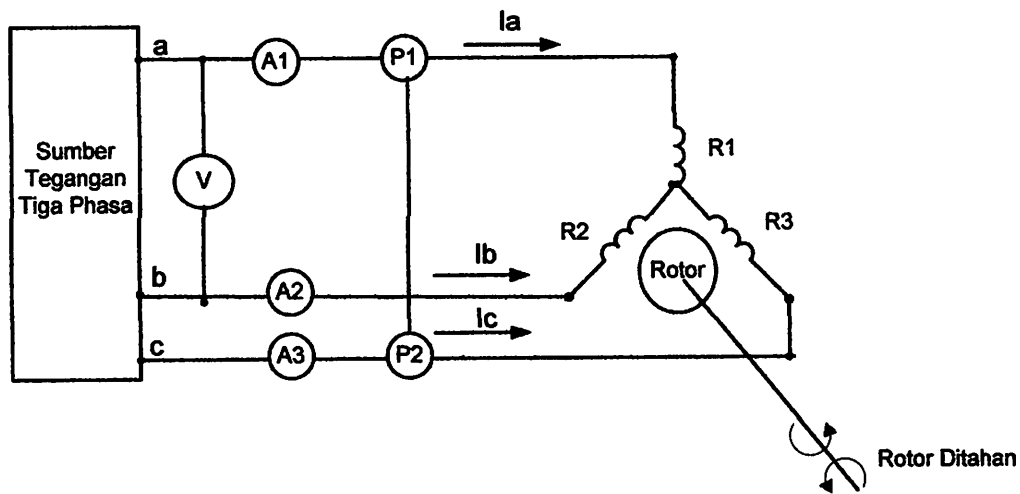
Rugi Gesek, angin, rugi besi :

$$P_{fvc} = P_{nl} - P_{rs} \text{ (Watt)} \dots\dots\dots (2.36)$$

2.6.3. Pengujian Rotor Tertahan (*Blocked Rotor Test*)

Tujuan pengujian rotor tertahan adalah untuk menentukan resistansi rotor pada motor induksi. Pada saat pengujian ini perputaran rotor motor induksi

dikunci / diblok sehingga slip(s) sama dengan satu. Suplai tegangan tiga fase motor induksi adalah tegangan yang nilainya di bawah tegangan nominalnya, yakni tegangan yang dapat menghasilkan arus nominalnya. Sebagai pendekatan, diasumsikan bahwa arus pemagnetan (I_m) cukup kecil akibat penurunan suplai tegangan serta motor dalam keadaan tidak berputar ($s=1$) sehingga rugi-rugi inti dapat diabaikan.



Gambar 2-10

Rangkaian Pengujian Rotor Tertahan (Blocked Rotor)^[14]

$P_{3-\phi}$, daya total yang terukur dari W_a dan W_b :

$$P_{3-\phi} = P_1 + P_2 \text{ watt} \dots \dots \dots (2.37)$$

Daya total tiga-fase merupakan rugi-rugi tembaga stator dan rotor, karena motor tidak berputar maka rugi-rugi inti diabaikan.

P_{br} , rugi-rugi daya per fasa :

$$P_{br} = \frac{P_{3-\phi}}{3} \text{ watt/phase} \dots\dots\dots (2.38)$$

Dengan asumsi bahwa tegangan antar fasa stator seimbang, maka tegangan fasa stator

$$V_{br} = \frac{V_{ab}}{\sqrt{3}} \text{ Volt/phase} \dots\dots\dots (2.39)$$

I_{br} , arus fasa stator :

$$I_{br} = \frac{I_a + I_b + I_c}{3} \text{ Ampere} \dots\dots\dots (2.40)$$

R_{ek} , resistansi ekuivalen :

$$R_{ek} = \frac{P_{br}}{I_{br}^2} \text{ ohm/phase} \dots\dots\dots (2.41)$$

Untuk R_r' , resistansi rotor berpatokan pada stator :

$$R_r' = R_{ek} - R_s \text{ ohm/phase} \dots\dots\dots (2.42)$$

Z_{br} , Impedansi rotor tertahan :

$$Z_{br} = \frac{V_{br}}{I_{br}} \text{ ohm/phase} \dots\dots\dots (2.43)$$

X_{ek} , reaktansi ekuivalen :

$$X_{ek} = \sqrt{(Z_{br}^2 + R_{ek}^2)} \text{ ohm/phase} \dots\dots\dots (2.44)$$

Dimana Motor induksi yang dipakai adalah motor induksi dengan rotor sangkar tunggal. Secara umum X_s dan X_r' diasumsikan sama, sehingga :

$$X_s = X_r' = 0.5 X_{ek} \text{ ohm/phase}$$

BAB III

METODE *FUZZY LOGIC CONTROLLER*

3.1 Pendahuluan

Dalam bab ini akan membahas mengenai konsep dasar logika fuzzy, dan prinsip pengendaliannya pada sistem tenaga listrik, khususnya pada pengendalian kecepatan motor induksi. 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 dalil 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 berwarna hitam maka dalil “batu berwarna putih” adalah salah. Sebaliknya jika yang kita jumpai atau kita pegang batu berwarna putih maka dalil tersebut betul. Tetapi bagaimana bila kita menjumpai batu sungai yang berwarna kelabu, maka dalil tersebut tidak salah dan tidak benar. Hal inilah yang melahirkan konsep himpunan fuzzy (fuzzy set).

Konsep himpunan fuzzy pertama kali diperkenalkan oleh prof.Lotfi A Zadeh dari California Universitas di Berkley dalam makalahnya “fuzzy set” pada

tahun 1965. Teori dan aplikasinya terus dikembangkan oleh para ahli diantaranya adalah Ricard Tong yang mengembangkan teori tentang model dinamis suatu sistem pengendalian dengan fuzzy logic melalui penurunan persamaan waktu deskrit dan konsep kestabilan;serta MM Gupta dan T. Yamakawa yang mengajukan struktur multivariabel untuk menganalisa sistem pengendalian fuzzy.

Secara leksikal fuzzy berarti kabur atau tidak jelas. Fuzzy logic merupakan metodologi untuk menyatakan hukum operasional sistem dengan ungkapan bahasa bukan dengan persamaan matematis.

Logika Fuzzy Logic Controller (FLC) memiliki kelebihan yaitu variabel-variabel yang digunakan adalah variabel linguistik sehingga logika FLC ini mengizinkan adanya unsur ketidakpastian, seperti halnya terdapat pada cara berfikir manusia. Logika FLC ini mampu membuat model matematis untuk melakukan pendekatan terhadap ketidakpastian pada cara berfikirnya 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 dan teori probabilitas masih mampu menjawab tantangan terhadap sistem-sistem yang sederhana maupun yang

kompleks, namun dengan seiring meningkatnya kompleksitas sistem diiringi dengan kebutuhan akan akurasi sistem yang baik, menyebabkan adanya kesulitan dalam memodelkan kerja sistem dalam suatu model matematis dan fungsi alih yang diperlukan dalam sistem pengendalian konvensional. Dalam sistem pengendalian berbasis logika fuzzy tidak diperlukan adanya model matematis maupun fungsi alih tetapi didasarkan pada pengalaman kerja seorang operator dan pembelajaran sendiri dengan kecerdasan buatan / AI (Artificial Intelligence).

3.2 Himpunan Klasik (*crisp*)

Pada himpunan klasik logika yang digunakan adalah logika Boolean (Boolean Logic). 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*.

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

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

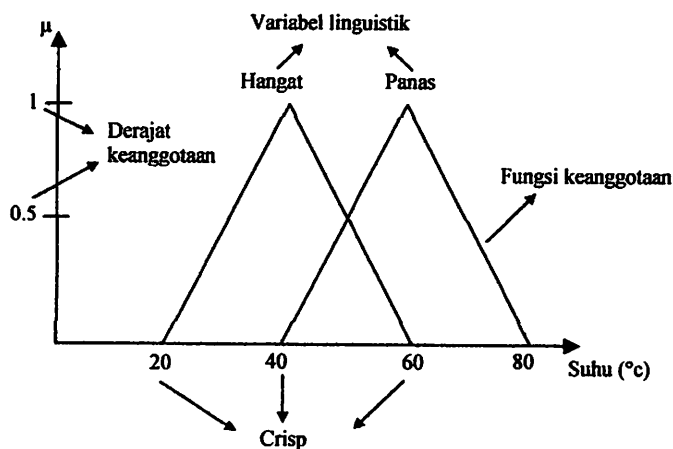
dimana x adalah an.

3.3. Himpunan Fuzzy

Dalam mengontrol 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 yaitu dengan himpunan fuzzy.

Pada fuzzy logic harga kebenaran diberikan oleh termonologi linguistik dengan menyatakan derajat keaburannya (*fuzziness*). Fuzzy logic dikembangkan dari logika boolean atau logika klasik (*crisp*) dimana pada logika fuzzy terdapat level-level diantara 0 sampai dengan 1 atau antara salah dan benar. Agar lebih jelas gambar 3-1 memperlihatkan himpunan fuzzy beserta istilah-istilahnya



Gambar 3-1

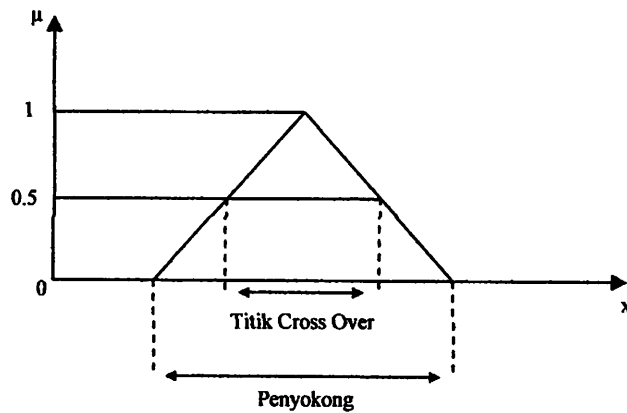
Himpunan Fuzzy Dan Istilahnya

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

Sumber : J. S. R. Jang, C. T. Sun & E Mizutani, NEURO FUZZY AND SOFT COMPUTING. A COMPUTATIONAL APROUCH TO LEARNING AND MACHINE INTELEGENGE Matlab Curriculum Series, Prentice Hall International Inc, 1997, hal 19

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

$$\begin{aligned}
&= \sum_{i=1}^n \mu_i/x_i \\
&= \bigcup_i \mu_i/x_i \dots\dots\dots(3.3)
\end{aligned}$$

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

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

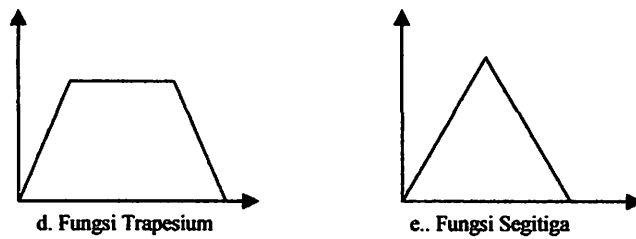
Derajat keanggotaan yang terbesar mempunyai bobot lebih besar untuk menjadi anggota himpunan fuzzy tersebut. Dalam hal ini roti isi lebih diminati untuk dijadikan menu sarapan pagi daripada jenis makanan lainnya yang kurang diminati sebagai menu sarapan pagi.

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

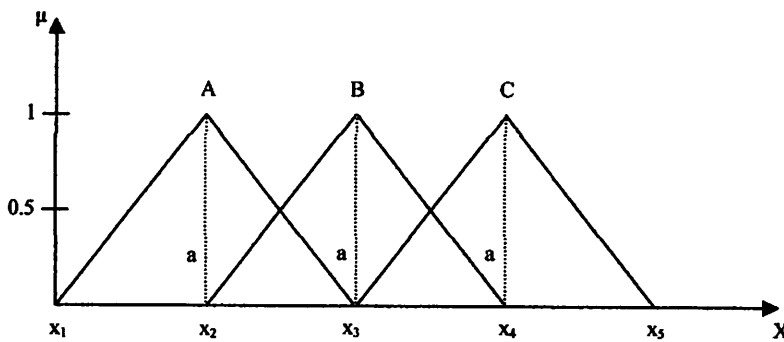
yang dimaksud. Disini dipilih pendekatan dengan fungsi segi tiga karena mempunyai perhitungan yang lebih cepat.



Gambar 3-3

Bentuk – Bentuk Fungsi Keanggotaan

Sumber : Ir. Rushdianto Effendie Abdul Kadier, MT, PERANCANGAN KONTROLLER LOGIKA FUZZY SWA- ATUR TAK LANGSUNG UNTUK MENGATUR KECEPATAN MOTOR DC, Thesis Magister Elektro ITB, 1995, hal 15



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 :

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

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

$$\mu_A(x) = 1 - \mu_B(x)$$

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

$$\begin{aligned}\mu_{A \cup B}(x) &= M_{LX}[\mu_A, \mu_B](x) \\ &= v[\mu_A, \mu_B]\end{aligned}$$

- 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 kontrol dengan pendekatan fuzzy logic merupakan sistem pengendalian 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 kontrol 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

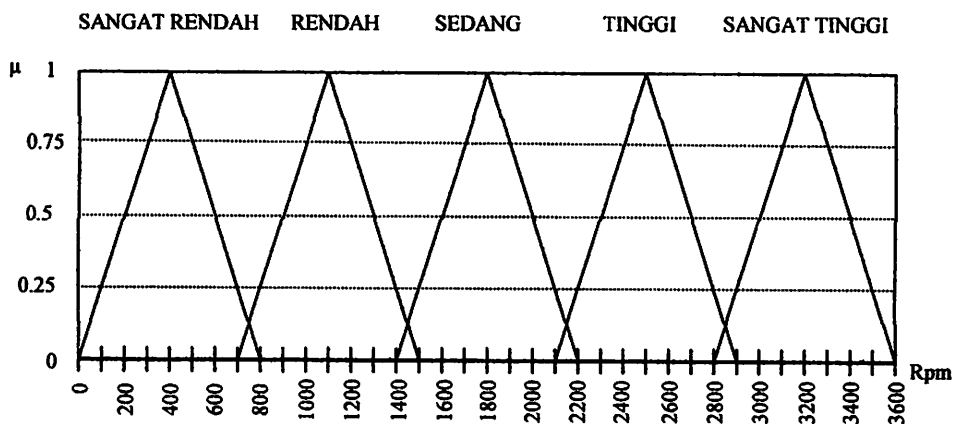
variabel linguistik, maka seperangkat istilah T (kecepatan) pada semesta pembicaraan X (kecepatan putaran generator) dapat dituliskan :

- T (kecepatan) = { 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 dan himpunan rendah, dengan derajat keanggotaan = 0.05.

3.6. Kontroller Dengan Fuzzy Logic

Perancangan fuzzy logic controller menggabungkan aspek pendefinisian himpunan fuzzy dengan aspek fuzzy logic untuk memperoleh suatu sistem kontrol yang dapat beroperasi layaknya seorang operator ahli, sehingga dikenal dengan sistem pengendalian cerdas. Sistem pengendalian cerdas ini dapat dirancang berdasarkan empat pendekatan yaitu :

1. Pendekatan berdasarkan basis pengetahuan (knowledge Base) seorang operator ahli.
2. Pendekatan fuzzy logic dengan variabel linguistik.
3. Pendekatan dengan jaringan syaraf tiruan (artificial neural network).

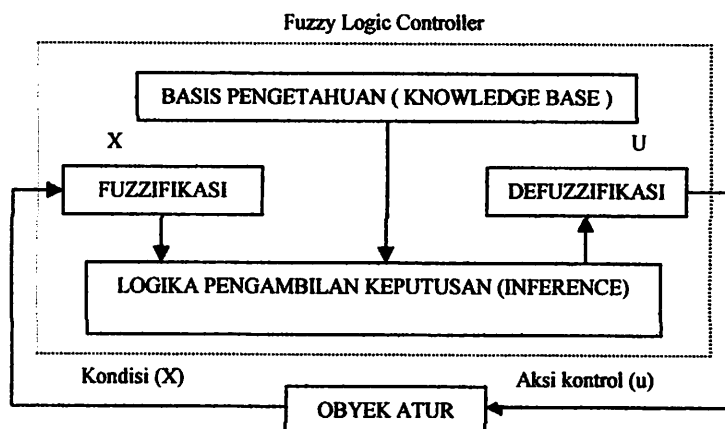
4. Gabungan antara artificial neural network dan fuzzy logic yang dikenal sebagai Neuro fuzzy.

Kesemuanya ini dikenal sebagai pendekatan yang berorientasi manusia (human oriented). Disini hanya digunakan suatu sistem kontrol dengan pendekatan fuzzy logic. Fuzzy logic controller membuat keputusan dengan menggunakan aturan if-then (jika-maka) berdasarkan masukan dan keluaran.

“ jika $e = \text{NB}$ dan $\Delta e = \text{PK}$ maka $u = \text{NS}$ “

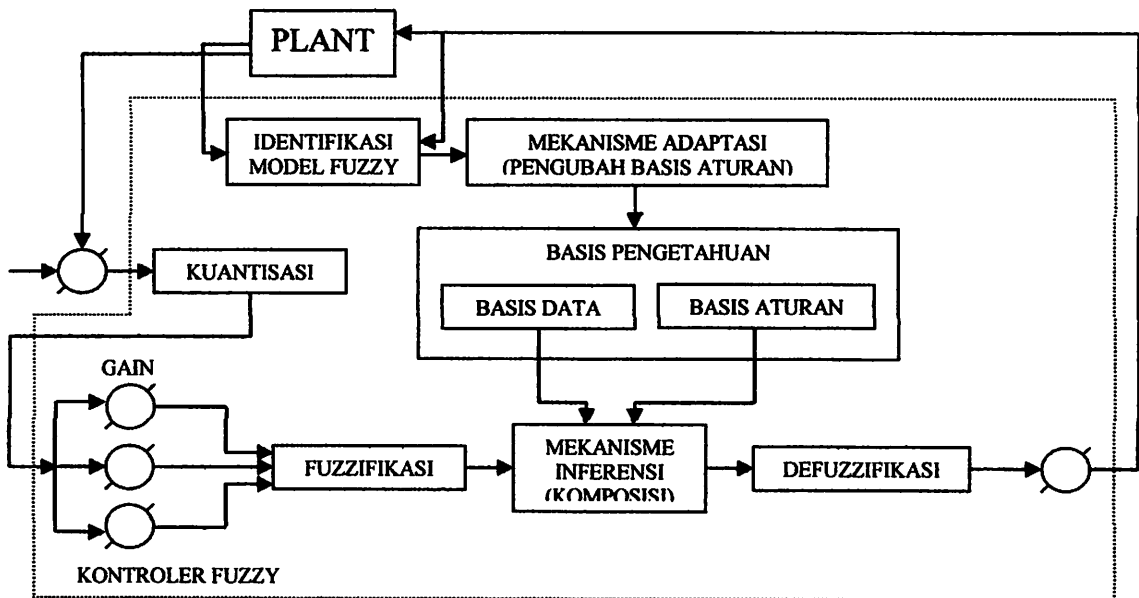
Dimana e = error output dengan variabel linguistik NB, Δe = perubahan error dengan variabel linguistik PK, dan u = sinyal atur dengan variabel linguistik NS.

Secara umum fuzzy logic controller mempunyai empat bagian pokok yang dipresentasikan dalam gambar 3-6.



Gambar 3-6

Bagian Pokok Fuzzy Logic Controller



Gambar 3-7

Diagram Blok Sistem Pengendalian 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 kontrolnya.

- 3) Logika pengambilan keputusan, adalah inti dari fuzzy logic controller yang mempunyai kemampuan seperti manusia dalam mengambil keputusan dan kesimpulan.
- 4) Defuzzifikasi, berfungsi untuk mentransformasikan kesimpulan tentang aksi kontrol yang bersifat fuzzy menjadi sinyal yang bersifat crisp melalui operator defuzzier.

3.6.1. Fuzzifikasi

Dalam aplikasi suatu pengendalian, 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 fuzzifikasi (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 $x = \text{Fuzzifier}$ 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 fuzzy logic controller 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.

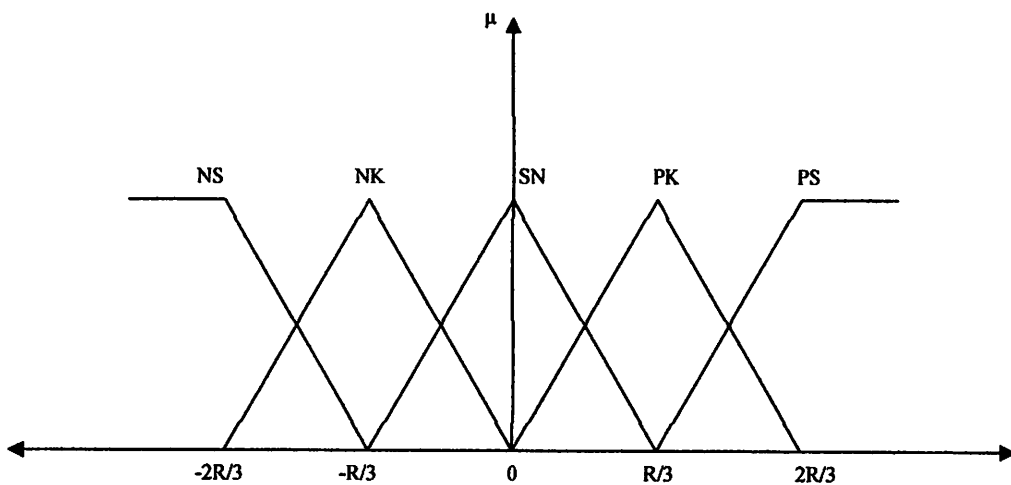
Dalam aplikasi industri harga terukur adalah analog. Harga ini harus diubah menjadi harga digital dengan ADC (Analog to Digital Converter) agar dapat diproses oleh komputer. Selanjutnya oleh komponen elektronik dirangkaian controller (biasanya dengan IC khusus fuzzy logic yaitu AL 220 atau NLX 220) dilakukan 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.

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 fuzzy logic controller terhadap masukan dan kehalusan aksi kontrol 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 dikarakteristikkan 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 kontrol suatu sistem kontrol yang berbasis fuzzy logic ini sehingga akan menghasilkan aksi kontrol (u) yang sesuai.
2. Penurunan aturan kontrol fuzzy

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

Agar diperoleh kinerja sistem kontrol 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 kontrol 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 in ditunjukkan dalam tabel 3-2 yang

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

Tabel 3-2

Aturan Kontrol 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

3.6.3. Logika Pengambilan Keputusan

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

3.6.3.1. Bentuk Aturan Kontrol Fuzzy

Seorang operator ahli yang berpengalaman akan menggunakan aturan kontrol yang berbentuk if-then. Untuk sistem dengan satu masukan-satu keluaran (Single Input Single Output = SISO) aturan kontrolnya 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 kontrolnya 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.

3.6.3.2. Fungsi Implikasi

Aturan kontrol pada dasarnya adalah relasi fuzzy yang dinyatakan sebagai suatu hubungan sebab akibat yang disebut sebagai implikasi fuzzy (fuzzy implication). Pada suatu sistem kontrol 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

$$\mu_R = \mu (A \rightarrow B) (x,y) \dots\dots\dots(3.5)$$

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 :

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

$$\begin{aligned} \mu_R &= \mu (A \text{ dan } B \rightarrow C) (x,y,z) \text{ dimana } x \in X, y \in Y \text{ dan } z \in Z \\ &= [\mu_A (x) \text{ dan } \mu_B (y)] \rightarrow \mu_C (z) \dots\dots\dots(3.6) \end{aligned}$$

3.6.3.3. Mekanisme Inferensi

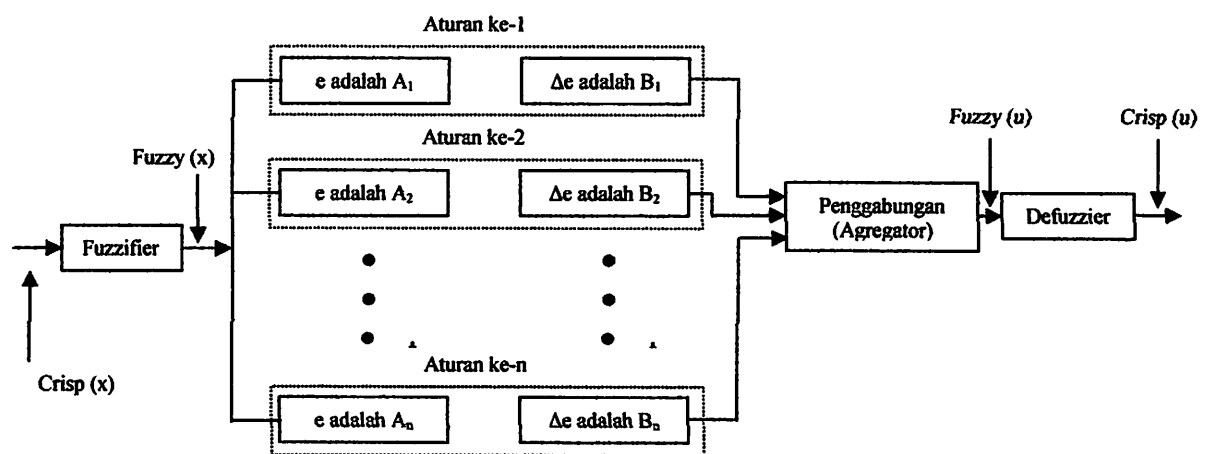
Untuk mengkombinasikan aturan-aturan kontrol yang digunakan kata hubung yang secara umum dinyatakan dengan :

- 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

kontrol ini harus dapat menghasilkan satu keluaran berupa kesimpulan. Proses pengambilan kesimpulan ini dinyatakan sebagai mekanisme inferensi.

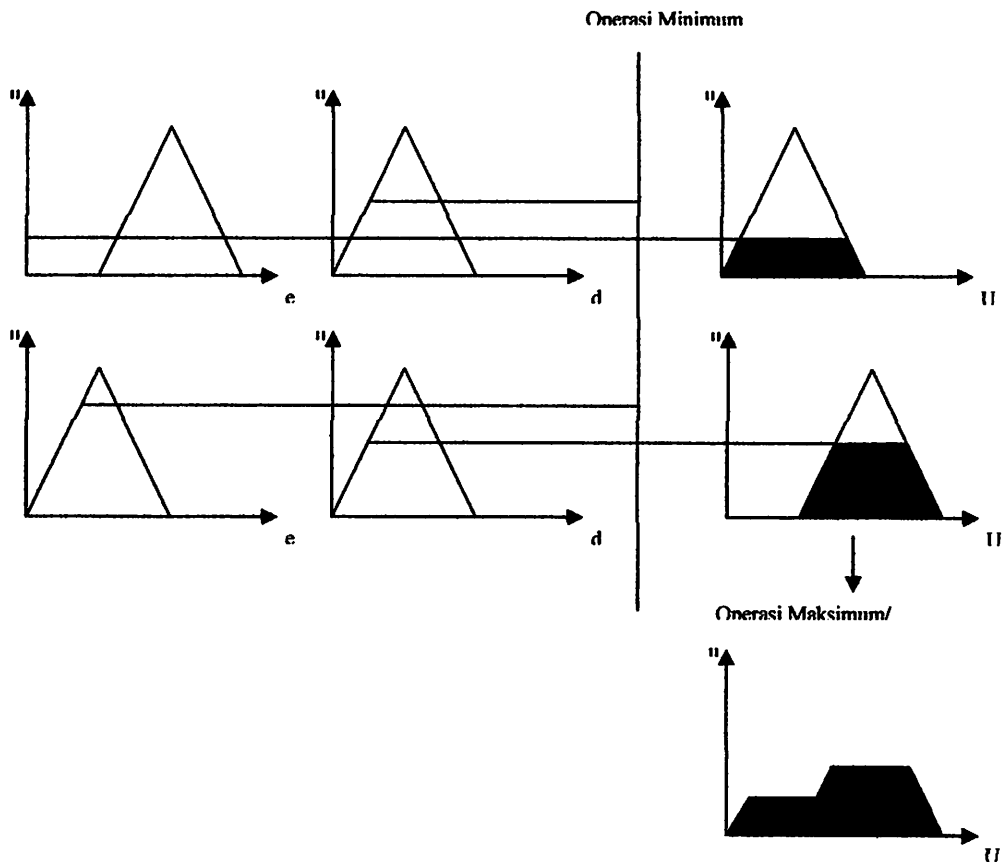
Dari uraian diatas, mekanisme inferensi yang terdiri dari beberapa aturan (rule) dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 3-9

Blok Diagram Mekanisme Inferensi

Metode inferensi yang banyak digunakan adalah metode inferensi Mamdani, seorang pakar sistem kontrol dari Queen Mary College di London yang mempunyai nama lengkap Ebrahim H. Mamdani. Metode inferensi Mamdani ini pertama kali dipakai untuk mengontrol kombinasi ketel dan mesin uap dengan menggunakan aturan kontrol 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

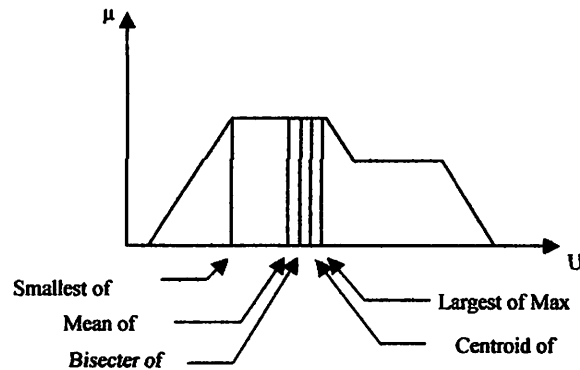
Mekanisme Inferensi MISO Dengan Operasi Max-Min

3.6.4. Defuzzifikasi

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

$$U = \text{Defuzzifier}(U) \dots\dots\dots(3.7)$$

Ada beberapa metode defuzzifikasi yang terdapat dalam literatur, yaitu centroid of area, mean of max membership, bisecter 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 dengan centroid of area method mempunyai persamaan sederhana :

$$U = \frac{\sum U_i \cdot \mu_i}{\sum \mu_i} \text{ untuk SISO} \dots\dots\dots(3.8)$$

Sedangkan untuk MISO berlaku :

$$U = \frac{\sum U_i \cdot \mu_i}{\sum \mu_i} \dots\dots\dots(3.9)$$

Dimana :

$i = 1, \dots, 49$ menyatakan jumlah aturan kontrol MISO (7×7)

U_i , adalah titik pusat masing-masing himpunan variabel keluaran ke-I

μ_i , adalah variabel minimum untuk tiap variabel linguistik.

3.7 Penyusunan Basis Aturan

Penyusunan basis aturan menghasilkan tabel pandang (look up table) yang disebut dengan tabel Mac Vicar Whelan dengan kaidah atur 7 variabel error dan 7 variabel perubahan error sehingga dihasilkan 49 basis aturan. Tabel Mac Vicar Whelan dapat dijabarkan dengan pernyataan linguistik sebagai berikut :

R_1 : Jika e adalah NB dan Δe adalah NB maka U adalah NB

R_2 : Jika e adalah NB dan Δe adalah NS maka U adalah NB

R_3 : Jika e adalah NB dan Δe adalah NK maka U adalah NB

R_4 : Jika e adalah NB dan Δe adalah SN maka U adalah NB

R_5 : Jika e adalah NB dan Δe adalah PK maka U adalah NS

R_6 : Jika e adalah NB dan Δe adalah PS maka U adalah NK

R_7 : Jika e adalah NB dan Δe adalah PB maka U adalah SN

R_8 : Jika e adalah NS dan Δe adalah NB maka U adalah NB

R_9 : Jika e adalah NS dan Δe adalah NS maka U adalah NB

R_{10} : Jika e adalah NS dan Δe adalah NK maka U adalah NB

R_{11} : Jika e adalah NS dan Δe adalah SN maka U adalah NS

R_{12} : Jika e adalah NS dan Δe adalah PK maka U adalah NK

- R₁₃ : Jika e adalah NS dan Δe adalah PS maka U adalah SN**
- R₁₄ : Jika e adalah NS dan Δe adalah PB maka U adalah PK**
- R₁₅ : Jika e adalah NK dan Δe adalah NB maka U adalah NB**
- R₁₆ : Jika e adalah NK dan Δe adalah NS maka U adalah NB**
- R₁₇ : Jika e adalah NK dan Δe adalah NK maka U adalah NS**
- R₁₈ : Jika e adalah NK dan Δe adalah SN maka U adalah NK**
- R₁₉ : Jika e adalah NK dan Δe adalah PK maka U adalah SN**
- R₂₀ : Jika e adalah NK dan Δe adalah PS maka U adalah PK**
- R₂₁ : Jika e adalah NK dan Δe adalah PB maka U adalah PS**
- R₂₂ : Jika e adalah SN dan Δe adalah NB maka U adalah NB**
- R₂₃ : Jika e adalah SN dan Δe adalah NS maka U adalah NS**
- R₂₄ : Jika e adalah SN dan Δe adalah NK maka U adalah NK**
- R₂₅ : Jika e adalah SN dan Δe adalah SN maka U adalah SN**
- R₂₆ : Jika e adalah SN dan Δe adalah PK maka U adalah NK**
- R₂₇ : Jika e adalah SN dan Δe adalah PS maka U adalah PS**
- R₂₈ : Jika e adalah SN dan Δe adalah PB maka U adalah PB**
- R₂₉ : Jika e adalah PK dan Δe adalah NB maka U adalah NS**
- R₃₀ : Jika e adalah PK dan Δe adalah NS maka U adalah NK**
- R₃₁ : Jika e adalah PK dan Δe adalah NK maka U adalah SN**
- R₃₂ : Jika e adalah PK dan Δe adalah SN maka U adalah PK**
- R₃₃ : Jika e adalah PK dan Δe adalah PK maka U adalah PS**
- R₃₄ : Jika e adalah PK dan Δe adalah PS maka U adalah PB**
- R₃₅ : Jika e adalah PK dan Δe adalah PB maka U adalah PB**

R₃₆ : Jika e adalah PS dan Δe adalah NB maka U adalah NK

R₃₇ : Jika e adalah PS dan Δe adalah NS maka U adalah SN

R₃₈ : Jika e adalah PS dan Δe adalah NK maka U adalah PK

R₃₉ : Jika e adalah PS dan Δe adalah SN maka U adalah PS

R₄₀ : Jika e adalah PS dan Δe adalah PK maka U adalah PB

R₄₁ : Jika e adalah PS dan Δe adalah PS maka U adalah PB

R₄₂ : Jika e adalah PS dan Δe adalah PB maka U adalah PB

R₄₃ : Jika e adalah PB dan Δe adalah NB maka U adalah SN

R₄₄ : Jika e adalah PB dan Δe adalah NS maka U adalah PK

R₄₅ : Jika e adalah PB dan Δe adalah NK maka U adalah PS

R₄₆ : Jika e adalah PB dan Δe adalah SN maka U adalah PB

R₄₇ : Jika e adalah PB dan Δe adalah PK maka U adalah PB

R₄₈ : Jika e adalah PB dan Δe adalah PS maka U adalah PB

R₄₉ : Jika e adalah PB dan Δe adalah PB maka U adalah PB

➤ Cara Kerja Fuzzy Logic Controller

Dalam hal ini akan diberikan contoh bagaimana fuzzy logic mengolah variabel masukan dan menghasilkan variabel keluaran yang sesuai, misalnya :

Variabel masukan adalah :

- Error yang berada dalam himpunan Pk dan PS
- Perubahan error berada dalam himpunan SN dan PK

Maka prosedur pengolahan masukan hingga menghasilkan aksi kontrol crisp, yaitu :

1. Tahap fuzzifikasi

- Dipakai fungsi keanggotaan bentuk segitiga beserta variabel linguistik dan jangkauannya. Kemudian menghitung derajat keanggotaannya.
- Perhitungan derajat keanggotaan didasarkan pada persamaan (3.8), yaitu :

$$\mu_{PK}(e[k]) = 1 - \sqrt{\frac{(e[k] - (R1/3)^2)}{b_1}}$$

$$\mu_{PS}(e[k]) = 1 - \sqrt{\frac{(e[k] - (2R1/3)^2)}{b_1}}$$

$$\mu_{SN}(de[k]) = 1 - \sqrt{\frac{(de[k]^2)}{b_2}}$$

$$\mu_{PK}(de[k]) = 1 - \sqrt{\frac{(de[k] - (R2/3)^2)}{b_2}}$$

2. Mekanisme Inferensi

- Tahap pertama adalah melakukan operasi minimum dilakukan dengan menentukan nilai minimum antara $\mu_{PK}(e[k])$, $\mu_{PS}(e[k])$, $\mu_{SN}(de[k])$, $\mu_{PK}(de[k])$ dan menyesuaikannya dengan basis aturan dari tabel Mac Vicar Whelan, yaitu
 - $\mu_{R32} = \wedge [\mu_{PK}(e[k]), \mu_{SN}(de[k])] > \mu_{R33} = \wedge [\mu_{PK}(e[k]), \mu_{PK}(de[k])]$
 - $\mu_{R39} = \wedge [\mu_{PS}(e[k]), \mu_{SN}(de[k])] > \mu_{R40} = \wedge [\mu_{PS}(e[k]), \mu_{PK}(de[k])]$
 - Tahap kedua adalah melakukan operasi maksimum atau gabungan.

3. Tahap defuzzifikasi dengan metode center of area atau center of gravity yang didasarkan oleh persamaan (3.9), yaitu:

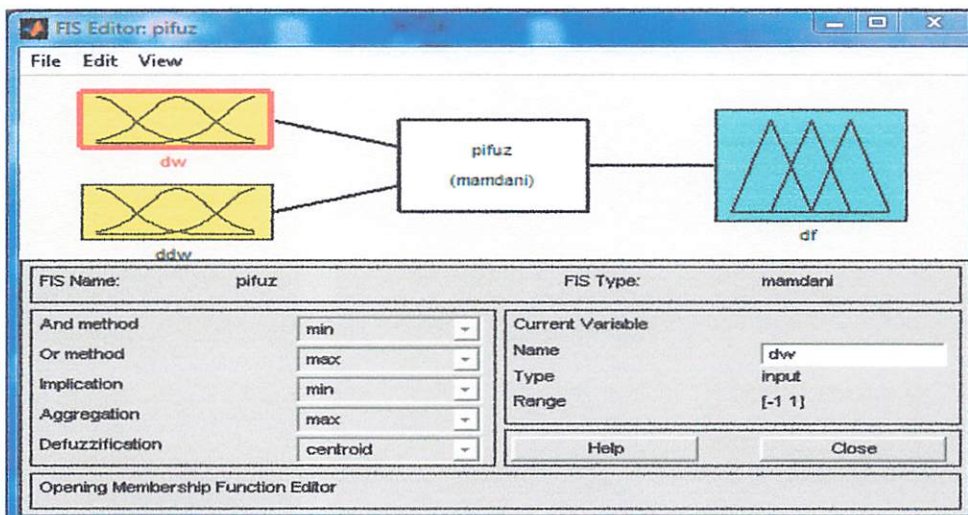
$$U = \frac{\sum_{i=1}^{49} U_i \cdot \mu_i}{\sum_{i=1}^{49} \mu_i}$$

dengan i adalah sesuai dengan aturan kontrollnya.

Rumus diatas menjadi :

$$U = \frac{U_{32} \cdot \mu_{R32} + U_{33} \cdot \mu_{R33} + U_{39} \cdot \mu_{R39} + U_{40} \cdot \mu_{R40}}{\mu_{R32} + \mu_{R33} + \mu_{R39} + \mu_{R40}}$$

Dalam model system pengendalian kecepatan untuk *fuzzy* menggunakan metode Mamdani. Berikut ini tampilan block *Fuzzy Logic Controller* yang digunakan.

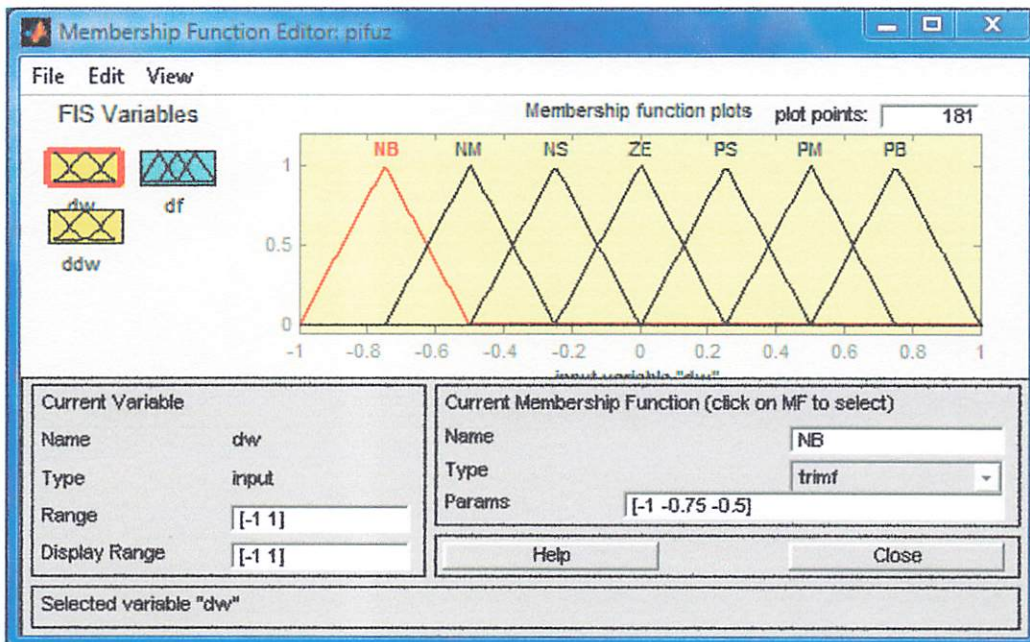


Gambar 3-12

Proses Fuzzyfikasi FIS editor

Pada metode Fuzzy yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode Fuzzy dengan dua input dan satu output. Input satu sebagai delta error (de). tiap input mempunyai tujuh membership function. sehingga keluarannya merupakan

perkalian dari kedua input tadi. Adapun membership function dari tiap-tiap input adalah sebagai berikut :

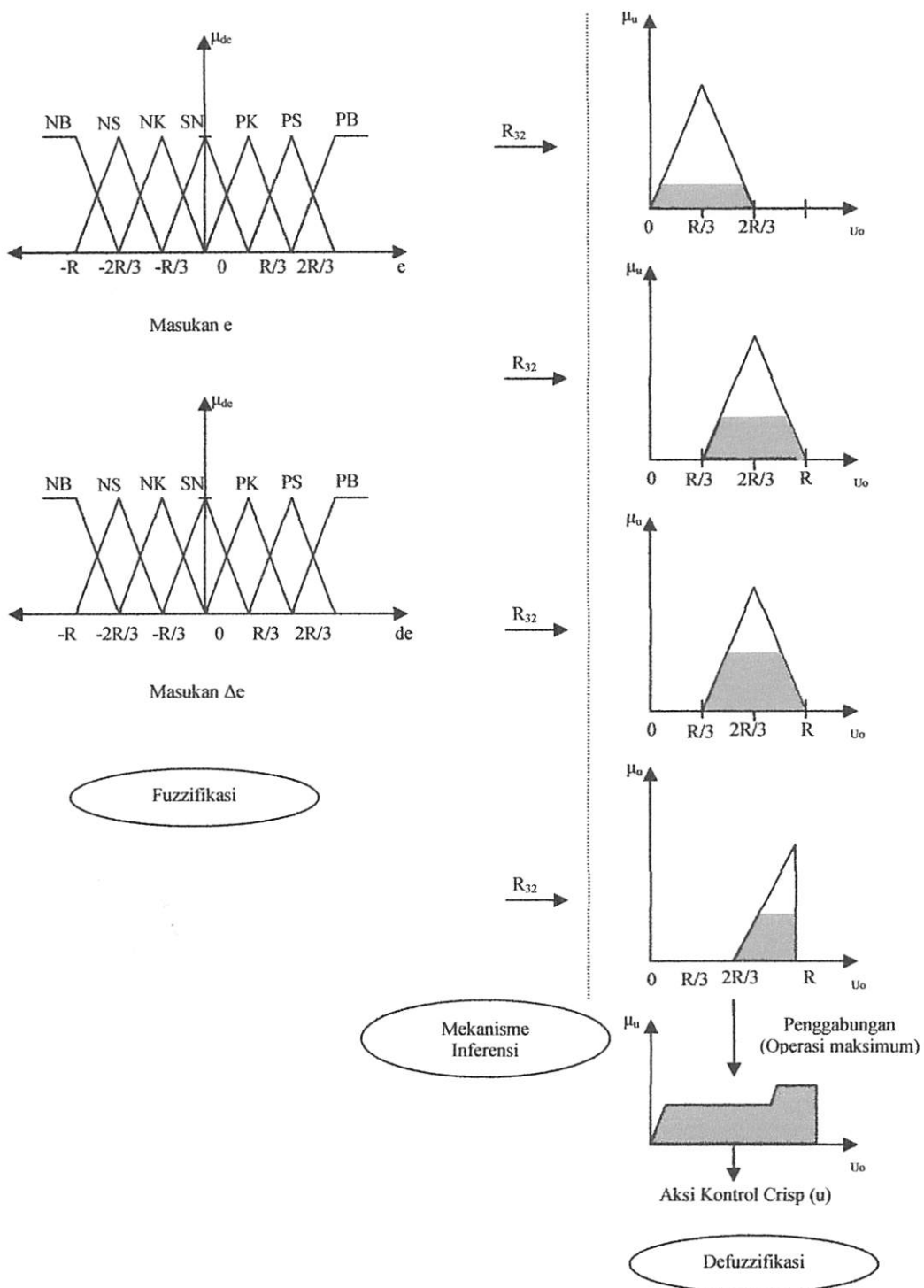


Gambar 3-13

Membership Function Input 2

Tipe *membership function* yang digunakan adalah tipe *trimf* dengan range antara -1 dan 1. Untuk input *membership function*nya ada tujuh, yaitu:

- NB (*input1 membership function1*) dengan params [-1 -0.75 -0.5]
- NM (*input1 membership function2*) dengan params [-0.75 -0.5 -0.25]
- NS (*input1 membership function3*) dengan params [-0.5 -0.25 0]
- ZE (*input1 membership function4*) dengan params [-0.25 0 0.25]
- PS (*input1 membership function5*) dengan params [0 0.25 0.5]
- PM (*input1 membership function6*) dengan params [0.25 0.5 0.75]
- PB (*input1 membership function7*) dengan params [0.5 0.75 1]



Gambar 3-14

Langkah Kerja Fuzzy Logic Controller

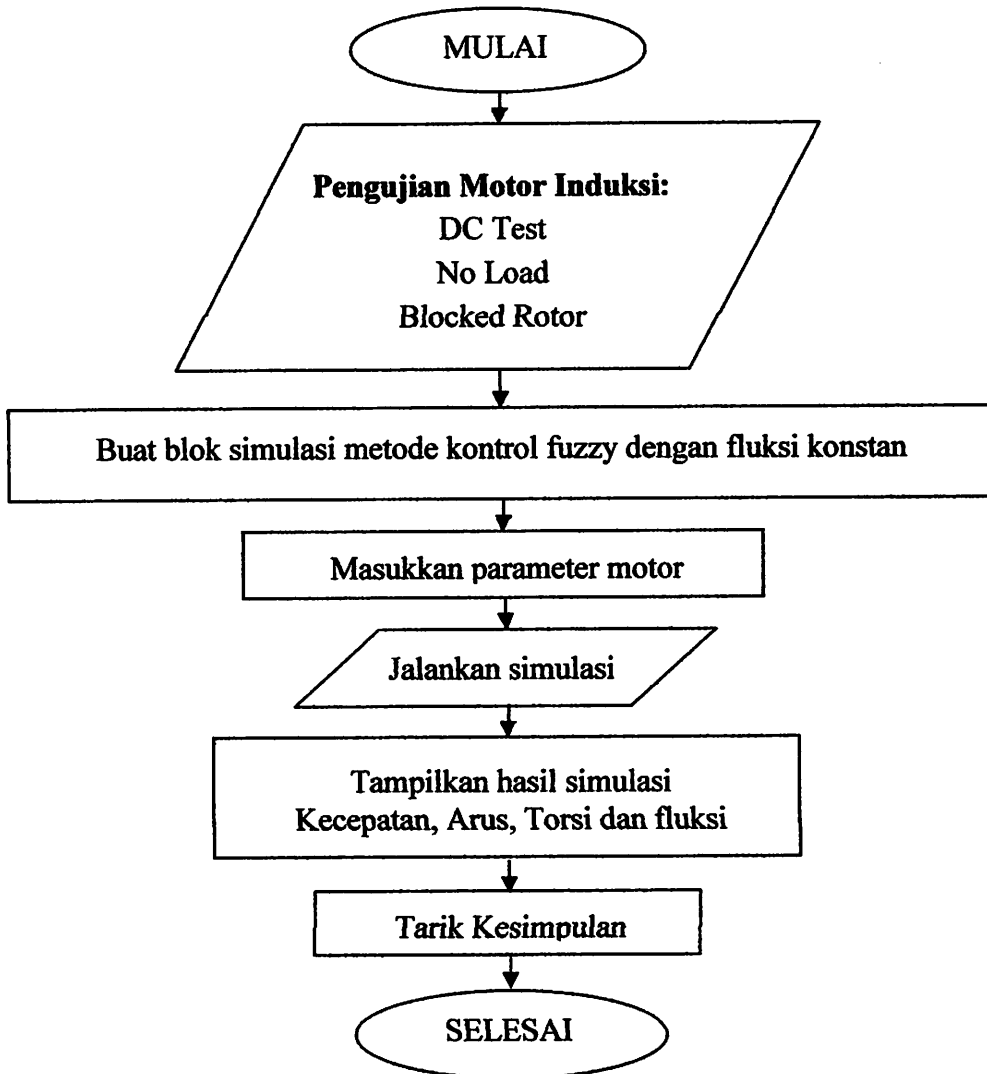
3.9 ALGORITMA PEMOGRAMAN

3.9.1. ALGORITMA PEMECAHAN MASALAH

1. Pengujian Parameter Motor Induksi
 - a. DC test
 - b. Tanpa Beban (*No Load Test*)
 - c. Rotor Tertahan (*Blocked Rotor Test*)
2. Membentuk Block Simulink Motor DC dan control Fuzzy dengan fluksi konstan Berdasarkan *Transfer Function*
3. Memasukan parameter motor induksi dan setting waktu.
4. Menjalankan simulasi motor induksi dengan parameter motor dan penggunaan metode *fuzzy logic controller*
5. Menampilkan hasil simulasi Tegangan, arus, Kecepatan, Torsi.
6. Analisa hasil simulasi
7. Menarik Kesimpulan.
8. Selesai

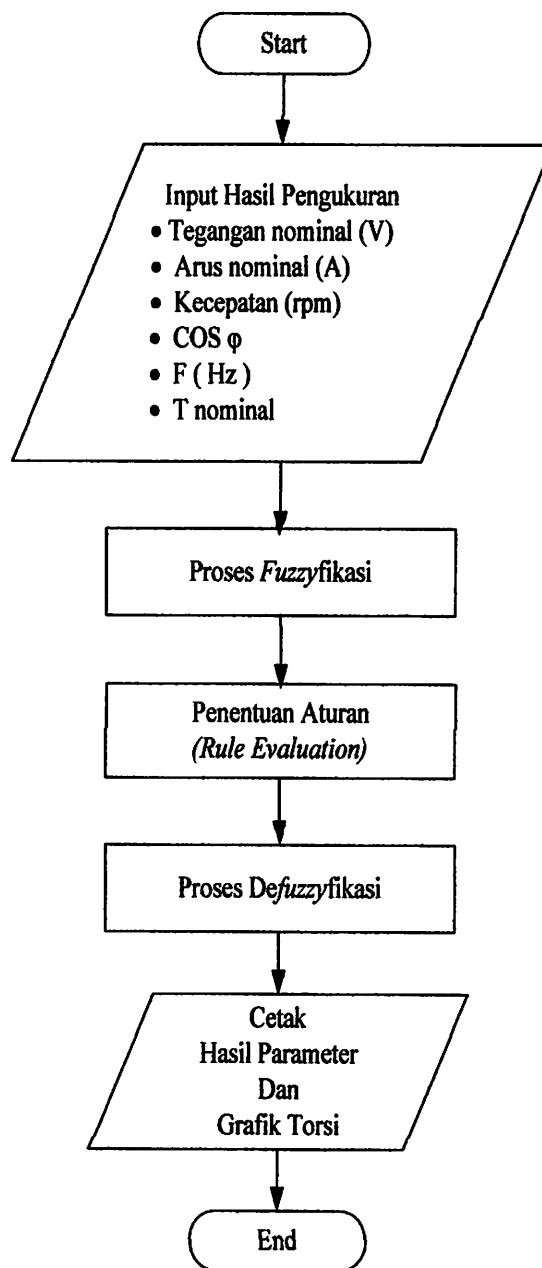
3.10 Flowchart Algoritma Program

3.10.1 Flowchart Pemecahan Masalah Secara Umum



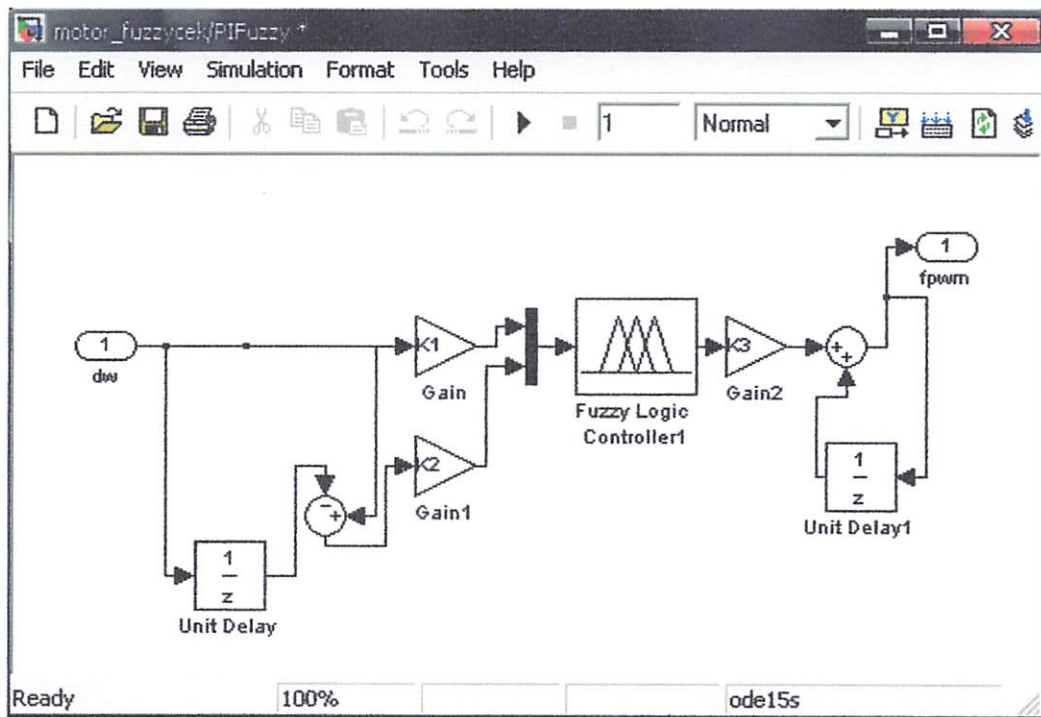
Gambar 3-15
Flowchart Pemecahan Secara Umum

3.10.2 Flowchart Proses Pembetulan FIS (*Fuzzy Inference System*)



Gambar 3-16

Flowchart Proses Pembetulan FIS (*Fuzzy Inference System*)



Gambar 3-17

Diagram blok Proses Pembentukan FIS (*Fuzzy Inference System*)

BAB IV

PENGUJIAN DAN ANALISIS HASIL SIMULASAI

4.1. Pengujian Parameter Motor Induksi Tiga Phasa.

4.1.1. Alat-alat Yang Digunakan

1. Motor Induksi Tiga-Phasa DE LORENZO / DL 1021

Data papan-nama (*nameplate*) :

TEGANGAN	: 220/380 (Δ / Y) VOLT
ARUS	: 4.3/2.5 (Δ / Y) AMPERE
COS ϕ	: 0,83
FREKUENSI	: 50 HERTZ
DAYA	: 1.1 kW
PUTARAN	: 2820 rpm
KUTUP	: 2 KUTUP
KELAS ISOLASI:	F

- | | |
|-------------------------|--------------|
| 2. Voltmeter | DL - 1031 |
| 3. Ampermeter | 6108141 |
| 4. Wattmeter | 6108141 |
| 5. Tachometer | DL - 2026 |
| 6. AC Voltage Regulator | DL – 1013 M2 |
| 7. LCR Meter | ELC – 132A |

4.1.2. Data Pengujian Arus Searah (*DC Test*)

Tabel 4-1

Data Pengujian Arus Searah

No	V _{DC} (Volt)	I _{DC} (Ampere)
1	4	0.75
2	6	1.12
3	8	1.44
4	10	1.78
5	12	2.14

4.1.3 Data Pengujian Tanpa Beban (*No – Load Test*)

Tabel 4-2

Data Hasil Pengujian Beban Nol

I (Ampere)			W 3 Ø	V	F
A ₁	A ₂	A ₃	(Watt)	(Volt)	(Hz)
0,59	0,68	0,60	90	220	50

4.1.4. Pengujian Rotor Tertahan (*Blocked Rotor Test*)

Tabel 4-3

Data Hasil Rotor Tertahan

I (Ampere)			W 3 Ø (Watt)	V (Volt)
A ₁	A ₂	A ₃		
2,01	2,03	1,97	140	65

4.2. Menghitung parameter Motor Induksi tiga phasa

4.2.1. Analisa Data Pengujian Tanpa Beban:

$$R_S = R_{dc} = \frac{V_{dc}}{I_{dc}}$$

$$R_{ek(1)} = \frac{4}{0.75} = 5,33\Omega$$

$$R_{ek(2)} = \frac{4}{0.75} = 5.35\Omega$$

$$R_{ek(3)} = \frac{8}{1.44} = 5.55\Omega$$

$$R_{ek(4)} = \frac{10}{1.78} = 5.61\Omega$$

$$R_{ek(5)} = \frac{12}{2.14} = 5.61\Omega$$

$$R_S = \frac{5.33 + 5.35 + 5.55 + 5.61 + 5.61}{5} = 5.49\Omega / \text{Phasa}$$

4.2.2. Analisa Data Pengujian Tanpa Beban

$$I_{tb} = \frac{I_{La} + I_{Lb} + I_{Lc}}{3} = \frac{0.59 + 0.68 + 0.60}{3} = 0.62 \text{ A}$$

$$Z_{tb} = \frac{V_o}{\sqrt{3} I_o} = \frac{220}{\sqrt{3} \times 0.62} = 205 \Omega$$

$$R_{tb} = \frac{P_{(3\phi)}}{3(I_o)^2} = \frac{19}{3(0.62)^2} = 78 \Omega$$

$$\begin{aligned} X_{tb} &= \sqrt{Z_{TB}^2 - R_{TB}^2} \\ &= \sqrt{205^2 - 78^2} \\ &= 189.58 \Omega / \text{Phasa} \end{aligned}$$

4.2.3. Analisa Data Pengujian rotor tertahan

$$I_{tb} = \frac{I_{La} + I_{Lb} + I_{Lc}}{3} = \frac{2.01 + 2.03 + 1.97}{3} = 2.0 \text{ A}$$

$$Z_n = \frac{V_o}{\sqrt{3} I_o} = \frac{65}{\sqrt{3} \times 2} = 18.76 \Omega$$

$$R_n = \frac{P_{(3\phi)}}{3(I_n)^2} = \frac{140}{3(2.0)^2} = 11.67 \Omega$$

$$\begin{aligned} X_n &= \sqrt{Z_n^2 - R_n^2} \\ &= \sqrt{18.76^2 - 11.67^2} \\ &= 14.6 \Omega / \text{Phasa} \end{aligned}$$

$$X_n = X_s + X'_r$$

Motor induksi yang dipakai adalah motor induksi dengan rotor sangkar tunggal kelas A, maka secara umum X_s dan $X'r$ diamsusikan sama, sehingga :

$$X_s = X'r = \frac{1}{2} X_r = \frac{1}{2} (14,6) = 7,3 \Omega$$

Besarnya reaktansi yang diukur pada terminal stator pada keadaan tanpa beban (X_{tb}) mendekati sama dengan $X_s + X_m$ yang merupakan reaktansi diri stator, sehingga :

$$X_{ss} = X_{tb} = X_s + X_m$$

$$X_m = X_{tb} - X_s$$

$$= 189,58 - 7,3$$

$$= 182,28 \Omega$$

Resistansi stator dapat dipandang sebagai harga D_{cny} maka resistansi rotor dapat ditentukan sebagai berikut :

$$R = R_{rt} - R_s$$

$$= 11,67 - 5,49$$

$$= 6,18 \Omega$$

$$X_{rr} = X'r + X_m$$

$$= 7,3 + 182,28$$

$$= 189,58 \Omega$$

$$R'r = \left(\frac{X_{rr}}{X_m} \right)^2$$

$$= 6,18 \left(\frac{189,58}{182,28} \right)^2 = 6,68 \Omega$$

$$X_s = 2 \pi . f_s . L_s$$

$$L_s = \frac{X_s}{2 \pi . f_s}$$

$$L_s = \frac{7,3}{314} = 0,023248 \text{ H}$$

$$X_r = 2 \pi . f_s . L_r$$

$$L_r = \frac{X_r}{2 \pi . f_s}$$

$$L_r = \frac{7,3}{314} = 0,023248 \text{ H}$$

$$X_m = 2 \pi . f_s . L_m$$

$$L_m = \frac{X_m}{2 \pi . f_s}$$

$$L_m = \frac{182,28}{324} = 0,5805 \text{ H}$$

$$S = \frac{n_s - n_r}{n_s} = \frac{3000 - 2820}{3000} = \frac{180}{3000} = 0,06$$

Tabel 4-4

Hasil Perhitungan Pengujian Parameter Motor induksi Tiga Phasa

R_s	R_r	X_s	X_r	X_m	L_s	L_r	L_m
5,49	6,68	7,3	7,3	182,28	0,0232	0,0232	0,58

4.3. Nilai-nilai Input untuk Program Fuzzy Logic Controller .

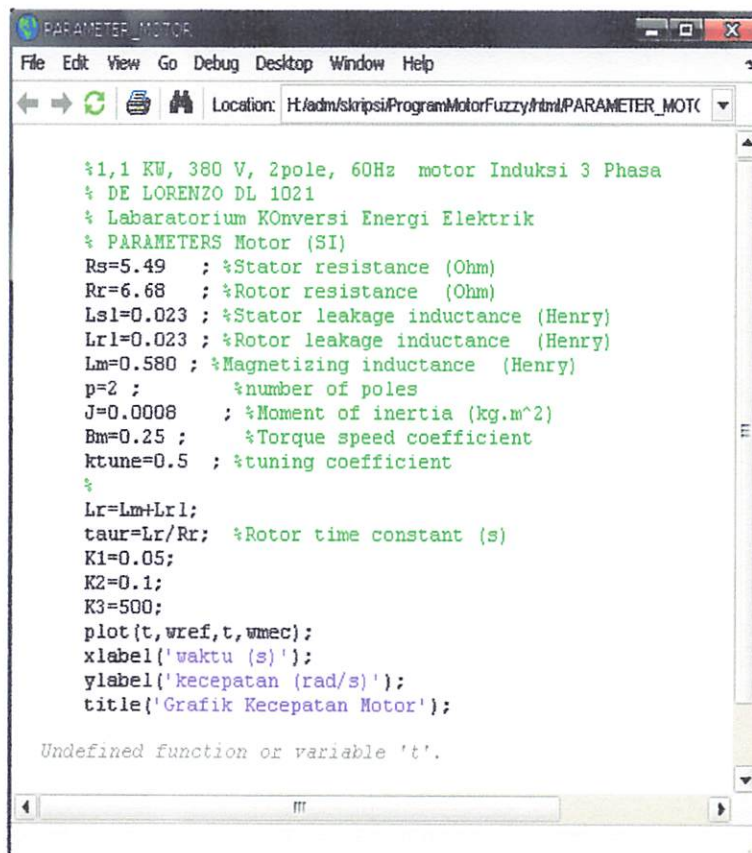
Berdasarkan data name plate dan pengukuran diatas maka parameter yang digunakan dalam perhitungan untuk mengidentifikasi parameter-parameter dari rangkaian equivalen torsi motor induksi tiga phasa adalah :

- $P = 1100 \text{ W}$
- $U = 220 / 380 \text{ VOLT}$
- $n = 2820 \text{ rpm}$
- $F = 50 \text{ Hz}$
- Kutup = 2
- $S_{nom} = 0,06$
- $\text{COS } \varphi = 0,83$
- $T_{nom} = 3,73 \text{ N.m}$

4.4 Analisa Hasil Simulasi

4.4.1 Tampilan Parameter

Dengan menggunakan parameter yang telah dihitung melalui pengujian dan *name plate* motor maka kita dapat melakukan analisa untuk mendapatkan beberapa data dari simulasi motor induksi yang menggunakan pengendali logika fuzzy. Matlab yang di gunakan pada skripsi ini adalah matlab versi 7.0. Berikut adalah bentuk hasil tampilan parameter motor induksi 3 fasa.



```

PARAMETER_MOTOR
File Edit View Go Debug Desktop Window Help
Location: H:/adm/skripsi/ProgramMotorFuzzy/html/PARAMETER_MOT(

%1,1 KW, 380 V, 2pole, 60Hz motor Induksi 3 Fasa
% DE LORENZO DL 1021
% Labaratorium KONversi Energi Elektrik
% PARAMETERS Motor (SI)
Rs=5.49 ; %Stator resistance (Ohm)
Rr=6.68 ; %Rotor resistance (Ohm)
Lsl=0.023 ; %Stator leakage inductance (Henry)
Lrl=0.023 ; %Rotor leakage inductance (Henry)
Lm=0.580 ; %Magnetizing inductance (Henry)
p=2 ; %number of poles
J=0.0008 ; %Moment of inertia (kg.m^2)
Bm=0.25 ; %Torque speed coefficient
ktune=0.5 ; %tuning coefficient
%
Lr=Lm+Lrl;
taur=Lr/Rr; %Rotor time constant (s)
K1=0.05;
K2=0.1;
K3=500;
plot(t,wref,t,wmec);
xlabel('waktu (s)');
ylabel('kecepatan (rad/s)');
title('Grafik Kecepatan Motor');

Undefined function or variable 't'.
  
```

Gambar4-1

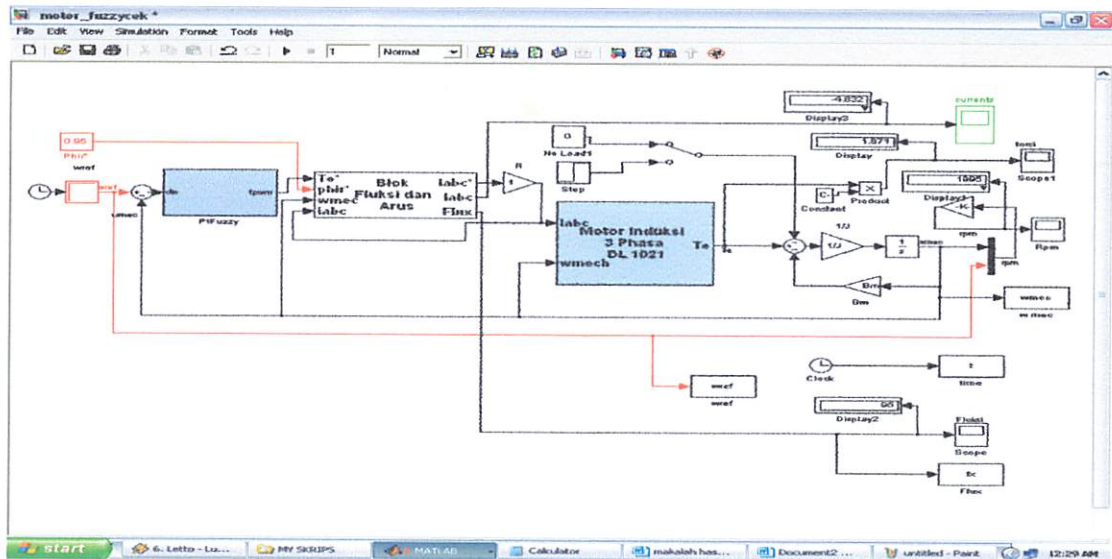
Diagram Blok Parameter Motor Induksi 3 Fasa

Dari gambar di atas rugi-rugi gesekan diabaikan sehingga bisa memungkinkan terjadi suatu inputan data yang kurang sempurna, namun tidak berpengaruh besar terhadap hasil simulasi. Simulasi pengaturan kecepatan motor induksi meliputi beberapa pengujian yaitu sebagai berikut :

1. Pengujian motor induksi 3 fasa dengan kecepatan 2000 rpm tanpa beban.
2. Pengujian motor induksi 3 fasa dengan kecepatan 2000 rpm dengan beban 25%, 50%, 75%.

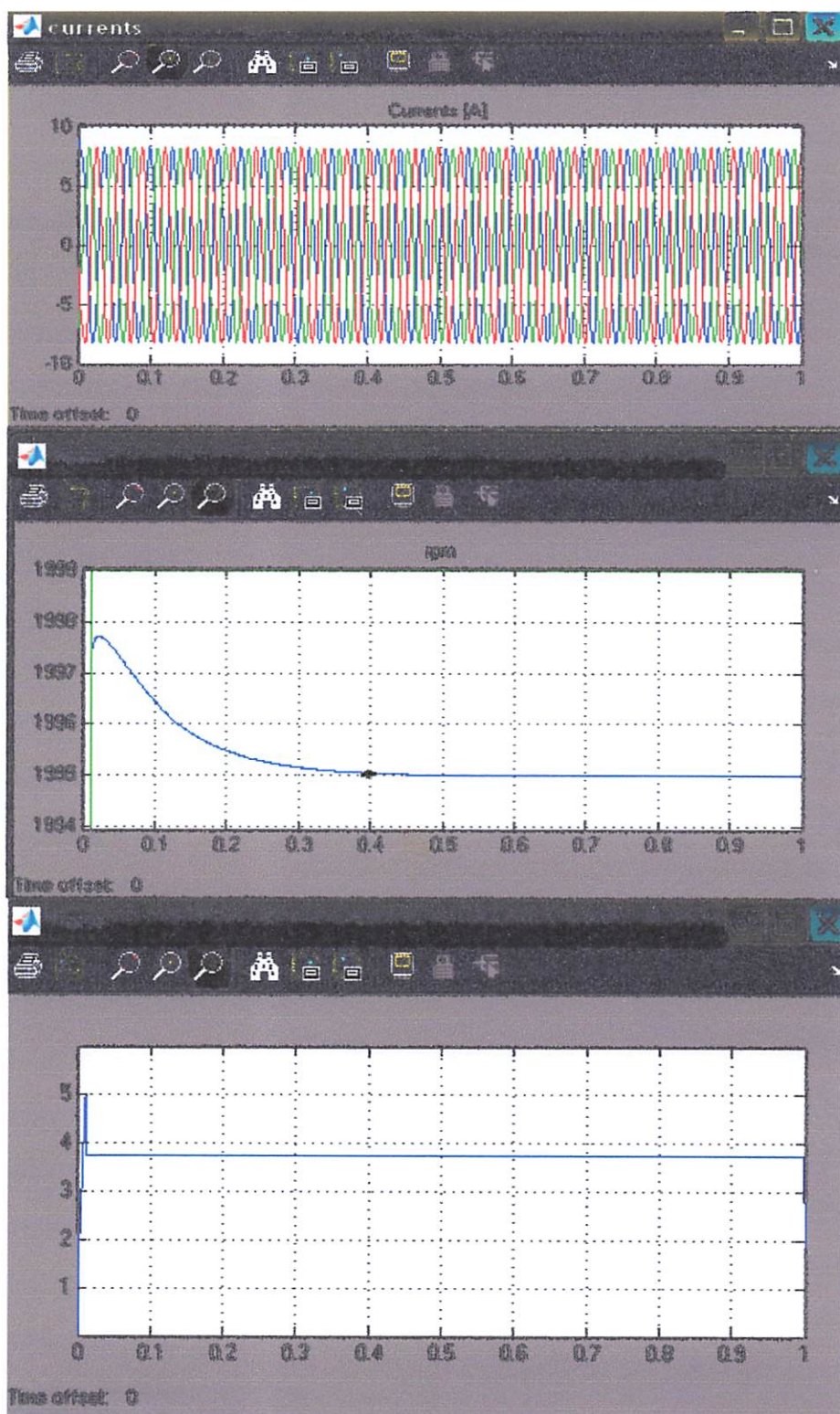
4.4.2 Analisa Hasil Simulasi Menggunakan Metode FLC

4.4.2.1 Analisa Hasil Simulasi metode FLC pada kecepatan 2000 rpm tanpa beban



Gambar 4-2

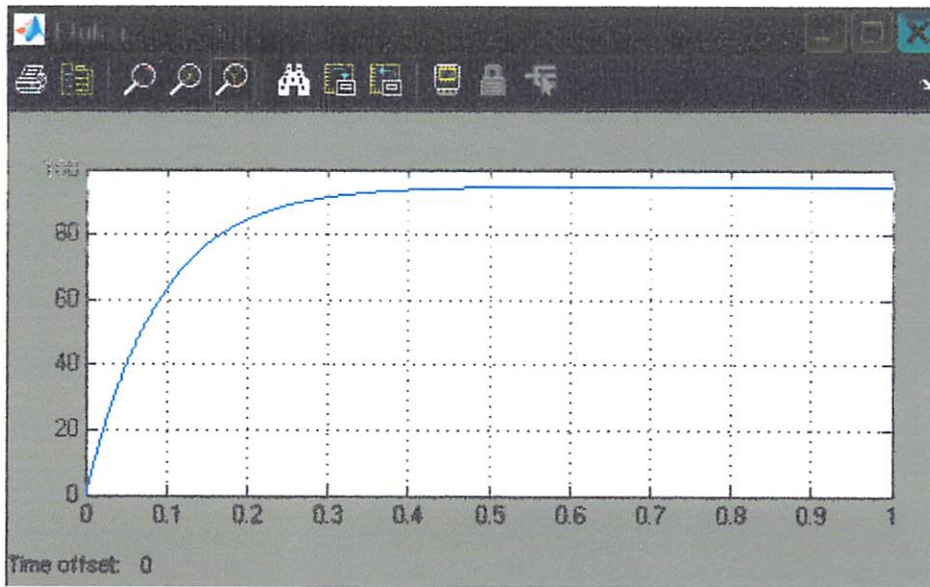
Blok Simulasi Metode FLC Pada Kondisi Tanpa Beban



[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]



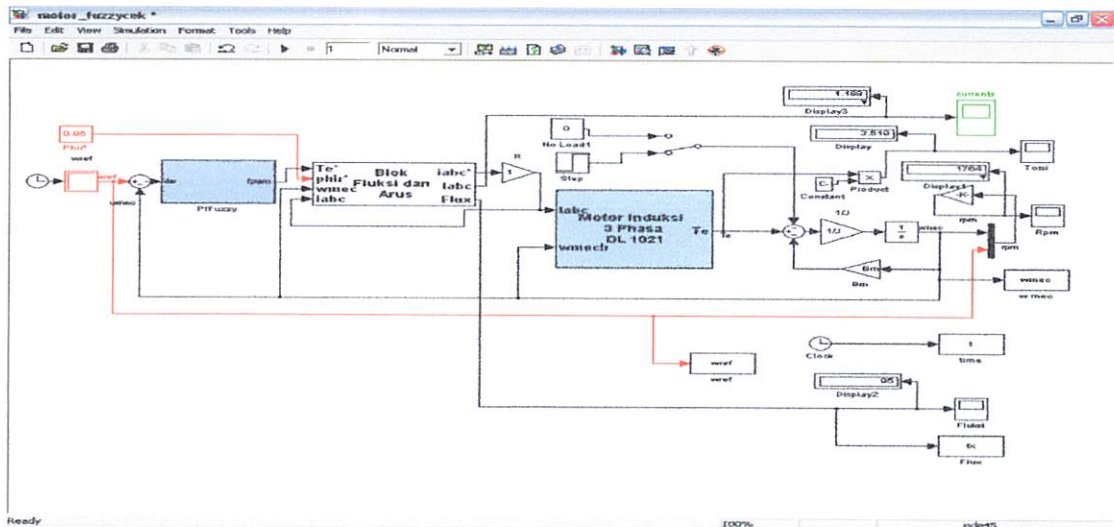
Gambar 4-3

**Grafik arus, kecepatan, torsi, fluksi terhadap waktu
pada kondisi tanpa beban**

Setelah simulink dijalankan pada kecepatan referensi 2000 rpm tanpa beban terlihat bahwa kecepatan motor mengalami kondisi transient pada waktu antara $t = 0$ s sampai dengan $t = 0.38$ s dan setelah itu kondisi kecepatan motor mencapai kondisi *steady state* dengan kecepatan 1995 rpm dan nilai fluksi 95 Wb. untuk torsi motor mencapai nilai konstan pada $t = 0.4$ s sebesar 3.75 N.m dan arus motor stabil dengan nilai 8 A.

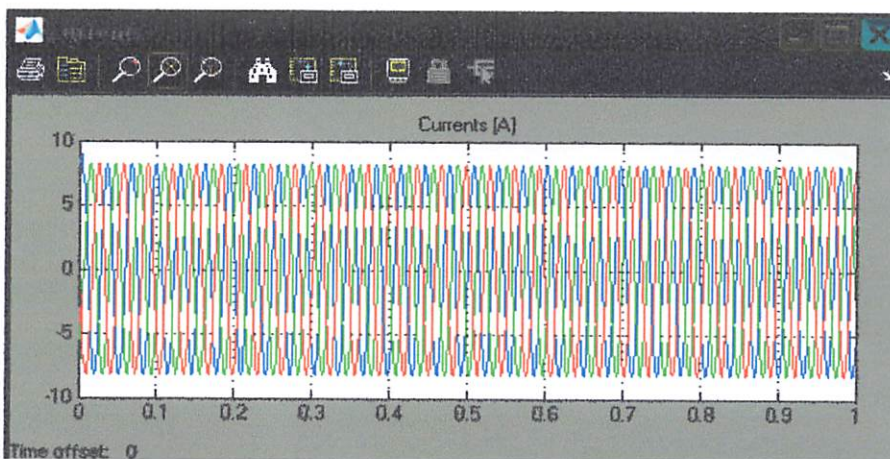
4.4.2.2 Analisa Hasil Simulasi pada kecepatan 2000 rpm dengan beban 25%

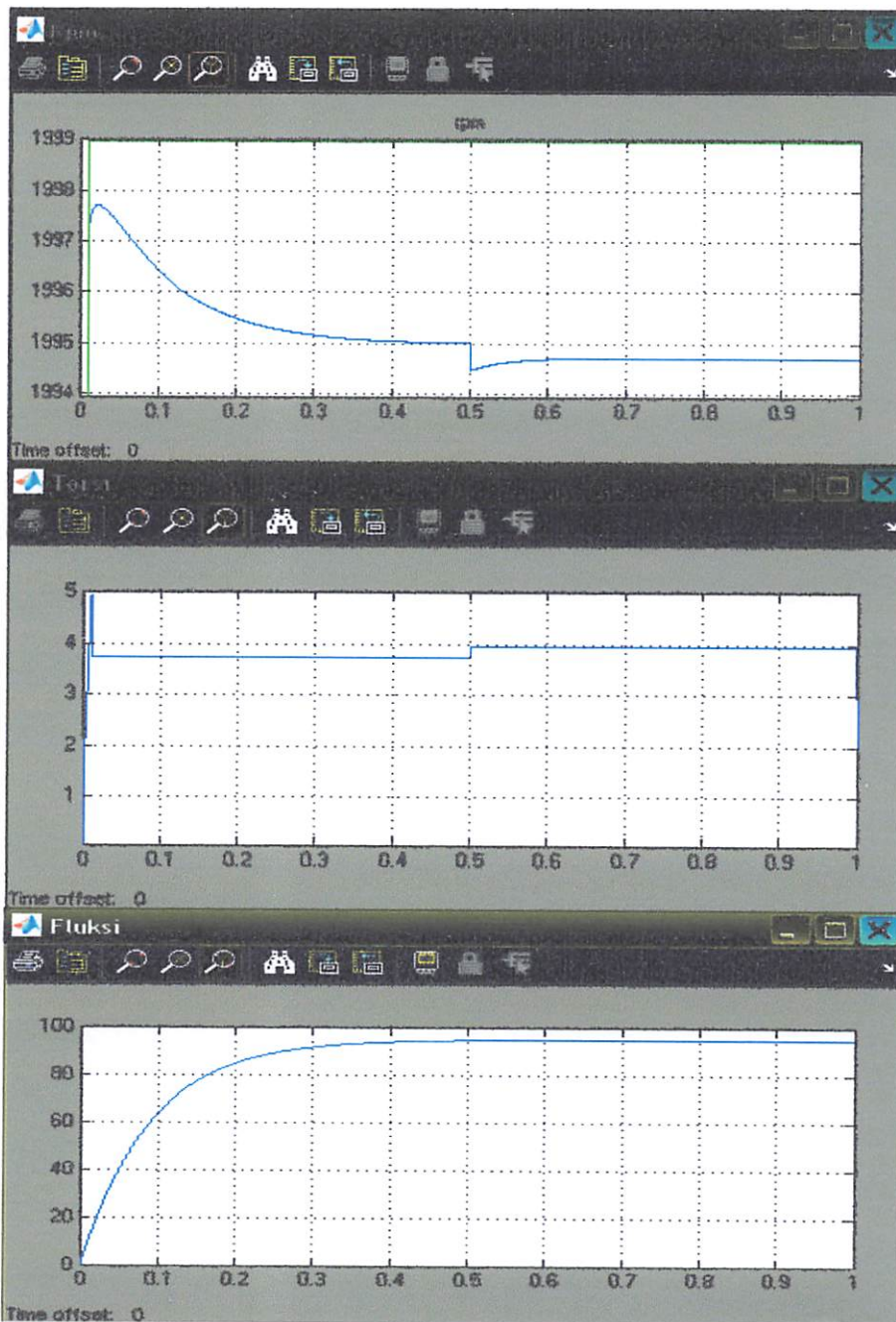
Dengan memberi inputan torsi beban pada motor induksi maka akan dilihat apakah kecepatan motor bisa dijaga konstan atau mengikuti kecepatan referensi pada awal motor dijalankan.



Gambar 4-4

Blok Simulasi Metode FLC Pada Kondisi beban 25%



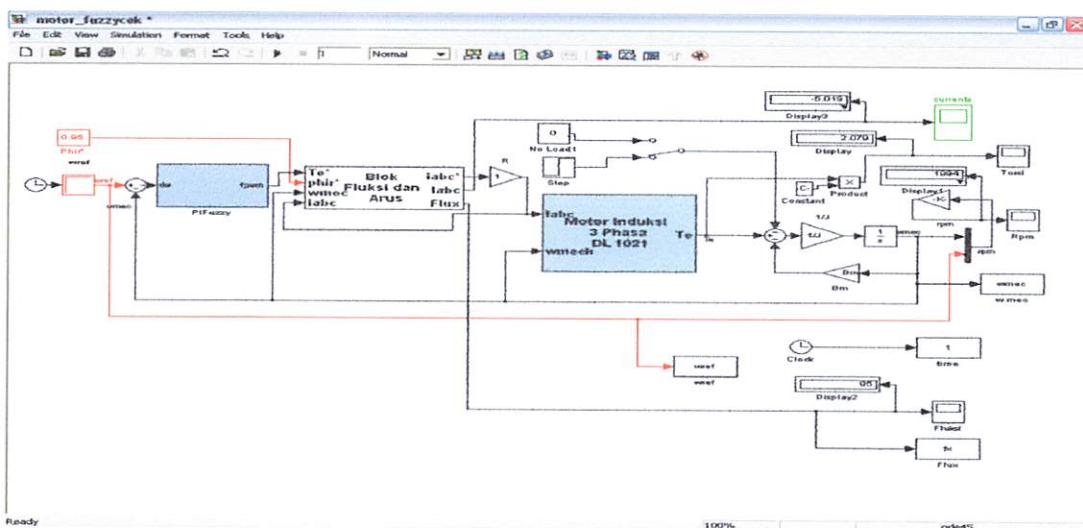


Gambar 4-5

**Grafik arus, kecepatan, torsi, fluksi terhadap waktu
pada kondisi beban 25%**

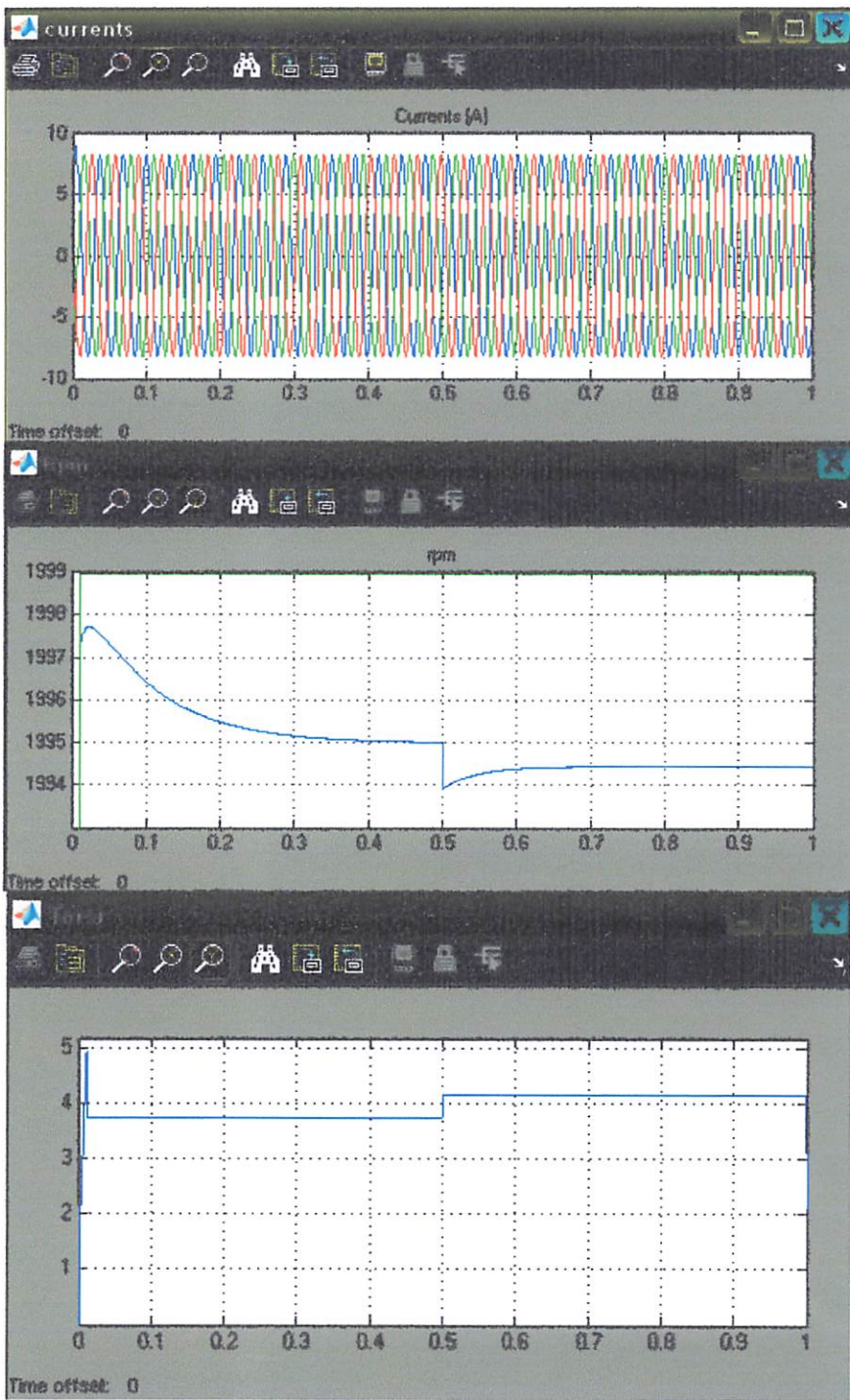
Setelah simulink dijalankan pada kecepatan referensi 2000 rpm dengan beban 25% terlihat bahwa kecepatan motor mengalami kondisi *transient* pada waktu antara $t = 0$ s sampai dengan $t = 0.38$ s yaitu 1995 dan setelah itu kondisi kecepatan motor mencapai kondisi *steady state* dan pada $t = 0.5$ s kecepatan motor mengalami kondisi *transient* hingga 1994.5 rpm karena adanya beban dan kemudian mencapai kondisi *steady state* pada $t = 0.66$ dengan kecepatan 1994.7 rpm dengan memiliki nilai fluksi 95 Wb. untuk torsi motor juga mengalami *transient* pada pada $t = 0.01$ s sebesar 3.74 N.m kemudian kembali mengalami *transient* karena adanya beban yang masuk pada $t = 0.5$ sebesar 3.95 N.m dan arus motor stabil dengan nilai 8 A.

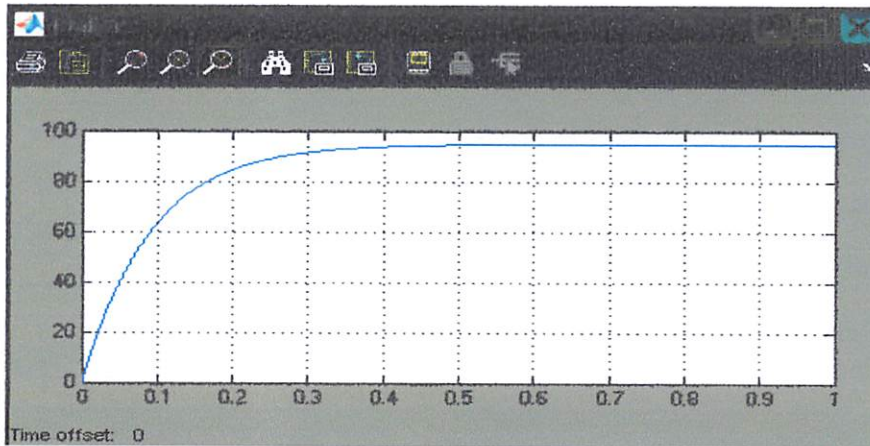
4.4.2.3 Analisa Hasil Simulasi pada kecepatan 2000 rpm dengan beban 50%



Gambar 4-6

Blok Simulasi Metode FLC Pada Kondisi beban 50%



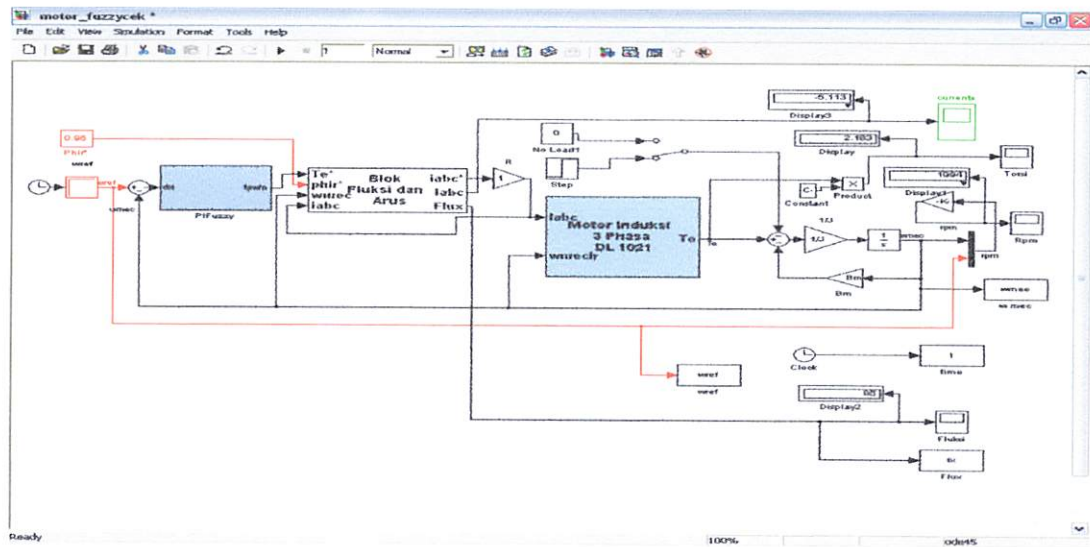


Gambar 4-7

**Grafik arus, kecepatan, torsi, fluksi terhadap waktu
pada kondisi beban 50%**

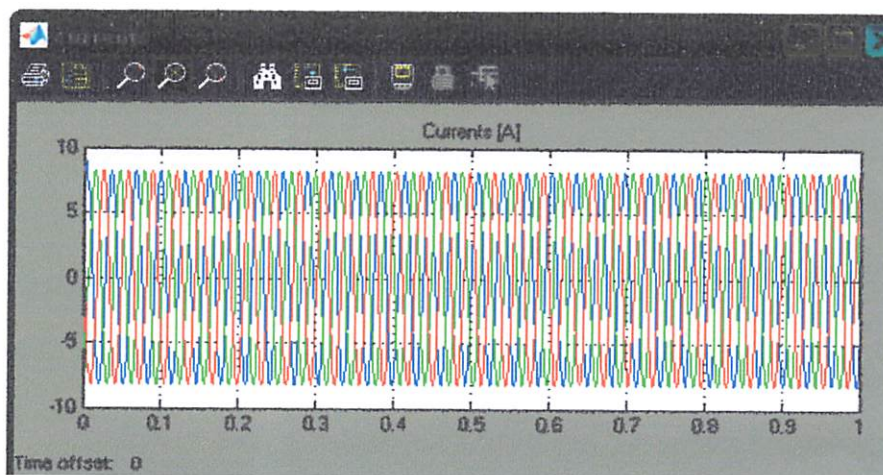
Setelah simulink dijalankan pada kecepatan referensi 2000 rpm dengan beban 50% terlihat bahwa kecepatan motor mengalami kondisi *transient* pada waktu antara $t = 0$ s sampai dengan $t = 0.42$ s yaitu 1995 dan setelah itu kondisi kecepatan motor mencapai kondisi *steady state* dan pada $t = 0.5$ s kecepatan motor mengalami kondisi *transient* hingga 1993.9 rpm karena adanya beban dan kemudian mencapai kondisi *steady state* pada $t = 0.67$ dengan kecepatan 1994.1 rpm dengan memiliki nilai fluksi 95 Wb. untuk torsi motor juga mengalami *transient* pada pada $t = 0.01$ s sebesar 3.75 N.m kemudian kembali mengalami *transient* karena adanya beban yang masuk pada $t = 0.5$ sebesar 4.16 N.m dan arus motor stabil dengan nilai 8 A.

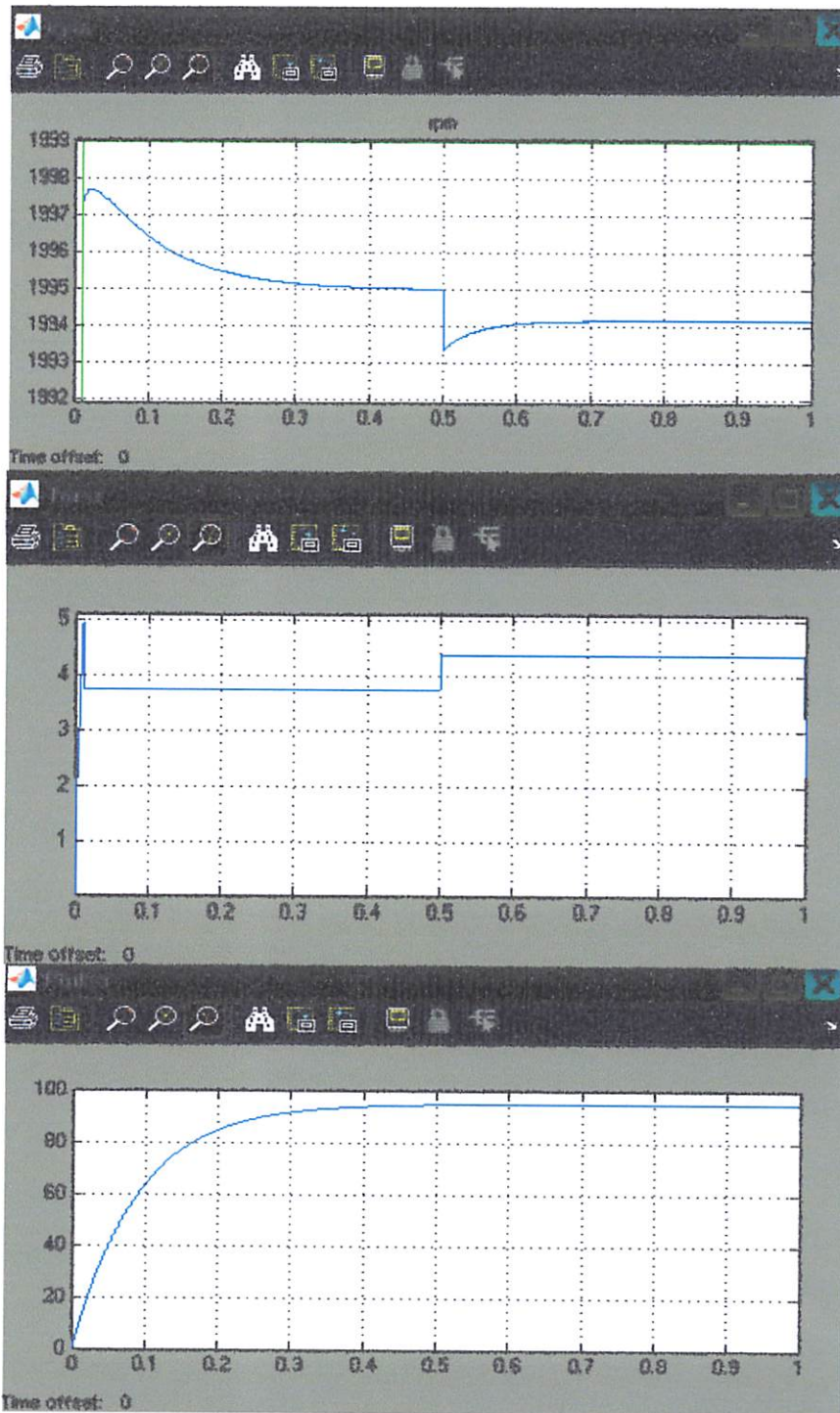
4.4.2.4 Analisa Hasil Simulasi pada kecepatan 2000 rpm dengan beban 75%



Gambar 4-8

Blok Simulasi Metode FLC Pada Kondisi beban 75%





Gambar 4-9

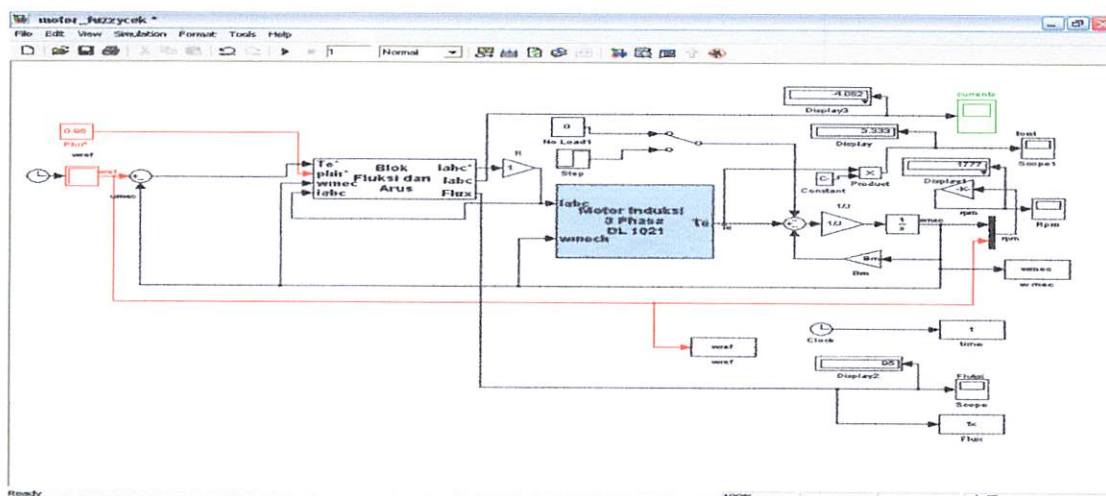
Grafik arus, kecepatan, torsi, fluksi terhadap waktu

pada kondisi beban 75%

Setelah simulink dijalankan pada kecepatan referensi 2000 rpm dengan beban 75% terlihat bahwa kecepatan motor mengalami kondisi *transient* pada waktu antara $t = 0$ s sampai dengan $t = 0.38$ s yaitu 1995 dan setelah itu kondisi kecepatan motor mencapai kondisi *steady state* dan pada $t = 0.5$ s kecepatan motor mengalami kondisi *transient* hingga 1993.5 rpm karena adanya beban dan kemudian mencapai kondisi *steady state* pada $t = 0.7$ dengan kecepatan 1994.1 rpm dengan memiliki nilai fluksi 95 Wb. untuk torsi motor juga mengalami *transient* pada pada $t = 0.01$ s sebesar 3.75 N.m kemudian kembali mengalami *transient* karena adanya beban yang masuk pada $t = 0.5$ sebesar 4.36 N.m dan arus motor stabil dengan nilai 8 A.

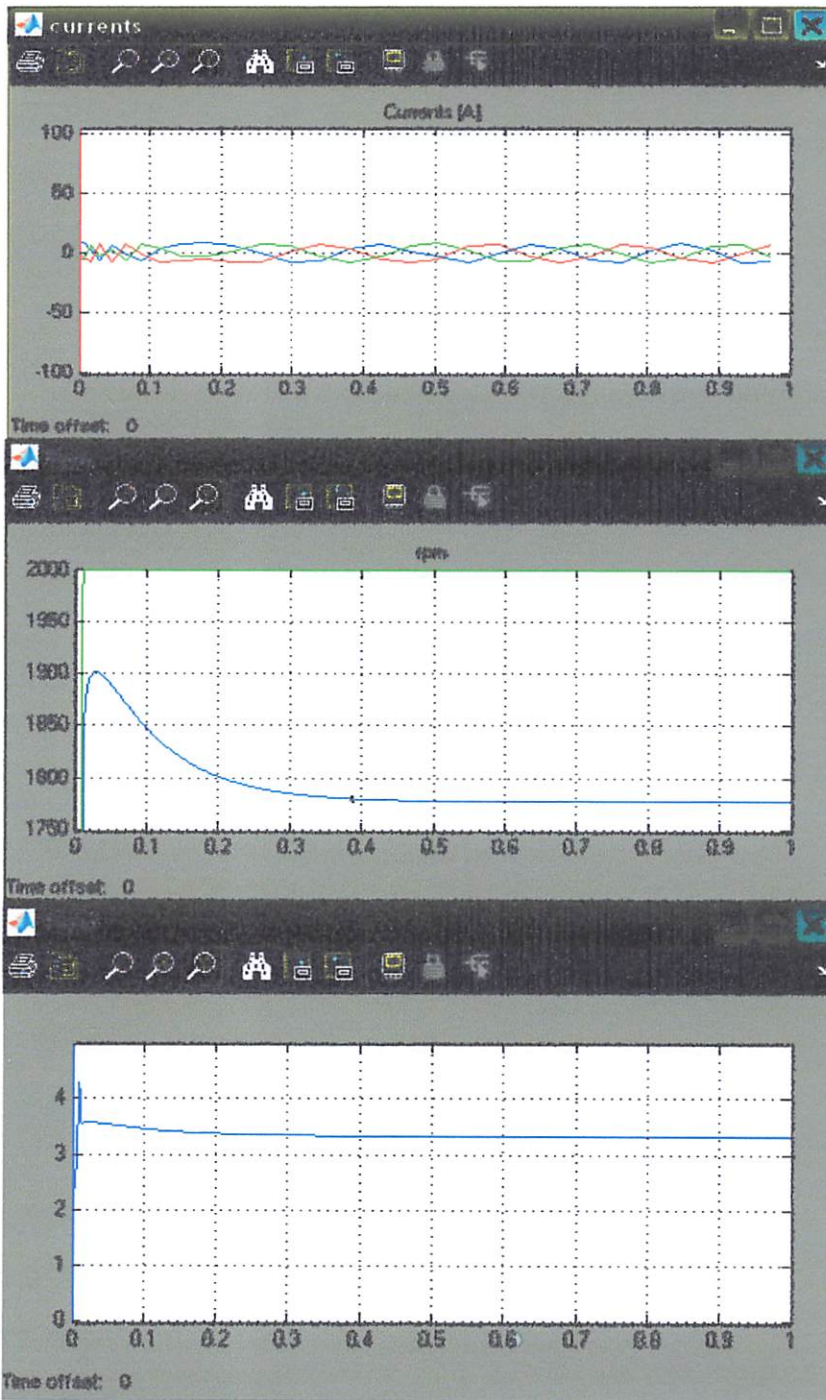
4.4.3 Analisa Hasil Simulasi Tanpa Menggunakan Metode FLC

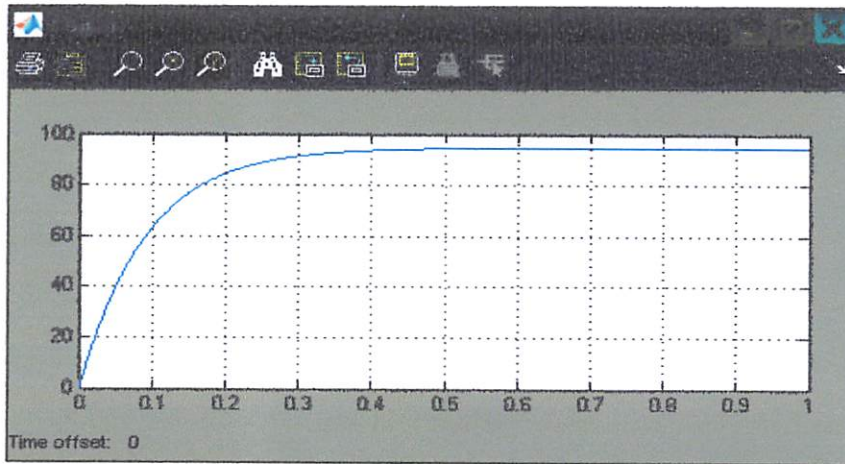
4.4.3.1 Analisa Hasil Simulasi tanpa metode FLC pada kecepatan 2000 rpm tanpa beban



Gambar 4-10

Blok Simulasi tanpa Metode FLC Pada Kondisi tanpa beban



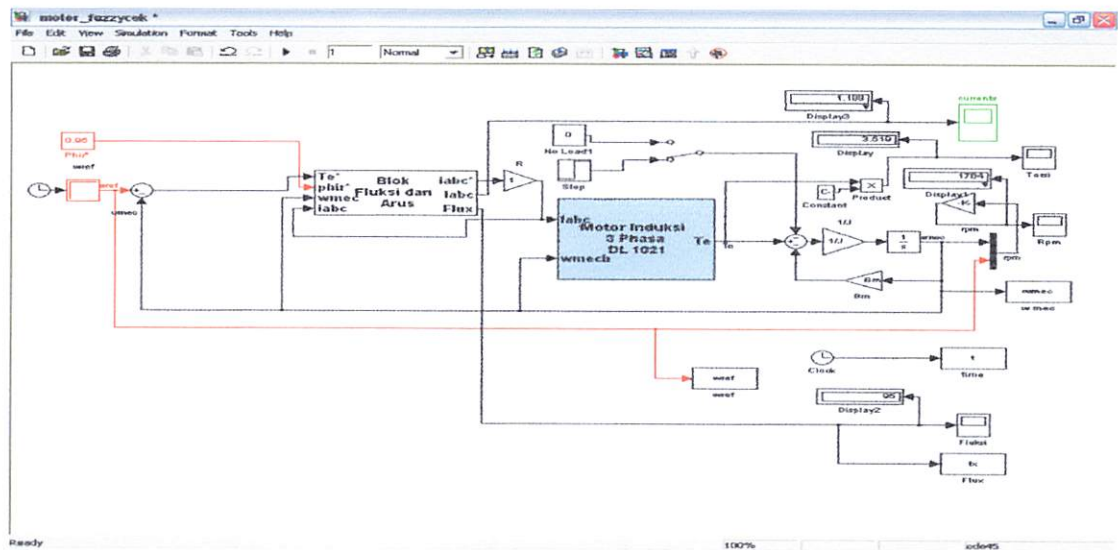


Gambar 4-11

Grafik arus, kecepatan, torsi, fluksi terhadap waktu pada kondisi tanpa beban

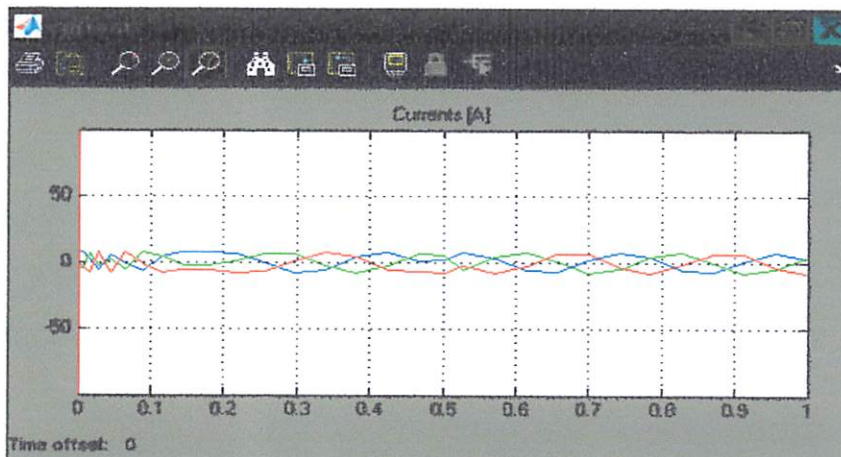
Setelah simulink dijalankan pada kecepatan referensi 2000 rpm tanpa beban terlihat bahwa kecepatan motor mengalami kondisi transient pada waktu antara $t = 0$ s sampai dengan $t = 0.53$ s dan setelah itu kondisi kecepatan motor mencapai kondisi *steady state* dengan kecepatan 1777 rpm dan nilai fluksi 95 Wb. untuk torsi motor mencapai nilai konstan pada $t = 0.48$ s sebesar 3.34 N.m dan arus motor stabil dengan nilai 8 A.

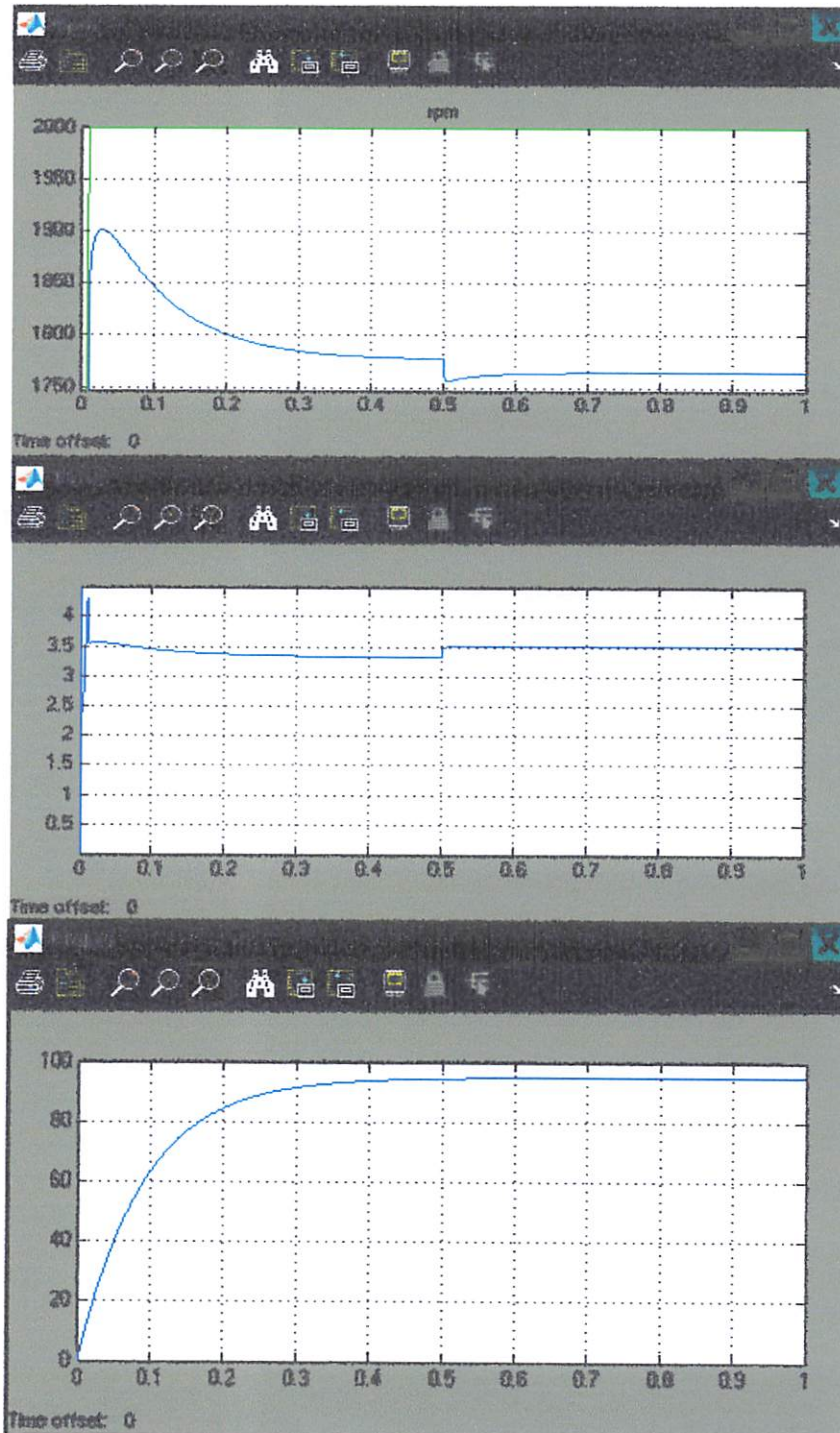
4.4.3.2 Analisa Hasil Simulasi tanpa metode FLC pada kecepatan 2000 rpm dengan beban 25%



Gambar 4-12

Blok Simulasi tanpa Metode FLC Pada Kondisi beban 25%



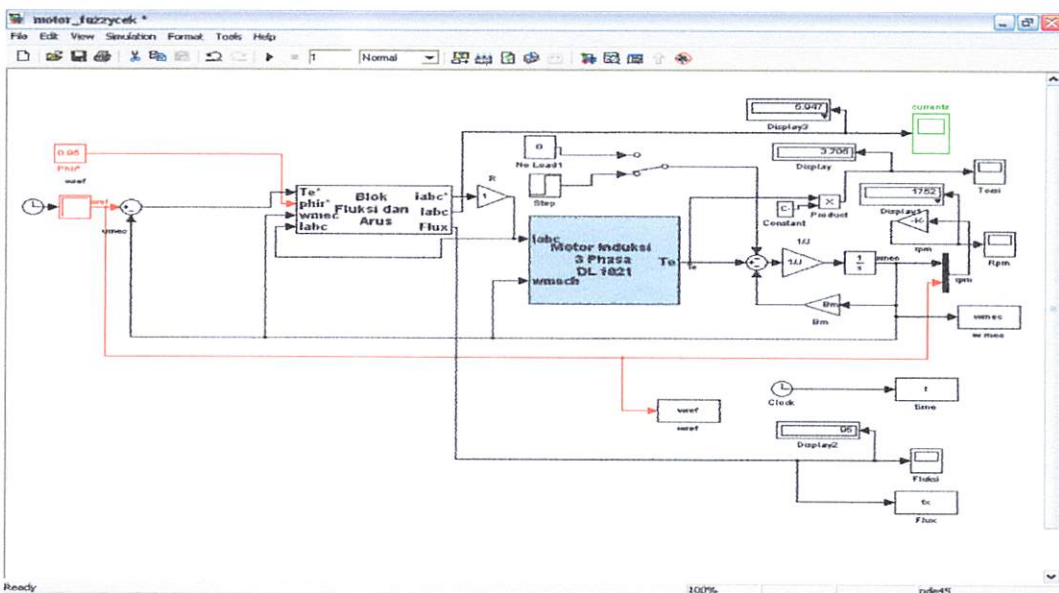


Gambar 4-13

**Grafik arus, kecepatan, torsi, fluksi terhadap waktu
pada kondisi beban 25%**

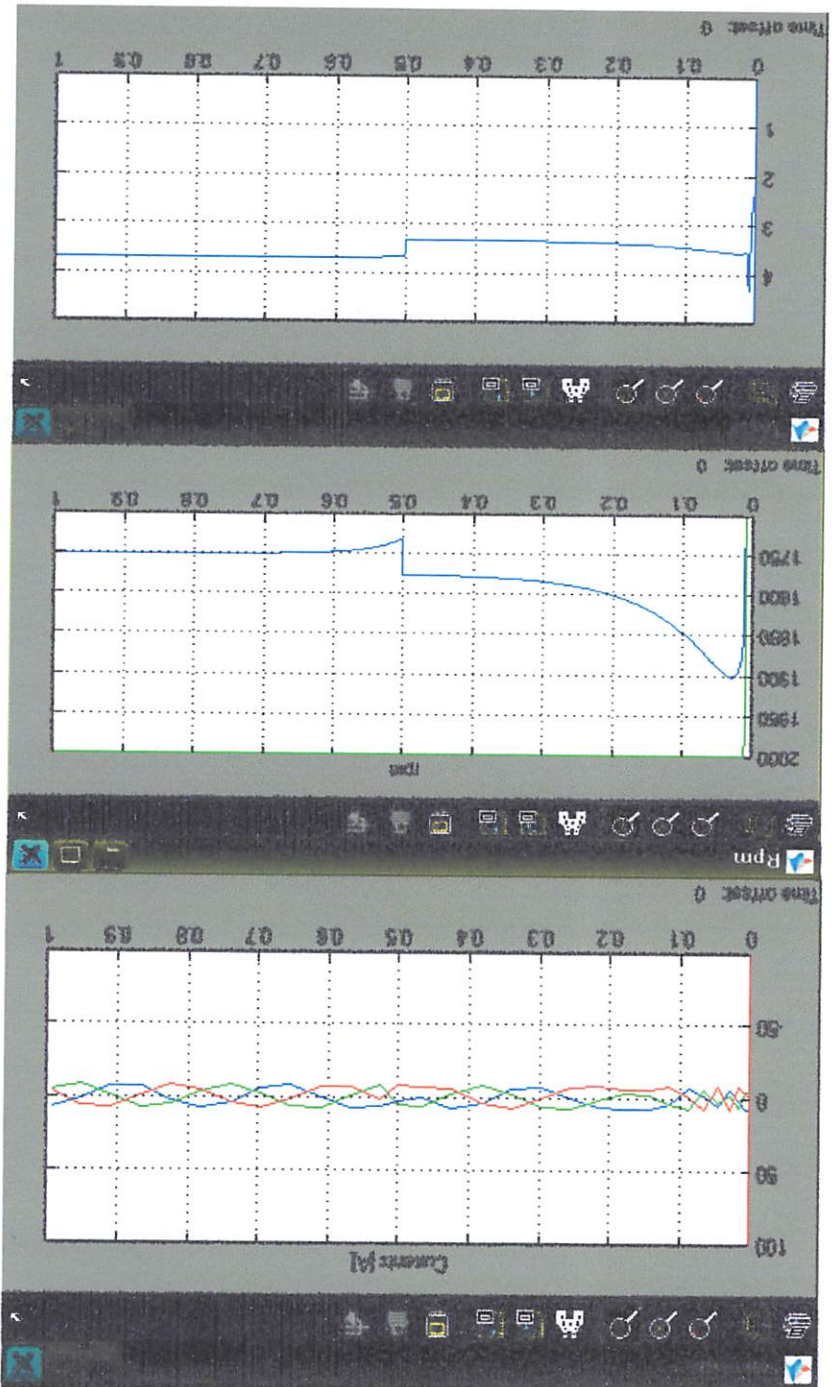
Setelah simulink dijalankan pada kecepatan referensi 2000 rpm dengan beban 25% terlihat bahwa kecepatan motor mengalami kondisi *transient* pada waktu antara $t = 0$ s sampai dengan $t = 0.4$ s yaitu 1777 rpm dan setelah itu kondisi kecepatan motor mencapai kondisi *steady state* dan pada $t = 0.5$ s kecepatan motor mengalami kondisi *transient* hingga 1756 rpm karena adanya beban dan kemudian mencapai kondisi *steady state* pada $t = 0.72$ dengan kecepatan 1764 rpm dengan memiliki nilai fluksi 95 Wb. untuk torsi motor juga mengalami *transient* pada pada $t = 0.01$ s sebesar 4.3 N.m kemudian kembali mengalami *transient* karena adanya beban yang masuk pada $t = 0.5$ sebesar 3.5 N.m dan arus motor stabil dengan nilai 8 A.

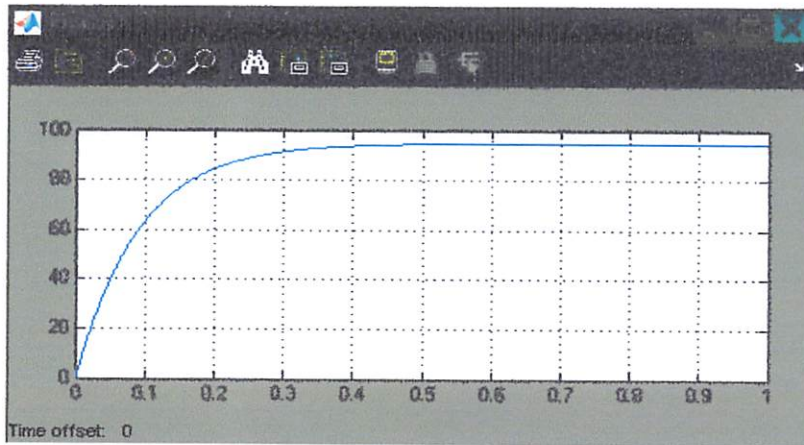
4.4.3.3 Analisa Hasil Simulasi tanpa metode FLC pada kecepatan 2000 rpm dengan beban 50%



Gambar 4-14

Blok Simulasi tanpa Metode FLC Pada Kondisi beban 50%



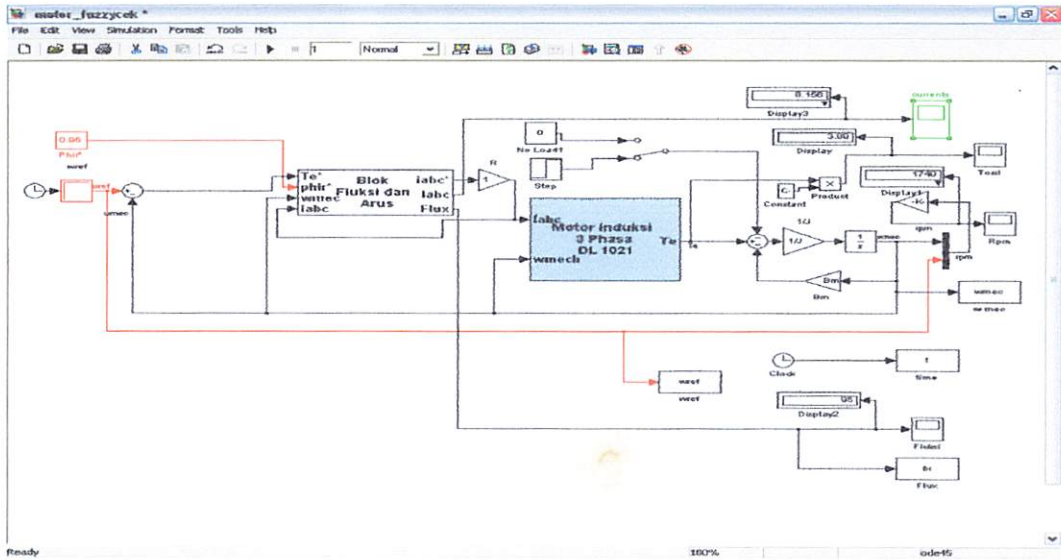


Gambar 4-15

**Grafik arus, kecepatan, torsi, fluksi terhadap waktu
pada kondisi beban 50%**

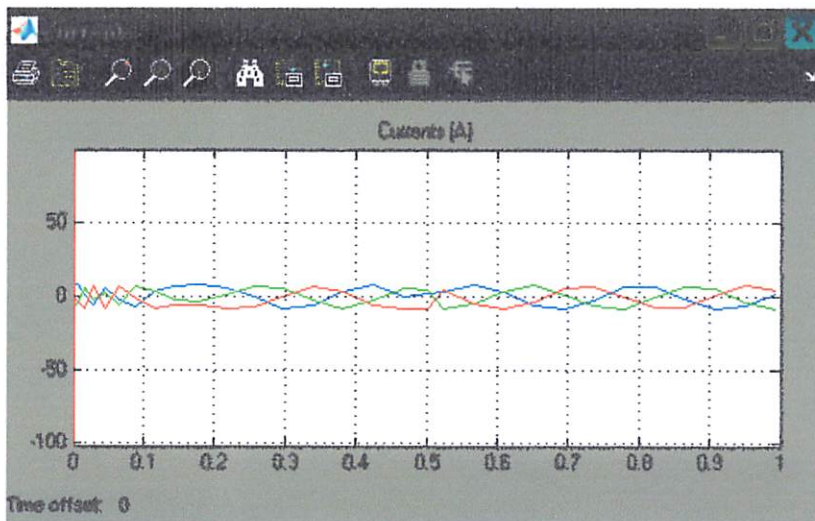
Setelah simulink dijalankan pada kecepatan referensi 2000 rpm dengan beban 50% terlihat bahwa kecepatan motor mengalami kondisi *transient* pada waktu antara $t = 0$ s sampai dengan $t = 0.42$ s yaitu 1778rpm dan setelah itu kondisi kecepatan motor mencapai kondisi *steady state* dan pada $t = 0.5$ s kecepatan motor mengalami kondisi *transient* hingga 1735 rpm karena adanya beban dan kemudian mencapai kondisi *steady state* pada $t = 0.76$ dengan kecepatan 1752 rpm dengan memiliki nilai fluksi 95 Wb. untuk torsi motor juga mengalami *transient* pada pada $t = 0.01$ s sebesar 4.3 N.m kemudian kembali mengalami *transient* karena adanya beban yang masuk pada $t = 0.5$ sebesar 3.69 N.m dan arus motor tidak stabil pada $t = 0.1$ dengan nilai 8 A.

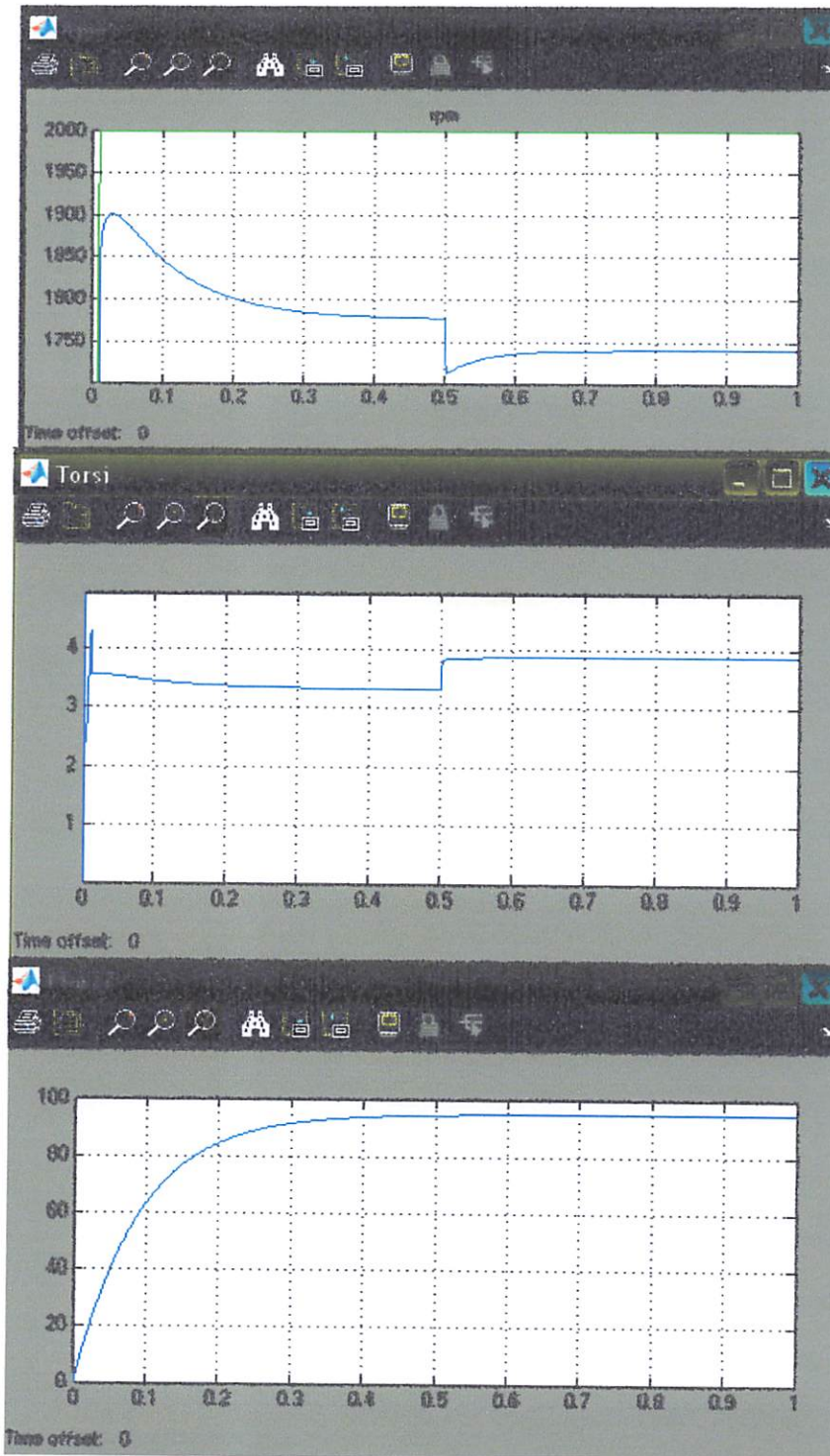
4.4.3.4 Analisa Hasil Simulasi tanpa metode FLC pada kecepatan 2000 rpm dengan beban 75%



Gambar 4-16

Blok Simulasi tanpa Metode FLC Pada Kondisi beban 75%





Gambar 4-17

**Grafik arus, kecepatan, torsi, fluksi terhadap waktu
pada kondisi beban 75%**

Setelah simulink dijalankan pada kecepatan referensi 2000 rpm dengan beban 75% terlihat bahwa kecepatan motor mengalami kondisi *transient* pada waktu antara $t = 0$ s sampai dengan $t = 0.4$ s yaitu 1777 rpm dan setelah itu kondisi kecepatan motor mencapai kondisi *steady state* dan pada $t = 0.5$ s kecepatan motor mengalami kondisi *transient* hingga 1713 rpm karena adanya beban dan kemudian mencapai kondisi *steady state* pada $t = 0.78$ s dengan kecepatan 1740 rpm dengan memiliki nilai fluksi 95 Wb. Untuk torsi motor juga mengalami *transient* pada pada $t = 0.01$ s sebesar 4.3 N.m kemudian kembali mengalami *transient* karena adanya beban yang masuk pada $t = 0.5$ sebesar 3.85 N.m dan arus motor stabil dengan nilai 8 A.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari percobaan dan analisa simulasi yang telah dilakukan dengan menggunakan metode *Fuzzy Logic Controller* pada pengaturan kecepatan motor induksi 3 fasa dengan fluksi konstan maka dapat ditarik beberapa kesimpulan:

1. Bahwa dapat membuat pengaturan kecepatan motor induksi dengan menggunakan metode *FLC* pada software matlab simulink dengan cara membentuk blok-blok diagram yang ada pada software tersebut.
2. Pada kondisi tanpa beban dengan set point kecepatan sebesar 2000 rpm terlihat bahwa kecepatan motor induksi dapat mengikuti kecepatan referensi tanpa adanya *over shoot* ataupun *under shoot*, dengan menggunakan metode *FLC* waktu *steady state* selama 0.38 detik sedangkan tanpa metode *FLC* waktu *steady state* selama 0.53 detik, hal ini menunjukkan bahwa secara umum respon sistem tanpa beban tersebut sesuai dengan ciri khas dari kontrol logika *fuzzy* yaitu memberikan lewatan yang minimum dengan waktu *steady state* yang cepat.
3. Pada kondisi berbeban dengan set point kecepatan sebesar 2000 rpm dan set waktu beban masuk 0.5 s terlihat bahwa kecepatan motor induksi mengalami penurunan. Pada beban 25% dengan menggunakan metode

FLC kondisi steady state pada $t = 0.66$ s, pada beban 50% kondisi steady state pada $t = 0.67$ s, pada beban 75% kondisi steady state pada $t = 0.7$ s.

4. Pada kondisi berbeban dengan set point kecepatan sebesar 2000 rpm dan set waktu beban masuk 0.5 s terlihat bahwa kecepatan motor induksi mengalami penurunan. Pada beban 25% tanpa menggunakan metode *FLC* kondisi steady state pada $t = 0.72$ s, pada beban 50% kondisi steady state pada $t = 0.76$ s, pada beban 75% kondisi steady state pada $t = 0.78$ s.
5. Jadi dari analisa yang telah dilakukan terbukti bahwa dengan menggunakan metode *FLC* pencapaian kondisi *steady state* lebih cepat dibandingkan dengan tidak menggunakan metode *FLC*.

5.2 Saran

Setelah melakukan penyusunan skripsi ini kami mempunyai beberapa masukan untuk dikembangkan yaitu :

1. Untuk lebih mempermudah analisa dapat digunakan software matlab versi terbaru.
2. Sistem kontrol yang digunakan dapat diganti dengan model kontrol motor induksi 3 fasa lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hassan Baghgar Bostan Abad, Ali Yazdian Varjani, Taheri Asghar “ *Using Fuzzy Cotroller In Induction Motor Speed Control With Constant Flux* “
Proceedings Of World Academy Of Science, Engineering And Technology
Volume 5 April 2005 Issn 1307-6884
- [2] Thomas W. Dwi Hartanto dan Y. W. Agung Prasetyo. 2003. **Analisa Desain System Control Dengan MATLAB**. Penerbit ANDI Yogyakarta.
- [3] Zuhail, “ *Dasar Teknik Tenaga Listrik*”, Penerbit ITB Bandung.
- [4] A. E. Fitzgerald, Charles Kingsley, Jr., Stephen D. Umans, Ir.Djoko Achyanto, M.Sc.EE. “*Electrical Machinery*”, McGraw-Hill International, Fourth Edition.
- [5] Drs. Yon Rijono “ *Dasar Teknik Tenaga Listrik* “, Penerbit Andi Yogyakarta.
- [6] G K Dubay. “ *Fundamental Of Elektrical Drive* “, Toppan Company India
- [7] Sri Kusumadewi, “ *Analisis & Desain Sistem Fuzzy Menggunakan Tool Box Matlab* “, Penerbit GRAHA ILMU

LAMPYRAN



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1

BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

Nama Mahasiswa : SHOFANA ADAM
N.I.M. : 02.12.019
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
Judul Skripsi : ANALISA PENGGUNAAN METODE *FUZZY LOGIC CONTROLLER* UNTUK MENGENDALIKAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI 3 FASA DENGAN FLUKSI KONSTAN DI LAB. KONVERSI ENERGI ELEKTRIK ITN MALANG

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

Hari : Selasa
Tanggal : 17 Maret 2009
Dengan Nilai : 79 (B⁺) *Am*



(Ir. Sidik Noertjahjono, MT)
NIP. Y. 102 8700 163

Panitia Ujian Skripsi

Sekretaris Majelis Penguji

(Ir. F. Yudi Limpraptono, MT)
NIP. Y. 103 9500 274

Anggota Penguji

Penguji Pertama

(Ir. Taufik Hidayat, MT)
NIP. Y. 101 8700 151

Penguji Kedua

(Ir. Eko Nurcahyo)
NIP. Y. 102 8700 172



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

Formulir Perbaikan Ujian Skripsi

Dalam pelaksanaan Ujian Skripsi Janjang Strata 1 Jurusan Teknik Elektro Konsentrasi T. Energi Listrik / T. Elektronika / T. Infokom, maka perlu adanya perbaikan skripsi untuk mahasiswa :

NAMA : SIDAFANA ADAM
NIM : 0212089
Perbaikan meliputi :

- Diklat kembali antara Bab II & Bab IV
Contoh sub 2.1 dan 6.1
Rumus dan hasil perhitungannya lebih berbeda!
Contoh sub 2.1 menyertakan 2 gambar dalam

Malang,

200

(Signature)



PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI

Dari hasil ujian skripsi Jurusan Teknik Elektro jenjang Strata satu (S-1) yang diselenggarakan pada :

Hari : Selasa
Tanggal : 17 Maret 2009

Telah dilakukan perbaikan skripsi oleh :

1. Nama : Shofana Adam
2. NIM : 02.12.019
3. Jurusan : Teknik Elektro
4. Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
5. Judul Skripsi : Analisa Penggunaan Metode *Fuzzy Logic Controller* untuk Mengendalikan kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Dengan Fluksi Konstan Di Lab. Konversi Energi Elektrik ITN Malang

Perbaikan meliputi :

No	Materi Perbaikan	Ket
1.	Rumus dan Hasil Perhitungan Antara Bab II dan Bab IV	

Penguji Pertama

(Ir. Taufik Hidayat, MT)
NIP.Y. 101 8700 015

Dosen Pembimbing

Ir.M. Abdul Hamid, MT
NIP.Y.101 8800 188



PERMOHONAN PERSETUJUAN SKRIPSI

Yang betanda tangan dibawah ini :

Nama : Shefana Adam
 NIM : 02.12.019
 Semester : 1.2 (Dua Belas)
 Fakultas : Teknologi Industri
 Jurusan : Teknik Elektro S-1
 Konsentrasi : TEKNIK ELEKTRONIKA
TEKNIK ENERGI LISTRIK
TEKNIK KOMPUTER DAN INFORMATIKA
 Alamat :

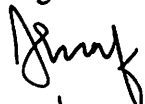
Dengan ini kami mengajukan permohonan untuk mendapatkan persetujuan untuk membuat **SKRIPSI Tingkat Sarjana**. Untuk melengkapi permohonan tersebut, bersama kami lampirkan persyaratan-persyaratan yang harus dipenuhi.

Adapun persyaratan-persyaratan pengambilan **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.

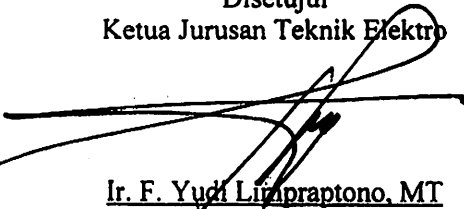
Telah diteliti kebenaran data tersebut diatas
Recording Teknik Elektro


(..... Irma Handayani))

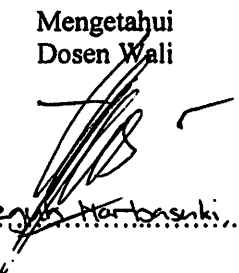
Malang, 09 Agustus 2008
Pemohon


(..... Shefana Adam))

Disetujui
Ketua Jurusan Teknik Elektro


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

Mengetahui
Dosen Wali


(..... Ir. Teguh Hartono, MT))

Catatan :

Bagi mahasiswa yang telah memenuhi persyaratan mengambil SKRIPSI agar membuat proposal dan mendapat persetujuan dari Ketua Jurusan/ Sekretaris Jurusan T. Elektro S-1

1. IPK $\frac{387}{130} = 2.78$
2.
3. praktik lengkap



LEMBAR PENGAJUAN JUDUL SKRIPSI JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1

Konsentrasi : Teknik Energi Listrik/~~Teknik Elektronika~~/~~Teknik Komputer & Informatika~~*)

1.	Nama Mahasiswa: <u>Shopana Adam</u>	Nim: <u>02.12.019</u>
2.	Waktu Pengajuan	Tanggal: <u>01</u>
		Bulan: <u>NOVEMBER</u>
Tahun: <u>2008</u>		
Spesifikasi Judul (berilah tanda silang)**)		
3.	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
4.	Konsultasikan judul sesuai materi bidang ilmu kepada Dosen*)	Ketua Jurusan
	<u>Ir. M. Abd. Hamid, MT</u>	 <u>Ir. F. Yudi Limpraptono, MT</u> NIP. P. 1039500274
5.	Judul yang diajukan mahasiswa:	<u>Analisis Penggunaan Metode Kontrol Fuzzy Untuk Mengendalikan Kc. Motor Induksi 3 Phase Dengan Fluksi Konstan</u>
6.	Perubahan judul yang disetujui Dosen sesuai materi bidang ilmu	<u>Analisis Penggunaan Metode Kontrol Fuzzy Untuk Mengendalikan Kc. Motor Induksi 3 Phase Dengan Fluksi Konstan di Lab. Konversi Energi Elektrik IFN Malang.</u>
Catatan:		
.....		
.....		
.....		
7.	Persetujuan Judul skripsi yang dikonsultasikan kepada Dosen materi bidang ilmu	Disetujui Dosen <u>3/12 - 2008</u>
		 <u>Ir. M. Abd. Hamid, MT</u>

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/Ibu Ir. M. Abd. Hamid, MT.
Dosen Institut Teknologi Nasional
MALANG

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Shopana Adam
Nim : 02.12.019
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik (Elektronika/ Energi Listrik/ Komputer & Informatika)

Dengan ini mengajukan permohonan, kiranya Bapak/Ibu bersedia menjadi Dosen Pembimbing Utama / ~~Pendamping~~ *), untuk penyusunan Skripsi dengan judul (proposal terlampir): Analisis Penggunaan Metode Kontrol Fuzzy Untuk Mengendalikan Kecepatan Motor Induksi 3 Phasa Dengan Fluksi Konstan. Di Lab. Konversi Energi Elektrik. ITM Malang.

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

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

Malang, 04 Desember 2008

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Elektro



Ir. F. Yudi Limpraptono, MT
NIP.Y. 1039 5900274

Hormat kami,



Shopana Adam

*) coret yang tidak perlu

PERNYATAAN KESEDIAAN DALAM PEMBIMBINGAN SKRIPSI

Sesuai permohonan dari mahasiswa/i :

Nama : Shopana Adam
Nim : 02.12.019
Semester : XIII (Tiga Belas)
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik. (~~Elektronika, Energi Listrik, Komputer & Informatika~~)

Dengan ini Menyatakan bersedia / tidak bersedia *) Membimbing Skripsi dari mahasiswa tersebut, dengan judul : Analisis Penggunaan Kontrol Fuzzy dengan Metode Constant Flux untuk mengendalikan Kecepatan Motor Induksi 3 fasa di lab. Konversi Energi Elektrik ITM Malang.

Demikian surat Pernyataan ini kami buat agar dapat dipergunakan seperlunya.

Malang,

Kami yang membuat pernyataan,



Ir. M. Abdul Hamid, MT.

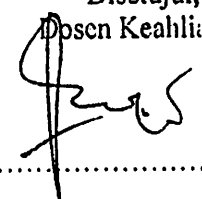
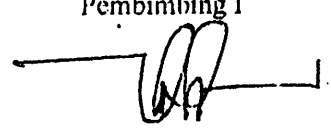
Catatan :

Setelah disetujui agar formulir ini
Diserahkan mahasiswa/i yang bersangkutan
Kepada Jurusan untuk diproses lebih lanjut.

*) Coret yang tidak perlu



**BERITA ACARA SEMINAR PROPOSAL SKRIPSI
 PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S1**

KONSENTRASI		Teknik Energi Listrik S-1				
1.	Nama Mahasiswa	Shopana Adam		NIM	02.12.019	
2.	Keterangan	Tanggal	Waktu		Tempat / Ruang	
	Pelaksanaan	13 Desember 2008		Seminar R.I		
Spesifikasi Judul (berilah tanda silang *)						
3.	a.	Sistem Tenaga Elektrik	e.	Embedded System	i.	Sistem Informasi
	<input checked="" type="checkbox"/>	Konversi Energi	f.	Antar Muka	j.	Jaringan Komputer
	c.	Sistem Kendali	g.	Elektronika Telekomunikasi	k.	Web
	d.	Tegangan Tinggi	h.	Elektronika Instrumentasi	l.	Algoritma Cerdas
4.	Judul Proposal yang diseminarkan Mahasiswa	Analisis Penggunaan Metode Fuzzy Logic Controller Untuk Mengendalikan Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Dengan Fungsi konstan di Lab. Konversi Energi Listrik ITN Malang.				
5.	Perubahan Judul yang diusulkan oleh Kelompok Dosen Keahlian				
6.	Catatan :					
					
7.	Catatan :					
					
	Persetujuan Judul Skripsi					
	Disetujui, Dosen Keahlian I			Disetujui, Dosen Keahlian II		
.....						
Mengetahui, Ketua Jurusan.		Disetujui, Calon Dosen Pembimbing				
<u>Ir. F. Yudi Limpraptono, MT</u> NIP. Y. 1039500274		Pembimbing I	Pembimbing II			
		 <u>Ir. M. Abdul Hamid, MT</u>			

Keterangan :

*) dilingkari a, b, c, sesuai dengan bidang keahlian

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

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

(PERSERO) MALANG
K 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, 14 Desember 2008

nomor : ITN-556/I.TA/2/08
ampiran : -
rihal : BIMBINGAN SKRIPSI

pada : Yth. Sdr. **IR. M. ABDUL HAMID, MT**
Dosen Institut Teknologi Nasional Malang

Dosen Pembimbing
Jurusan Teknik Elektro S-1
di
Malang

Dengan hormat
Sesuai dengan permohonan dan persetujuan dalam Proposal Skripsi
Untuk Mahasiswa :

Nama : SHOFANA ADAM
Nim : 0212019
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 (enam) 6 bulan, terhitung mulai
tanggal :

13 Desember 2008 s/d 13 Juni 2009

Sebagai satu syarat untuk menempuh ujian Sarjana Teknik,
Jurusan Teknik Elektro S-1

Demikian agar maklum dan atas perhatian serta bantuannya kami sampaikan
terima kasih



Ketua Jurusan
Teknik Elektro S-1

Ir. F. Yudi Limpraptono, MT
Nip. Y. 1039500274

Tembusan Kepada Yth :

1. Mahasiswa Yang Bersangkutan
2. Arsip

Form. S 4a



**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : SHOFANA ADAM
Nim : 02.12.019
Masa Bimbingan : 13 Desember 2008 s/d 13 Juni 2009
Judul Skripsi : **ANALISIS PENGGUNAAN METODE FUZZY LOGIC CONTROLLER UNTUK MENGENDALIKAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI 3 FASA DENGAN FLUKSI KONSTAN DI LAB. KONVERSI ENERGI ELEKTRIK ITN MALANG**

No.	Tanggal	Uraian	Parap Pembimbing

Malang,
Dosen Pembimbing,

Ir. M. Abdul Hamid, MT.
NIP. Y 101 8300 188



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : SHOFANA ADAM
Nim : 02. 12. 019
Masa Bimbingan : 13 Desember 2008 s/d 13 Juni 2009
Judul Skripsi : ANALISIS PENGGUNAAN METODE *FUZZY LOGIC CONTROLLER* UNTUK MENGENDALIKAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI 3 FASA DENGAN FLUKSI KONSTAN DI LAB. KONVERSI ENERGI ELEKTRIK ITN MALANG

No	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1	30-12-2008	ACC BAB I dan BAB II	
2	06-01-2009	REVISI BAB III	
3	09-01-2009	ACC BAB III	
4	22-01-2009	REVISI BAB IV	
5	03-02-2009	ACC BAB IV	
6	05-02-2009	REVISI BAB V	
7	11-02-2009	ACC BAB V	
8	19-02-2009	ACC UJIAN SEMINAR HASIL	
9	05-03-2009	ACC UJIAN SKRIPSI	
10			

Malang,
Dosen Pembimbing,

(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**

SURAT PERMOHONAN

Dengan Hormat,

Saya dengan identitas sebagai berikut :

Nama : SHOFANA ADAM
Nim : 02. 12. 019
Jurusan : Teknik Elektro/Teknik Energi Listrik S-1
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri
Keperluan : Pengambilan Parameter Motor Induksi 3 Fasa
Tanggal : 3 - 5 Februari 2009

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

Daftar Peralatan Yang Dipinjam

No.	KODE ALAT	NAMA ALAT	Trade Mark
1.	DL - 1021	Motor induksi 3 fasa	DE LORENZO
2.	DL - 1031	Voltmeter	DE LORENZO
3.	6108141	Ampermeter	SANWA
4.	6108141	Wattmeter	SANWA
5.	DL - 2026	Tachometer	DE LORENZO
6.	ELC - 132A	LCR meter	ESCORT
7.	DL - 1013 M2	Ac volt regulator	DE LORENZO

Catatan : 1. Apabila terjadi kerusakan pada alat yang digunakan saya sanggup mengganti.

2. Bersedia mematuhi segala peraturan yang berlaku di Lab.Konversi Energi Elektrik

Asisten Pendamping

Paschal R.G.W
03.12.064

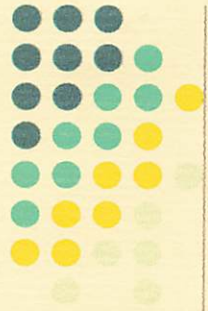
Mengetahui,
Ka. Lab. Konversi Energi Elektrik



Pemohon

SHOFANA ADAM
02.12.019

LEMBAR PERSEMBAHAN



Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdhulillah akhir'y selesai jg tugasku sebagai mahasiswa ITN Malang, dengan terselesaikan'y tugas ini Kuucapkan Terima Kasih kepada :

1. Allah SWT dengan Rahmat dan hidayahMu Tak ada rintangan dan ujian yang tak bisa aku lalui dan karena KesabaranMu pula ya Allah yang selalu memberikan apa yang aku butuhkan dalam penyelesaian skripsi ini.
2. Ibunda tercinta terima kasih sudah memberikan kasih sayang yang sangat besar kepadaku, maaf sampai saat inipun ananda masih belum bisa dan g' akan pernah bisa membalas kasih sayang yang telah kau berikan.
3. Ibunda tercinta terima kasih ibu' mau mendidik dengan sabar anandamu yang bandel ini dan INSYAALLAH ananda tidak akan lupa dengan semua yang ibu' ajarkan..
4. Ibunda tercinta terima kasih karena dukungan dan do'anya setiap hari sehingga ananda ini bisa mewujudkan cita-citanya.
5. Ayahanda tercinta yang telah membesarkan dengan sabar, mendidik, mendukung dan selalu mendoakan ananda sampai terwujud cita-citanya. Ayah maaf kalau selama ini ananda sering berbohong meminta apa yang seharusnya g diminta hehehe :-). MAAF ya ayah!!!
6. Kakak-kakaku mbak Yuli, mas Udin n mas Afid dan keponakanku Habib Thanx selalu mendo'akan dan memberikan semangat.
7. Buat Almamaterq yang telah banyak memberikan ruang bagiku untuk mengembangkan segala potensi diri.
8. Buat orang yang selalu ada untukku dan selalu menerima aku suka maupun duka, Suratin Widya Astuti, ST.makasih ya atas do'a n sharing'y. Alhamdhulillah sekarang ms dah lulus hehehe...
9. Buat temen2 kos VB 16 Putra,Mbah No,Galuh (makasih ya atas sharing n pinjaman komputernya) buat temen2 yang lain Roni, Abdi, Syahrul, Baron, Ryan, Aan, Thoriq, Wahyu, Asu(Drajat), Dozen (adhyan) makasih atas kebersamaannya.SORY CUMI g' ada acara makan2'y! OK COY!!! :-D hahaha....
10. Buat temen2 seperjuangan yang tak akan ada ujungnya keluarga besar HMI Topix(penyu), Riswan (klebun)thanx ya bro pinjaman printernya :-), syamsul, kemplu, roy,rafli(kipli),budi thanx yo!!! Cak Wahyu, ms Lukman,ms David thanx ilmunya!
11. Rekan2 elektro energi listrik yang saling membantu dan saling mengisi dalam pengerjaan skripsi ini.Aan,Agus,Mansyur,Ms Dwi,Eko n banyak lagi maaf g' bisa disebutin 11 coz terlalu banyak :-).