

SKRIPSI

PENGGUNAAN FUZZY LOGIC CONTROLLER PADA MOTOR INDUKSI UNTUK MEMPERCEPAT KEMBALINYA PUTARAN PADA KECEPATAN NOMINAL AKIBAT ADANYA PERUBAHAN BEBAN



**Disusun oleh :
ABDUL JALAL
NIM 0112018**

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

APRIL 2008

CONTENTS

STATE RELATIONSHIP OF THE FEDERAL GOVERNMENT
TO THE STATE GOVERNMENTS AND THE LOCAL GOVERNMENTS
IN THE UNITED STATES OF AMERICA
BY
JAMES M. HARRISON

1. THE FEDERAL GOVERNMENT
2. THE STATE GOVERNMENTS
3. THE LOCAL GOVERNMENTS

1-2. THE FEDERAL GOVERNMENT
3-4. THE STATE GOVERNMENTS
5-6. THE LOCAL GOVERNMENTS
7-8. THE FEDERAL GOVERNMENT
9-10. THE STATE GOVERNMENTS
11-12. THE LOCAL GOVERNMENTS

1918

LEMBAR PERSETUJUAN

**PENGGUNAAN FUZZY LOGIC CONTROLLER PADA
MOTOR INDUKSI UNTUK MEMPERCEPAT KEMBALINYA PUTARAN
PADA KECEPATAN NOMINAL AKIBAT
ADANYA PERUBAHAN BEBAN**

SKRIPSI

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

Disusun Oleh :

Abdul Jalal

01.12.018

Malang, 29 April 2008

Diperiksa dan disetujui,

Dosen Pembimbing

(Ir. M. Abdul Hamid, MT)

NIP.Y. 1018800188



**Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1**

(Ir. F. Yudi Limpraptono, MT)

NIP. Y. 1039500274

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

2008

ABSTRAK

PENGUNAAN FUZZY LOGIC CONTROLLER PADA MOTOR INDUKSI UNTUK MEMPERCEPAT KEMBALINYA PUTARAN PADA KECEPATAN NOMINAL AKIBAT ADANYA PERUBAHAN BEBAN

Abdul Jalal
M. Abdul Hamid

Saat ini terdapat beberapa metode pengendalian kecepatan motor induksi yang sering digunakan. Perluasan system kendali terus berkembang tergantung pada kemajuan ilmu pengetahuan yang berbeda beda seperti sistem tenaga, elektronika, metode kontrol dan lain-lain. Kecerdasan tiruan telah menemukan aplikasi yang tinggi dalam kebanyakan sistim linier dan non linier. Karena mempunyai kecerdasan seperti manusia tetapi tidak ada sisi sentimentil terhadap manusia seperti marah dan sebagainya, kecerdasan tiruan digunakan untuk bergabai poin seperti perkiraan, kendali dan pengawasan. Teknik kecerdasan tiruan dapat digunakan sebagai pengendali untuk sistim apapun tanpa membutuhkan model matematis system. Dengan bigitu efisiensi dari pengendali meningkat.

Logika Fuzzy merupakan salah satu teknik dari kecerdasan tiruan, konsep ini memiliki banyak aplikasi dalam berbagai pengontrolan. Dalam penelitian ini Logika Fuzzy digunakan untuk pengendalian kecepatan motor induksi 3 fasa. Dimana pengendalian tersebut dimaksudkan untuk mempercepat respon sistem saat terjadi perubahan beban. Dengan metode Logika Fuzzy diharapkan waktu yang dibutuhkan motor untuk kembali pada kecepatan konstan lebih singkat. Sebagai pembanding digunakan pengendali dengan Proporsional Integral.

Penelitian hanya sebatas simulasi yang menggunakan Shoftware Matlab 7.0. Parameter motor yang digunakan adalah parameter motor induksi rotor sangkar 3 fasa yang ada di Lab. Konversi Energi Listrik ITN Malang. Dan dari hasil percobaan simulasi yang telah dilakukan ternyata sistem dengan pengendali Fuzzy Logic Controller mempunyai respon yang lebih cepat untuk mengembalikan putaran motor pada kecepatan konstan.

Kata kunci: *kecerdasan tiruan, motor induksi, logika fuzzy*

KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur kehadiran Allah SWT atas karunia dan hidayah-Nya skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik, yang diajukan sebagai syarat untuk menyelesaikan studi di Fakultas Teknologi Industri Jurusan Teknik Elektro Kosentrasi Energi Listrik, Institut Teknologi Nasional Malang.

Pada kesempatan yang berbahagia ini penulis menyampaikan rasa terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Prof.Dr. Ir. Abraham Lomi, MSEE. selaku rektor Institut Teknologi Nasional Malang.
2. Bapak Ir. Mochtar Asroni, MSME, selaku dekan Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Nasional Malang.
3. Bapak Ir. F. Yudi Limpraptono, MT, selaku ketua jurusan Teknik Elektro S-1.
4. Bapak Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT selaku sekretaris jurusan Teknik Elektro S-1.
5. Bapak Ir. M. Abdul Hamid, MT, selaku dosen pembimbing
6. Kedua orang tua untuk doa dan dukungannya selama ini
7. Semua pihak yang telah membantu selama penulisan skripsi ini yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa isi skripsi ini kemungkinan masih jauh dari sempurna. Untuk itu saran dan kritik yang membangun penulis harapkan.

Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penyusun maupun pembaca pada umumnya.

Malang, April 2008

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|---------------------------------|-------------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| LEMBAR PERSETUJUAN | ii |
| ABSTRAKSI | iii |
| KATA PENGANTAR | iv |
| DAFTAR ISI | v |
| DAFTAR TABEL | viii |
| DAFTAR GAMBAR | ix |

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. Kontribusi | 4 |

BAB II KONSEP DASAR MOTOR INDUKSI TIGA PHASA

| | |
|--------------------------------------|---|
| 2.1. Teori Dasar Motor Induksi | 5 |
| 2.2. Konstruksi Motor Induksi..... | 6 |
| 2.2.1. Stator | 6 |
| 2.2.2. Rotor | 7 |

| | |
|---|----|
| 2.3. Medan Magnet Putar | 7 |
| 2.4. Prinsip Kerja Motor Induksi | 9 |
| 2.4.1. Slip dan Frekuensi Arus Rotor | 11 |
| 2.5. Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi..... | 12 |
| 2.5.1. Rangkaian Ekuivalen | 12 |
| 2.5.2. Rangkaian Ekuivalen Stator..... | 12 |
| 2.5.3. Rangkaian Ekuivalen Rotor | 13 |
| 2.5.4. Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi..... | 13 |
| 2.6. Pengujian Motor Induksi Tiga Phasa | 17 |
| 2.6.1. Pengujian Arus Searah (<i>DC Test</i>)..... | 17 |
| 2.6.2. Pengujian Tanpa Beban (<i>No-Load Test</i>)..... | 18 |
| 2.6.3. Pengujian Rotor Tertahan (<i>Blocked Rotor Test</i>) | 19 |
| 2.7. Pengaturan Kecepatan..... | 22 |

BAB III METODE FUZZY LOGIC

| | |
|---|----|
| 3.1. Umum | 25 |
| 3.1. Konsep Dasar Logika Fuzzy | 26 |
| 3.2. Himpunan Klasik (<i>crisp</i>) | 27 |
| 3.3. Himpunan Fuzzy | 28 |
| 3.4. Fungsi Keanggotaan Himpunan Fuzzy..... | 30 |
| 3.4.1. Operasi Himpunan Fuzzy..... | 33 |
| 3.5. Variabel Linguistik | 33 |
| 3.6. KONTROLLER DENGAN FUZZY LOGIC..... | 35 |

| | |
|--|----|
| 3.6.1. Fuzzifikasi | 38 |
| 3.6.2. Basis Pengetahuan | 39 |
| 3.6.2.1. Basis Data | 39 |
| 3.6.2.2. Basis Aturan..... | 40 |
| 3.7. Logika Pengambilan Keputusan..... | 45 |
| 3.7.1. Bentuk Aturan Kontrol Fuzzy | 45 |
| 3.7.2. Fungsi Implikasi | 46 |
| 3.8. Mekanisme Inferensi | 47 |
| 3.9. Defuzzifikasi | 49 |
| BAB IV ANALISIA PARAMETER DAN HASIL SIMULASI | |
| 4.1. Pengujian Parameter Motor Induksi..... | 56 |
| 4.1.1. Alat-alat yang digunakan | 56 |
| 4.1.2. Pengujian Arus Searah (<i>DC Test</i>)..... | 57 |
| 4.1.3. Pengujian Tanpa Beban (<i>No Load Test</i>)..... | 57 |
| 4.1.4. Pengujian Rotor Tertahan (<i>Blocked Rotor Test</i>)..... | 58 |
| 4.2. Analisa Parameter Motor Induksi..... | 58 |
| 4.3. Simulasi Motor Induksi | 61 |
| 4.3.1 Algoritma dan flowchart..... | 65 |
| 4.3.2 Hasil simulasi | 67 |
| BAB V PENUTUP | |
| 5.1. Kesimpulan | 74 |
| 5.2. Saran..... | 75 |

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

| | | |
|-----------|---|----|
| Tabel 3-1 | Aturan Kontrol Fuzzy Macvicar-Whelan | 41 |
| Tabel 4-1 | Data Pengujian Arus Searah | 57 |
| Tabel 4-2 | Data Hasil Pengujian Beban Nol | 57 |
| Tabel 4-3 | Data Hasil Pengujian Rotor Tertahan | 58 |
| Tabel 4-4 | Hasil Perhitungan Pengujian Parameter Motor Induksi Tiga Phasa... | 61 |

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|-------------|---|----|
| Gambar 2-1 | Konstruksi Motor Induksi..... | 6 |
| Gambar 2-2 | Stator Tiga Phasa Motor Induksi..... | 6 |
| Gambar 2-3 | Motor Induksi Rotor Belitan Dan Rotor Sangkar Bajing | 7 |
| Gambar 2-4 | Medan Putar Pada Motor Induksi..... | 8 |
| Gambar 2-5 | Rangkaian Ekuivalen Stator..... | 12 |
| Gambar 2-6 | Rangkaian Ekuivalen rotor | 14 |
| Gambar 2-7 | Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi..... | 15 |
| Gambar 2-8 | Penyederhanaan Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi..... | 16 |
| Gambar 2-9 | Pengujian Arus Searah (<i>DC Test</i>) | 17 |
| Gambar 2-10 | Rangkaian Pengujian Tanpa Beban (<i>No Load Test</i>)..... | 18 |
| Gambar 2-11 | Rangkaian Pengujian Rotor Tertahan..... | 20 |
| Gambar 2-12 | Pengaturan Kecepatan Dengan Merubah Jumlah Kutub | 22 |
| Gambar 2-13 | Karakteristik Beban Pada Pengaturan Kecepatan Dengan Mengatur Tegangan Jala – Jala..... | 23 |
| Gambar 2-14 | Karakteristik Torsi Kecepatan Pada Pengaturan Tahanan Luar .. | 24 |
| Gambar 3-1 | Himpunan Fuzzy dan Istilahnya..... | 28 |
| Gambar 3-2 | Himpunan Fuzzy dan Penyokongnya | 29 |
| Gambar 3-3 | Bentuk bentuk Fungsi Keanggotaan | 31 |
| Gambar 3-4 | Fungsi Keanggotaan Segitiga..... | 31 |
| Gambar 3-5 | Himpunan Fuzzy Untuk Kecepatan..... | 34 |
| Gambar 3-6 | Bagian Pokok Fuzzy Logic Controller..... | 36 |

| | | |
|-------------|---|----|
| Gambar 3-7 | Diagram Blok Sistem Pengaturan Dengan Logika Fuzzy..... | 37 |
| Gambar 3-8 | Input dan Output Fungsi Keanggotaan..... | 39 |
| Gambar 3-9 | Blok Diagram Mekanisme Inferensi..... | 48 |
| Gambar 3-10 | Mekanisme Inferensi MISO Dengan Operasi Max-Min..... | 49 |
| Gambar 3-11 | Metode-Metode Defuzzifikasi..... | 50 |
| Gambar 4-1 | Model Simulink Pengendalian Motor Induksi Menggunakan Fuzzy Logic..... | 62 |
| Gambar 4-2 | Model Simulink Pengendalian Motor Induksi Menggunakan PI.. | 63 |
| Gambar 4-3 | Proses Fuzzyfikasi FIS Editor..... | 64 |
| Gambar 4-4 | Blok Diagram Dari Pengendali PI Fuzzy..... | 65 |
| Gambar 4-5 | Respon System Menggunakan Kendali PI Dalam Keadaan Tanpa Beban | 67 |
| Gambar 4-6 | Respon System Menggunakan Kendali Fuzzy Dalam Keadaan Tanpa Beban..... | 67 |
| Gambar 4-7 | Respon System Menggunakan Kendali PI Saat Diberi beban 100 Nm | 68 |
| Gambar 4-8 | Respon System Menggunakan Kendali Fuzzy Saat Diberi beban 100 Nm | 68 |
| Gambar 4-9 | Respon System Menggunakan Kendali PI Saat Diberi beban 150 Nm | 69 |
| Gambar 4-10 | Respon System Menggunakan Kendali Fuzzy Saat Diberi beban 150 Nm | 69 |

Gambar 4-11 Respon System Menggunakan Kendali PI Saat Diberi beban 200 Nm 70

Gambar 4-12 Respon System Menggunakan Kendali Fuzzy Saat Diberi beban 200 Nm 71

Gambar 4-13 Respon System Menggunakan Kendali PI Saat Diberi beban 200 Nm 72

Gambar 4-14 Respon System Menggunakan Kendali Fuzzy Saat Diberi beban 250 Nm 72

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Motor induksi merupakan motor arus bolak balik (AC) yang sangat luas penggunaannya, khususnya dalam bidang industri. Secara umum di bidang industri sistem pengaturan memegang peranan yang sangat penting dalam meningkatkan efisiensi dalam proses produksi dan menunjang proses berjalannya industri tersebut.

Motor induksi memerlukan pemeliharaan yang rendah dan kuat, mempunyai banyak aplikasi dalam industri. Seiring perkembangan industri, hal ini mengindikasikan kebutuhan untuk mengembangkan kontrol penggerak dengan performa yang tinggi. Motor DC lebih mudah dikontrol dibandingkan motor AC tetapi membutuhkan biaya yang tinggi. Selain itu dalam kekuatan yang sama, motor DC mempunyai volume dan bobot yang lebih tinggi.

Untuk mengendalikan motor induksi telah banyak dikembangkan bermacam-macam sistem kontrol dan salah satunya adalah Fuzzy Logic Controller. Logika Fuzzy merupakan salah satu dari kontrol cerdas yang dalam perancangannya diperlukan pengalaman yang cukup untuk menentukan parameternya.

Secara konvensional controller dirancang berdasarkan pada model matematis dari sistem yang akan digunakan, kondisi ini menyulitkan untuk implementasi pada sistem yang sesungguhnya, terutama pada sistem yang

komplek dan tidak linier. Sebagai alternatif telah dikembangkan konsep logika Fuzzy untuk berbagai macam pengontrolan. Akan tetapi jenis controller ini memerlukan pengalaman dari perancangannya. Jika ini tidak tersedia maka sulit untuk mencapai tujuan pengontrolan.

1.2. Perumusan Masalah

Saat terjadi perubahan beban pada motor maka kecepatan putaran akan berubah. Diperlukan waktu untuk kembali pada kecepatan semula. Diperlukan suatu metode pengendalian untuk mempercepat proses kembalinya putaran pada kecepatan nominalnya setelah terjadi perubahan beban, sehingga waktu yang dibutuhkan lebih singkat dan putaran motor tetap stabil walaupun sering terjadi perubahan beban.

1.3. Tujuan

Untuk melihat bagaimana respon sistem saat diberi beban, berapa lama waktu yang dibutuhkan motor untuk kembali pada kecepatan referensinya atau pada kecepatan konstan.

1.4. Batasan Masalah

Untuk menyederhanakan masalah yang akan dibahas, maka diberikan asumsi-asumsi serta batasan-batasan sebagai berikut :

1. Perancangan hanya sebatas perangkat lunak berupa alur program yang mengacu pada Fuzzy Logic menggunakan software MATLAB 7.0

2. Motor yang digunakan adalah motor induksi jenis rotor sangkar 3 fasa dengan data sebagai berikut : DELORENZO/DL 1021, 1,1 KW, 220/380(Δ/Y) Volt, 4,3/2,5(Δ/Y) Ampere, Cos ϕ 0,83, Frekwensi 50 Hz, 2830rpm, 2 kutup.
3. Sistem dianggap linier
4. Analisa dilakukan dalam keadaan mantap (steady state).
5. Metode PI hanya digunakan sebagai pembanding
6. Simulasi hasil dengan menggunakan software simulink-MATLAB 7.0.

1.5. Metodologi Penelitian

Metode yang dipakai untuk menyelesaikan masalah masalah diatas adalah

:

1. Studi literatur.
2. Pengambilan data parameter motor sebagai bahan acuan dalam mensimulasikan motor induksi.
3. Mensimulasikan motor induksi tiga fasa dengan metode Fuzzy Logic menggunakan software simulink-MATLAB 7.0.
4. Analisa data hasil perancangan.
5. Penarikan kesimpulan.

1.6. Kontribusi

Bahwa sistem pengaturan kecepatan motor induksi mempunyai peranan yang sangat penting dalam menjaga kestabilan sistem dan meningkatkan efisiensi energi. Sehingga diharapkan dengan menggunakan Fuzzy Logic Controller (FLC) ini akan menjadi alternatif sistem pengendalian yang lebih produktif, ekonomis dan bermanfaat terutama bagi industri-industri yang ada.

BAB II

KONSEP DASAR MOTOR INDUKSI TIGA PHASA

2.1. Teori Dasar Motor Induksi.

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

Disebut motor tak serempak karena putaran motor tidak sama dengan putaran fluks magnet stator. Dengan kata lain, bahwa antara putaran rotor dan putaran fluks magnet terdapat selisih putaran yang disebut slip.

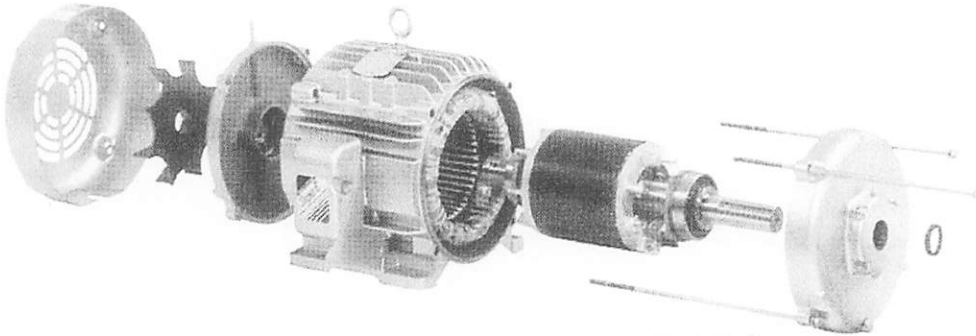
Motor induksi *polyphase* banyak dipakai dikalangan industri. Ini berkaitan dengan beberapa keuntungannya.

Keuntungan :

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 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 :



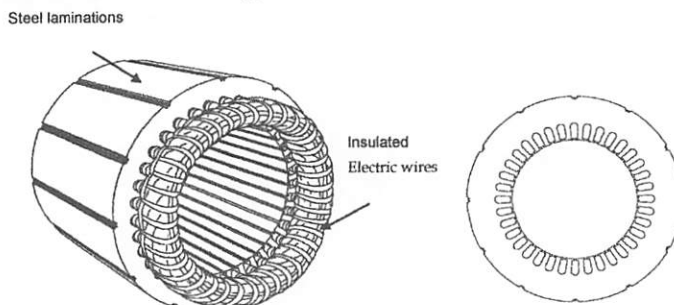
Gambar 2-1 : Konstruksi Motor Induksi

Sumber : <http://www.enm.com>, Dynamics of 3-phase Induction Motors, Part I.

2.2.1. Stator

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

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



Gambar 2-2: Stator Tiga-Phasa Motor Induksi

Sumber : <http://www.enm.com>, Dynamics of 3-phase Induction Motors, Part I.

2.2.2. Rotor

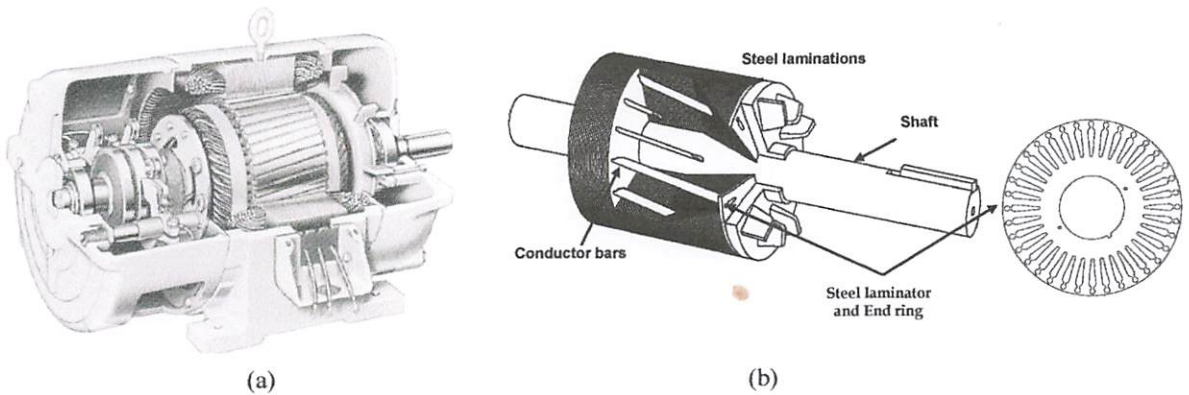
Konstruksi dari rotor motor induksi mempunyai dua bentuk, yaitu :

1. 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.

2. 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.



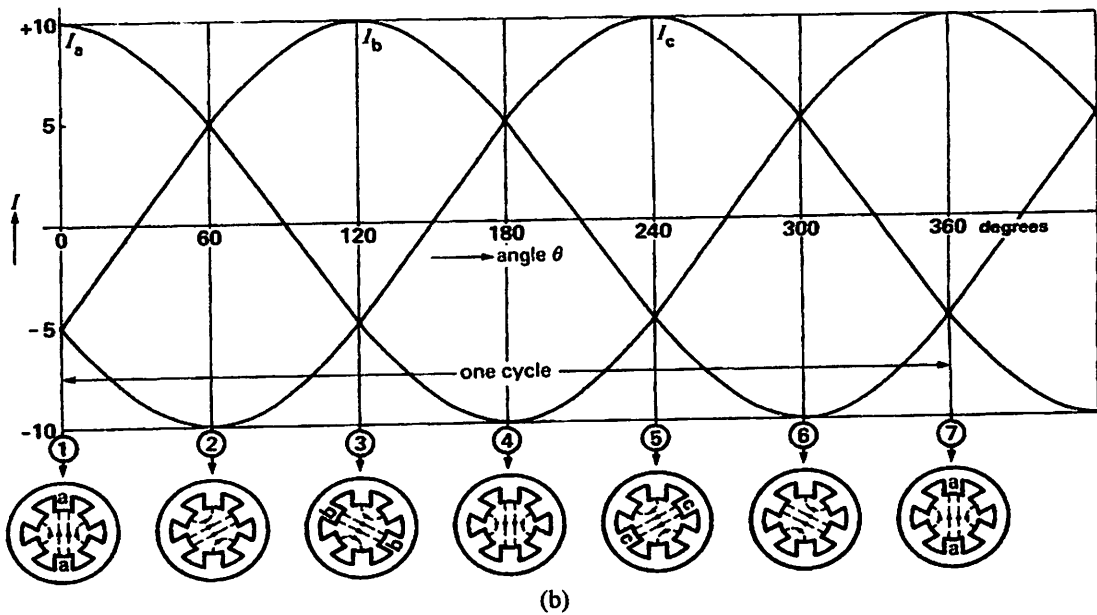
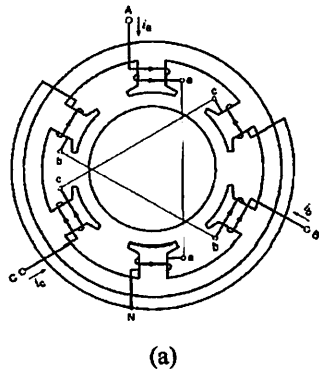
**Gambar 2-3 : a) Motor Induksi Rotor Belitan
b) Rotor Sangkar Bajing**

Sumber : <http://www.enm.com>, Dynamics of 3-phase Induction Motors, Part I.

2.3. Medan Magnet Putar

Perputaran motor pada mesin arus bolak-balik ditimbulkan oleh adanya medan putar (fluks yang berputar) yang dihasilkan dalam kumparan statornya. Medan putar ini terjadi apabila kumparan stator dihubungkan dalam fasa

banyak, umumnya tiga fasa. Hubungan dapat berupa hubungan bintang atau delta.



Gambar 2-4 : Medan Putar Pada Motor Induksi
<http://www.enm.com>, Dynamics of 3-phase Induction Motors, Part I.

Medan putar terjadi apabila kumparan A-a, B-b, C-c dihubungkan tiga fasa dengan beda fasa masing-masing 120° (hubungan bintang, Y) dan dialiri arus sinusoida. Distribusi i_a , i_b , i_c sebagai fungsi waktu adalah seperti gambar 2-4b. Pada keadaan t_1 fluks resultan mempunyai arah yang sama dengan arah yang dihasilkan oleh kumparan A-a, sedangkan pada t_3 , fluks resultannya dihasilkan

oleh kumparan B-b. Untuk t_4 , fluks resultannya berlawanan arah dengan fluks resultan yang dihasilkan pada t_1 . Dari gambar 2-4 b tersebut terlihat bahwa fluks resultan ini akan berputar satu kali.

2.4. 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 fasa 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 phasa, 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.

2.4.1. Slip dan Frekuensi Arus Rotor

Slip diidentifikasi sebagai bagian Dari kecepatan sinkron n_s dan kecepatan aktual rotor n_r . Slip dirumuskan sebagai berikut :

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} \dots\dots\dots (2.5)$$

Pada keadaan diam medan magnet putar yang dihasilkan oleh stator mempunyai kecepatan relatif yang sama dengan kumparan rotor. Pada saat ini frekuensi dari arus rotor sama dengan frekuensi stator ($f_r = f_s$). Frekuensi rotor f_r adalah nol ketika motor berputar pada kecepatan sinkron. Pada saat tersebut tidak terdapat gerakan (putaran) relatif antara medan putar dan rotor. Pada kecepatan yang lain, frekuensi rotor proporsional dengan slip (s). Hubungan antara slip dan frekuensi dapat dilihat dari persamaan berikut ini :

$$n_s = \frac{120f_s}{p} \text{ atau } f_s = \frac{pn_s}{120} \dots\dots\dots (2.6)$$

dimana : p = jumlah kutub

f_s = frekuensi stator

Pada rotor berlaku hubungan :

$$f_r = \frac{(n_s - n_r)p}{120} = \frac{(n_s - n_r)n_s p}{n_s 120} \dots\dots\dots (2.8)$$

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} \text{ dan } f_s = \frac{pn_s}{120}$$

Maka :

$$f_r = s.f_s \dots\dots\dots (2.9)$$

2.5. Rangkaian Ekivalen Motor Induksi

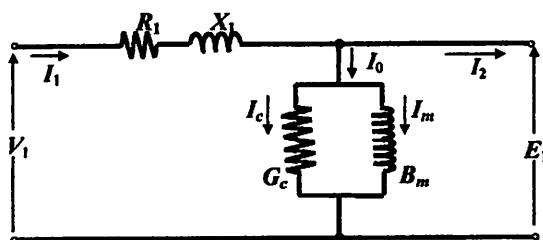
2.5.1. Rangkaian Ekivalen

Suatu rangkaian ekivalen motor induksi tiga phase diperlukan untuk membantu analisis operasi dan untuk memudahkan penghitungan kinerja. Rangkaian ekivalen tersebut mengasumsikan suatu bentuk yang identik rangkaian ekivalen transformator. Proses penurunannya serupa dengan model dengan modifikasi-modifikasi baru seperlunya untuk menghitung kumparan sekunder (rotor) dalam hal ini berputar dan menghasilkan daya mekanik.

2.5.2. Rangkaian Ekivalen Stator

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

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



Gambar 2-5 : Rangkaian Ekivalen Stator

Sumber : A. E. Fitzgerald, Charles Kingsley, Jr., Stephen D. Umans, "Electric Machinery", McGraw-Hill International, fourth edition.

Dimana :

V_1 = tegangan terminal per-fasa

R_1 = resistansi kumparan stator per-fasa

X_1 = reaktansi bocor kumparan stator per-fasa

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

G_c = konduktansi rugi-rugi inti stator per-fasa

B_m = suseptansi magnetisasi stator per-fasa

2.5.3. 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 fasa adalah :

$$X_2' = sX_2 \dots\dots\dots (2.10)$$

$$X_2 = 2\pi f_s L_2 \dots\dots\dots (2.11)$$

dimana X_2 merupakan reaktansi rotor pada start atau diam.

Tegangan induksi pada rotor :

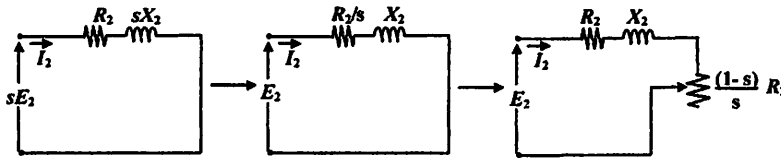
$$E_2 = 4,44f_2 N_2 \Phi_m \dots\dots\dots (2.12)$$

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

$$E_2' = 4,44s f_1 N_2 \Phi_m \dots\dots\dots (2.13)$$

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

$$E_2' = s E_2 \dots\dots\dots (2.14)$$



Gambar 2-6: Rangkaian Ekivalen Rotor

Sumber : A. E. Fitzgerald, Charles Kingsley, Jr., Stephen D. Umans, "Electric Machinery", McGraw-Hill International, fourth edition.

Dimana :

S = Slip

E_2 = tegangan induksi per-fasa di dalam rotor pada keadaan diam

R_2' = resistansi kumparan rotor per-fasa berpatokan pada stator

X_2' = 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 (I_2) saat berputar adalah :

$$I_2 = \frac{sE_2}{\sqrt{R_2'^2 + (sX_2')^2}} \dots\dots\dots (2.15)$$

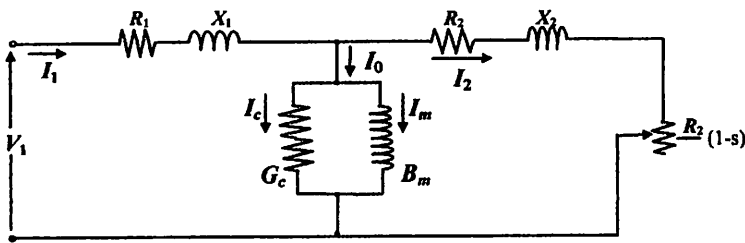
Atau

$$I_2 = \frac{E_2}{\sqrt{\left(\frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_2'^2}} \dots\dots\dots (2.16)$$

2.5.4. Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi

Kerja motor induksi seperti juga kerja pada transformator adalah berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Oleh karena itu motor induksi dipandang sebagai transformator yang mempunyai ciri-ciri khusus, yaitu :

1. Stator sebagai sisi primer
2. Rotor sebagai sisi sekunder yang penghantar-penghantarnya dihubungkan singkat dan berputar
3. Kopling antara sisi primer dan sisi sekunder dipisahkan oleh celah udara (*air gap*).



Gambar 2-7 : Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi

Sumber : A. E. Fitzgerald, Charles Kingsley, Jr., Stephen D. Umans, "Electric Machinery", McGraw-Hill International, fourth edition.

Rangkaian tersebut memperlihatkan bahwa daya keseluruhan yang dialihkan pada celah udara dari stator (masukan daya ke rotor) adalah :

$$P_2 = 3I_2^2 \frac{R_2}{s} \dots\dots\dots (2.17)$$

Dengan rugi tembaga rotor :

$$P_{cu2} = 3I_2^2 R_2 \dots\dots\dots (2.18)$$

Maka daya mekanis yang dibangkitkan oleh motor induksi adalah :

$$P_m = P_2 - P_{cu2} = 3I_2^2 \frac{R_2}{s} - 3I_2^2 R_2 = 3I_2^2 R_2 \frac{(1-s)}{s} \dots\dots\dots (2.19)$$

$$P_m = T \cdot \omega_r = T \cdot \omega_s(1-s) \dots\dots\dots (2.20)$$

dimana :

T = Torsi motor dalam N-m

ω_r = kecepatan rotor dalam rad/det

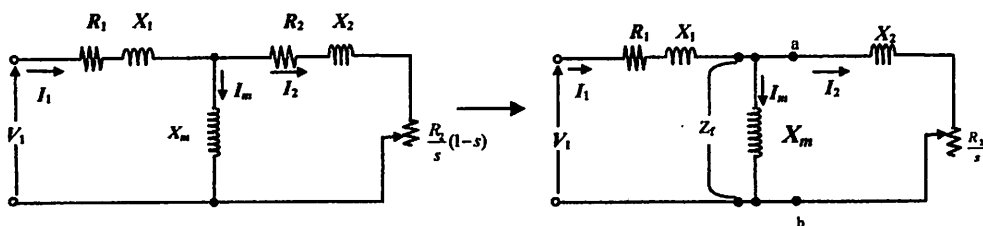
ω_s = kecepatan sinkron stator dalam rad/det

sehingga diperoleh :

$$T = \frac{3}{\omega_s} I_2^2 \frac{R_2}{s} \text{ Nm} \dots\dots\dots (2.21)$$

$$I_2 = \frac{V_1}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2}{s}\right)^2 + (X_1 + X_2)^2}} \dots\dots\dots (2.22)$$

Dalam analisis rangkaian ekivalen, sering disederhanakan dengan menghilangkan konduktansi (R_c), sehingga rangkaian ekivalen pada gambar (2.7) berubah menjadi :



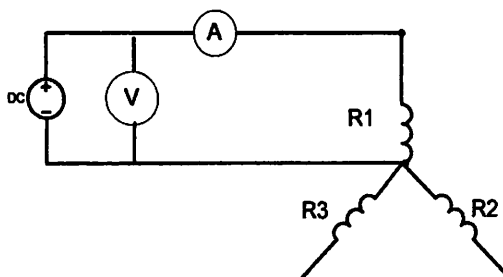
Gambar 2-8 : Penyederhanaan Rangkaian Ekivalen Motor Induksi
 Sumber : A. E. Fitzgerald, Charles Kingsley, Jr., Stephen D. Umans, "Electric Machinery", McGraw-Hill International, fourth edition.

2.6. Pengujian Motor Induksi Tiga Phasa

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 2.9



Gambar 2-9
Pengujian Arus Searah (*DC Test*)

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}) :

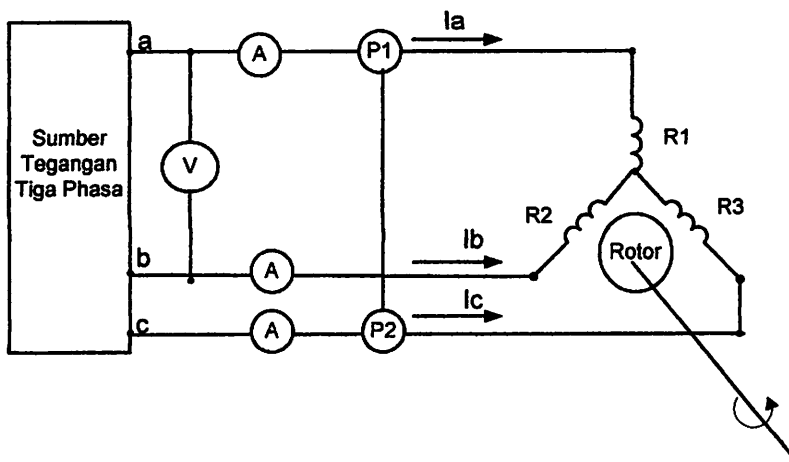
untuk nilai resistansi kumparan a dan b :

$$R_{ab} = R_1 = \frac{V_{DC}}{I_{DC}} \Omega \dots \dots \dots (2.23)$$

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 2-10
Rangkaian Pengujian Tanpa Beban (*No Load Test*)

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

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

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

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

$$V_{ni} = \frac{V_{ab}}{\sqrt{3}} \text{ Volt/ fasa} \dots\dots\dots(2.24)$$

Untuk arus pada no load

$$I_{nl} = \frac{I_a + I_b + I_c}{3} \text{ Ampere} \dots\dots\dots(2.25)$$

$$Z_{nl} = \frac{V_{nl}}{I_{nl}} \text{ ohm} \dots\dots\dots(2.26)$$

$$R_{nl} = \frac{P_{3\phi}}{3I_0} \text{ ohm} \dots\dots\dots(2.27)$$

$$X_{nl} = \sqrt{Z_{nl}^2 - R_{nl}^2} \text{ ohm} \dots\dots\dots(2.28)$$

R_c , resistansi rugi-rugi inti :

$$P_c = P_{nl} - P_{rs} \dots\dots\dots(2.29)$$

$$R_c = \frac{E_a^2}{P_c} \text{ ohm/phase} \dots\dots\dots(2.30)$$

Rugi Rugi Stator

$$P_{rs} = 3I_{nl}^2 \cdot R_s \text{ (Watt)} \dots\dots\dots(2.31)$$

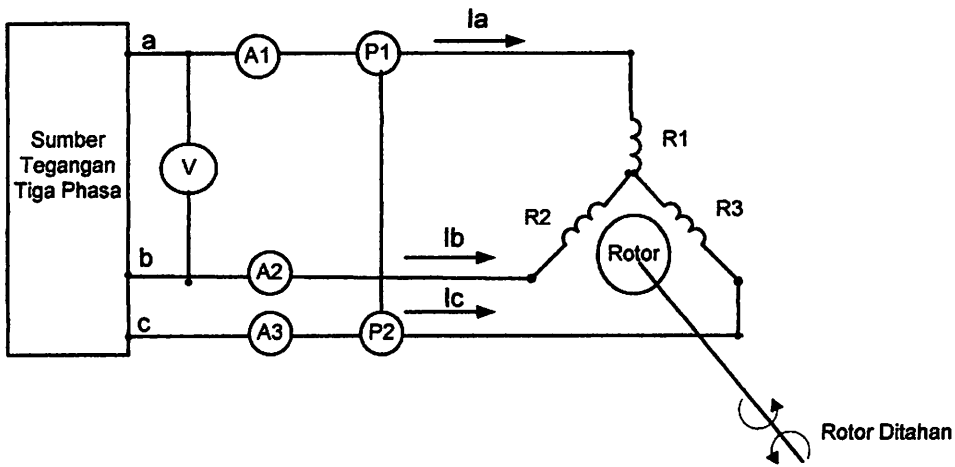
Rugi Gesek, angin, rugi besi :

$$P_{fwc} = P_{nl} - P_{rs} \text{ (Watt)} \dots\dots\dots(2.32)$$

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 fasa 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 2-11
Rangkaian Pengujian Rotor Tertahan (*Blocked Rotor*)

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

$$P_{3-\phi} = P_a + P_b \text{ watt} \tag{2.33}$$

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

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

$$P_{br} = \frac{P_{3-\phi}}{3} \text{ watt/fasa} \dots \dots \dots (2.34)$$

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

$$V_{br} = \frac{V_{ab}}{\sqrt{3}} \text{ Volt/fasa} \dots \dots \dots (2.35)$$

I_{br} , arus phasa stator :

$$I_{br} = \frac{I_a + I_b + I_c}{3} \text{ Ampere(2.36)}$$

R_{ek} , resistansi ekivalen :

$$R_{ek} = \frac{P_{br}}{I_{br}^2} \text{ ohm/phasa(2.37)}$$

Untuk R_r' , resistansi rotor berpatokan pada stator :

$$R_r' = R_{ek} - R_s \text{ ohm/phasa(2.38)}$$

Z_{br} , Impedansi rotor tertahan :

$$Z_{br} = \frac{V_{br}}{I_{br}} \text{ ohm/phasa(2.39)}$$

X_{ek} , reaktansi ekivalen :

$$X_{ek} = \sqrt{(Z_{br}^2 + R_{ek}^2)} \text{ ohm/phasa(2.40)}$$

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

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

2.7. Pengaturan Kecepatan

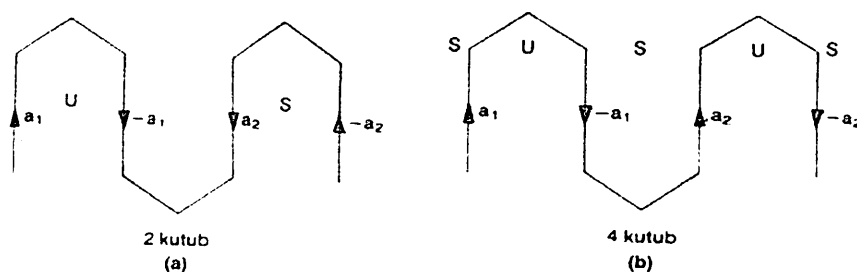
Motor induksi pada umumnya berputar dengan kecepatan konstan, mendekati kecepatan sinkronnya. Meskipun demikian pada penggunaan tertentu dikehendaki juga adanya pengaturan putaran. Pengaturan putaran motor induksi memerlukan biaya yang agak tinggi.

Biasanya pengaturan ini dapat dilakukan dengan beberapa cara:

1. Mengubah jumlah kutub motor

Karena $n_s = \frac{120f}{p}$, perubahan jumlah kutub (p) atau frekuensi akan

mempengaruhi putaran. Jumlah kutub dapat diubah dengan merencanakan kumparan stator sedemikian rupa sehingga dapat menerima tegangan masuk pada posisi kumparan yang berbeda-beda. Biasanya diperoleh dua perubahan kecepatan sinkron dengan mengubah jumlah kutub dari 2 menjadi 4, seperti pada gambar 2-12 berikut



Gambar 2-12

Pengaturan Kecepatan Dengan Merubah Jumlah Kutub

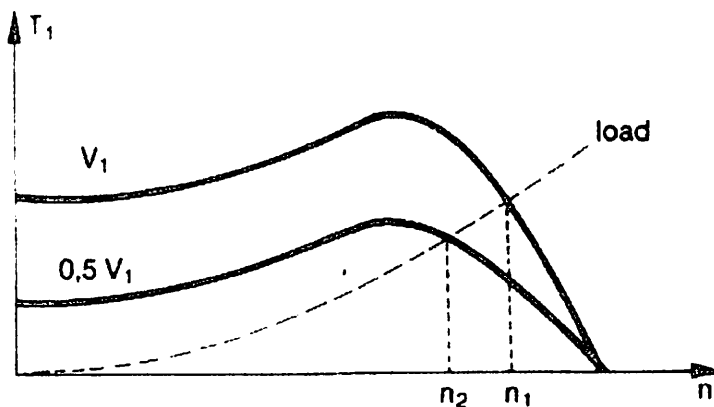
2. Mengubah Frekuensi Jala-jala

Pangaturan putaran motor induksi dapat dilakukan dengan mengubah-ubah harga frekuensi jala-jala. Hanya saja untuk menjaga kesetimbangan kerapatan fluks, perubahan tegangan harus dilakukan bersamaan dengan perubahan frekuensi. Persoalannya sekarang adalah bagaimana mengatur frekuensi secara efektif dan ekonomis

3. Mengatur Tegangan Jala-jala

$$T = \frac{3}{\omega} (V_1)^2 \frac{S a^2 R_2}{(a^2 R)^2 + S^2 (a^2 X_2)^2}$$

Dari persamaan kopel motor induksi diketahui bahwa kopel sebanding dengan pangkat dua tegangan yang diberikan. Untuk karakteristik beban seperti terlihat pada gambar 2-13 berikut



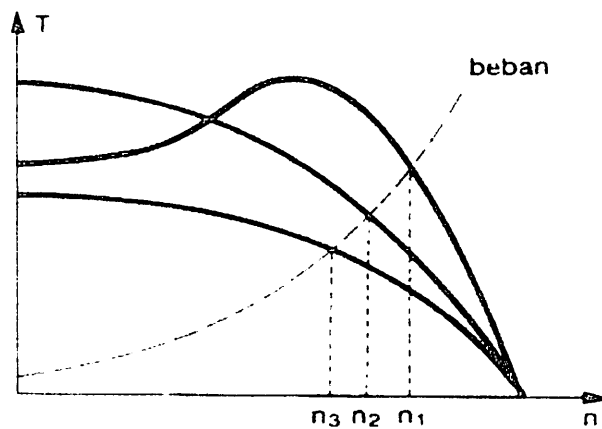
Gambar 2-13

Karakteristik Beban Pada Pengaturan Kecepatan Dengan Mengatur Tegangan Jala – Jala

Kecepatan akan berubah dari n_1 ke n_2 untuk tegangan masuk setengah tegangan semula . Cara ini hanya menghasilkan pengaturan kecepatan yang terbatas (daerah pengaturan yang sempit).

4. Pengaturan Tahanan Luar

Tahanan luar motor induksi rotor belitan dapat diatur, dengan demikian dihasilkan karakteristik kopel kecepatan yang berbeda-beda seperti terlihat pada gambar 2-14. Putaran akan berubah dari n_1 ke n_2 ke n_3 dengan bertambahnya tahanan luar yang dihubungkan ke rotor.



Gambar 2-14

Karakteristik Torsi Kecepatan Pada Pengaturan Tahanan Luar

BAB III

METODE FUZZY LOGIC

3.1 Umum

Dalam bab ini akan dibahas mengenai konsep dasar logika fuzzy, dan prinsip pengendaliannya pada sistem tenaga listrik, khususnya pada pengaturan kecepatan motor 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 pengaturan dengan fuzzy logic melalui penurunan persamaan waktu deskrit dan konsep kestabilan;serta MM Gupta dan T. Yamakawa yang mengajukan struktur multivariabel untuk menganalisa sistem pengaturan 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 :

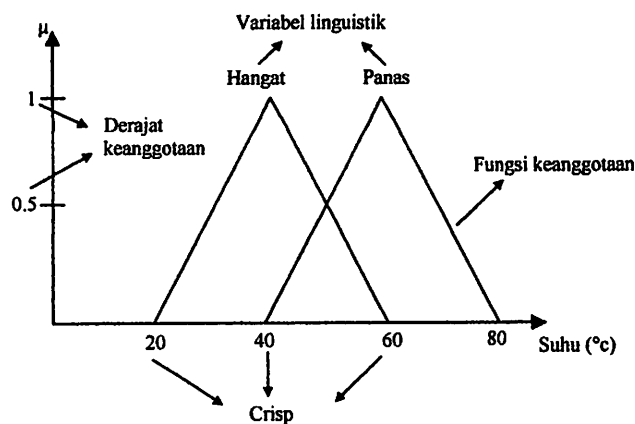
$$\mu_A (X) : \begin{cases} 1 & \text{jika } \in A \\ 0 & \text{jika } \notin A \end{cases} \dots\dots\dots(3.1)$$

dimana \in adalah bagian himpunan.

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

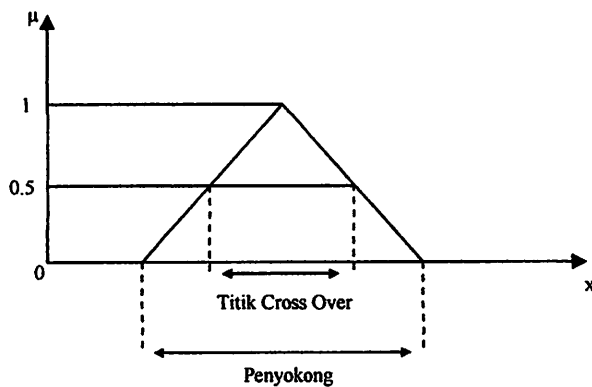
Jika X mempunyai elemen-elemen atau titik-titik yang terdiri dari x maka suatu elemen x dalam himpunan bagian fuzzy A mempunyai derajat keanggotaan $\mu_A(x)$. Jika $\mu_A(x) = 1$ maka x adalah himpunan bagian A , begitu pula sebaliknya

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 Mizutami, NEURO FUZZY AND SOFT COMPUTING. A COMPUTATIONAL APROUCH TO LEARNING AND MACHINE INTELEGENCE

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

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

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

Contoh sederhana agar lebih memahami pernyataan-pernyataan tersebut yaitu :

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

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

Atau

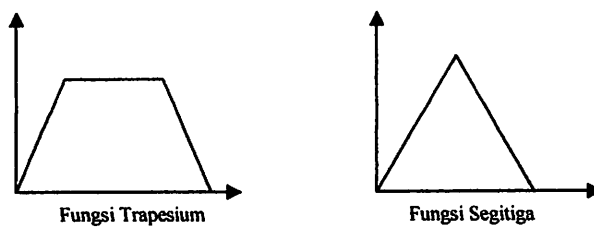
$$C = \text{Lalapan} | 0.2 + \text{Rujak} | 0.4 + \text{Roti isi} | 0.8 + \text{Tahu campur} | 0.6$$

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

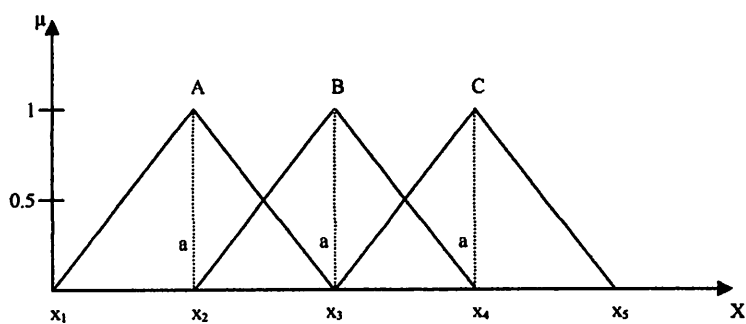
Untuk menyatakan tiap keanggotaan dari tiap penyokong dalam himpunan fuzzy digunakan fungsi keanggotaan (membership function). Fungsi keanggotaan ini mengkarakteristikan tiap penyokong dari himpunan fuzzy sedemikian rupa sehingga setiap penyokong mempunyai nilai keanggotaan dalam interval $[0 : 1]$.

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



Gambara 3-4

Fungsi Keanggotaan Segitiga

Derajat keanggotaan himpunan A adalah :

$$\mu_A(x) = 0 \quad \forall x \leq x_1 \text{ atau } x \geq x_2$$

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

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

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

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

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

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

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

3.5. Variabel Linguistik

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

Dalam sistem 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.

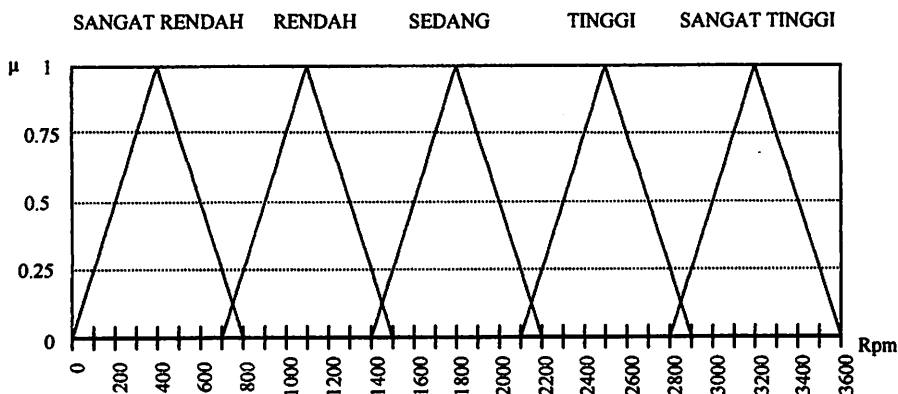
Secara sederhana variabel linguistik dapat dinyatakan dengan pasangan $(\mu, T(\mu), X)$. μ menyatakan nama variabel dan $T(\mu)$ adalah istilah yang menyatakan seperangkat nama dari besaran linguistik untuk himpunan bagian fuzzy pada semesta pembicaraan X . Sebagai contoh variabel kecepatan dipakai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

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

Jika jelajah dari semesta pembicaraan X dimisalkan dengan nilai $[0:3600]$ rpm maka berlaku ketentuan seperti :

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

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



Gambar 3-5

Himpunan Fuzzy Untuk Kecepatan

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

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

Atau dapat dinyatakan dengan

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

Tinjau himpunan sangat rendah dan rendah, untuk kecepatan 720 rpm mempunyai derajat keanggotaan masing-masing 0.2 dan 0.05 masing-masing pada himpunan sangat rendah dan himpunan rendah, sehingga mempunyai nilai kebenaran yang sama kuat untuk menjadi anggota himpunan sangat rendah 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 pengaturan cerdas. Sistem pengaturan cerdas ini dapat dirancang berdasarkan empat pendekatan yaitu :

1. Pendekatan berdasarkan basis pengetahuan (knowledge Base) seorang operator ahli.

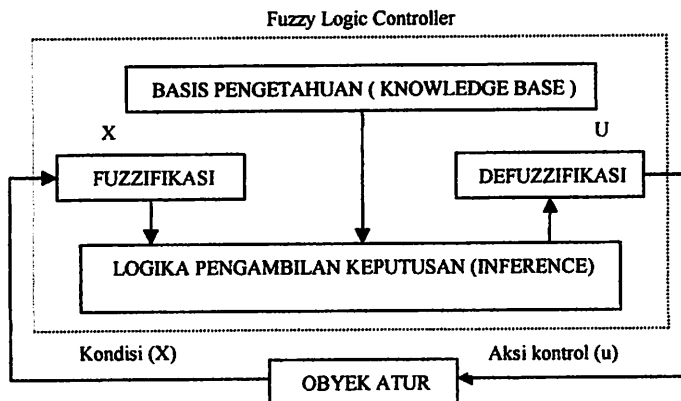
2. Pendekatan fuzzy logic dengan variabel linguistik.
3. Pendekatan dengan jaringan syaraf tiruan (artificial neural network).
4. Gabungan antara artificial neural network dan fuzzy logic yang dikenal sebagai Neuro fuzzy.

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

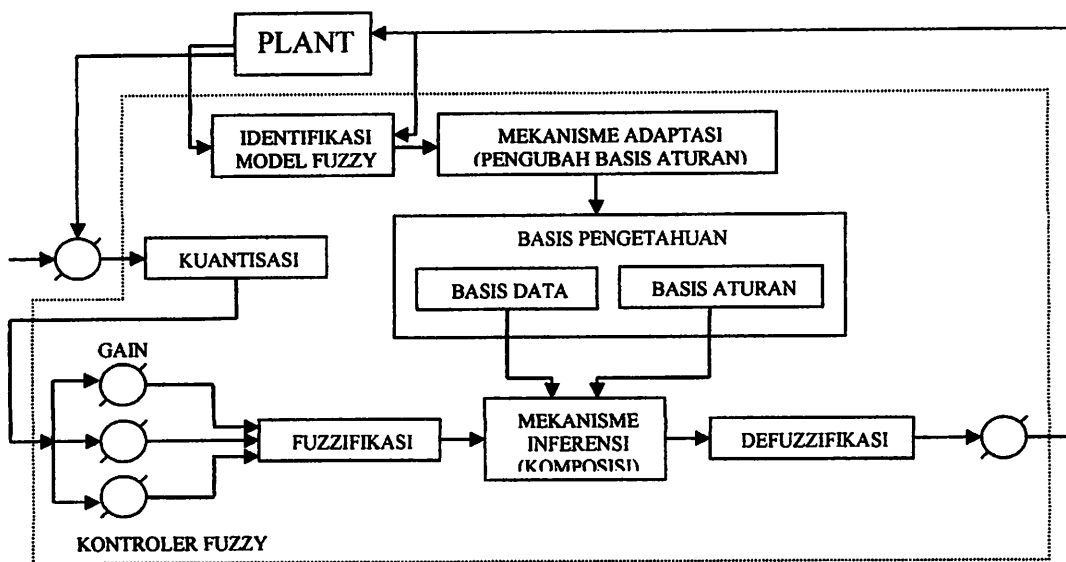
Dimana e = error output dengan variabel linguistik NB, Δe = perubahan error dengan variabel linguistik PK, dan u = sinyal atur dengan variabel linguistik NS.

Secara umum 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 Pengaturan Dengan Logika Fuzzy

Keempat bagian tersebut mempunyai fungsi sebagai berikut :

- 1) Fuzzifikasi, berfungsi untuk mentransformasikan sinyal masukan yang bersifat crisp (non fuzzy) ke himpunan fuzzy dengan menggunakan operator fuzzier.
- 2) Basis pengetahuan, berisi basis data dan basis aturan yang mendefinisikan himpunan fuzzy atas daerah-daerah masukan dan keluaran dan menyusunnya kedalam basis aturan. Penyusunan basis pengetahuan didasari oleh pengetahuan dan pengalaman seseorang sehingga data-data yang ada dapat dibuat aturan kontrolnya.

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

Tabel 3-1

Aturan Kontrol Fuzzy Macvicar-Whelan

| | Δe | NB | NM | NS | ZE | PS | PM | PB |
|----|------------|----|----|----|----|----|----|----|
| e | Output | | | | | | | |
| NB | | NB | NB | NM | NM | NS | NS | ZE |
| NM | | NB | NM | NM | NS | NS | ZE | PS |
| NS | | NM | NM | NS | NS | ZE | PS | PS |
| ZE | | NM | NS | NS | ZE | PS | PS | PM |
| PS | | NS | NS | ZE | PS | PS | PM | PM |
| PM | | NS | ZE | PS | PS | PM | PM | PB |
| PB | | ZE | PS | PS | PM | PM | PB | PB |

Dimana : NB = Negative Big

PS = Positive Small

NM = Negative Medium

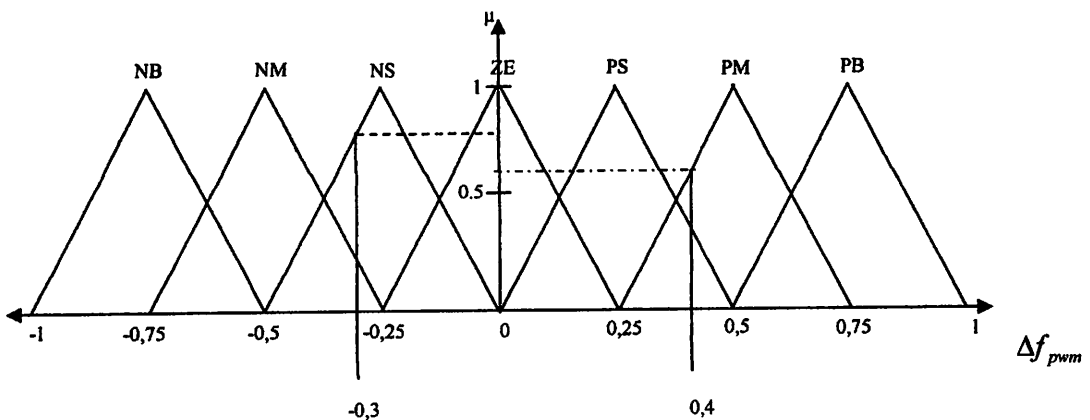
PM = Positive Medium

NS = Negative Small

PB = Positive Big

ZE = Zero Error

Misalkan $e = 0,4$ dan $\Delta e = -0,3$



$$\begin{aligned}\mu_{PS}(0,4) &= (0,5-0,4) / (0,5-0,25) \\ &= 0,1 / 0,25 \\ &= 0,4\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu_{PM}(0,4) &= (0,4-0,25) / (0,5-0,25) \\ &= 0,15 / 0,25 \\ &= 0,6\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu_{NM}(-0,3) &= (-0,3-(-0,25)) / (-0,5-(-0,25)) \\ &= -0,05 / -0,25 \\ &= 0,2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu_{NS}(-0,3) &= (-0,5-(-0,3)) / (-0,5-(-0,25)) \\ &= -0,2 / -0,25 \\ &= 0,8\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}1 = \mu_{PS} \cap \mu_{NM} &= \min(\mu_{PS}[0,4], \mu_{NM}[-0,3]) \\ &= \min(0,4; 0,2) \\ &= 0,2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}2 = \mu_{PS} \cap \mu_{NS} &= \min(\mu_{PS}[0,4], \mu_{NS}[-0,3]) \\ &= \min(0,4; 0,8) \\ &= 0,4\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}3 = \mu_{PM} \cap \mu_{NM} &= \min(\mu_{PM}[0,4], \mu_{NM}[-0,3]) \\ &= \min(0,6; 0,2) \\ &= 0,2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}4 = \mu_{PM} \cap \mu_{NS} &= \min(\mu_{PM}[0,4], \mu_{NS}[-0,3]) \\ &= \min(0,6; 0,8) \\ &= 0,6\end{aligned}$$

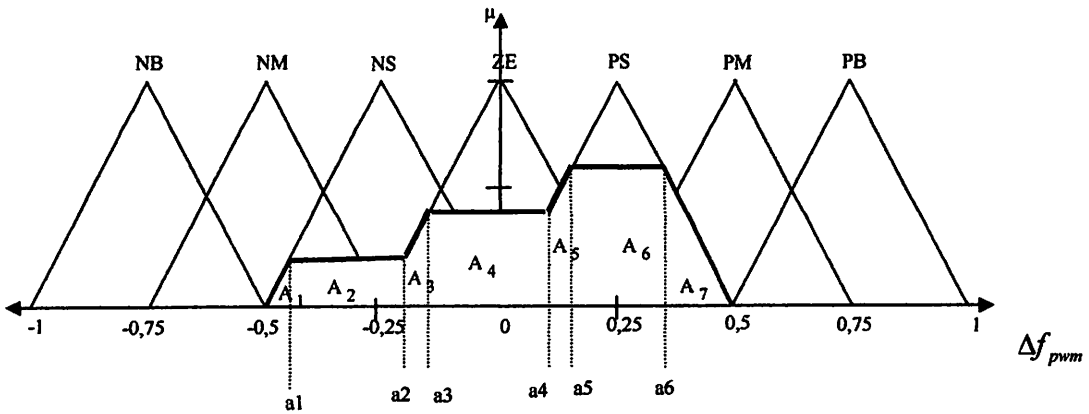
$$NS = 0,2$$

$$ZE = 0,2$$

$$ZE = 0,4$$

$$PS = 0,6$$

Daerah hasil terbagi menjadi tujuh bagian, yaitu A_1, A_2, A_3, A_4 dan A_5, A_6 dan A_7 . Dengan demikian nilai $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6$ bisa dicari.



$$\begin{aligned}
 (a_1 - (-0,5)) / (-0,25 - (-0,5)) &= 0,2 \rightarrow a_1 = -0,45 \\
 (a_2 - (-0,25)) / (0 - (-0,25)) &= 0,2 \rightarrow a_2 = -0,2 \\
 (a_3 - (-0,25)) / (0 - (-0,25)) &= 0,4 \rightarrow a_3 = -0,15 \\
 (a_4 - 0) / (0,25 - 0) &= 0,4 \rightarrow a_4 = 0,1 \\
 (a_5 - 0) / (0,25 - 0) &= 0,6 \rightarrow a_5 = 0,15 \\
 (0,5 - a_6) / (0,5 - 0,25) &= 0,6 \rightarrow a_6 = 0,35
 \end{aligned}$$

Penegasan (defuzzyfikasi) :

$$\begin{aligned}
 M1 &= \int_{-0,5}^{-0,45} \left(\frac{z - (-0,5)}{-0,25 - (-0,5)} \right) \cdot z \cdot dz = \int_{-0,5}^{-0,45} \left(\frac{z - (-0,5)}{0,25} \right) \cdot z \cdot dz \\
 &= \int_{-0,5}^{-0,45} 4z + 2 \cdot z \cdot dz \\
 &= \int_{-0,5}^{-0,45} 4z^2 + 2z \cdot dz \\
 &= \left[\frac{4}{3} z^3 + \frac{2}{2} z^2 \right]_{-0,5}^{-0,45} \\
 &= 0,0810 - 0,0833 = -0,0023
 \end{aligned}$$

$$M2 = \int_{-0,45}^{-0,2} 0,2 \cdot z \cdot dz = 0,1 z^2 \Big|_{-0,45}^{-0,2} = 0,0040 - 0,0203 = -0,0163$$

$$\begin{aligned}
M3 &= \int_{-0,2}^{-0,15} \left(\frac{z - (-0,25)}{0 - (-0,25)} \right) z \cdot dz = \int_{-0,2}^{-0,15} \left(\frac{z + 0,25}{0 + 0,25} \right) z \cdot dz \\
&= \int_{-0,2}^{-0,15} (4z + 1) \cdot z \cdot dz \\
&= \int_{-0,2}^{-0,15} (4z^2 + z) \cdot dz = \left[\frac{4}{3} z^3 + \frac{z^2}{2} \right]_{-0,2}^{-0,15} \\
&= 0,0068 - 0,0093 = -0,0026
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M4 &= \int_{-0,15}^{0,1} 0,4 \cdot z \cdot dz = 0,2 \cdot z^2 \Big|_{-0,15}^{0,1} \\
&= 0,0020 - 0,0045 = -0,0025
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M5 &= \int_{0,1}^{0,15} \left(\frac{z - 0}{0,25 - 0} \right) z \cdot dz = \int_{0,1}^{0,15} \left(\frac{z}{0,25} \right) z \cdot dz = \int_{0,1}^{0,15} 4z^2 \cdot dz \\
&= \frac{4}{3} z^3 \Big|_{0,1}^{0,15} = 0,0045 - 0,001 = 0,0032
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M6 &= \int_{0,15}^{0,35} 0,6z \cdot dz = 0,3 \cdot z^2 \Big|_{0,15}^{0,35} \\
&= 0,03675 - 0,00675 = 0,03
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M7 &= \int_{0,35}^{0,5} \left(\frac{0,5 - z}{0,5 - 0,25} \right) z \cdot dz = \int_{0,35}^{0,5} \left(\frac{0,5 - z}{0,25} \right) z \cdot dz \\
&= \int_{0,35}^{0,5} 4(0,5 - z)z \cdot dz \\
&= \int_{0,35}^{0,5} (2z - 4z^2) \cdot dz \\
&= \left[z^2 - \frac{4}{3} z^3 \right]_{0,35}^{0,5} \\
&= 0,0833 - 0,0653 = 0,018
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_{tot} &= M1 + M2 + M3 + M4 + M5 + M6 + M7 \\
&= -0,0023 - 0,0163 - 0,0026 - 0,0025 + 0,0032 + 0,03 + 0,018 \\
&= 0,0275
\end{aligned}$$

Luas setiap daerah :

$$A1 = 0,2 (-0,45 - (-0,5)) / 2 = 0,005$$

$$A2 = (-0,2 - (-0,45)) \cdot 0,2 = 0,05$$

$$A3 = (0,2 + 0,4) \cdot (-0,15 - (-0,2)) / 2 = 0,015$$

$$A4 = 0,4 (0,1 - (-0,15)) = 0,1$$

$$A5 = (0,4 + 0,6) \cdot (0,15 - 0,1) / 2 = 0,0250$$

$$A6 = 0,6 (0,35 - 0,15) = 0,12$$

$$A7 = 0,6 (0,5 - 0,35) / 2 = 0,045$$

$$A_{tot} = A1 + A2 + A3 + A4 + A5$$

$$= 0,005 + 0,05 + 0,015 + 0,1 + 0,0250 + 0,12 + 0,045 = 0,36$$

$$\text{Defuzzyfikasi } (z) = \frac{M_{tot}}{A_{tot}} = \frac{0,0275}{0,36}$$

$$z = 0,0764$$

3.7. Logika Pengambilan Keputusan

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

3.7.1. 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, NM, NS, ZE, PS, PM, PB, C adalah variabel keluaran, z adalah himpunan fuzzy untuk z yaitu, NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB.

3.7.2. 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

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

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

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

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

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

3.8. Mekanisme Inferensi

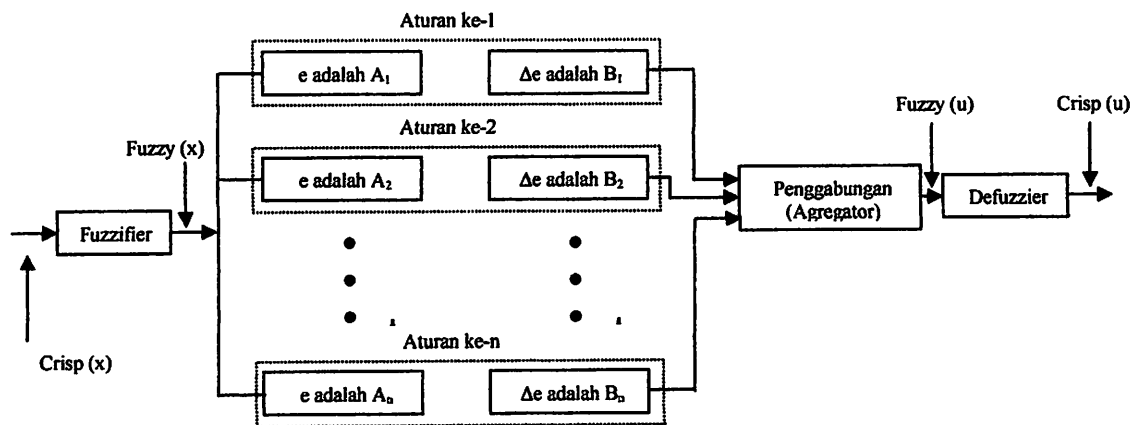
Untuk mengkombinasikan aturan-aturan kontrol yang digunakan kata hubung yang secara umum dinyatakan dengan :

- 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 ($A_1 \dots\dots A_n$) dan B ($B_1 \dots\dots B_n$) dan variabel keluaran u mempunyai variabel linguistik C ($C_1 \dots\dots C_n$). Keseluruhan aturan

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

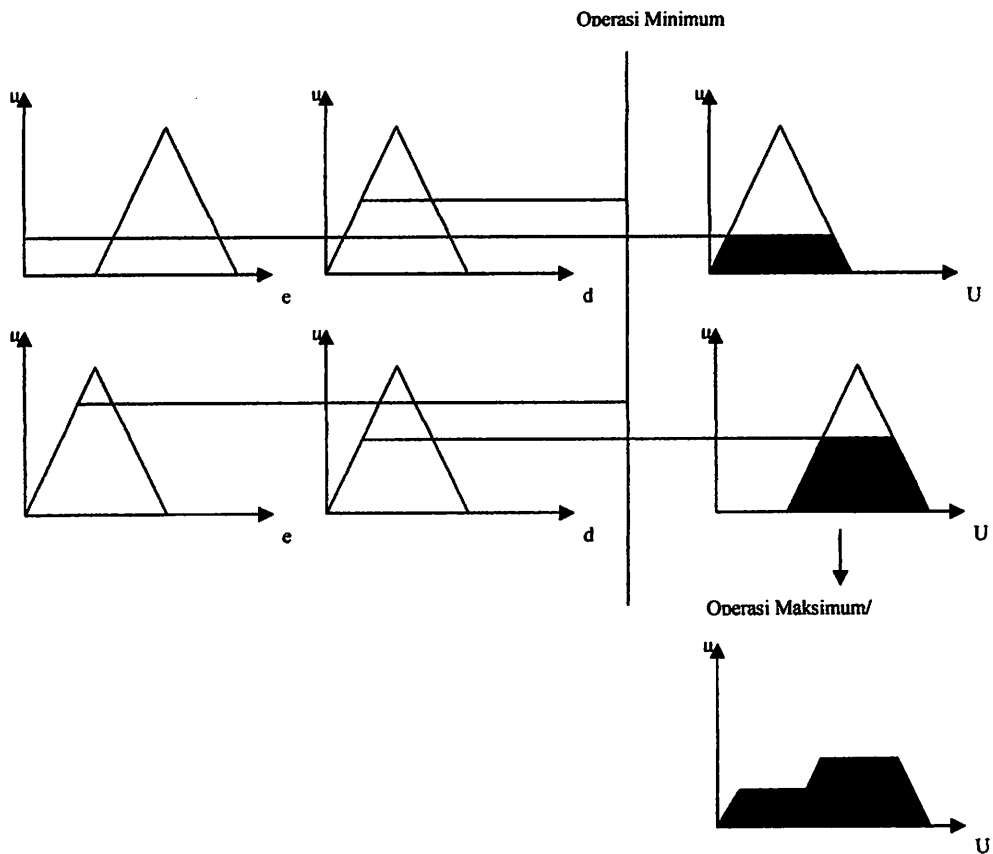
Dari uraian diatas, mekanisme inferensi yang terdiri dari beberapa aturan (rule) dapat digambarkan sebagai berikut :



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

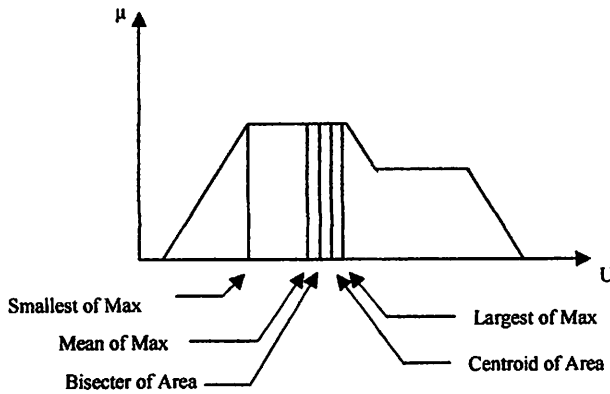
Mekanisme Inferensi MISO Dengan Operasi Max-Min

3.9. 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 :

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

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 :

$$U = \frac{\sum U \cdot \mu}{\sum \mu} \text{ untuk SISO(3.9)}$$

Sedangkan untuk MISO berlaku :

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

Dimana :

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

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

μ_i adalah variabel minimum untuk tiap variabel linguistik.

➤ **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 :

- R₁ : Jika e adalah NB dan Δe adalah NB maka U adalah NB**
- R₂ : Jika e adalah NB dan Δe adalah NS maka U adalah NB**
- R₃ : Jika e adalah NB dan Δe adalah NK maka U adalah NB**
- R₄ : Jika e adalah NB dan Δe adalah SN maka U adalah NB**
- R₅ : Jika e adalah NB dan Δe adalah PK maka U adalah NS**
- R₆ : Jika e adalah NB dan Δe adalah PS maka U adalah NK**
- R₇ : Jika e adalah NB dan Δe adalah PB maka U adalah SN**
- R₈ : Jika e adalah NS dan Δe adalah NB maka U adalah NB**
- R₉ : Jika e adalah NS dan Δe adalah NS maka U adalah NB**
- R₁₀ : Jika e adalah NS dan Δe adalah NK maka U adalah NB**
- R₁₁ : Jika e adalah NS dan Δe adalah SN maka U adalah NS**

- R₁₂ : 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 (3.11), 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 :

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

BAB IV

ANALISA PARAMETER DAN HASIL SIMULASI

Untuk menentukan parameter-parameter motor induksi yang akan dianalisa maka dapat dilakukan pengambilan parameter dengan melakukan pengujian.

4.1 Pengujian Parameter Motor Induksi

4.1.1 Alat-alat yang digunakan:

- a. Motor induksi Tiga Phasa DE LORENZO / DL 1021

Data papan (*Name-Plate*)

| | |
|------------------------------|---|
| TEGANGAN | : 220/380 (Δ/Y) VOLT |
| ARUS | : 4.3/2.5 (Δ/Y) AMPERE |
| COS ϕ | : 0.83 |
| FREKUENSI | : 50 HZ |
| DAYA | : 1.1 KW |
| PUTARAN | : 2820 RPM |
| KUTUP | : 2 KUTUP |
| KELAS ISOLASI | : F |

- Generator DELORENZO/DL 1025
- Satu set alat ukur (watt meter, ampere meter, volt meter) DELORENZO/DL 1031
- AC/DC voltage regulator DELORENZO/DL 1013 M2
- Tachometer DE LORENZO 2026
- Current Brake DE LORENZO
- Multimeter XIOLE DT9205A

4.1.2 Pengujian Arus Searah (*DC Test*)

Tabel 4-1

Data Hasil Pengujian Arus Searah

| No | Vdc (Volt) | I (Ampere) |
|----|------------|------------|
| 1 | 4 | 0.77 |
| 2 | 5,1 | 0,96 |
| 3 | 6 | 1.11 |
| 4 | 7 | 1.28 |
| 5 | 8 | 1,47 |

4.1.3 Pengujian Tanpa Beban (*No Load Test*)

Tabel 4-2

Data Hasil Pengujian Beban Nol

| I_{motor} (Ampere) | | | $P_{3 \text{ Phasa}}$ | V_{L-L} | Frekuensi |
|-----------------------------|------|------|-----------------------|-----------|-----------|
| a | b | c | (WATT) | (Volt) | (Hz) |
| 0.53 | 0.61 | 0.53 | 90 | 220 | 50 |

4.1.4 Pengujian Rotor Tertahan (*Blocked Rotor Test*)

Tabel 4-3

Data Hasil Pengujian Motor Rotor Tertahan

| I_{motor} (Ampere) | | | $P_{3 \text{ Phasa}}$ (WATT) | V_{L-L} (Volt) |
|-----------------------------|------|------|---------------------------------|---------------------|
| a | b | c | | |
| 1,88 | 1,93 | 1,85 | 110 | 65 |

4.2 Analisa Parameter Motor Induksi

A. Dari pengujian arus searah besarnya resistansi stator adalah:

Dengan menggunakan persamaan

$$R_s = R_{dc} = \frac{V_{dc}}{I_{dc}} = \Omega$$

$$\text{Maka } R_{dc1} = \frac{8}{1,47} = 5,44 \Omega$$

$$R_{dc2} = \frac{7}{1,28} = 5,46 \Omega$$

$$R_{dc3} = \frac{6}{1,11} = 5,40 \Omega$$

$$R_{dc4} = \frac{5,1}{0,96} = 5,31 \Omega$$

$$R_{dc5} = \frac{4}{0,77} = 5,19 \Omega$$

$$R_s = \frac{5,44 + 5,46 + 5,40 + 5,31 + 5,19}{5} = 5,36\Omega$$

B. Dari pengujian Tanpa Beban (No-load Test)

$$I_{lb} = \frac{I_{la} + I_{lb} + I_{lc}}{3} = \dots A$$

$$I_{lb} = \frac{0,53 + 0,61 + 0,53}{3} = 0,55 A$$

$$Z_{lb} = \frac{V_{lb}}{\sqrt{3}I_{lb}} = \frac{220}{\sqrt{3} \times 0,56} = 231\Omega$$

$$R_{lb} = \frac{P3\Phi}{3I_{lb}^2} = \frac{90}{3 \cdot (0,55^2)} = 99\Omega.$$

$$X_{lb} = \sqrt{Z_{lb}^2 - R_{lb}^2} = \sqrt{231^2 - 99^2} = 208,71 \Omega$$

C. Dari Pengujian Rotor tertahan (Blocked Rotor Test)

$$I_n = \frac{I_{la} + I_{lb} + I_{lc}}{3} = \frac{1,88 + 1,93 + 1,85}{3} = 1,9 A$$

$$Z_n = \frac{V}{\sqrt{3}I_n} = \frac{65}{\sqrt{3} \times 1,9} = 19,75 \Omega$$

$$R_n = \frac{P3\Phi}{3(I_n)^2} = \frac{110}{3(1,9^2)} = 10,15 \Omega$$

$$X_n = \sqrt{Z_n^2 - R_n^2} = \sqrt{19,96^2 - 10,15^2} = 17,18 \Omega$$

$$X_n = X_s + X_r'$$

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

$$X_s = X'_r = \frac{1}{2} X_{rr} = \frac{1}{2} \cdot 14.6 = 7.3 \Omega$$

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:

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

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

$$= 208,71 - 8,59$$

$$= 200,12 \Omega$$

Resistansi stator dapat dipandang sebagai harga DC-nya maka resistansi rotor dapat ditentukan sebagai berikut :

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

$$= 10,15 - 5,36 = 4,79 \Omega$$

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

$$= 8,59 + 200,12 = 208,71$$

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

$$= 4,79 \left(\frac{208,71}{200,12} \right)^2 = 4,59 \Omega$$

Tabel 4-4

Hasil Perhitungan Pengujian Parameter Motor Induksi Tiga Phasa

| rs | rr | xls | xlr | xm |
|------|------|------|------|--------|
| 5.36 | 4,59 | 8,59 | 8,59 | 200,12 |

Dengan menggunakan parameter yang telah dihitung melalui pengujian dan name plate motor maka dapat dihitung besarnya torsi mekanik pada motor yaitu:

$$T_{nom} = \frac{P_{nom}}{\omega_{,nom}} = \frac{1100}{\left(\frac{2\pi 2820}{60}\right)} = 3.76 \text{ Nm}$$

Dimana : T_{nom} = Torsi nominal

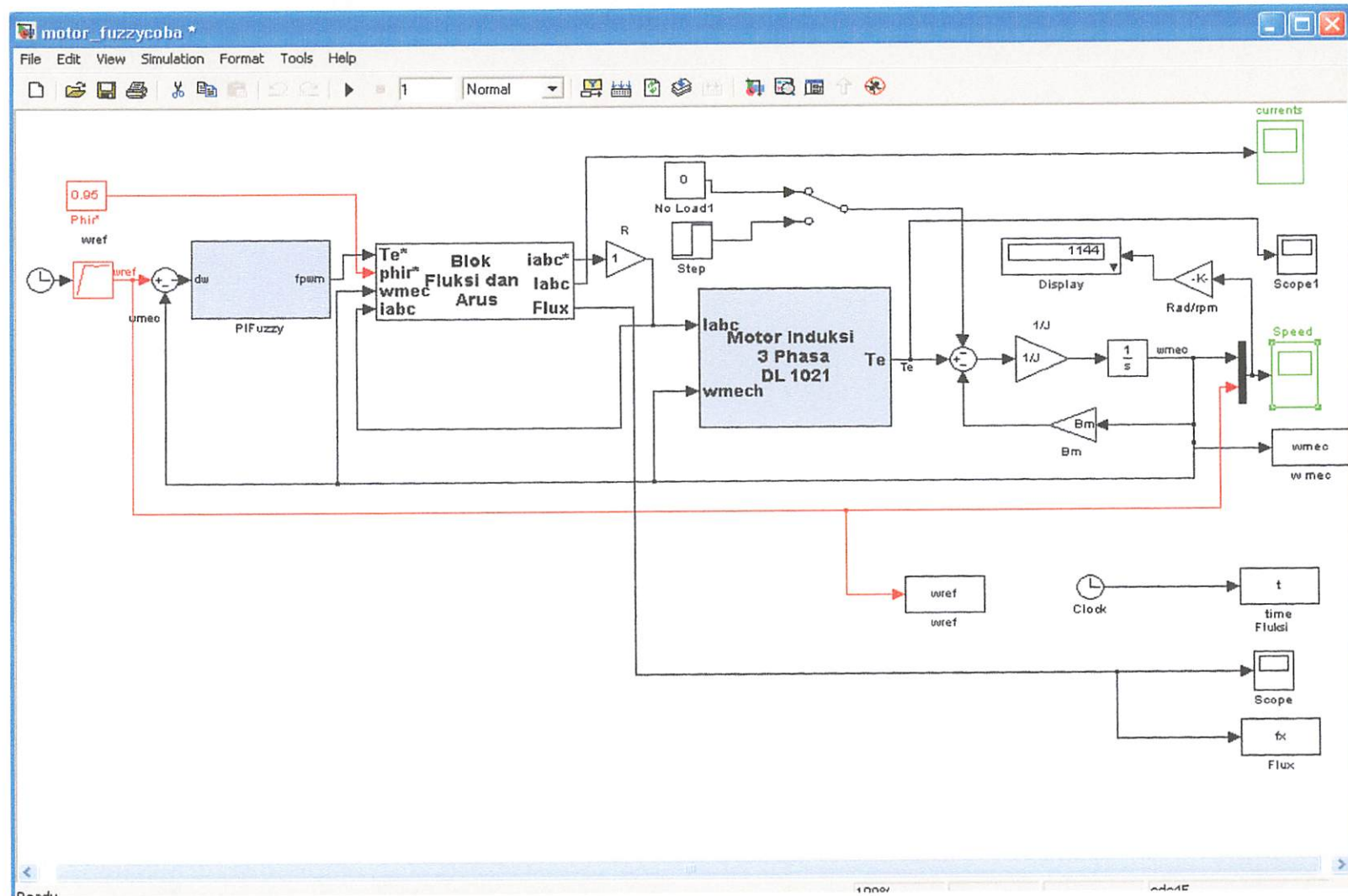
P_{nom} = Daya motor

Syarat motor berputar adalah torsi motor harus lebih besar daripada torsi beban ($T_M > T_L$), jadi kita bisa memasang beban berapapun asalkan tidak melebihi torsi motor. Disini digunakan beban 1 Nm, 1,5 Nm, 2 Nm dan 2,5 Nm.

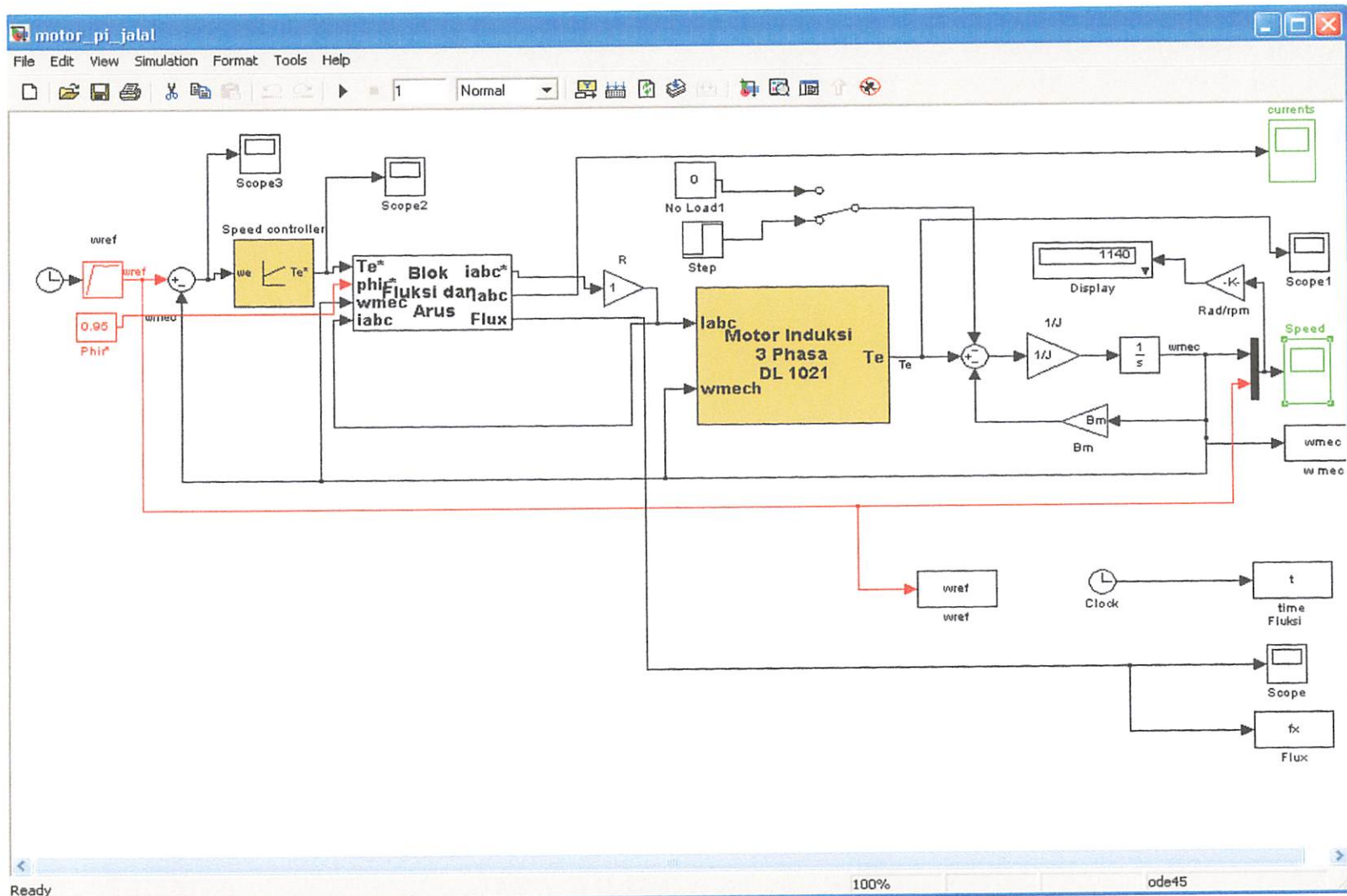
4.3 Simulasi Motor Induksi

Simulasi pengaturan kecepatan motor induksi dilakukan dengan menggunakan software Simulink MatLab 7.0 . Parameter motor yang digunakan adalah parameter motor induksi 3 fasa tipe rotor sangkar yang ada di Lab. Konversi Energi Listrik ITN Malang

Berikut akan ditampilkan model simulink dengan kendali Fuzzy Logic dan kendali PI.

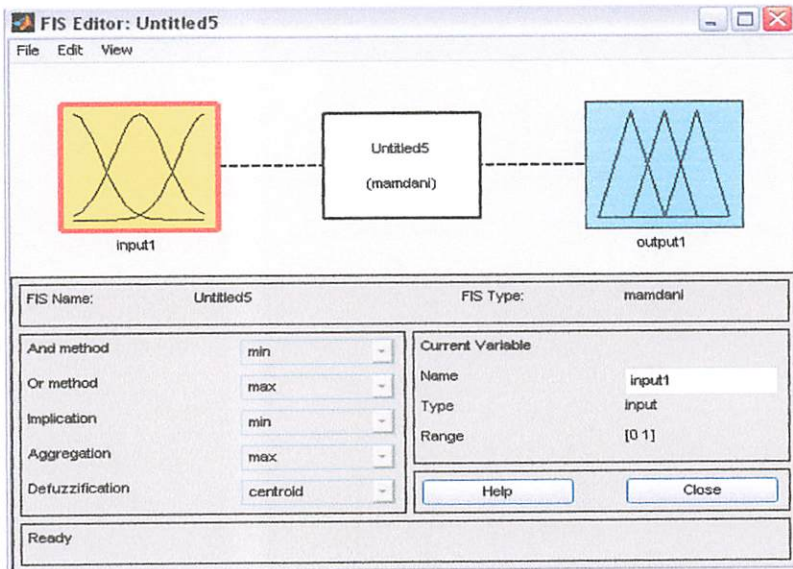


Gambar 4.1
Model Simulink Pengendalian Motor Induksi Menggunakan Fuzzy Logic



Gambar 4.2
Model Simulink Pengendalian Motor Induksi Menggunakan PI

Pada blok sistem kendali untuk fuzzy menggunakan metode Mamdani. Berikut ini adalah tampilan blok kendali fuzzy yang digunakan.

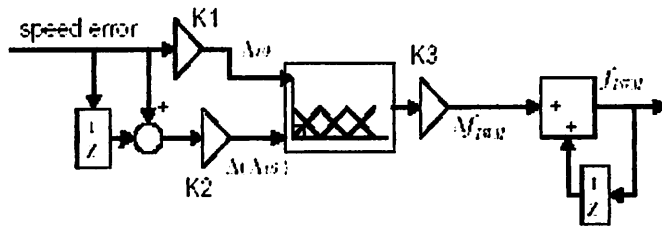


Gambar 4.3

Proses Fuzzyfikasi FIS Editor

Gambar 4.4 menunjukkan diagram blok dari PI Fuzzy Logic Controller[1]. Kesalahan kecepatan ($\Delta\omega_1 = \omega_i - \omega_{fl}$) dihitung dengan perbandingan antara perintah kecepatan referensi dan umpan balik sinyal kecepatan. Kesalahan kecepatan dan perubahan kesalahan kecepatan adalah input *fuzzy controller*, sehingga perubahan kesalahan kecepatan harus dihitung ($\Delta(\Delta\omega) = \Delta\omega_2 - \Delta\omega_1$) [1].

Input variabel perlu dinormalisasi dimana kisaran fungsi keanggotaan menetapkannya, dalam gambar (4.4) faktor normalisasi ditunjukkan dengan K1 dan K2. Normalisasi yang sesuai mempunyai pengaruh langsung dalam optimalitas algoritma dan respon yang lebih cepat[1].



Gambar 4.4

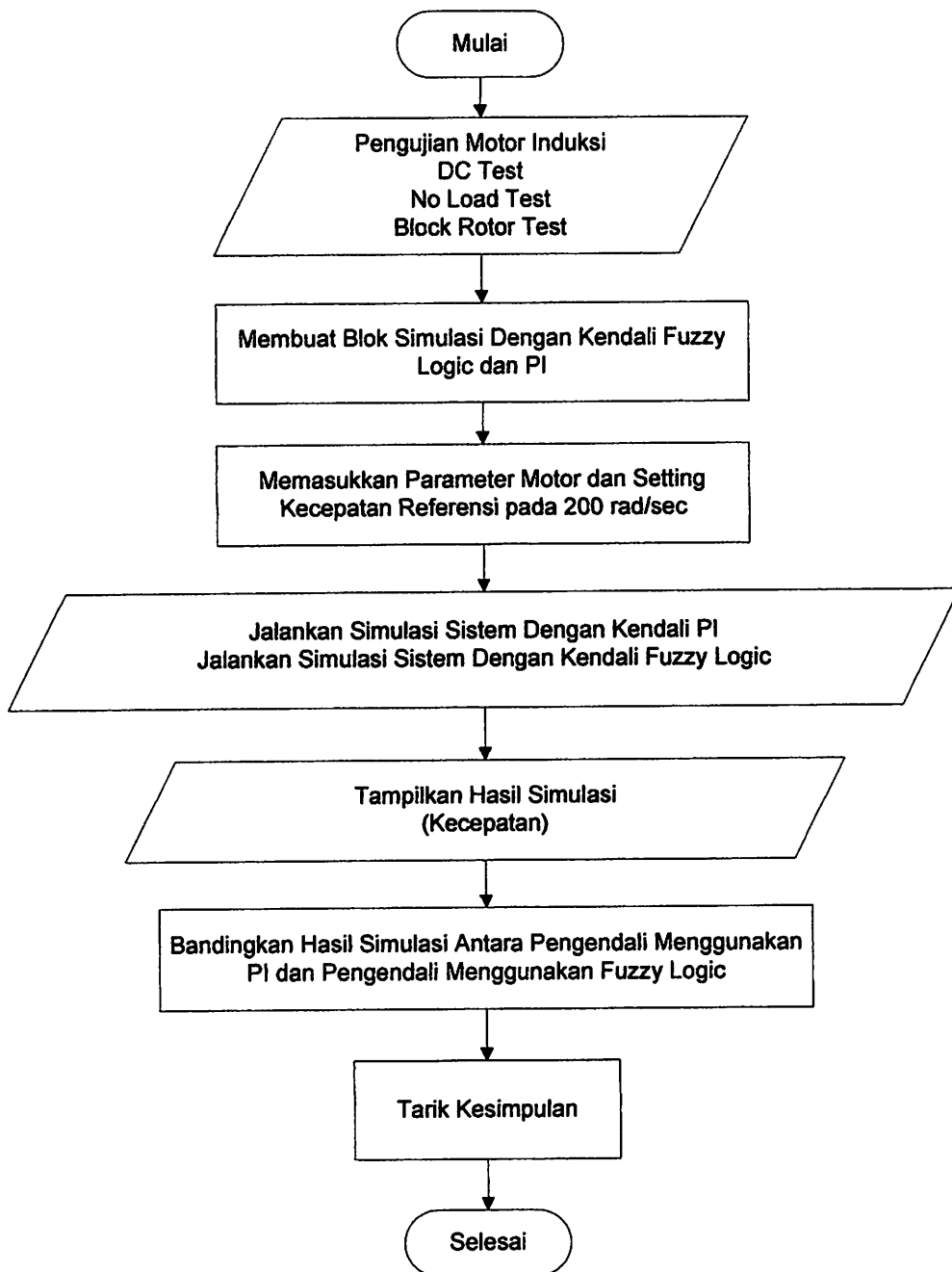
Blok Diagram Dari Pengendali PI Fuzzy

4.3.1 ALGORITMA & FLOWCHART

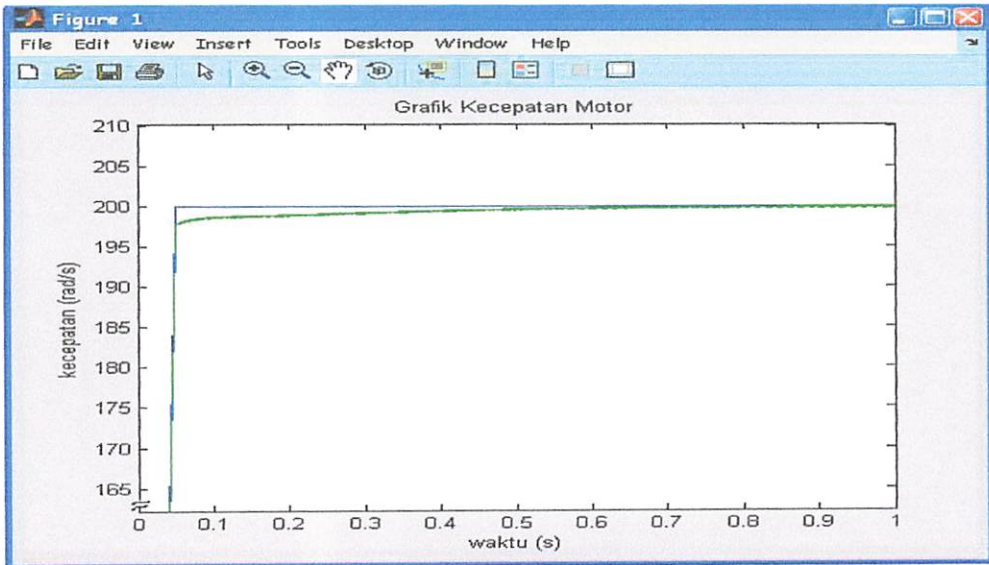
1. Mulai
2. Pengujian Motor Induksi
 - a. DC Test untuk menentukan nilai tahanan stator R_s
 - b. No Load Test untuk menentukan nilai rugi-rugi inti R_c dan reaktansi pemagnetan X_m
 - c. Block Rotor Test untuk menentukan nilai resistansi rotor X_r pada motor induksi
3. Membuat Blok Simulink Dengan Kendali Fuzzy dan PI
4. Memasukkan Parameter Motor dan Setting Kecepatan Referensi pada 200 rad/sec
5. Jalankan Simulasi Sistem Dengan kendali PI
Jalankan Simulasi Sistem Dengan kendali Fuzzy
6. Tampilkan Hasil Simulasi (kecepatan)
7. Bandingkan Hasil Simulasi Antara Pengendali Menggunakan PI dan Pengendali Menggunakan Fuzzy Logic

8. Tarik Kesimpulan

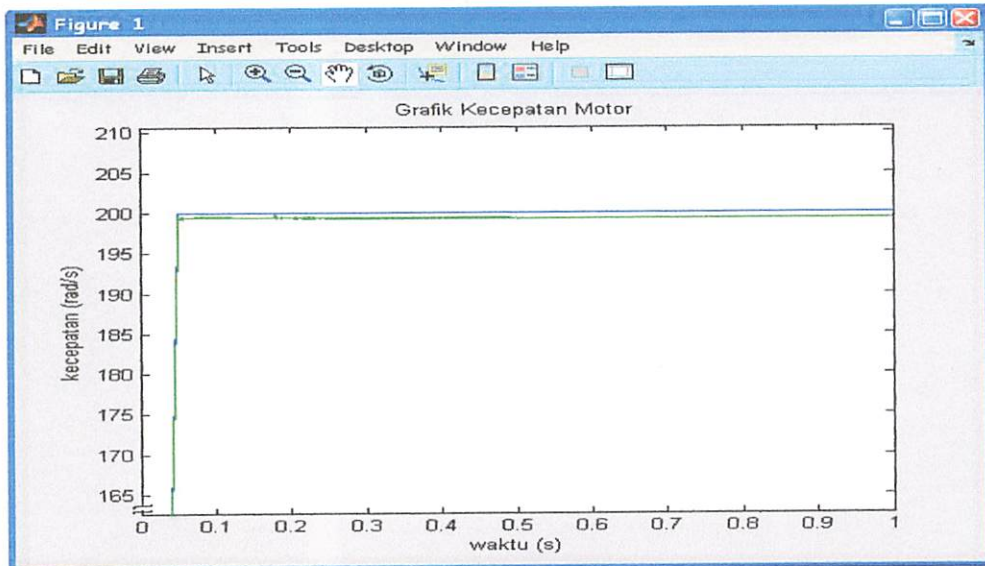
9. Selesai



4.3.2 Hasil Simulasi

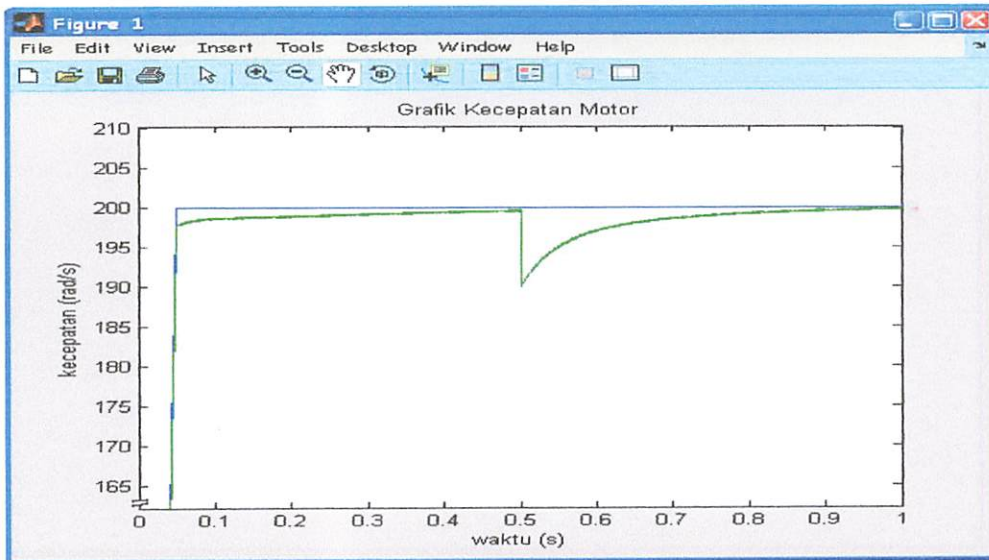


Gambar 4.5
Respon System Dengan Kendali PI Dalam Keadaan Tanpa Beban

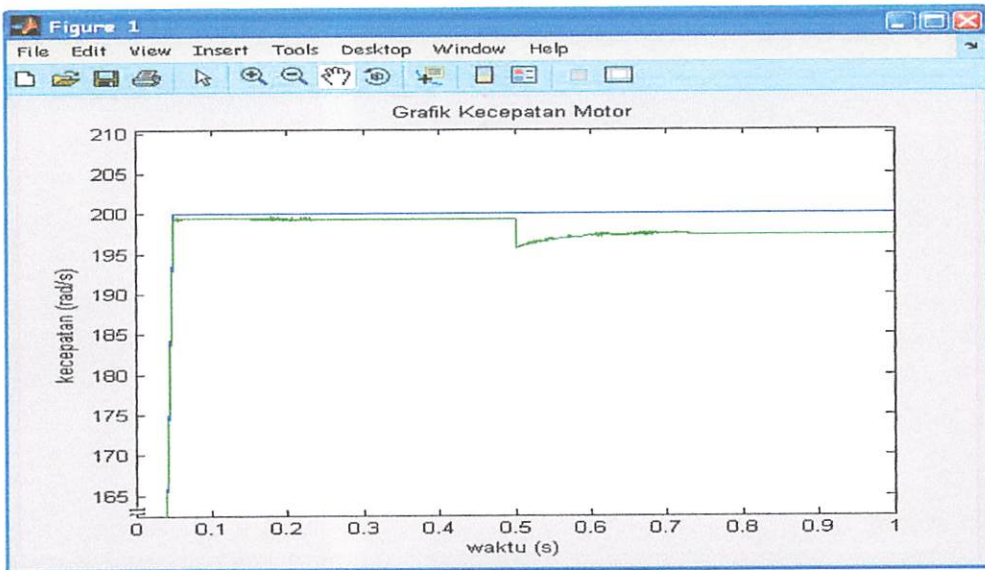


Gambar 4.6
Respon System Dengan Kendali Fuzzy Dalam Keadaan Tanpa Beban

Dalam keadaan tanpa beban kedua sistem dengan kecepatan referensi 200 rad/sec mempunyai respon yang sama. Motor telah mencapai kecepatan stabil pada waktu 0.05 detik



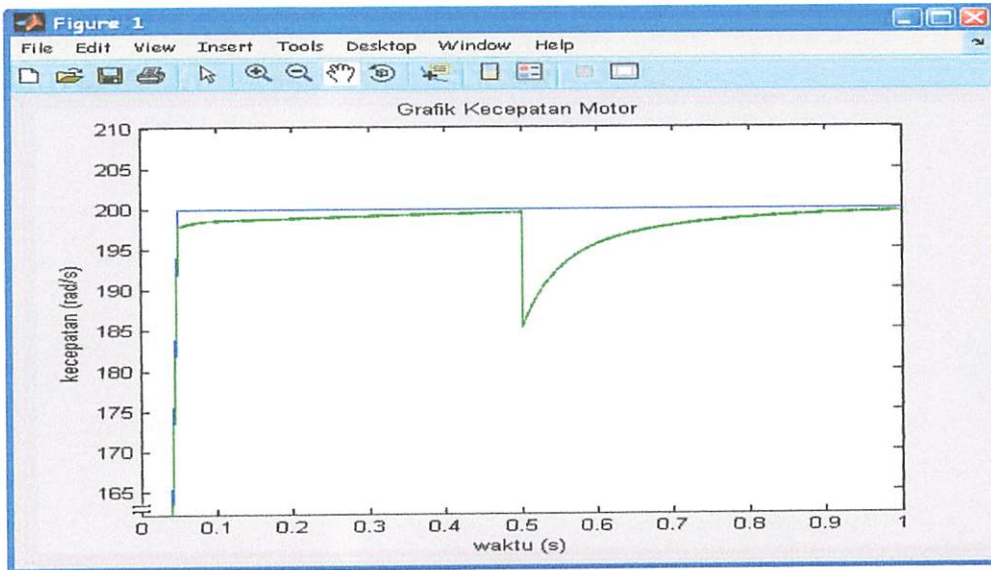
Gambar 4.7
Respon Sistem Dengan Kendali PI Saat Diberi Beban 1 Nm



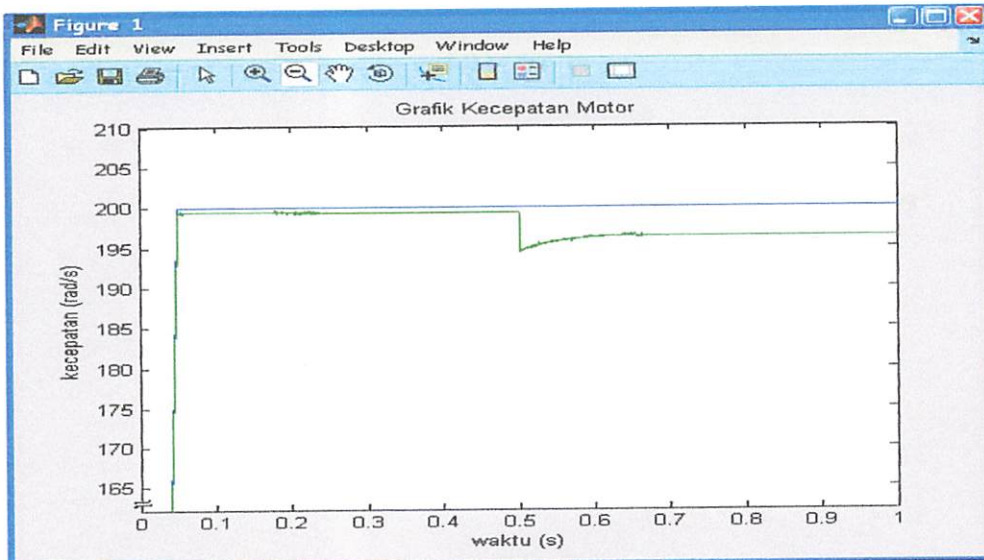
Gambar 4.8
Respon Sistem Dengan Kendali Fuzzy Saat Diberi Beban 1 Nm

Gambar 4.7 menunjukkan respon system dengan kendali PI dengan kecepatan referensi 200 rad/sec.. Pada waktu 0,5 detik motor diberi beban 1 Nm , kecepatannya turun menjadi 190 rad/sec. System telah mencapai kecepatan stabil

199 rad/sec pada waktu 0,3 detik. Sedangkan pada gambar 4.8 system menggunakan kendali Fuzzy, pada waktu 0,5 detik motor diberi beban 1 Nm, kecepatannya turun hingga 195,6 rad/sec. Dalam waktu 0,17 detik naik menjadi 197,5 rad/sec dan saat itu kecepatannya sudah stabil/konstan.

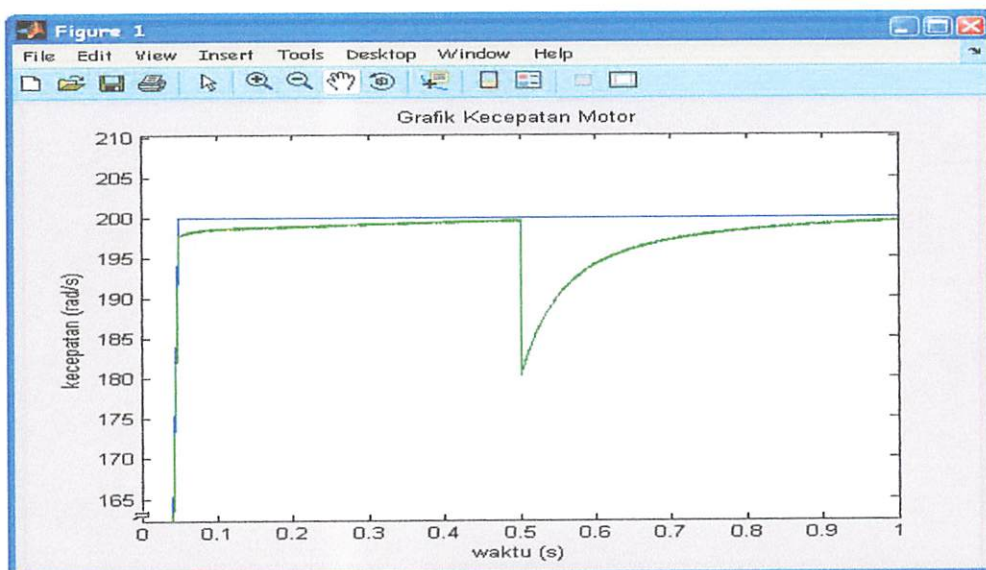


Gambar 4.9
Respon Sistem Dengan Kendali PI Saat Diberi Beban 1,5 Nm

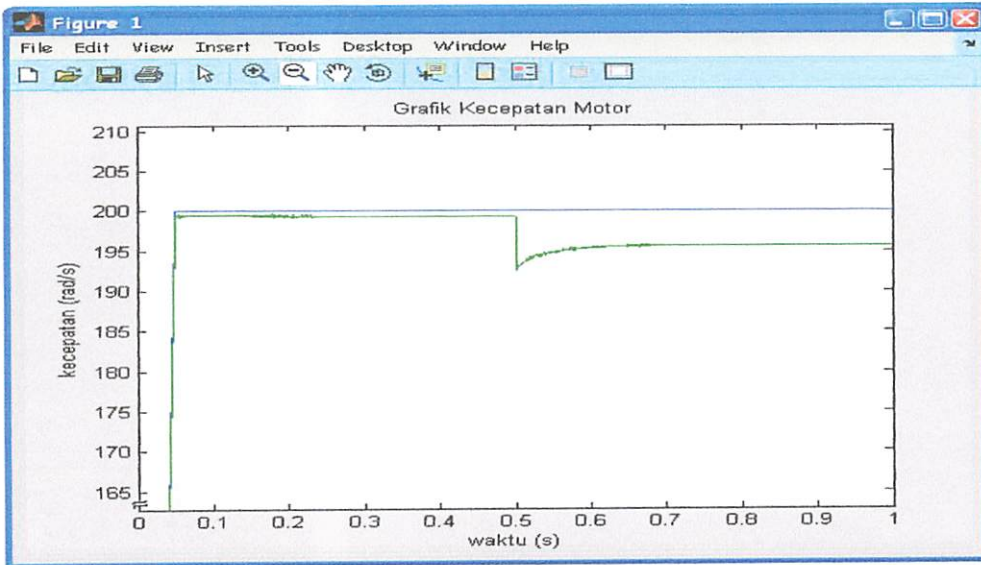


Gambar 4.10
Respon Sistem Dengan Kendali Fuzzy Saat Diberi Beban 1,5 Nm

Gambar 4.9 menunjukkan respon system dengan kendali PI dengan kecepatan referensi 200 rad/sec. Pada waktu 0,5 detik motor diberi beban 1,5 Nm, kecepataannya turun menjadi 185,2 rad/sec. System telah mencapai kecepatan stabil 199 rad/sec dalam waktu 0,35 detik. Sedangkan pada gambar 4.10 system menggunakan kendali Fuzzy, pada waktu 0,5 detik motor diberi beban 1,5 Nm, kecepataannya turun hingga 194,4 rad/sec. Dalam waktu 0,18 detik kecepatan naik menjadi 196,4 rad/sec dan saat itu kecepataannya sudah stabil.



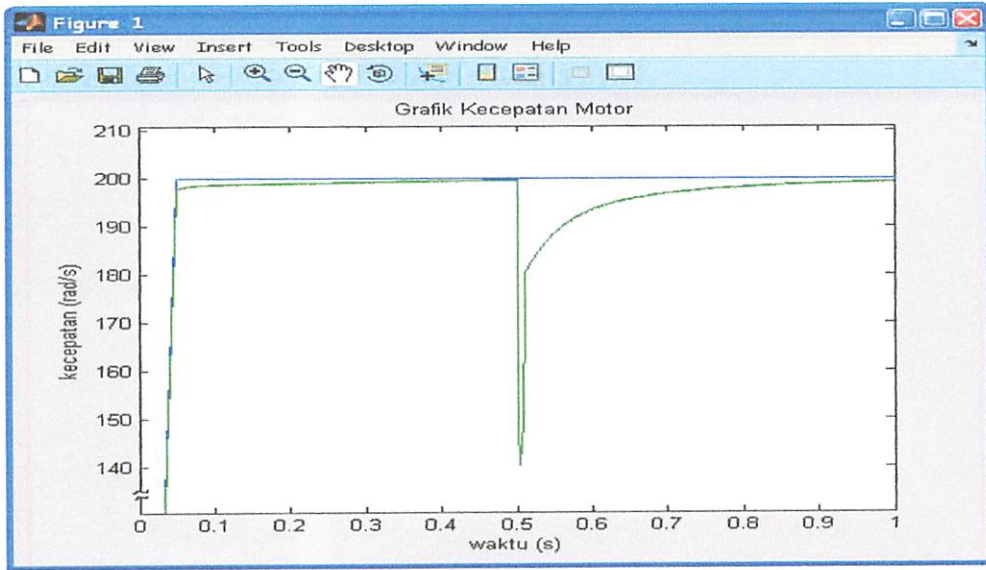
Gambar 4.11
Respon Sistem Dengan Kendali PI Saat Diberi Beban 2 Nm



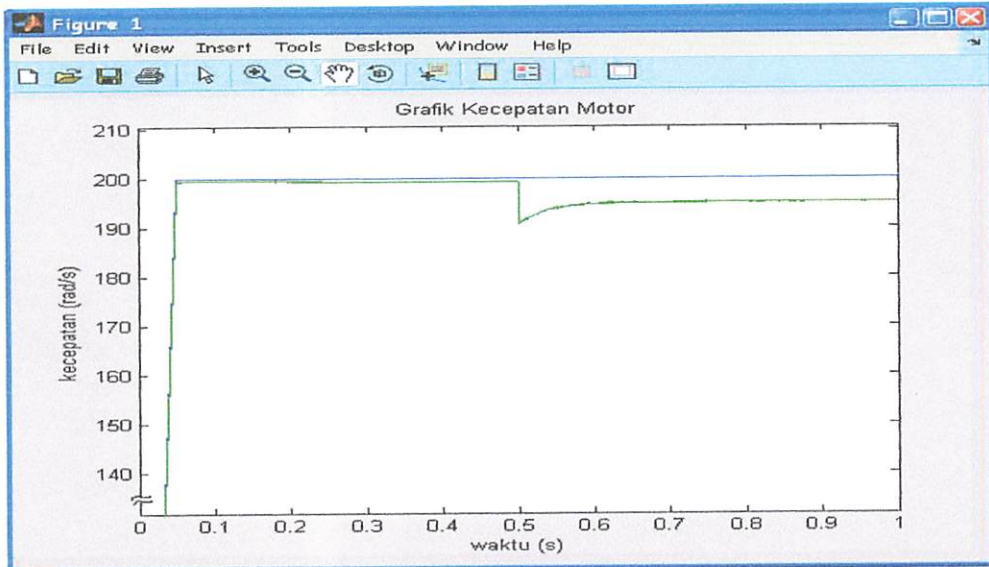
Gambar 4.12

Respon Sistem Dengan Kendali Fuzzy Saat Diberi Beban 2 Nm

Gambar 4.11 menunjukkan respon system dengan kendali PI dengan kecepatan referensi 200 rad/sec. Pada waktu 0,5 detik motor diberi beban 2 Nm , kecepataannya turun menjadi 180,3 rad/sec. System telah mencapai kecepatan stabil 199 rad/sec dalam waktu 0,38 detik. Sedangkan pada gambar 4.12 system menggunakan kendali Fuzzy, pada waktu 0,5 detik motor diberi beban 2 Nm, kecepataannya turun hingga 192,6 rad/sec. Dalam waktu 0,2 detik kecepatan naik menjadi 195,6 rad/sec dan saat itu kecepataannya sudah stabil/konstan.



Gambar 4.13
Respon Sistem Dengan Kendali PI Saat Diberi Beban 2,5 Nm



Gambar 4.14
Respon Sistem Dengan Kendali Fuzzy Saat Diberi Beban 2,5 Nm

Pada sistem dengan menggunakan kendali PI dengan kecepatan referensi 200 rad/sec. yang ditunjukkan oleh gambar 4.14, dalam keadaan berputar pada waktu 0.5 detik motor diberi beban 2,5 Nm sehingga kecepatannya turun

menjadi 140,3 rad/sec. Sistem mencapai kecepatan stabil dalam waktu 0.4 detik, saat itu kecepatannya berada pada 199,2 rad/sec. Sedangkan sistem dengan pengendali Fuzzy pada gambar 4.15, pada waktu 0.5 detik motor diberi beban 2,5 Nm kecepatannya turun menjadi 190,6 rad/sec. Dalam waktu 0.25 detik kecepatan sudah stabil dan berada pada 195 rad/sec

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari hasil running program serta analisis yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

Sitem kendali Fuzzy mempunyai respon yang lebih baik dari pada sistem kendali PI. Hal ini dapat terlihat pada saat diberi beban 1 Nm pada sistim yang menggunakan kendali Fuzzy mengalami penurunan kecepatan sampai 195,6 rad/sec dan kecepatan kembali stabil dalam waktu 0,17 detik. Sedangkan sistim yang menggunakan kendali PI mengalami penurunan kecepatan sampai 190 rad/sec dan kecepatan kembali stabil dalam waktu 0,3 detik. Pada metode Fuzzy Logic ternyata penurunan kecepatannya lebih sedikit dibanding dengan metode PI. Dilihat dari waktu yang dibutuhkan untuk kembali pada kecepatan konstan, metode Fuzzy Logic membutuhkan waktu yang lebih singkat dari pada metode PI. Dengan begitu dapat disimpulkan bahwa metode Fuzzy Logic mempunyai respon yang lebih baik dari pada metode PI.

Semakin besar beban yang diberikan maka semakin besar pula penurunan kecepatannya dan waktu yang dibutuhkan untuk kembali pada kecepatan stabil juga semakin lama

5.2. Saran

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

Namun kami sangat menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Untuk itu kami bersedia menerima masukan atau kritik yang sifatnya membangun dari para pembaca

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abad, Hassan Baghgar Bostan. Varjani, Ali Yazdian. Asghar, Taheri. 2005. "Using Fuzzy Controller In Induction Motor Speed Control With Constant Flux". IEEE Transaction On Engineering, Komputing and Technology
- [2] Fitzgerald, A. E.. Jr, Charles Kingsley. Umans, Stephen D. 1997. " Electric Machinery". McGraw-Hill: International Inc
- [3] Zuhai. 1977. "Dasar Teknik Tenaga Listrik". Bandung: ITB
- [4] Nakhoda, Yusuf Ismail. "Materi Kuliah Logika Fuzzy". Malang: ITN
- [5] Kusumadewi, Sri. 2003. "Artificial Inteligence" . Yogyakarta: Graha Ilmu
- [6] Jang, J. S. R.. Sun, C. T. & Mizutami, E. 1997 "Neuro Fuzzy And Soft Computing. A Computational Aprouch To Learning And Machine Intelegence". Prentice Hall: International Inc
- [7] www.enm.com. "Dynamics of 3-phase Induction Motors".

LAMPIRAN 1



**BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**


Nama : ABDUL JALAL
NIM : 0112018
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
Judul Skripsi : PENGGUNAAN FUZZY LOGIC
CONTROLLER PADA MOTOR INDUKSI
UNTUK MEMPERCEPAT KEMBALINYA
PUTARAN PADA KECEPATAN
NOMINAL AKIBAT ADANYA
PERUBAHAN BEBAN

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


Hari : Selasa
Tanggal : 18 Maret 2008
Dengan Nilai : 74,6 (B+) *by*


Panitia Ujian :


(Ir. Mochtar Asroni, MSME)
Ketua


(Ir. F. Yudi Limpraptono, MT)
Sekretaris

Anggota Penguji :


(Irrine Budi S. ST, MT)
Peguji Pertama


(Ir. Choirul Saleh, MT)
Peguji Kedua



FORMULIR PERBAIKAN SKRIPSI

Nama : Abdul Jalal
NIM : 01.120.18
Masa Bimbingan : 22 Pebruari 2007 sampai 22 Pebruari 2008
Judul Skripsi : PENGGUNAAN FUZZY LOGIC CONTROLLER PADA MOTOR INDUKSI UNTUK MEMPERCEPAT KEMBALINYA PUTARAN PADA KECEPATAN NOMINAL AKIBAT ADANYA PERUBAHAN BEBAN

| No. | Tanggal | Uraian | Paraf Penguji |
|-----|---------|---|---------------|
| 1. | | Abstrak disempurnakan | |
| 2. | | Flowchart tidak sesuai dengan apa yang dikerjakan. Algoritma diperjelas sesuai dengan flowchart yang sudah diperbaiki | |
| 3. | | Proses pembuatan fungsi keanggotaan seperti apa? Bagaimana proses pembuatan tabel fungsi keanggotaan? | |
| 4. | | Kesimpulan disesuaikan dengan tujuan yang ingin dicapai | |
| 5. | | Penulisan daftar pustaka disempurnakan | |
| 6. | | Ploting diperjelas skalanya sehingga tampak jelas | |
| 7. | | Jelaskan penentuan perubahan beban berdasarkan apa | |
| 8. | | Besar torsi motor berapa | |
| 9. | | | |
| 10. | | | |

Disetujui :

(Irrine Budi S. ST, MT)

Penguji Pertama

Mengetahui,
Dosen Pembimbing

(Ir. M. Abdul Hamid, MT)

NiP.Y. 1018800188



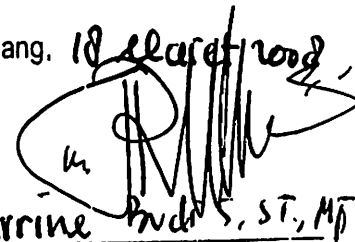
Formulir Perbaikan Ujian Skripsi

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

NAMA : Abdul Jalal
NIM : 01.12.018
Perbaikan meliputi :

- abstrak disempurnakan
- flowchart tidak sesuai dgn apa yg ditanyakan
- algoritma diperjelas sesuai dgn flowchart yg sudah diperbaiki.
- proses pembuatan fungsi keanggotaan seperti apa? bgm proses pembuatan tabel fungsi keanggotaan?
- kesimpulan disempurnakan dgn tujuan yg ingin dicapai
- penulisan daftar pustaka disempurnakan
- tabel & grafik skalanya sbg besar perbedaannya kumpul
jelas.
- jelaskan penentuan perubahan beban berdasarkan apa?
- apa saja faktor biaya?

Malang, 18 Maret 2008


(Irine Pradisa, ST, MT



FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : Abdul Jalal
Nim : 01.12.018
Masa Bimbingan : 21 September 2007 – 21 Februari 2008
Judul Skripsi : Penggunaan Fuzzy Logic Controller Pada Motor Induksi Untuk Mempercepat Kembalinya Putaran Pada Kecepatan Nominal Akibat Adanya Perubahan Beban

| No. | Tanggal | Uraian | Paraf Pembimbing |
|-----|------------|------------------------|------------------|
| 1. | 27-12-2007 | Konsultasi BAB I | |
| 2. | 5-01-2008 | Konsultasi BAB II | |
| 3. | 8-01-2008 | Lengkapi gambar grafik | |
| 4. | 15-01-2008 | Sempurnakan flowchart | |
| 5. | 28-01-2008 | Ubah analisa hasil | |
| 6. | 10-02-2008 | Tambah percobaan beban | |
| 7. | 21-02-2008 | Sempurnakan kesimpulan | |
| 8. | | | |
| 9. | | | |
| 10. | | | |

Malang, 2008
Dosen Pembimbing,

Ir. M. Abdul Hamid, MT
NIP.Y.1018800188



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

SURAT PERMOHONAN

Dengan Hormat,

Yang bertandatangan sebagai pemohon, saya mahasiswa dengan Identitas sebagai berikut :

Nama : Abdul Jalal
Nim : 0112018
Jurusan : Teknik Elektro/Teknik Energi Listrik S-1
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri
Keperluan : Pengujian Parameter motor induksi 3 Phase
Waktu : 4 April 2007

Mengajukan permohonan peminjaman dan penggunaan alat untuk keperluan sebagaimana yang tercantum diatas.

Daftar Peralatan Yang Dipinjam

| No | Kode Alat | Nama Alat | Trade Mark |
|----|-----------|-----------------------|------------|
| 1 | DL1021 | Motor induksi 3 phase | DELORENZO |
| 2 | DL1031 | Panel ukur | DELORENZO |
| 3 | DL1013M2 | Turret power suply | DELORENZO |
| 4 | DL2026 | Tachometer | DELORENZO |
| 5 | DL1019 | Eddy current brake | DELORENZO |
| 6 | 6108141 | Multimeter | SANWA |

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

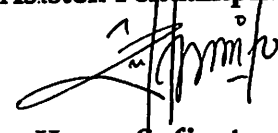
Demikian surat permohonan ini saya buat dengan sebenarnya dan dapat dipertanggung jawabkan, Terima Kasih.

Ka. Lab. Konversi Energi Elektrik




M. Abdul Hamid, MT
Nip . 101 880 00188

Asisten Pendamping


Husen Sufianto
Nim. 0212010

Pemohon

Abdul Jalal
Nim . 0112018

Data Hasil Pengujian Parameter Motor Induksi 3 Fasa

Tabel 1

Data hasil pengujian arus searah

| Vdc (volt) | I (Ampere) |
|------------|------------|
| 8 | 1,47 |
| 7 | 1,28 |
| 6 | 1,11 |
| 5,1 | 0,96 |
| 4 | 0,77 |

Tabel 2

Data hasil pengujian beban nol

| I (Ampere) | | | W 3 Φ | V | F |
|----------------|----------------|----------------|------------|--------|------|
| A ₁ | A ₂ | A ₃ | (watt) | (volt) | (Hz) |
| 0,53 | 0,61 | 0,53 | 90 | 220 | 50 |

Tabel 3

Data hasil pengujian Rotor Tertahan

| I (Ampere) | | | W 3 Φ | V _{L-L} |
|----------------|----------------|----------------|------------|------------------|
| A ₁ | A ₂ | A ₃ | (watt) | (volt) |
| 1,88 | 1,93 | 1,85 | 110 | 65 |

Mengetahui

Ka. Lab. Konversi Energi Listrik




Ir. M. Abdul Hamid, MT
Nip. 101 880 00188

Instruktur Pendamping

Husen Sufianto
Nim. 0212010



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

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

BNI (PERSERO) MALANG
BANK 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, 03 Desember 2007

Nomor : ITN-650/I.TA/2/2007
Lampiran : -
Perihal : **BIMBINGAN SKRIPSI**

Kepada : Yth. Sdr. Ir. M. ABDUL HAMID, MT *)

Dosen Pembimbing
Jurusan Teknik Elektro S-1
di
Malang

Dengan Hormat,
Sesuai dengan permohonan dan persetujuan dalam proposal Skripsi untuk
Mahasiswa:

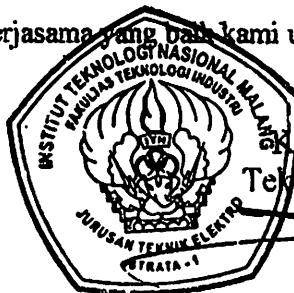
Nama : ABDUL JALAL
Nim : 0112018
Fakultas : Teknologi Industri
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Kosentrasi : Teknik Energi Listrik S-1

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

21 September 2007 s/d 21 Februari 2008

Adapun tugas tersebut merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik, Jurusan Elektro apabila lewat dari batas waktu tsb. Maka,
Skripsinya akan digugurkan.

Demikian atas perhatian serta kerjasama yang baik kami ucapkan terima kasih



Ketua Jurusan
Teknik Elektro S-1

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

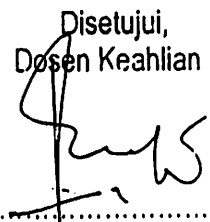
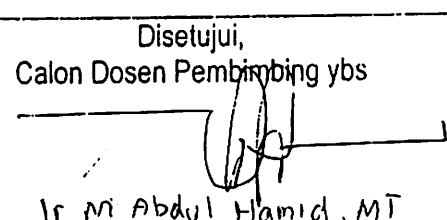
Tembusan Kepada Yth:

- *) Perpanjangan
- Mahasiswa Yang Bersangkutan
- Arsip

Form S4a

BERITA ACARA SEMINAR PROPOSAL SKRIPSI JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1

Konsentrasi : Teknik Energi Listrik/Teknik Elektronika*)

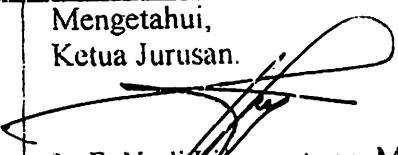
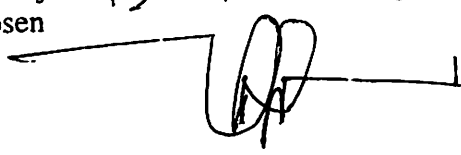
| | | |
|--|---|--|
| 1. | Nama Mahasiswa: <u>Abdul Jalal</u> | Nim: <u>0112018</u> |
| 2. | Keterangan | Tanggal |
| | Pelaksanaan | <u>13-02-2007</u> |
| Waktu | | |
| Tempat | | |
| Ruang: | | |
| Spesifikasi Judul (berilah tanda silang**) | | |
| 3. | a. Sistem Tenaga Elektrik | e. Elektronika & Komponen |
| | b. Energi & Konversi Energi | f. Elektronika Digital & Komputer |
| | c. Tegangan Tinggi & Pengukuran | g. Elektronika Komunikasi |
| | <input checked="" type="checkbox"/> d. Sistem Kendali Industri | h. lainnya |
| | | |
| 4. | Judul Proposal yang diseminarkan Mahasiswa | <u>Penggunaan Fuzzy Logic Controller pada Motor Induksi..... Untuk memperapat kembalinya putaran pada kecepatan nominal akibat adanya perubahan beban</u> |
| 5. | Perubahan Judul yang diusulkan oleh Kelompok Dosen Keahlian | |
| 6. | Catatan: | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | Persetujuan Judul Skripsi | |
| 7. | Disetujui, Dosen Keahlian I | Disetujui, Dosen Keahlian II |
| |  | |
| | Mengetahui, Ketua Jurusan. | Disetujui, Calon Dosen Pembimbing ybs |
| | <u>Ir. F. Yudi Limpraptono, MT</u> NIP. P. 1039500274 |  <u>Ir. M. Abdul Hamid, MT</u> |

Perhatian:

1. Keterangan: *) Coret yang tidak perlu
 **) dilingkari a, b, c, atau g sesuai bidang keahlian

**LEMBAR PENGAJUAN JUDUL SKRIPSI
 JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1**

Konsentrasi : Teknik Energi Listrik/Teknik Elektronika *)

| | | |
|---|--|--|
| 1 | Nama Mahasiswa : <u>Abdul Jalal</u> | Nim : <u>0112018</u> |
| 2 | Waktu pengajuan | Tanggal : Bulan : <u>10</u> Tahun : <u>2006</u> |
| 3 | Spesifikasi judul (berilah tanda silang) | |
| | a. Sistem Tenaga Elektrik | e. Elektronika & Komponen |
| | b. Energi & Konversi Energi | f. Elektronika Digital & Komputer |
| | c. Tegangan Tinggi & Pengukuran | g. Elektronika Komunikasi |
| | <input checked="" type="checkbox"/> Sistem Kendali Industri | h. lainnya |
| 4 | Konsultasikan judul sesuai materi bidang ilmu kepada Dosen *) : <u>R. M. Abdul Haid, MT</u> | Mengetahui, Ketua Jurusan.  Ir. F. Yudi Lampraptono, MT Nip. Y. 1039500274 |
| 5 | Judul yang diajukan mahasiswa : | <u>SIMULASI PENGGUNAAN FUZZY LOGIC CONTROLLER PADA PENGATURAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI DENGAN FLUKS KONSTAN</u> |
| 6 | Perubahan Judul yang disetujui Dosen sesuai materi bidang ilmu | <u>MENINGKATKAN STABILITAS KECEPATAN MOTOR INDUKSI DENGAN MENGGUNAKAN FUZZY LOGIC CONTROLLER</u> |
| | Catatan : | <u>Tolong dosen apa pernah ada?</u> |
| 7 | Persetujuan Judul Skripsi yang dikonsultasikan kepada Dosen materi bidang ilmu | Disetujui, <u>13 - 12 - 2006</u> . Dosen  |

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



PERMOHONAN PERSETUJUAN SKRIPSI

yang betanda tangan dibawah ini :

Nama : Abdul Jalal
 NIM : 0112018
 Semester : XI
 Fakultas : Teknologi Industri
 Jurusan : Teknik Elektro S-1
 Konsentrasi : Teknik Elektronika / Teknik Energi Listrik
 Alamat : Jl. Bend. Sigura-gura 4A

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

(Handwritten signature)
 (.....)

Malang,200

Pemohon

(Handwritten signature)

(.. Abdul Jalal ..)

Disetujui
 Ketua Jurusan Teknik Elektro

(Handwritten signature)
 Ir. F. Yudi Limpraptono, MT
 NIP. P/1039500274

Mengetahui
 Dosen Wali

(Handwritten signature) 16/10/06

(.....)

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. 368/.....-2006
2. 138/.....
3. praktikum : lengkap

LAMPPIRAN 2

Using Fuzzy Controller in Induction Motor Speed Control with Constant Flux

Hassan Baghgar Bostan Abad, Ali Yazdian Varjani, Taheri Asghar

Abstract—Variable speed drives are growing and varying. Drives expand on progress in different parts of science like power system, microelectronics, control methods, and so on.

Artificial intelligence contains hard computation and soft computation. Artificial intelligence has found high application in most nonlinear systems such as motor drives. Because it has intelligence like human but there are no sentiments against human like anger and... Artificial intelligence is used for various points like approximation, control, and monitoring.

Because artificial intelligence techniques can be used as a controller for any system without requirement of a system mathematical model, it has been used in electrical drive control. With this manner, efficiency and reliability of drives increase and volume, weight and cost of them decrease.

Keywords—Artificial intelligence, electrical motor, intelligent drive and control.

I. INTRODUCTION

BECAUSE induction motors require low maintenance and are robust [8], have many applications in industry [9]. Along with industry progress, it indicates requirement to progress drive with high performance [8]. DC motors are control better than AC motors but they require much cost. In addition, in equal power, DC motors have higher volume and weight. Main variations in semiconductors, converter topology, analysis technique and simulation of electrical machines drive and newer control techniques have had a role in this progress [1].

Usually classical control is used in motor drives [8,10,11]. Design and implementation of conventional controls have difficulties that are nameable:

- It is based on mathematical accurate model of system that usually it is not known [12,13].
- Drives are nonlinear systems and classical control performance with this system decreases [9,13].
- Variation of machine parameters (especially in vector control [12]) by load disturbance [9], motor saturation [9,13] or thermal variations [13] do not cause expected performance [9,13].
- Classical linear control shows high performance only for one unique operating point [13].
- With choosing improper coefficients, classical control cannot receive acceptable results and suitable choices for constant coefficients in special application conditions with set points varying, necessarily is not optimum [14].

Hassan Baghgar Bostan Abad is with Mianeh Islamic Azad University (e-mail: baghgar@yahoo.com)

Ali Yazdian Varjani is with Tarbiat Modares University

Taheri Asghar is with Maleke Ashtar Technical University

Artificial intelligence techniques have extensive application in sciences [19]. Artificial intelligence embedding human intelligence into a machine so that it can think like a human being [19]. Because artificial intelligence techniques can be used as every system controller without requiring a system mathematical model, application of artificial intelligence techniques are increasing in electrical drives [1,19]. Advanced control based on artificial intelligence techniques is called intelligent control [12,19] that is known with "automatic control", "adaptive control" or "self organizing control" [12]. In addition, simplicity in implementation, noise influence cancellation elimination, system disturbance elimination and parameter variation decreasing are intelligent control enabling [13].

Application of artificial intelligence techniques in electrical drives is increasing [7,12,1,20,21]. Intelligent controls act better than conventional adaptive controls [13,19].

II. INTELLIGENT DRIVES

Motor drives contain three main parts: motor, controller and power electronic unit. If with a manner, intelligence factor is summed to one of these sections, that drive is called intelligent drive.

A. Smart power switch

Smart power switches are devices that are produced with added pieces without requiring to main variation in previous design. They contain over voltage, current limiter, dV/dt or dI/dt , protection sensors [22,23,24]. These switches are used for switches protection against over voltage or current and maybe wrong resultant improper circuit connection.

Also maybe division of circuit is designed and produced along with switch. Therefore, can increase reliability and application range of switch, circuit complexity and drive control system decreases so it causes simplistic design.

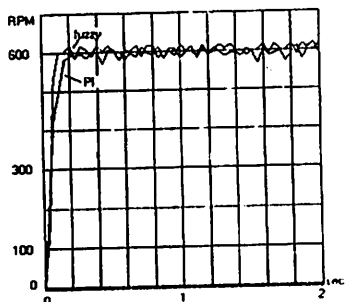
B. Intelligent control

Controller in a driver is brain and decision center that contains two parts, hardware and software. Hardware of controller unit has progressed in recent two decades. Software of control unit contains various control techniques that they are programmed into hardware.

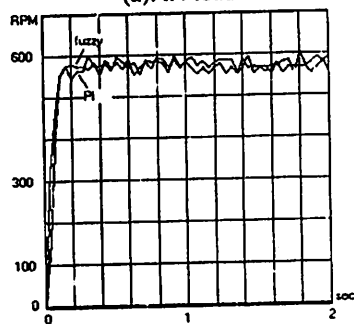
Usually classical control is used in electrical motor drives. Conventional control is based on known model of controlled system [25]. When there are system parameters variation [25] or environmental disturbance [26], behavior of system is not satisfactory [25,26]. In addition, usual computation of system mathematical model is difficult or impossible [26]. For design and tuning of conventional controller, there are many techniques like Broyden [10,27]

Step response of for 600 rpm reference speed with no load and full load condition has represented respectively in figure (4-a) and (4-b). Responses have drawn for 2 sec that motor speed is according to RPM. These responses is compared a driver responses with classical controller. In figures, driver responses with fuzzy controller are specified "FUZZY" and classical controller is represented "PI". In full load, driver response has almost similar trajectory with classical and fuzzy controller. Rise time nearly is 0.1 sec also in responses has be seen no overshoot. In no load, driver with fuzzy controller has response faster than classical controller response. Driver with fuzzy controller has almost received to reference speed at 0.1 sec, as this time in classical controller s nearly 0.15 sec. driver responses have not any overshoot.

Steady state error is %5 for each response. Few speed subsidence in steady state shows that motor flux has been fixed, comparison with no load condition. Because with load changing motor speed has not changed much and speed regulation is nearly suitable.



(a): no load



(b): full load

Fig. 4 Step response

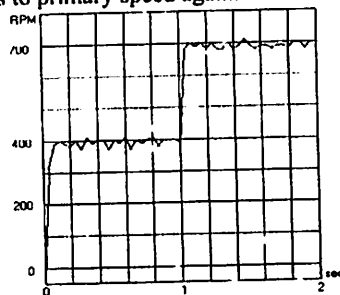
In another test, sudden changing has exerted in motor command speed. Speed command changing has been in tow cases: no load and full load with increasing and decreasing speed command.

Driver responses are depicted in figure (5) for no load case. Figures (5-a) and (5-b) show driver responses. In sudden increasing speed, first motor command speed is 400 rpm. Reference speed is changed to 700 rpm at $t=1$ sec but in decreasing speed, primary motor speed is 700 rpm which is decreased to 400 rpm at $t=1$ sec. rise time in each case is nearly 0.1 sec. also there are no overshoot in responses and steady state error is dispensable. In these tests, speed regulation is almost suitable.

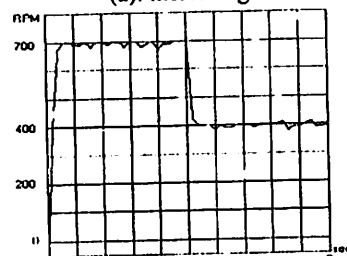
In figure (6) has depicted driver response to sudden speed changing in full load case. Driver responses have shown in figures (6-a) and (6-b) for increasing and

decreasing reference speed respectively. In these tests, also, reference speed changing is exerted at $t=1$ sec. steady state error is almost %5. In each condition, driver rise time is less than 0.1 sec. driver response has not any overshoot.

Figure (7) shows driver response with changing in load. In steady state, motor speed is 760 rpm. At $t=1$ sec motor load is changed amount %10 of nominal load. In this condition motor speed decrease, approximately 40 rpm during 0.4 sec. as can see in figure after this time, motor speed returns to primary speed again.

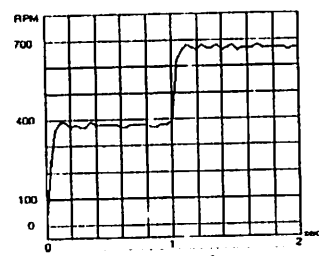


(a): increasing

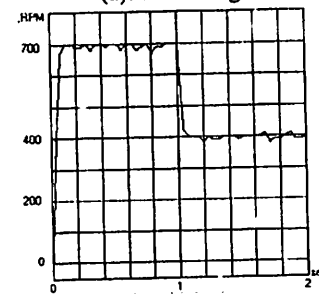


(b): decreasing

Fig. 5 Sudden speed command changing-noload



(a): increasing



(b): decreasing

Fig. 6 Sudden speed command Changing-full load

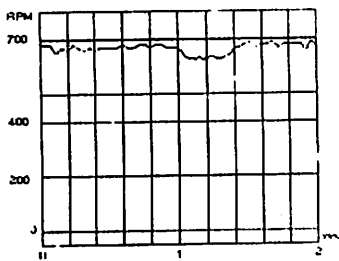


Fig. 7 Load-changing response

IV. CONCLUSION

Artificial intelligent technique can be used as electrical motor controller without requiring to system mathematical model. By this way, efficiency, performance and reliability of drives increase and volume, weight and cost of them decrease. For test of performance of an electrical motor drive, with fuzzy logic controller was implemented. It does not require to accurate motor and drive model. Induction motor drive was implemented with suitable speed regulation. Steady state error in speed control is acceptable and there is not any overshoot. Laboratory tests of speed driver show that design and implementation are suitable.

REFERENCES

- [1] B.K.Bose, " Power Electronics and Motor Drives-Recent Technology Advances ", Proceedings of the 2002 IEEE International Symposium on Industrial Electronics, Vol.1, pp.22 -25, 2002.
- [2] B.K.Bose, " Expert System, fuzzy Logic, and Neural Network Applications in Power Electronics and Motion Control " Proceedings of the IEEE, Vol.82, pp.1303-1323, Aug 1994.
- [3] K.Rattan, T.Brehm and Gurpreet Sandhu, " Analysis and Design of Proportional Fuzzy Logic Controller ", 6th IFICCC, April 96.
- [4] S.L.Jung, M.Y.Chang, J.Y.Jyung, L.C.Yeh, and Y.Y.Tzon, " Design and Implementation of An FPGA-Based Control IC for AC-Voltage Regulation ", IEEE
- [5] Bimal K.Bose, Power Electronics And Variable Frequency Drives, New York, IEEE Press, 1997.
- [6] C.C.Lee, " Fuzzy logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller I & II ", IEEE Transactions On Systems, Man and Cybernetics, Vol.20, pp.404 -418, March- April 1990.
- [7] P.Vas, A.F.Stronach, M.Neuroth, " Application of Conventional and AI-based Techniques in Sensorless High-Performance Torque-Controlled Induction Motor Drives ", IEE Colloquium on Vector Control Revisited, pp.8/1 -8/7, 23 Feb 1998.
- [8] F.D.S.Cardoso, J.F.Martins, V.F.Pires, " A Comparative Study of a PI, Neural Network and Fuzzy Genetic Approach Controllers for an AC Drive " 5th International Workshop on Advanced Motion Control, pp.375 -380, 29 Jun 1998.
- [9] Ye Zhongming, Wu Bin, " A Review on Induction Motor Online Fault Diagnosis " The Third International Power Electronics and Motion Control Conference Proceedings. PIEMC 2000, Vol.3, pp.1353 -1358 vol.3, 2000.
- [10] R.Echavarria, S.Horta, M.Oliver, " A Three Phase Motor Drive Using IGBTs and Constant V/F Speed Control with Slip Regulation ", IV IEEE International Power Electronics Congress, Technical Proceedings, pp.87 -91, 1995.
- [11] A.Munoz-Garcia, T.A.Lipe, D.W.Novotny, " A New Induction Motor V/f Control Method Capable of High-Performance Regulation at Low Speeds ", IEEE Transactions On Industry Application, Vol.34, pp.813 -821, July-Aug. 1996.
- [12] B.K.Bose, " Intelligent Control and Estimation in Power Electronics and Drives " IEEE International Electric Machines and Drives Conference Record, pp. TA2/2.1 -TA2/2.6, May 1997.
- [13] T.G.Habetler, R.G.Harley, " Power Electronic Converter and System Control " Proceedings of the IEEE, Vol.89, and Issue: 6, pp.913 -925, Jun 2001.
- [14] M.R.Tamjis, W.P.Hew, M.R.Anas, W.A.Adnar, " Intelligent Electric Drive System " TENCON 2000. Proceedings, Vol.3, pp.334 -335, 2000.
- [15] H.Sugimoto and S.Tamai, " Secondary Resistance Identification of an Induction Motor Applied Model Reference Adaptive System and its Characteristics ", IEEE Trans. On Ind.Appl. , Vol.23, no.2, pp.296-303, March/April 1989.
- [16] C.Y.Won and B.K.Bose, " An Induction Motor Servo System with Improved Sliding Mode Control ", IEEE Conf.Rec.of IECON'92, pp.60-66, 1992.
- [17] T.L.Chem and Y.C.Wu, " Design of Integral Variable Structure Controller and Application to Electrohydraulic Velocity Servo System ", IEE Proceedings, vol.138, no.5, pp.439-444, september 1991.
- [18] J.C.Hung, " Partial Industrial Control Technique ", IEEE Conf.Rec.of IECON'94, pp.7-14, 1994.
- [19] B.K.Bose, " Fuzzy logic and neural networks in power electronics and drives " IEEE Industry Applications Magazine, pp.57 -63, Vol.6, May/Jun 2000.
- [20] S.M.Chhaya, B.K.Bose, " Expert System Aided Automated Design, Simulation and Controller Tuning of AC Drive System " Proceedings of the 1995 IEEE IECON 21st International Conference on Industrial Electronics, Control, and Instrumentation, 1995, pp.712 -718, Vol.1, 6-10 Nov 1995.
- [21] Y.Dote, R.G.Hoft, " Control and Diagnosis for AC Drives and UPS Systems Using Soft Computing ", Proceedings of the Power Conversion Conference - Nagaoka, Vol.1, pp.519 -524, Aug 1997.
- [22] L.Ahannouli, V.Mangani, A.Dubhasli, " Advances in Power Semiconductors and Packaging Lead to a Compact Integrated Power Stage for AC Drives " W'ESCON/97. Conference Proceedings, pp.334 -339, 4-6 Nov 1997.
- [23] Ned mohan, Tore M.Undeland and William P.Robbins, Power Electronics, New York, John Wiley & Sons, Press, 1998.
- [24] Nihal Kularatna, Power Electronics Design Handbook, Boston, Newnes, 1998.
- [25] G.D'Angelo, M.Lo Presti, G.Rizzotto, " Fuzzy Controller Design to Drive an Induction Motor ", Proceedings of the Third IEEE Conference on Fuzzy Systems, Vol.3, pp.1502 -1507, 1994.
- [26] S.Boverie, B.Demaya, A.Titli, " Fuzzy Logic Control Compared with Other Automatic Control Approaches ", Proceedings of the 30th IEEE Conference On Decision and Control, vol.2, pp.1212 -1216, 1991.
- [27] A.B.Corripio, Tuning of industrial Control System, North Carolina: Instrument Society of America, pp.164-200, 1990.
- [28] A.Davies, " The intelligent machine " Manufacturing Engineer, Vol.73 Issue: 4, pp.182 -185, Aug 1994.
- [29] A.Gupta, " Simulation of Variable Speed Squirrel Cage Induction Motor Constant Volts/Hertz Operation ", IEEE International on Electric Machines and Drives Conference Record, pp. TB3/8.1 -TB3/8.3, 1997.
- [30] S.A.Mir, D.S.Zinger, M.E.Elbuluk, " Fuzzy Controller for Inverter Fed Induction Machines ", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol.30, pp.78 -84, Jan.-Feb. 1994.
- [31] B.S.zhang and J.M.Edmunds, " On fuzzy logic controllers ", IEE international Conference on control, pp.961-965, Edinburg, U.K, 1991.

Pengujian Parameter Motor Induksi Tiga Phasa

Alat-alat yang digunakan

a. Motor induksi Tiga Phasa DE LORENZO / DL 1021

Data papan (*Name-Plate*)

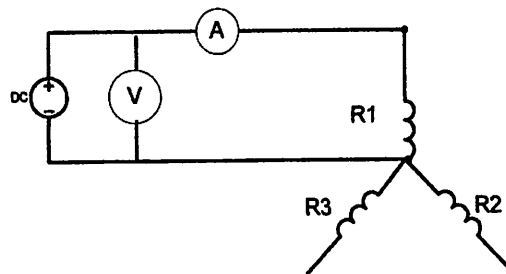
| | |
|------------------------------|---|
| TEGANGAN | : 220/380 (Δ/Y) VOLT |
| ARUS | : 4.3/2.5 (Δ/Y) AMPERE |
| COS ϕ | : 0.83 |
| FREKUENSI | : 50 HZ |
| DAYA | : 1.1 KW |
| PUTARAN | : 2820 RPM |
| KUTUP | : 2 KUTUP |
| KELAS ISOLASI | : F |

- Generator DELORENZO/DL 1025
- Satu set alat ukur (watt meter, ampere meter, volt meter) DELORENZO/DL 1031
- AC/DC voltage regulator DELORENZO/DL 1013 M2
- Tachometer
- Current Brake
- Multimeter XIOLE DT9205A

Adapun model pengujian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Pengujian Arus Searah (*DC Test*)

Tujuan dari pengujian arus searah (*DC Test*) adalah untuk menentukan nilai resistansi stator. Diagram pengukuran ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1 : Pengujian Arus Searah (*DC Test*)

Prosedur pengujian arus searah(DC TEST)

- Kumbaran stator dihubung bintang.
- Sumber tegangan DC dihubung dengan alatukur (voltmeter dan amperemeter).
- Sumber tegangan DC dari alat ukur dihubung pada kumbaran stator yaitu pada titik A dan titik N.
- Atur sumber tegangan dari yang paling kecil sampai arus yang terbaca pada amperemeter mendekati arus nominal dari data name plate motor.
- Catat hasil pengukuran dari arus dan tegangan dari alat ukur untuk dianalisa.

Tabel 1

Data hasil pengujian arus searah

| Vdc (volt) | I (Ampere) |
|------------|------------|
| 8 | 1,47 |
| 7 | 1,28 |
| 6 | 1,11 |
| 5,1 | 0,96 |
| 4 | 0,77 |

Analisa pengujian arus searah:

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

$$R_{dc1} = \frac{8}{1,47} = 5,44 \Omega$$

$$R_{dc2} = \frac{7}{1,28} = 5,46 \Omega$$

$$R_{dc3} = \frac{6}{1,11} = 5,40 \Omega$$

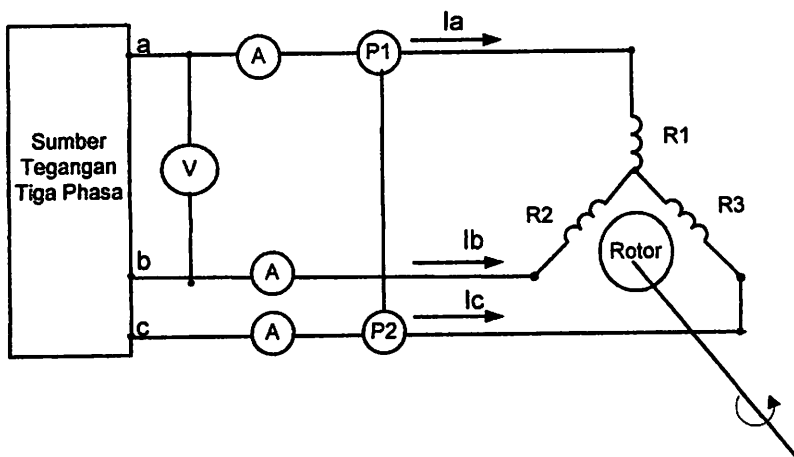
$$R_{dc4} = \frac{5,1}{0,96} = 5,31 \Omega$$

$$R_{dc5} = \frac{4}{0,77} = 5,19 \Omega$$

$$R_s = \frac{5,44 + 5,46 + 5,40 + 5,31 + 5,19}{5} = 5,36 \Omega$$

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

Pengujian Tanpa Beban (*No-Load Test*) adalah sama dengan pengujian rangkaian terbuka. Pada keadaan tanpa beban, R_r/s adalah sangat tinggi. Sehingga arus rotor sangat kecil dan hanya diperlukan untuk menghasilkan torsi yang cukup untuk mengatasi gesekan dan pelilitan, dengan demikian rugi-rugi I^2R rotor tanpa beban sangat kecil dan dapat diabaikan. Diagram pengukuran ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2

Diagram Pengujian Tanpa Beban (*No-Load Test*)

Prosedur pengujian Tanpa Beban (No Load Test)

- Sumber tegangan tiga fasa dihubungkan pada alat ukur (voltmeter, amperemeter dan wattmeter).
- Sumber tegangan tiga fasa dari alat ukur dihubungkan pada kumparan stator.
- Kumparan stator motor induksi dihubung bintang.
- Atur tegangan tiga fasa jala-jala sampai tegangan nominal motor.
- Ukur kecepatan (rpm) dengan tachometer pada kecepatan nominal motor.
- Catat hasil pengukuran pada alat ukur (arus, tegangan dan daya) untuk dianalisa.

Tabel 2

Data hasil pengujian beban nol

| I (Ampere) | | | W 3Φ (watt) | V (volt) | F (Hz) |
|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------|-----------|
| A ₁ | A ₂ | A ₃ | | | |
| 0,53 | 0,61 | 0,53 | 90 | 220 | 50 |

Analisa pengujian beban nol:

$$I_{tb} = \frac{I_{Ia} + I_{Ib} + I_{Ic}}{3} = \dots A$$

$$I_{tb} = \frac{0,53 + 0,61 + 0,53}{3} = 0,55 A$$

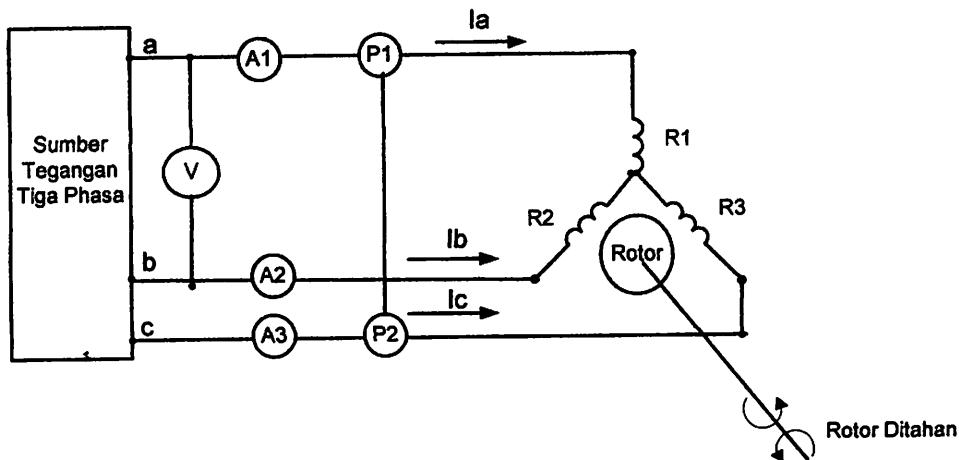
$$Z_{tb} = \frac{V_{tb}}{\sqrt{3}I_{tb}} = \frac{220}{\sqrt{3} \times 0,56} = 231 \Omega$$

$$R_{ib} = \frac{P3\Phi}{3I_{ib}^2} = \frac{90}{3 \cdot (0,55^2)} = 99\Omega.$$

$$X_{ib} = \sqrt{Z_{ib}^2 - R_{ib}^2} = \sqrt{231^2 - 99^2} = 208,71 \Omega$$

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. Diagram pengukuran ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3

Diagram Pengujian Rotor Tertahan (*Blocked Rotor Test*)

Prosedur pengujian rotor tertahan :

- Sumber tegangan tiga fasa diatur dari tegangan kecil dan dihubungkan pada alat ukur (voltmeter, amperemeter dan wattmeter).
- Sumber tegangan tiga fasa dari alat ukur dihubungkan pada kumparan stator.
- Kumparan stator motor induksi dihubung bintang.
- Motor induksi dikopel dengan current break.
- Motor dalam keadaan berputar direm dengan injeksi tegangan DC dari current break hingga motor berhenti sesaat.
- Motor direm hingga tidak berputar, penunjuk arus pada alat ukur diusahakan mendekati arus nominal pada name plate motor.
- Catat hasil pengukuran dari alat ukur (arus, tegangan dan daya) untuk dianalisa.

Tabel 3

Data hasil pengujian Rotor Tertahan

| I (Ampere) | | | W 3 Φ (watt) | V _{L-L} (volt) |
|----------------|----------------|----------------|----------------------|----------------------------|
| A ₁ | A ₂ | A ₃ | | |
| 1,88 | 1,93 | 1,85 | 110 | 65 |

Analisa data pengujian Rotor Tertahan:

$$I_n = \frac{I_{Ia} + I_{Ib} + I_{Ic}}{3} = \frac{1,88 + 1,93 + 1,85}{3} = 1,9 \text{ A}$$

$$Z_n = \frac{V}{\sqrt{3}I_n} = \frac{65}{\sqrt{3} \times 1,9} = 19,75 \Omega$$

$$R_n = \frac{P3\Phi}{3(I_n)^2} = \frac{110}{3(1,9^2)} = 10,15 \Omega$$

$$X_n = \sqrt{Z_n^2 - R_n^2} = \sqrt{19,96^2 - 10,15^2} = 17,18 \Omega$$

$$X_n = X_s + X'_r$$

Motor induksi yang dipakai adalah Motor induksi dengan rotor sangkar tunggal kelas A, maka secara umum X_s dan X_r diasumsikan sama, sehingga :

$$X_s = X'_r = \frac{1}{2} X_n = \frac{1}{2} 17,18 = 8,59 \Omega$$

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:

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

$$X_m = X_{tb} - X_s = 208,71 - 8,59 = 200,12 \Omega$$

Resistansi stator dapat dipandang sebagai harga DC-nya maka resistansi rotor dapat ditentukan sebagai berikut :

$$R = R_n - R_s \\ = 10,15 - 5,36 = 4,79 \Omega$$

$$X_n = X'_r + X_m \\ = 8,59 + 200,12 = 208,71$$

$$R'_r = R \left(\frac{X_{rr}}{X_m} \right)^2 = 4,79 \left(\frac{208,71}{200,12} \right)^2 = 4,59 \Omega$$

Tabel 4
Hasil Perhitungan Pengujian Parameter Motor Induksi Tiga Phasa

| rs | rr | xls | xlr | xm |
|------|------|------|------|--------|
| 5,36 | 4,59 | 8,59 | 8,59 | 200,12 |