

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



**IDENTIFIKASI PARAMETER MOTOR INDUKSI TIGA PHASA
DENGAN MENGGUNAKAN METODE
FUZZY LOGIC CONTROLLER**

SKRIPSI

Disusun Oleh :

ZAINURI

NIM. 02.12.074

MARET 2007

LEMBAR PERSETUJUAN

IDENTIFIKASI PARAMETER MOTOR INDUKSI TIGA PHASA DENGAN MENGGUNAKAN METODE FUZZY LOGIC CONTROLLER

SKRIPSI

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


Disusun Oleh :

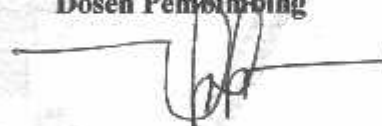
ZAINURI

0212074

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro

Diperiksa dan disetujui,
Dosen Pembimbing


Ir. FX. Yudi Limpraptono, MT
Nip.P. 103 950 0274


Ir. M. Abdul Hamid, MT
Nip.P. 1018800188

KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2007

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

Malang, Maret 2006

Penulis

2.2.1. Stator	8
2.2.2. Rotor.....	9
2.3. Medan Magnet Putar	10
2.4. Prinsip Kerja Motor Induksi.....	11
2.4.1. Slip dan Frekuensi Arus Rotor	12
2.5. Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi.....	13
2.5.1. Rangkaian Ekuivalen.....	13
2.5.2. Rangkaian Ekuivalen Stator	13
2.5.3. Rangkaian Ekuivalen Rotor	13
2.5.4. Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi.....	16
2.5.5. Rangkaian Ekuivalen Torsi	18
2.6. Pengujian Motor Induksi Tiga Phasa	21
2.6.1. Pengujian Arus Searah (<i>DC Test</i>)	21
2.6.2. Pengujian Tanpa Beban (<i>No-Load Test</i>)	22
2.6.3. Pengujian Rotor Tertahan (<i>Blocked Rotor Test</i>)	24

BAB III METODE FUZZY LOGIC

3.1. Umum.....	27
3.1.1. Konsep Dasar Logika Fuzzy	28
3.2. Himpunan Klasik (<i>crisp</i>).....	29
3.3. Himpunan Fuzzy	30
3.4. Fungsi Keanggotaan Himpunan Fuzzy	32
3.4.1. Operasi Himpunan Fuzzy.....	35

4.2.1. Analisa Data Pengujian Tanpa Beban.....	68
4.2.2. Analisa Data Pengujian Tanpa Beban.....	69
4.2.3. Dari pengujian rotor tertahan	69
4.3. Data Input untuk Program Fuzzy Logic Controller	72
4.4. Flowchart Algoritma Program.....	72
4.4.1 Flowchart Pemecahan Masalah Secara Umum.....	73
4.4.2.Flowchart Proses Pembentukan FIS.....	74
4.4.3.Fuzzy Logic Controller.....	75
4.5. Hasil karakteristik Torsi Dengan (FLC).....	79
4.6. Hasil Identifikasi Parameter (FLC).....	80
4.7. Perbandingan Hasil Dengan (FLC) Hasil Pengujian.....	81

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan.....	82
5.2. Saran.....	83

DAFTAR PUSTAKA

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 Ekivalen Stator	12
Gambar 2-6	Rangkaian Ekivalen rotor.....	14
Gambar 2-7	Rangkaian Ekivalen Motor Induksi.....	15
Gambar 2-8	Penyederhanaan Rangkaian Ekivalen Motor Induksi	16
Gambar 2-9	Rangkaian Pengujian Arus Searah (<i>DC Test</i>)	21
Gambar 2-10	Diagram Rangkaian Pengujian Tanpa Beban.....	22
Gambar 2-11	Rangkaian Ekivalen Pengujian Rotor Tertahan dan Rangkaian Pengujian Rotor Tertahan.....	24
Gambar 2-12	Diagram Pengujian Berbeban.....	22
Gambar 3-1	Himpunan Fuzzy Dan Istilahnya.....	30
Gambar 3-2	Himpunan Fuzzy Dan Penyokongnya.....	31
Gambar 3-3	Bentuk-bentuk Fungsi Keanggotaan.....	33
Gambar 3-4	Fungsi Keanggotaan Segitiga.....	33
Gambar 3-5	Himpunan Fuzzy Untuk Kecepatan	36
Gambar 3-6	Bagian Pokok Fuzzy Logic Controller.....	38
Gambar 3-7	Diagram Blok Sistem Pengaturan Dengan Fuzzy Logic.....	39

Gambar 3-8	Himpunan Fuzzy Yang Terkuantisasi	43
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 3-12	Kurva Output Terhadap Input Unit Step.....	55
Gambar 3-13	Kontroller Fuzzy Logic Type Ke-3	56
Gambar 3-14	Bentuk Umum Dari Anggota Penyokong	57
Gambar 3-15	Langkah Kerja Fuzzy Logic Controller.....	64
Gambar 4-1	Flowchart Pemecahan masalah Secara Umum.....	73
Gambar 4-2	Flowchart Proses Pembentukan FIS.....	74
Gambar 4-3	Proses Fuzzifikasi FIS Editor	75
Gambar 4-4	Membership Function Input	76
Gambar 4-5	Tampilan Output Fuzzy.....	77
Gambar 4-9	Rule Base.....	78
Gambar 4-6	Tampilan Program Perhitungan FLC	78
Gambar 4-7	Hasil Karakteristik Torsi Fuzzy Logic Controller.....	79

DAFTAR TABEL

Tabel 3-1	Data Kuantisasi Himpunan Fuzzy	42
Tabel 3-2	Aturan Kontrol Fuzzy Mac Vicar-Whelan.....	45
Tabel 3-3	Verbalisasi Basis Aturan Pada Kontroller Fuzzy	54
Tabel 4-1	Data Pengujian Arus Searah.....	67
Tabel 4-2	Data Hasil Pengujian Beban Nol.....	67
Tabel 4-3	Data Hasil Rotor Tertahan.....	68
Tabel 4-5	Data Hasil Perhitungan Pengujian Parameter	71
Tabel 4-6	Data Hasil Identifikasi Parameter.....	80
Tabel 4-7	Data Hasil perbandingan Parameter.....	81

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.

Selama tahun-tahun terakhir ini, signifikansi dari motor-motor induksi terutama tipe sangkar-tupai, secara luas digunakan untuk berbagai kepentingan khususnya di bidang industri. Sekitar delapan puluh persen untuk motor listrik dan sekitar tiga puluh lima persen total konsumsi listrik dari motor induksi. Di perlukan pengujian-pengujian untuk mengetahui nilai-nilai parameter dan karakteristik torsi suatu motor induksi.

Kinerja motor induksi dipengaruhi oleh parameter- parameter yang telah diberikan oleh pabrik pembuatannya. Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan parameter motor induksi seperti tahanan stator (R_s), tahanan rotor (R_r), induktansi stator (L_s), induktansi rotor (L_r), induktansi bersama (L_m), reaktansi stator (X_s), reaktansi rotor (X_r), reaktansi bersama (X_m). proses identifikasi parameter dalam motor induksi digunakan dengan menggunakan beberapa pengujian-pengujian (*DC test, No-Load Test, dan Blocked Rotor test*) yang sangat sulit diterapkan industri-industri besar. pada melalui model pendekatan inilah dapat diketahui parameter ataupun karakteristik torsi dari suatu motor induksi secara lebih mudah. Untuk mengendalikan motor induksi telah banyak dikembangkan berbagai macam controller, salah satunya adalah controller logika Fuzzy. *Fuzzy Logic Controller*

(*FILC*) merupakan salah satu dari controller cerdas yang dalam perancangannya diperlukan pengalaman yang cukup untuk mengoperasikannya, dan dalam skripsi ini dibahas suatu cara identifikasi parameter dari motor induksi sangkar dengan menggunakan metode *Fuzzy Logic Controller*.

1.2 Perumusan Masalah

Mengacu pada latar belakang di atas maka permasalahan yang timbul adalah bagaimana menerapkan aplikasi metode *Fuzzy Logic Controller* untuk mengidentifikasi parameter-parameter motor induksi tiga fasa berdasarkan data pengukuran di lapangan (pengujian arus scarah / *DC test*, pengujian tanpa beban, pengujian rotor tertahan, dan data papan-nama / *nameplate*) dari motor induksi sebagai solusi pemecahan masalah. Sehingga skripsi ini mengambil judul :

**“ IDENTIFIKASI PARAMETER MOTOR INDUKSI TIGA PHASA
DENGAN MENGGUNAKAN METODE
FUZZY LOGIC CONTROLLER ”**

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan pembahasan ini adalah untuk mengaplikasikan metode *Fuzzy Logic Controller* dalam mengidentifikasi Parameter dari rangkaian ekuivalen motor induksi tiga phasa untuk mengetahui parameter dan karakteristik torsi, berdasarkan data pengukuran di tempat dari motor induksi.

1.4 Batasan Masalah

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

- 1 Analisis dilakukan pada motor induksi tiga phasa Rotor sangkar DE LORENZO/DL 1021, 1,1 kW, 220/380(Δ /Y) Volt, 4,3/2,5(Δ /Y) Ampere, Cos ϕ 0,83, 50 Hz, 2830 rpm, 2 kutup.
- 2 Pembahasan ditekankan pada analisis identifikasi parameter-parameter motor induksi tiga phasa metode *Fuzzy Logic Controller*.
- 3 Besaran-besaran rotor diasumsikan berpatokan pada besaran stator pada rangkaian ekivalen motor induksi.
- 4 Melakukan perhitungan parameter motor induksi tiga phasa dan perhitungan metode *Fuzzy Logic Controller*

1.5 Metodologi Penelitian

Metodologi yang dipakai dalam penyusunan skripsi ini adalah :

1. Studi literatur, yaitu bahan untuk memahami prinsip kerja dari motor induksi tiga-phaasa dan teori metode *Fuzzy Logic Controller*
2. Pengumpulan data melalui percobaan pada motor induksi dengan metode pengujian arus searah (*DC Test*), Pengujian rotor tertahan (*Block Rotor Test*) dan pengujian tanpa beban (*No Load Test*)
3. Melakukan analisis identifikasi parameter dari rangkaian ekuivalen yang diajukan dengan menggunakan metode *Fuzzy Logic Controller* berupa (R_s), (R_r), (R_{r1}), (R_{r2}), (L_s), (L_{r1}), dan (L_{r2}) dengan bantuan Matlab 7.0
4. Membuat karakteristik torsi hasil perhitungan menggunakan metode *Fuzzy Logic Controller*
5. Membuat perbandingan parameter baik secara perhitungan manual dan metode *Fuzzy Logic Controller*
6. Menarik kesimpulan

1.6 Relevansi

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

BAB II

KONSEP DASAR MOTOR INDUKSI TIGA PHASA

2.1. Teori Dasar Motor Induksi.^[5]

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.

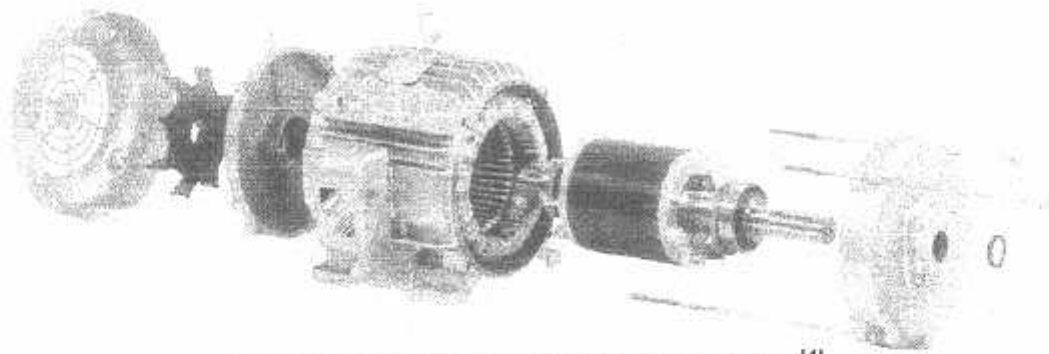
Motor induksi *polyphase* banyak dipakai dikalangan industri. Ini berkaitan dengan beberapa keuntungannya.

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.

2.2. Konstruksi Motor Induksi ^[4]

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

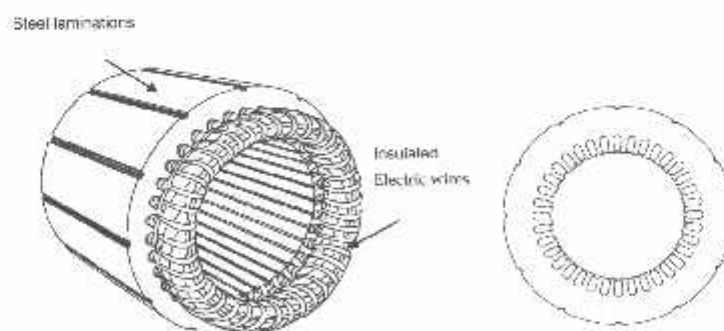


Gambar 2-1 : Konstruksi Motor Induksi ^[4]

2.2.1. Stator ^[4]

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

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



Gambar 2-2: Stator Tiga-Phasa Motor Induksi ^[4]

2.2.2. Rotor ^[2]

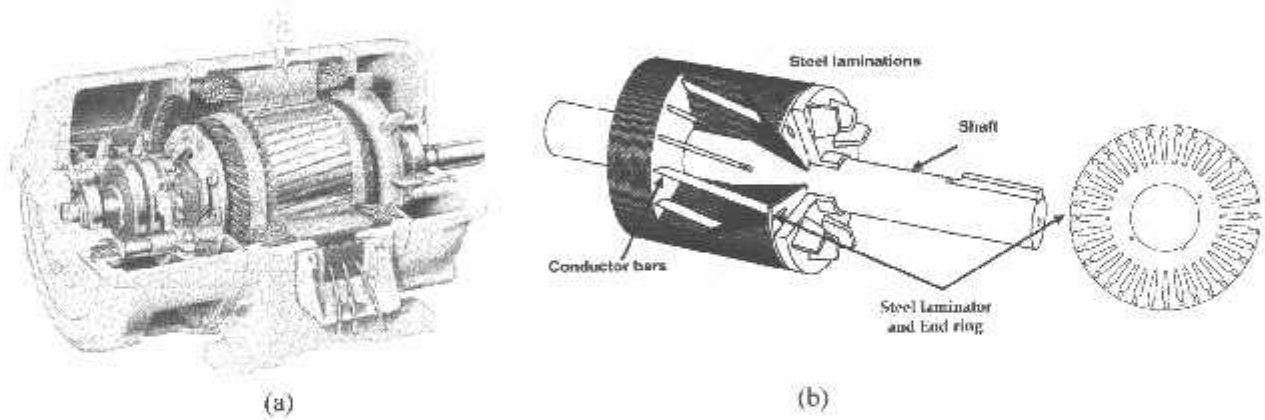
Konstruksi dari rotor motor induksi mempunyai dua bentuk, yaitu :

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 Bajing (*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.

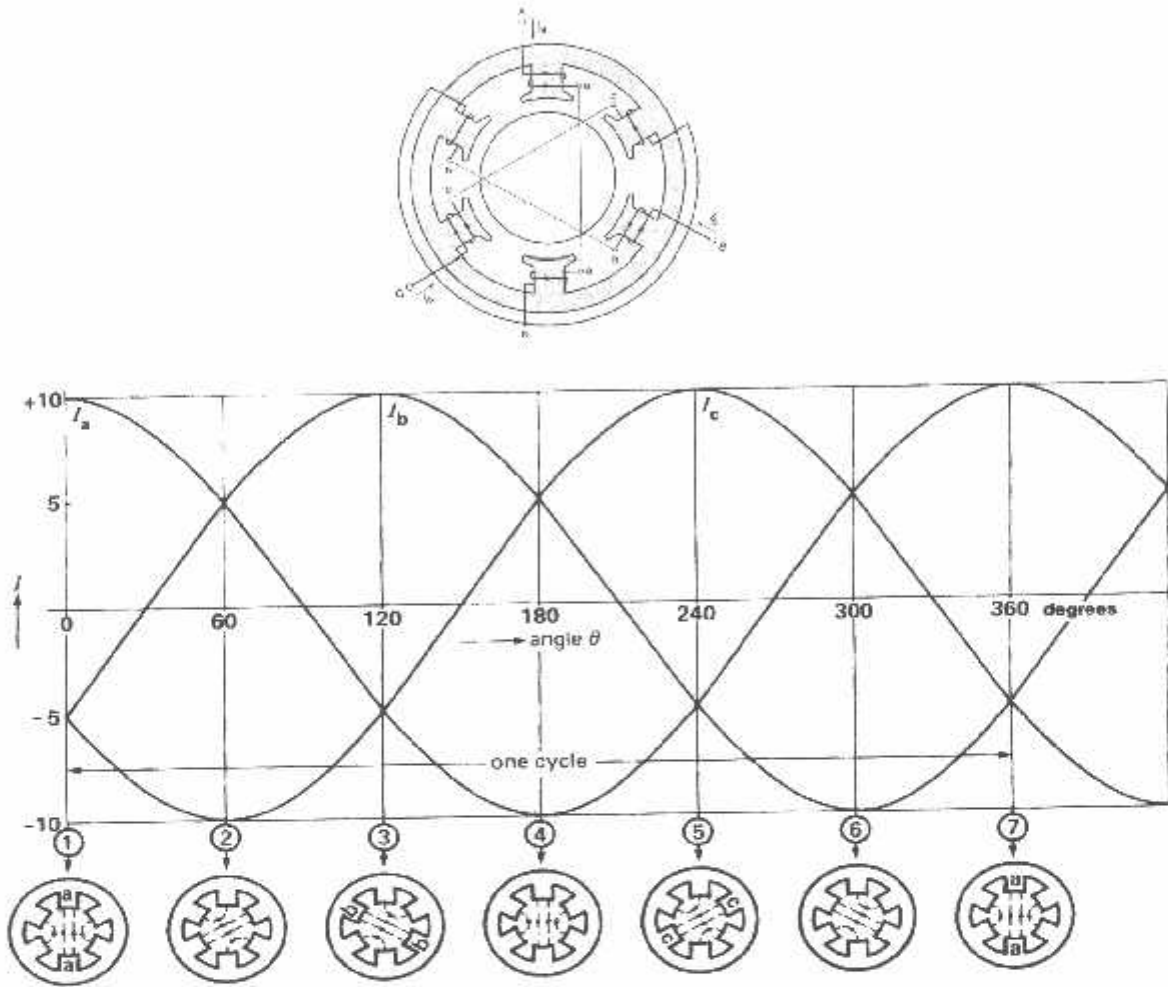


**Gambar 2-3 : a) Motor Induksi Rotor Belitan ^[4]
b) Rotor Sangkar Bajing ^[4]**

2.3. Medan Putar ^[2]

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 ^[4]

Medan putar terjadi apabila kumparan A-a, B-b, C-c dihungkan tiga fasa dengan beda fasa masing-masing 120° (gambar 2-4a) dan dialiri arus sinusoida. Distribusi i_a , i_b , i_c sebagai fungsi waktu adalah seperti gambar 2-4b. Pada keadaan t_1 , t_2 , t_3 dan t_4 fluks resultan yang ditimbulkan oleh kumparan tersebut masing-masing adalah seperti gambar 2-4c, d, e dan f.

2.4. Prinsip Kerja Motor Induksi ^[2]

Ada beberapa prinsip kerja motor induksi .

1. Apabila sumber tegangan 3 fasa dipasang pada kumparan stator , timbullah

$$\text{medan putar dengan kecepatan : } n_s = \frac{120}{p} f$$

2. Medan putar tersebut akan memotong batang konduktor pada rotor .
3. Akibatnya pada kumparan rotor akan timbul tegangan induksi (GGL.) .
4. Karena kumparan rotor merupakan rangkaian yang tertutup , ggl (E) akan menghasilkan arus (I) .
5. Adanya arus I di dalam medan magnet menimbulkan gaya F pada rotor .
6. Bila kopel mula yang di hasilkan oleh gaya F pada rotor cukup besar untuk memikul kopel beban , rotor akan berputar searah dengan medan putar stator .
7. Seperti telah di jelaskan pada (3) , tegangan induksi timbul karena terpotongnya batang konduktor / rotor oleh medan putar stator . Artinya agar tegangan terinduksi di perlukan adanya perbedaan relative antara kecepatan medan putar stator (n_s) dengan kecepatan berputar rotor (n_r)
8. Perbedaan kecepatan antara n_r dan n_s di sebut Slip S di nyatakan dengan ;

$$S = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100\%$$

9. Bila $n_r = n_s$, tegangan tidak akan terinduksi dan arus tidak mengalir pada kumparan jangkar rotor , dengan demikian tidak di hasilkan kopel .
Kopel motor akan ditimbulkan apabila n_r lebih kecil dari n_s .

2.4.1. Slip dan Frekuensi Arus Rotor ^[2]

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

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} \dots\dots\dots (2.1)$$

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 :

$$n_s = \frac{120f_s}{p} \text{ atau } f_s = \frac{p.n_s}{120} \dots\dots\dots (2.2)$$

dimana : p = jumlah kutub
 f_s = frekuensi stator

Pada rotor berlaku hubungan :

$$f_r = \frac{(n_s - n_r)p}{120} = \frac{(n_s - n_r)n_s p}{n_s 120} \dots\dots\dots (2.3)$$

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

Maka : $f_r = s.f_s \dots\dots\dots (2.4)$

2.5. Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi

2.5.1. Rangkaian Ekuivalen

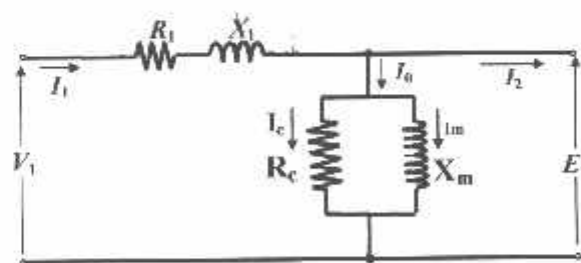
Suatu rangkaian ekuivalen motor induksi tiga fasa diperlukan untuk membantu analisis operasi dan untuk memudahkan penghitungan kinerja. Rangkaian ekuivalen tersebut mengasumsikan suatu bentuk yang identik rangkaian ekuivalen transformator. Oleh karena itu motor induksi dapat dipandang sebagai transformator yang mempunyai ciri-ciri khusus yaitu :

1. Stator sebagai sisi primer.
2. Rotor sebagai sisi sekunder yang penghantar-penghantarnya dihubungkan singkat dan berputar.

2.5.2. Rangkaian Ekuivalen Stator

Apabila kumparan stator diberikan tegangan catu dari jala-jala sebesar V_1 , maka akan mengalir arus putar tiga fasa pada kumparan stator yang membangkitkan medan magnet tiga fasa. Arus stator (I_1) bercabang menjadi dua komponen arus yaitu :

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



Gambar 2-5 : Rangkaian Ekuivalen Stator ^{[2][3]}

Dimana :

- V_1 = tegangan terminal
- R_1 = resistansi kumparan
- X_1 = reaktansi bocor kumparan
- E_1 = tegangan induksi (ggl)
- R_c = resistansi tembaga
- X_m = reaktansi magnetisasi

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*) adalah :

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

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

dimana X_2 merupakan reaktansi rotor pada start atau diam.

Tegangan induksi pada rotor :

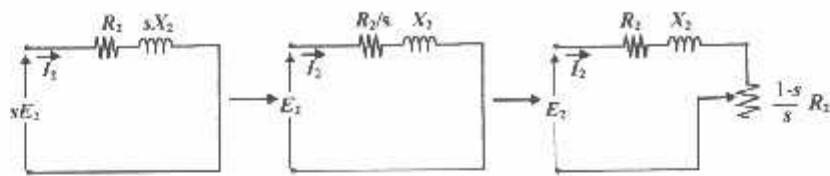
$$E_2 = 4,44f_2 N_2 \Phi_m \dots\dots\dots (2.7)$$

$$f_2 = sf_1$$

$$sE_2 = 4,44sf_1 N_2 \Phi_m \dots\dots\dots (2.8)$$

Dengan memasukkan persamaan (2.7) ke (2.8) maka didapat persamaan :

$$E_2 - sE_2 \dots\dots\dots (2.9)$$



Gambar 2-6: Rangkaian Ekivalen Rotor [2]

Dimana :

S - Slip

E_2 = tegangan induksi pada saat rotor dalam keadaan diam

R_2 = resistansi kumparan rotor

X_2 = reaktansi bocor rotor

Berdasarkan persamaan (2.5) dan (2.9) maka diperoleh rangkaian ekivalen rotor seperti pada gambar 2-6.

Besar arus rotor (I_2) saat berputar adalah :

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

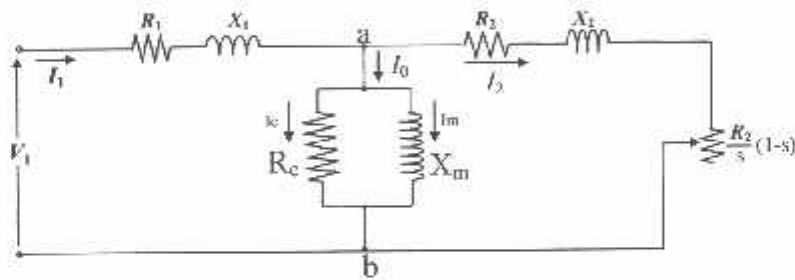
Atau

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

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 ^{[2][5]}

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

$$P_2 = 3I_2^2 \frac{R_2}{s} \dots\dots\dots(2.12)$$

Dengan rugi tembaga rotor :

$$P_{cu2} = 3I_2^2 R_2 \dots\dots\dots(2.13)$$

Maka daya mekanis yang dibangkitkan oleh motor induksi adalah :

$$P_m = P_2 - P_{cu2} = 3I_2^2 \frac{R_2}{s} - 3I_2^2 R_2 = 3I_2^2 R_2 \frac{(1-s)}{s} \dots\dots\dots (2.14)$$

$$P_m = T \cdot \omega_r = T \cdot \omega_s(1-s) \dots\dots\dots (2.15)$$

dimana :

T = Torsi motor dalam N-m

ω_r = kecepatan rotor dalam rad/det

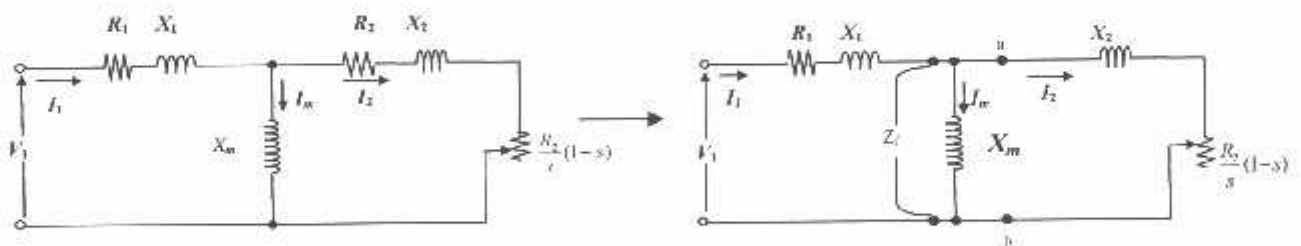
ω_s = kecepatan sinkron stator dalam rad/det

sehingga diperoleh :

$$T = \frac{3}{\omega_s} I_2^2 \frac{R_2}{s} \text{ Nm} \dots\dots\dots (2.16)$$

$$I_2 = \frac{V_1}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2}{s}\right)^2 + (X_1 + X_2)^2}} \dots\dots\dots (2.17)$$

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 ^{[3][5]}

Daya masukan (P_{in}) pada rangkaian ekivalen adalah :

$$P_m = 3(I_1^2) \frac{R_r}{S} \text{ watt} \dots\dots\dots (2.18)$$

Daya Keluaran (P_{out}) pada rangkaian ekivalen adalah :

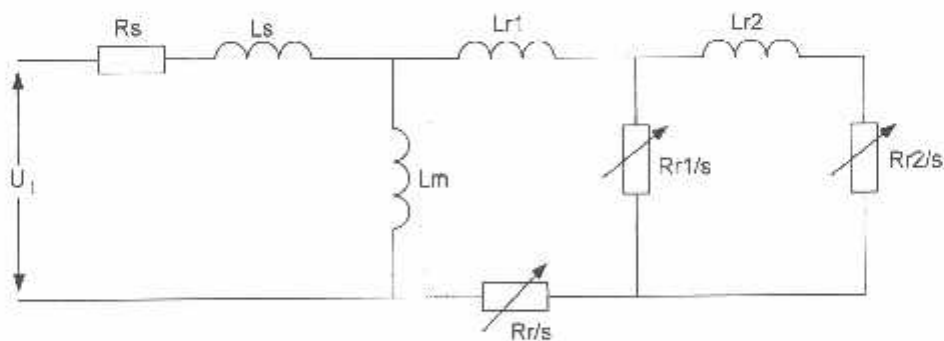
$$P_{out} = T \frac{4\pi f}{p} (1-s) \text{ watt} \dots\dots\dots (2.19)$$

Efisiensi(η) didapat dari persamaan :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_m} \cdot 100\% \dots\dots\dots (2.20)$$

**2.5.5. Rangkaian Ekivalen Untuk Perhitungan Karakteristik Torsi
(yang diajukan)**

Dengan menggunakan analisis rangkaian ekivalen dapat dihitung karakteristik torsi dari rangkaian sebagai berikut :



Gambar 2-9 : Rangkaian Ekivalen Rotor ^[1]

Sumber : T. Lehla, PhD, "Parameter Identification Of An Induction Motor Using Fuzzy Logic Controller", Tallinn Technical University, Estonia

Perhitungan parameter-parameter sebagai titik awal untuk memulai algoritma Fuzzy dari rangkaian ekuivalen motor induksi tiga phasa diatas :

Untuk mencari Kecepatan nominal digunakan rumus :

$$\omega_{nom} = \frac{4 \pi f_{nom}}{p} (1 - S_{nom}) \dots\dots\dots (2.21)$$

Nominal Torsi dengan persamaan :

$$T_{nom} = P_{nom} / \omega_{nom} \dots\dots\dots (2.22)$$

Arus Stator Nominal :

$$I_{nom} = \frac{P_{nom}}{3U_{nom} \cdot \eta_{nom} \cdot \cos \varphi_{nom}} \dots\dots\dots (2.23)$$

Impedansi ringkasan, Resistansi dan Reaktansi dari rangkaian ekuivalen :

$$Z_{eqv} = U_{nom} / I_{nom} \dots\dots\dots (2.24)$$

$$R_{eqv} = Z_{eqv} \cos \varphi_{nom} \dots\dots\dots (2.25)$$

$$X_{eqv} = Z_{eqv} \sqrt{1 + (\cos \varphi_{nom})^2} \dots\dots\dots (2.26)$$

Resistansi, Reaktansi dari rangkaian rotor dapat ditentukan secara perkiraan :

$$R_{eqv,r} = \frac{P_{nom} \cdot s_{nom}}{3(1 - s_{nom}) I_{nom}^2} \dots\dots\dots (2.27)$$

$$X_{eqv,r} = R_{eqv,r} \frac{\sqrt{1 + (\cos \varphi_{nom})^2}}{\cos \varphi_{nom}} \dots\dots\dots (2.28)$$

Koefisien Fluks :

$$\sigma = \frac{(1 - \cos \varphi_{nom})}{(1 + \cos \varphi_{nom})} \dots\dots\dots (2.29)$$

Induktansi dari motor induksi tiga fasa :

$$L_{\mu} = \frac{U_{nom}}{2 f_{nom} \cdot I_{nom} \cdot \sqrt{\sigma}}$$

Induktansi Fluks stator dan rotor untuk perkiraan pertama dari rangkaian equivalen tiga fasa :

$$L_s = 0.3 \sigma \cdot L_{\mu} \quad L_{r2} = 2 \cdot L_{r1} \quad L_{r1} = 0.5 L_s \quad \dots\dots\dots (2.30)$$

Resistansi Rotor :

$$R_{r2} \cong (0,5 \dots 1,0) R_{eqv,r} \quad \dots\dots\dots (2.31)$$

$$R_{r1} \cong (2 \dots 7) R_{r2} \quad \dots\dots\dots (2.32)$$

$$R_r \cong (0,2 \dots 0,5) R_{r2} \quad \dots\dots\dots (2.33)$$

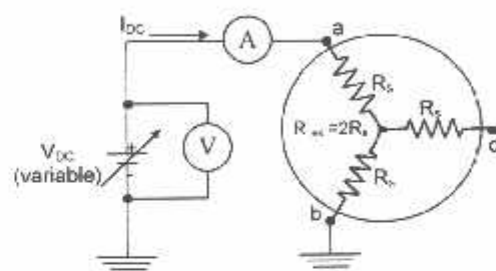
Resistansi Stator dapat diajukan secara perkiraan :

$$R_s \cong R_{eqv,r} \left(\frac{1 - \eta_{nom}}{\eta_{nom}} \right) \quad \dots\dots\dots (2.34)$$

2.6. Pengujian Motor Induksi Tiga Fasa

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 2-10 : Pengujian Arus Searah (*DC Test*)

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

$$R_{ekv} = 2R_s \text{ } \Omega \text{(2.21)}$$

untuk nilai resistansi kumparan a dan b :

$$R_{ab} = R_{ekv} = \frac{V_{DC}}{I_{DC}} \text{ } \Omega \text{(2.22)}$$

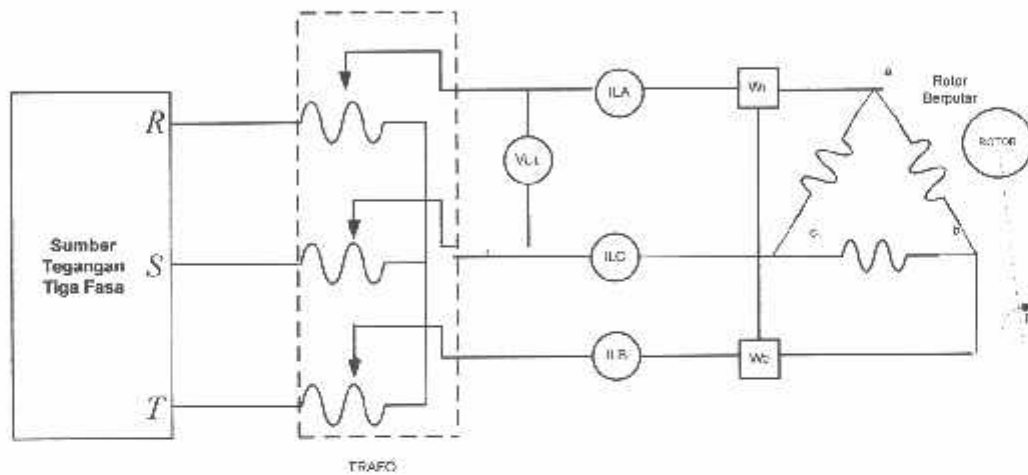
Dan nilai resistansi stator per fasa, R_s :

$$R_s = \frac{R_{ekv}}{2} \text{ } \Omega/\text{phasa} \text{(2.23)}$$

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*) adalah sama dengan pengujian rangkaian terbuka. Pada keadaan tanpa beban, R_c / 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.



Gambar 2-11 : Diagram Pengujian Tanpa Beban

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

$$P_{3-\phi} = W_1 + W_2 \quad \text{watt} \dots \dots \dots (2.24)$$

I_{nl} , arus phasa stator :

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

Rugi-rugi tahanan stator :

$$P_{1Rs} = 3 I_{nl}^2 \cdot R_s \dots \dots \dots (2.26)$$

Besarnya rugi-rugi putaran :

$$P_{loss} = P_{th} - P_{1Rs} \dots \dots \dots (2.27)$$

Reaktansi diri stator :

$$X_{ss} - X_s + X_m = X_{th}$$

Dimana:

I_{th} = arus tanpa beban

P_{th} = masukan daya ke stator pada keadaan tanpa beban

P_{rot} = rugi-rugi putaran tanpa beban

Tahanan inti adalah :

$$R_C = \frac{V_{th}^2}{P_{th}}$$

Resistansi tanpa beban adalah :

$$R_{tb} = R_1 \dots \dots \dots (2.28)$$

Impedansi tanpa beban adalah :

$$Z_{nl} = \frac{V_{th}}{\sqrt{3}I_{th}} \dots \dots \dots (2.29)$$

$$Z_{th} = R_{tb} + j X_{th} \dots \dots \dots (2.30)$$

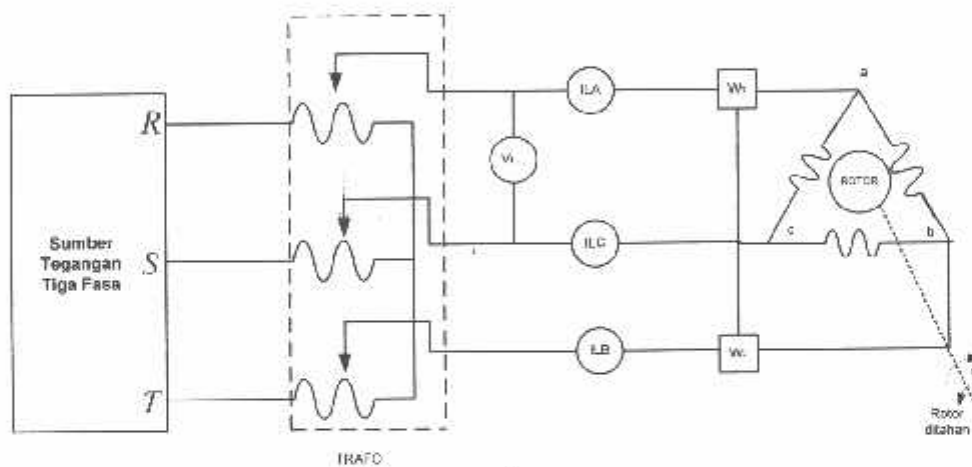
Reaktansi tanpa beban adalah :

$$X_{th} = \sqrt{Z_{th}^2 - R_1^2} \dots \dots \dots (2.31)$$

$$X_m = X_{th} - X_1 \dots \dots \dots (2.32)$$

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 2-12 : Diagram Pengujian Rotor Tertahan

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

$$P_{3-\phi} = W_1 + W_2 \quad \text{watt} \dots \dots \dots (2.33)$$

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

I_{br} , arus phasa stator :

$$I_{br} = \frac{I_a + I_b + I_c}{3} \text{ Ampere} \dots\dots\dots (2.34)$$

Resistansi rotor tertahan adalah :

$$R_{rt} = \frac{P_{rt}}{3I_n^2} \dots\dots\dots (2.35)$$

Impedansi rotor tertahan adalah :

$$Z_{rt} = \frac{V_{rt}}{\sqrt{3}I_n} \dots\dots\dots (2.36)$$

Reaktansi rotor tertahan adalah :

$$X_{ek} = \sqrt{Z_{ek}^2 - R_{ek}^2} \dots\dots\dots (2.37)$$

$$X_{ek} = X_1 + X_2 \dots\dots\dots (2.38)$$

Dimana:

I_{rt} = arus pada keadaan rotor tertahan

P_{rt} = masukan daya ke stator pada keadaan rotor tertahan

V_{rt} = tegangan terminal stator pada keadaan rotor tertahan

Motor induksi yang dipakai adalah motor induksi dengan rotor sangkar tunggal.

Secara umum X_s dan X_r diasumsikan sama sehingga :

$$X_s = X_r = \frac{1}{2} X_{ek} \dots\dots\dots (2.39)$$

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 :

$$X_{ss} - X_{tb} = X_c + X_m \dots\dots\dots (2.40)$$

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 :

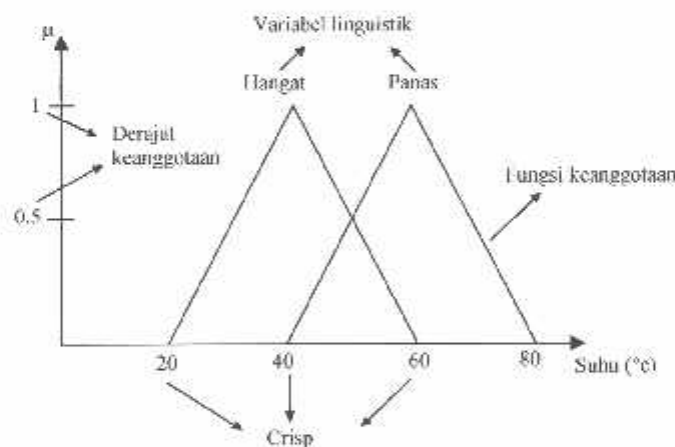
$$\mu_A(X) : \begin{cases} 1 & \text{jika } \epsilon A \\ 0 & \text{jika } \notin A \end{cases} \dots\dots\dots(3.1)$$

dimana ϵ 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

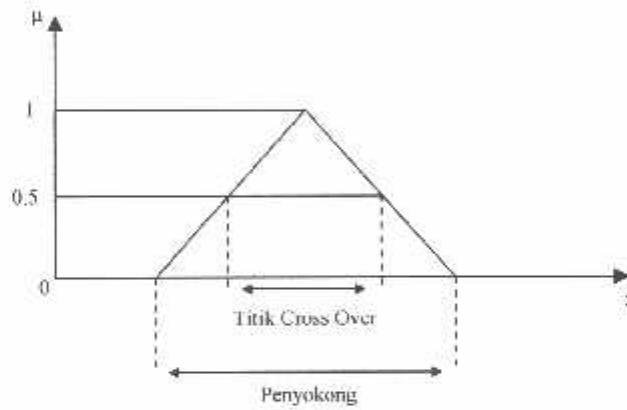
Jika X mempunyai elemen-elemen atau titik-titik yang terdiri dari x maka suatu elemen x dalam himpunan bagian fuzzy A mempunyai derajat keanggotaan $\mu_A(x)$. Jika $\mu_A(x) = 1$ maka x adalah himpunan bagian A, begitu pula sebaliknya

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

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

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

Contoh sederhana agar lebih memahami pernyataan-pernyataan tersebut yaitu :

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

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

Atau

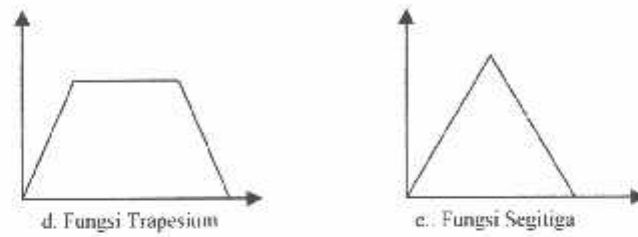
$$C = \text{Lalapan} \mid 0.2 + \text{Rujak} \mid 0.4 + \text{Roti isi} \mid 0.8 - \text{Tahu campur} \mid 0.6$$

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

3.4. Fungsi Keanggotaan Himpunan Fuzzy

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

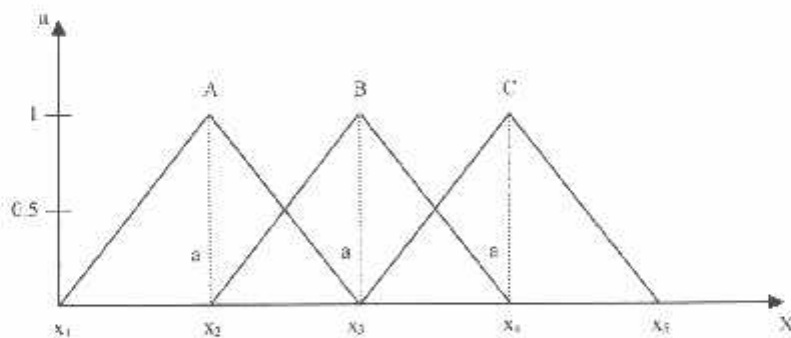
Fungsi keanggotaan dapat berbentuk fungsi segitiga, fungsi eksponen, trapesium, fungsi S atau fungsi Z. Gambar 3-3 memperlihatkan fungsi-fungsi yang dimaksud. Disini dipilih pendekatan dengan fungsi segi tiga karena mempunyai perhitungan yang lebih cepat.



Gambar 3-3

Bentuk – Bentuk Fungsi Keanggotaan

Sumber : Ir. Rusdianto Effendie Abdul Kadier, MT, PERANCANGAN KONTROLLER LOGIKA FUZZY SWA-ATUR TAK LANGSUNG UNTUK MENGATUR KECEPATAN MOTOR DC, Thesis Magister Elektro IIB, 1998, hal 15



Gambar 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.

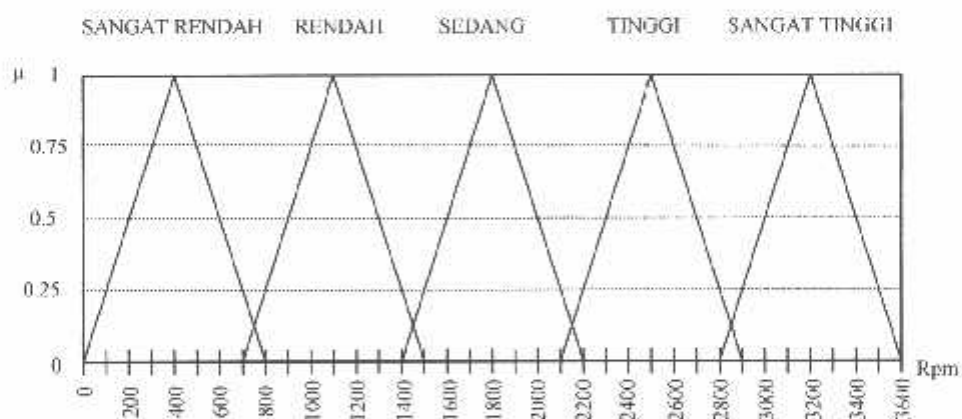
Secara sederhana variabel linguistik dapat dinyatakan dengan pasangan $(\mu, T(\mu), X)$. μ menyatakan nama variabel dan $T(\mu)$ adalah istilah yang menyatakan seperangkat nama dari besaran linguistik untuk himpunan bagian fuzzy pada semesta pembicaraan X . Sebagai contoh variabel kecepatan dipakai 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 $u = NS$ “

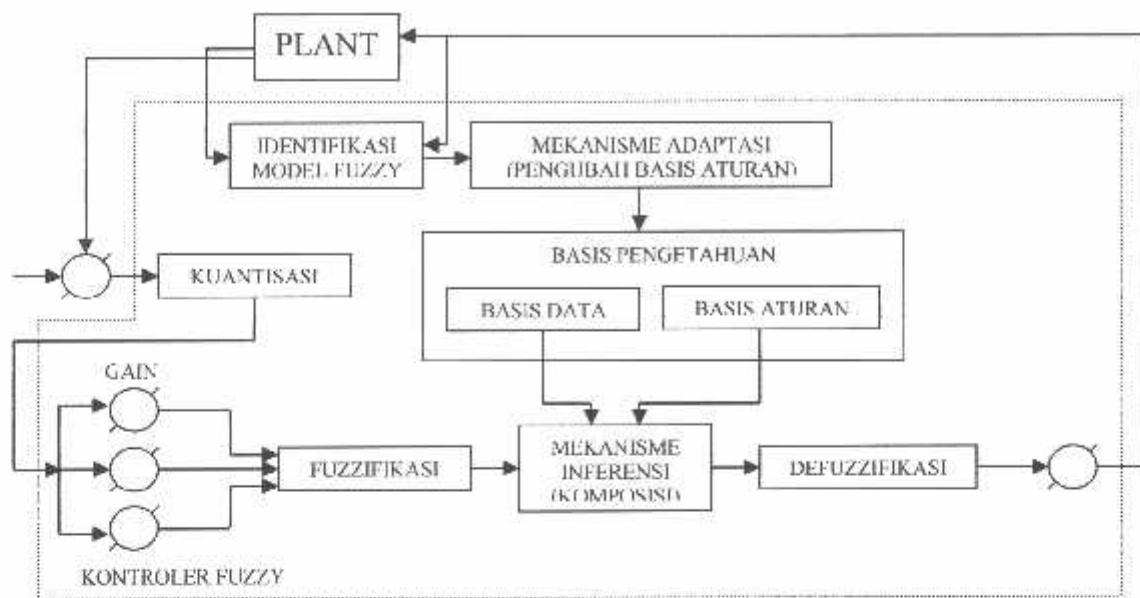
Dimana e = error output dengan variabel linguistik NB, Δe = perubahan error dengan variabel linguistik PK, dan u = sinyal atur dengan variabel linguistik NS.

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.

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

3.6.1. Fuzzifikasi

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

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

Fuzzifikasi dinyatakan oleh pernyataan $x = \text{Fuzzifier}$ dimana X adalah masukan crisp (non fuzzy), x adalah himpunan fuzzy yang disertai dengan derajat keanggotaan dan fuzzifier adalah operator fuzzifikasi. Sebagai contoh, fuzzifier

(720 rpm) = himpunan sangat rendah dengan derajat keanggotaan 0.2 dan fuzzifier (720 rpm) = himpunan rendah dengan derajat keanggotaan 0.05.

3.6.2. Basis Pengetahuan

Basis pengetahuan (knowledge base) dalam fuzzy logic controller adalah bagian yang berisi basis data dan basis aturan. Basis pengetahuan harus dipersiapkan terlebih dahulu sebelum proses yang lain dimulai, sehingga pada saat melakukan proses mekanisme inferensi basis pengetahuan langsung dapat dipergunakan.

3.6.2.1. Basis Data

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

1) Kuantisasi.

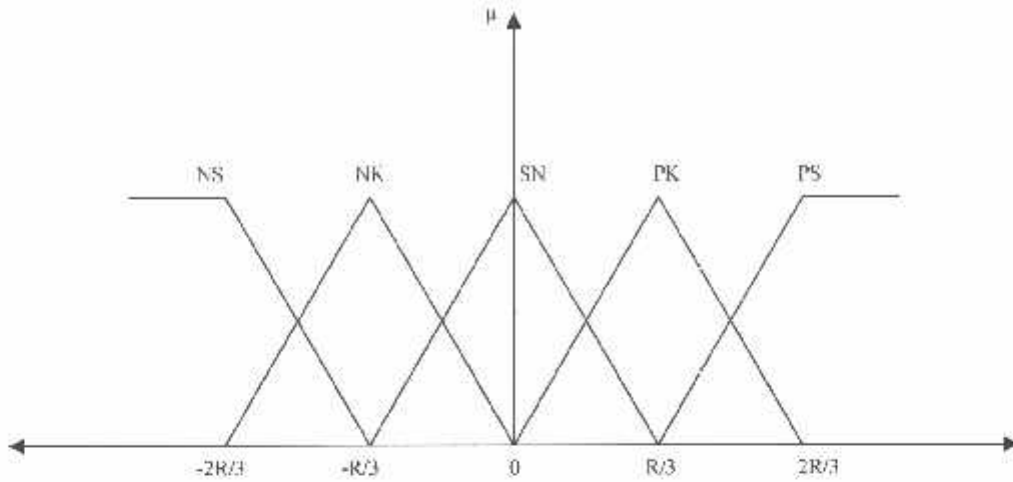
Dalam aplikasi industri harga terukur adalah analog. Harga ini harus diubah menjadi harga digital dengan ADC (Analog to Digital Converter) agar dapat diproses oleh komputer. Selanjutnya oleh komponen elektronik dirangkaian controller (biasanya dengan IC khusus fuzzy logic yaitu AL 220 atau NLX 220) dilakukan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

Himpunan fuzzy untuk setiap variabel dinyatakan dengan ungkapan linguistik NB (Negatif Besar), NS (Negatif Sedang), NK (Negatif Kecil), SN (Sekitar Nol), PK (Positif Kecil), PS (Positif Sedang), dan PB (Positif Besar) atau ungkapan lainnya seperti tinggi, sedang, kecil, panas, hangat, dingin dan sebagainya. Tabel 3-1 menunjukkan contoh data kuantisasi dengan lima variabel linguistik dan gambar 3-8 merupakan himpunan fuzzy yang terkuantisasi.

Tabel 3-1

Data Kuantisasi Himpunan Fuzzy

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



Gambar 3-8

Himpunan Fuzzy Yang Terkuantisasi

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

2) Pemilihan fungsi keanggotaan

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

3.6.2.2 Basis Aturan

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

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

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

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

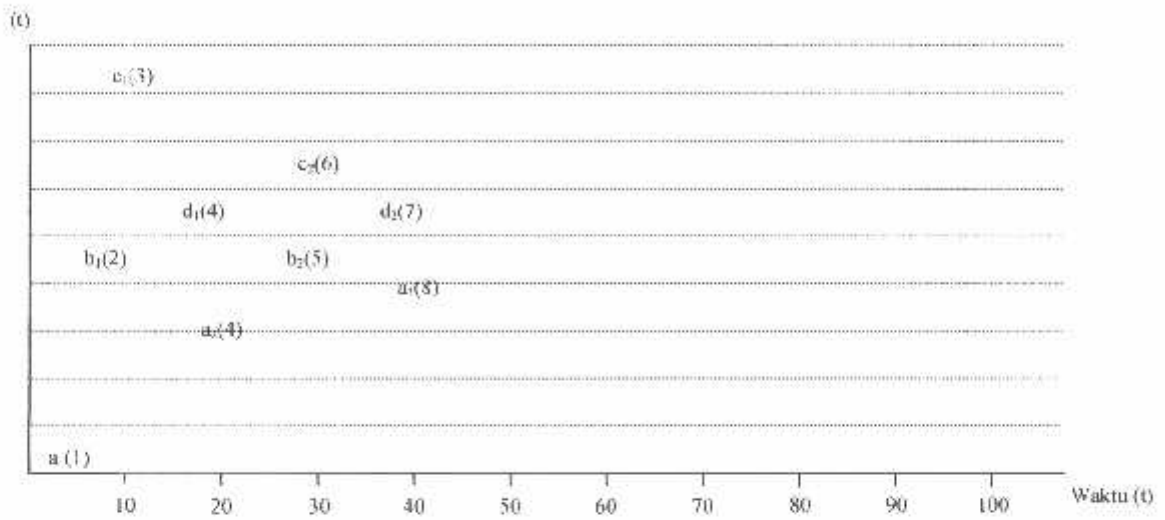
Dengan menggunakan kaidah diatas, dapatlah dibuat tabel aksi kontrol melalui verbalisasi respons lingkaran terbuka dari plant, yaitu tabel 3-4.

Tabel 3-3
Verbalisasi Basis Aturan Pada Kontroller Fuzzy
Yang Digunakan

ΔE	NB	NS	NK	SN	PK	PS	PB
NB				NB(3)			
NS				NS(7)			
NK				NK(11)			
SN	NB(2)	NS(6)	NK(10)	SN(313)	NK(3)	PS(3)	PB(3)
PK				PK(9)			
PS				PS(5)			
PB				PB(1)			

Catatan :

- Isi tabel adalah aksi kontrol yang dianjurkan oleh operator.
- Angka didalam tanda kurung menyatakan urutan kaidah kontrol yang diturunkan dari interpretasi titik kritis kurva respons plant terhadap input unit step, seperti pada gambar 3-20. Sebagai contoh pada titik maksimum C_2 (6) adalah aksi kontrol ke 6 NS (6) yang dianjurkan.



Gambar 3-12

Kurva Output Terhadap Input Unit Step

C. Pemilihan struktur controller (Fuzzy PI) Untuk Sistem yang Digunakan

Kontroller fuzzy type PI merupakan sistem fuzzy empat dimensi yang berasal dari tiga dimensi input dan satu dimensi output, output dari kontroller ini merupakan pemetaan fuzzy nonlinier $F: E \times \Delta E \times \Delta_2 E \Rightarrow U$; atau dalam formulasi variabel fuzzy e , de , d^2e dan dapat dituliskan sebagai fungsi nonlinier, yaitu :

$$u = f(e, de, d^2e) \dots\dots\dots(3.10)$$

Dalam keadaan tertentu, hubungan ini dapat pula dituliskan dalam bentuk dekomposisi :

$$U = f(e, de, d^2e). e + f(e, de, d^2e).de + f(e, de, d^2e). d^2e \dots\dots\dots(3.11)$$

Bentuk yang terakhir ini merupakan penyajian umum dari kontroller PI dengan gain nonlinier dan biasanya berubah terhadap waktu.

Aksi controller fuzzy type PI agar dapat dengan mudah dibaca dari matrik kaidah dua dimensi, atau tabel kaidah atur. Dalam hal ini digunakan dekomposisi controller Pideterministik, dimana gain integrasi K_i dianggap sebagai variabel fuzzy. Output dari controller fuzzy PI ini dapat dituliskan sebagai berikut :

$$U_{PI} = U_p + \text{FUZZY } (K_i) \cdot \Sigma E \dots\dots\dots(3.12)$$



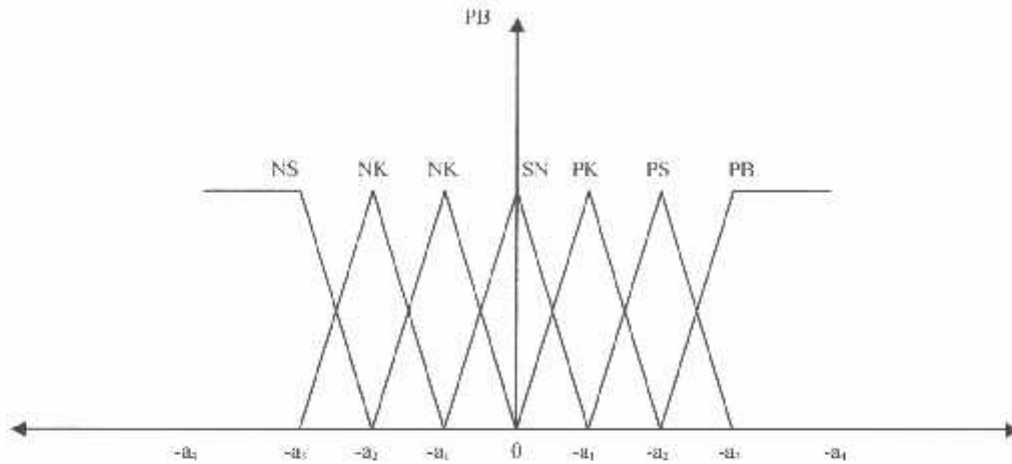
Gambar 3-13

Kontroller Fuzzy Type Ke-3

D. Pendefinisian Fungsi Keanggotaan Penyokong Fuzzy yang Digunakan

- Basis Data

Untuk memperoleh proses defuzzifikasi, diperlukan pendefinisian fungsional pada mutu keanggotaan merupakan fungsi keanggotaan. Dalam hal ini dipilih fungsi keanggotaan dalam bentuk segitiga sama kaki. Secara umum fungsi keanggotaan untuk tujuh buah penyokong tersebut dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 3-14

Bentuk Umum Dari Anggota Penyokong

Bentuk umum dari fungsi keanggotaan pada tiap penyokong fuzzy dapat dituliskan sebagai berikut :

$x_1 = \{NB\} \mu_x = 1$	untuk $x \leq -a_3$
$\mu_x = (x + a_2)/(a_2 - a_3)$	untuk $x - a_3 \leq x \leq -a_2$
$\mu_x = 0$	untuk $x \geq -a_2$
$x_2 = \{NS\} \mu_x = (x + a_3)/(a_3 - a_2)$	untuk $-a_3 \leq x \leq -a_2$
$\mu_x = (x + a_1)/(a_1 - a_2)$	untuk $-a_2 \leq x \leq -a_1$
$\mu_x = 0$	untuk $x \leq -a_2$ atau $x \geq -a_1$
$x_3 = \{NK\} \mu_x = (x + a_2)/(a_2 - a_1)$	untuk $-a_2 \leq x \leq -a_1$
$\mu_x = (x)/(a_1)$	untuk $-a_1 \leq x \leq 0$
$\mu_x = 0$	untuk $x \leq -a_2$ atau $x \geq 0$
$x_4 = \{SN\} \mu_x = (x + a_1)/(a_1)$	untuk $-a_1 \leq x \leq 0$
$\mu_x = (x - a_1)/(-a_1)$	untuk $0 \leq x \leq a_1$
$\mu_x = 0$	untuk $x \leq -a_1$ atau $x \geq a_1$

$$\begin{aligned}
x_5 = \{PK\} \mu_x &= (x) / (a_1) && \text{untuk } 0 \leq x \leq a_1 \\
\mu_x &= (x-a_2)/(-a_1-a_2) && \text{untuk } a_1 \leq x \leq a_2 \\
\mu_x &= 0 && \text{untuk } x \leq 0 \text{ atau } x \geq a_2 \\
x_6 = \{PS\} \mu_x &= (x - a_1) / (a_2 - a_1) && \text{untuk } a_1 \leq x \leq a_2 \\
\mu_x &= (x-a_3)/(a_2-a_3) && \text{untuk } a_2 \leq x \leq a_3 \\
\mu_x &= 0 && \text{untuk } x \leq a_1 \text{ atau } x \geq a_3 \\
x_7 = \{PB\} \mu_x &= (x - a_2) / (a_3 - a_2) && \text{untuk } a_1 \leq x \leq a_2 \\
\mu_x &= 1 && \text{untuk } x \geq a_3 \\
\mu_x &= 0 && \text{untuk } x \leq a_2
\end{aligned}$$

Dengan menggunakan bentuk umum tersebut, dapatlah didefinisikan fungsi keanggotaan tiap penyokong fuzzy, menurut jelajah dari tiap himpunan semestanya, yaitu melalui pendefinisian nilai a_1, a_2, a_3, a_4 . Dan untuk tiap semesta pembicaraan diatas harga a_1, a_2, a_3, a_4 dapat didefinisikan sebagai berikut :

- ❖ Error merupakan selisih antara acuan dengan output dari sistem yang didefinisikan sebagai variabel fuzzy yang pertama merupakan himpunan semesta error $E = \{E_i, \text{ dengan } i = 1 \dots 7\}$ dengan jelajah -10 sampai dengan $+10$ dan mempunyai tujuh buah penyokong masing-masing $E_1 = NK(\text{Negatif Kecil}), E_2 = SN (\text{Sekitar Nol}), E_3 = PK (\text{Positif Kecil}), E_4 = PS(\text{Positif Sedang}), E_5 = PB (\text{Positif Besar})$ yang didefinisikan bahwa semua fungsi keanggotaan sama lebar dan simetris dengan nilai a_1, a_2, a_3, a_4 masing-masing adalah $a_1 = 2,5, a_2 = 5, a_3 = 7,5, a_4 = 10$.
- ❖ Delta error merupakan selisih antara error sekarang dengan error sebelumnya didefinisikan sebagai variabel fuzzy yang kedua, merupakan

himpunan semesta $\Delta E = \{\Delta E_i, \text{ dengan } i = 1 \dots 7\}$ dengan jelajah -20 sampai dengan $+20$ dan mempunyai tujuh buah penyokong masing $\Delta E_2 = \text{NS}$ (Negatif Sedang), $\Delta E_3 = \text{NK}$ (Negatif Kecil), $\Delta E_4 = \text{SN}$ (Sekitar Nol), $\Delta E_5 = \text{PK}$ (Positif Kecil), $\Delta E_6 = \text{PS}$ (Positif Sedang), $\Delta E_7 = \text{PB}$ (Positif Besar) didefinisikan bahwa fungsi keanggotaan mempunyai lebar yang tak sama (tak simetris), hal ini dilakukan dengan pertimbangan bahwa dinamika perubahan error sering terjadi pada harga sekitar nol. Nilai a_1, a_2, a_3, a_4 masing-masing adalah $a_1 = 5, a_2 = 10, a_3 = 15, a_4 = 20$.

- ❖ Gain fuzzy merupakan pembangkit aksi integral, didefinisikan dengan variabel fuzzy ketiga, merupakan himpunan semesta $K = \{K_i \text{ dengan } i = 1 \dots 7\}$ dengan jelajah -1 sampai dengan $+1$ dan mempunyai tujuh buah penyokong masing-masing $K_1 = \text{NB}, K_2 = \text{NS}, K_3 = \text{NK}, K_4 = \text{SN}, K_5 = \text{PK}, K_6 = \text{PS}, K_7 = \text{PB}$ yang didefinisikan bahwa semua fungsi keanggotaan sama lebar dan simetris dengan nilai $a_1 = 0.25, a_2 = 0.5, a_3 = 0.75, a_4 = 1.0$.
- ❖ Output controller merupakan aksi kontrol yang dihasilkan oleh kontroler didefinisikan sebagai variabel fuzzy yang keempat berupa himpunan semesta $U = \{U_i \text{ dengan } i = 1 \dots 7\}$ dengan jelajah -30 sampai dengan $+30$ dan mempunyai tujuh buah penyokong masing-masing $U_1 = \text{NB}, U_2 = \text{NS}, U_3 = \text{NK}, U_4 = \text{SN}, U_5 = \text{PK}, U_6 = \text{PS}, U_7 = \text{PB}$ yang didefinisikan bahwa semua fungsi keanggotaan sama lebar dan simetris dengan nilai $a_1 = 7.5, a_2 = 15, a_3 = 22.5, a_4 = 30$.

➤ 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 c 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 c 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 c 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 Δc 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 Δc adalah NK maka U adalah NB
- R₁₁ : Jika c adalah NS dan Δe adalah SN maka U adalah NS
- R₁₂ : Jika e adalah NS dan Δc adalah PK maka U adalah NK
- R₁₃ : Jika c adalah NS dan Δe adalah PS maka U adalah SN
- R₁₄ : Jika e adalah NS dan Δc adalah PB maka U adalah PK
- R₁₅ : Jika e adalah NK dan Δe adalah NB maka U adalah NB
- R₁₆ : Jika e adalah NK dan Δe adalah NS maka U adalah NB
- R₁₇ : Jika e adalah NK dan Δe adalah NK maka U adalah NS
- R₁₈ : Jika e adalah NK dan Δe adalah SN maka U adalah NK

- R₁₉ : Jika e adalah NK dan Δe adalah PK maka U adalah SN
- R₂₀ : Jika e adalah NK dan Δe adalah PS maka U adalah PK
- R₂₁ : Jika e adalah NK dan Δe adalah PB maka U adalah PS
- R₂₂ : Jika e adalah SN dan Δe adalah NB maka U adalah NB
- R₂₃ : Jika e adalah SN dan Δe adalah NS maka U adalah NS
- R₂₄ : Jika e adalah SN dan Δe adalah NK maka U adalah NK
- R₂₅ : Jika e adalah SN dan Δe adalah SN maka U adalah SN
- R₂₆ : Jika e adalah SN dan Δe adalah PK maka U adalah NK
- R₂₇ : Jika e adalah SN dan Δe adalah PS maka U adalah PS
- R₂₈ : Jika e adalah SN dan Δe adalah PB maka U adalah PB
- R₂₉ : Jika e adalah PK dan Δe adalah NB maka U adalah NS
- R₃₀ : Jika e adalah PK dan Δe adalah NS maka U adalah NK
- R₃₁ : Jika e adalah PK dan Δe adalah NK maka U adalah SN
- R₃₂ : Jika e adalah PK dan Δe adalah SN maka U adalah PK
- R₃₃ : Jika e adalah PK dan Δe adalah PK maka U adalah PS
- R₃₄ : Jika e adalah PK dan Δe adalah PS maka U adalah PB
- R₃₅ : Jika e adalah PK dan Δe adalah PB maka U adalah PB
- R₃₆ : Jika e adalah PS dan Δe adalah NB maka U adalah NK
- R₃₇ : Jika e adalah PS dan Δe adalah NS maka U adalah SN
- R₃₈ : Jika e adalah PS dan Δe adalah NK maka U adalah PK
- R₃₉ : Jika e adalah PS dan Δe adalah SN maka U adalah PS
- R₄₀ : Jika e adalah PS dan Δe adalah PK maka U adalah PB
- R₄₁ : Jika e adalah PS dan Δe adalah PS maka U adalah PB

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

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

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

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

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

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

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

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

➤ Cara Kerja Fuzzy Logic Controller

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

Variabel masukan adalah :

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

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

1. Tahap fuzzifikasi

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

yaitu :

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

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

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

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

2. Mekanisme Inferensi

- Tahap pertama adalah melakukan operasi minimum dilakukan dengan menentukan nilai minimum antara $\mu_{PK}(e[k])$, $\mu_{PS}(e[k])$, $\mu_{SN}(de[k])$, $\mu_{PK}(de[k])$ dan menyesuaikannya dengan basis aturan dari tabel Mac Vicar Whelan, yaitu

$$\mu_{R32} = \wedge[\mu_{PK}(e[k]), \mu_{SN}(de[k])] > \mu_{R33} = \wedge[\mu_{PK}(e[k]), \mu_{PK}(de[k])]$$

$$\mu_{R39} = \wedge[\mu_{PS}(e[k]), \mu_{SN}(de[k])] > \mu_{R40} = \wedge[\mu_{PS}(e[k]), \mu_{PK}(de[k])]$$

- Tahap kedua adalah melakukan operasi maksimum atau gabungan.

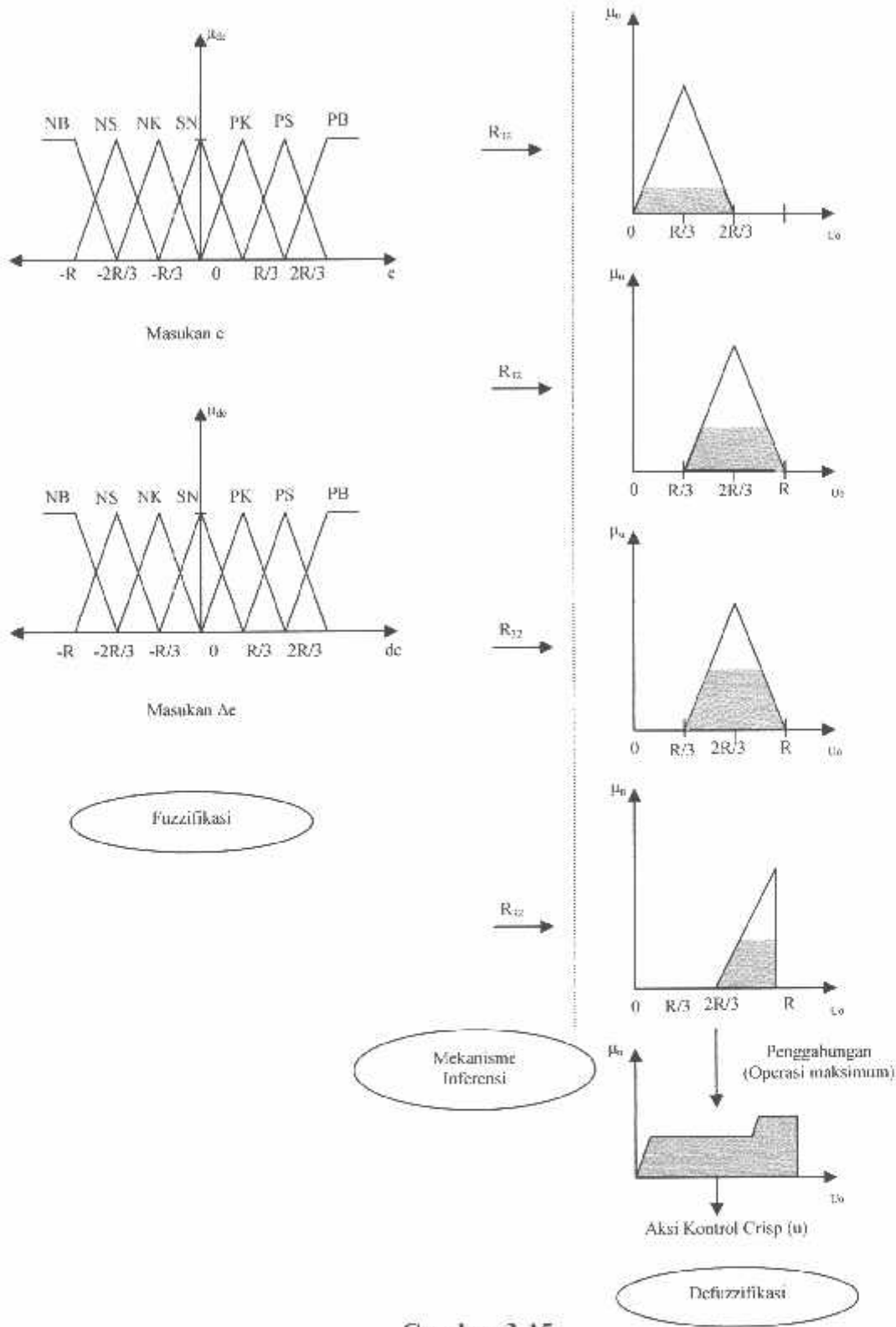
3. Tahap defuzzifikasi dengan metode center of area atau center of gravity yang didasarkan oleh persamaan (3.9), yaitu:

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

dengan i adalah sesuai dengan aturan kontrollnya.

Rumus diatas menjadi :

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



Gambar 3-15

Langkah Kerja Fuzzy Logic Controller

3.11 Algoritma Program Pemecahan Masalah secara umum

1. Memasukkan Input data berupa papan nama (*name plate*) dari motor induksi meliputi
 - Tegangan nom (U)
 - Arus nominal (A)
 - Kecepatan putar rotor nominal (rpm)
 - Cos Phi
 - Frekuensi (F)
 - T nominal (N.m)
2. Proses evaluasi parameter Fuzzy Logic Controller
3. Identifikasi Parameter
4. Cetak hasil parameter dan grafik torsi

3.12 Algoritma Proses Pembentukan FIS (*Fuzzy Inference System*)

1. Memasukkan Input data berupa papan nama (*name plate*) dari motor induksi meliputi:
 - Tegangan nom (U),
 - Arus nominal (A)
 - Kecepatan putar rotor nominal (rpm)
 - Cos Phi dan
 - Frekuensi (F)
 - T nominal (N.m)
2. Proses *Fuzzyfikasi* atau pengkaburan
3. Proses Penentuan aturan (*Rule Evaluation*)
4. Proses *Defuzzyfikasi*
5. Cetak Hasil Parameter dan grafik torsi

BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISIS

4.1. Pengujian Parameter Motor Induksi Tiga Phasa.

4.1.1. Alat-alat Yang Digunakan

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

Data papan-nama (*nameplate*) :

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

2. Voltmeter
3. Ampermeter
4. Wattmeter
5. Tachometer
6. AC Voltage Regulator
7. DC Supply

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

Tabel 4-1

Data Pengujian Arus Searah

No	V _{DC} (Volt)	I _{DC} (Ampere)
1	4	0,75
2	6	1,12
3	8	1,44
4	10	1,78
5	12	2,14

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

Tabel 4-2

Data Hasil Pengujian Beban Nol

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

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

Tabel 4-2

Data Hasil Rotor Tertahan

I (Ampere)			W 3 Ø (Watt)	V (Volt)
A ₁	A ₂	A ₃		
2,01	2,03	1,59	140	65

4.2. Menghitung parameter Motor Induksi tiga phasa

4.2.1. Analisa Data Pengujian Tanpa Beban:

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

$$R_{ek(1)} = \frac{4}{0.75} = 5.33\Omega$$

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

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

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

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

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

4.2.2. Analisa Data Pengujian Tanpa Beban

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

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

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

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

4.2.3. Dari pengujian rotor tertahan

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

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

$$R_{th} = \frac{P_{(3\phi)}}{3(I_o)^2} = \frac{140}{3(2.0)^2} = 11.67 \Omega$$

$$\begin{aligned} X_{th} &= \sqrt{Z_{th}^2 - R_{th}^2} \\ &= \sqrt{18.76^2 - 11.67^2} \\ &= 14.6 \Omega / \text{Phasa} \end{aligned}$$

$$X_{th} = X_s + X_r'$$

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

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

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

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

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

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

$$= 182,28 \Omega$$

Resistansi stator dapat dipandang sebagai harga Denya maka resistansi rotor dapat ditentukan sebagai berikut :

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

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

$$= 6,18 \Omega$$

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

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

$$= 189,58 \Omega$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Tabel 4-4

Hasil Perhitungan Pengujian Parameter Motor induksi Tiga Phasa

R_s	R_r	X_s	X_r	X_m	L_s	L_r	L_m
5,49	6,68	7,3	7,3	182,28	0,023248	0,023248	0,5805

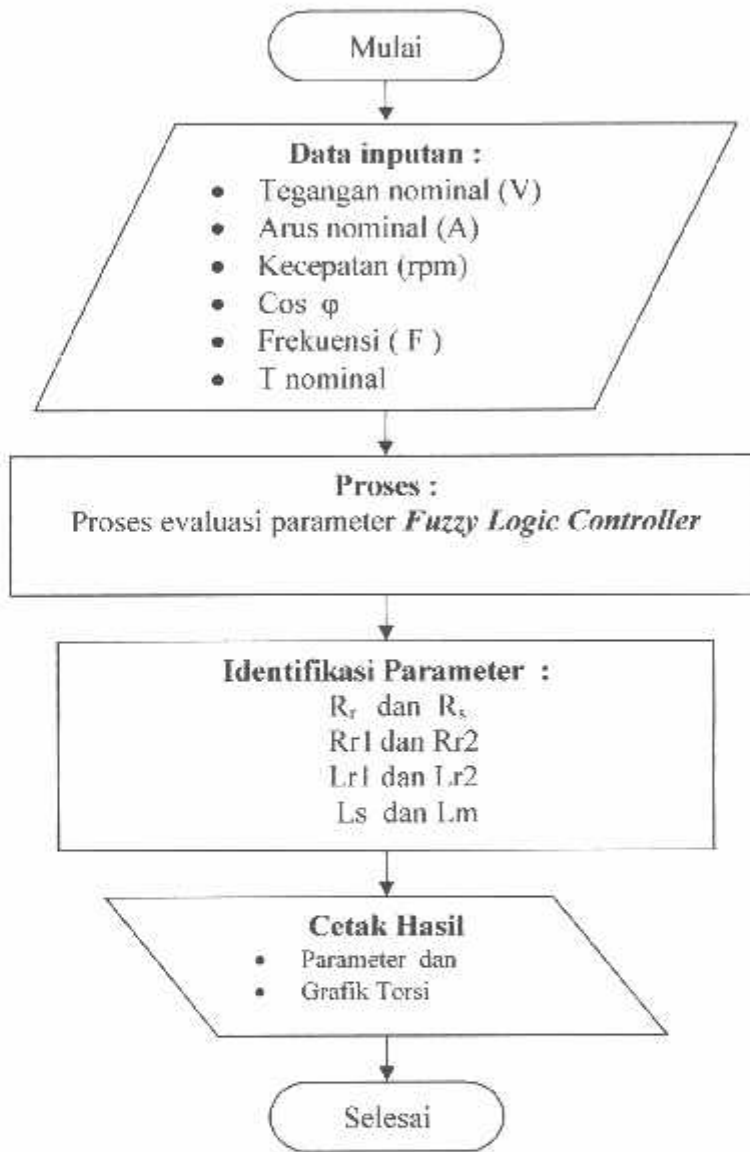
4.3. Nilai-nilai Input untuk Program Fuzzy Logic Controller .

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

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

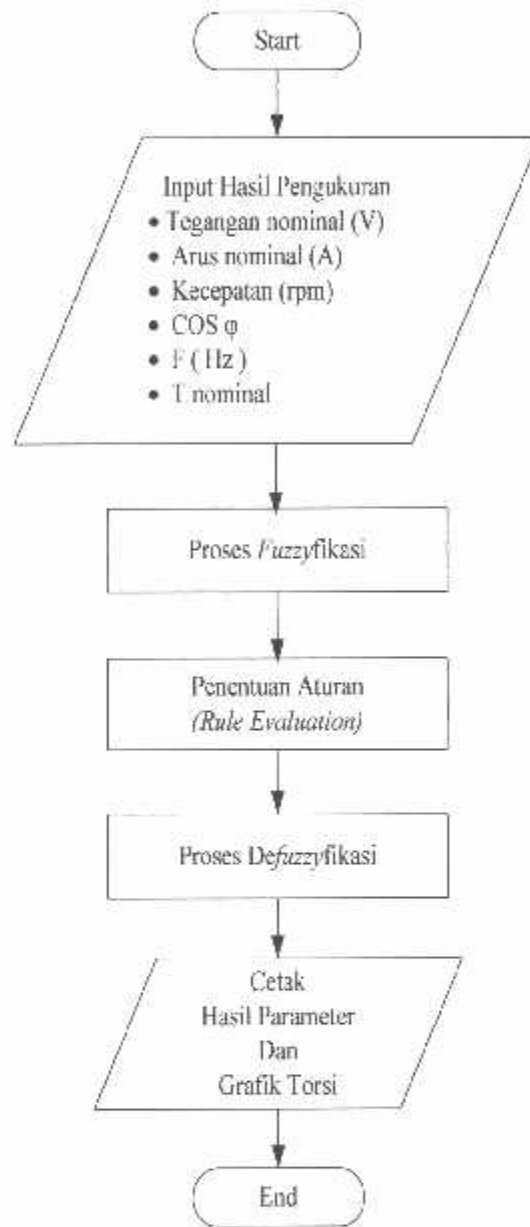
4.4. Flowchart Algoritma Program

4.4.1 Flowchart Pemecahan Masalah Secara Umum



Gambar 4.1: Flowchart Pemecahan Masalah Secara Umum

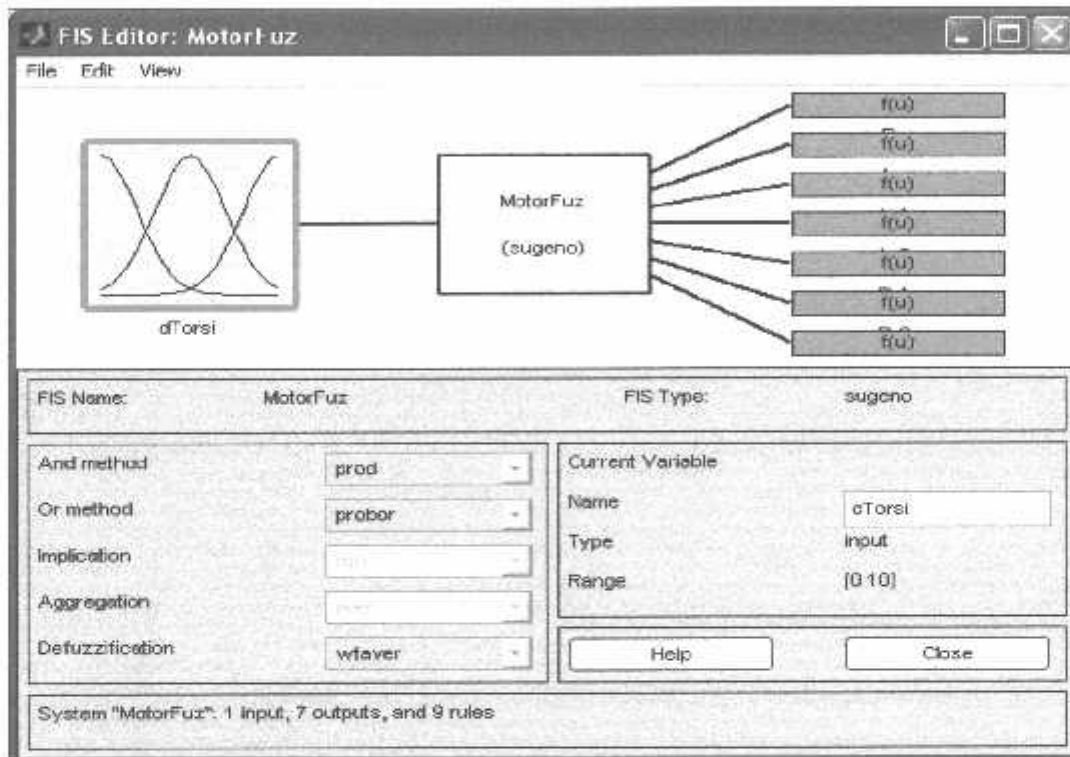
4.4.2. Flowchart Proses Pembetulan FIS (*Fuzzy Inference System*)



Gambar 4.2 : Flowchart Proses Pembetulan FIS (*Fuzzy Inference System*)

4.2.3. Fuzzy Logic Controller

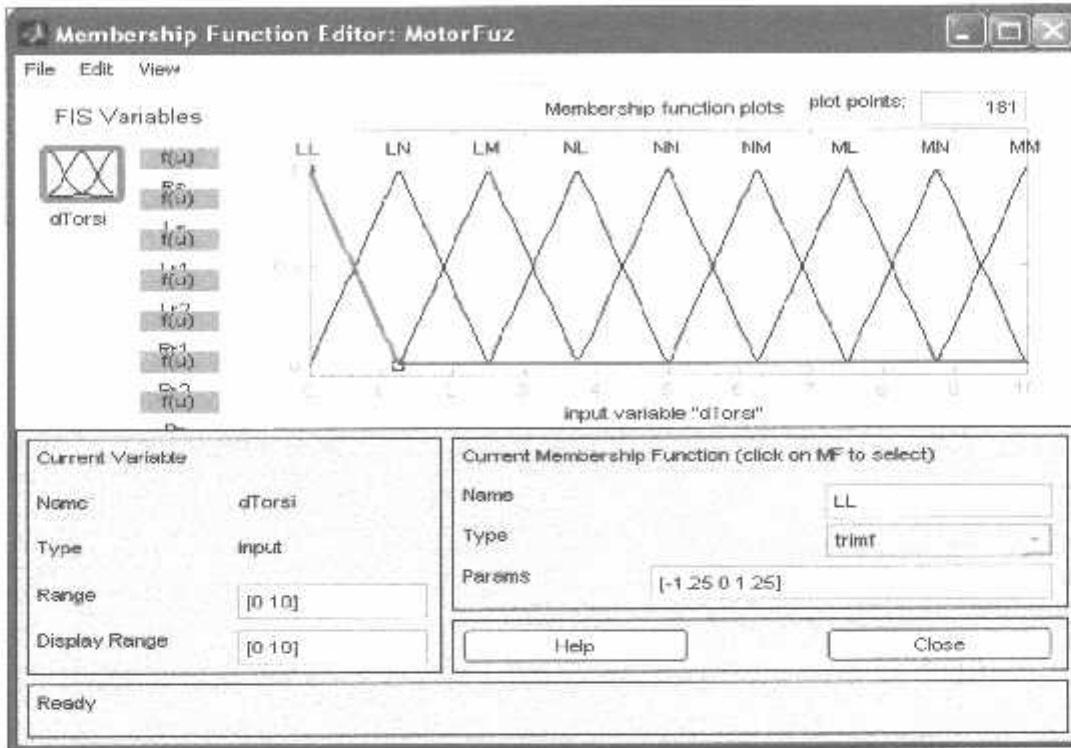
Pada vektrol control dalam model system identifikasi parameter untuk fuzzy menggunakan metode Sugeno. Berikut ini tampilan block Fuzzy Logic Controller yang digunakan.



Gambar 4.3

Proses Fuzzyfikasi FIS editor

Pada metode Fuzzy yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode Fuzzy dengan satu input dan sembilan output. Input satu sebagai delta error (de), tiap input mempunyai sembilan membership function, sehingga keluarannya merupakan perkalian dari kedua input tadi. Adapun membership function dari tiap-tiap input adalah sebagai berikut :



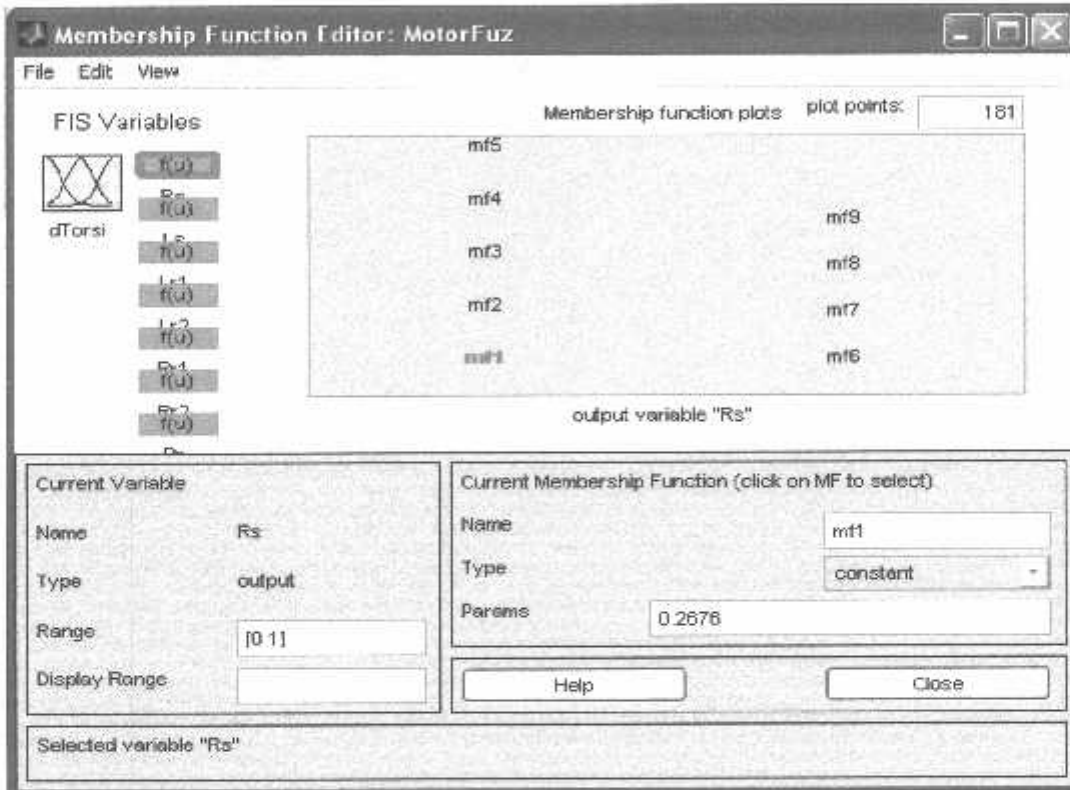
Gambar 4.4

Membership Function Input 1

Tipe *membership function* yang digunakan adalah tipe *trimf* dengan range antara 0 dan 10. Untuk input 1 membership functionnya ada sembilan, yaitu:

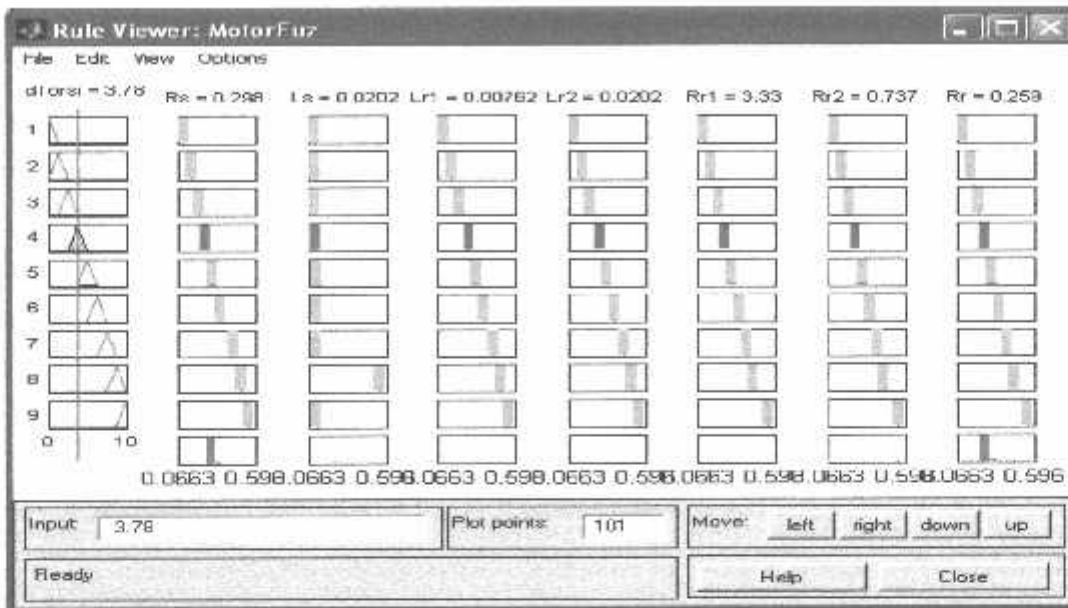
- LL (*input1 membership function1*) dengan params [-1.25 0 1.25]
- LN (*input1 membership function2*) dengan params [0 1.25 2.5]
- LM (*input1 membership function3*) dengan params [1.25 2.5 3.75]
- NL (*input1 membership function4*) dengan params [2.5 3.75 5]
- NN (*input1 membership function5*) dengan params [3.75 5 6.25]
- NM (*input1 membership function6*) dengan params [5 6.25 7.5]

- M1. (*input1 membership function7*) dengan params [6.25 7.5 8.754]
- MN (*input1 membership function8*) dengan params [7.5 8.754 10]
- MM (*input1 membership function9*) dengan params [8.754 10 11.25]



Gambar 4.5

Tampilan Output Fuzzy



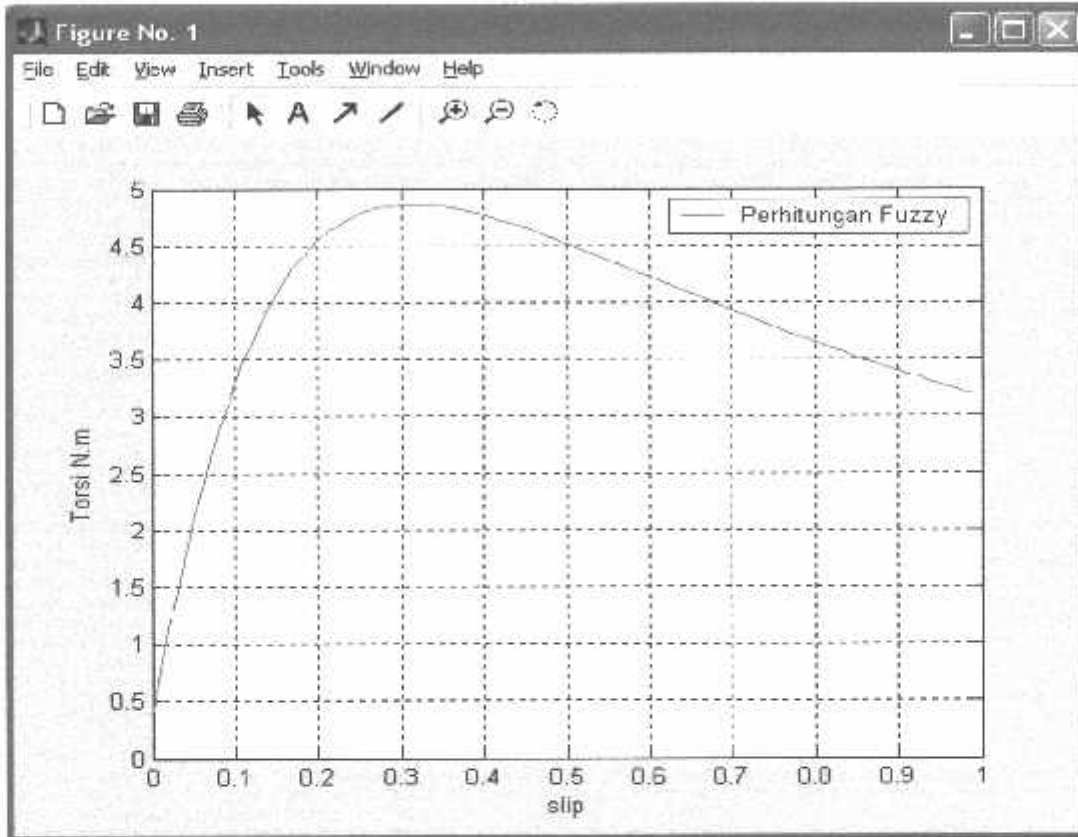
Gambar 4.6
Rule Base

```

1  % Parameter Identification of an Induction Motor
2  % Using Fuzzy Logic Control
3
4  clear
5  nmax=0.05;
6  Lmax=5.7;
7  D=4;
8  Tnom=1100;
9  Tnom=20/(1+0.5);
10  nmax=acos(0.93);
11  nmax=78.88/100;
12  Pmax=2020;
13  pRr2=0.5;
14  pRr1=2;
15  pRr=0.2;
16  [Pa, Lp, Lr1, Lr2, Rr1, Rr2, Tnom]=ParamMotor(nmax, Lmax, p, Pmax, Tnom, nmax, nmax, pRr2, pRr1, pRr);
17  [Isp, I, Tnom, Aspd, a, num25z, Dmax, a, M, C, I];
18  a=0.05;
19  V=Umax;
20  A=nmax;
21  E=Emax;
22  fsp=0.9972410;
23  E=ceil(Esp)/Nmax;
24  out=evalin('workspace', [Isp, fsp]);
25  R=ceil(I);
26  L=ceil(Lp);
27  Lr1=ceil(Lr1);
28  Lr2=ceil(Lr2);
29  Rr1=ceil(Rr1);
30  Rr2=ceil(Rr2);
31  D=ceil(D);
32  [Tnom2, Id, Isp, Tnom, Pa, Pa, Lp, Lr1, Lr2, Rr1, Rr2, Rr, Xd, V, p, A, E];
33  [I, Tnom, Aspd, a, num25z, Tnom2, Dmax, I];
34  [I, Tnom, Tnom2, a, num25z, (abs(I)-I)/Tnom, Pmax, I];
35  disp(' ');
36  disp(' Rotor Induksi Tiga-Tiga DE LORENZO / 01.10.11');
37  disp(' ');

```

Gambar 4.7
Tampilan Perhitungan Fuzzy



Gambar 4.6

Hasil karakteristik Torsi

4.6. Hasil Identifikasi Parameter Dari Rangkaian Equivalen Dengan Menggunakan Fuzzy Logic Controller

Tabel 4-5

Parameter	Type DL 1021 DELORENZO
Power(W)	1100
Putaran (Rpm)	2820
R_s (Ω)	5,481
L_s (H)	0,020246
L_{r1} (H)	0.023458
L_{r2} (H)	0.024246
L_m (H)	0,5745
R_{r1} (Ω)	6,632
R_{r2} (Ω)	6,625
R_r (Ω)	6,621
T_{nom} (N.m)	3,7249

4.7. Perbandingan Hasil Program Fuzzy Logic Controller Dengan Hasil Pengujian

Tabel 4-6

Parameter	Pengujian	Fuzzy Logic Controller	Error
$R_s (\Omega)$	5,49	5,353	2,40
$R_r (\Omega)$	6,68	6,621	0,88
$X_s (\Omega)$	7,3	7,29	0,14
$X_r (\Omega)$	7,3	7,29	0,14
$X_m (\Omega)$	182,28	182,18	0,1
$L_s (H)$	0,02348	0,02346	0,09
$L_r (H)$	0,02348	0,02346	0,09
$L_m (H)$	0,5805	0,5745	1,03

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan analisis dari uji coba program dengan menggunakan metode Fuzzy Logic Controller pada Identifikasi parameter motor induksi maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Metode Identifikasi parameter pada motor induksi dengan menggunakan metode *Fuzzy Logic Controller* didapatkan karakteristik Torsi (T_{nom}) dengan error 0,00035462 %.
2. Dengan menggunakan metode *Fuzzy Logic Controller* ternyata mempunyai akurasi yang hampir sama dengan hasil pengujian.
3. Metode *Fuzzy Logic Controller* merupakan suatu metode alternatif untuk identifikasi parameter motor induksi tiga phasa. Dengan menerapkan metode ini dari data papan nama (*Name Plate*) dan pengujian sehingga didapatkan nilai parameter-parameter yang belum diketahui.

5.1. Saran

Banyak hal menarik untuk dikaji dari Fuzzy Logic Controller (FLC) ini salah satunya adalah prinsip kerjanya yang hanya berdasarkan aturan yang sangat sederhana yaitu 'jika-maka' Dari kesederhanaan dan kelebihan yang dimilikinya,

kontroler ini sangat diminati dalam perancangan suatu system control. Oleh karena itu untuk pengembangan yang lebih lanjut disarankan:

1. Mencoba mengembangkan aturan dan langkah kerja dari FLC
2. Mencoba menggunakan sistem kontrol lain yang berkaitan dengan fuzzy logic misalnya; Neuro fuzzy, Fuzzy Adaptif.
3. Mencoba membuat / merancang alat kontrolnya yang nantinya dapat dikombinasikan dengan program simulasinya.
4. Mencoba pada motor induksi jenis lain.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Lehtla, Ph. D, “ *Parameter Identification of An Induction Motor Using Fuzzy Logic Controller* “ Iistonia
- [2] Zuhail, “ *Dasar Teknik Tenaga Listrik*”, Penerbit ITB Bandung.
- [3] A. E. Fitzgerald, Charles Kingsley, Jr., Stephen D. Umans, Ir.Djoko Achyanto, M.Sc.EE. “ *Electrical Machinery*”, McGraw-Hill International, Fourth Edition.
- [4] <http://www.enm.com>, Dynamics of 3-phase Induction Motors, Part 1.
- [5] Drs. Yon Rijono “ *Dasar Teknik Tenaga Listrik* “, Penerbit Andi Yogyakarta.
- [6] G K Dubay. “ *Fundamental Of Elektrical Drive* “ ,Toppan Company India
- [7] Sri Kusumadewi, “ *Analisis & Desain Sistem Fuzzy Menggunakan Tool Box Matlab* “, Penerbit GRAHA ILMU

LAMPIRAN



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

BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

1. Nama : ZAINURI
2. NIM : 02.12.074
3. Jurusan : Teknik Elektro S-1
4. Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
5. Judul Skripsi : IDENTIFIKASI PARAMETER MOTOR INDUKSI
TIGA PHASA DENGAN MENGGUNAKAN METODE
FUZZY LOGIC CONTROLLER

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

Hari : RABU
Tanggal : 21 Maret 2007
Dengan Nilai : 81,25 *By*



Ir. Mochtar Asroni, MSME
Ketua

Panitia Ujian Skripsi

Ir. F. Yudi Limpraptono, MT
Sekretaris

Anggota Penguji

Ir. Djojo Priatmono, MT
Penguji Pertama

Ir. Eko Nurcahyo
Penguji Kedua



FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : ZAINURI
Nim : 02.12.074
Masa Bimbingan : 07 Desember 2006 – 07 Juni 2007
Judul Skripsi : IDENTIFIKASI PARAMETER MOTOR INDUKSI TIGA PHASA
DENGAN MENGGUNAKAN METODE FUZZY
LOGIC CONTROLLER

No.	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1.	10 -2 - 2007	Revisi : -Latar belakang, Tujuan, metodologi dan Relevansi - sistematika Penulisan disesuaikan dengan judul.	
2.	18 - 2 -2007	Acc bab I Revisi Bab II : - Gambar Rangkaian Pengujian	
3.	21 - 2 -2007	Acc bab II Revisi Bab III: - Algoritma Program	
4.	28 -2 -2007	Acc bab III Revisi bab IV : - Flowchart sesuai judul, Validasi dan - Grafik Torsi sesuai hasil uji	
5.	7 - 3 - 2007	Acc bab IV Revisi bab V : Kesimpulan tambahkan sesuai analisa	
6.	10 -3 - 2007	Acc Bab V Acc Seminar Hasil	
7.	20 - 3 -2007	Acc Ujian Komprehensif	
8.			
9.			
10.			


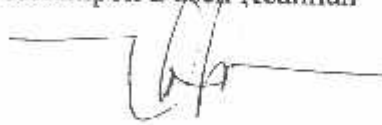
Malang, Maret 2007
Dosen Pembimbing,

Ir. M. Abdul Hamid, MT
Nip.P. 1018800188

Form.S-4b



FORMULIR PENGAJUAN JUDUL SKRIPSI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO/T. ENERGI LISTRIK S-1

1.	Nama Mahasiswa : ZAINURI	Nim : 02.12.074		
2.	Waktu Pengajuan :	Tanggal /	Bulan /	Tahun 2006
Spesifikasi Judul *)				
3.	a. Sistem Tenaga Elektrik b. Mesin-Mesin Elektrik & Elda c. Sistem Pemb.Energi Elektrik	d. Sistem Kendali e. Teknik Tegangan Tinggi f. Lainnya		
4.	Konsultasikan judul sesuai materi bidang ilmu kepada Kelompok Dosen Keahlian **)	Ketua Jurusan,  Ir. F. Yudi J. Impraptono, MT Nip. Y. 1039500274		
5.	Judul yang diajukan mahasiswa	IDENTIFIKASI PARAMETER MOTOR INDUKSI 3 PHASA DENGAN MENGGUNAKAN FUZZY LOGIC CONTROL		
6.	Perubahan Judul yang diusulkan oleh Kelompok Dosen Keahlian			
7.	Cacatan :			
8.	Persetujuan Judul Skripsi yang dikonsultasikan kepada Kelompok Dosen Keahlian	Disetujui, Kelompok Dosen Keahlian  Tanggal : 6-9-2006		

Perhatian :

1. Formulir Pengajuan ini harap dikembalikan ke Jurusan paling lambat *satu minggu* setelah disetujui Kelompok Dosen Keahlian dengan dilampirkan Proposal Skripsi beserta persyaratan Skripsi sesuai **Form. S-1**.
2. *) dilingkari a, b, c,atau f, sesuai bidang Keahlian.
3. **) diisi oleh Jurusan.

Form.S-2



PERNYATAAN KESEDIAAN SEBAGAI DOSEN PEMBIMBING SKRIPSI

Sesuai dengan Permohonan dari Mahasiswa/i :

Nama : ZAINURI
Nim : 02 12 074
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik

Dengan ini saya menyatakan bersedia / tidak bersedia *) Membimbing Skripsi dari Mahasiswa tersebut, dengan judul :

**IDENTIFIKASI PARAMETER MOTOR INDUKSI 3 PHASA DENGAN
MENGUNAKAN METODE FUZZY LOGIC CONTROL.**

Demikian pernyataan ini kami buat agar dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Malang, September 2006
Yang Membuat Pernyataan,

Ir. M. Abdul Hamid, MT
NIP. 1018800188

Catatan :

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

*) Coret yang tidak perlu



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

Lampiran : Satu Lembar
Perihal : **Pembimbing Skripsi**

Kepada : Yth. Bapak / Ibu Ir. M. Abdul Hamid, MT
Dosen Institut Teknologi Nasional
MALANG

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : ZAINURI
Nim : 02 12 074
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Elektronika / Energi Listrik

Dengan ini mengajukan permohonan, kiranya Bapak/Ibu bersedia menjadi Dosen Pembimbing Utama/dari 1/2 Dosen Pembimbing*), untuk penyusunan Skripsi dengan judul :

IDENTIFIKASI PARAMETER MOTOR INDUKSI 3 PHASA DENGAN MENGGUNAKAN METODE FUZZY LOGIC CONTROL

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

Demikian permohonan kami, atas kesediaan Bapak / ibu kami ucapkan terimakasih.

Malang, September 2006

Mengetahui,
Ketua Jurusan
Teknik Elektro S-1



Ir. F. Yudi Lippurpraptono, MT
Nip. 131 991 182

Hormat Kami



ZAINURI
NIM. 02 12 074

*) coret yang tidak perlu



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

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

PT. 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

Nomor : ITN-1973/LTA/2/06
Lampiran : -
Perihal : **BIMBINGAN SKRIPSI**

Malang, 20 Des. 2006

Kepada : Yth. Sdr. Ir. M. ABDUL HAMID, MT
Dosen Pembimbing
Jurusan T. Elektro S-1
di
Malang

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

Nama : ZAINURI
Nim : 0212074
Fakultas : Teknologi Industri
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : T. Energi Listrik

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

07 Des. 2006 s/d 07 Juni 2007

Sebagai satu syarat untuk menempuh Ujian Sarjana Teknik,
Jurusan Teknik Elektro S-1
Demikian atas perhatian serta kerjasamanya yang baik kami sampaikan terima kasih.



Ketua Jurusan
Teknik Elektro S-1

Ir. F. Yudi Limraptono, MT *BY*
NIP. Y. 1039500274



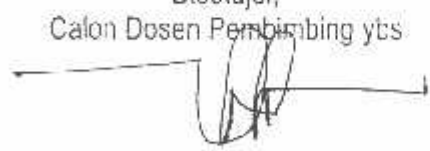
Tembusan Kepada Yth:
1. Mahasiswa Yang Bersangkutan
2. Arsip

Form S-4a



BERITA ACARA SEMINAR PROPOSAL SKRIPSI JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1

Konsentrasi : Teknik Energi Listrik/Teknik Elektronika*)

1.	Nama Mahasiswa: ZAINURI	Nim: 0212074
2.	Keterangan	Tanggal
	Pelaksanaan	07-12-2006
Tempat		
Ruang:		
Spesifikasi Judul (berilah tanda silang)**)		
3.	a. Sistem Tenaga Elektrik	e. Elektronika & Komponen
	<input checked="" type="checkbox"/> Energi & Konversi Energi	f. Elektronika Digital & Komputer
	c. Tegangan Tinggi & Pengukuran	g. Elektronika Komunikasi
	d. Sistem Kendali Industri	h. lainnya
4.	Judul Proposal yang diseminarkan Mahasiswa	IDENTIFIKASI PARAMETER MOTOR INDUKSI 3 PHASA DENGAN MENGGUNAKAN METODE FUZZY LOGIC CONTROL
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
	Ir. F. Yudi Limpraptono, MT NIP. P. 1039500274	

Perhatian:

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

Parameter Identification of an Induction Motor
Using Fuzzy Logic Control

```
%
m=0.06;
m=50;
%
m=1100;
m=220/(3^0.5);
m=acos(0.83);
m=75.53/100;
sran=2820;
f=0.5;
f1=2;
f=0.2;
[s, Ls, Lr1, Lr2, Rr1, Rr2, Rr, Tnom]=ParamMotor(snom, fnom, p, Pnom, Unom, ynom, mnom, pRr2, pRr1, pRr1);
%
sp(['Tnom Awal = ' num2str(Tnom) ' Watt']);
=182.28;
1.06;
fnom;
snom;
fnom;
p=0.38072*10;
=readfils('MotorFuz');
.=evalfils('np, fn');
=out(1);
=out(2);
1=out(3);
2=out(4);
1=out(5);
2=out(6);
=out(7);
ors1=HitungTorsi(s, Rs, Ls, Lr1, Lr2, Rr1, Rr2, Rr, Xm, V, p, f);
s, Ls, Lr1, Lr2, Rr1, Rr2, Rr]=ParamMotorFuzzy;
sp(['Tnom Akhir = ' num2str(Torsi) ' Watt']);
sp(['Error Torsi = ' num2str(abs(Torsi-Tnom)/Tnom*100) '%']);
sp(' ');
sp(' Motor Induksi Tiga-Phasa DE LORENZO / DL 1021');
sp(' ');
sp('-----');
sp(['Power - ' num2str(Pnom) ' Watt']);
sp(['Putaran - ' num2str(Putaran) ' rpm']);
sp(['Rs - ' num2str(Rs) ' ohm']);
sp(['Ls - ' num2str(Ls) ' H']);
sp(['Lr1 - ' num2str(Lr1) ' H']);
sp(['Lr2 - ' num2str(Lr2) ' H']);
sp(['Rr1 - ' num2str(Rr1) ' ohm']);
sp(['Rr2 - ' num2str(Rr2) ' ohm']);
sp(['Rr - ' num2str(Rr) ' ohm']);
sp('-----');
ors1=HitungTorsi1(50, 1);
=zeros(100, 1);
2=zeros(100, 1);
=zeros(100, 1);
=1;
for i=1:100
    Tr(i)=HitungTorsi1(50, sa);
    Tr2(i)=HitungTorsi2(50, sa);
    sc(i)=1-i/100;
    %st(i)=4*pi*50/2*(1-sa);
```

```
sa=sa-0.01;  
t  
(101)=0;  
t(101)=0;  
:2(101)=0;  
t=1;  
for i=1:-0.01:0  
    if i==0  
        Tr(ia)=0;  
        st(ia)=i;  
    else  
        %Tr(ia)=HitungTorsi1(50,i);  
        Tr(ia)=HitungTorsi(L, Rs, Ls, Lr1, Lr2, Rr1, Rr2, Rr, Xn, V, p, f);  
        st(ia)=i;  
        ia=ia+1;  
    end  
end  
plot(st,Tr);  
xlabel('Torsi N.m');  
ylabel('Slip');  
legend('Perhitungan Fuzzy');
```

```
function [Torsi]=HitungTorsi(S, Rs, Ls, Lr1, Lr2, Rr1, Rr2, Rr, Lm, V, p, f)  
L=complex(Rr2/S, Lr2);  
l=complex(Rr1/S, 0);  
m=Lr1*Lr2/(Lr1+Lr2);  
a=complex(Rr/S, Lr1);  
n=Lr+Lra;  
b=complex(0, Lm);  
m=Lrb*Lm/(Lrb+Lm);  
=complex(Rs, Ls);  
qv=2s+2a;  
qv=real(Zeqv);  
ot=V/Zeqv;  
o=7r/(Lrb+Lm)*Ltot;  
r2=Lr1/(Lr1+Lr2)*Lab;  
r1=Ltot-Lr2;  
r1=abs(Lr1^2)*Rr1/S;  
r2=abs(Lr2^2)*Rr2/S;  
r=abs(Lab^2)*Rr/S;  
ot=PRr1+PRr2+PRr;  
4*pi*f/p*(1-S);  
rsi=Plot/w;
```