

SKRIPSI

ANALISIS KARAKTERISTIK MOTOR INDUKSI 3 PHASA DENGAN DIAGRAM LINGKARAN MENGGUNAKAN PROGRAM MATLAB



Disusun oleh:
MUSLIKH ARIF PRABOWO
NIM. 01.12.025



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

SEPTEMBER 2007

LEMBAR PERSETUJUAN

ANALISIS KARAKTERISTIK MOTOR INDUKSI 3 PHASA DENGAN DIAGRAM LINGKARAN MENGGUNAKAN PROGRAM MATLAB

SKRIPSI

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

Disusun Oleh :

MUSLIKH ARIF PRABOWO
01.12.025

Diperiksa dan disetujui,

Dosen Pembimbing I,



Ir. M. Abdul Hamid, MT
Nip. Y. 101 880 0188

Dosen Pembimbing II,



Ir. Eko Nurcahyo
Nip. Y. 102 870 0172

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro



Ir. F. Yudi Limpraptono, MT
NIP.Y. 103 950 0274

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

ABSTRAKSI

ANALISIS KARAKTERISTIK MOTOR INDUKSI 3 PHASA DENGAN DIAGRAM LINGKARAN MENGGUNAKAN PROGRAM MATLAB

(Muslikh Arif Prabowo 0112025, Teknik Energi Listrik (S-1))

(Dosen Pembimbing I : Ir. M.Abd.Hamid, MT.)

(Dosen Pembimbing II : Ir. Eko Nurcahyo.)

Matlab merupakan program yang sangat lengkap untuk simulasi sebuah sistem, karena penggunaan Matlab sangat luas untuk analisis sistem. Penelitian ini menjelaskan tentang motor induksi tiga fasa jenis rotor sangkar (DE LORENZO DL 1022 1,1 KW; 220/380 (N/Y) Volt ; 4,3/2,5 (Δ /Y) Ampere, $\cos \phi$ 0,83 ; 50 Hz ; 2820 rpm , 2 kutub), penulis memberikan judul: Analisa karakteristik motor induks dengan diagram lingkaran menggunakan program Matlab. Dalam analisis ini dilakukan dengan bantuan simulasi menggunakan simulink, yaitu salah satu program simulasi yang ada pada program Matlab.

Dalam analisa karakteristik steady-state motor induksi, menggunakan parameter inputan $R_s=4.59$, $R_r=6.68$, $X_s=7.3$, $X_r=7.3$, $X_m=182.28$. Namun untuk analisa dan pemilihan motor tidak memungkinkan kita untuk melakukan analisa penghitungan setiap titik kejadian, maka dalam penelitian ini hanya menganalisa saat torsi start dan saat torsi maksimum.

Hasil simulasi tersebut adalah arus stator, kecepatan, dan torsi. Dari data yang diperoleh dari simulasi maka dapat dihitung; untuk starting $R_{TH}=5.0753$, $V_{TH}=152.0725$, $V_1=220$, dan sudut $\theta=-51.2710$, untuk torsi maksimum; $R_{TH}=5.07539$, $V_{TH}=152.0725$, $V_1=220$, sudut $\theta=-38.1741$, dan $S_{max}=0.4322$ Dalam analisis pemilihan motor dilanjutkan penghitungan daya dan efisiensi pada motor tersebut. $P_{in}=1625$ dan $Eff=0$ pada saat starting dan $P_{in}=1520$ dan $Eff=53.6614$ pada saat torsi maksimum.

Kata Kunci : Analisis, Motor Induksi , Steady-state, Matlab 7.04

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur kehadiran Allah SWT yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang atas Rahmat dan Hidayah-Nya sehingga penyusun dapat menyelesaikan skripsi ini.

Skripsi ini berjudul “Analisis Karakteristik Motor Induksi 3 Fasa Dengan Diagram Lingkaran Menggunakan Program Matlab”. Penyusunan skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Elektro S-1 Institut Teknologi Nasional Malang.

Pada kesempatan ini penyusun dengan rasa hormat menyampaikan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Abraham Lomi, MSEE Selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang.
 2. Bapak Ir. Mochtar Asroni, MT, selaku Dekan Fakultas Teknik Industri Institut Teknologi Nasional Malang.
 3. Bapak Ir. I Made Wartana, MT, selaku Wakil Dekan I Fakultas Teknik Industri Institut Teknologi Nasional Malang.
 4. Bapak .Ir. Yudi Limpraptono, MT Selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional Malang.
 5. Bapak Ir. Abdul Hamid, MT, Selaku Dosen Pembimbing I
 6. Bapak Ir. Eko Nurcahyo Selaku Dosen Pembimbing II
 7. Ayah dan Ibuku yang paling kucintai di dunia ini, Kakakku, dan seluruh Keluargaku atas segala doa, dukungan dan kasih sayangnya.
-

8. Fandi (O'on) yang telah membantu dan kerja samanya dalam menyelesaikan skripsi ku, makasih printer warnanya on..
9. Pak Ndut (Ucke) you are my mirecle, makasih banyak pak ndut.
10. Temen-temen P-16, terima kasih atas dukungan dan saran-sarannya.
11. Agung, Becker, Andit, Candra, semua temen-temen Ayo Semangat !!!
12. Anak Kost terusan kendal Sari 22, (Poyo, Nizar, Andre,...) thank you guys....
13. Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini yang tidak bisa saya sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan, kesalahan serta keterbatasan pengetahuan, referensi dan pengalaman dalam penyusunan skripsi ini sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penyusun maupun pihak-pihak yang membutuhkan.

Malang, Agustus 2007

Penyusun

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
ABSTRAKSI.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GRAFIK.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan	3
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Metodologi Penelitian	4
1.6. Sistematika Penulisan.....	4
1.7. Relevansi	6
BAB II TEORI DASAR	7
2.1 Teori Dasar Motor Induksi	7
2.2 Konstruksi Dasar Motor Induksi.....	6
2.2.1. Stator	6
2.2.2. Rotor.....	7

2.3.	Medan Magnet Putar.....	8
2.4.	Prinsip Kerja Motor Induksi	9
2.4.1	Slip Dan Frekuensi Arus Rotor	11
2.5.	Rangkaian Ekvaleen	12
2.5.1	Rangkaian Ekvaleen Stator	13
2.5.2	Rangkaian Ekvaleen Rotor	14
2.6	Operasional Motor Induksi	19
2.6.1	Performa Steady State	20
2.6.2	Performa Transient	21
2.7.	Pengujian Motor Induksi 3 Fasa	23
2.7.1	Pengujian Arus DC	23
2.7.2	Pengujian Tanpa Beban	24
2.7.3	Pengujian Rotor Tertahan	26
2.8	Pengaturan Kecepatan	28

BAB III SIMULASI MATLAB DENGAN MENGGUNAKAN

METODE DIAGRAM LINGKARAN	31
3.1. Matlab Simulink	31
3.2. Implementasi dan Proses Perhitungan dengan Matlab	35
3.3 Diagram Lingkaran	35
3.3.1 Pengukuran Beban Nol	37
3.3.2 Pengukuran Dengan Rotor Ditahan	38
3.4 Perhitungan Rumus	40
3.5 Algoritma Program	42

3.5.1	Algoritma Pemecahan Masalah Secara Umum	42
3.6	Flowchart Pemecahan Masalah Secara Umum	43
BAB IV ANALISA PARAMETER MOTOR DAN HASIL		
	SIMULASI	44
4.1.	Pengujian Parameter Motor Induksi	44
4.1.1	Alat-alat Yang Digunakan.....	44
4.1.2	Pengujian Arus Scarah	45
4.1.3	Pengujian Tanpa Beban	45
4.1.4	Pengujian Rotor Tertahan	45
4.2.	Analisa Parameter Motor Induksi	46
4.3.	Perhitungan Dengan Diagram Lingkaran	48
4.3.1	Pengukuran Beban Nol	48
4.3.2	Pengukuran Dengan Rotor Ditahan	49
4.4	Simulasi Motor Induksi dengan Diagram Lingkaran.....	52
4.4.1	Tampilan Program M-files Parameter Motor	52
4.4.2	Tabel Hasil Simulasi	55
4.4.3	Hasil Perhitungan Simulasi	55
4.4.4	Grafik Hasil Simulasi	57
4.4.5	Analisa Hasil Simulasi	60
4.5	Validasi Program	61
4.5.1	Tampilan M-files	62
4.5.2	Data Jurnal	63
4.5.3	Hasil Perhitungan	63

BAB V	PENUTUP	66
5.1	Kesimpulan	66
5.2	Saran	67

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Konstruksi Motor Induksi	6
Gambar 2.2.	Stator Tiga-Phasa Motor Induksi	7
Gambar 2.3.	Rotor Sangkar Dan Rotor Belitan	8
Gambar 2.4.	Medan Putar Pada Motor Induksi.....	9
Gambar 2.5.	Rangkaian Ekiivalen Stator	13
Gambar 2.6.	Rangkaian Ekiivalen Rotor	14
Gambar 2.7.	Rangkaian Ekiivalen Motor Induksi	16
Gambar 2.8.	Rangkaian Ekiivalen DQ Motor Induksi	17
Gambar 2.9.	Keadaan Steady State Motor Induksi	20
Gambar 2.10.	Transient Respons Pada Starting Moror Induksi 3 HP	21
Gambar 2.11.	Kondisi Karakteristik Motor Torsi Beban Berubah	22
Gambar 2.12.	Pengujian Arus Searah (<i>DC Test</i>)	23
Gambar 2.13.	Rangkaian Pengujian Tanpa Beban (<i>No Load Test</i>)	24
Gambar 2.14.	Rangkaian Pengujian Rotor Tertahan (<i>Blocked Rotor</i>)	26
Gambar 2.15.	Pengaturan Kecepatan Dengan Merubah Jumlah Kutub	29
Gambar 2.16.	Karakteristik Beban Pada Pengaturan Kecepatan Dengan Mengatur Tegangan Jala – Jala	30
Gambar 2.17.	Karakteristik Torsi Kecepatan Pada Pengaturan Tahanan Luar	30
Gambar 3.1.	Tampilan Source Blok Parameter.....	33
Gambar 3.2.	Simulink Library Pada MATLAB 7.04	33
Gambar 3.3.	Tampilan M-Files	34
Gambar 3.4.	Model Diagram Lingkaran	35

Gambar 3.5.	Diagram Lingkaran dari Motor Induksi	37
Gambar 3.6.	Diagram Lingkaran	38
Gambar 4.1.	Diagram Lingkaran dengan Skala Arus 1:0.1 a	49
Gambar 4.2.	Diagram Lingkaran dengan Kondisi Berbeban	50
Gambar 4.3.	Diagram Lingkaran Keseluruhan	51
Gambar 4.4.	Tampilan M-files Parameter Motor Induksi	54
Gambar 4.5.	Tampilan Command Window	54
Gambar 4.6.	Grafik Karakteristik Torsi Terhadap Slip	57
Gambar 4.7.	Grafik Karakteristik Arus Terhadap Slip	58
Gambar 4.8.	Grafik Karakteristik Arus Imajiner Terhadap Arus Real	59
Gambar 4.9.	Tampilan M-files dengan Data Jurnal	61
Gambar 4.10.	Tampilan Command Window Data Jurnal	62

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Data Hasil Pengujian Arus Searah	45
Tabel 4.2	Data Hasil Pengujian Beban Nol	45
Tabel 4.3	Data Hasil Pengujian Rotor Tertahan	45
Tabel 4.4	Hasil Perhitungan Pengujian Parameter Motor Induksi Tiga Phasa	48
Tabel 4.5	Hasil Simulasi Starting Motor Induksi	55
Tabel 4.6	Hasil Simulasi Torsi Maksimum Motor Induksi	55
Tabel 4.7	Hasil Perhitungan V_1 Dan Sudut Θ Untuk Starting	55
Tabel 4.8	Hasil Perhitungan V_1 Dan Sudut Θ Untuk Torsi Maksimum	56
Tabel 4.9	Hasil Perhitungan Daya Dan Efisiensi Saat Starting	56
Tabel 4.10	Hasil Perhitungan Daya Dan Efisiensi Saat Torsi Maksimum	56
Tabel 4.11	Data Parameter Masukan	63
Tabel 4.12	Hasil Simulasi Starting Motor Induksi	63
Tabel 4.13	Hasil Simulasi Torsi Maksimum Motor Induksi	63
Tabel 4.14	Hasil Perhitungan V_1 Dan Sudut Θ Untuk Starting	63
Tabel 4.15	Hasil Perhitungan V_1 Dan Sudut Θ Untuk Torsi Maksimum	64
Tabel 4.16	Hasil Perhitungan Daya Dan Efisiensi Saat Starting	64
Tabel 4.17	Hasil Perhitungan Daya Dan Efisiensi Saat Torsi Maksimum	64

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1.	Grafik Karakteristik Torsi Terhadap Slip	57
Grafik 4.2.	Grafik Karakteristik Arus Terhadap Slip	58
Grafik 4.3.	Grafik Karakteristik Arus Imajiner Terhadap Arus Real.....	68

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Seiring dengan perkembangan zaman khususnya dalam bidang industri tidak bisa lepas dengan adanya mesin, karena kebutuhan manusia terhadap barang hasil produksi harus mampu diimbangi dengan produksi yang mencukupi. Melihat tuntutan produksi tersebut maka mesin adalah sebuah peralatan yang sangat vital bagi maju mundurnya sebuah industri. Mesin merupakan sebuah konstruksi alat yang menghasilkan gerak rotasi. Berawal dari gerak inilah mesin akan mempunyai manfaat yang sangat kompleks karena gerak ini mampu diolah ke dalam hal-hal apapun yang sesuai dengan keinginan manusia.

Motor induksi adalah salah satu mesin AC yang ada dalam perkembangan teknologi saat ini. Mesin induksi sering digunakan manusia dalam kehidupan rumah tangga sehari-hari maupun dunia industri karena disamping harganya yang jauh lebih murah dari mesin lainnya, juga konstruksinya yang sangat efisien serta mudah dalam perawatannya. Hal ini mendorong penyediaan motor induksi semakin marak dikembangkan. Pengembangan motor induksi ini merupakan upaya penyempurnaan terhadap mesin yang ada sekarang. Semakin efisien sebuah konstruksi mesin dalam pengendalian, perawatan, serta penggunaannya, maka pengembangan perencanaan mesin induksi telah tercapai.

Dalam sebuah sistem perancangan khususnya analisis sistem kerja mesin induksi, sangat tidak layak jika dilakukan secara langsung terhadap model yang nyata karena sangat rawan kecelakaan dalam percobaan baik bagi alat yang digunakan maupun mesin induksi itu sendiri. Oleh karena itu diperlukan adanya simulasi dalam perancangan tersebut. Simulasi akan lebih mempermudah kita dalam pengamatan dan juga lebih efisien dalam perencanaan alat tersebut.

1.2.Rumusan Masalah

Berkaitan dengan permasalahan pada latar belakang tersebut, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Menganalisis karakteristik *steady state* motor induksi 3 phasa dengan diagram lingkaran.
2. Menganalisis pengukuran arus, kecepatan, dan torsi motor.
3. Menganalisis data-data keluaran setelah dilakukan simulasi pada program matlab.

Penelitian ini menjelaskan tentang simulasi analisis karakteristik steady-state motor induksi, Oleh sebab itu dipelajari apakah dengan menggunakan program matlab akan didapatkan kinerja yang sesuai dengan yang diharapkan. Sehubungan dengan itu skripsi ini kami beri judul:

**“ANALISIS KARAKTERISTIK MOTOR INDUKSI 3 PHASA
DENGAN DIAGRAM LINGKARAN MENGGUNAKAN
PROGRAM MATLAB”**

1.3. Tujuan Pembahasan

Tujuan yang ingin dicapai dari skripsi ini adalah menganalisa karakteristik *steady state* motor induksi menggunakan metode diagram lingkaran.

1.4. Batasan Masalah

Untuk mencapai tujuan penyelesaian skripsi secara maksimal, maka diperlukan pembatasan masalah yang diharapkan agar permasalahan tidak meluas dan tetap terfokus pada tujuan utama. Adapun batasan masalah pada skripsi ini adalah :

1. Analisis dilakukan pada Motor Induksi Tiga Phasa Rotor Sangkar DE LORENZO/DL1022, 1,1 kW, 220/380 (Δ/Y) Volt, 4,3/2,5 (Δ/Y) Ampere, $\cos \phi$ 0,9, 50 Hz, 2820 rpm, 2 kutup.
2. Skripsi ini membahas analisa tentang karakteristik steady-state motor induksi 3 phasa menggunakan metode diagram lingkaran.
3. Menganalisa motor induksi 3 phasa pada saat torsi start dan saat torsi maksimum.
4. Tidak membahas sistem proteksi motor.
5. Simulasi dengan *software* Simulink MatLab 7.04 dengan metode diagram lingkaran

1.5. Metodologi Pembahasan

Metode yang dipakai untuk menyelesaikan masalah-masalah diatas adalah:

1. Studi literatur kajian pustaka yang mempelajari teori-teori yang terkait melalui literatur yang berhubungan dengan pembahasan masalah.
2. Melakukan percobaan dan pengambilan data dari motor induksi yang akan dianalisa.
3. Simulasi dengan *software* Simulink Matlab.
4. Menganalisa data hasil simulasi
5. Menarik kesimpulan.

1.6 Sistematika Penulisan

BAB I Pendahuluan

Bab ini berisi tentang uraian latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, metodologi pembahasan, dan sistematika penulisan.

BAB II Dasar Teori

Membahas tentang teori dasar motor induksi, konstruksi dasar motor induksi, prinsip kerja motor induksi, rangkain ekivalen motor induksi, pengaturan kecepatan dan teori-teori lain yang mendukung.

BAB III Simulasi Matlab Dengan Metode Diagram Lingkaran

Berisi tentang implementasi matlab simulink pada motor induksi. Materi diagram lingkaran sebagai metode.

BAB IV Analisis Parameter Motor dan Hasil Simulasi

Berisi tentang pengujian parameter motor induksi simulasi dengan program matlab 7.04, serta melakukan analisis.

BAB V Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisi kesimpulan hasil penelitian yang telah dilakukan dan saran untuk pengembangan selanjutnya.

1.7 Relevansi

Dalam sebuah sistem perancangan khususnya analisis sistem kerja mesin induksi, sangat tidak layak jika dilakukan secara langsung terhadap model yang nyata karena sangat rawan kecelakaan dalam percobaan baik bagi alat yang digunakan maupun mesin induksi itu sendiri. Tujuan dari skripsi ini diharapkan agar lebih mempermudah kita dalam pengamatan karakteristik motor dan lebih efisien dalam pemilihan motor induksi.

BAB II

TEORI DASAR

2.1. Teori Dasar Motor Induksi.

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

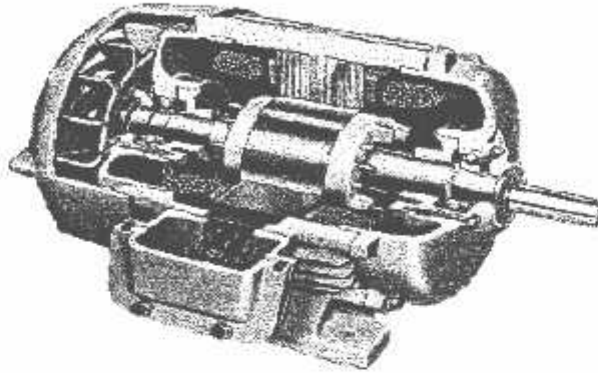
Dinamakan motor tak serempak (*asynchrone*) karena putaran poros motor tidak sama dengan putaran medan fluks magnet stator. Dengan kata lain, bahwa antara putaran rotor dan putaran fluks magnet terdapat selisih putaran yang disebut slip.

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

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

2.2. Konstruksi Motor Induksi

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

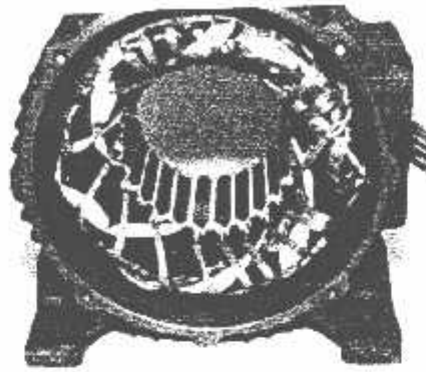


Gambar 2-1
Konstruksi Motor Induksi ^[5]

2.2.1. Stator

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

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



Gambar 2-2
Stator Tiga-Phasa Motor Induksi ^[5]

2.2.2. Rotor

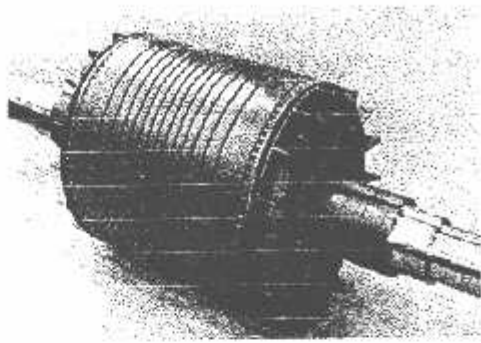
Konstruksi dari rotor motor induksi mempunyai dua bentuk, yaitu :

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

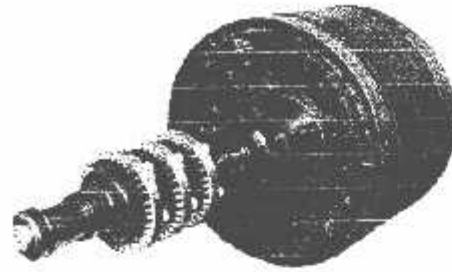
Motor induksi jenis ini mempunyai rotor dengan belitan kumparan tiga-fasa sama seperti kumparan stator. Kumparan stator dan rotor juga mempunyai jumlah kutub yang sama.

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

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



a)

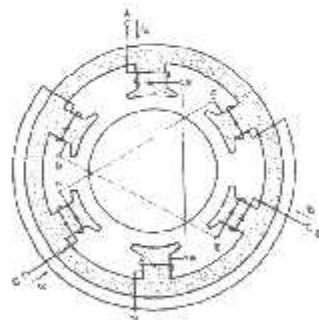


b)

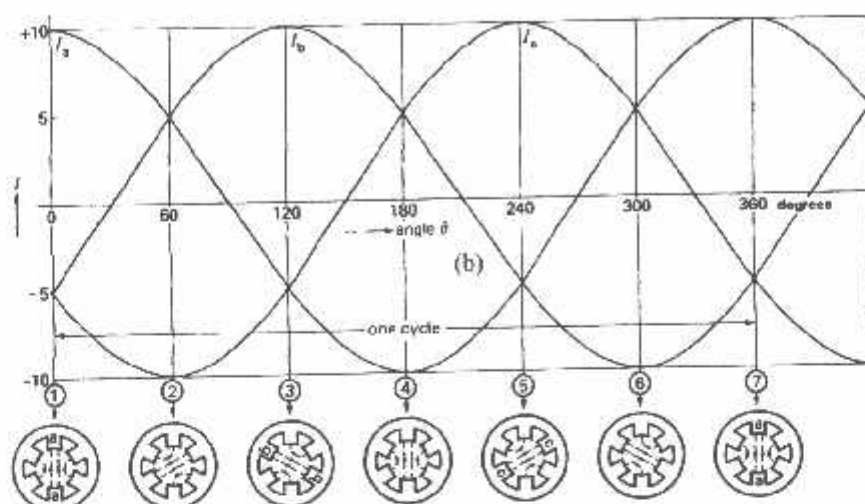
**Gambar 2-3 : a) Rotor Sangkar ^[5]
b) Rotor Belitan ^[5]**

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



(a)



Gambar 2-4 : Medan Putar Pada Motor Induksi ^[1]

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 phasa pada kumparan stator tiga phasa menimbulkan medan magnet putar dan memotong kumparan rotor pada frekuensi f_1 . Nilai rata-rata ggl induksi per phasa dari kumparan rotor dinyatakan dengan persamaan :

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

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

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

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

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

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

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

Untuk menghasilkan torsi mula (dan torsi penggerak berturut-turut) perlu arus yang mengalir dalam kumparan rotor. Mula-mula ggl induksi E_2 mengakibatkan arus rotor I_2 mengalir melalui rangkaian hubung-singkat, menghasilkan distribusi *ampere-conductor* yang berkerja dengan medan fluks untuk menghasilkan torsi mula. Pengaruh torsi ini selalu mengakibatkan rotor berputar dalam arah yang sama sebagaimana medan putar. Anggaplah bahwa

medan fluks putar searah jarum jam pada kecepatan tertentu yang bergantung pada frukuensi stator dan banyaknya kutub dari kumparan stator. Kecepatan ini disebut “kecepatan sinkron” dan dinyatakan :

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

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 diidentifikasikan 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^[2] :

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

dimana : p = jumlah kutub

f_s = frekuensi stator

Pada rotor berlaku hubungan :

$$f_r = \frac{(n_s - n_r)p}{120} = \frac{(n_s - n_r)n_s p}{n_s 120} \dots\dots\dots (2.7)$$

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

Maka :

$$f_r = s f_s \dots\dots\dots (2.8)$$

2.5 Rangkaian Ekuivalen

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

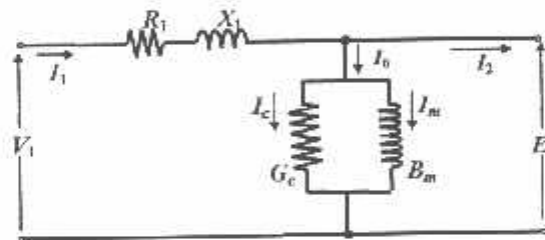
1. Stator sebagai sisi primer
2. Rotor sebagai sisi sekunder yang penghantar-penghantarnya dihubungkan singkat dan berputar

3. Kopling antara sisi primer dan sisi sekunder dipisahkan oleh celah udara (*air gap*).

2.5.1 Rangkaian Ekuivalen Stator

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

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



Gambar 2-5

Rangkaian Ekuivalen Stator ^[1]

- 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

2.5.2 Rangkaian Ekiivalen 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 :

$$X_2' = sX_2 \dots\dots\dots (2.9)$$

$$X_2 = 2\pi f_s L_2 \dots\dots\dots (2.10)$$

dimana X_2 merupakan reaktansi rotor pada start atau diam.

Tegangan induksi pada rotor :

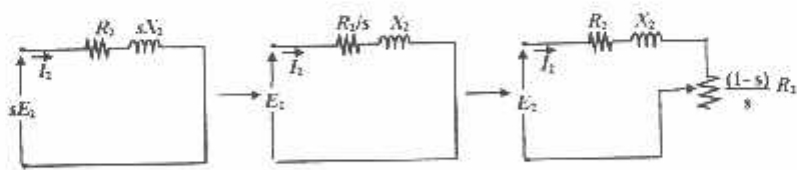
$$E_2 = 4,44 f_2 N_2 \Phi_m \dots\dots\dots (2.11)$$

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

$$E_2' = 4,44 s f_1 N_2 \Phi_m \dots\dots\dots (2.12)$$

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

$$E_2' = s E_2 \dots\dots\dots (2.13)$$



Gambar 2-6
Rangkaian Ekiivalen Rotor^[1]

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 :

$$I_2 = \frac{sE_2}{\sqrt{R_2^2 + (sX_2)^2}} \dots\dots\dots (2.14)$$

Atau

$$I_2 = \frac{E_2}{\sqrt{\frac{R_2^2}{s} + X_2^2}} \dots\dots\dots (2.15)$$

Sedangkan torsi untuk motor induksi dapat dihtung dengan menggunakan rumus:

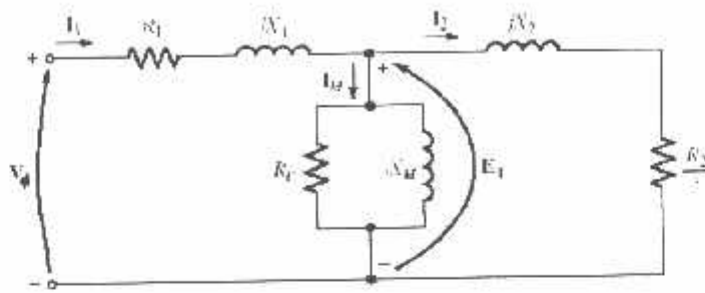
$$P_o = T_o \omega_r \dots\dots\dots (2.16)$$

$$T_o = \frac{P_o}{\omega_r} \dots\dots\dots (2.17)$$

$$\omega_r = \frac{2 \pi n_r}{60} \dots\dots\dots (2.18)$$

$$P_{in} = \sqrt{3} V_t I \cos \dots\dots\dots (2.19)$$

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

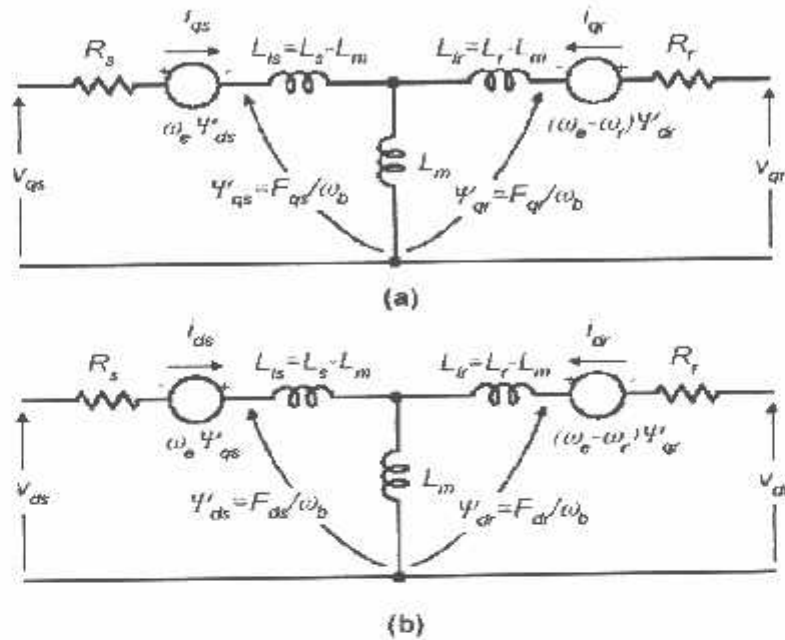


Gambar 2-7
Rangkaian Ekvivalen Motor Induksi ^[4]

Dimana

- V_1 = tegangan terminal
- R_1 = resistansi kumparan stator
- X_1 = reaktansi kumparan stator
- X_m = reaktansi magnetik (ohm)
- I_1 = Arus Input (amp)
- I_2 = Arus Rotor (amp)
- I_m = Arus Magnetisasi (amp)
- E_1 = tegangan induksi (ggl) di dalam kumparan stator (volt)
- s = slip
- R_2 = resistansi kumparan rotor (ohm)
- X_2 = reaktansi bocor rotor (ohm)
- R_c = Resistansi Rugi Inti (ohm)
- P_o = Daya Output (Watt)
- P_{in} = Daya Input (Watt)
- T_o = Torsi Mekanik (Nm)
- ω_r = Kecepatan sudut rotor (rad/sec)

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



Gambar 2-8
Rangkaian Ekuivalen DQ Motor Induksi [2]

$$\frac{dF'_{qs}}{dt} = \frac{1}{\tau_s} v_{qs} - \frac{\omega_e}{\omega_b} F'_{ds} + \frac{R_s}{x_{ls}} (F'_{mq} + F'_{qs}) \quad (2.20)$$

$$\frac{dF'_{ds}}{dt} = \frac{1}{\tau_s} v_{ds} + \frac{\omega_e}{\omega_b} F'_{qs} + \frac{R_s}{x_{ls}} (F'_{md} + F'_{ds}) \quad (2.21)$$

$$\frac{dF'_{qr}}{dt} = \frac{1}{\tau_r} v_{qr} - \frac{(\omega_e - \omega_r)}{\omega_b} F'_{dr} + \frac{R_r}{x_{lr}} (F'_{mq} - F'_{qr}) \quad (2.22)$$

$$\frac{dF'_{dr}}{dt} = \frac{1}{\tau_r} v_{dr} + \frac{(\omega_e - \omega_r)}{\omega_b} F'_{qr} + \frac{R_r}{x_{lr}} (F'_{md} - F'_{dr}) \quad (2.23)$$

$$F_{mq} = X_{ml} \left(\frac{F_{ql}}{X_{ls}} + \frac{F_{qr}}{X_{lr}} \right) \dots\dots\dots (2.24)$$

$$F_{md} = X_{ml} \left(\frac{F_{dl}}{X_{ls}} + \frac{F_{dr}}{X_{lr}} \right) \dots\dots\dots (2.25)$$

$$X_{ml} = \frac{1}{\frac{1}{X_m} - \frac{1}{X_{ls}} + \frac{1}{X_{lr}}} \dots\dots\dots (2.26)$$

$$i_{ql} = \frac{1}{X_{ls}} \left(F_{ql} - F_{mq} \right) \dots\dots\dots (2.27)$$

$$i_{dl} = \frac{1}{X_{ls}} \left(F_{dl} - F_{md} \right) \dots\dots\dots (2.28)$$

$$i_{qr} = \frac{1}{X_{lr}} \left(F_{qr} - F_{mq} \right) \dots\dots\dots (2.29)$$

$$i_{dr} = \frac{1}{X_{lr}} \left(F_{dr} - F_{md} \right) \dots\dots\dots (2.30)$$

$$T_e - \frac{3}{2} \frac{p}{2} \frac{1}{\omega_b} \left(F_{ql} I_{ds} - F_{qs} I_{dl} \right) \dots\dots\dots (2.31)$$

$$T_e - T_l = J \frac{2}{p} \frac{d\omega_r}{dt} \dots\dots\dots (2.32)$$

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

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

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

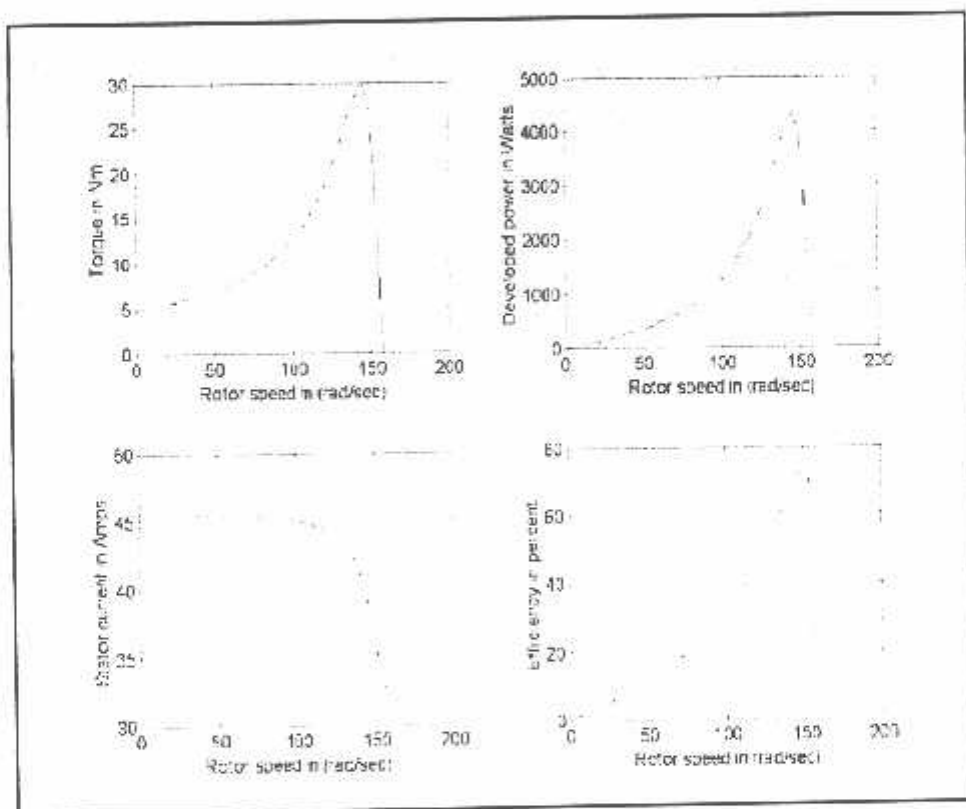
- Daya Output (Hp/KW)
- Tegangan Nominal V_{L-L} (Volt)
- Arus Nominal (Amp)
- Power Faktor
- Kecepatan (rpm)
- Jumlah Kutub

2.6 Operasional Motor Induksi

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

2.6.1 Performa *Steady State*

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



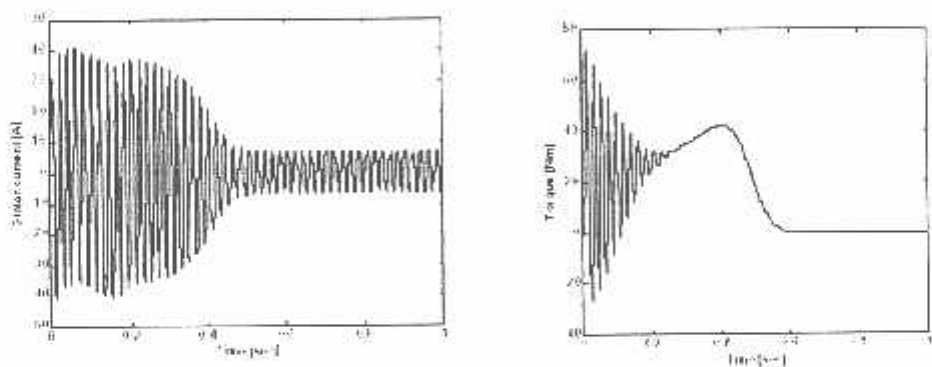
Gambar 2-9

Keadaan Steady State Motor Induksi ^[1]

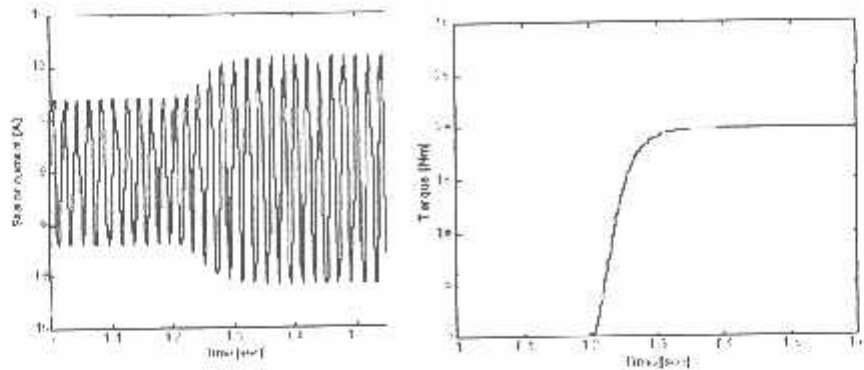
2.6.2 PerformaTransient

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

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



Gambar 2-10
Transient Respons Pada Starting Moror Induksi 3 HP [4]



Gambar 2-11
Kondisi Karakteristik Motor Torsi Beban Berubah ^[4]

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

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

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

Perubahan torsi beban pada motor akan mempengaruhi, arus stator, tegangan dan fluks rotor. Tidak semua motor dijalankan pada torsi yang konstan misalnya suatu motor dijalankan pada 0,5 dari torsi rata-rata pada awal

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

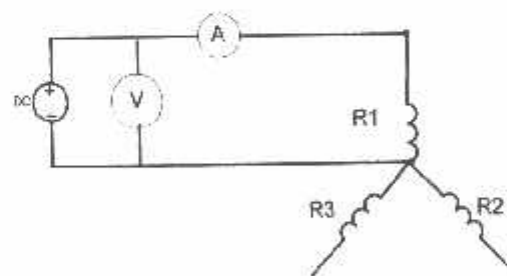
Dalam menganalisa gejala transient ada motor induksi, maka motor induksi digunakan dalam dua fasa yaitu motor dalam D (direct) dan Q (quadrature) sumbu. Konsep ini dianggap mudah karena terdiri dari dua pengaturan medan yaitu pada stator dan pada rotor.

2.7 Pengujian Motor Induksi Tiga Fasa

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

2.7.1. Pengujian Arus Searah (*DC Test*)

Tujuan dari pengujian arus searah (*DC Test*) adalah untuk menentukan nilai resistansi stator. Diagram pengukuran ditunjukkan pada gambar 2.10.



Gambar 2-12
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}) :

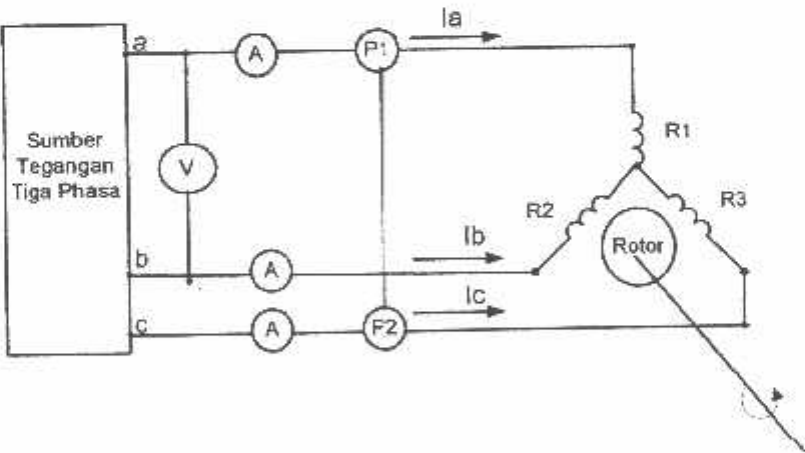
untuk nilai resistansi kumparan a dan b :

$$R_{ab} = R_1 = \frac{V_{DC}}{I_{DC}} \Omega \dots\dots\dots (2.33)$$

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

2.7.2 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 2-13
Rangkaian Pengujian Tanpa Beban (*No Load Test*)

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

$$P_{3-\phi} = P_1 + P_2 \text{ Watt}$$

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

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

$$V_{nl} = \frac{V_{ab}}{\sqrt{3}} \text{ Volt/fasa} \dots\dots\dots (2.34)$$

Untuk arus pada no load

$$I_{nl} = \frac{I_a + I_b + I_c}{3} \text{ Ampere} \dots\dots\dots (2.35)$$

$$Z_{nl} = \frac{V_{nl}}{I_{nl}} \text{ ohm} \dots\dots\dots (2.36)$$

$$R_{nl} = \frac{P_{3\phi}}{3I_o^2} \text{ ohm} \dots\dots\dots (2.37)$$

$$X_{nl} = \sqrt{Z_{nl}^2 - R_{nl}^2} \text{ ohm} \dots\dots\dots (2.38)$$

R_c , resistansi rugi-rugi inti :

$$P_c = P_{nl} - P_{rs} \dots\dots\dots (2.39)$$

$$R_c = \frac{E_s^2}{P_c} \text{ ohm/fasa} \dots\dots\dots (2.40)$$

Rugi Rugi Stator

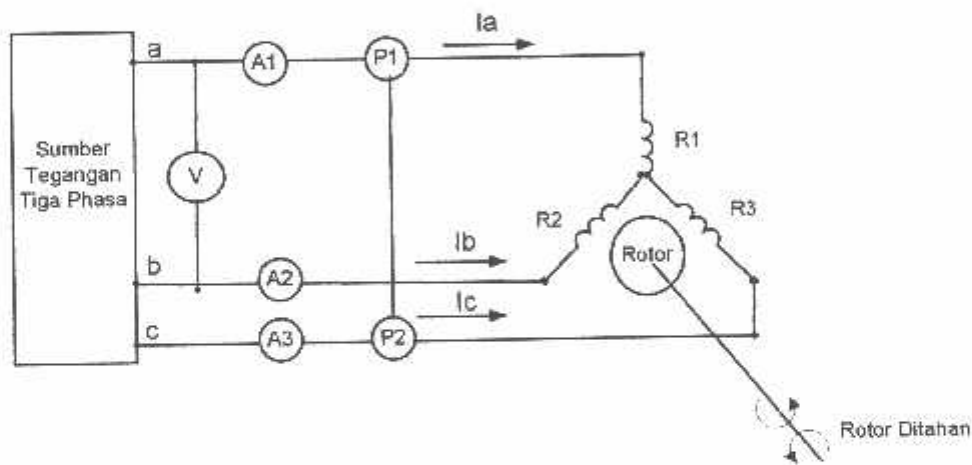
$$P_{rs} = 3I_{nl}^2 R_s \text{ (Watt)} \dots\dots\dots (2.41)$$

Rugi Gesek, angin, rugi besi :

$$P_{fwe} = P_{nl} - P_{rs} \text{ (Watt)} \dots\dots\dots (2.42)$$

2.7.3 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 phasa 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 2-14
Rangkaian Pengujian Rotor Tertahan (*Blocked Rotor*)

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

$$P_{3-\phi} = P_a + P_b \text{ watt} \quad (2.43)$$

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 :

$$P_{br} = \frac{P_3}{3} \text{ watt/fasa} \dots\dots\dots (2.44)$$

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

$$V_{br} = \frac{V_{ab}}{\sqrt{3}} \text{ Volt/fasa} \dots\dots\dots (2.45)$$

I_{br} , arus fasa stator :

$$I_{br} = \frac{I_a + I_b + I_c}{3} \text{ Ampere} \dots\dots\dots (2.46)$$

R_{ek} , resistansi ekivalen :

$$R_{ek} = \frac{P_{br}}{I_{br}^2} \text{ ohm/fasa} \dots\dots\dots (2.47)$$

Untuk R_r , resistansi rotor berpatokan pada stator :

$$R_r = R_{ek} - R_s \text{ ohm/fasa} \dots\dots\dots (2.48)$$

Z_{br} , Impedansi rotor tertahan :

$$Z_{br} = \frac{V_{br}}{I_{br}} \text{ ohm/fasa} \dots\dots\dots (2.49)$$

X_{ek} , reaktansi ekivalen :

$$X_{ek} = \sqrt{(Z_{br}^2 - R_{ek}^2)} \text{ ohm/fasa} \dots\dots\dots (2.50)$$

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

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

2.8. Pengaturan Kecepatan

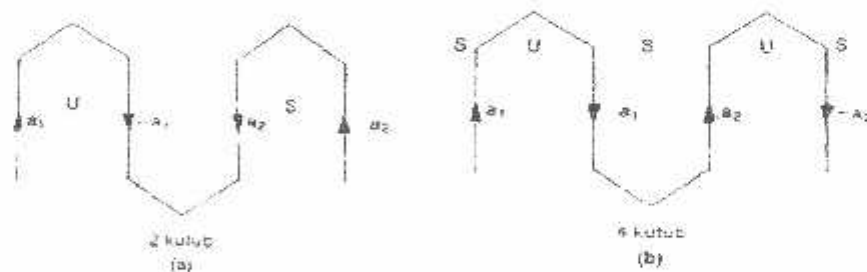
Motor induksi pada umumnya berputar dengan kecepatan konstan, mendekati kecepatan sinkronnya. Meskipun demikian pada penggunaan tertentu dikhendaki juga adanya pengaturan putaran.

Biasanya pengaturan ini dapat dilakukan dengan beberapa cara:

1. Mengubah jumlah kutub motor

Karena $n_s = \frac{120 f}{P}$, 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 2-13 berikut



Gambar 2-13 : Pengaturan Kecepatan Dengan Merubah Jumlah Kutub

Sumber : Zubot, " Dasar Teknik Tenaga Listrik", Penerbit ITB Bandung

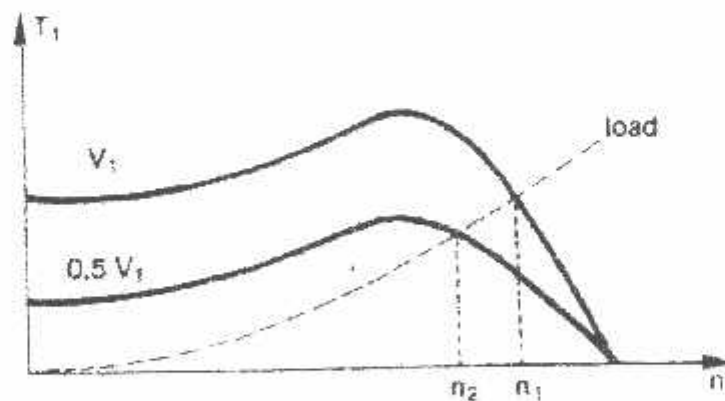
2. Mengubah Frekuensi Jala-jala

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

3. Mengatur Tegangan Jala-jala

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

Dari persamaan kopel motor induksi diketahui bahwa kopel sebanding dengan pangkat dua tegangan yang diberikan. Untuk karakteristik beban seperti terlihat pada gambar 2-14 berikut.



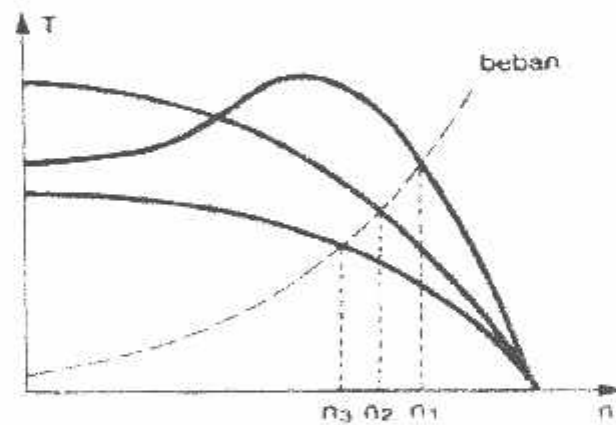
Gambar 2-14 : Karakteristik Beban Pada Pengaturan Kecepatan Dengan Mengatur Tegangan Jala – Jala

Sumber : Zuhdi, "Dasar Teknik Tenaga Listrik", Penerbit ITB Bandung

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 2-15. Putaran akan berubah dari n_1 ke n_2 ke n_3 dengan bertambahnya tahanan luar yang dihubungkan ke rotor.



Gambar 2-15 : Karakteristik Torsi Kecepatan Pada Pengaturan Tahanan Luar

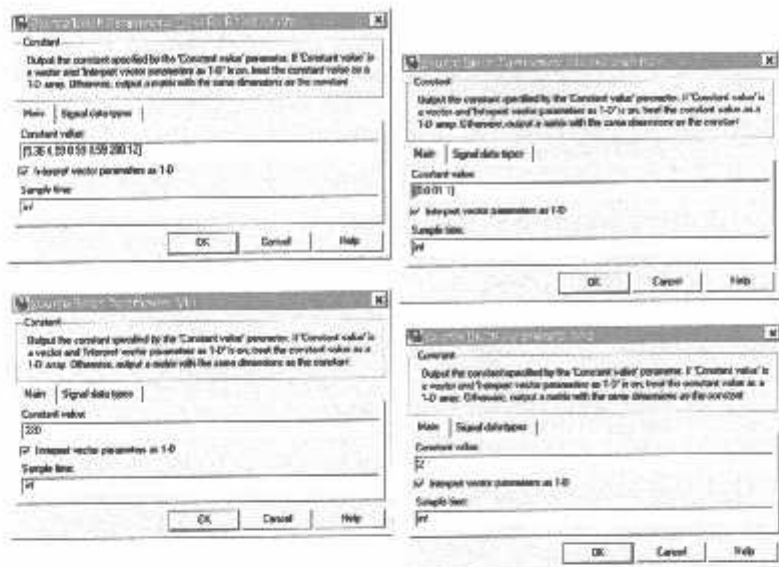
Sumber : Zuhdi, " Dasar Teknik Tenaga Listrik", Penerbit ITR Bandung

BAB III

SIMULASI MATLAB DENGAN MENGGUNAKAN METODE DIAGRAM LINGKARAN

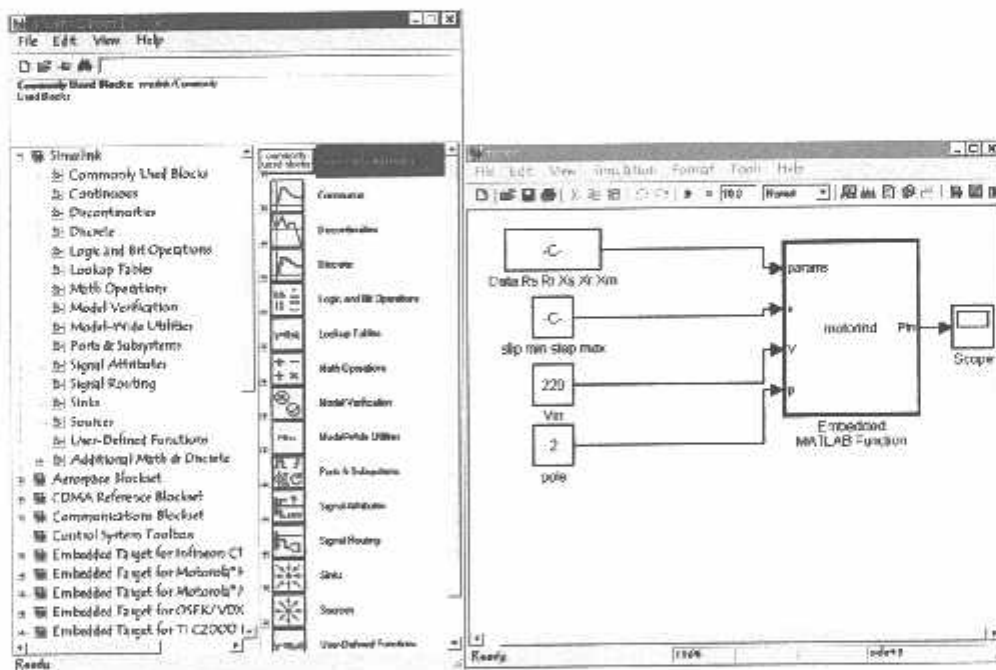
3.1. Matlab Simulink

MATLAB merupakan suatu software yang sangat baik untuk digunakan menganalisa berbagai kebutuhan dalam bidang teknik. Di dalam matlab terdapat dua bagian yang penting yaitu M-files yang berfungsi untuk menuliskan listing programnya dan simulink yang digunakan untuk melakukan simulasi. Dengan menggunakan simulink yang merupakan kesatuan dalam program tersebut kita dapat melakukan suatu pemodelan sistem kontrol atau suatu plant yang akan diatur. Hal itu dapat di desain dengan menggunakan blok-blok yang telah tersedia serta setting parameter-parameter akan menjadi lebih mudah. Blok-blok simulink dapat juga dibentuk dari persamaan matematika dengan menggunakan blok *transfer function* sehingga kita dapat menuliskan persamaan dalam blok tersebut sesuai dengan parameter yang kita cari. Dengan memasukkan data parameter, jumlah kutub, V_{in} dan kecepatan sudut pada source blok parameter yang ada. Pada simulasi karakteristik motor induksi 3 phasa pada simulink ini menggunakan parameter konstan sebagai nilai tetap untuk masukan simulasi motor induksi. Antara lain; Tegangan input PLN, $V_1 = 1$ PU dan kecepatan sudut masukan, $\omega = 1$ PU.



Gambar 3-1

Tampilan Source Blok Parameter



Gambar 3-2

Simulink Library Pada MATLAB 7.04

Dalam simulink tersebut terdapat beberapa blok yang dapat digunakan untuk pemodelan kontrol atau analisa dalam dunia elektrik. Selain Simulink dalam MATLAB juga terdapat M-Files yaitu bagian untuk menuliskan listing program yang dengan hasil program setelah dijalankan akan disimulasikan dengan Blok Simulink yang telah dibuat.

```

1 function Pin = motorind(params,s,V,p)
2 % This block supports an embeddable subset of the MATLAB language.
3 % See the help menu for details.
4
5 R=params(1);
6 Rc=params(2);
7 Xs=params(3);
8 Xc=params(4);
9 Xr=params(5);
10 smin=s(1);
11 steps=s(2);
12 smax=s(3);
13 Vpp=V/(3^0.5);
14 Pin=p;
15 ws=120*50/(p*60)*2*pi;
16 Pns=zeros(198,1);
17 Pout=zeros(198,1);
18 eff=zeros(198,1);
19 Tors=zeros(198,1);
20 IrtRe=zeros(198,1);
21 IrtIm=zeros(198,1);
22 absIr=zeros(198,1);
23 sudIr=zeros(198,1);
24 ta=zeros(198,1);
25 st=1;
26 for i=1:-0.01:0.01
27     ss=i;
28     [Pins,Pout,eff,Tors,IrtRe,IrtIm,absIr]=HitungMotor(ss,R,
29                                     Xs,Vpp,ws);
30     Pin(st)=Pins;
31     Pout(st)=Pout;
32     eff(st)=eff;
33     Tors(st)=Tors;
34     IrtRe(st)=IrtRe;
35     IrtIm(st)=IrtIm;
36     absIr(st)=absIr;
37     sudIr(st)=atan(IrtIm(st)/IrtRe(st));
38     ta(st)=ss;
39     st=st+1;
40 end
41 for i=-0.01:-0.01:-1
42     ss=i;
43     [Pins,Pout,eff,Tors,IrtRe,IrtIm,absIr]=HitungMotor(ss,R,

```

Gambar 3-3
Tampilan M-Files

Dengan menggunakan metode diagram lingkaran seperti gambar 3-3 di samping model rangkaian yang telah ada di maksudkan untuk lebih mempermudah analisis dan perhitungan motor induksi.

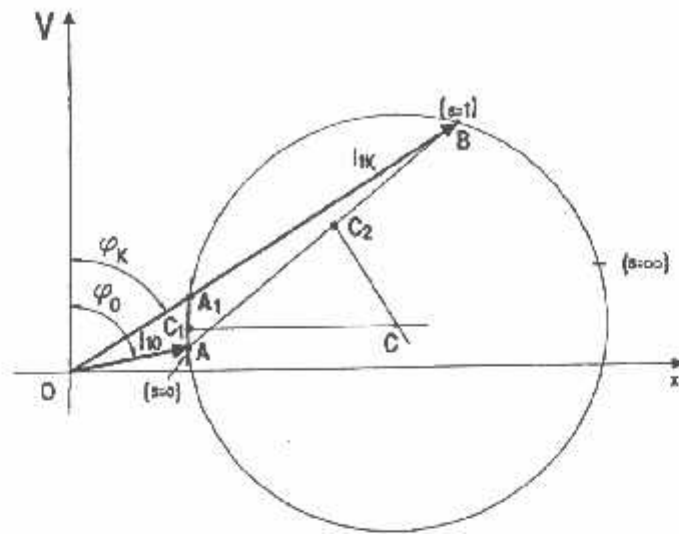
$$I_2' = \frac{V_1}{\sqrt{(R_{ab} + \frac{R_r}{S})^2 + (X_{ab} + X_r)^2}} \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

$$\sin \Phi = \frac{X_1 + a^2 X_2}{\sqrt{(R_{ab} + \frac{R_r}{S})^2 + (X_{ab} + X_r)^2}} \quad \dots\dots\dots (3.2.)$$

Dari kedua persamaan itu dapat ditulis :

$$I_2' = \frac{V_1}{X_1 + a^2 X_2} \sin \Phi \quad \dots\dots\dots (3.3)$$

Jika reaktansi dianggap konstan, demikian pula putaran dan tegangan (V_1), persamaan diatas merupakan persamaan persamaan polar dengan garis tengah sebesar $\frac{V_1}{X_1 + a^2 X_2}$ dengan berubahnya beban ($a^2 R_2 \frac{1-S}{S}$), harga $\sin \Phi$ akan berubah. Pada gambar 3-3 b terlihat tempat kedudukan vektor diagram arus I_2' Apabila arus penguat I_0 turut diperhitungkan, diagram lingkaran menjadi seperti yang terlihat pada Gambar 3-4.



Gambar 3-4

Diagram Lingkaran dari Motor Induksi

Untuk dapat menggambarkan diagram lingkaran suatu motor induksi, cukup diketahui dua titik pada diagram lingkaran tersebut. Salah satu titik diperoleh dari pengukuran beban nol ($S = 0$), sedangkan satu titik yang lain diperoleh dari pengukuran pada saat motor dibebani suatu beban tertentu ($S = S_1$) atau pada keadaan rotor ditahan ($S = 1$).

3.3.1 Pengukuran Beban Nol

Dari pengukuran beban nol akan diperoleh harga arus I_0 dan faktor kerja 0. dari kedua hasil itu dapat ditentukan tempat kedudukan titik $S = 0$ (ujung vektor arus I_0).

$$ED = I_0 \cos \Phi_0 \dots\dots\dots (3.5)$$

$$\text{rugi besi} = ED \times \text{Skala Arus } V_1$$

demikian pula HE dan HI masing-masing dapat dinyatakan sebagai rugi tembaga stator dan rotor.

Untuk menjelaskan bahwa garis HE dan HI merupakan rugi tembaga stator dan rotor , dapat diperhatikan saat rotor ditahan (S = 1). Pada keadaan ini daya terukur merupakan Σ rugi tembaga stator dan rotor, dan daya ini dapat dinyatakan oleh garis BK; sedangkan Σ rugi tembaga ini sebanding dengan kuadrat arus. Karena itu setiap titik pada garis AB ke garis mendatar (garis yang dibuat seperti tersebut pada d) pada diagram lingkaran proyeksi dapat dinyatakan sebagai rugi tembaga rotor dan stator.Untuk mendapatkan titik G pada diagram lingkaran, harus dihitung dulu rugi tembaga rotor dan rugi tembaga stator.

$$\Sigma \text{ rugi tembaga stator} = I_{hs}^2 R_1$$

$$\Sigma \text{ rugi tembaga rotor} = I_{hs}^2 a^2 R_2$$

$$\text{Maka akan didapat perbandingan : } \frac{BG}{GK} = \frac{\Sigma \text{RugiTembagaRotor}}{\Sigma \text{RugiTembagaStator}} \dots\dots\dots (3.6)$$

Akhirnya daya keluar rotor – daya mekanik dapat ditentukan dari

$$\begin{aligned} P_m &= P_{in} - \Sigma \text{ rugi} \dots\dots\dots (3.7) \\ &= (CD - ED - HE - HI) \times \text{skala arus} \times V_1 \\ &= CI \times \text{skala arus} \times V_1 \end{aligned}$$

3.4. Perhitungan

Perhitungan analisis pencarian nilai R_{TH} sesuai dengan rumus;

$$R_{TH} \approx R_1 \left(\frac{X_0}{X_1 + X_0} \right)^2 \dots\dots\dots(3.8)$$

X_{TH} sesuai dengan rumus;

$$X_{TH} \approx X_1 \dots\dots\dots(3.9)$$

Setelah tahu nilai resistansi dan reaktansi pada rangkaian thevenin, langkah selanjutnya juga menghitung nilai V_{TH} sesuai dengan rumus;

$$I_{JG1} = \frac{\angle V_{TH}^2 R_2}{\angle_{\angle_{JG1}} \{ (R_{TH} + R_2)^2 + (X_{TH} + X_2)^2 \}} \dots\dots\dots(3.10)$$

V_1 sesuai dengan rumus;

$$V_{TH} = V_1 \frac{X_0}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_0)^2}} \dots\dots\dots(3.11)$$

Nilai sudut kerja arus (θ_I) dari nilai arus yang berupa besaran rectangular sedangkan nilai sudut kerja tegangan (θ_V) dianggap nol. Pada rangkaian thevenin ini nilai reaktansi thevenin sesuai dengan rumus;

$$X_{TH} \approx X_1 \dots\dots\dots(3.12)$$

yaitu dianggap sama dengan X_1 .

Untuk menghitung nilai slip maksimum adalah sesuai dengan rumus;

$$s_{\max} = \frac{R_2}{\sqrt{R_{TH}^2 + (X_{TH} + X_2)^2}} \dots\dots\dots(3.13)$$

terakhir yang akan kita lakukan yaitu menganalisa nilai-nilai daya motor induksi,

daya input sesuai dengan rumus;

$$P_{in} = 3V_1 I_1 \cos \theta \dots\dots\dots(3.14)$$

Daya rugi tembaga lilitan stator

$$P_{scL} = 3I_1^2 R_1 \dots\dots\dots(3.15)$$

Daya yang ditarik oleh rotor

$$P_{AG} = P_{in} - P_{scL} \dots\dots\dots(3.16)$$

Daya mekanik pada rotor

$$P_{me} = 3 V_1 I_1 \cos \theta - 3 I_1^2 R_1 \dots\dots\dots(3.17)$$

Daya keluaran (output)

$$P_{out} = (1 - s) P_{me} \dots\dots\dots(3.18)$$

Yang paling pokok dalam pemilihan motor adalah besar nilai efisiensi motor induksi, untuk menganalisa efisiensi digunakan rumus;

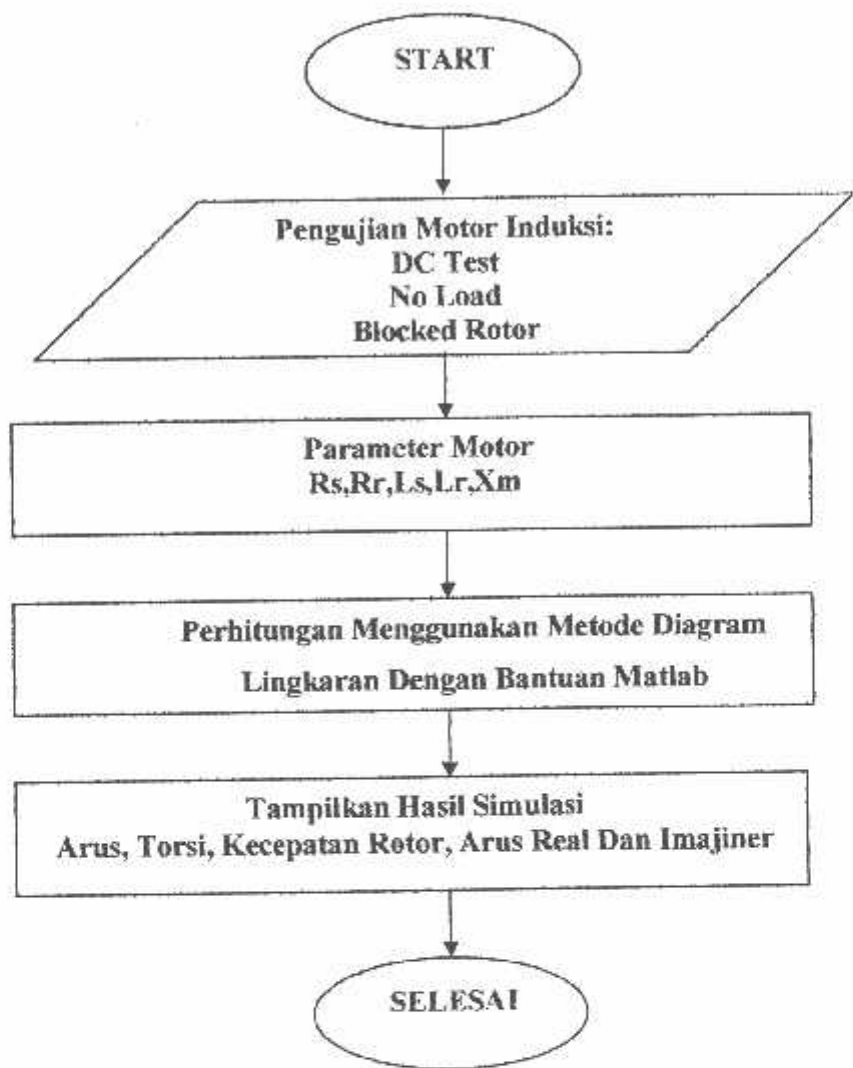
$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots(3.19)$$

3.5 Algoritma Program

3.5.1 Algoritma Pemecahan Masalah Secara Umum

1. Pengujian Parameter Motor Induksi
 - a. Dc Test
 - b. Beban Nol (*No Load Test*)
 - c. Rotor Tertahan (*Blocked Rotor Test*)
 2. Memasukan parameter motor induksi dari hasil perhitungan dengan metode diagram lingkaran.
 3. Menjalankan simulasi Motor Induksi menggunakan simulink MATLAB 7.04
 4. Menampilkan hasil simulasi arus polar, torsi, kecepatan rotor, arus real dan imajiner motor induksi.
 5. Menampilkan grafik karakteristik arus polar, torsi, kecepatan rotor, arus real dan imajiner motor induksi.
-

3.6 Flowchart Pemecahan Masalah Secara Umum



BAB IV

ANALISA PARAMETER MOTOR DAN HASIL SIMULASI

Untuk menentukan parameter-parameter motor induksi yang akan dianalisa maka dapat dilakukan dengan mengambil 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 DE LORENZO/DL 1025
- Satu set alat ukur (watt meter, ampere meter, volt meter) DE LORENZO/DL 1031
- AC/DC voltage regulator DE LORENZO/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	0.75
2	6	1.12
3	8	1.44
4	10	1.78
5	12	2.14

4.1.3 Pengujian Tanpa Beban (*No Load Test*)

Tabel 4-2
Data Hasil Pengujian Beban Nol

I_{motor} (Ampere)			$P_{3\text{ Phasa}}$ (WATT)	V_{L-L} (Volt)	Frekuensi (Hz)
a	b	c			
0.59	0.68	0.59	90	220	50

4.1.4 Pengujian Rotor Tertahan (*Blocked Rotor Test*)

Tabel 3-3
Data Hasil Pengujian Motor Rotor Tertahan

I_{motor} (Ampere)			$P_{3\text{ Phasa}}$ (WATT)	V_{L-L} (Volt)
a	b	c		
2.01	2.03	1.95	140	65

4.2 Analisa Parameter Motor Induksi

Dari pengujian arus searah besarnya resistansi stator adalah:

Dengan menggunakan persamaan 2.52

1. Analisa pengujian arus searah (*DC Test*)

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

$$R_{dc1} = \frac{4}{0.75} = 5.33 \Omega$$

$$R_{dc2} = \frac{6}{1.12} = 5.35 \Omega$$

$$R_{dc3} = \frac{8}{1.44} = 5.55 \Omega$$

$$R_{dc4} = \frac{10}{1.78} = 5.61 \Omega$$

$$R_{dc5} = \frac{12}{2.14} = 5.61 \Omega$$

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

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

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

$$I_m = \frac{0.59 + 0.68 + 0.59}{3} = 0.62 A$$

$$Z_m = \frac{V_{nb}}{\sqrt{3}I_m} = \frac{220}{\sqrt{3} \times 0.62} = 205 \Omega$$

$$R_{th} = \frac{P_{3\Phi}}{3I_{th}^2} = \frac{90}{3(0.62^2)} = 78 \Omega$$

$$X_{th} = \sqrt{Z_{th}^2 - R_{th}^2} = \sqrt{205^2 - 78^2} = 189.58 \Omega$$

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

$$I_n = \frac{I_{Ia} + I_{Ib} + I_{Ic}}{3} = \frac{2.01 + 2.03 + 1.95}{3} = 2.0 \text{ A}$$

$$Z_n = \frac{V}{\sqrt{3}I_n} = \frac{65}{\sqrt{3} \times 2.0} = 18.76 \Omega$$

$$R_n = \frac{P_{3\Phi}}{3(I_n)^2} = \frac{140}{3(2^2)} = 11.78 \Omega$$

$$X_n = \sqrt{Z_n^2 - R_n^2} = \sqrt{18.76^2 - 11.67^2} = 14.6 \Omega$$

$$X_n = X_s + X_r'$$

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

$$X_s = X_r' = \frac{1}{2} X_n = \frac{1}{2} 14.6 = 7.3 \Omega$$

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:

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

$$X_m = X_{th} - X_s = 189.58 - 7.3 = 182.28 \Omega$$

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

$$R = R_{r'} - R_s$$

$$= 11,67 - 5,49 = 6,18 \, \Omega$$

$$X_{r'} = X_r' + X_m$$

$$= 7,3 + 182,28 = 189,58$$

$$R_r' = R \, \frac{X_r'^2}{X_m^2} = 6,18 \, \frac{189,58^2}{182,28^2} = 6,68 \, \Omega$$

Tabel 4-4
Hasil Perhitungan Pengujian Parameter Motor Induksi Tiga Phasa

rs	rr	xls	xlr	xm
5,49	6,68	7,3	7,3	182,28

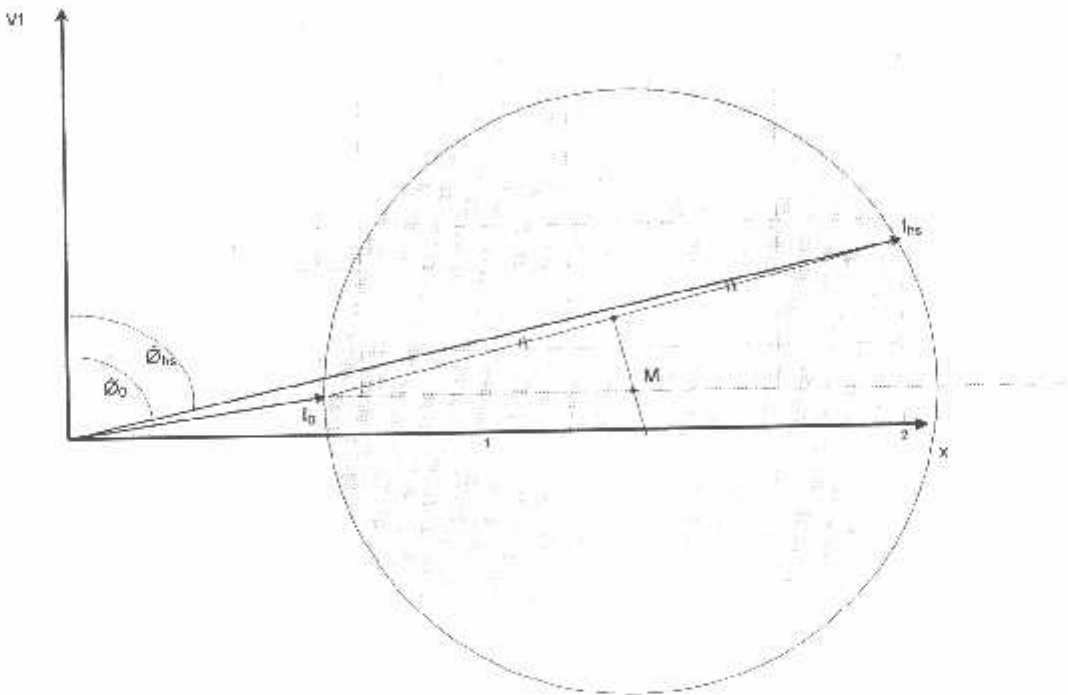
4.3 Perhitungan Dengan Diagram Lingkaran

4.3.1 Pengukuran Beban Nol

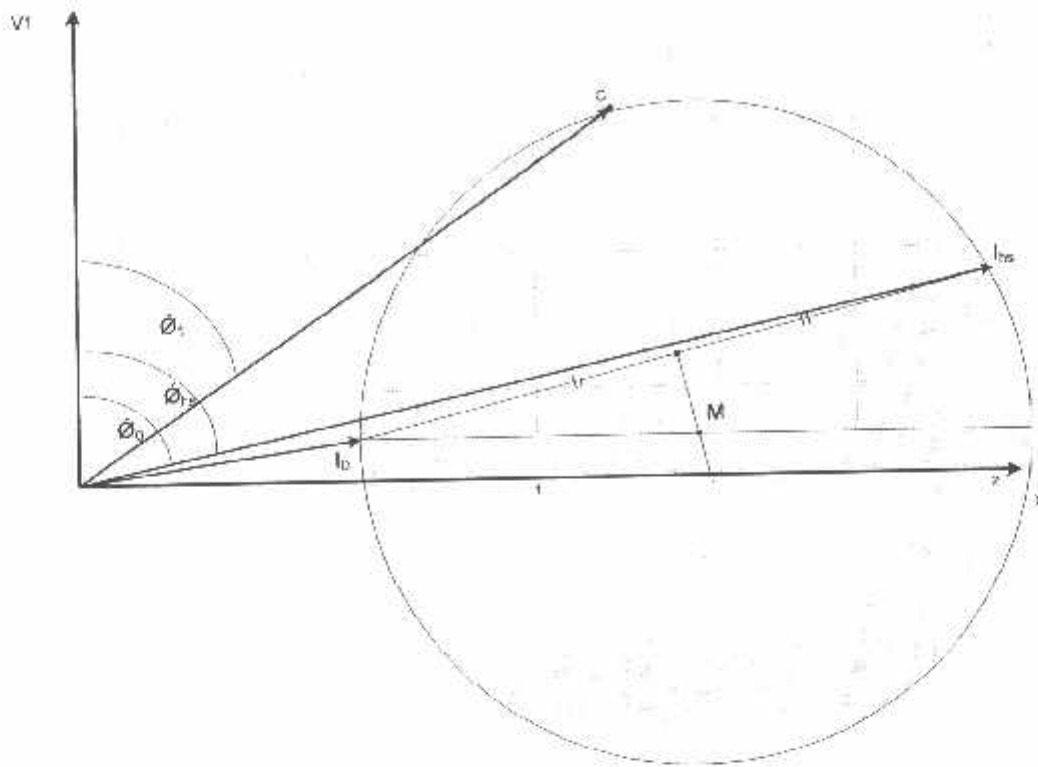
Dari pengukuran beban nol diperoleh harga arus $I_0 = 0,62$ Amp dan faktor kerja $= 0,86^\circ$, kemudian dari kedua hasil itu dapat ditentukan tempat kedudukan titik $S = 0$ (ujung vektor arus I_0).

4.3.2 Pengukuran Dengan Rotor Ditahan

Pengukuran dengan rotor ditahan akan diperoleh harga arus I_{hs} dan faktor kerja φ_{hs} . $I_{hs} = 2A$ dan $\varphi_{hs} = 1.25$. Dengan demikian dapat ditentukan tempat kedudukan titik $S = 1$.

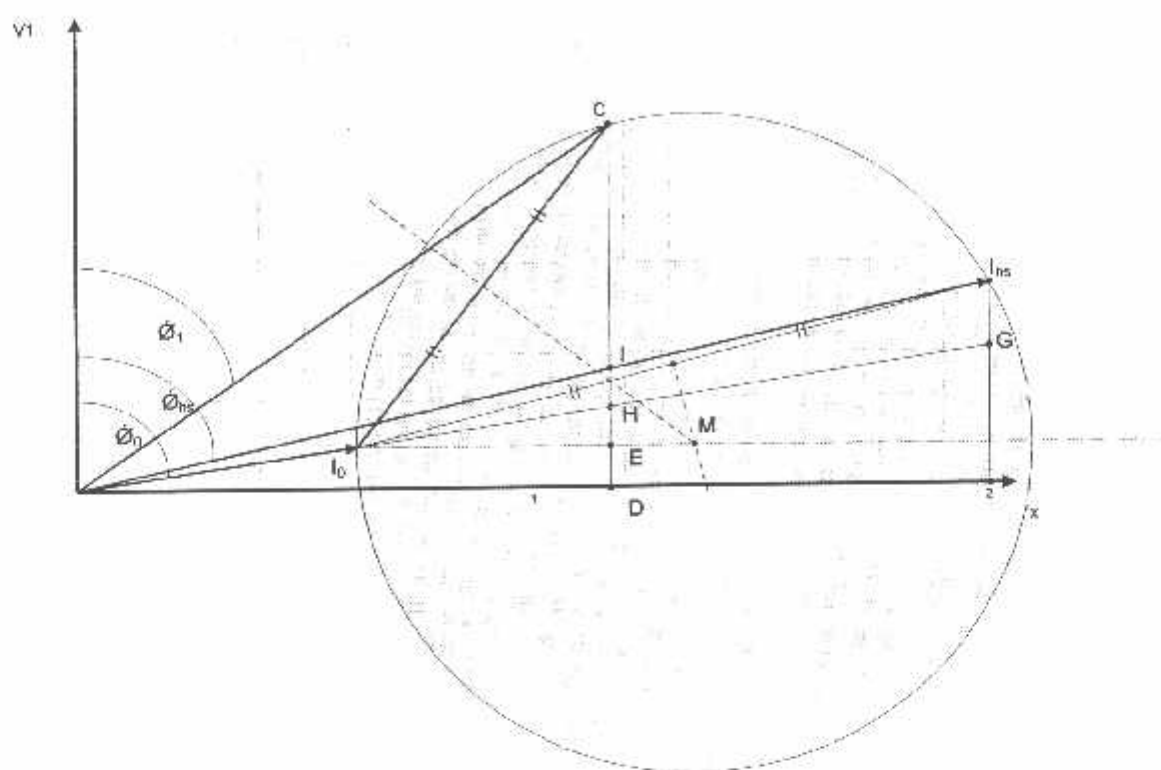


Gambar 4-1
Diagram Lingkaran dengan Skala Arus 1:0.1 a



Gambar 4-2
Diagram Lingkaran dengan Kondisi Berbeban

Titik C. Adalah titik kondisi motor bekerja yaitu di antara rentang dari titik $S = 0$ dan $S = 1$. Membuat garis lurus dari titik I_0 dan I_{bs} , kemudian menentukan titik tengah dari garis tersebut dan membuat garis tegak lurus terhadap garis mendatar sumbu I_0 . Titik M merupakan titik tengah dari lingkaran.



Gambar 4-3
Diagram Lingkaran Keseluruhan

Hasil dari pembacaan skala arus dan menentukan titik-titik yang dibutuhkan yaitu;

- $CI = 54,05$
- $CD = 80,72$
- $ED = 9,4$
- $HE = 8,6$
- $HI = 8,67$
- $HC = 62,71$

di dapatkan rumus-rumus dari diagram lingkaran yaitu;

1. Daya Masuk, $P_{in} = C_D * SKALA\ ARUS * V_1$
2. Rugi Konstan, $RUGI\ BESI = E_D * SKALA\ ARUS * V_1$
3. $H_E = RUGI\ STATOR$ dan $H_I = RUGI\ ROTOR$
4. Daya Mekanik, $P_m = C_I * SKALA\ ARUS * V_1$
5. Effisiensi, $EFF = (P_m / P_{in}) * 100\%$
6. $NR = NS(1-S)$
7. Slip, $S = H_I / H_C$
8. Torsi, $T = P_m / \omega_R = P_m / (2\pi * NR)$

4.4 Simulasi Motor Induksi dengan Diagram Lingkaran

4.4.1 Tampilan Program M-files Parameter Motor

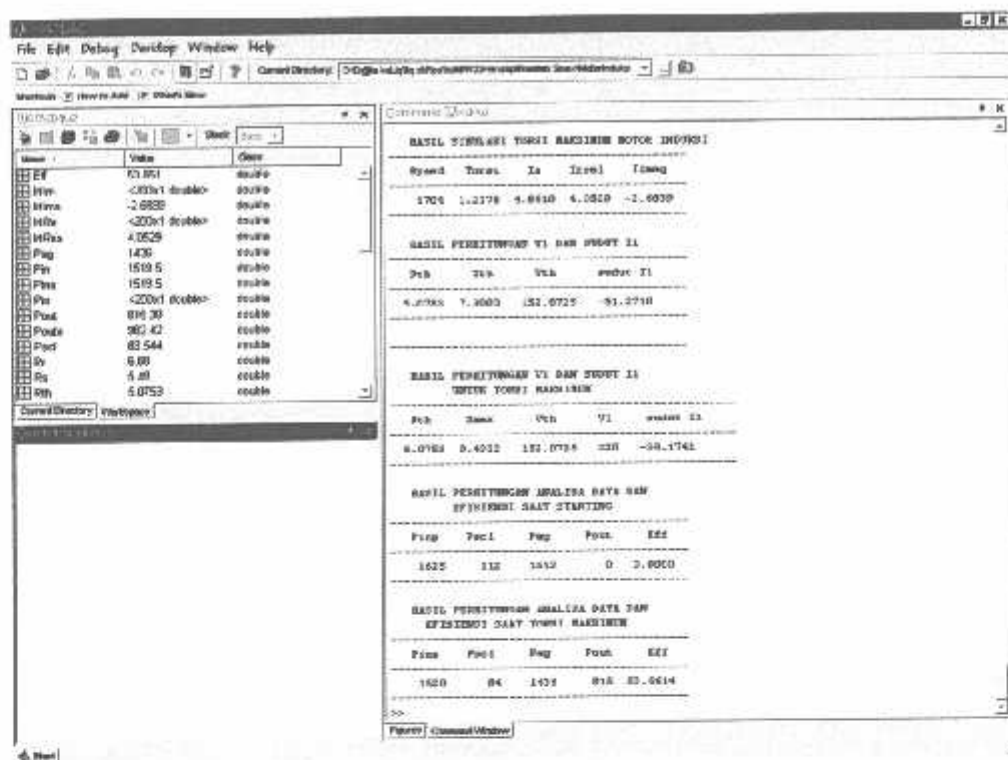
Dengan menggunakan parameter yang telah dihitung melalui pengujian yaitu tahanan stator (R_s), tahanan rotor (R_r), induktansi stator (L_s), induktansi rotor (L_r), reaktansi stator (X_s), reaktansi rotor (X_r), reaktansi bersama (X_m) dan name plate motor maka kita dapat melakukan analisa untuk melihat respons *steady state*.



Gambar 4-4

Tampilan M-files Parameter Motor Induksi

setelah parameter motor ditentukan dan dimasukkan ke dalam tampilan M-files maka akan dapat melakukan *running* rangkaian simulasi motor induksi, dan dapat melihat dari hasil simulasi pada *command windows* pada master Matlab.



Gambar 4-5

Tampilan Command Windows

Simulasi rangkaian ini berupa nilai-nilai dari saat *starting* hingga *running*. Namun pada penelitian simulasi motor induksi ini hanya mengambil data-data pada saat starting dan torsi maksimum karena penentuannya cukup pada kejadian atau tempat kedudukan torsi start dan torsi maksimum.

4.4.2 Tabel Hasil Simulasi

Tabel 4-5

HASIL SIMULASI STARTING MOTOR INDUKSI

Speed	Torsi	Is	Ireal	Iimag
0	0,9496	6.5501	4.2754	-4.9623

Tabel 4-6

HASIL SIMULASI TORSI MAKSIMUM MOTOR INDUKSI

Speed	Torsi	Is	Ireal	Iimag
1704	1.2176	4.8610	4.0529	-2.6839

4.4.3 Hasil Perhitungan Simulasi

Tabel 4-7

HASIL PERHITUNGAN V1 DAN SUDUT θ UNTUK STARTING

Rth	Vth	V1	Sudut θ
5.0753	152.0725	220	-51.2710

Tabel 4-8

HASIL PERHITUNGAN V_I DAN SUDUT θ UNTUK TORSI MAKSIMUM

R_{th}	S_{max}	V_{th}	V_I	Sudut θ
5.0753	0.4322	152.0725	220	-38.1741

Tabel 4-9

HASIL PERHITUNGAN DAYA DAN EFISIENSI SAAT STARTING

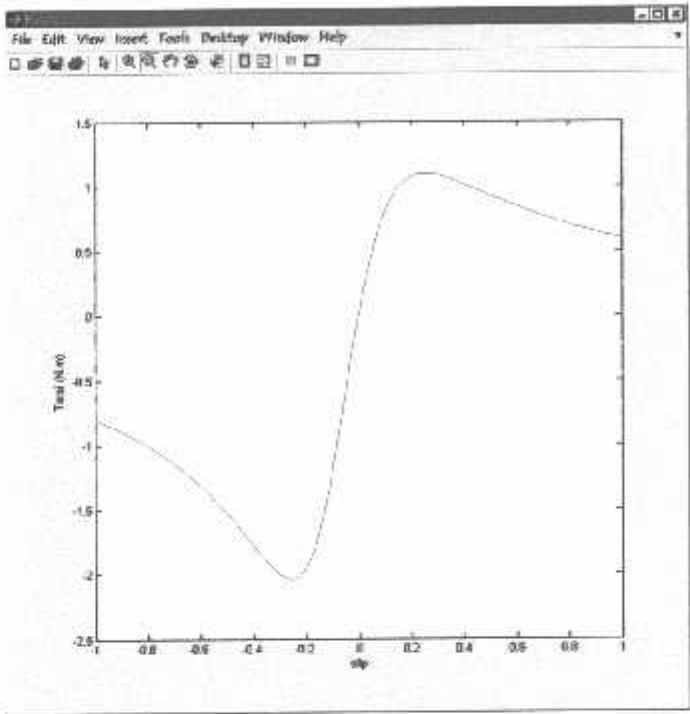
P_{in}	P_{scl}	P_{ag}	P_{out}	Eff
1625	112	1513	0	0.0000

Tabel 4-10

**HASIL PERHITUNGAN DAYA DAN EFISIENSI SAAT TORSI
MAKSIMUM**

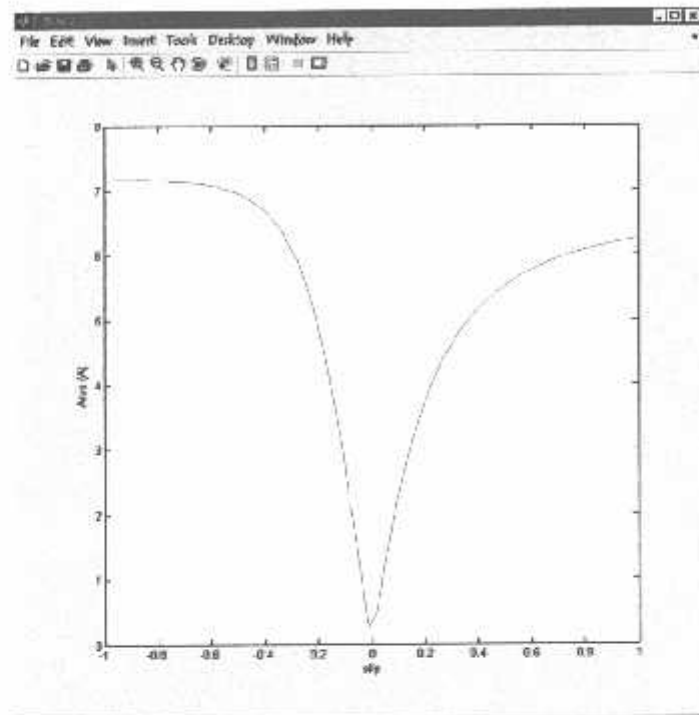
P_{in}	P_{scl}	P_{ag}	P_{out}	Eff
1520	84	1436	815	53.6614

4.4.4 Grafik Hasil Simulasi



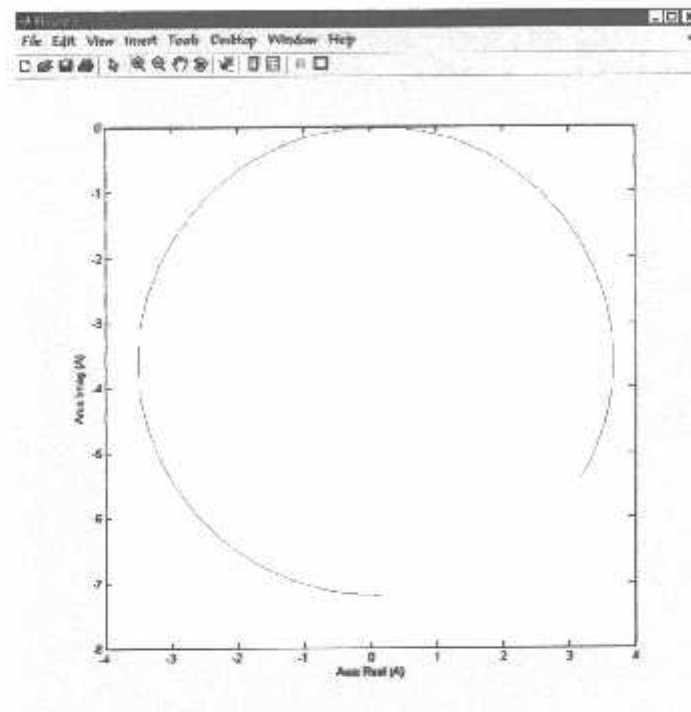
Gambar 4-6

Grafik Karakteristik Torsi Terhadap Slip



Gambar 4-7

Grafik Karakteristik Arus Terhadap Slip



Gambar 4-8

Grafik Karakteristik Arus Imajiner Terhadap Arus Real

4.4.5 Analisa Hasil Simulasi

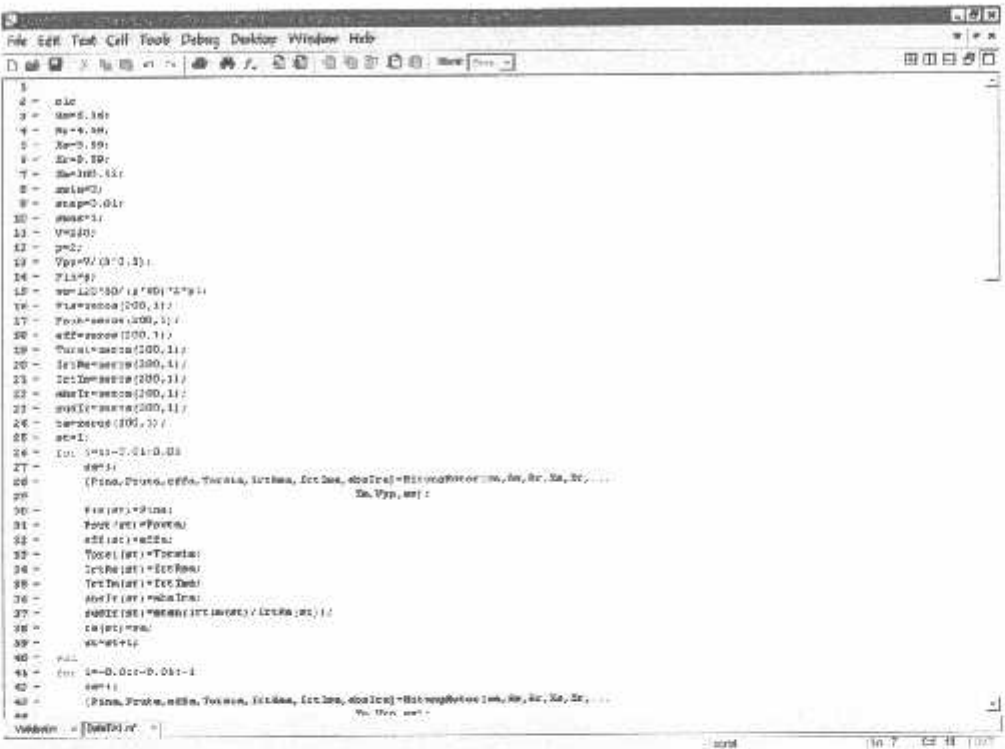
Dari hasil simulasi kita dapat melihat pada tabel 4-5 dan 4-6. Tabel 4-5 adalah data-data parameter dan hasil simulasi motor induksi pada saat dilakukan starting dimana speed = 0 dan torsi = 0.9496, arus = 6.5501 dan tabel 4-6 adalah data hasil simulasi motor induksi pada saat torsi maksimum. Kecepatan atau speed mengalami kenaikan sebesar 1704 dan torsi mencapai kondisi maksimum yaitu 1.2176, dan arus yang terlihat sebesar 4.8610. Simulasi rangkaian ini berupa nilai-nilai dari kondisi mantap. Dari simulasi tersebut kita dapat melihat grafik karakteristik yang ada yaitu karakteristik antara torsi dan slip, arus dan slip, dan karakteristik arus real terhadap arus imajiner.

Dari data yang diperoleh dari simulasi maka dapat dihitung nilai dari R_{th} , V_{th} , slip maksimum, V_1 , dan sudut θ . Dapat kita lihat pada tabel 4-7 pada saat starting $V_{th} = 152.0725$, $R_{th} = 5.0753$, $X_{th} = 7.3000$, sudut $\theta = -51.2710$ dan pada saat kondisi torsi maksimum pada tabel 4-8. Nilai $R_{th} = 5.0753$, $V_{th} = 152.0725$, $X_{th} = 7.3000$ dan slip maksimum sebesar, $S_{max} = 0.4322$, akan tetapi sudut θ mengalami kenaikan menjadi -38.1741 . Dalam analisis pemilihan motor dilanjutkan penghitungan daya dan efisiensi pada motor tersebut. Sesuai pada tabel 4-9 kondisi motor pada saat starting dan tabel 4-10 kondisi motor pada saat torsi maksimum. Nilai efisiensi mengalami kenaikan dari kondisi starting $Eff = 0.0000$ dan pada kondisi torsi maksimum $Eff = 53.6614$.

Adanya perubahan yang terlihat dari semua hasil menunjukkan bahwa program Matlab 7.04 dapat digunakan untuk mensimulasikan karakteristik motor induksi, yang salah satunya sebagai simulasi pemilihan motor induksi.

4.5. Validasi Program

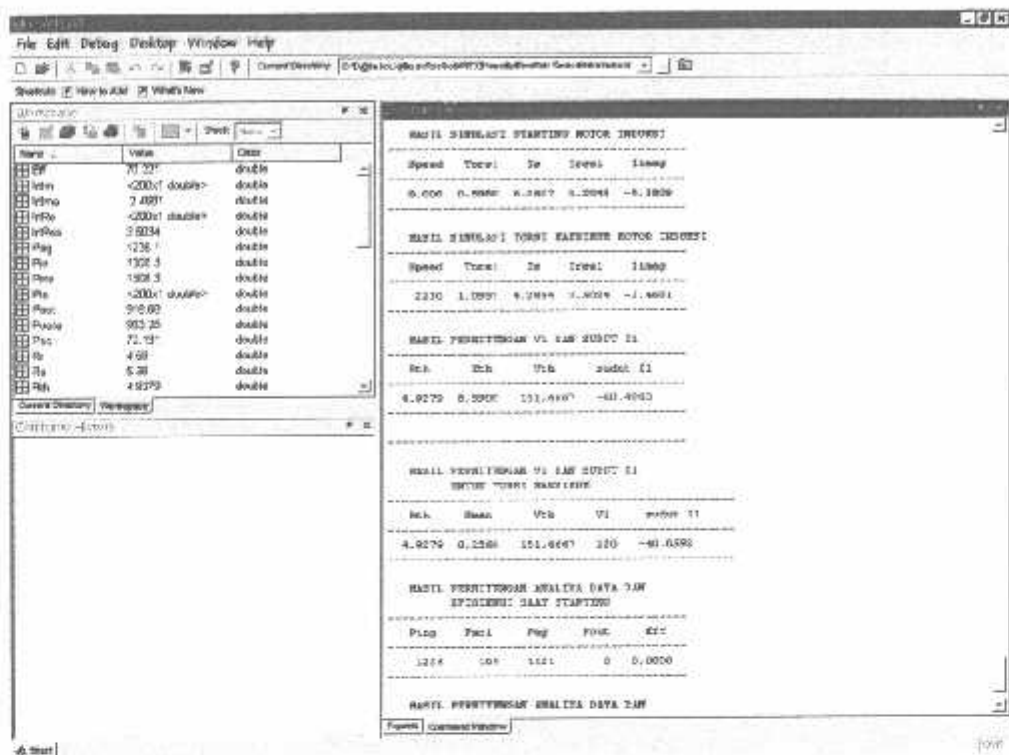
4.5.1 Tampilan M-nies



Gambar 4.9

Tampilan M-nies dengan Parameter Jurnal

Data Parameter inputan dari jurnal dimasukkan proeram dan dilakukan running program. Selanjutnya hasil keluaran dapat dilihat pada *Command Windows* pada gambar 4-10



Gambar 4.18

Tambahan Command Window Data Jurnal

4.5.2 Data Jurnal

Tabel 4-11

Data Parameter Masukan

Motor	R1	L1	R2	L2	La
Motor 1	5.36	8.59	4.59	8.59	200.12

Tabel 4-12

Hasil Simulasi Starting Motor Induksi

Speed	Torsi	Is	Ireal	Iimag
0.000	0.598	6.2627	3.2043	-5.3809

Tabel 4-11

Hasil Simulasi Torsi Maksimum Motor Induksi

Speed	Torsi	Is	Ireal	Iimag
2230	1.0093	4.2854	3.5034	-2.4681

4.5.3 Hasil Perhitungan

Tabel 4-7

HASIL PERHITUNGAN V1 DAN SUDUT θ UNTUK STARTING

Rth	Vth	V1	Sudut θ
4.9279	151.6667	220	-60.4860

Tabel 4-8

HASIL PERHITUNGAN V_I DAN SUDUT θ UNTUK TORSI MAKSIMUM

R_{th}	S_{max}	V_{th}	V_I	Sudut θ
4.9279	0.2568	151.6667	220	-40.0592

Tabel 4-9

HASIL PERHITUNGAN DAYA DAN EFISIENSI SAAT STARTING

P_{in}	P_{scl}	P_{ag}	P_{out}	Eff
1226	105	1121	0	0.0000

Tabel 4-10

**HASIL PERHITUNGAN DAYA DAN EFISIENSI SAAT TORSI
MAKSIMUM**

P_{in}	P_{scl}	P_{ag}	P_{out}	Eff
1308	72	1236	919	70.2210

Dari data tersebut, hasil parameter untuk $R_{th} = 4.9279$, $V_{th} = 151.6667$, $V_1 = 220$, Sudut $\Phi = -60.4860$ pada saat starting. Dan untuk $R_{th} = 4.9279$, $V_{th} = 151.6667$, $V_1 = 220$, Sudut $\Phi = -40.0592$, $S_{max} = 0.2568$ pada saat torsi maksimum. Setelah dilakukan uji validasi program dengan parameter dari jurnal dan didapat hasil keluaran tersebut diatas maka dengan demikian program ini sudah dapat dikatakan mendekati kebenaran.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisa yang dilakukan dengan bantuan *software* MATLAB pengujian motor induksi tiga phasa DE LORENZO/DL1021, 1,1 kW, 220/380 volt rotor sangkar dapat diambil kesimpulan:

1. Hasil simulasi dari motor induksi pada program ini didapat nilai slip maksimum sebesar 0.4322, torsi pada saat starting sebesar 0.9496 Nm, arus stator sebesar 6.5501 Amp.
2. Hasil perhitungan diperoleh nilai tegangan rangkaian thevenin (V_{TH}) = 152.0725 Volt, tegangan input (V_1) = 220 Volt, slip maksimum (S_{max}) = 0.4322, dan sudut kerja motor induksi (θ) = -38.174.
3. Hasil perhitungan pada saat starting motor induksi nilai Daya Masuk (P_{in}) = 1625, Daya Rugi Tembaga Lilitan Stator (P_{scl}) = 112, Daya Mekanik Pada Rotor (P_{ag}) = 1513, Daya Keluaran (P_{out}) = 0, dan Effisiensi = 0.0000.
4. Saat motor induksi mencapai torsi maksimum nilai Daya Masuk (P_{in}) = 1520, Daya Rugi Tembaga Lilitan Stator (P_{scl}) = 84, Daya Mekanik Pada Rotor (P_{ag}) = 1436, Daya Keluaran (P_{out}) = 815, dan Effisiensi = 53.6614.

5.2 Saran

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

1. Untuk lebih mempermudah analisa dapat digunakan MATLAB dengan versi terbaru.
2. Model simulasi ini dikembangkan untuk analisis steady state pada mesin sinkron.
3. Sistem kontrol yang digunakan dapat diganti dengan model sistem kontrol motor induksi 3 phasa lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A.E. Fitzgerald, Charles Kingsley, Jr., Stephen D. Umans, Ir.Djoko Achyanto,M.Sc.EE., “ *Mesin-Mesin Listrik* “, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1997.
 - [2] Zuhail, “ *Dasar Teknik Tenaga Listrik* “, ITB, Bandung,1977.
 - [3] Kuku Santosa, “*Penentuan Parameter Motor Induksi Tiga Pasha Dengan Metode Rangkaian Ekiivalen Gamma*”, Tugas akhir, ITN Malang, 2005
 - [4] Harry Purnomo,” *Mesin Elektrik II*”, Universitas Brawijaya, Malang, 2005.
 - [5] [Http://WWW.elektroindonesia.com/PDF/ThreePhaseMotorInduction.JHI](http://WWW.elektroindonesia.com/PDF/ThreePhaseMotorInduction.JHI)
 - [6] M. Kostenko, L. Piotrovsky, “Electrical Machines”, Volume II, MIR Publishers, Moscow,1968.
-

LAMPIRAN

✚ **Berita Acara Ujian Skripsi**

✚ **Lembar Bimbingan Skripsi**

✚ **Form. S-2**

✚ **Form. S-3a**

✚ **Form. S-3b**

✚ **Form. S-4a**

✚ **Form. S-4b**

✚ **Listing Program**



BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

Nama : MUSLIKH ARIF PRABOWO
Nim : 01.12.025
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
Judul Skripsi : ANALISIS KARAKTERISTIK MOTOR INDUKSI 3
PHASA DENGAN DIAGRAM LINGKARAN
MENGUNAKAN PROGRAM MATLAB

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

Hari : Senin
Tanggal : 03 September 2007
Dengan Nilai : 75,2 (B+) *84*



Panitia Ujian Skripsi

Ir. Mochtar Asroni, MSME
Ketua

Ir. F. Yudi Limpraptono, MT
Sekertaris

Anggota Penguji

Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT
Penguji I

Ir. Djojo Priatmono, MT
Penguji II



LEMBAR PENGAJUAN JUDUL SKRIPSI JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1

Konsentrasi : Teknik Energi Listrik/Teknik Elektronika*)

1.	Nama Mahasiswa: MUSLIM ARIF PRADIMO	Nim: 0112025
2.	Waktu Pengajuan	Tanggal: _____ Bulan: _____ Tahun: 2007
3.	Spesifikasi Judul (berilah tanda silang)**) a. Sistem Tenaga Elektrik b. Energi & Konversi Energi c. Tegangan Tinggi & Pengukuran d. Sistem Kendali Industri e. Elektronika & Komponen f. Elektronika Digital & Komputer g. Elektronika Komunikasi h. lainnya	
4.	Konsultasikan judul sesuai materi bidang ilmu kepada Dosen*) <i>Ir. M. Abd. Hamid, MT</i>	Ketua Jurusan <i>[Signature]</i> Ir. F. Yudi Limprapono, MT NIP. P. 1039500274
5.	Judul yang diajukan mahasiswa:	STUDI ANALISIS KARAKTERISTIK STEADY - STATE CIRCLE DIAGRAM MTR INDUKSI DENGAN P. MATLAB
6.	Perubahan judul yang disetujui Dosen sesuai materi bidang ilmu	ANALISIS KARAKTERISTIK MTR INDUKSI 2 PHASE MENGGUNAKAN DIAGRAM LINGKARAN DENGAN BANTUAN PROGRAM MATLAB.
7.	Catatan:	Disetujui Dosen 5-4-2007 <i>[Signature]</i>
	Persetujuan Judul skripsi yang dikonsultasikan kepada Dosen materi bidang ilmu	

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



Lampiran : 1 (satu) berkas

Pembimbing Skripsi

Kepada : Yth. Bapak **Ir. M.Abd.Hamid, MT.**
Dosen Institut Teknologi Nasional
MALANG

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Muslikh Arif Prabowo
Nim : 01.12.025
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik

Dengan ini mengajukan permohonan, kiranya Bapak bersedia menjadi Dosen Pembimbing Utama / Pendamping dari 1 atau 2 dosen pembimbing *), untuk penyusunan Skripsi dengan judul (proposals terlampir) :

**ANALISIS KARAKTERISTIK MOTOR INDUKSI 3 PHASA
MENGUNAKAN DIAGRAM LINGKARAN DENGAN
PROGRAM MATLAB**

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

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

Malang, April 2007

**Ketua
Jurusan Teknik Elektro S-1**


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

Hormat kami,


Muslikh Arif Prabowo

*) coret yang tidak perlu



PERNYATAAN KESEDIAAN DALAM PEMBIMBINGAN SKRIPSI

Sesuai permohonan dari mahasiswa :

Nama : Muslikh Arif Prabowo
Nim : 01.12.025
Semester : X II(Dua belas)
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik

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

**ANALISIS KARAKTERISTIK MOTOR INDUKSI 3 PHASA
MENGUNAKAN DIAGRAM LINGKARAN DENGAN PROGRAM MATLAB**

Demikian surat pernyataan ini kami buat agar dipergunakan seperlunya.

Malang, April 2007

**Kami yang Membuat
pernyataan**

Ir.M.Abd.Hamid, MT
Nip. Y. 101 880 0188

Catatan :

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

Form S-3b



Lampiran : 1 (satu) berkas

Pembimbing Skripsi

Kepada : Yth. Bapak **Ir. Eko Nurcahyo**
Dosen Institut Teknologi Nasional
MALANG

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Muslikh Arif Prabowo

Nim : 01.12.025

Jurusan : Teknik Elektro S-1

Konsentrasi : Teknik Energi Listrik

Dengan ini mengajukan permohonan, kiranya Bapak bersedia menjadi Dosen Pembimbing Utama / Pendamping dari 1 atau 2 dosen pembimbing *), untuk penyusunan Skripsi dengan judul (proposals terlampir) :

**ANALISIS KARAKTERISTIK MOTOR INDUKSI 3 PHASA
MENGUNAKAN DIAGRAM LINGKARAN DENGAN
PROGRAM MATLAB**

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

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

Malang, April 2007

**Ketua
Jurusan Teknik Elektro S-1**


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

Hormat kami,


Muslikh Arif Prabowo

*) coret yang tidak perlu



PERNYATAAN KESEDIAAN DALAM PEMBIMBINGAN SKRIPSI

Sesuai permohonan dari mahasiswa :

Nama : Muslikh Arif Prabowo
Nim : 01.12.025
Semester : XII (Dua belas)
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik

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

**ANALISIS KARAKTERISTIK MOTOR INDUKSI 3 PHASA
MENGUNAKAN DIAGRAM LINGKARAN DENGAN PROGRAM MATLAB**

Demikian surat pernyataan ini kami buat agar dipergunakan seperlunya.

Malang, April 2007

**Kami yang Membuat
pernyataan**

Ir. Ekp Nurcahyo
Nip. Y. 102 870 0172

Catatan :

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

Form S-3b



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

Malang, 28 Mei 2007

Nomor : ITN-293/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 : MUSLIKH ARIF P
Nim : 0112025
Fakultas : Teknologi Industri
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Kosentrasi : Teknik Energi Listrik S-1

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

25 Mei 2007 s/d 25 November 2007

Sebagai satu syarat untuk menempuh ~~Ujian~~ Sarjana Teknik, Jurusan
Teknik Elektro-S1
Demikian atas perhatian serta kerjasamanya yang baik kami sampaikan
terima kasih.



Ketua Jurusan
Teknik Elektro S-1

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

Tembusan Kepada Yth:

1. Mahasiswa Yang Bersangkutan
2. Arsip

Form S-4a



FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : MUSLIKH ARIF PRABOWO
Nim : 01.12.025
Masa Bimbingan : 25 Mei 2007 s/d 25 November 2007
Judul Skripsi : ANALISIS KARAKTERISTIK MOTOR INDUKSI 3 PHASA DENGAN DIAGRAM LINGKARAN MENGGUNAKAN PROGRAM MATLAB

No.	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1.	16/08'07	Perbaiki batasan 2 tujuan sesuai yg di bahas.	AP
2.	16/08'07	Perbaiki flowchart pemecahan masalah	AP
3.	17/08'07	Perbaiki judul grafik & tabel	AP
4.	17/08'07	Perbaiki kesimpulan.	AP
5.	18/08'07	Tambahkan analisa dg metode Diagram Lingk.	AP
6.			
7.			
8.			
9.			
10.			

Malang,
Dosen Pembimbing I,

Ir. Abdul Hamid, MT
Nip. Y. 101 880 0188



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

Malang, 28 Mei 2007

Nomor : ITN-294/LTA/2/2007
Lampiran : -
Perihal : **BIMBINGAN SKRIPSI**

Kepada : Yth. Sdr. Ir. **EKO NURCAHYO**

Dosen Pembimbing
Jurusan Teknik Elektro S-1
di

Malang

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

Nama : MUSLIKH ARIF P
Nim : 0112025
Fakultas : Teknologi Industri
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Kosentrasi : Teknik Energi Listrik S-1

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

25 Mei 2007 s/d 25 November 2007

Sebagai satu syarat untuk menempuh Ujian Sarjana Teknik, Jurusan
Teknik Elektro-S1

Demikian atas perhatian serta kerjasamanya yang baik kami sampaikan
terima kasih.



Ketua Jurusan
Teknik Elektro S-1

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

Tembusan Kepada Yth:

1. Mahasiswa Yang Bersangkutan
2. Arsip

Form S-4a



FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : MUSLIKH ARIF PRABOWO
Nim : 01.12.025
Masa Bimbingan : 25 Mei 2007 s/d 25 November 2007
Judul Skripsi : ANALISIS KARAKTERISTIK MOTOR INDUKSI 3 PHASA DENGAN DIAGRAM LINGKARAN MENGGUNAKAN PROGRAM MATLAB

No.	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1.	15-08-07	Konsultasi Bab I & Bab II.	
2.	16-08-07	Acc Bab I & II., Konsultasi Bab III.	
3.	20-08-07	Revisi Bab III., Konsultasi Bab IV.	
4.	20-08-07	Revisi flowchart - Pemecahan Masalah	
5.	21-08-07	Acc Bab III., konsultasi Bab IV.	
6.	22-08-07	Revisi Bab. IV., Acc Bab V	
7.	27-08-07	Acc Bab IV.	
8.	27-08-07	Acc. Seminar Hasil	
9.	31-08-07	Pembuatan Laporan Skripsi	
10.	2-09-07	Acc Ujian komprehensif	

Malang,
Dosen Pembimbing II,

Ir. Eko Nurcahyo
Nip. Y. 102 870 0172

Form.S-4b

```

clc
Rs=5.49;
Rr=6.68;
Xs=7.3;
Xr=7.3;
Xm=182.28;
smin=0;
step=0.01;
smax=1;
V=220;
p=2;
Vpp=V/(3^0.5);
Pin=p;
ws=120*50/(p*60)*2*pi;
Pis=zeros(200,1);
Pout=zeros(200,1);
eff=zeros(200,1);
Torsi=zeros(200,1);
IrtRe=zeros(200,1);
IrtIm=zeros(200,1);
absIr=zeros(200,1);
sudIr=zeros(200,1);
ta=zeros(200,1);
st=1;
for i=1:-0.01:0.01
    sa=i;
    [Pina,Pout,effa,Torsia,IrtRea,IrtIma,absIra]=HitungMotor(sa,Rs,Rr,Xs,Xr,...
        Xm,Vpp,ws);

    Pis(st)=Pina;
    Pout(st)=Pouta;
    eff(st)=effa;
    Torsi(st)=Torsia;
    IrtRe(st)=IrtRea;
    IrtIm(st)=IrtIma;
    absIr(st)=absIra;
    sudIr(st)=atan(IrtIm(st)/IrtRe(st));
    ta(st)=sa;
    st=st+1;
end
for i=-0.01:-0.01:-1
    sa=i;
    [Pina,Pout,effa,Torsia,IrtRea,IrtIma,absIra]=HitungMotor(sa,Rs,Rr,Xs,Xr,...
        Xm,Vpp,ws);

    Pis(st)=Pina;
    Pout(st)=Pouta;
    eff(st)=effa;
    Torsi(st)=Torsia;
    IrtRe(st)=IrtRea;
    IrtIm(st)=IrtIma;

```

```

absIr(st)=absIra;
sudIr(st)=atan(IrtIm(st)/IrtRe(st));
ta(st)=sa;
st=st+1;
end
figure(1);
plot(ta,Torsi);
xlabel('slip');
ylabel('Torsi (N.m)');
figure(2);
plot(ta,absIr);
xlabel('slip');
ylabel('Arus (A)');
Pin=Pis(1);
figure(3);
plot(IrtRe,IrtIm);
disp(ta);
disp(IrtRe);
disp(IrtIm);
xlabel('Arus Real (A)');
ylabel('Arus Imag (A)');
disp(' HASIL SIMULASI STARTING MOTOR INDUKSI');
disp('-----');
disp(' Speed Torsi Is Ireal Iimag ');
disp('-----');
sa=1;
[Pina,Pouta,effa,Torsia,IrtRea,IrtIma,absIra]=HitungMotor(sa,Rs,Rr,Xs,Xr,...
Xm,Vpp,ws);

speed=0;
Sa=[speed Torsia absIra IrtRea IrtIma];
fprintf(' %7.3f %7.4f %7.4f %7.4f %7.4f\n',Sa);
disp('-----');
disp(' ');
[smax]=HitungSmax(Rs,Xs,Rr,Xr,Xm);
speed=3000-smax*3000;
disp(' HASIL SIMULASI TORSI MAKSIMUM MOTOR INDUKSI');
disp('-----');
disp(' Speed Torsi Is Ireal Iimag ');
disp('-----');
[Pina,Pouta,effa,Torsia,IrtRea,IrtIma,absIra]=HitungMotor(smax,Rs,Rr,Xs,Xr,...
Xm,Vpp,ws);

Sa=[speed Torsia absIra IrtRea IrtIma];
fprintf(' %7.0f %7.4f %7.4f %7.4f %7.4f\n',Sa);
disp('-----');
disp(' ');
disp(' HASIL PERHITUNGAN VI DAN SUDUT II');
disp('-----');
disp(' Rth Xth Vth sudut II ');
disp('-----');
[Rth,Xth,Vth,sudIst]=Tabel4(Rs,Xs,Rr,Xr,Xm,V,1);

```

```

Sa=[Rth Xth Vth sudIst];
fprintf(' %7.4f %7.4f %7.4f %7.4f\n',Sa);
disp('-----');
disp(' ');
disp('-----');
disp(' ');
disp(' HASIL PERHITUNGAN VI DAN SUDUT I1');
disp('      UNTUK TORSI MAKSIMUM      ');
disp('-----');
disp(' Rth  Smax  Vth  V1  sudut I1  ');
disp('-----');
[Rth,Xth,Vth,sudIst]=Tabel4(Rs,Xs,Rr,Xr,Xm,V,smax);
Sa=[Rth smax Vth V sudIst];
fprintf(' %7.4f %7.4f %7.4f %4.0f %7.4f\n',Sa);
disp('-----');
disp(' ');
disp(' HASIL PERHITUNGAN ANALISA DAYA DAN');
disp('      EFISIENSI SAAT STARTING');
disp('-----');
disp(' Pinp  PscI  Pag  Pout  Eff  ');
disp('-----');
s=1;
[Pin,PscI,Pag,Pout,Eff]=Tabel6(s,Rs,Rr,Xs,Xr,Xm,Vpp,ws);
Sa=[Pin PscI Pag Pout Eff];
fprintf(' %7.0f %7.0f %7.0f %7.0f %7.4f\n',Sa);
disp('-----');
disp(' ');
disp(' HASIL PERHITUNGAN ANALISA DAYA DAN');
disp('      EFISIENSI SAAT TORSI MAKSIMUM');
disp('-----');
disp(' Pinp  PscI  Pag  Pout  Eff  ');
disp('-----');
s=1;
[Pin,PscI,Pag,Pout,Eff]=Tabel6(smax,Rs,Rr,Xs,Xr,Xm,Vpp,ws);
Sa=[Pin PscI Pag Pout Eff];
fprintf(' %7.0f %7.0f %7.0f %7.0f %7.4f\n',Sa);
disp('-----');

```

```

function
[Pin,Pout,eff,Torsi,IrtRc,IrtIm,absIrt]=HitungMotor(s,Rs,Rr,Xs,Xr,Xm,Vpp,ws)
Zr=complex(Rr/s,Xr);
Zm=complex(0,Xm);
Zs=complex(Rs,Xs);
Ztot=(Zr*Zm/(Zr+Zm))+Zs;
Ist=Vpp/Ztot;
absIst=abs(Ist);
sudIst=angle(Ist);
pf=cos(sudIst);
Pin=3*Vpp*absIst*pf;
CuLoss=3*absIst*Rs;

```

```

Irt=Zm/(Zr+Zm)*Ist;
IrtRe=real(Irt);
IrtIm=imag(Irt);
absIrt=abs(Irt);
CpLoss=3*absIrt^2*Rr;
Pout=Pin-CuLoss-CpLoss;
eff=Pout/Pin*100;
Torsi=(1/ws)*(Rr/s)*(Vpp^2/((Rs+Rr/s)^2+(Xs+Xr)^2));

```

```

function [smax]=HitungSmax(Rs,Xs,Rr,Xr,Xm)
Rth=Rs*(Xm/(Xs+Xm))^2;
Xth=Xs;
smax=Rr/(Rth^2+(Xth+Xr)^2)^0.5;

```

```

function [Pinp,Psc1,Pag,Pout,n,sud11deg]=MotorInduksi(Rs,Xs,Rr,Xr,Xm,V1)
s=0.05;
Zs=complex(Rs,Xs);
Zr=complex(Rr/s,Xr);
Zm=complex(0,Xm);
Zab=Zm*Zr/(Zm+Zr);
Ztot=Zab+Zs;
I1=V1/Ztot;
sud11=angle(I1);
sud11deg=sud11*180/pi;
Sinp=3*V1*I1;
Pinp=real(Sinp);
Psc1=3*abs(I1)^2*Rr;
Pag=Pinp-Psc1;
Pout=(1-s)*Pag;
n=Pout/Pinp*100;

```

```

function
[Rth,Xth,Vth,sud1st,smax,Pin,Psc1,Pag,Pout,n]=MotorInduksi2(Rs,Xs,Rr,Xr,Xm,s,V)

```

```

%Rumus Asli
V1=V;
Rr=Rr/s;
Rth=Rs*(Xm/(Xs+Xm))^2;
Xth=Xs;
Zs=complex(Rs,Xs);
Zr=complex(Rr/s,Xr);
Zm=complex(0,Xm);
Ztot=Zs+(Zm*Zr/(Zm+Zr));
Ist=V/Ztot;
absIst=abs(Ist);
sud1st=angle(Ist);
pf=cos(sud1st);
Vth=V*(Xm/((Rs^2+(Xs+Xm)^2)^0.5));
smax=Rr/((Rth^2+(Xth+Xr)^2)^0.5);
Pin=3*V*absIst*cos(sud1st);

```



```

PscI=3*absIst^2*Rs;
Pag=Pin-PscI;
Pout=(1-s)*Pag;
n=Pout/Pin*100;

```

```

function
[Rth,Xth,Vth,sudI,Smax,Pin,PscI,Pag,Pout,n]=MotorInduksi3(Rs,Xs,Rr,Xr,Xm,s,Vl)
Zs=complex(Rs,Xs);
Zr=complex(Rr/s,Xr);
Zm=complex(0,Xm);
Zf=Zr*Zm/(Zr+Zm);
Is=Vt/Zf;
absIs=abs(Is);
sudIs=angle(Is);
faktordaya=cos(sudIs);
Pin=3*V

```

```

function [Rth,Xth,Vth,sudIst]=Tabel4(Rs,Xs,Rr,Xr,Xm,V,s)
Vt=V/3^0.3;
Rth=Rs*(Xm/(Xs+Xm))^2;
Xth=Xs;
Vth=Vt*Xm/(Rs^2+(Xs+Xm)^2)^0.5;
Zs=complex(Rs,Xs);
Zr=complex(Rr/s,Xr);
Zm=complex(0,Xm);
Ztot=Zs+(Zm*Zr/(Zm+Zr));
Ist=Vt/Ztot;
absIst=abs(Ist);
sudIst=angle(Ist)*180/pi;

```

```

function [Pin,PscI,Pag,Pout,Eff]=Tabel6(s,Rs,Rr,Xs,Xr,Xm,Vpp,ws)
Zr=complex(Rr/s,Xr);
Zm=complex(0,Xm);
Zs=complex(Rs,Xs);
Ztot=(Zr*Zm/(Zr+Zm))+Zs;
Ist=Vpp/Ztot;
absIst=abs(Ist);
sudIst=angle(Ist);
pf=cos(sudIst);
Pin=3*Vpp*absIst*pf;
PscI=3*absIst^2*Rs;
Pag=Pin-PscI;
Pout=(1-s)*Pag;
Eff=Pout/Pin*100;

```

```

clc
Rs=5.49;
Rr=6.68;
Xs=7.3;

```

```

Xr=7.3;
Xm=182.28;
smin=0;
step=0.01;
smax=1;
V=1;
p=2;
Vpp=V/(3^0.5);
Pin=p;
ws=120*50/(p*60)*2*pi;
Pis=zeros(200,1);
Pout=zeros(200,1);
eff=zeros(200,1);
Torsi=zeros(200,1);
IrtRe=zeros(200,1);
IrtIm=zeros(200,1);
absIr=zeros(200,1);
sudIr=zeros(200,1);
ta=zeros(200,1);
st=1;
for i=1:-0.01:0.01
    sa=i;
    [Pina,Pouta,effa,Torsia,IrtRea,IrtIma,absIra]=HitungMotor(sa,Rs,Rr,Xs,Xr,...
        Xm,Vpp,ws);

    Pis(st)=Pina;
    Pout(st)=Pouta;
    eff(st)=effa;
    Torsi(st)=Torsia;
    IrtRe(st)=IrtRea;
    IrtIm(st)=IrtIma;
    absIr(st)=absIra;
    sudIr(st)=atan(IrtIm(st)/IrtRe(st));
    ta(st)=sa;
    st=st+1;
end
for i=-0.01:-0.01:-1
    sa=i;
    [Pina,Pouta,effa,Torsia,IrtRea,IrtIma,absIra]=HitungMotor(sa,Rs,Rr,Xs,Xr,...
        Xm,Vpp,ws);

    Pis(st)=Pina;
    Pout(st)=Pouta;
    eff(st)=effa;
    Torsi(st)=Torsia;
    IrtRe(st)=IrtRea;
    IrtIm(st)=IrtIma;
    absIr(st)=absIra;
    sudIr(st)=atan(IrtIm(st)/IrtRe(st));
    ta(st)=sa;
    st=st+1;
end

```

```

figure(1);
plot(ta,Torsi);
xlabel('slip');
ylabel('Torsi (N.m)');
figure(2);
plot(ta,absIr);
xlabel('slip');
ylabel('Arus (A)');
Pin=Pls(1);
figure(3);
plot(IrtRe,IrtIm);
disp(ta);
disp(IrtRe);
disp(IrtIm);
xlabel('Arus Real (A)');
ylabel('Arus Imag (A)');
disp(' HASIL SIMULASI STARTING MOTOR INDUKSI');
disp('-----');
disp(' Speed Torsi Is Ireal Iimag ');
disp('-----');
sa=1;
[Pina,Pouta,effa,Torsia,IrtRea,IrtIma,absIra]=HitungMotor(sa,Rs,Rr,Xs,Xr,...
Xm,Vpp,ws);

speed=0;
Sa=[speed Torsia absIra IrtRea IrtIma];
fprintf(' %7.3f %7.4f %7.4f %7.4f %7.4f\n',Sa);
disp('-----');
disp(' ');
[smax]=HitungSmax(Rs,Xs,Rr,Xr,Xm);
speed=3000-smax*3000;
disp(' HASIL SIMULASI TORSI MAKSIMUM MOTOR INDUKSI');
disp('-----');
disp(' Speed Torsi Is Ireal Iimag ');
disp('-----');
[Pina,Pouta,effa,Torsia,IrtRea,IrtIma,absIra]=HitungMotor(smax,Rs,Rr,Xs,Xr,...
Xm,Vpp,ws);
Sa=[speed Torsia absIra IrtRea IrtIma];
fprintf(' %7.0f %7.4f %7.4f %7.4f %7.4f\n',Sa);
disp('-----');
disp(' ');
disp(' HASIL PERHITUNGAN V1 DAN SUDUT II');
disp('-----');
disp(' Rth Xth Vth sudut II ');
disp('-----');
[Rth,Xth,Vth,sudIst]=Tabel4(Rs,Xs,Rr,Xr,Xm,V,1);
Sa=[Rth Xth Vth sudIst];
fprintf(' %7.4f %7.4f %7.4f %7.4f\n',Sa);
disp('-----');
disp(' ');
disp('-----');

```

```

disp(' ');
disp(' HASIL PERHITUNGAN VI DAN SUDUT II ');
disp('      UNTUK TORSI MAKSIMUM      ');
disp('-----');
disp(' Rth   Smax   Vth   V1   sudut II ');
disp('-----');
[Rth,Xth,Vth,sud1st]=Tabel4(Rs,Xs,Rr,Xr,Xm,V,smax);
Sa=[Rth smax Vth V sud1st];
fprintf(' %7.4f %7.4f %7.4f %4.0f %7.4f\n',Sa);
disp('-----');
disp(' ');
disp(' HASIL PERHITUNGAN ANALISA DAYA DAN ');
disp('      EFISIENSI SAAT STARTING ');
disp('-----');
disp(' Pinp  Pscl   Pag  Pout  Eff ');
disp('-----');
s=1;
[Pin,Pscl,Pag,Pout,Eff]=Tabel6(s,Rs,Rr,Xs,Xr,Xm,Vpp,ws);
Sa=[Pin Pscl Pag Pout Eff];
fprintf(' %7.0f %7.0f %7.0f %7.0f %7.4f\n',Sa);
disp('-----');
disp(' ');
disp(' HASIL PERHITUNGAN ANALISA DAYA DAN ');
disp('      EFISIENSI SAAT TORSI MAKSIMUM ');
disp('-----');
disp(' Pinp  Pscl   Pag  Pout  Eff ');
disp('-----');
s=1;
[Pin,Pscl,Pag,Pout,Eff]=Tabel6(smax,Rs,Rr,Xs,Xr,Xm,Vpp,ws);
Sa=[Pin Pscl Pag Pout Eff];
fprintf(' %7.0f %7.0f %7.0f %7.0f %7.4f\n',Sa);
disp('-----');

```
