

SKRIPSI

ANALISA EFISIENSI MOTOR INDUKSI 3FASA DENGAN MENGUNAKAN MATLAB SIMULINK 7.0 DI LABORATORIUM KONVERSI ENERGI ELEKTRIK ITN MALANG



Disusun oleh:

AHMAD ZAINUL ARIF

02.12.060



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

NOPEMBER 2008

SECRET

MADEIRA STATE CONTROL SYSTEM SENSITIVE SECURITY INFORMATION
EXERCISES AND C.Y. DEVELOPMENT SYSTEM MAINTENANCE
OPERATION AND SUPPORT INFORMATION

SECRET

SECRET

SECRET

1-2 CONTROL SYSTEM MAINTENANCE
EXERCISES AND C.Y. DEVELOPMENT SYSTEM MAINTENANCE
OPERATION AND SUPPORT INFORMATION
OPERATION AND SUPPORT INFORMATION

SECRET

LEMBAR PERSETUJUAN

**ANALISA EFISIENSI MOTOR INDUKSI 3FASA DENGAN
MENGUNAKAN MATLAB SIMULINK 7.0 DI LABORATORIUM
KONVERSI ENERGI ELEKTRIK ITN MALANG**

SKRIPSI

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

Disusun Oleh :


AHMAD ZAINUL ARIF


02.12.060

Diperiksa dan disetujui,

Dosen Pembimbing I

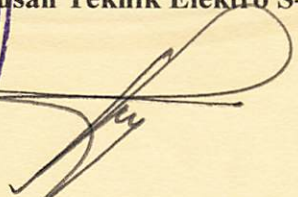
Dosen Pembimbing II


(Ir. Widodo Pudji M., MT.)
NIP.Y. 102 8700 171


(Bambang Prio H., ST. MT.)
NIP. Y. 102 8400 082



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


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

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



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

**BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

Nama Mahasiswa : Ahmad Zainul Arif
N.I.M : 02.12.060
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
Judul Skripsi : Analisa Efisiensi Motor Induksi 3Fasa Dengan Menggunakan Matlab Simulink 7.0 Di Laboratorium Konversi Energi Elektrik ITN Malang.

Dipertahankan dihadapan team penguji skripsi jenjang sarjana (S-1) pada :

Hari : Selasa
Tanggal : 23 September 2008
Dengan hasil : 76.8 (B+) *by*

PANITIA UJIAN SKRIPSI



Ketua

Ir. Mochtar Asroni, MSME.
NIP. Y. 101 8100 036

Sekretaris

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

ANGGOTA PENGUJI

Penguji I

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

Penguji II

Ir. H. Choirul Saleh, MT.
NIP.Y. 101 8800 190

**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
ANALISA EFISIENSI MOTOR INDUKSI 3FASA DENGAN
MENGUNAKAN MATLAB SIMULINK 7.0
DI LABORATORIUM KONVERSI ENERGI ELEKTRIK ITN MALANG**

Ahmad Zainul Arif

King_Kanjuruhan@yahoo.co.id

Jurusan Teknik Elektro S-1, Konsentrasi Energi Listrik
Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang
Jl. Raya Karanglo, Km 2 Malang
www.itn@itn.ac.id

Abstrak

Motor induksi secara luas digunakan untuk berbagai kepentingan, khususnya untuk kepentingan industri. Diperlukan pengujian-pengujian untuk mengetahui nilai efisiensi suatu motor induksi yang akan diberi beban, sehingga timbul permintaan dari industri-industri yang sebagian besar mesinnya menggunakan motor induksi untuk mengembangkan dan meningkatkan metode penentuan efisiensi motor induksi dengan tingkat ketelitian yang tinggi.

Penulisan ini didasarkan pada *study literature*, dan mengulas data yang diperoleh dari pengujian laboratorium, meliputi daya masukan, tegangan, arus dan kecepatan melalui berbagai pengujian. Data-data yang dimaksud diatas digunakan untuk menentukan parameter-parameter motor induksi. Jika nilai parameter sudah didapatkan, maka efisiensi motor dapat diperkirakan. Nilai-nilai parameter itu digunakan sebagai data masukan pada blok parameter yang ada pada program *matlab simulink*.

Dari hasil simulasi dapat kita lihat bahwa semakin besar nilai torsi beban maka nilai efisiensi semakin besar pula, dengan catatan nilai torsi beban tidak boleh lebih besar dari nilai torsi mekanik.

Kata kunci : Motor induksi, efisiensi, parameter, *matlab simulink*.

Abstract

Motor induction is large use for necessary of all, special for necessary company need experiment for known value efficiency motor induction who will load so appear request from company big diother machine it used motor induction for development and increase method to efficiency motor induction with level high careful.

This Writing is base at literation study and retelling file is got from experiment of laboratorium enter power volt, current, and speed pass trough some tested of files above on it used for determine parameters induction motor is falue parameter got so efficiency motor got guess the value parameter use of entered file at parameter block was at the matlad simulink program.

From simulation result can us looking that the bigger value torcy load so value efficiency bigger too the note is value torsi load not bigger than value torcy mechanics.

Key word : induction motor, efficiency, parameters, matlad simulink.

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kehadirat Allah S.W.T atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penyusun dalam menyelesaikan skripsi ini tepat pada waktunya. Skripsi ini disusun untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar sarjana teknik elektro di Institut Teknologi Nasional Malang. Penyusun menyadari bahwa penyusunan skripsi ini mungkin masih jauh dari kesempurnaan, sehingga sangat diharapkan adanya saran dan masukan yang bersifat membangun dari semua pihak untuk membantu penyelesaian penyusunan skripsi ini.

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

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Abraham Lomi, MSEE, selaku Rektor ITN Malang.
2. Bapak Ir. F. Yudi Limpraptono, MT, selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1 ITN Malang.
3. Bapak Ir. Widodo Pudji M., MT, selaku Dosen Pembimbing Utama
4. Bapak Bambang Prio H., ST. MT, selaku Dosen Pembimbing Kedua
5. Orang Tua, kakak dan adikku yang tercinta yang selalu memberikan semangat, saran dan do'anya.
6. Rekan-rekan elektro energi listrik yang saling membantu dan saling mengisi dalam pengerjaan skripsi ini.

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

Malang, Nopember 2008

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
ABSTRAK.....	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR GRAFIK	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB I Pendahuluan	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	2
1.4. Batasan Masalah.....	2
1.5. Metode pembahasan.....	3
1.6. Sistematika Penulisan	4
BAB II Teori Dasar	6
2.1. Teori Dasar Motor Induksi.....	6
2.2. Konstruksi Motor Induksi	7
2.2.1. Stator	7
2.2.2. Rotor.....	8
2.3. Medan Magnet Putar	9
2.4. Prinsip Kerja Motor Induksi	11
2.5. Karakteristik T – S.....	12
2.6. Rangkaian Ekuivalen	14
2.6.1. Rangkaian Ekuivalen Stator	15
2.6.2. Rangkaian Ekuivalen Rotor	16
2.6.3. Rangkaian Ekuivalen DQ Motor Induksi.....	20
2.7. Operasional Motor Induksi	23

2.7.1. Performa Steady State	23
2.7.2. Performa Transient	24
BAB III Menganalisa Efisiensi Motor Induksi Berdasarkan Parameter	27
3.1. Efisiensi Motor Induksi	27
3.1.1. Teori Dasar Efisiensi Motor Induksi	27
3.1.2. Rugi Dan Efisiensi	32
3.2. Pengujian Motor Induksi Tiga Fase.....	35
3.2.1. Pengujian Arus Searah (<i>DC Test</i>)	35
3.2.2. Pengujian Tanpa Beban (<i>No-Load Test</i>)	36
3.2.3. Pengujian Rotor Tertahan (<i>Blocked Rotor Test</i>)	37
3.3. Pemodelan Motor Induksi Tiga Fase.....	39
3.3.1. Matlab Simulink.....	39
3.4. Algoritma Pemrograman.....	43
3.4.1. Algoritma Pemecahan Masalah Secara Umum.....	43
3.4.2. Flowchart.....	44
BAB IV Menghitung Parameter Motor Dan Analisa Hasil	
Simulasi	45
4.1. Menentukan Parameter Motor Induksi	45
4.1.1. Alat-alat Yang Digunakan	45
4.1.2. Hasil Pengujian Arus Searah (<i>DC Test</i>).....	46
4.1.3. Hasil Pengujian Tanpa Beban (<i>No-Load Test</i>).....	46
4.1.4. Hasil Pengujian Rotor Tertahan (<i>Blocked-Rotor Test</i>).....	47
4.2. Analisa Parameter Motor Induksi	47
4.3. Analisa Hasil Simulasi	51
4.3.1. Tampilan Parameter.....	51
4.4.1. Analisa Hasil Simulasi Untuk Torsi Beban = 0 Nm.....	54
4.4.2. Analisa Hasil Simulasi Untuk Torsi Beban = 0.5 Nm.....	57
4.4.3. Analisa Hasil Simulasi Untuk Torsi Beban = 1 Nm.....	60
4.4.4. Analisa Hasil Simulasi Untuk Torsi Beban = 1.5 Nm.....	63
4.4.5. Analisa Hasil Simulasi Untuk Torsi Beban = 2 Nm.....	66

4.4.6. Analisa Hasil Simulasi Untuk Torsi Beban = 2.5 Nm.....	69
4.4.7. Analisa Hasil Simulasi Untuk Torsi Beban = 3 Nm.....	72
4.4.8. Analisa Hasil Simulasi Untuk Torsi Beban = 3.5 Nm.....	75
BAB V Penutup	79
5.1. Kesimpulan.....	79
5.2. Saran.....	81
DAFTAR PUSTAKA	83
LAMPIRAN.....	84

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Konstruksi Motor Induksi	7
Gambar 2.2	Stator Tiga - Fasa Motor Induksi	8
Gambar 2.3	a. Rotor Sangkar	9
	b. Rotor Belitan	9
Gambar 2.4	Medan Putar Pada Motor Induksi.....	10
Gambar 2.5	Rangkaian Ekuivalen Stator	15
Gambar 2.6	Rangkaian Ekuivalen Rotor	17
Gambar 2.7	Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi.....	18
Gambar 3.1	Kehilangan Motor (US DOE)	27
Gambar 3.2	Rangkaian Pengujian Arus Searah (<i>DC Test</i>)	35
Gambar 3.3	Rangkaian Pengujian Tanpa Beban (<i>No Load Test</i>)	36
Gambar 3.4	Rangkaian Pengujian Rotor Tertahan (<i>Blocked Rotor</i>).....	38
Gambar 3.5	<i>Simulink Library</i> Pada MATLAB 7.0	40
Gambar 3.6	Contoh Penggunaan Sumulink	41
Gambar 3.7	Contoh Tampilan M-Files	42
Gambar 3.8	<i>Flowchart</i> Efisiensi Motor Induksi	44
Gambar 4.1	Blok Simulink Efisiensi Motor Induksi Secara <i>Konvensional</i>	51
Gambar 4.2	Parameter Motor Induksi 3Fasa	52
Gambar 4.3	Blok Parameter Power Supply	53
Gambar 4.4	Blok Simulink Efisiensi Motor Induksi Secara <i>Konvensional</i> $T_b = 0$ Nm	54
Gambar 4.8	Blok Simulink Efisiensi Motor Induksi Secara <i>Konvensional</i> $T_b = 0.5$ Nm	57
Gambar 4.12	Blok Simulink Efisiensi Motor Induksi Secara <i>Konvensional</i> $T_b = 1$ Nm	60
Gambar 4.16	Blok Simulink Efisiensi Motor Induksi Secara <i>Konvensional</i> $T_b = 1.5$ Nm	63
Gambar 4.20	Blok Simulink Efisiensi Motor Induksi Secara <i>Konvensional</i> $T_b = 2$ Nm	66

Gambar 4.24	Blok Simulink Efisiensi Motor Induksi Secara <i>Konvensional</i>	
	$T_b = 2.5 \text{ Nm}$	69
Gambar 4.28	Blok Simulink Efisiensi Motor Induksi Secara <i>Konvensional</i>	
	$T_b = 3 \text{ Nm}$	72
Gambar 4.32	Blok Simulink Efisiensi Motor Induksi Secara <i>Konvensional</i>	
	$T_b = 3.5 \text{ Nm}$	75

DAFTAR GRAFIK

Grafik 2.1	Kurva Karakteristik T - S.....	12
Grafik 2.2	Karakteristik Motor Induksi Keadaan <i>Steady State</i>	24
Grafik 2.3	<i>Transient Respons</i> Pada <i>Starting</i> Motor Induksi 3Fasa.....	25
Grafik 2.4	Karakteristik Torsi Motor Pada Beban Berubah.....	25
Grafik 3.1	Efisiensi Motor Beban Sebagian (Sebagai Fungsi dari % Efisiensi Beban Penuh) (<i>US DOE</i>)	29

DAFTAR TABEL

Tabel	4.1	Data Hasil Pengujian Arus Searah.....	46
Tabel	4.2	Data Hasil Pengujian Beban Nol	46
Tabel	4.3	Data Hasil Pengujian Rotor Tertahan	47
Tabel	4.4	Hasil Perhitungan Pengujian Parameter Motor Induksi 3Fasa ...	50
Tabel	4.5	Tabel efisiensi hasil simulasi	78

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Diperkirakan bahwa sekitar 70% motor di industri menggunakan jenis motor induksi 3fasa. Sebagai contoh: pompa kompresor, *belt conveyor*, jaringan listrik, dan *grinder*. Karena sulit mengkaji efisiensi pada kondisi operasi yang normal, beban motor dapat diukur dan digunakan sebagai *indicator* efisiensi motor^[6].

Namun sebelum memberi beban pada motor, sebaiknya diteliti dulu untuk mengetahui kondisi baik atau buruknya dari pada motor tersebut. Maka, untuk mengetahui kondisi tersebut hendaknya dilakukan pengujian pada motor guna mencari nilai parameter. Dari data hasil pengujian yang telah di peroleh lalu dilakukan perhitungan dan hasilnya dimasukkan ke dalam blok parameter yang terdapat pada program *matlab simulink* guna mempermudah dalam mencari nilai efisiensi. Karena dari hasil simulasi dapat digunakan untuk mengetahui kondisi dari pada motor tersebut, apakah layak digunakan atau tidak.

Dengan melakukan perhitungan secara konvensional ini, maka diharapkan kita dapat menentukan efisiensi motor induksi secara praktis dan tepat disaat motor akan diberi beban.

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah di jelaskan di atas, maka dapat diambil suatu perumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimanakah pengambilan data parameter motor, guna memasukkan nilai-nilai dari parameter tersebut kedalam blok simulasi untuk mencari nilai efisiensi motor induksi 3 fasa sebagai suatu pemecahan masalah?
2. Bagaimana menganalisa efisiensi saat motor diberi beban yang berubah-ubah?

1.3. Tujuan Penelitian

Menganalisa efisiensi motor induksi 3fasa dengan menggunakan *matlab simulink 7.0*.

1.4. Batasan Masalah

Agar pembahasan dalam skripsi ini lebih terarah dan tidak menyimpang dari judul yang telah dibuat, maka perlu ditetapkan pokok-pokok permasalahan yang akan dibahas sesuai dengan tujuan dan judul yang ada maka permasalahan dibatasi oleh beberapa hal sebagai berikut:

- a. Analisa Menggunakan *Matlab Simulink 7.0.1*.
- b. Pembahasan lebih ditekankan pada analisis penentuan efisiensi motor induksi 3 phasa.
- c. Tidak membahas sistem proteksi motor.

- d. Tidak membahas inersi beban dan gesekan yang terjadi.
- e. Tidak membahas harmonisa motor.
- f. Analisa dilakukan pada Motor Induksi Tiga Phasa Rotor Sangkar DE LORENZO/DL1021, 1,1 kW, 220/380 (Δ/Y) Volt, 4,3/2,5 (Δ/Y) Ampere, $\cos \phi$ 0,83, 50 Hz, 2820 rpm, 2 kutup di Laboratorium Konversi Energi ITN Malang.
- g. Frekuensi rendah yang dipakai adalah frekuensi jala-jala dari motor induksi yaitu 50 Hz.

1.5. Metode Pembahasan

1. Kajian pustaka, yaitu bahan untuk memahami prinsip kerja dari motor induksi 3fasa yang akan digunakan dalam menganalisa.
2. Pengumpulan data
Pengumpulan data melalui percobaan motor induksi 3fasa dengan pengujian arus searah(*DC Test*), pengujian rotor tertahan(*Block Rotor Test*), dan pengujian tanpa beban (*No Load Test*).
3. Membuat blok Matlab Simulink 7.0.1 untuk mendapatkan grafik nilai efisiensi motor induksi 3fasa.
4. Menjalankan simulasi Matlab Simulink 7.0.1 serta melakukan analisa efisiensi motor induksi.
5. Menarik kesimpulan.

1.6. Sistematika Penulisan

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

Bab I PENDAHULUAN

Membahas latar belakang permasalahan, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, metode pembahasan, serta menjelaskan sistematika pembahasan.

Bab II TEORI DASAR

Membahas tentang berbagai macam teori dasar yang mendukung dalam motor induksi 3 phasa sebagai objek yang akan disimulasikan untuk menganalisa efisiensi motor induksi.

Bab III MENGANALISA EFISIENSI MOTOR INDUKSI 3FASA SECARA KONVENSIONAL

Dengan menggunakan nilai-nilai dari parameter motor induksi 3phase, kita gunakan sebagai inputan data yang akan di simulasikan untuk mencari nilai efisiensi motor tersebut.

Bab IV ANALISA EFISIENSI MOTOR INDUKSI DAN HASIL SIMULASI

Menghitung hasil pengujian parameter motor induksi, dan memasukkan nilai parameter kedalam blok motor pada *Matlab*

Simulink 7.0.1. menganalisa serta menarik kesimpulan hasil simulasi efisiensi motor induksi pada saat motor dalam keadaan berbeban dan tanpa beban.

Bab V PENUTUP

Merupakan bagian akhir dari laporan skripsi ini yang terdiri dari kesimpulan dan saran.

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.

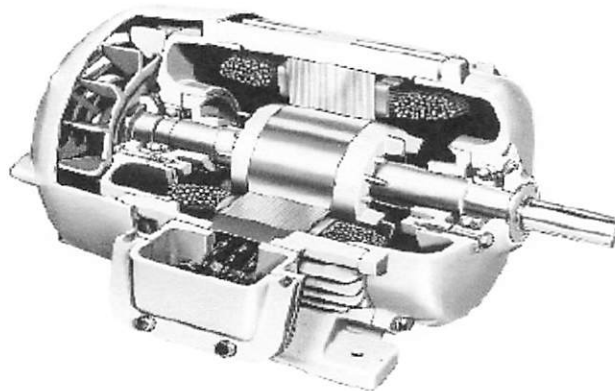
Motor induksi *polyphase* banyak dipakai dikalangan industri. Ini berkaitan dengan beberapa keuntungannya. yaitu

1. Sangat sederhana dan daya tahan kuat (konstruksi hampir tak pernah mengalami kerusakan, khususnya tipe rotor sangkar tupai).
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 :

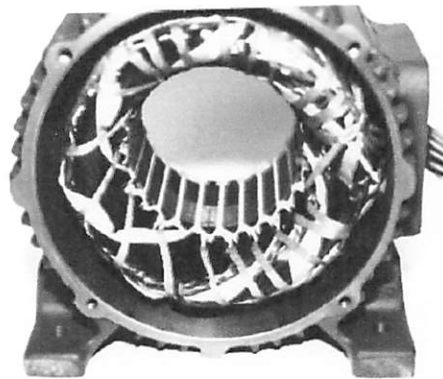


Gambar 2.1
Konstruksi Motor Induksi ^[2]

2.2.1. Stator

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

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



Gambar 2.2
Stator Tiga-Phasa Motor Induksi ^[2]

2.2.2. Rotor

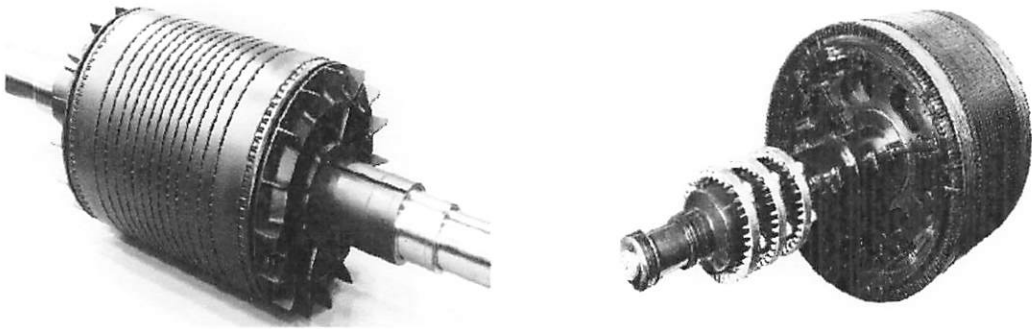
Konstruksi dari rotor motor induksi mempunyai dua bentuk, yaitu :

- 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, sehingga menyerupai sangkar tupai.



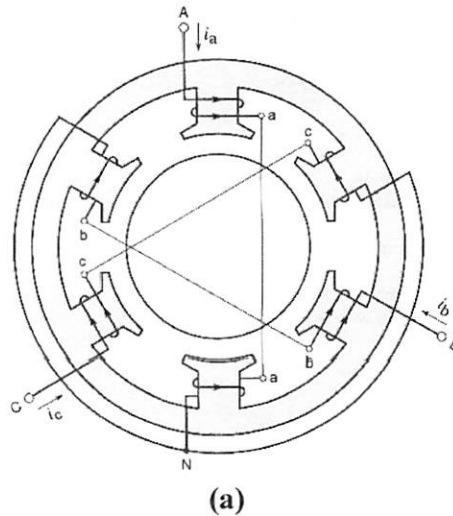
a)

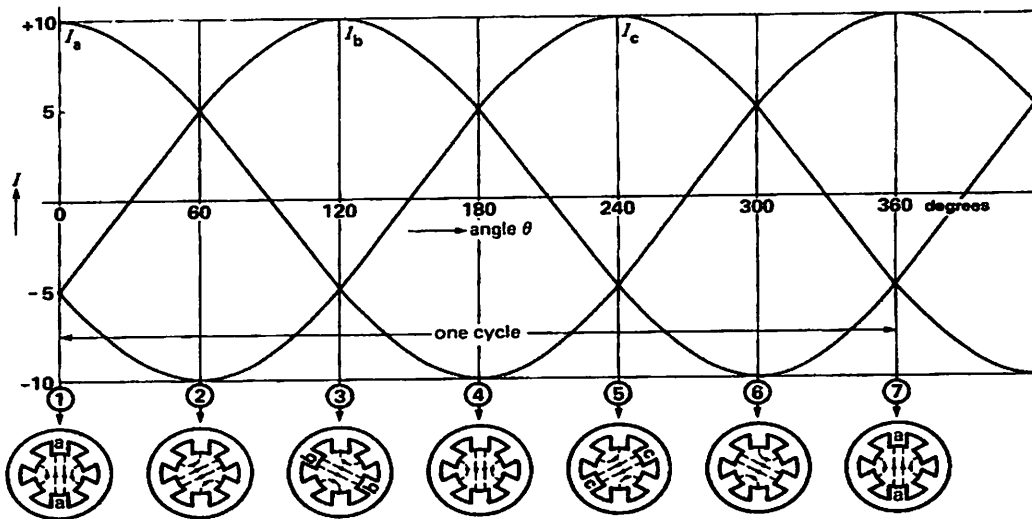
b)

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

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.





(b)

Gambar 2.4
Medan Putar Pada Motor Induksi ^[3]

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^[4].

2.4. Prinsip Kerja Motor Induksi

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

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.

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

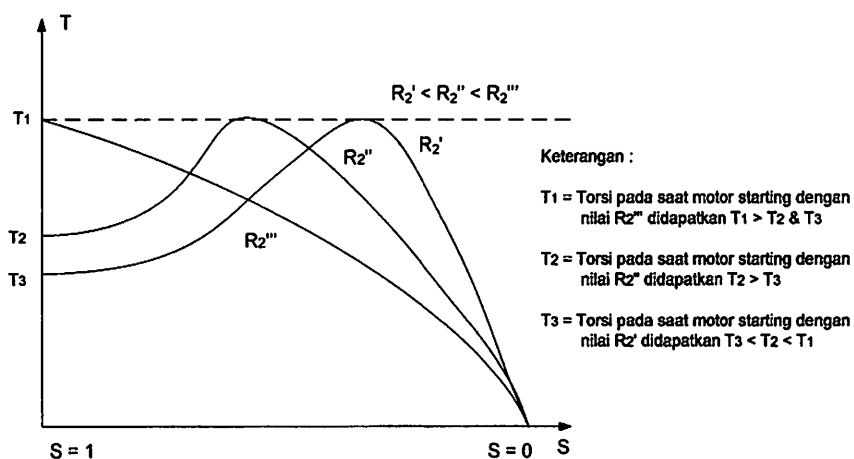
Untuk menghasilkan torsi mula (dan torsi penggerak berturut-turut) perlu arus yang mengalir dalam kumparan rotor. Mula-mula ggl induksi E_2 mengakibatkan arus rotor I_2 mengalir melalui rangkaian hubung-singkat, menghasilkan distribusi *ampere-conductor* yang berkerja dengan medan fluks untuk menghasilkan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

pada kecepatan tertentu yang bergantung pada frukuensi stator dan banyaknya kutub dari kumparan stator. Kecepatan ini disebut “kecepatan sinkron” dan dinyatakan :

$$n_s = \frac{120f}{p} \text{ rpm} \dots\dots\dots (2.1)$$

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

2.5. Karakteristik T – S



Grafik 2.1
Kurva Karakteristik T ~ S^[3]

$$T = \frac{3}{\omega} V_1^2 \frac{S_a^2 R_2}{(a^2 R^2)^2 + S^2 (a^2 X_2)^2} \dots\dots\dots (2.2)$$

Berapa harga S agar harga T maksimum? Harga S untuk mendapatkan T maksimum adalah bila $dT/dS = 0$. Dari diferensi $dT/dS = 0$ diperoleh harga T maksimum pada saat

$$S = \pm R_2 / X_2 \dots\dots\dots (2.3)$$

$$T_{maks} = \pm 3V_1^2 / 2\omega a^2 X_2 \dots\dots\dots (2.4)$$

Dari ketiga persamaan tersebut dapat ditarik beberapa kesimpulan. Dari persamaan (2.2) diketahui bahwa untuk harga S kecil di mana $S^2(a^2 X_2)^2$ dapat diabaikan. Maka kopel sebanding dengan S ($T \sim S$). Dari persamaan (2.3) diketahui bahwa untuk memperoleh kopel maksimum pada saat *start* ($S = 1$) ialah dengan membuat $R_2 = X_2$. harga kopel maksimum dapat diubah dengan mengatur harga X_2 atau tegangan sumber V_1 (lihat persamaan (2.4)). dari persamaan (2.2) diketahui bahwa kopel akan menjadi nol ketika $S = \pm \infty$. Persamaan (2.2) dan (2.3) menunjukkan bahwa R_2 tidak mengubah harga kopel maksimum, melainkan hanya mengubah harga S pada saat kopel maksimum terjadi. Perubahan R_2 dalam hubungannya dengan kopel (T) dan slip (S) dapat dilihat dari kurva berikut pada gambar 2.1.

2.6. Rangkaian Ekivalen

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

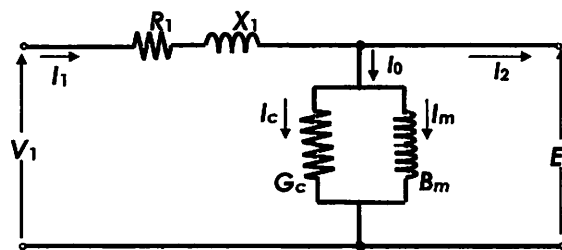
Oleh karena itu motor induksi dipandang sebagai transformator yang mempunyai ciri-ciri khusus, yaitu :

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

2.6.1. Rangkaian Ekivalen Stator

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

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



Gambar 2.5
Rangkaian Ekivalen 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

2.6.2. Rangkaian Ekuivalen Rotor

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

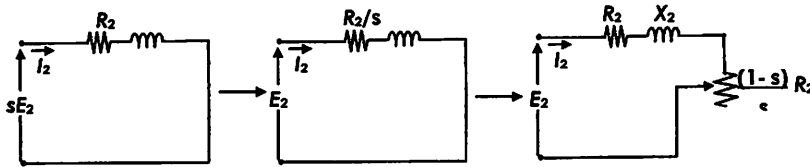
$$E_1 = 4,44f_1 N_2 \Phi_m \dots\dots\dots (2.7)$$

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

$$E_2' = 4,44s f_2 N_2 \Phi_m \dots\dots\dots (2.8)$$

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

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



Gambar 2.6
Rangkaian Ekivalen Rotor¹¹

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 (2.6) dan (2.10) 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

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

Sedangkan torsi untuk motor induksi dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

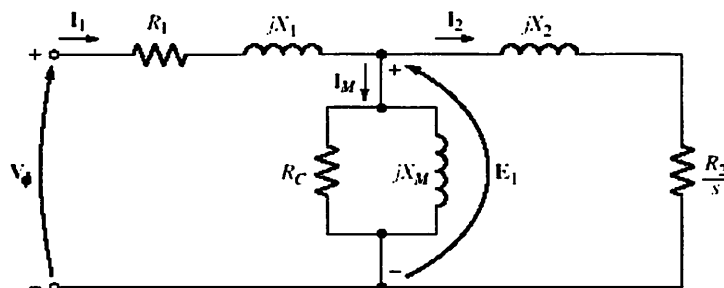
$$P_o = T_o \cdot \omega_r \dots\dots\dots (2.12)$$

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

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

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

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



Gambar 2.7
Rangkaian Ekivalen Motor Induksi ^[1]

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)

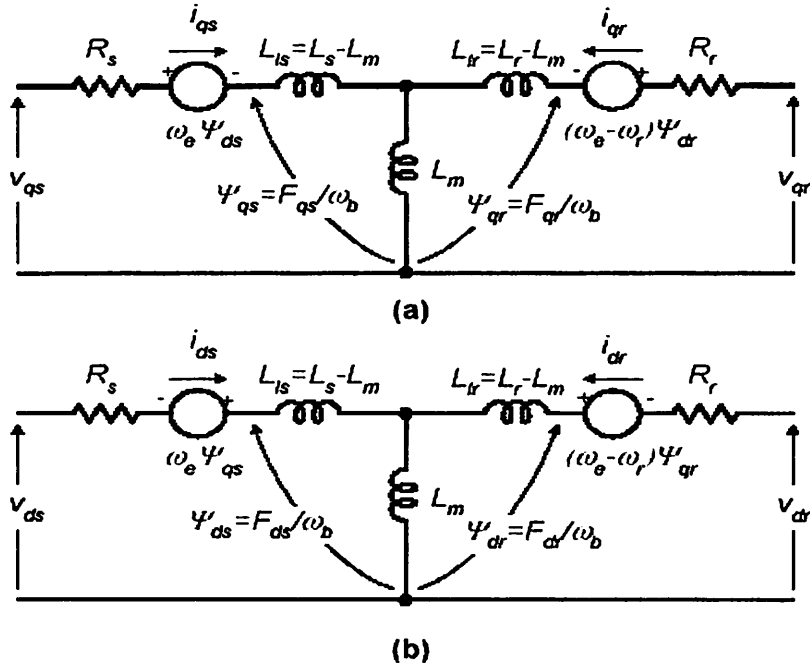
P_{in} = Daya Input (Watt)

T_o = Torsi Mekanik (Nm)

ω_r = Kecepatan sudut rotor (rad/sec)

2.6.3. Rangkaian Ekivalen DQ Motor Induksi

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



Gambar 2.8
Rangkaian Ekivalen DQ Motor Induksi ^[1]

Dimana :

- d : Sumbu *direct*
- q : Sumbu *quadrature*
- r : Rotor variabel
- F_{ij} : Fluks

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Data tersebut berupa:

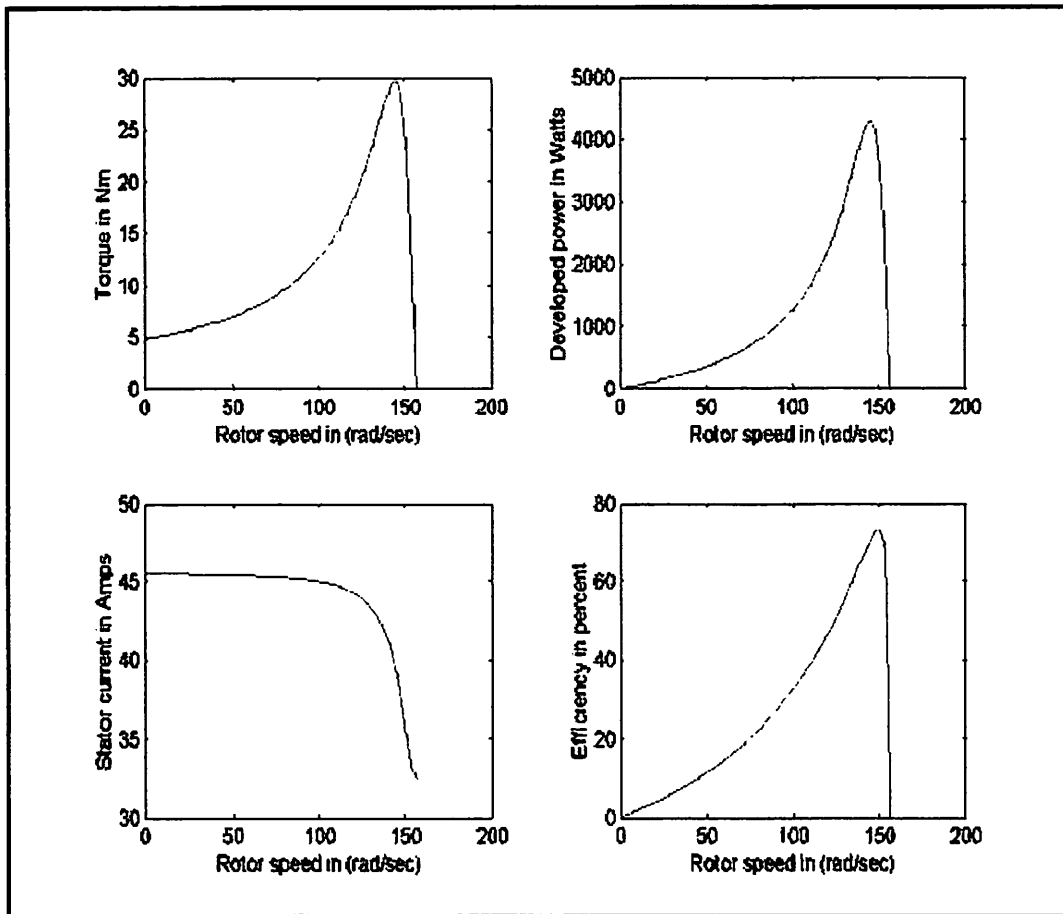
- Daya Output (Hp/KW)
- Tegangan Nominal $V_{Y-\Delta}$ (Volt)
- Arus Nominal (Amp)
- Power Faktor
- Kecepatan (rpm)
- Jumlah Kutub

2.7. Operasional Motor Induksi

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

2.7.1. Performa *Steady State*

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

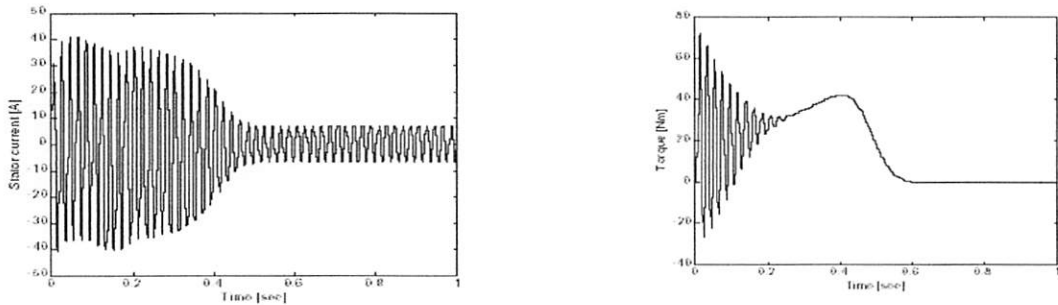


Grafik 2.2
Karakteristik Motor Induksi keadaan *steady state* ^[6]

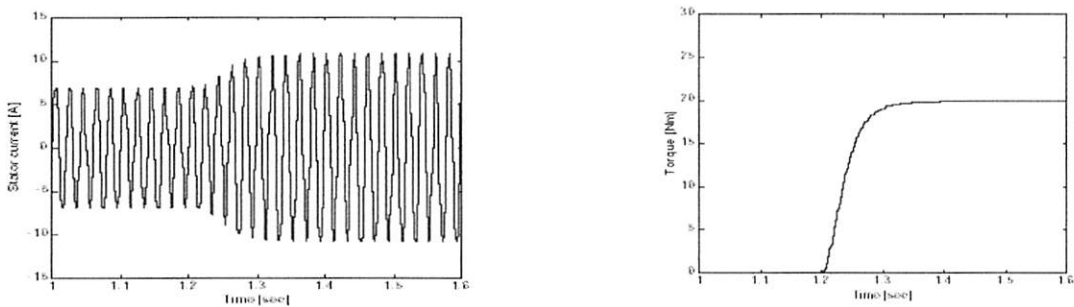
2.7.2. Performa Transient

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

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.



Grafik 2.3
Transient Respons Pada Starting Motor Induksi 3Phasa^[6]



Grafik 2.4
Karakteristik Torsi Motor Pada Beban Berubah^[6]

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 factor* rendah akan meminta daya *reactif* yang tinggi
- Akan menyebabkan tegangan turun ketika beban pada motor ditambah

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

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

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

BAB III

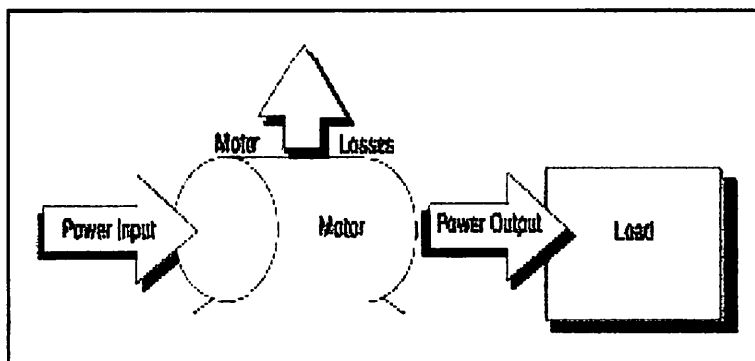
MENGANALISA EFISIENSI MOTOR INDUKSI

BERDASARKAN PARAMETER

3.1. Efisiensi Motor Induksi

3.1.1. Teori Dasar Efisiensi Motor Induksi

Motor mengubah energi listrik menjadi energi mekanik untuk melayani beban tertentu. Pada proses ini, kehilangan energi ditunjukkan dalam Gambar 3.1.



Gambar 3.1
Kehilangan Motor (US DOE)¹⁷¹

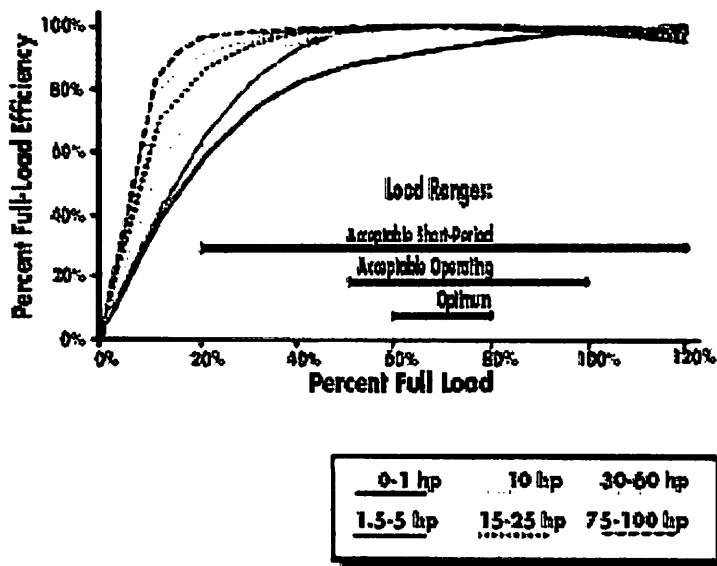
Efisiensi motor ditentukan oleh kehilangan dasar yang dapat dikurangi hanya oleh perubahan pada rancangan motor dan kondisi operasi. Kehilangan dapat bervariasi dari kurang lebih dua persen hingga 20 persen.

Efisiensi motor dapat didefinisikan sebagai “perbandingan keluaran daya motor yang dipergunakan terhadap keluaran daya totalnya.”

Faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi adalah:

1. Usia. Motor baru lebih efisien.
2. Kapasitas. Sebagaimana pada hampir kebanyakan peralatan, efisiensi motor meningkat dengan laju kapasitasnya.
3. Kecepatan. Motor dengan kecepatan yang lebih tinggi biasanya lebih efisien.
4. Jenis. Sebagai contoh, motor kandang tupai biasanya lebih efisien daripada motor cincin geser.
5. Suhu. Motor yang didinginkan oleh fan dan tertutup total (TEFC) lebih efisien daripada motor *screen protected drip-proof* (SPDP).
6. Penggulungan ulang motor dapat mengakibatkan penurunan efisiensi.
7. Beban, seperti yang dijelaskan dibawah.

Terdapat hubungan yang jelas antara efisiensi motor dan beban. Pabrik motor membuat rancangan motor untuk beroperasi pada beban 50-100% dan akan paling efisien pada beban 75%. Tetapi, jika beban turun dibawah 50% efisiensi turun dengan cepat seperti ditunjukkan pada Grafik 3.1. Mengoperasikan motor dibawah laju beban 50% memiliki dampak pada faktor dayanya. Efisiensi motor yang tinggi dan faktor daya yang mendekati 1 sangat diinginkan untuk operasi yang efisien dan untuk menjaga biaya rendah untuk seluruh pabrik, tidak hanya untuk motor.



Grafik 3.1
Efisiensi Motor Beban Sebagian (sebagai fungsi
dari % efisiensi beban penuh) (US DOE)^[7]

Untuk alasan ini maka dalam mengkaji kinerja motor akan bermanfaat bila menentukan beban dan efisiensinya. Pada hampir kebanyakan negara, merupakan persyaratan bagi pihak pembuat untuk menuliskan efisiensi beban penuh pada pelat label motor. Namun demikian, bila motor beroperasi untuk waktu yang cukup lama, kadang-kadang tidak mungkin untuk mengetahui efisiensi tersebut sebab pelat label motor kadangkala sudah hilang atau sudah dicat.

Untuk mengukur efisiensi motor, maka motor harus dilepaskan sambungannya dari beban dan dibiarkan untuk melalui serangkaian uji. Hasil dari uji tersebut kemudian dibandingkan dengan grafik kinerja standar yang diberikan oleh pembuatnya.

Jika tidak memungkinkan untuk memutuskan sambungan motor dari beban, perkiraan nilai efisiensi didapat dari tabel khusus untuk nilai efisiensi motor. Lembar fakta dari USDOE, memberikan tabel dengan nilai efisiensi motor untuk motor standar yang dapat digunakan jika pabrik pembuatnya tidak menyediakan data ini. Nilai efisiensi disediakan untuk:

1. Motor dengan efisiensi standar 900, 1200, 1800 dan 3600 rpm
2. Motor yang berukuran antara 10 hingga 300 HP
3. Dua jenis motor: motor anti menetes terbuka/ *open drip-proof* (ODP) dan motor yang didinginkan oleh fan dan tertutup total/ *enclosed fan-cooled motor* (TEFC).
4. Tingkat beban 25%, 50%, 75%, 100%, dari torsi maksimum.

Spesifikasi untuk motor induksi 3 fasa (*poly phase*), menurut *standard IEEE 841-1994* bagi motor industri, adalah dengan menguji beberapa ukuran tenaga kuda (*horse power*) dari motor-motor ini.

Untuk perbandingan pengujian motor, motor tersebut kemudian diterima, inspeksi, dibongkar, dan secara mendalam diperiksa. Pengujian tanpa beban yang bisa dilakukan. Motor tersebut juga diuji untuk getaran dan juga diberikan sebuah tes. Tanpa sebuah uji beban, akan tidak mungkin untuk menentukan efisiensi motor secara aktual. Jika kita ingin untuk mendapatkan data pengujian untuk memenuhi prosedur pengujian, kita akan membutuhkan sebuah metode dalam pengujian

pembebanan motor tersebut. Fasilitas pengujian akan membutuhkan kisaran tegangan yang seimbang (575 atau 460 V) dan instrumen pengukuran yang akurat.

Motor induksi kelas B NEMA sangkar-bajing adalah motor yang paling umum digunakan dalam industri saat ini. Motor tersebut memiliki properti permulaian yang baik, tenaga putaran 150%, dan tenaga putaran tarikan yang baik, 250%. Motor induksi sangkar-bajing memiliki sebuah lilitan stator (pusat yang tidak bergerak) tiga fase yang dilekatkan kedalam slot laminasi baja kualitas tinggi, biasanya baja silikon. Kecepatan dari motor induksi bergantung pada jumlah dari tiang dimana lilitannya dibalutkan. Untuk motor bertiang-empat pada 60 Hz, kecepatan sinkronisasi bisa ditemukan dengan persamaan:

$$N_s = 120 f / P = (120) \frac{60}{4} = 180 \text{ r/menit} \dots \dots \dots (3.1)$$

Desain lilitan rotor termasuk lilitan atau batang bergantung pada kebutuhan dari tenaga putar. Hal tersebut terdiri dari tembaga solid atau batangan aluminium dilekatkan kedalam slot rotor yang dilaminasi dan sirkuit pendek pada ujung dari ring. Batangan ini normalnya dicondongkan untuk mengurangi suara dan untuk menyediakan sebuah tenaga putar yang lebih seragam. Jumlah batangan didalam rotor dan slot didalam stator tidak pernah sama. Motor, sebagai contoh, mungkin memiliki 47 batangan didalam rotor dan 60 slot didalam stator.

Arus yang dihasilkan didalam rotor diinduksi (sehingga namanya motor induksi) dengan sebuah medan magnet berputar tiga fase yang menciptakan kutub

magnetik pada permukaan rotor. Kekuatan magnetik diantara dua kutub magnet menciptakan tenaga putar dalam arah dari medan yang berotasi.

3.1.2. Rugi dan Efisiensi

1. Rugi Tembaga (P_{cu})

Rugi yang disebabkan arus beban mengalir pada kawat tembaga

$$P_{cu} = I^2 R \dots\dots\dots (3.2)$$

Karena arus beban berubah-ubah, rugi tembaga juga tidak tetap tergantung pada beban.

2. Rugi Besi (P_i)

Rugi besi terdiri dari :

➤ Rugi histeris :

Yaitu rugi yang disebabkan fluks bolak-balik pada inti besi.

$$P_h = K_h f B_{maks} \text{ (Watt) } \dots\dots\dots (3.3)$$

Dimana :

K_h = Konstanta

B_{maks} = Fluks maksimum(Webber)

➤ Rugi 'Arus Eddy' :

Yaitu rugi yang disebabkan arus pusar pada inti besi.

$$P_e = K_e^2 f^2 B_{maks} \dots\dots\dots (3.4)$$

Jadi, rugi besi (rugi inti)

$$P_i = P_h + P_e \dots\dots\dots (3.5)$$

➤ Efisiensi

$$\eta = \frac{\text{dayakeluar}}{\text{dayamasuk}} = \frac{\text{dayakeluar}}{\text{dayakeluar} + \Sigma \text{rugi}} = 1 - \frac{\Sigma \text{rugi}}{\text{dayamasuk}} \dots\dots (3.6)$$

Dimana :

$$\Sigma \text{rugi} = P_{cu} + P_i \dots\dots\dots (3.7)$$

➤ Perubahan efisiensi terhadap beban :

$$\eta = \frac{V_2 \cos \phi}{V_2 \cos \phi + I_2 R_{2ek} + \frac{P_i}{I_2}} \dots\dots\dots (3.8)$$

Agar η maksimum,

$$\frac{d}{dI_2} (I_2 R_{2ek} + \frac{P_i}{I_2}) = 0 \dots\dots\dots (3.9)$$

$$\text{Jadi, } R_{2ek} = \frac{P_i}{P_2} \dots\dots\dots (3.10)$$

$$P_i = I_2^2 R_{2ek} = P_{cu} \dots \dots \dots (3.11)$$

➤ Perubahan efisiensi terhadap faktor kerja ($\cos \phi$) beban :

$$\eta = 1 - \frac{\Sigma rugi}{V_2 I_2 \cos \phi + \Sigma rugi} \dots \dots \dots (3.12)$$

$$\eta = 1 - \frac{\Sigma rugi / V_2 I_2}{\cos \phi + \Sigma rugi / V_2 I_2} \dots \dots \dots (3.13)$$

Bila, $\frac{\Sigma rugi}{V_2 I_2} = X = \text{konstan} \dots \dots \dots (3.14)$

Maka :

$$\eta = 1 - \frac{X}{\cos \phi + X} \dots \dots \dots (3.15)$$

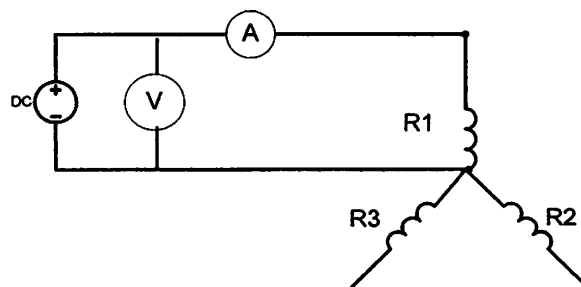
$$\eta = 1 - \frac{X / \cos \phi}{1 + X / \cos \phi} \dots \dots \dots (3.16)$$

3.2. Pengujian Motor Induksi Tiga Phasa

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

3.2.1. Pengujian Arus Searah (*DC Test*)

Tujuan dari pengujian arus searah (*DC Test*) adalah untuk menentukan nilai resistansi stator. Diagram pengukuran ditunjukkan pada gambar 3.2.



Gambar 3.2
Pengujian Arus Searah (*DC Test*)^[4]

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}) :

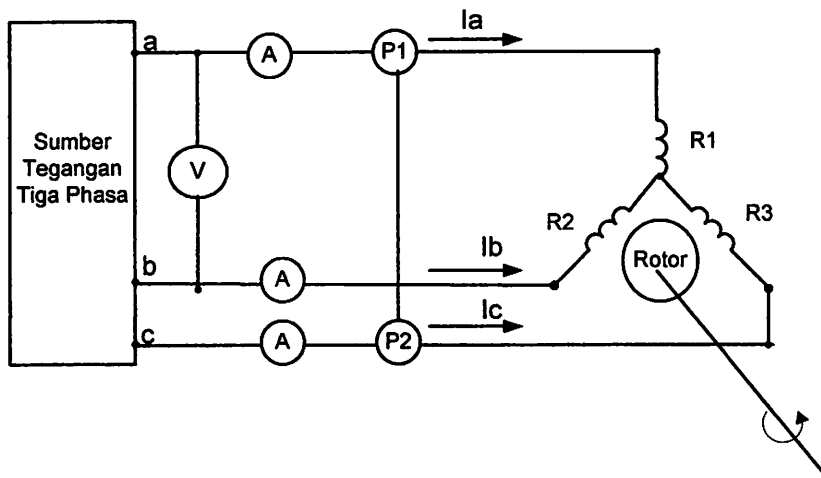
untuk nilai resistansi kumparan a dan b :

$$R_{ab} = R_1 = \frac{V_{DC}}{I_{DC}} \Omega \dots \dots \dots (3.17)$$

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

3.2.2. 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 3.3
Rangkaian Pengujian Tanpa Beban (*No Load Test*)^[4]

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

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

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

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

$$V_{ni} = \frac{V_{ab}}{\sqrt{3}} \text{ Volt/fasa} \dots \dots \dots (3.18)$$

Untuk arus pada saat tanpa beban (*no load*).

$$I_{nl} = \frac{I_a + I_b + I_c}{3} \text{ Ampere} \dots\dots\dots (3.19)$$

$$Z_{nl} = \frac{V_{nl}}{I_{nl}} \text{ ohm} \dots\dots\dots (3.20)$$

$$R_{nl} = \frac{P_{3\Phi}}{3I_0} \text{ ohm} \dots\dots\dots (3.21)$$

$$X_{nl} = \sqrt{Z_{nl}^2 - R_{nl}^2} \text{ ohm} \dots\dots\dots (3.22)$$

R_c , resistansi rugi-rugi inti :

$$P_c = P_{nl} - P_{rs} \dots\dots\dots (3.23)$$

$$R_c = \frac{E_a^2}{P_c} \text{ ohm/phase} \dots\dots\dots (3.24)$$

Rugi Rugi Stator

$$P_{rs} = 3I_{nl}^2 \cdot R_s \text{ (Watt)} \dots\dots\dots (3.25)$$

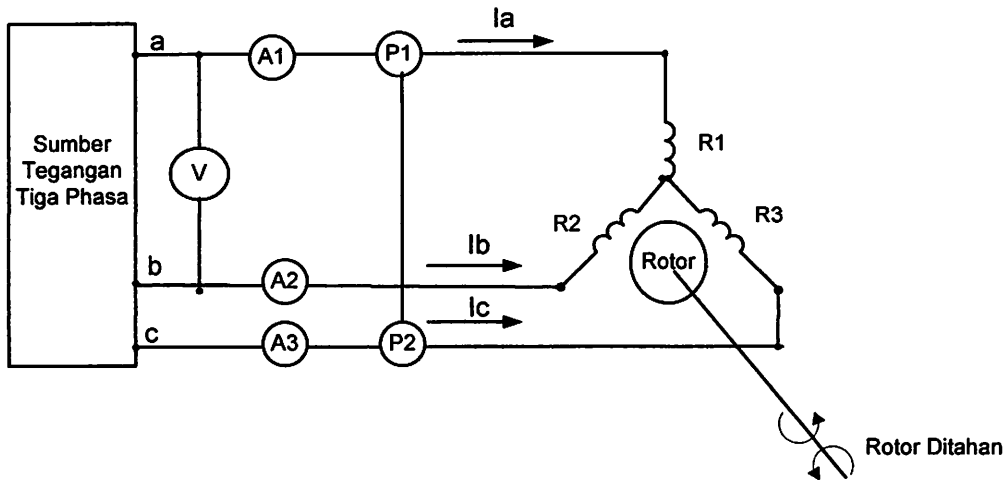
Rugi Gesek, angin, rugi besi :

$$P_{fbc} = P_{nl} - P_{rs} \text{ (Watt)} \dots\dots\dots (3.26)$$

3.2.3. 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 3.4
Rangkaian Pengujian Rotor Tertahan (*Blocked Rotor*)^[4]

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

$$P_{3-\phi} = P_1 + P_2 \text{ watt} \dots \dots \dots (3.27)$$

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

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

$$P_{br} = \frac{P_{3-\phi}}{3} \text{ watt/fasa} \dots \dots \dots (3.28)$$

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

$$V_{br} = \frac{V_{ab}}{\sqrt{3}} \text{ Volt/fasa} \dots \dots \dots (3.29)$$

I_{br} , arus fasa stator :

$$I_{br} = \frac{I_a + I_b + I_c}{3} \text{ Ampere} \dots\dots\dots (3.30)$$

R_{ek} , resistansi ekivalen :

$$R_{ek} = \frac{P_{br}}{I_{br}^2} \text{ ohm/phase} \dots\dots\dots (3.31)$$

Untuk R_r' , resistansi rotor berpatokan pada stator :

$$R_r' = R_{ek} - R_s \text{ ohm/phase} \dots\dots\dots (3.32)$$

Z_{br} , Impedansi rotor tertahan :

$$Z_{br} = \frac{V_{br}}{I_{br}} \text{ ohm/phase} \dots\dots\dots (3.33)$$

X_{ek} , reaktansi ekivalen :

$$X_{ek} = \sqrt{(Z_{br}^2 + R_{ek}^2)} \text{ ohm/phase} \dots\dots\dots (3.34)$$

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

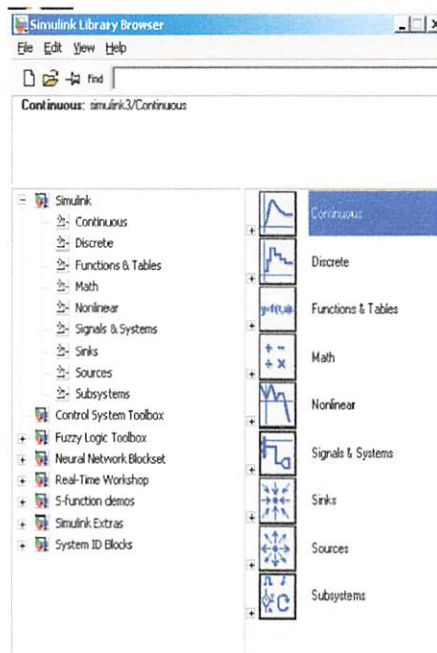
$$X_s = X_r' = 0.5 X_{ek} \text{ ohm/phase}$$

3.3. Pemodelan Motor Induksi 3fasa

3.3.1. Matlab Simulink

MATLAB merupakan suatu software yang sangat baik untuk digunakan untuk menganalisa berbagai kebutuhan dalam bidang teknik. Didalam matlab terdapat dua bagian 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 didesain

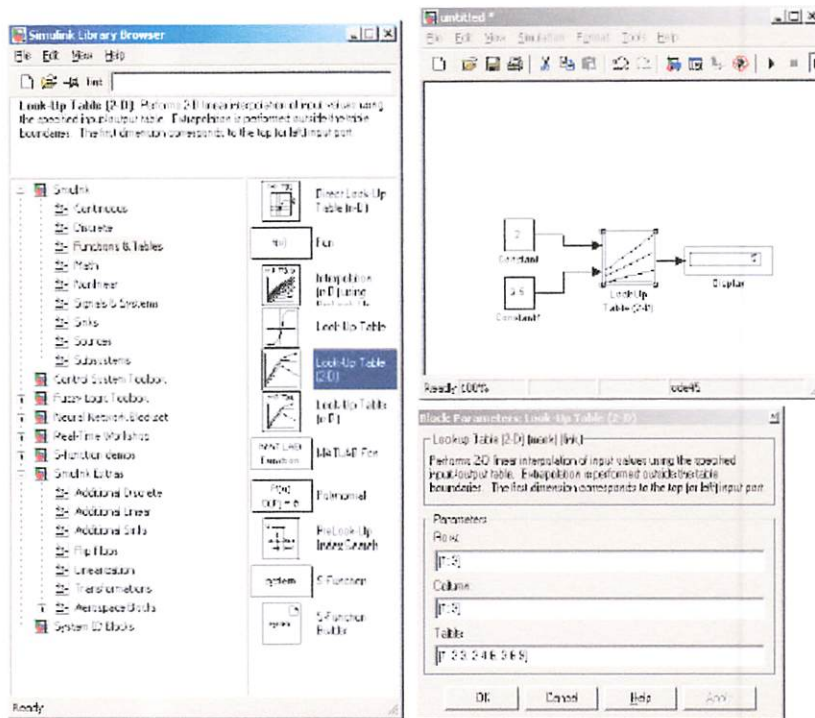
dengan menggunakan blok-blok yang telah tersedia serta setting parameter-parameter akan menjadi lebih mudah. Blok-blok simulink dapat juga dibentuk dari persamaan matematika dengan menggunakan blok *transfer function* sehingga kita dapat menuliskan persamaan dalam blok tersebut sesuai dengan parameter yang akan kita cari.



Gambar 3.5
Simulink Library Pada MATLAB 7.0^[5]

Dalam simulink diatas terdapat beberapa blok yang dapat digunakan untuk pemodelan control atau analisa dalam dunia electric. Sebagai contoh penggunaan Blok Fuction dan Tables. Misalnya kita mempunyai soal $2*2.5 = 5$ maka kita dapat menggunakan blok look up table (2-D) seperti dapat dilihat pada gambar di bawah ini

:



Gambar 3.6
Contoh Penggunaan Simulink^[5]

Selain Simulink dalam MATLAB juga terdapat M-Files yaitu bagain untuk menuliskan listing program yang dengan hasil program setelah dijalankan akan disimulasikan dengan Blok Simulink yang telah dibuat.


```

C:\Burak\My Papers\Accepted\IEMDC 2003\PARAM.M*
File Edit View Text Debug Breakpoints Web Window Help
[Icons] Stdc Base
4  % initialization
5
6  Rx=.39;      %rotor resistance
7  Rs=.19;      %stator resistance
8  Lls=.21e-3;  %stator inductance
9  Llr=.6e-3;   %rotor inductance
10 Lm=4e-3;     %magnetizing inductance
11 fb=100;     %base frequency
12 p=4;        %number of poles
13 J=0.0226;   %moment of inertia
14
15 Lr=Llr+Lm;
16 Tr=Lr/Rr;
17
18 % impedance and angular speed calculations
19
20 wb=2*pi*fb; %base speed
21 Xls=wb*Lls; %stator impedance
22 Xlr=wb*Llr; %rotor impedance
23 Xm=wb*Lm;   %magnetizing impedance
24 Xstar=1/(1/Xls+1/Xm+1/Xlr);
script Ln 24 Col 29

```

Gambar 3.7
Contoh Tampilan M-Files^[5]

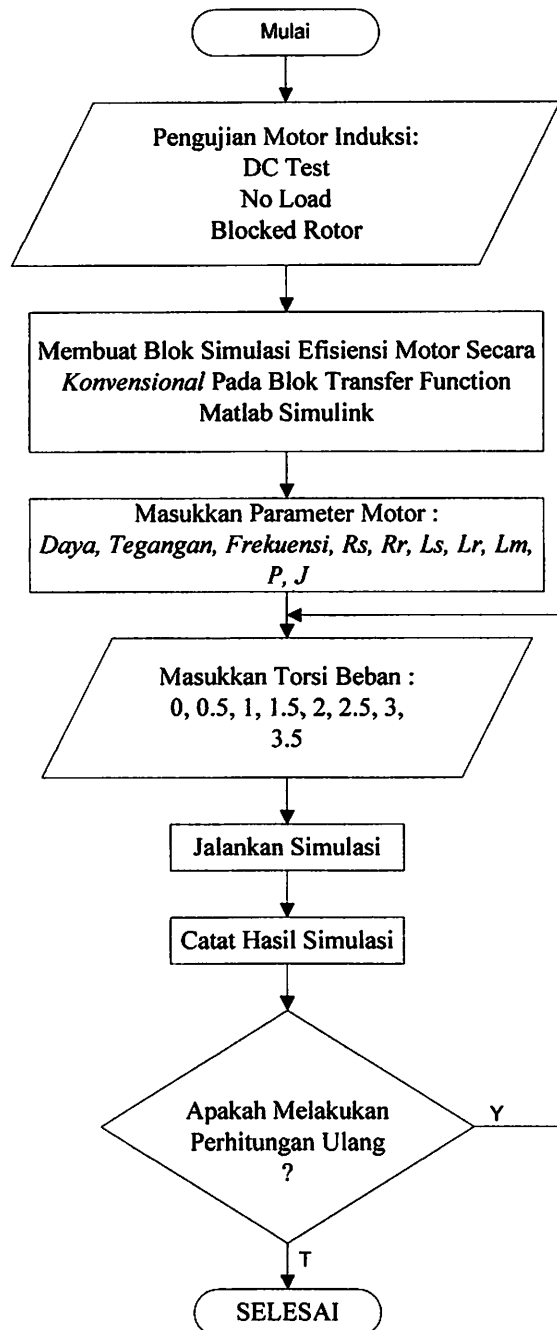
Dalam skripsi ini digunakan MATLAB versi 7.0.1 dengan membentuk blok-blok simulink dengan menggunakan persamaan – persamaan motor induksi berdasarkan nilai parameter motor.

3.4. Algoritma Program

3.4.1. Algoritma Pemecahan Masalah Secara Umum

1. Mulai
2. Pengujian Parameter Motor Induksi :
 - a. Pengujian Arus Searah (Dc Test) : Untuk menentukan nilai resistansi stator (R_S).
 - b. Beban Nol (*No Load Test*) : Untuk menentukan nilai resistansi rugi-rugi inti (R_C) dan reaktansi pemagnetan (X_m).
 - c. Rotor Tertahan (*Blocked Rotor Test*) : Untuk menentukan nilai resistansi rotor.
3. Membuat blok simulasi pengukur efisiensi secara *konvensional* pada blok *transfer function* Matlab Simulink.
4. Memasukkan parameter motor yang meliputi tegangan, daya, frekuensi, R_s , R_r , L_s , L_r , L_m , P .
5. Masukkan $T_L = 0, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5$.
6. Jalankan simulasi efisiensi motor induksi.
7. Catat hasil simalasi.
8. Apakah melakukan perhitungan ulang.
9. Jika iya, lakukan proses simulasi lagi.
10. Jika tidak, tampilkan hasil simulasi.
11. Tampilkan hasil simulasi arus, putaran, torsi.
12. Cetak hasil simulasi arus, putaran, torsi.
13. Selesai.

3.4.2. Flowchart



Gambar 3.8
Flowchart Efisiensi Motor Induksi

BAB IV
MENGHITUNG PARAMETER MOTOR
DAN ANALISA HASIL SIMULASI

Untuk menentukan parameter dari motor induksi yang akan dianalisa maka dapat dilakukan dengan mengambil parameter dengan melakukan pengujian.

4.1. Menentukan Parameter Motor Induksi

Pengujian untuk mencari parameter motor induksi 3 fase dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Elektrik ITN Malang.

4.1.1. Alat-alat yang digunakan

- a. Motor induksi Tiga Fase 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
JUMLAH KUTUP	: 2 KUTUP
KELAS ISOLASI	: F

- b. Hand Tacho Meter DE LORENZO / DL 2026
- c. Turet DE LORENZO / DL 1013 M2
- d. AC Power Supply DE LORENZO / DL 1009
- e. Power Digital Measurement Unit Lorent DE LORENZO / DL 1031

f. Edy Current Break

DE LORENZO / DL 1019 M

g. Multi Meter

EXCEL / DT 9205 A

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 No

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 4-3
Data Hasil Pengujian Motor Rotor Tertahan

I_{motor} (Ampere)			P 3 Phasa (WATT)	V_{L-L} (Volt)
a	b	c		
2.5	2.5	2.5	230	78

4.2 Analisa Parameter Motor Induksi

- Dari pengujian arus searah besarnya resistansi stator adalah:

Dengan menggunakan persamaan 2.52

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

$$\text{Maka: } R_{dc(1)} = \frac{4}{0.75} = 5.33 \Omega$$

$$R_{dc(2)} = \frac{6}{1.12} = 5.35 \Omega$$

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

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

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

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

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

$$I_{tb} = \frac{I_{ta} + I_{tb} + I_{tc}}{3}$$

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

$$Z_{tb} = \frac{V}{\sqrt{3}I_{tb}} = \frac{220}{\sqrt{3} \times 0.62} = 205 \Omega$$

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

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

C. Dari Rotor tertahan (Blocked Rotor Test)

$$I_{br} = \frac{I_{bra} + I_{brb} + I_{brc}}{3}$$

$$I_{br} = \frac{2.5 + 2.5 + 2.5}{3} = 2.5 A$$

$$Z_{br} = \frac{V}{\sqrt{3}I_{br}} = \frac{78}{\sqrt{3} \times 2.5} = 18.01 \Omega$$

$$R_{rt} = \frac{P_{(3\Phi)}}{3I_{rt}^2} = \frac{230}{3 \cdot (2.5^2)} = 12.267 \Omega$$

$$\begin{aligned} X_{br} &= \sqrt{Z_{br}^2 - R_{br}^2} \\ &= \sqrt{18.01^2 - 12.267^2} = 13.08 \Omega \end{aligned}$$

$$X_{rt} = X_s + X'_r$$

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

$$X_s = X'_r = \frac{1}{2} X_{rr} = \frac{1}{2} \cdot 13.08 = 6.54 \Omega$$

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:

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

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

$$= 189.58 - 6.54$$

$$= 183.04 \Omega$$

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

$$R = R_r - R_s$$

$$= 12.267 - 5.49$$

$$= 6.78$$

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

$$X_{rr} = 6.54 + 183.04 = 189.58 \Omega$$

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

$$= 6.78 \cdot \left(\frac{189.58}{183.04} \right)^2 = 7.02 \Omega$$

Untuk menghitung besarnya nilai induktansi stator (L_s) induktansi rotor (L_r) dan untuk nilai induktansi bersama adalah:

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

$$\begin{aligned} \text{Maka, } L_s &= \frac{X_s}{2.\pi.f} \\ &= \frac{6.54}{2.3,14.50} = 0.02\text{H} \end{aligned}$$

Karena $X_s = X_r$ maka nilai $L_s = L_r$.

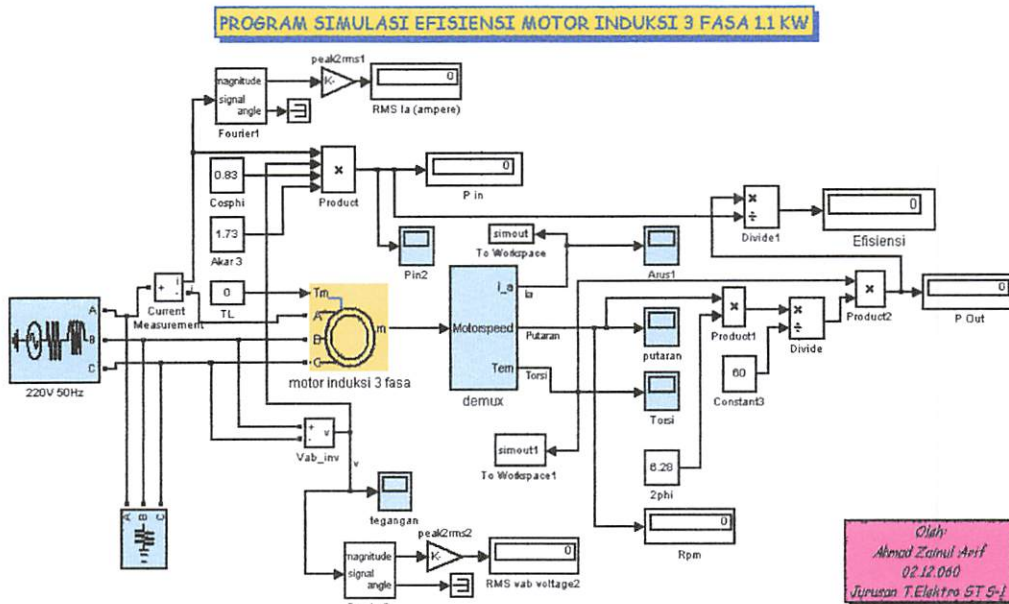
Untuk besarnya nilai induktansi bersama

$$\begin{aligned} \text{Maka, } L_m &= \frac{X_m}{2.\pi.f} \\ &= \frac{183.04}{2.3,14.50} = 0.582\text{H} \end{aligned}$$

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

rs	rr	xls	xlr	xm
5.49	7.02	6.54	6.54	183.04

Dengan menggunakan bantuan Matlab-Simulink maka blok analisis efisiensi motor dapat dilihat pada gambar dibawah ini :

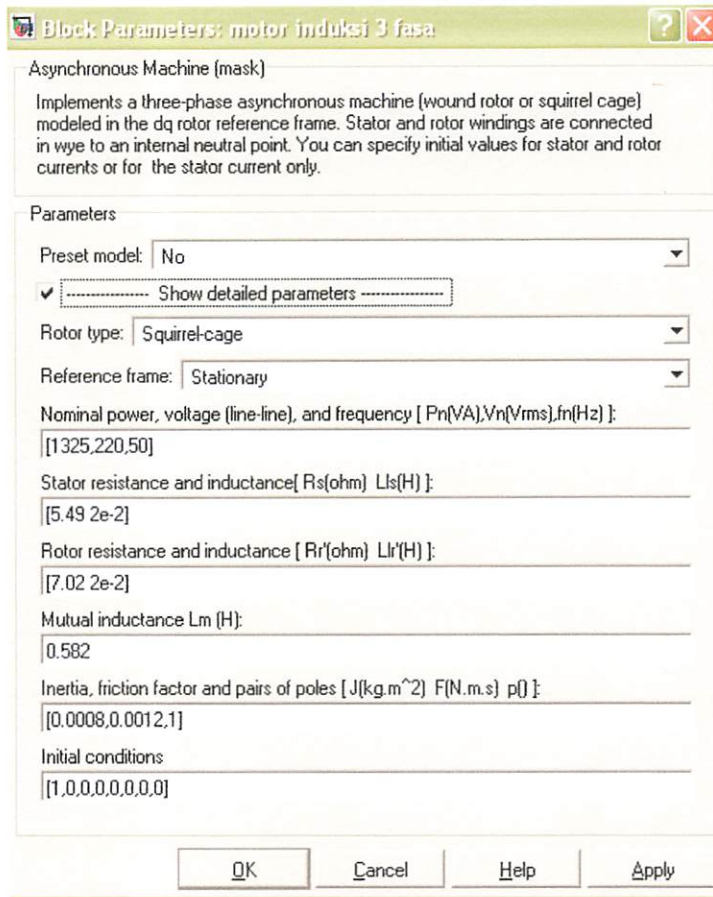


Gambar 4.1
Blok Simulink Efisiensi Motor Induksi Secara Konvensional

4.3. Analisa Hasil Simulasi

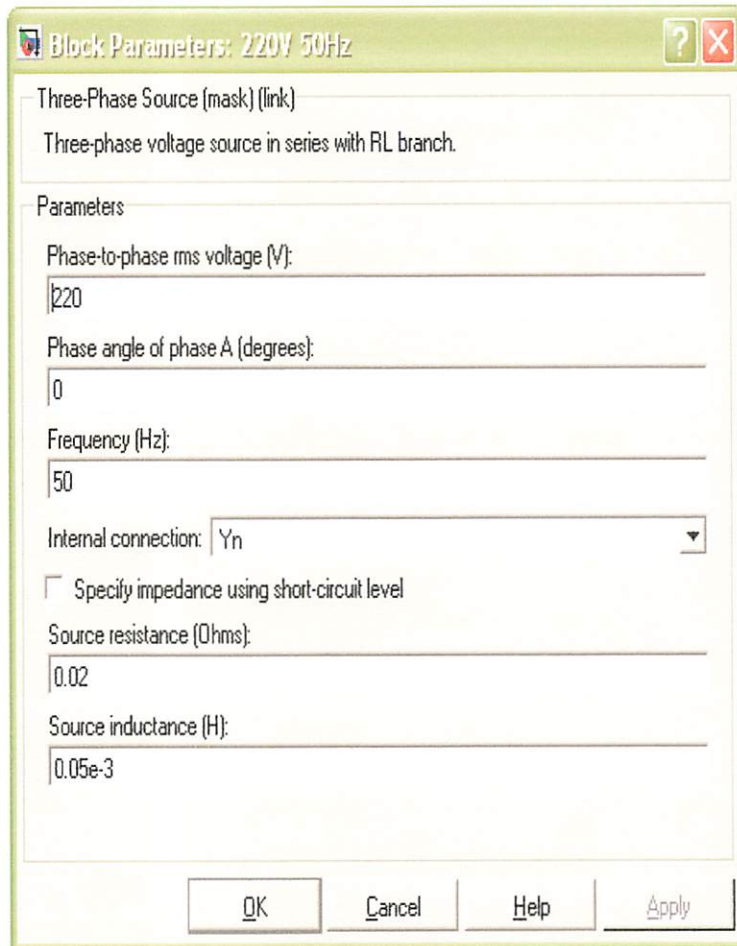
4.3.1 Tampilan Parameter

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



Gambar 4-2
Parameter Motor Induksi 3 fasa

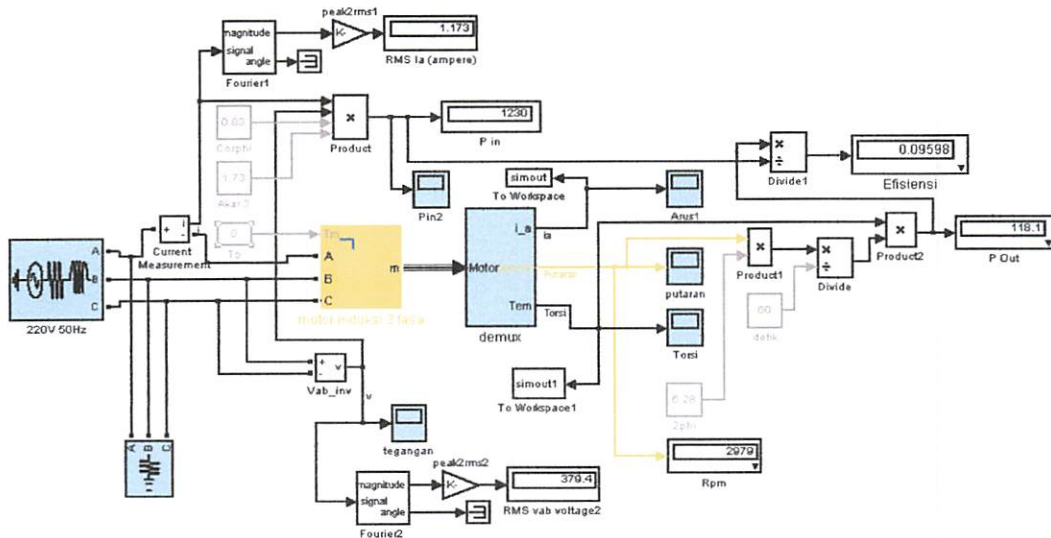
Dari gambar di atas rugi-rugi gesekan diabaikan sehingga bisa memungkinkan terjadi suatu inputan data yang kurang sempurna, namun tidak berpengaruh besar terhadap hasil simulasi.



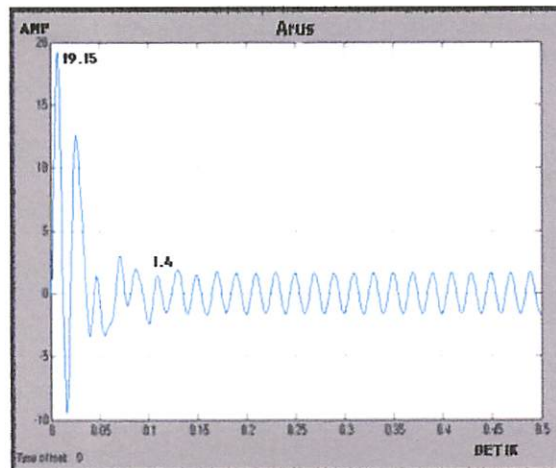
Gambar 4-3
Blok Parameter Power Supply

Sumber tegangan yang di gunakan pada percobaan ini adalah menggunakan sumber tegangan 3 fasa dengan hubungan bintang dan *ground* $V=220$ Volt, dengan beda fase mulai dari nol, frekwensi = 50 Hz.

4.4.1. Analisa Hasil Simulasi Untuk Torsi Beban = 0 Nm.



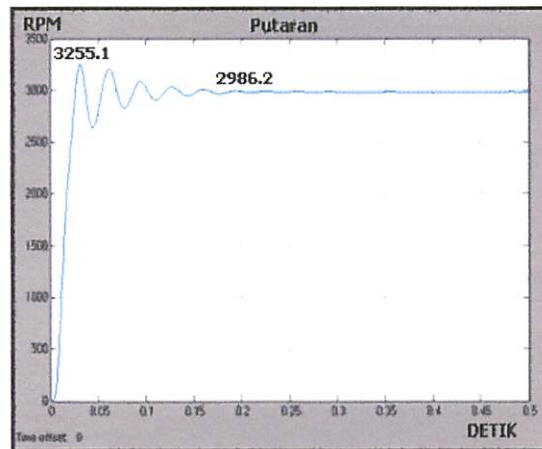
Gambar 4.4
Blok Simulink Efisiensi Motor Induksi Secara *Konvensional*,
 $T_b = 0$ Nm



Gambar 4.5
Gelombang Arus Motor Terhadap waktu Pada Kondisi $T_b = 0$ Nm

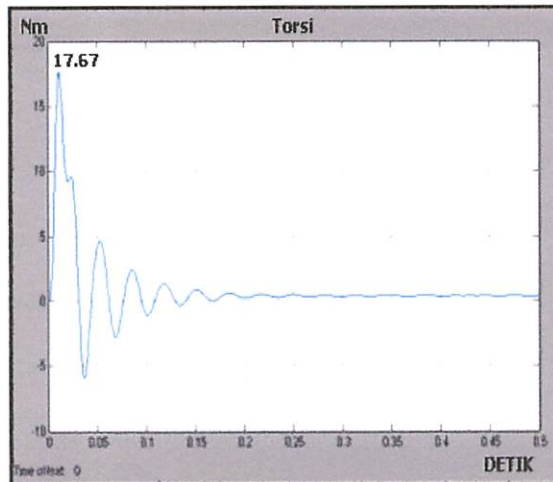
Untuk sebuah motor yang diam, nilai arus asutnya ditentukan oleh impedansi kumparannya. Sehingga pada saat awal menghidupkan motor maka terjadi lonjakan

arus *starting*^[9], seperti tampak pada gambar 4.5. Menunjukkan arus pada waktu 0.0075detik sebesar 19.15ampere, dan pada waktu 0.11detik arus menjadi stabil yaitu sebesar 1.4ampere.



Gambar 4.6
Gelombang Putaran Rotor Terhadap waktu Pada Kondisi $T_b = 0$ Nm

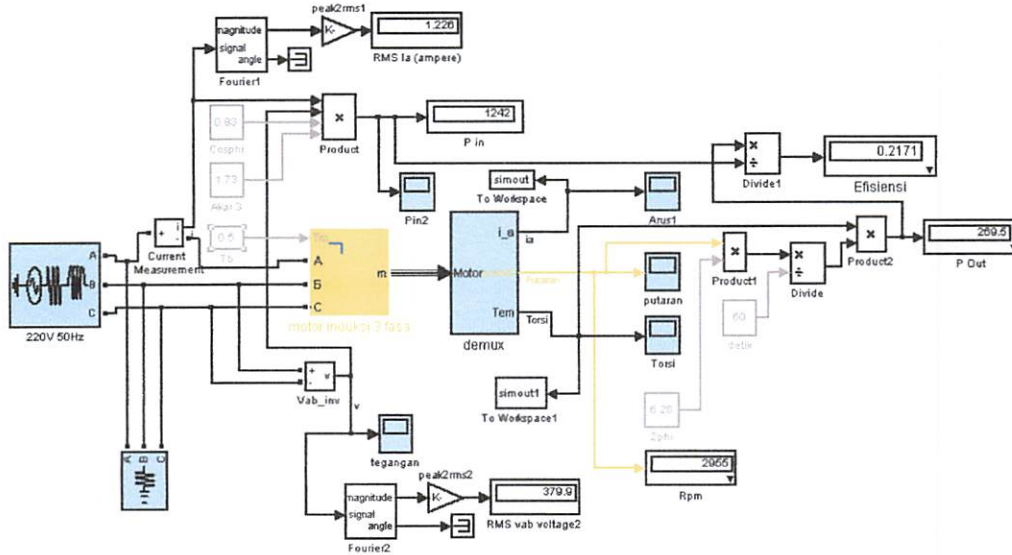
Pada gambar 4.6 menunjukkan kecepatan putaran rotor mengalami *transient* dari waktu 0.031detik sebesar 3255.1rpm sampai dengan 0.2detik sebesar 2986.2rpm, dan pada waktu 0.2detik kecepatan putar rotor dalam kondisi stabil sebesar 2986.2rpm.



Gambar 4.7
Torsi Motor Terhadap waktu Pada Kondisi $T_b = 0$ Nm

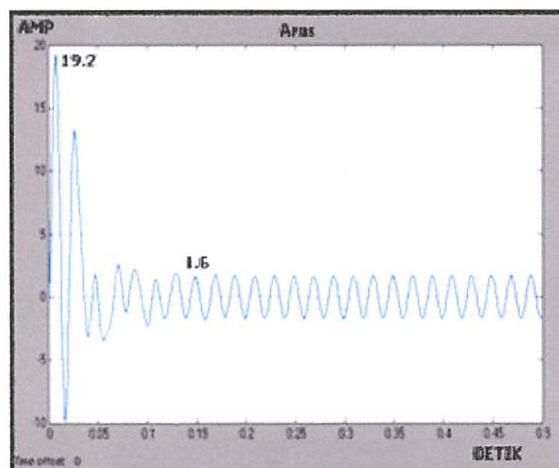
Pada gambar 4.7 menunjukkan torsi starting pada waktu 0.01detik sebesar 17.67nm.

4.4.2. Analisa Hasil Simulasi Untuk Torsi Beban = 0.5 Nm



Gambar 4.8

Blok Simulink Effisiensi Motor Induksi Secara *Konvensional*,
 $T_b = 0.5 \text{ Nm}$

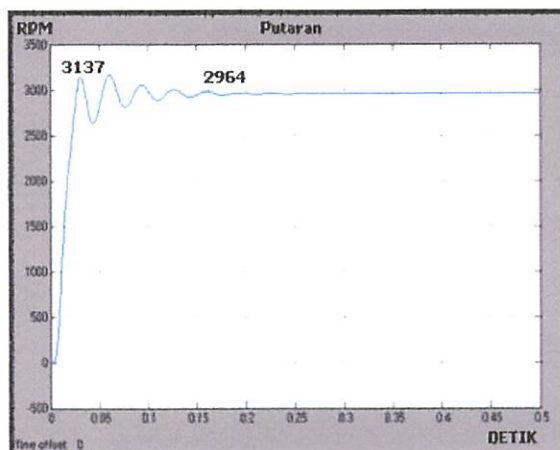


Gambar 4.9

Gelombang Arus Motor Terhadap waktu Pada Kondisi $T_b = 0.5 \text{ Nm}$

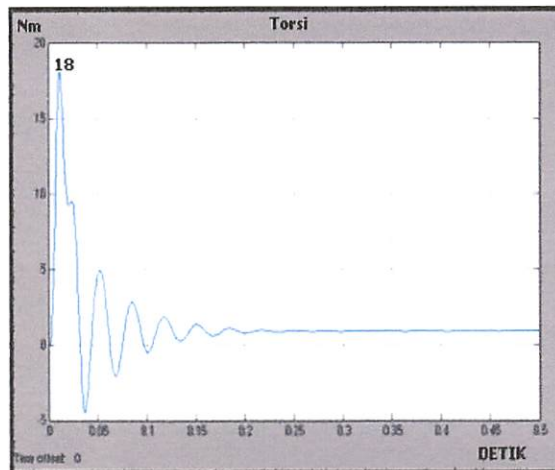
Untuk sebuah motor yang diam, nilai arus asutnya ditentukan oleh impedansi kumparannya. Sehingga pada saat awal menghidupkan motor maka terjadi lonjakan

arus *starting*^[9], seperti tampak pada gambar 4.9. Menunjukkan arus pada waktu 0.0071detik sebesar 19.2ampere, dan pada waktu 0.15detik arus menjadi stabil yaitu sebesar 1.6ampere.



Gambar 4.10
Gelombang Putaran Motor Terhadap waktu Pada Kondisi $T_b = 0.5 \text{ Nm}$

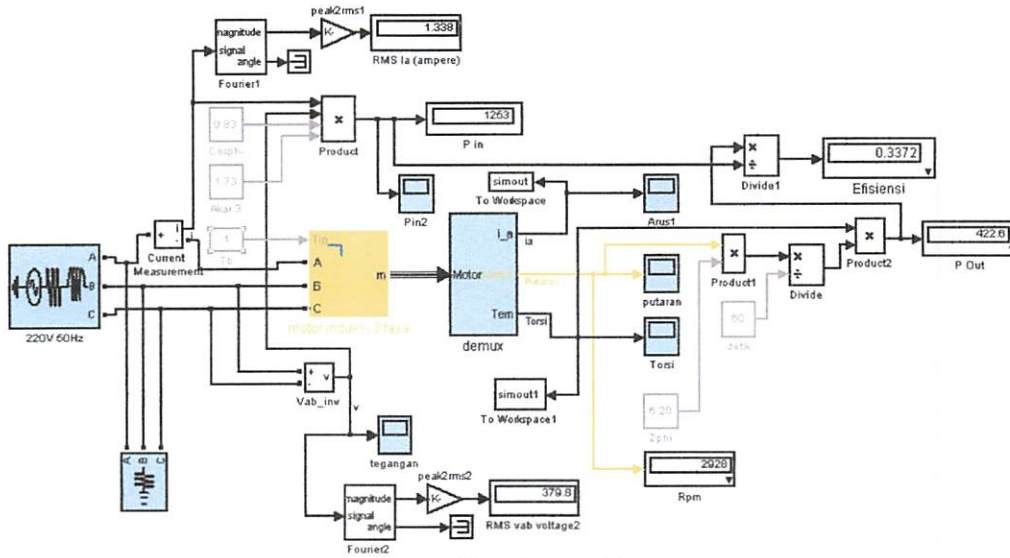
Pada gambar 4.10 menunjukkan kecepatan putaran rotor mengalami *transient* dari waktu 0.031detik sebesar 3137rpm sampai dengan 0.19detik sebesar 2964rpm, dan pada waktu 0.19detik kecepatan putar rotor dalam kondisi stabil sebesar 2964rpm.



Gambar 4.11
Gelombang Torsi Motor Terhadap waktu Pada Kondisi $T_b = 0.5$ Nm

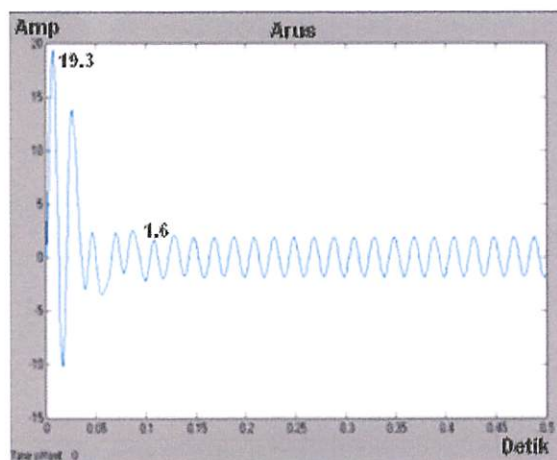
Pada gambar 4.11 menunjukkan torsi *starting* pada waktu 0.01detik sebesar 18nm.

4.4.3. Analisa Hasil Simulasi Untuk Torsi Beban = 1 Nm



Gambar 4.12

Blok Simulink Effisiensi Motor Induksi Secara *Konvensional*,
 $T_b = 1 \text{ Nm}$

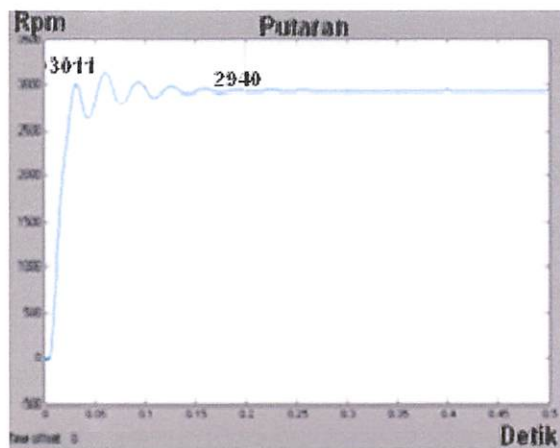


Gambar 4.13

Gelombang Arus Motor Terhadap waktu Pada Kondisi $T_b = 1 \text{ Nm}$

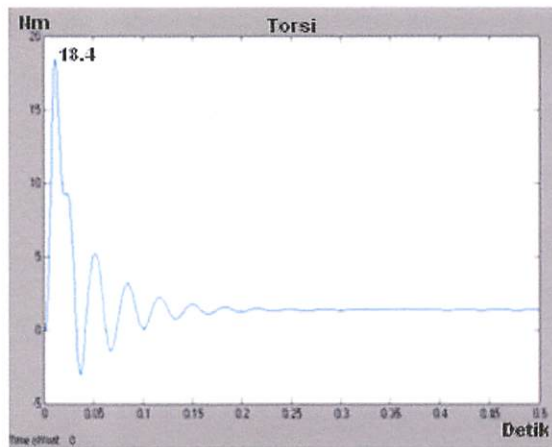
Untuk sebuah motor yang diam, nilai arus asutnya ditentukan oleh impedansi kumparannya. Sehingga pada saat awal menghidupkan motor maka terjadi lonjakan

arus *starting*^[9], seperti tampak pada gambar 4.13. Menunjukkan arus pada waktu 0.0075detik sebesar 19.3ampere, dan pada waktu 0.11detik arus menjadi stabil yaitu sebesar 1.6ampere.



Gambar 4.14
Gelombang Putaran Pada Kondisi $T_b = 1 \text{ Nm}$

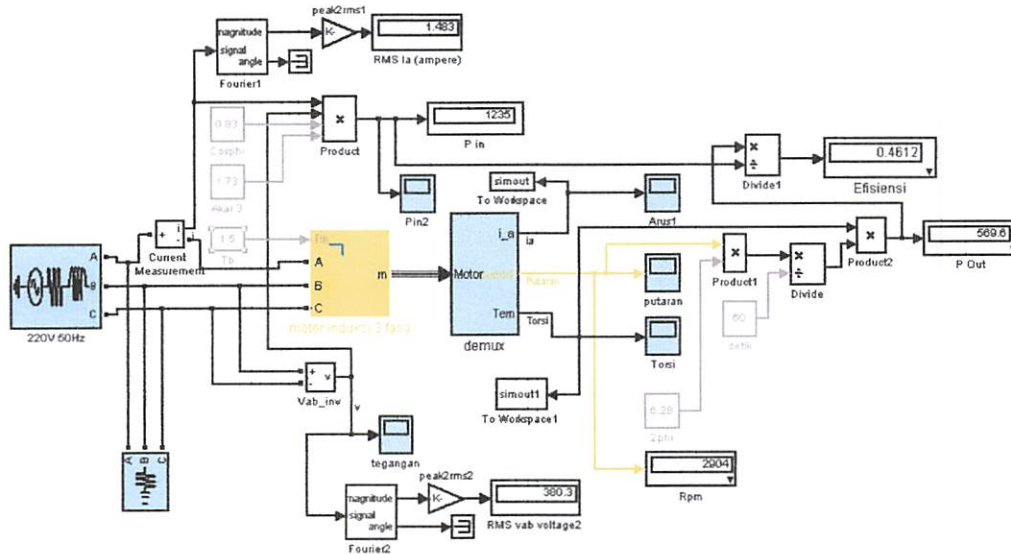
Pada gambar 4.14 menunjukkan kecepatan putaran rotor mengalami *transient* dari waktu 0.031detik sebesar 3011rpm sampai dengan 0.19detik sebesar 2940rpm, dan pada waktu 0.19detik kecepatan putar rotor dalam kondisi stabil sebesar 2940rpm.



Gambar 4.15
Gelombang Torsi Pada Kondisi $T_b = 1$ Nm

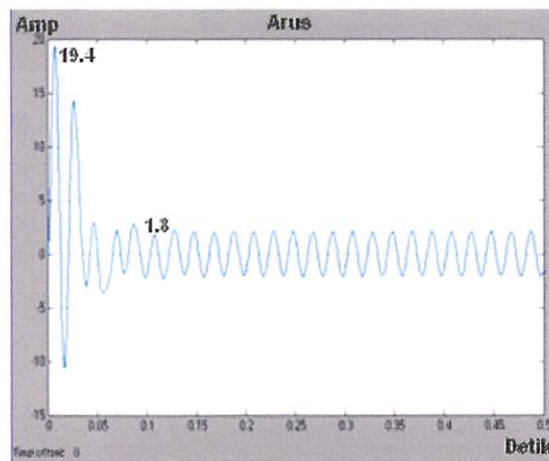
Pada gambar 4.15 menunjukkan torsi *starting* pada waktu 0.01detik sebesar 18.4nm

4.4.4. Analisa Hasil Simulasi Untuk Torsi Beban = 1.5 Nm



Gambar 4.16

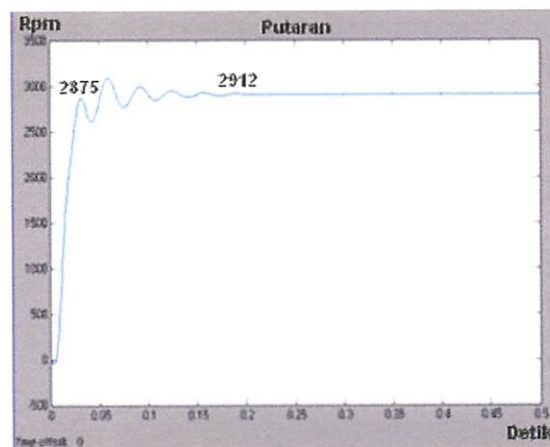
Blok Simulink Effisiensi Motor Induksi Secara *Konvensional*
 $T_b = 1.5 \text{ Nm}$



Gambar 4.17

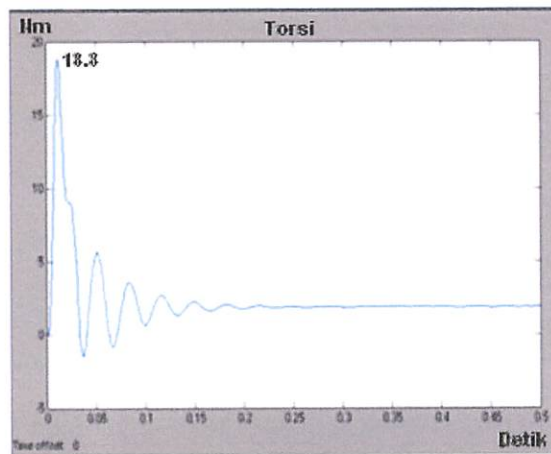
Gelombang Arus Motor Terhadap waktu Pada Kondisi $T_b = 1.5 \text{ Nm}$

Untuk sebuah motor yang diam, nilai arus asutnya ditentukan oleh impedansi kumparannya. Sehingga pada saat awal menghidupkan motor maka terjadi lonjakan arus *starting*^[9], seperti tampak pada gambar 4.17. Menunjukkan arus pada waktu 0.0075detik sebesar 19.4ampere, dan pada waktu 0.11detik arus menjadi stabil yaitu sebesar 1.8ampere.



Gambar 4.18
Gelombang Putaran Pada Kondisi $T_b = 1.5 \text{ Nm}$

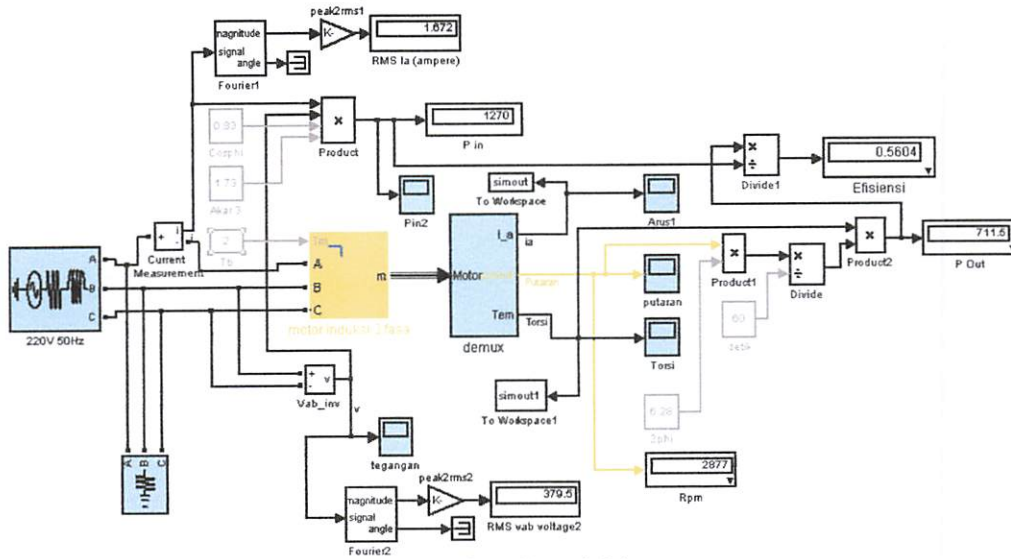
Pada gambar 4.18 menunjukkan kecepatan putaran rotor mengalami *transient* dari waktu 0.032detik sebesar 2875rpm sampai dengan 0.19detik sebesar 2912rpm, dan pada waktu 0.19detik kecepatan putar rotor dalam kondisi stabil sebesar 2912rpm.



Gambar 4.19
Gelombang Torsi Pada Kondisi $T_b = 1.5 \text{ Nm}$

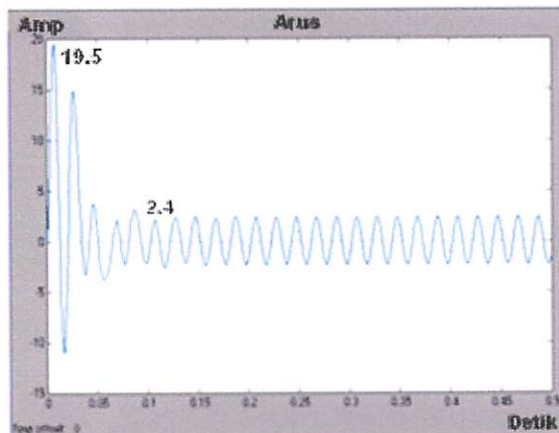
Pada gambar 4.19 menunjukkan torsi *starting* pada waktu 0.01detik sebesar 18.8nm

4.4.5. Analisa Hasil Simulasi Untuk Torsi Beban = 2 Nm



Gambar 4.20

Blok Simulink Effisiensi Motor Induksi Secara Konvensional
 $T_b = 2 \text{ Nm}$

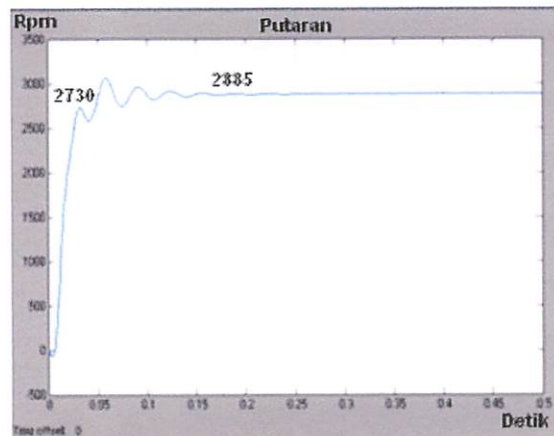


Gambar 4.21

Gelombang Arus Motor Terhadap waktu Pada Kondisi $T_b = 2 \text{ Nm}$

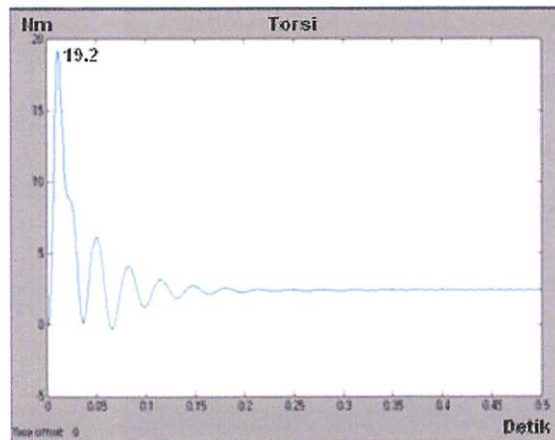
Untuk sebuah motor yang diam, nilai arus asutnya ditentukan oleh impedansi kumparannya. Sehingga pada saat awal menghidupkan motor maka terjadi lonjakan

arus *starting*^[9], seperti tampak pada gambar 4.21. Menunjukkan arus pada waktu 0.0075detik sebesar 19.5ampere, dan pada waktu 0.13detik arus menjadi stabil yaitu sebesar 2.4ampere.



Gambar 4.22
Gelombang Putaran Rotor Pada Kondisi $T_b = 2 \text{ Nm}$

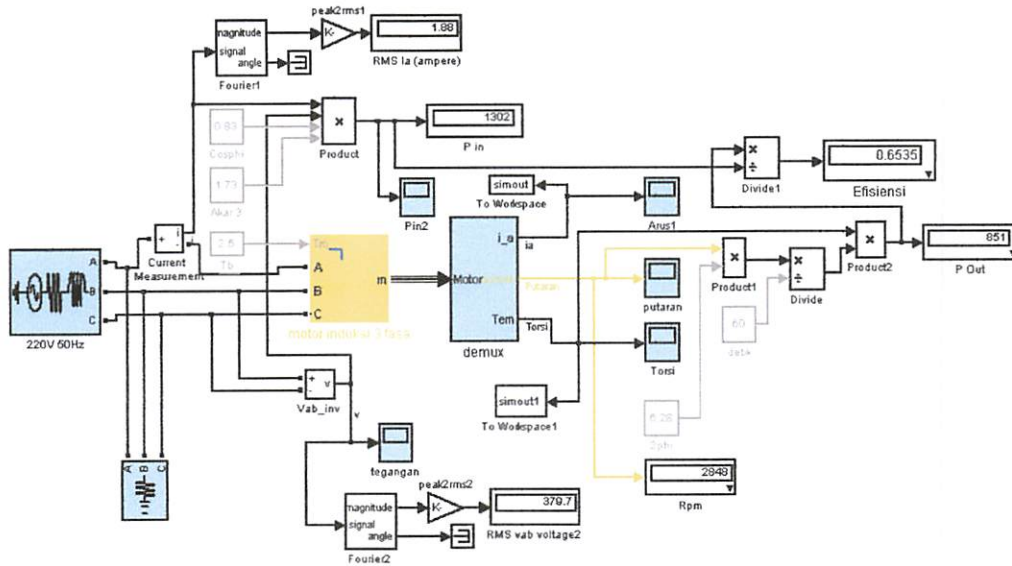
Pada gambar 4.22 menunjukkan kecepatan putaran rotor mengalami *transient* dari waktu 0.032detik sebesar 2730rpm sampai dengan 0.19detik sebesar 2885rpm, dan pada waktu 0.19detik kecepatan putar rotor dalam kondisi stabil sebesar 2885rpm.



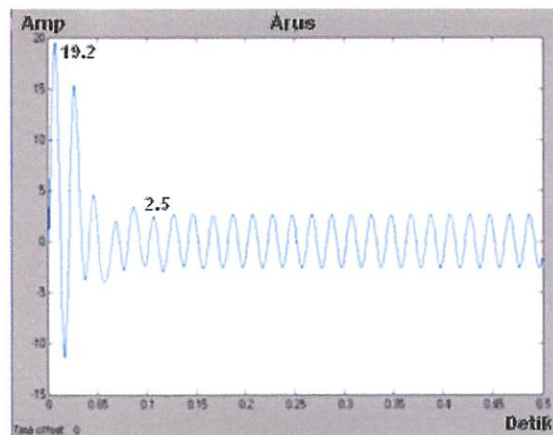
Gambar 4.23
Gelombang Torsi Pada Kondisi $T_b = 2$ Nm

Pada gambar 4.23 menunjukkan torsi *starting* pada waktu 0.01detik sebesar 19.2nm

4.4.6. Analisa Hasil Simulasi Untuk Torsi Beban = 2.5 Nm



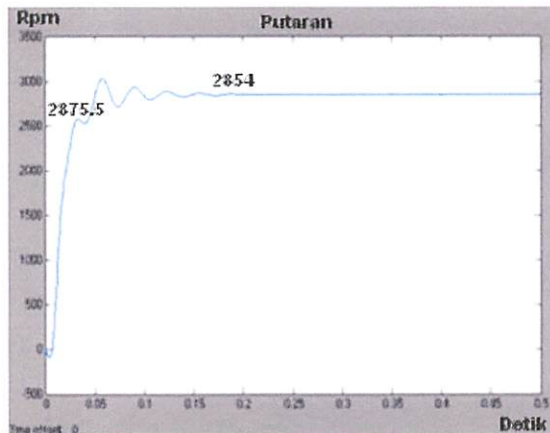
Gambar 4.24
Blok Simulink Effisiensi Motor Induksi Secara Konvensional
 $T_b = 2.5 \text{ Nm}$



Gambar 4.25
Gelombang Arus Motor Terhadap waktu Pada Kondisi $T_b = 2.5 \text{ Nm}$

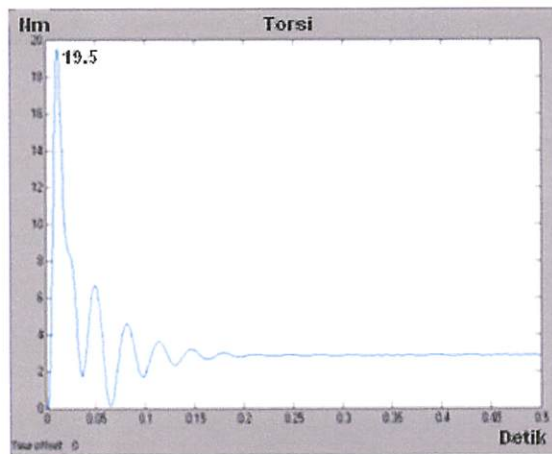
Untuk sebuah motor yang diam, nilai arus asutnya ditentukan oleh impedansi kumparannya. Sehingga pada saat awal menghidupkan motor maka terjadi lonjakan

arus *starting*^[9], seperti tampak pada gambar 4.25. Menunjukkan arus pada waktu 0.0075detik sebesar 19.2ampere, dan pada waktu 0.1detik arus menjadi stabil yaitu sebesar 2.5ampere.



Gambar 4.26
Gelombang Putaran Rotor Pada Kondisi $T_b = 2.5 \text{ Nm}$

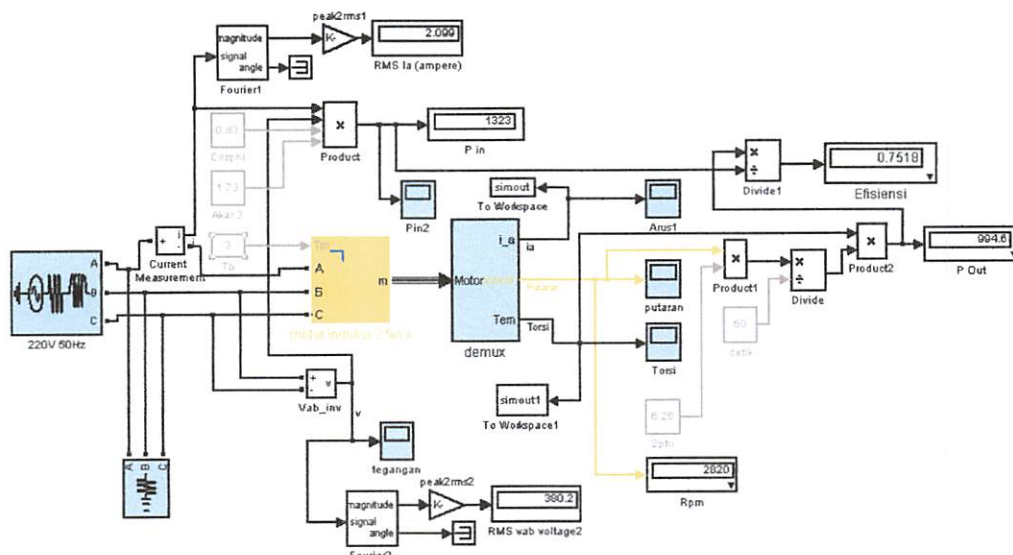
Pada gambar 4.26 menunjukkan kecepatan putaran rotor mengalami *transient* dari waktu 0.033detik sebesar 2875.5rpm sampai dengan 0.19detik sebesar 2854rpm, dan pada waktu 0.19detik kecepatan putar rotor dalam kondisi stabil sebesar 2854rpm.



Gambar 4.27
Gelombang Torsi Pada Kondisi $T_b = 2.5 \text{ Nm}$

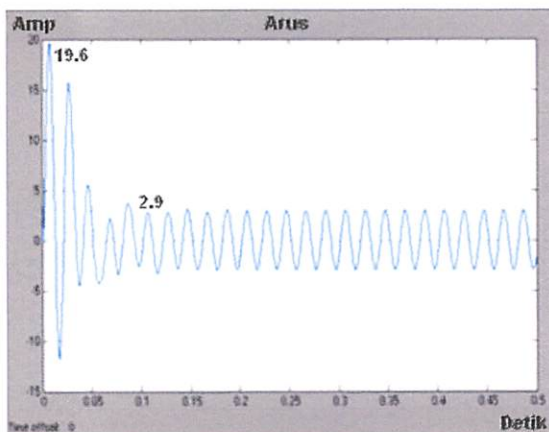
Pada gambar 4.27 menunjukkan torsi *starting* pada waktu 0.01detik sebesar 19.5nm

4.4.7. Analisa Hasil Simulasi Untuk Torsi Beban = 3 Nm



Gambar 4.28

Blok Simulink Efisiensi Motor Induksi Secara *Konvensional*
 $T_b = 3 \text{ Nm}$

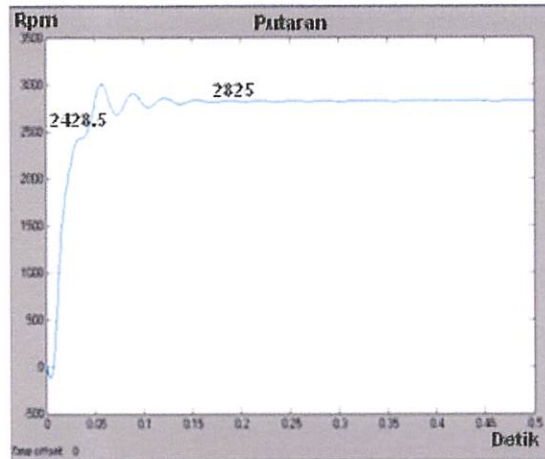


Gambar 4.29

Gelombang Arus Motor Terhadap waktu Pada Kondisi $T_b = 3 \text{ Nm}$

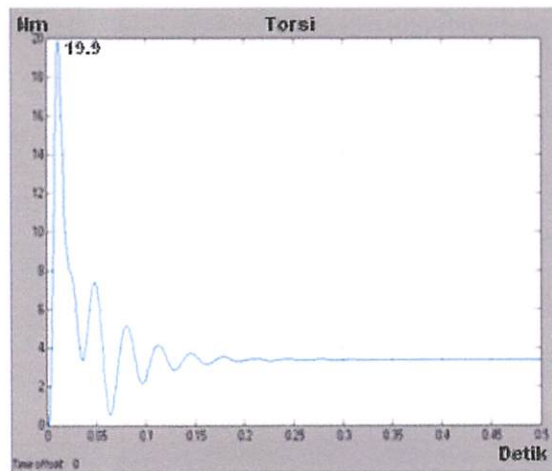
Untuk sebuah motor yang diam, nilai arus asutnya ditentukan oleh impedansi kumparannya. Sehingga pada saat awal menghidupkan motor maka terjadi lonjakan

arus *starting*^[9], seperti tampak pada gambar 4.29. Menunjukkan arus pada waktu 0.0075detik sebesar 19.6ampere, dan pada waktu 0.1detik arus menjadi stabil yaitu sebesar 2.9ampere.



Gambar 4.30
Gelombang Putaran Rotor Pada Kondisi $T_b = 3 \text{ Nm}$

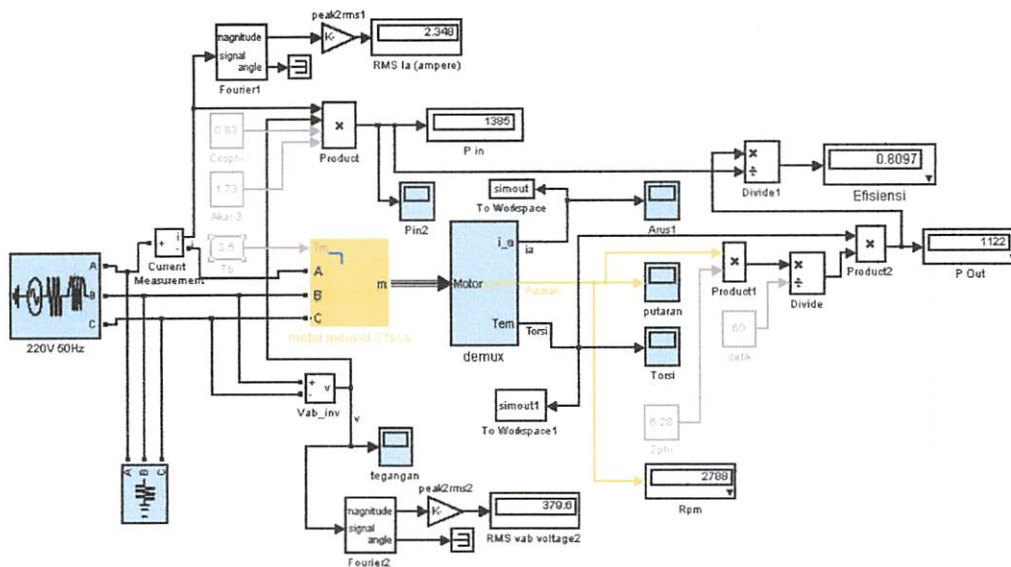
Pada gambar 4.30 menunjukkan kecepatan putaran rotor mengalami *transient* dari waktu 0.036detik sebesar 2428.5rpm sampai dengan 0.19detik sebesar 2825rpm, dan pada waktu 0.19detik kecepatan putar rotor dalam kondisi stabil sebesar 2825rpm.



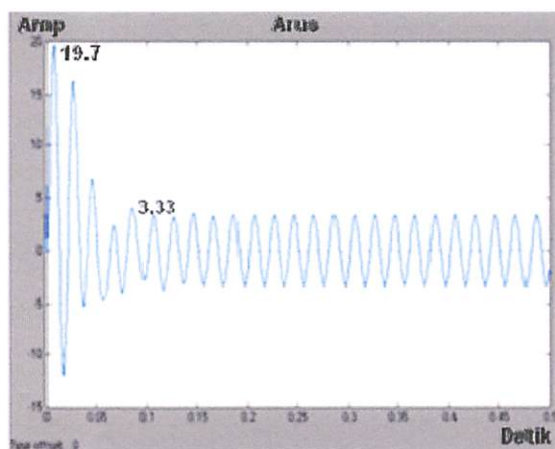
Gambar 4.31
Gelombang Torsi Pada Kondisi $T_b = 3 \text{ Nm}$

Pada gambar 4.31 menunjukkan torsi *starting* pada waktu 0.01detik sebesar 19.9nm

4.4.8. Analisa Hasil Simulasi Untuk Torsi Beban = 3.5 Nm



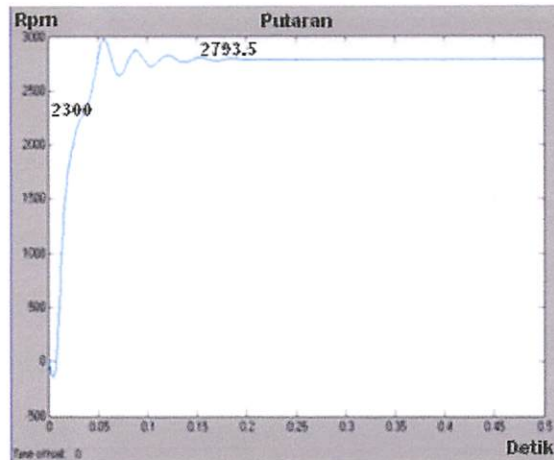
Gambar 4.32
Blok Simulink Effisiensi Motor Induksi Secara Konvensional
 $T_b = 3.5 \text{ Nm}$



Gambar 4.33
Gelombang Arus Motor Terhadap waktu Pada Kondisi $T_b = 3.5 \text{ Nm}$

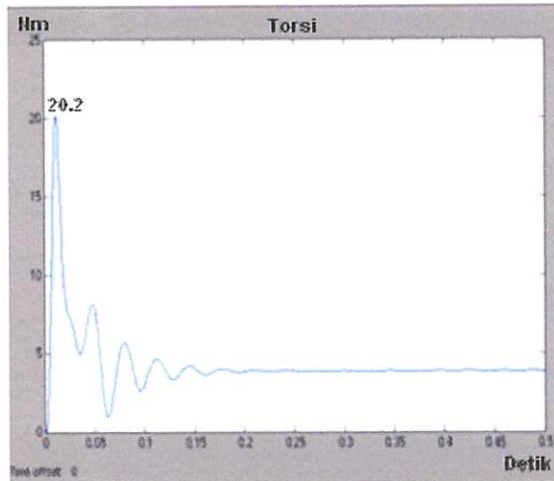
Untuk sebuah motor yang diam, nilai arus asutnya ditentukan oleh impedansi kumparannya. Sehingga pada saat awal menghidupkan motor maka terjadi lonjakan

arus *starting*^[9], seperti tampak pada gambar 4.33. Menunjukkan arus pada waktu 0.0075detik sebesar 19.7ampere, dan pada waktu 0.1detik arus menjadi stabil yaitu sebesar 3.33ampere.



Gambar 4.34
Gelombang Putaran Rotor Pada Kondisi $T_b = 3.5 \text{ Nm}$

Pada gambar 4.34 menunjukkan kecepatan putaran rotor mengalami *transient* dari waktu 0.036detik sebesar 2300rpm sampai dengan 0.19detik sebesar 2793.5rpm, dan pada waktu 0.19detik kecepatan putar rotor dalam kondisi stabil sebesar 2793.5rpm.



Gambar 4.35
Gelombang Torsi Pada Kondisi $T_b = 3.5 \text{ Nm}$

Pada gambar 4.31 menunjukkan torsi *starting* pada waktu 0.01detik sebesar 20.2nm

Tabel 4.5
Tabel Efisiensi Hasil Simulasi

No	τ_b (NM)	P_{in} (W)	P_{out} (W)	n_r (rpm)	Efisiensi (PU)	Efisiensi (%)
1	0 T _b	1230 P _{in}	118.1 P _{Out}	2979 Rpm	0.09598 Efisiensi	9.5
2	0.5 T _b	1242 P _{in}	289.5 P _{Out}	2955 Rpm	0.2171 Efisiensi	21.71
3	1 T _b	1253 P _{in}	422.8 P _{Out}	2928 Rpm	0.3372 Efisiensi	33.72
4	1.5 T _b	1235 P _{in}	569.8 P _{Out}	2904 Rpm	0.4612 Efisiensi	46.12
5	2 T _b	1270 P _{in}	711.5 P _{Out}	2877 Rpm	0.5604 Efisiensi	56.04
6	2.5 T _b	1302 P _{in}	851 P _{Out}	2848 Rpm	0.6535 Efisiensi	65.35
7	3 T _b	1323 P _{in}	894.8 P _{Out}	2820 Rpm	0.7518 Efisiensi	75.18
8	3.5 T _b	1385 P _{in}	1122 P _{Out}	2788 Rpm	0.8097 Efisiensi	80.97

Tampak pada tabel 4.5 Hasil simulasi menunjukkan bahwa semakin besar beban yang kita berikan, maka semakin tinggi nilai efisiensi. Karena semakin besar beban yang diberikan, maka daya yang terbuang semakin kecil. Dan semakin besar beban yang kita berikan, maka kecepatan putaran rotor juga semakin menurun.

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Pada saat menjalankan simulasi untuk mencari nilai efisiensi dari motor induksi, nilai $\cos \phi$ konstan berdasarkan dari name plate. Dari hasil simulasi yang telah di jalankan dengan pemberian beban yang berubah-ubah, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu :

I. Pada saat di beri beban, $T_b = 0$ nm nilai efisiensinya sebesar 9.5%.

Pada saat di beri beban, $T_b = 0.5$ nm nilai efisiensinya sebesar 21.71%.

Pada saat di beri beban, $T_b = 1$ nm nilai efisiensinya sebesar 33.72%.

Pada saat di beri beban, $T_b = 1.5$ nm nilai efisiensinya sebesar 46.12%.

Pada saat di beri beban, $T_b = 2$ nm nilai efisiensinya sebesar 56.04%.

Pada saat di beri beban, $T_b = 2.5$ nm nilai efisiensinya sebesar 65.35%.

Pada saat di beri beban, $T_b = 3$ nm nilai efisiensinya sebesar 75.18%.

Pada saat di beri beban, $T_b = 3.5$ nm nilai efisiensinya sebesar 80.97%.

II. Sebelum memberikan beban pada motor induksi, maka kita harus tahu nilai dari torsi maksimum motor induksi tersebut. Karena nilai dari torsi beban tidak boleh lebih besar dari nilai torsi maksimumnya motor.

III. Semakin besar pemberian beban maka semakin tinggi nilai efisiensi dari motor induksi tersebut, karena rugi-rugi daya sangat kecil.

- IV. Semakin besar pemberian beban maka kecepatan putaran rotor semakin menurun, karena berat beban yang dipasang semakin bertambah.
- V. Nilai efisiensi motor semakin tinggi, maka motor tersebut semakin layak untuk di gunakan.

5.2. Saran

Agar skripsi yang telah dibuat ini lebih dapat di pahami dan dapat berkembang, ada beberapa saran, antara lain :

- Sebelum memberi beban pada motor, sebaiknya kita lebih dulu melakukan pengujian untuk mencari nilai parameter motor untuk mencari nilai efisiensi.
- Agar falidasi data lebih akurat, penginputan parameter dalam pembuatan program simulasi hendaknya lebih teliti.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A.E. Fitzgerald. "**Electric Machinery**". Fourth Edition, McGraw Hill Inc.
- [2] Chapman, Stephen J. 1985. "**Electrical Machinery Fundamentals**". : McGraw-Hill Inc Second Editions.
- [3] Zuhaf. "**Dasar-dasar Teknik Tenaga Listrik**". Penerbit ITB Bandung.
- [4] Purnomo, Hery. 2005. "**Diktat Kuliah Mesin Elektrik II**". : Institut Teknologi Nasional Malang.
- [5] CHEE-MUN ONG. "**Dynamic Simulation Of Electric Machinery**".
- [6] Musafa, Akhmad. Yusifar, Fery. 2007. "**Studi Pengaruh Perubahan Tahanan Rotor Terhadap Sistem Pengendalian Motor Induksi Tanpa Sensor Kecepatan**". : Proceeding Seminar Nasional Teknik Ketenagalistrikan, Universitas Hasanudin 17-18 Juli.
- [7] Pedoman Efisiensi Energi Untuk Industri di Asia. "**www.energyefficiencyasia.org**".
- [8] Abdul Kadir, "**Mesin Induksi**". Penerbit Djambatan Cetakan ke 12, 2003.
- [9] P. Van Harten "**Instalasi Listrik Arus Kuat Jilid 3**".

Lampiran

LAMPIRAN PERHITUNGAN

- Ketentuan Perhitungan Untuk Mencari Efisiensi Motor Induksi :
- Kecepatan Motor Induksi Tiga Phasa Rotor Sangkar DE LORENZO/DL1021, 1,1 kW, 220/380 (Δ/Y) Volt, 4,3/2,5 (Δ/Y) Ampere, $\cos \phi$ 0,83, 50 Hz, 2820 rpm, 2 kutup di Laboratorium Konversi Energi ITN Malang.

$$\begin{aligned}n_s &= \frac{120f}{P} \\ &= \frac{120 \times 50}{2} \\ &= 3000 \text{ rpm}\end{aligned}$$

$$f = \frac{n_s \times P}{120}$$

$$f = \frac{n_s \times 2}{120}$$

$$f = \frac{n_s}{60}$$

$$\omega_s = 2\pi f$$

$$\omega_s = 2\pi \left(\frac{n_s}{60}\right)$$

$$\omega_s = \frac{\pi}{30} \times 2820 \text{ rpm}$$

$$\omega_s = \frac{3,14}{30} \times 2820 \text{ rpm}$$

$$\omega_s = 295,16 \text{ rpm}$$

➤ Perhitungan Torsi Maksimum Pada Motor Induksi Tiga Phasa Rotor Sangkar DE LORENZO/DL1021, 1,1 kW, 220/380 (Δ/Y) Volt, 4,3/2,5 (Δ/Y) Ampere, $\cos \varphi$ 0,83, 50 Hz, 2820 rpm, 2 kutup di Laboratorium Konversi Energi ITN Malang.

$$\tau_{load} = \frac{P_{out}}{\omega_m}$$

$$\tau_{load} = \frac{1100w}{295,16rad/s}$$

$$\tau_{load} = 3,73Nm$$

TATUNG

PERFORMANCE DATA

METRIC FRAME TEFC MOTORS (IEC Frame)
3-Phase, 50Hz, 380V, Continuous Duty
Class F Insulation, 40°C Ambient

KW	Full Load Rpm	Frame No.	Current		Torque			Efficiency			Power Factor		
			Full Load (A)	Locked Rotor (A)	Full Load (kg-m)	Locked Rotor (%)	Break Down (%)	Full Load (%)	3/4 Load (%)	1/2 Load (%)	Full Load (%)	3/4 Load (%)	1/2 Load (%)
0.18	2820	D63	0.56	3.3	0.062	240	250	64.5	60.5	53.0	77.5	70.5	60.5
	1380	D63	0.67	3.6	0.127	250	275	66.0	63.0	56.0	63.0	53.5	42.5
	925	D71	0.87	3.6	0.180	300	300	61.0	56.0	47.5	52.5	44.5	36.0
0.37	2870	D71	1.10	6.1	0.126	240	335	68.0	66.0	59.0	79.5	70.5	59.5
	1405	D71	1.30	6.0	0.256	370	370	66.0	62.5	56.5	69.0	61.0	49.5
	925	D80	1.50	6.0	0.390	250	280	69.0	66.5	60.0	56.0	48.5	38.0
0.55	2605	D71	1.40	7.5	0.191	260	310	70.0	70.0	66.0	66.5	61.5	72.5
	1405	D80	1.50	8.5	0.381	305	300	74.0	73.5	70.0	80.0	71.5	58.5
	925	D80	1.90	9.5	0.579	200	220	73.0	70.0	66.0	62.0	53.0	40.0
0.75	2750	D80	1.90	10.5	0.263	245	290	71.0	70.5	67.0	67.5	62.5	73.5
	1400	D80	1.90	11.5	0.522	285	300	72.0	72.0	69.0	80.0	71.0	58.0
	925	D90S	2.30	11.0	0.790	315	305	74.0	73.5	70.0	70.0	60.5	48.0
1.1	2910	D80	2.50	14.0	0.381	295	290	78.5	79.0	77.0	88.0	82.5	73.5
	1420	D90S	2.80	16.5	0.755	320	320	79.5	80.5	78.0	77.0	70.5	55.0
	925	D90L	3.30	15.0	1.158	265	245	75.0	75.5	73.0	70.0	61.0	48.0
1.5	2605	D90S	3.30	21.0	0.521	330	305	79.5	80.0	77.5	90.5	87.0	80.0
	1385	D90L	3.50	21.0	1.047	295	265	79.0	80.0	78.5	83.5	77.5	65.0
	940	D100L	3.90	22.5	1.554	265	270	81.0	81.5	79.0	74.0	66.0	53.0
2.2	2795	D90L	4.90	38.0	0.787	390	380	81.5	81.5	79.5	86.0	80.5	69.0
	1405	D100L	4.90	31.0	1.525	280	285	82.5	83.5	82.5	83.5	77.0	65.5
	940	D112M	5.70	34.0	2.260	305	250	81.0	81.5	79.0	74.5	67.0	54.0
3	2685	D100L	6.30	44.0	1.013	205	280	84.0	84.5	83.0	91.0	89.5	84.5
	1420	D100L	6.60	49.0	2.058	235	320	83.5	83.5	81.5	84.0	78.5	69.5
	960	D132S	7.50	49.0	3.043	230	280	82.5	82.0	79.5	75.5	67.0	53.5
4	2690	D112M	8.30	59.0	1.348	205	280	84.5	85.0	83.5	91.0	88.0	80.5
	1420	D112M	8.50	60.0	2.744	335	300	84.5	85.5	84.5	84.5	78.5	68.5
	960	D132M	9.80	54.0	4.058	245	295	84.0	84.0	81.5	77.0	68.5	56.0
5.5	2665	D132S	11.70	68.0	1.870	210	280	84.5	84.5	81.5	86.5	82.5	73.0
	1435	D132S	11.70	68.0	3.733	245	275	86.0	87.0	85.5	85.0	79.5	68.5
	955	D132M	12.20	65.0	5.609	220	235	86.0	86.5	85.5	81.5	75.0	63.0
7.5	2675	D132S	15.50	102.0	2.541	240	265	86.5	86.5	84.5	88.5	84.5	75.0
	1440	D132M	15.70	100.0	5.073	285	305	87.5	88.0	87.0	85.5	81.5	70.5
	960	D180M	17.90	104.0	7.609	260	310	86.5	87.0	85.5	79.0	73.0	61.5
11	2600	D160M	22.00	145.0	3.694	255	315	88.5	88.5	87.5	88.0	85.5	79.5
	1455	D160M	22.30	168.0	7.384	280	315	89.5	89.5	89.0	88.5	82.5	73.0
	955	D160L	24.00	163.0	11.220	275	300	89.0	89.0	88.5	81.0	75.0	64.0
15	2620	D160M	29.40	212.0	5.003	290	315	90.0	90.0	89.5	88.5	85.5	78.5
	1455	D160L	29.70	230.0	10.040	285	325	90.5	90.5	90.0	87.5	84.0	75.5
	975	D180L	32.20	200.0	14.980	220	230	90.0	90.5	90.5	80.5	76.0	66.0
18.5	2620	D160L	36.00	284.0	6.171	260	320	91.0	91.0	90.0	88.5	85.5	78.0
	1480	D180M	37.70	250.0	12.340	245	225	89.5	90.0	90.0	85.5	83.5	77.0
	975	D200L	41.00	270.0	18.480	230	310	90.5	90.5	90.0	78.0	71.5	60.0
22	2625	D180M	42.80	291.0	7.326	260	250	90.0	89.5	87.5	89.0	87.0	82.0
	1455	D180L	43.70	275.0	14.727	250	255	90.5	91.5	91.5	85.0	82.5	75.0
	970	D200L	46.00	270.0	22.090	180	240	90.5	91.0	91.0	84.5	81.5	74.0
30	2640	D200L	57.00	385.0	9.939	220	290	91.5	91.5	90.0	89.5	88.5	85.5
	1460	D200L	58.50	390.0	20.010	235	255	91.5	92.5	92.0	88.5	85.5	80.0
	975	D225M	61.50	375.0	29.970	235	270	90.5	91.0	91.0	84.5	80.5	72.0
37	2640	D200L	68.50	487.0	12.280	220	290	92.0	92.0	90.5	89.5	88.5	85.5
	1470	D225S	71.00	470.0	24.520	245	315	92.0	92.5	91.5	86.0	83.5	78.0
	980	D250S	72.00	420.0	38.770	235	250	91.5	92.5	92.0	87.0	84.5	77.0
45	2640	D225M	83.00	545.0	14.910	220	235	92.5	92.5	91.0	91.5	91.0	88.0
	1480	D225M	88.00	570.0	30.020	240	295	92.0	92.0	91.5	87.0	84.5	78.5
	980	D250M	86.00	565.0	44.720	270	295	92.0	92.5	92.5	86.5	83.5	76.0
55	2630	D250S	103.00	665.0	18.280	165	270	92.0	92.0	91.0	91.0	91.0	88.0
	1475	D250S	103.00	730.0	36.320	230	305	93.0	93.0	92.5	88.5	86.5	80.0
	980	D280S	108.00	700.0	54.660	250	265	92.5	93.0	92.0	86.0	83.0	75.0
75	2630	D250M	138.00	910.0	24.930	205	330	92.5	93.0	92.0	91.5	90.0	86.5
	1475	D250M	146.00	1040.0	49.530	260	290	93.5	94.0	93.5	84.0	80.0	71.0
	985	D280M	144.00	910.0	74.160	260	290	93.0	93.5	92.5	85.0	80.5	71.0
90	2650	D280S	170.00	965.0	29.720	165	285	93.5	93.5	93.0	88.0	87.0	82.0
	1465	D280S	164.00	1100.0	58.840	265	260	93.0	93.0	92.0	90.0	88.5	83.0
	2665	D280M	202.00	1475.0	38.130	190	385	93.5	93.5	93.0	90.0	88.5	84.0
110	1465	D280M	198.00	1290.0	73.130	220	265	93.0	93.0	92.0	90.5	88.5	82.5

Note: (1) All data above are typical values based on test.
(2) For current values of other voltages shall be inversely proportional to the voltages.
(3) Tolerances according to BS 4999 part 101, IEC 34-1
(4) All data subject to change without notice.

Table 3. motor performance data yang biasa diberikan oleh pabrikaan



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

SURAT PERMOHONAN

Dengan Hormat,

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

Nama : Ahmad Zainul Arif
Nim : 02.12.060
Jurusan : Teknik Elektro Energi Listrik S1
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri
Keperluan : Pengujian Parameter Motor Induksi 3fasa
Waktu : Tgl 25 s/d 26 Juli 2008

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

Daftar Peralatan Yang Dipinjam

No	Kode Alat	Nama Alat	Trade Mark
1	DL 1021	Motor Induksi 3 fasa, 1.1KW	DE LORENZO
2	DL 2026	Hand Tacho Meter	DE LORENZO
3	DL 1013M2	Turet	DE LORENZO
4	DL 1009	AC Power Supply	DE LORENZO
5	DL 1031	Power Digital Measurement Unit Loren	DE LORENZO
6	DI 1019M	Edy Current Break	DE LORENZO
7	DT 9205A	Multi Meter	EXCEL

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

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

Asisten Pendamping

Husen Sufianto
Nim. 02.12.010

Ka. Lab. Konversi Energi Elektrik

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

Pemohon

Ahmad Zainul Arif
Nim. 02.12.060