

SKRIPSI

PENGATURAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI TIGA FASA DENGAN METODE *DIRECT TORQUE CONTROL* DI LABORATORIUM KONVERSI ENERGI ELEKTRIK ITN MALANG



Disusun oleh :
HOLILUL RAHMAN
NIM. 0112134

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

SEPTEMBER 2008

CONFIDENTIAL

THE JOINT CHIEFS OF STAFF HAVE REVIEWED THIS REPORT AND
HAVE DETERMINED THAT IT IS OF INTEREST TO THE
DEFENSE AND SHOULD BE CLASSIFIED AS
CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL
DEFENSE INTELLIGENCE
AGENCY

CONFIDENTIAL REPORT
DEFENSE INTELLIGENCE AGENCY
CLASSIFIED AS CONFIDENTIAL
DATE 10/10/88 BY [REDACTED]

CONFIDENTIAL

LEMBAR PERSETUJUAN

**PENGATURAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI TIGA FASA
DENGAN METODE *DIRECT TORQUE CONTROL*
DI LABORATORIUM KONVERSI ENERGI ELEKTRIK
ITN MALANG**

SKRIPSI

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

Disusun Oleh :

**HOLILUL RAHMAN
NIM. 0112134**

Malang, September 2008

Diperiksa dan disetujui,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



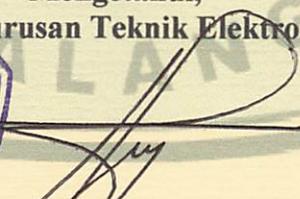
**(Ir. M. Abdul Hamid, MT)
NIP.Y. 1018800188**



**(Ir. Teguh Herbasuki, MT)
NIP.Y.1038900209**

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1



**(Ir. F. Yudi Limpraptono, MT)
NIP. Y. 1039500274**

**KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2008**

ABSTRAKSI

PENGATURAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI TIGA FASA DENGAN METODE *DIRECT TORQUE CONTROL* DI LABORATORIUM KONVERSI ENERGI ELEKTRIK ITN MALANG

Holilul Rahman NIM : 01.12.134

Dosen Pembimbing I : Ir. M. Abdul Hamid, MT

Dosen Pembimbing II : Ir. Teguh Herbasuki, MT

Motor induksi tiga fasa merupakan motor elektrik yang paling banyak digunakan dalam dunia industri. Salah satu kelemahan motor induksi yaitu memiliki beberapa karakteristik parameter yang tidak linier, terutama resistansi rotor yang memiliki nilai yang bervariasi untuk kondisi operasi yang berbeda, sehingga tidak dapat mempertahankan kecepatannya secara konstan bila terjadi perubahan beban. Oleh karena itu untuk mendapatkan kecepatan yang konstan dan peformansi sistem yang lebih baik terhadap perubahan beban dibutuhkan suatu pengontrol

Direct Torque Control (DTC) atau Pengatur Tenaga putaran Langsung adalah salah satu cara pengaturan yang nyaris sempurna dari pengatur tenaga putaran pada mesin induksi. pada motor induksi metode ini digunakan untuk memprediksi tegangan untuk menyuplai torsi out put, dengan sebuah rangkai tertutup maka dapat dibandingkan nilai torsi ketika motor diberi beban luar.

Dengan adanya pengaturan kecepatan ini diharapkan kecepatan motor induksi dapat steady state sesuai yang diinginkan walaupun terdapat perubahan beban, berdasarkan hasil pengujian simulasi pada motor induksi tiga fasa DE LORENZO/DL 1021 menggunakan Matlab simulink dengan menggunakan pengontrolan kecepatan DTC (*Direct Torque Control*) menghasilkan parameter transient pada saat tanpa beban dengan t antara 0 -1s dan kondisi stedy state pada t antara 1s Sedangkan pada kondisi terbebani kecepatan motor induksi tiga fasa DE LORENZO/DL 1021 mengalami penurunan sesuai dengan beban yang diberikan dan setelah itu kecepatan motor tersebut kembali ke kondisi transient dan mengalami kondisi stedy steate, dengan waktu pemulihan 0.4s

Kata kunci: *Motor Induksi, Direct Torque Control,*

KATA PENGANTAR

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

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

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Abraham Lomi, MSEE. selaku rektor Institut Teknologi Nasional Malang.
2. Bapak Ir. Mochtar Asroni, MSME. selaku dekan Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Nasional Malang.
3. Bapak Ir. F. Yudi Limpraptono, MT. selaku ketua jurusan Teknik Elektro S-1. Institut Teknologi Nasional Malang.
4. Bapak Ir. M. Abdul Hamid, MT. selaku dosen pembimbing utama
5. Bapak Ir. Teguh Herbasuki, MT. selaku dosen pembimbing pendamping
6. Semua pihak yang telah membantu selama penulisan skripsi ini yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

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

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

Malang, September 2008

Penulis

DAFTAR ISI

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

BAB I PENDAHULUAN

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

BAB II MOTOR INDUKSI TIGA PHASA

2.1. Umum	5
2.1.1. Keunggulan dan kelemahan motor induksi.....	5
2.2. Konstruksi Motor Induksi	6
2.2.1. Rotor	7
2.2.1.1 Rotor sangkar tupai (<i>Squirrel-cage Rotor</i>)	7
2.2.1.2 Rotor Belitan (<i>Wound Rotor</i>)	8

2.2.2. Stator.....	9
2.3. Medan Magnet Putar.....	10
2.4. Prinsip Kerja Motor Induksi.....	11
2.4.1. Slip dan Frekuensi Arus Rotor.....	13
2.5. Torka.....	14
2.6. Rangkaian Ekvivalen Motor Induksi.....	15
2.7. Menentukan Parameter-Parameter Motor Induksi.....	17
2.7.1. Menentukan Tahanan Stator Motor Induksi(<i>DC Test</i>).....	18
2.7.2. Pengujian Tanpa Beban Motor Induksi (<i>No Load Test</i>).....	19
2.7.3. Pengujian Rotor Tertahan (<i>Blocked Rotor Test</i>).....	21
2.8. Operasi Motor Induksi.....	24
2.8.1. Peforma <i>Stedy state</i>	24
2.8.2 Peforma <i>Transient</i>	24
2.9. Matlab Simulink.....	25
2.9.1. Pengertian Matlab Simulink.....	25
2.9.2. Simulink.....	26

BAB III *DIRECT TORQUE CONTROLLER*

3.1. Model Mesin Induksi Dalam Metode <i>Direct Torque Control</i>	30
3.2 Perumusan Metode <i>Direct Torque Control</i>	32
3.3 Hubungan Vektor Tegangan Stator Dengan Vektor Flux Stator....	34
3.4 Inverter Tiga Fasa.....	34
3.4.1. Umum.....	34
3.4.2. Prinsip Kerja Inverter Tiga Fasa.....	36

3.5	Pemodelan Metode <i>Direct Torque Control</i>	37
3.6	Algoritma Penyelesaian Masalah.....	39
3.7	Diagram Alir Penyelesaian Masalah.....	40

BAB IV PERHITUNGAN PARAMETER MOTOR DAN ANALISA HASIL SIMULASI

4.1.	Menentukan Parameter Motor Induksi.....	41
4.1.1.	Alat-alat yang digunakan	41
4.1.2.	Pengujian Arus Searah (<i>DC Test</i>).....	42
4.1.3.	Pengujian Tanpa Beban (<i>No Load Test</i>).....	43
4.1.4.	Pengujian Rotor Tertahan (<i>Blocked Rotor Test</i>).....	44
4.2.	Analisa Parameter Motor Induksi.....	45
4.3.	Hasil Simulasi.....	49
4.3.1.	Analisa Simulasi Pada Kecepatan 1000 Rpm Tanpa beban...	50
4.3.2.	Analisa Simulasi Pada Kecepatan 1000 Rpm Beban Berubah-ubah.....	53
4.3.3.	Analisa Simulasi Pada Kecepatan 1200 Rpm Tanpa beban...	57
4.3.4.	Analisa Simulasi Pada Kecepatan 1200 Rpm Beban Berubah-ubah.....	61

BAB V PENUTUP

5.1.	Kesimpulan	66
5.2.	Saran	67

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel 2-1	Standar besarnya reaktansi berbagai jenis desain rotor.....	23
Tabel 3-1	Hubungan <i>Switching</i> dari metode Direct Torque Control.....	33
Tabel 4-1	Data Pengujian Arus Searah	42
Tabel 4-2	Data Hasil Pengujian Beban Nol.....	43
Tabel 4-3	Data Hasil Pengujian Rotor Tertahan	44
Tabel 4-4	Hasil Perhitungan Pengujian Parameter Motor Induksi Tiga Phasa...48	
Tabel 4-5	Hasil Pengujian Motor Induksi Pada <i>Setting Point</i> 1000 rpm	
	Tanpa Beban.....	53
Tabel 4-6	Hasil Pengujian Motor Induksi Pada <i>Setting Point</i> 1000 rpm	
	Beban berubah.....	57
Tabel 4-7	Hasil Pengujian Motor Induksi Pada <i>Setting Point</i> 1200 rpm	
	Tanpa Beban.....	61
Tabel 4-6	Hasil Pengujian Motor Induksi Pada <i>Setting Point</i> 1200 rpm	
	Beban berubah.....	65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1	Konstruksi Motor Induksi.....	7
Gambar 2-2	Konstruksi Rotor Sangkar Tupai Motor Induksi	8
Gambar 2-3	Konstruksi Stator Motor Induksi	9
Gambar 2-4	Medan Putar Pada Motor Induksi	10
Gambar 2-5	Karakteristik slip dan kecepatan dari motor induksi tiga fasa	14
Gambar 2-6	Rangkaian ekivalen motor induksi perfasa, rasio $a=1$	16
Gambar 2-7	Diagram fasor motor induksi	17
Gambar 2-8	Untai pengujian tahanan stator.....	19
Gambar 2-9	Rangkaian ekivalen pengujian beban nol	21
Gambar 2-10	Rangkaian ekivalen pengujian rotor tertahan	20
Gambar 2-11	Tampilan <i>M-Files</i> Matlab	26
Gambar 2-12	Simulink Library Pada MATLAB 7.0.....	27
Gambar 3-1	Blok Kontrol DTC	28
Gambar 3-2	Hubungan Posisi dari vektor Tegangan Stator dan Flux Stator ..	33
Gambar 3-3	Rangkaian Inverter Tiga Fasa	36
Gambar 3-4	Blok Model Pengaturan Kecepatan Motor Induksi	37
Gambar 3-5	Blok Parameter Motor Induksi	38
Gambar 4-1	Rangkaian Pengujian Arus Searah (<i>DC Test</i>).....	42
Gambar 4-2	Rangkaian Ekivalen Pengujian Tanpa beban.....	43
Gambar 4-3	Rangkaian Pengujian Rotor tertahan	44

Gambar 4-4	Hasil Simulasi kecepatan Pada Setting Point 1000 Rpm	
	Tanpa beban.....	50
Gambar 4-5	Hasil Simulasi Torsi Motor Pada Setting Point 1000 Rpm	
	Tanpa beban.....	50
Gambar 4-6	Hasil Simulasi Arus Motor Pada Setting Point 1000 Rpm	
	Tanpa beban.....	51
Gambar 4-7	Hasil Simulasi Fluxi Motor Pada Setting Point 1000 Rpm	
	Tanpa beban.....	52
Gambar 4-8	Hasil Simulasi tegangan Pada Setting Point 1000 Rpm	
	Tanpa beban.....	52
Gambar 4-9	Hasil Simulasi kecepatan Pada Setting Point 1000 Rpm	
	Dengan beban berubah-ubah.....	53
Gambar 4-10	Hasil Simulasi Torsi Motor Pada Setting Point 1000 Rpm	
	Dengan beban berubah-ubah.....	54
Gambar 4-11	Hasil Simulasi Arus Motor Pada Setting Point 1000 Rpm	
	Dengan beban berubah-ubah.....	55
Gambar 4-12	Hasil Simulasi Fluxi Motor Pada Setting Point 1000 Rpm	
	Dengan beban berubah-ubah.....	56
Gambar 4-13	Hasil Simulasi tegangan Pada Setting Point 1000 Rpm	
	Dengan beban berubah-ubah.....	56
Gambar 4-14	Hasil Simulasi kecepatan Pada Setting Point 1200 Rpm	
	Tanpa beban.....	57

Gambar 4-15 Hasil Simulasi Torsi Motor Pada Setting Point 1200 Rpm	
Tanpa beban.....	58
Gambar 4-16 Hasil Simulasi Arus Motor Pada Setting Point 1200 Rpm	
Tanpa beban.....	59
Gambar 4-17 Hasil Simulasi Fluxi Motor Pada Setting Point 1200 Rpm	
Tanpa beban.....	60
Gambar 4-18 Hasil Simulasi tegangan Pada Setting Point 1200 Rpm	
Tanpa beban.....	60
Gambar 4-19 Hasil Simulasi kecepatan Pada Setting Point 1200 Rpm	
Dengan beban berubah-ubah.....	61
Gambar 4-20 Hasil Simulasi Torsi Motor Pada Setting Point 1200 Rpm	
Dengan beban berubah-ubah.....	62
Gambar 4-21 Hasil Simulasi Arus Motor Pada Setting Point 1200 Rpm	
Dengan beban berubah-ubah.....	63
Gambar 4-23 Hasil Simulasi Fluxi Motor Pada Setting Point 1200 Rpm	
Dengan beban berubah-ubah.....	64
Gambar 4-24 Hasil Simulasi tegangan Pada Setting Point 1200 Rpm	
Dengan beban berubah-ubah.....	64

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Motor induksi 3 fasa adalah alat penggerak yang paling banyak digunakan dalam dunia industri. Hal ini dikarenakan motor induksi mempunyai konstruksi yang sederhana, kokoh, harganya relatif murah, serta perawatannya yang mudah, sehingga motor induksi mulai menggeser penggunaan motor DC pada industri. Motor induksi memiliki beberapa parameter yang bersifat non-linier, terutama resistansi rotor, yang memiliki nilai bervariasi untuk kondisi operasi yang berbeda. Hal ini yang menyebabkan pengaturan pada motor induksi lebih rumit dibandingkan dengan motor DC.

Salah satu kelemahan dari motor induksi adalah tidak mampu mempertahankan kecepatannya dengan konstan bila terjadi perubahan beban. Apabila terjadi perubahan beban maka kecepatan motor induksi akan menurun. Untuk mendapatkan kecepatan konstan serta memperbaiki kinerja motor induksi terhadap perubahan beban, maka dibutuhkan suatu pengontrol. Penggunaan motor induksi tiga fasa di beberapa industri membutuhkan performansi yang tinggi dari motor induksi untuk dapat mempertahankan kecepatannya walaupun terjadi perubahan beban. Penerapan DTC (*Direct Torque Control*) banyak digunakan dalam berbagai aplikasi mesin yang membutuhkan performansi tinggi juga sebagai alternatif pilihan dibandingkan dengan pengontrolan vektor lainnya. *Direct Torque Control* digunakan karena mempunyai keuntungan dalam

pengontrolan secara terpisah (*decoupled*) terhadap torsi dan *flux*, tidak memerlukan *transducer* mekanik, regulator arus serta pembangkitan pulsa PWM. *Direct Torque Control* digunakan untuk membentuk sistem pengaturan dalam mengestimasi kecepatan motor induksi saat motor diberi beban yang berubah-ubah dengan melihat respon kecepatan output yang dihasilkan apakah dapat mengikuti *set point* yang telah di tentukan Sehingga dengan adanya pengaturan kecepatan ini diharapkan kecepatan motor induksi dapat konstan sesuai yang diinginkan, walaupun mendapat perubahan beban, sehingga menghasilkan performansi motor induksi yang tinggi .

1.2 Perumusan Masalah

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

1. Bagaimana membentuk simulasi sistem pengaturan kecepatan motor induksi dengan metode *Direct Torque Control*?
2. Bagaimana menganalisa cara kerja dari sistem tersebut?
3. Bagaimana performansi motor pada saat kondisi tanpa beban dan pada saat kondisi diberi beban yang berbeda dengan *setpoint* kecepatan yang berbeda?

1.3 Tujuan

Skripsi ini bertujuan untuk mengatur kecepatan motor induksi tiga fasa dengan metode *Direct Torque Control* baik dalam keadaan berbeban maupun tak berbeban . Juga untuk menganalisa arus, tegangan, kecepatan, dan torsi elektromagnetik motor dalam kondisi *transient* dan *steady state*.

1.4 Batasan Masalah

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

1. Pengambilan data motor induksi tiga fasa di Laboratorium Konversi Energi Elektrik ITN Malang.
2. Pengontrolan menggunakan metode *Direct Torque Control*.
3. Analisa pengontrolan disimulasikan menggunakan Software MATLAB[®] SIMULINK[®].

1.5 Metodologi Penelitian.

Metodologi penelitian yang dilakukan dalam skripsi ini meliputi :

- Studi Literatur

Penulis mempelajari literatur-literatur mengenai motor Induksi.

- Pengumpulan Data

Penulis melakukan pengambilan data gambar *single line* dan karakteristik–karakteristik yang menyangkut tentang motor induksi.

- Analisa Data

Setelah mendapatkan data, penulis akan memasukkan data yang telah didapat untuk dimodelkan di dalam *software MATLAB[®] SIMULINK[®]*.

- Pemodelan

Setelah mendapatkan data, penulis akan memasukkan data yang telah didapat untuk dimodelkan di dalam *software MATLAB[®] SIMULINK[®]*.

- Simulasi.

Data yang telah dimodelkan akan disimulasikan di dalam *software MATLAB® SIMULINK®*.

- Menarik kesimpulan.

Setelah *study* dilakukan, maka penulis dapat menarik suatu kesimpulan.

1.6 Sistematika Pembahasan

Pada penyusunan skripsi ini terdiri dari V bab, dengan sistematika pembahasan disusun sebagai berikut :

BAB I : Pada bab ini berisi pendahuluan yang meliputi latar belakang, permasalahan, batasan masalah, tujuan, metodologi serta sistematika pembahasan.

BAB II : Pada bagian ini diuraikan mengenai motor induksi 3-fasa, aspek-aspek yang digunakan , parameter-parameter yang ada dalam motor induksi, serta pengertian tentang *software MATLAB® SIMULINK®*.

BAB III : Pada bagian ini akan diuraikan mengenai metode *Direct Torque Control* serta pembuatan blok diagram *Direct Torque Control* dengan menggunakan *software MATLAB® SIMULINK®*.

BAB IV : Pada bab ini berisikan analisis tentang perhitungan parameter dari motor induksi tiga fasa serta hasil simulasi motor induksi dengan metode *Direct Torque Control*

BAB V : Penutup berisikan kesimpulan dan kontribusi.

BAB II

MOTOR INDUKSI TIGA PHASA

2.1 Umum

Motor induksi adalah jenis motor listrik yang paling kuat, kokoh dan merupakan jenis motor yang paling banyak digunakan dalam dunia industri. Seperti halnya pada motor dc, motor induksi terdiri dari dua buah komponen utama, yaitu stator dan rotor. Rotor mesin induksi ditopang oleh bantalan-bantalan yang terletak pada ujung-ujung poros rotor. Dengan adanya bantalan-bantalan ini, antara rotor dan stator terpisah oleh celah udara. Input arus bolak-balik diberikan secara langsung pada belitan-belitan stator dan rotor. Bedanya, input ke stator diberikan secara langsung dari jaringan sumber, sedangkan pada rotor arus ac muncul dari proses produksi . Itulah sebabnya jenis motor ini dikenal dengan motor induksi.

2.1.1 Keunggulan dan kelemahan motor induksi

Beberapa keunggulan yang dimiliki oleh motor induksi, adalah:

1. Konstruksinya yang sederhana dan kuat/kokoh (hampir tak dapat rusak, khususnya jenis rotor sangkar).
2. Harganya murah, perawatannya minimum, serta keandalannya cukup tinggi.

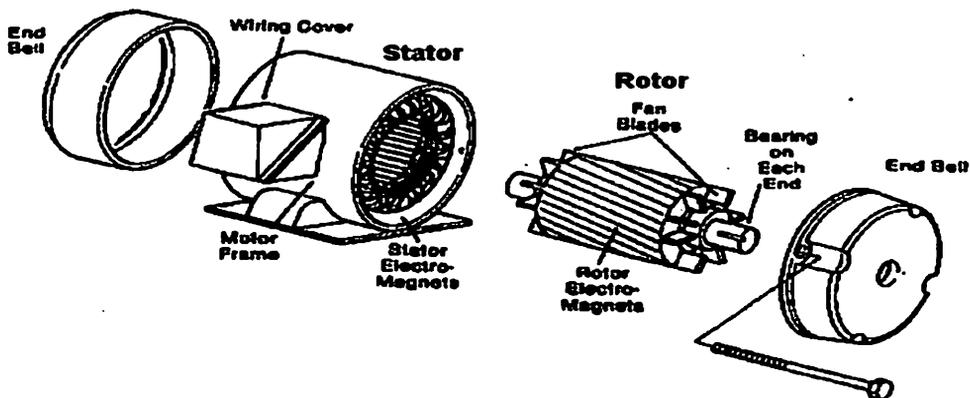
3. Efisiensi dan faktor daya yang cukup baik pada keadaan operasi normal.
4. Tidak membutuhkan sikat, sehingga mengurangi rugi-rugi gesekan (mekanis).
5. Pengaturan starting yang sederhana khususnya untuk jenis rotor sangkar.

Sedangkan beberapa kelemahan yang dimiliki oleh motor induksi, adalah:

1. Perubahan kecepatan putar motor, biasanya diikuti oleh perubahan efisiensi.
2. Seperti halnya motor DC, kecepatan putar motor induksi akan berkurang seiring bertambahnya beban.
3. Torsi asutnya sedikit lebih rendah dibanding motor DC shunt.

2.2 Konstruksi

Seperti halnya motor DC, konstruksi utama motor induksi terdiri dari rotor dan stator, dimana rotor merupakan bagian yang berputar, sedangkan stator merupakan bagian yang diam (statis). Konstruksi dasar motor induksi diperlihatkan pada gambar 2.1 berikut ini :



Gambar 2.1
Konstruksi dasar motor induksi^[1]

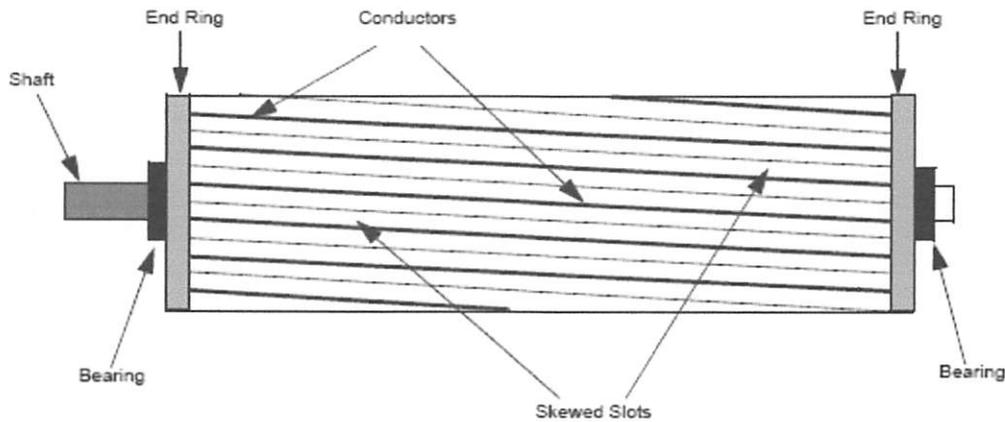
2.2.1 Rotor

Konstruksi rotor terdiri dari lapisan bahan-bahan ferromagnetik dan terdapat slot-slot yang digunakan sebagai tempat belitan. Dalam hal konstruksi rotor, motor induksi dibagi atas dua jenis :

2.2.1.1 Rotor Sangkar Tupai (*Squirrel-cage Rotor*)

Hampir 90 % produksi motor induksi dibuat dengan konstruksi rotor sangkar karena jenis ini lebih sederhana, paling kokoh dan tidak mudah rusak. Terdiri dari inti silindris dengan slot-slot parallel yang digunakan sebagai tempat belitan-belitan rotor, dalam hal ini belitan rotor berupa batang-batang tembaga, aluminium atau *alloy* dan bukan kawat penghantar. Setiap batang penghantar ditempatkan pada tiap slot. Batang-batang penghantar ini secara permanen telah terhubung singkat pada ujung-ujung rotor, sehingga tidak memungkinkan untuk menambah lagi resistor luar pada untai rotor untuk kepentingan pengaturan

kecepatan. Untuk beberapa pertimbangan, biasanya batang-batang penghantar ini dipasang tidak benar-benar sejajar dengan poros rotor, tetapi agak miring.



Gambar 2.2

Konstruksi rotor sangkar tupai motor induksi^[2]

2.2.1.2 Rotor Belitan (Wound Rotor)

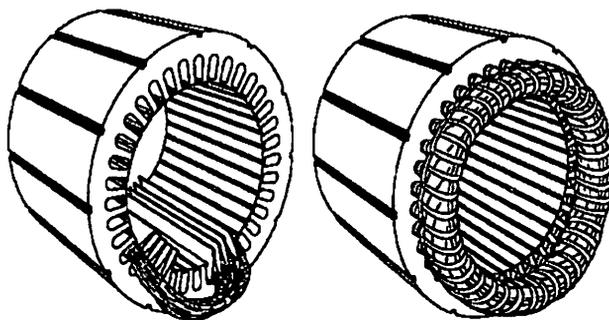
Jika motor induksi rotor sangkar dikenal dengan *brushless machine* (mesin tanpa sikat), maka untuk jenis rotor belitan dikenal dengan motor *slip ring* (motor dengan cincin geser), sehingga secara otomatis jenis rotor belitan menggunakan sikat karbon.

Belitan-belitan 3 fasa pada rotor identik dengan belitan-belitan stator. Belitan-belitan ini ditempatkan pada slot-slot rotor yang tersusun dari lapisan-lapisan plat baja. Ujung-ujung belitan rotor dihubungkan bintang (Y). Ujung-ujung belitan lainnya dihubungkan ke tiga buah cincin tembaga yang terisolasi satu sama lain. Melalui sikat-sikat karbon, ke tiga cincin ini dapat dihubungkan ke untai luar rotor, berupa sebuah reostat 3 fasa yang terhubung bintang. Hal ini memungkinkan adanya penambahan nilai resistansi pada untai external rotor selama

periode pengasutan untuk memperbesar torsi asut motor serta untuk kepentingan perubahan karakteristik torsi asut.

2.2.2 Stator

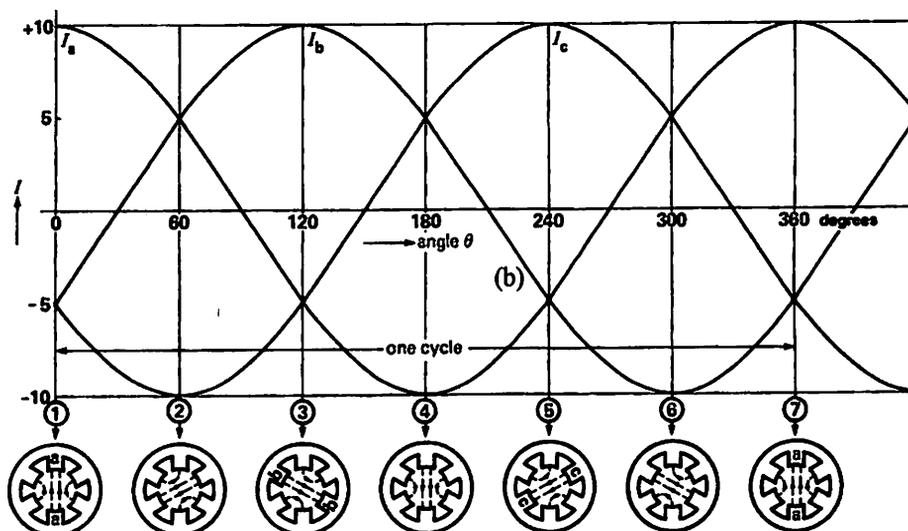
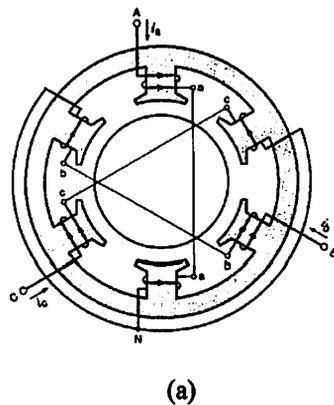
Stator motor induksi pada prinsipnya sama dengan stator pada mesin sinkron, yang tersusun atas plat-plat baja lembaran high grade yang tersusun secara berlapis-lapis. Susunan ini dibuat sedemikian rupa sehingga membentuk slot-slot stator yang akan digunakan sebagai tempat belitan-belitan 3 fasa stator. Ujung-ujung belitan akan disuplai oleh sumber listrik 3 fasa. Konfigurasi belitan-belitan motor induksi dibuat sedemikian rupa sehingga membentuk kutub-kutub stator motor. Banyaknya jumlah kutub stator motor pada akhirnya akan mempengaruhi kecepatan sinkron motor (n_s). Konstruksi stator motor induksi diperlihatkan pada gambar 2.3 berikut ini :



Gambar 2.3
Konstruksi stator motor induksi^[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 fasa banyak, umumnya tiga fasa. Hubungan dapat berupa hubungan bintang atau delta.



Gambar 2.4
Medan Putar Pada Motor Induksi [2]

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

Adapun prinsip kerja motor induksi 3 fasa mengikuti langkah-langkah sebagai berikut :

1. Jika sumber tegangan 3 fasa disuplai ke kumparan medan stator, maka akan timbul medan putar dengan kecepatan :

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

2. Medan putar tersebut akan memotong batang-batang penghantar pada rotor (setelah memotong celah udara).
3. Akibatnya pada rotor akan timbul tegangan induksi (ggl) sebesar :

$$E_r = 4,44 f_2 N_2 , \text{ dengan}$$

E_r = tegangan induksi pada saat rotor berputar

Karena kumparan rotor merupakan rangkaian tertutup, maka tegangan ggl induksi (E) akan menghasilkan arus (I). Adanya arus (I) di dalam medan magnet menimbulkan gaya (F) pada rotor.

4. Bila kopel (torque) mula yang dihasilkan oleh gaya (F) pada rotor cukup besar untuk memikul kopel beban, rotor akan berputar searah dengan medan putar stator.
5. Seperti telah dijelaskan pada (3) tegangan induksi timbul karena terpotongnya batang konduktor (rotor) oleh medan putar stator. Artinya, agar tegangan terinduksi diperlukan adanya perbedaan relatif antara kecepatan medan putar stator (n_s) dengan kecepatan berputar rotor (n_r)
6. Perbedaan kecepatan antara n_r dan n_s disebut *slip* (S) dinyatakan dengan:

$$S (\%) = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100\% \dots\dots\dots(2.2)$$

7. Bila $n_r = n_s$, maka tegangan tidak akan terinduksi dan arus tidak mengalir pada kumparan jangkar rotor, dengan demikian tidak dihasilkan kopel.

Kopel motor akan timbul apabila n_r lebih kecil dari n_s .

8. Dilihat dari cara kerjanya, motor induksi disebut juga sebagai motor tak serempak atau asinkron.

2.4.1. Slip dan frekuensi

Perubahan kecepatan putaran motor induksi (n_r) mengakibatkan berubahnya harga slip dari 100% saat start sampai 0% pada saat motor diam ($n_r = n_s$).

Hubungan frekuensi dengan slip dapat didefinisikan sebagai berikut :

Bila f_1 = frekuensi jala-jala,

$$n_s = \frac{120f_1}{P} \quad \text{atau} \quad f_1 = \frac{pn_s}{120}$$

Pada rotor berlaku hubungan :

$$f_2 = \frac{p(n_s - n_r)}{120} \quad \text{atau} \quad f_2 = \frac{pn_s}{120} \times \frac{n_s - n_r}{n_s}; \quad f_2 = \text{frekuensi arus rotor}$$

karena

$$S = \frac{n_s - n_r}{n_s} \quad \text{dan} \quad f_1 = \frac{pn_s}{120}, \quad \text{maka} \quad f_2 = f_1 \times S$$

Pada saat start $S = 100\%$, maka $f_2 = f_1$

Dengan demikian terlihat bahwa pada saat start dan rotor belum berputar frekuensi pada stator dan rotor sama. Dalam keadaan rotor berputar, frekuensi arus rotor dipengaruhi oleh slip ($f_2 = f_1$).

Karena tegangan induksi dan reaktansi kumparan rotor merupakan fungsi frekuensi, maka harganya turut pula dipengaruhi oleh slip.

Kenyataan ini dapat didefinisikan oleh persamaan-persamaan :

$$E_r = 4,44 f_2 N_2 \Phi_m$$

$$E_r = 4,44 S f_1 N_2 \Phi_m \quad \text{atau} \quad E_r = E_2$$

Dan $X_r = 2\pi f_2 L_r$

$$X_r = 2\pi S f_1 L_r \quad \text{atau} \quad X_r = S X_2$$

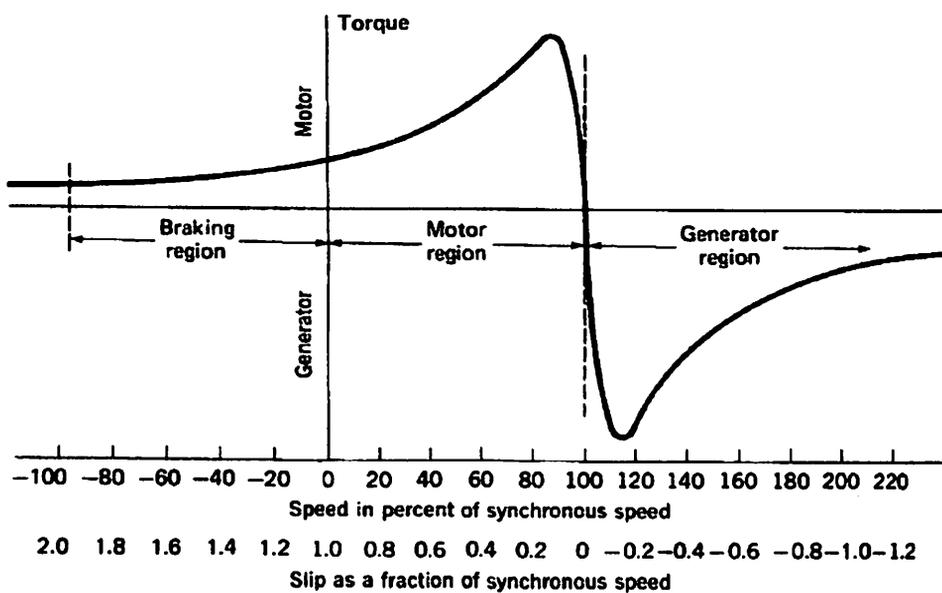
Dengan

E_2 = tegangan induksi pada saat start (diam).

E_r = tegangan induksi pada saat rotor berputar.

X_r = reaktansi pada saat rotor berputar.

X_2 = reaktansi pada saat start (diam).



Gambar 2.5

Karakteristik slip dan kecepatan dari motor induksi tiga fasa^[3]

2.5 Torca

Terjadinya alih daya dari daya listrik di stator menjadi daya mekanik di rotor. Sebelum dikurangi rugi-tembaga rotor, alih daya tersebut adalah sebesar daya celah udara P_g dan ini memberikan torca yang kita sebut dengan torca elektromagnetik dengan perputaran sinkron. Jadi jika T adalah torca elektromagnetik maka :

$$P_g = T\omega_s \text{ atau } T = \frac{P_g}{\omega_s}$$

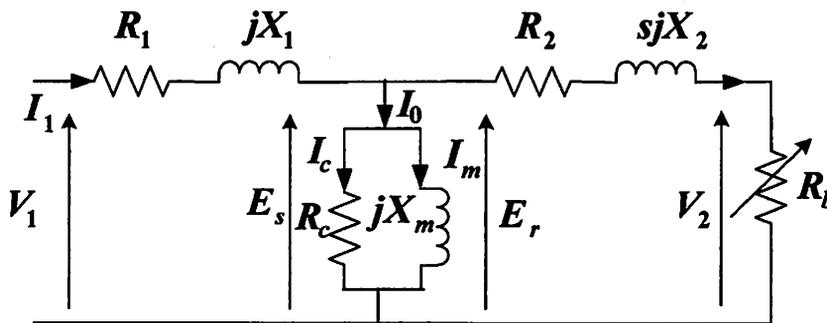
Torca asut (starting torque) adalah torca yang dibangkitkan pada saat $s = 1$, yaitu pada saat perputaran masih nol. Pada saat $s = 1$ impedansi sangat rendah sehingga arus menjadi besar. Oleh karena itu pada waktu pengasutan tegangan direduksi dengan menggunakan cara-cara tertentu untuk membatasinya arus. Sudah barang tentu penurunan tegangan ini akan memperkecil torca asut. jika tegangan dturunkan setengahnya, torca asut akan turun menjadi seperempatnya. Besarnya torca asut adalah :

$$T_a = \frac{P_g}{\omega_s} = \frac{1}{\omega_s} \times 3 \left(I_2' \right)^2 \times \frac{R_2'}{s} = \frac{1}{\omega_s} \frac{3V_1^2 R_2'}{\left(R_1 + R_2' \right)^2 + \left(X_1 + X_2' \right)^2}$$

2.6 Rangkaian ekivalen motor induksi

Pada prinsipnya proses "induksi" yang terjadi pada motor induksi hampir sama seperti pada transformator yang berbeban resistif, sehingga penggambaran rangkaian ekivalen motor induksi berdasarkan rangkaian ekivalen transformator, dimana stator identik dengan sisi primer transformator. Perbedaan

yang mendasar antara keduanya adalah transformator merupakan mesin listrik statis, sedangkan motor induksi adalah mesin listrik dinamis. Rangkaian ekivalen motor induksi per fasa diperlihatkan pada gambar 2.6 berikut ini :



Gambar 2.6

Rangkaian ekivalen motor induksi per fasa, dengan asumsi rasio $a = 1$ ^[4]

Keterangan gambar :

- V_1 = Tegangan suplai ke kumparan stator (Volt) per fase
- I_1 = Arus beban yang mengalir pada kumparan stator (Ampere) per fase
- R_1 = Resistansi kumparan stator (Ω) per fase
- X_1 = Reaktansi kumparan stator (Ω) per fase
- I_0 = Arus penguatan (Ampere) per fase
- I_c = Arus rugi inti (Ampere) per fase
- I_m = Arus pemagnetan (Ampere) per fase
- R_c = Resistansi rugi inti (Ω) per fase
- X_m = Reaktansi pemagnetan (Ω) per fase
- E_s = Tegangan yang diindusikan ke kumparan stator (Volt) per fase
- E_r = Tegangan yang diindusikan ke kumparan rotor (Volt) per fase
- R_2 = Resistansi kumparan rotor (Ω) per fase

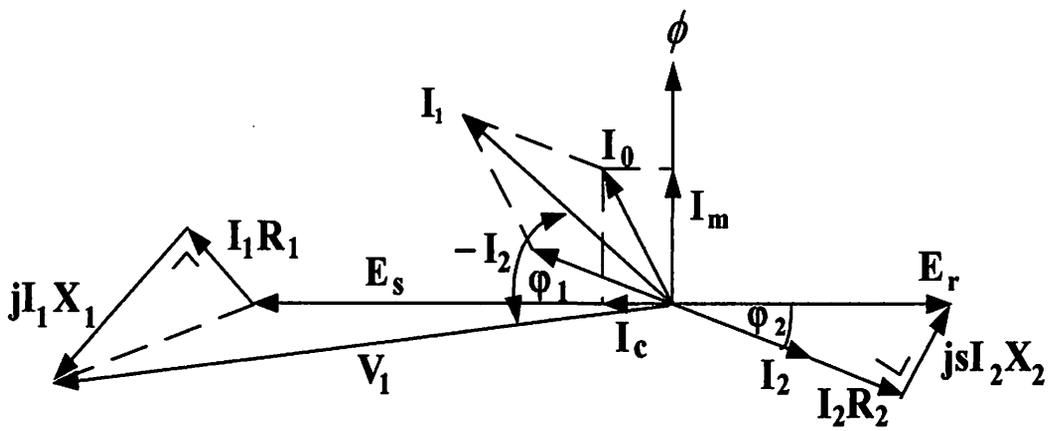
- X_2 = Reaktansi kumparan rotor (Ω) per fase
- I_2 = Arus pada sisi rotor (Ampere) per fase
- V_2 = Tegangan pada sisi beban (volt) per fase
- R_b = Resistansi beban (Ω) per fase
- S = Slip

Dari gambar 2.5 di atas (dengan menganggap $R_b=0$), dapat dituliskan persamaan:

$$V_1 = E_s + I_1 (R_1 + jX_1) \dots\dots\dots(2.3)$$

$$E_r = I_2 Z_2 = I_2 (R_2 + jSX_2) \dots\dots\dots(2.4)$$

Adapun diagram fasornya diperlihatkan pada gambar 2.7 berikut ini :



Gambar 2.7
Diagram fasor motor induksi^[4]

2.7 Menentukan Parameter-Parameter Motor Induksi

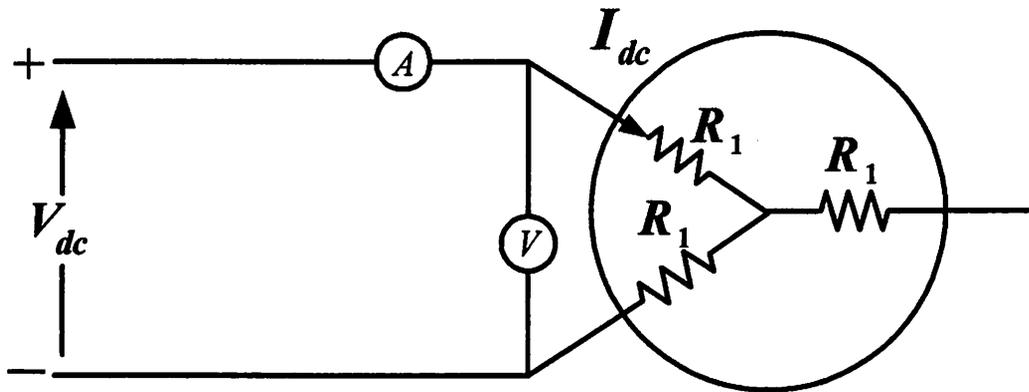
Parameter-parameter yang terdapat dalam untaian ekivalen seperti R_0 , X_0 , R_1 , X_1 , R_2 , X_2 dapat ditentukan dengan hasil-hasil pengujian tanpa beban motor induksi, pengujian blok rotor dan pengujian tahanan stator motor induksi.

2.7.1 Menentukan Tahanan Stator Motor Induksi (*DC Test*)

Pengujian tahanan stator ini dilakukan pada motor induksi yang akan dijadikan obyek penelitian. Sumber tegangan DC diberikan pada dua buah terminal input motor. Arus DC kemudian akan mengalir ke rangkaian belitan stator motor induksi. Dalam hal ini yang mengalir adalah arus DC, maka tidak ada arus yang diinduksikan ke rotor sehingga pada rangkaian rotor pun tidak akan mengalir arus. Dari kondisi ini dapat disimpulkan bahwa yang hanya membatasi aliran arus pada rangkaian stator adalah tahanan belitan stator itu sendiri, sehingga nilainya dapat ditentukan.

Dalam hal ini, rangkaian stator motor terhubung bintang, sehingga sumber DC dihubungkan ke dua dari tiga terminal motor induksi. Arus DC kemudian secara otomatis hanya akan mengalir pada 2 dari 3 belitan stator motor induksi, sehingga nilai resistansi yang terukur adalah 2 kali nilai tahanan belitan ($2R_1$).

Rangkaian pengujian tahanan stator ini menggunakan model rangkaian seperti pada gambar 2.8 berikut ini :



Gambar 2.8

Untai pengujian tahanan stator^[5]

Dari bentuk rangkaian pengujian di atas terlihat bahwa bentuk hubungan kedua belitan tersebut adalah hubungan seri, sehingga :

$$R_s = R_{DC} = \frac{V_{dc}}{I_{dc}} \dots\dots\dots(2.5)$$

Nilai R_1 yang didapat hanya merupakan nilai pendekatan, karena pada kondisi operasi normal, motor induksi diberikan pasokan tegangan arus bolak-balik yang dapat menimbulkan efek kulit (*skin effect*) yang mempengaruhi besarnya nilai R_1 .

2.7.2 Pengujian Tanpa Beban Motor Induksi (*No Load Test*)

Pengujian tanpa beban motor induksi, seperti halnya pengujian hubung buka pada transformator, akan memberikan informasi mengenai arus eksitasi dan rugi-rugi rotasional. Pengujian ini dilakukan dengan memberikan suatu nilai tegangan seimbang ke belitan stator pada nilai frekuensi *rated*. Dalam kondisi ini,

rotor motor induksi harus tidak terkopel dengan suatu beban mekanis. Nilai-nilai rugi-rugi pada saat beban nol dapat diasumsikan sama dengan nilai rugi-rugi motor pada saat berbeban ringan, dengan besar tegangan dan frekuensi *rated*.

pengujian ini untuk mengukur rugi-rugi putaran dan arus magnetisasi. Pada keadaan tanpa beban (beban nol), beban yang dipikul hanyalah rugi-rugi angin dan gesekan. Dari data *instrument* ukur dapat ditentukan parameter-parameter (per fasa) :

Untuk arus tanpa beban (I_{TB}) diperoleh persamaan :

$$I_{TB} = \frac{I_{TB1} + I_{TB2} + I_{TB3}}{3} \dots\dots\dots(2.6)$$

sedangkan impedansi tanpa beban persamaannya adalah :

$$Z_{tb} = \frac{V_{tb}}{\sqrt{3} \cdot I_{tb}} \dots\dots\dots(2.7)$$

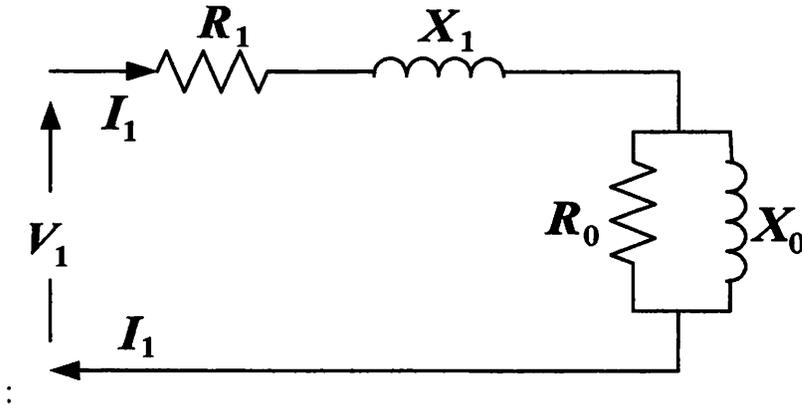
Untuk persamaan resistansi dalam keadaan tanpa beban diperoleh :

$$R_{TB} = \frac{P_{3\phi}}{3 \cdot I_{TB}^2} \dots\dots\dots(2.8)$$

sedangkan reaktansi dalam keadaan tanpa beban diperoleh :

$$X_{TB} = \sqrt{Z_{TB}^2 - R_{TB}^2} \dots\dots\dots(2.9)$$

Rangkaian ekivalen pengujian beban nol ditunjukkan pada gambar 2.9 berikut ini

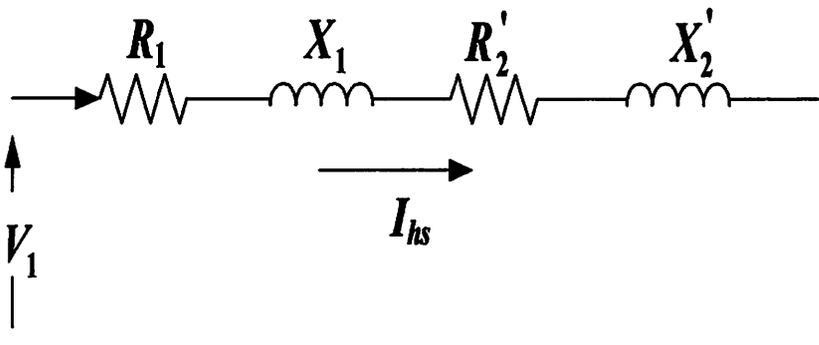


Gambar 2.9
Rangkaian ekivalen pengujian beban nol^[5]

2.7.3 Pengujian Rotor Tertahan Motor Induksi (*Blocked Rotor Test*)

Pengujian blok rotor dimaksudkan untuk mendapatkan beberapa parameter dalam rangkaian ekivalen motor induksi, antara lain arus, daya serta faktor daya. Waktu hubung singkat juga karakteristik dari daya dan arus hubung singkat sebagai fungsi tegangan yang disuplai ke rotor.

Rangkaian ekivalen pengujian rotor tertahan dapat diamati pada gambar 2.10 berikut ini :



Gambar 2.10
Rangkaian ekivalen pengujian rotor tertahan^[5]

Pada saat motor diam, Slip $S=1$, sehingga tahanan $\frac{R_2'}{s} = R_2'$ yang nilainya relatif kecil. Dengan nilai R_2' dan X_2' yang kecil serta arus magnetisasi yang juga relatif kecil terhadap arus hubung singkat, maka parameter-parameter X_1 , R_1 , X_2' dan R_2' menjadi seperti terhubung seri.

Untuk mendapatkan arus rotor tertahan (I_{RT}) dari pengujian didapatkan dengan menggunakan persamaan berikut :

$$I_{RT} = \frac{I_{RT1} + I_{RT2} + I_{RT3}}{3} \dots\dots\dots (2.10)$$

untuk impedansi rotor tertahan (Z_{RT}) dapat ditentukan dengan:

$$Z_{RT} = \frac{V}{\sqrt{3} \cdot I_{RT}} \dots\dots\dots (2.11)$$

Resistansi rotor tertahan dapat ditentukan dengan persamaan :

$$R_{RT} = \frac{P_{3\phi}}{3 \cdot I_{RT}^2} \dots\dots\dots (2.12)$$

Tahanan rotor dapat ditentukan :

$$R_{br} = \frac{P_{in}}{3 I_1^2} \dots\dots\dots (2.13)$$

Besarnya reaktansi rotor tertahan dapat ditentukan dengan persamaan :

$$X_{RT} = \sqrt{Z_{RT}^2 - R_{RT}^2} \dots\dots\dots (2.14)$$

Karena motor induksi yang dipakai adalah motor induksi dengan rotor sangkar tunggal kelas A, maka secara umum $X_s = X_r = \frac{1}{2} X_{RT}$.

Selanjutnya, hubungan antara X_s dan X_r sebagai fungsi dari X_{RT} berdasarkan desain rotor dapat dilihat pada tabel 2.1 berikut ini :

Tabel 2.1
Standar besarnya reaktansi berbagai jenis desain rotor

Desain Rotor	X_1	X_2
Rotor belitan	$0,5X_{RT}$	$0,5X_{RT}$
Kelas A	$0,5X_{RT}$	$0,5X_{RT}$
Kelas B	$0,4X_{RT}$	$0,6X_{RT}$
Kelas C	$0,3X_{RT}$	$0,7X_{RT}$
Kelas D	$0,5X_{RT}$	$0,5X_{RT}$

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

$$X_{TB} = X_s + X_m \dots\dots\dots (2.15)$$

$$X_m = X_{TB} - X_s \dots\dots\dots (2.16)$$

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

$$R = R_{RT} - R_s \dots\dots\dots (2.17)$$

$$X_r = X'_r + X_m \dots\dots\dots (2.18)$$

$$R'_r = R \left(\frac{X_r}{X_m} \right)^2 \dots\dots\dots (2.19)$$

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

$$X_s = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_s \dots\dots\dots(2.20)$$

Maka

$$L_s = \frac{X_s}{2\pi f} \dots\dots\dots(2.21)$$

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

Untuk besarnya nilai induktansi bersama (L_m)

$$L_m = \frac{X_m}{2\pi f} \dots\dots\dots(2.22)$$

2.8 Operasi Motor Induksi

2.8.1 Performa *Stedy State*

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

2.8.2 Performa *Transient*

Keadaan *transient* atau peralihan merupakan kondisi sesaat motor dimana keadaan berubah-ubah dan dapat menentukan beberapa faktor penting dalam pengendalian motor. Misalnya dalam keadaan *start* motor induksi dengan kapasitas besar akan menghasilkan arus *starting* yang besar dimana besarnya 3 sampai 8 kali arus nominal yang tertera pada *nameplate* motor.

2.9 Matlab Simulink

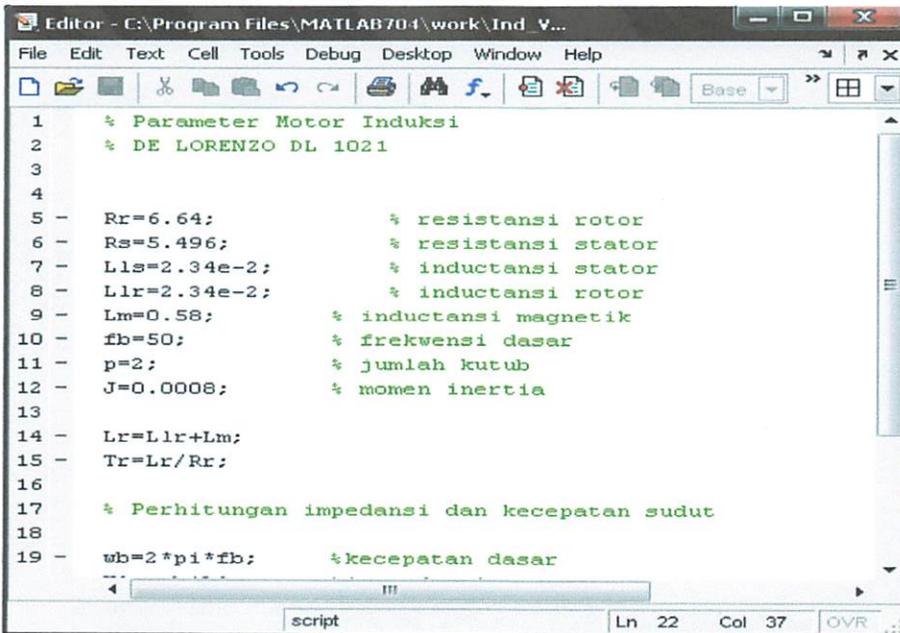
2.9.1. Pengertian MATLAB

MATLAB merupakan suatu *software* yang sangat baik untuk digunakan dalam menganalisa berbagai kebutuhan dalam bidang teknik. Mencakup didalamnya adalah perhitungan, visualisasi, dan pemrograman yang dengan mudah dapat diimplementasikan dimana permasalahan dan solusinya diekspresikan ke dalam bentuk persamaan matematika yang telah dikenal luas.

Fungsi – fungsi yang ada dalam MATLAB adalah :

- Perhitungan matematika
- Pembuatan algoritma
- Akuisisi data.
- Permodelan, simulasi, dan pembuatan *prototype*.
- Analisa data, eksplorasi, dan visualisasi.
- Pembuatan aplikasi yang berorientasi dengan *Graphical User Interface*.

Didalam MATLAB terdapat dua bagian penting yaitu *M-files* yang berfungsi untuk menuliskan listing programnya dan simulink yang digunakan untuk melakukan simulasi.



```

1  % Parameter Motor Induksi
2  % DE LORENZO DL 1021
3
4
5  - Rr=6.64;           % resistansi rotor
6  - Rs=5.496;         % resistansi stator
7  - Lls=2.34e-2;     % inductansi stator
8  - Llr=2.34e-2;     % inductansi rotor
9  - Lm=0.58;         % inductansi magnetik
10 - fb=50;           % frekwensi dasar
11 - p=2;             % jumlah kutub
12 - J=0.0008;       % momen inertia
13
14 - Lr=Llr+Lm;
15 - Tr=Lr/Rr;
16
17 % Perhitungan impedansi dan kecepatan sudut
18
19 - wb=2*pi*fb;     %kecepatan dasar

```

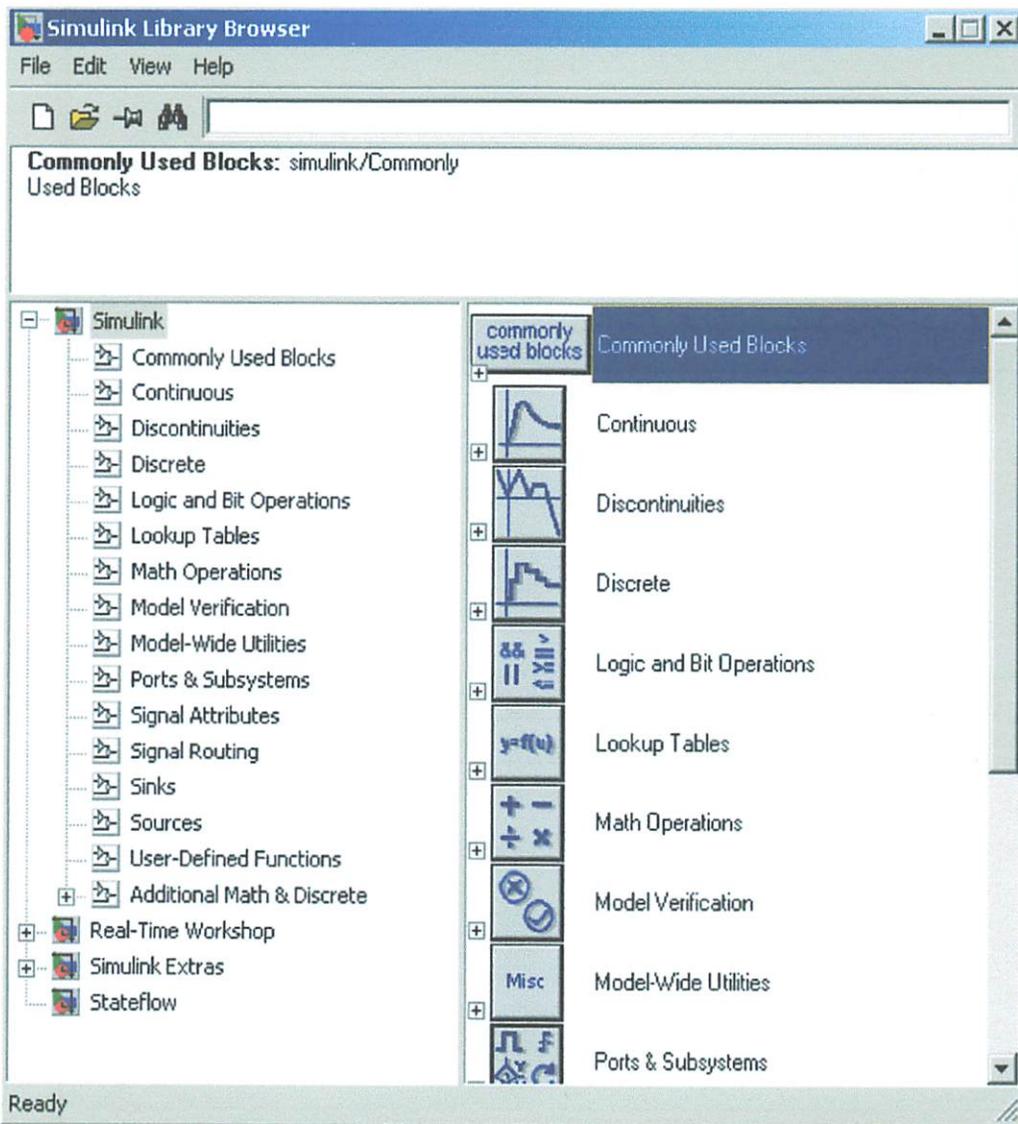
Gambar 2.11
Tampilan M-Files Matlab

2.9.2. Simulink

Simulink adalah suatu *software* yang digunakan untuk memodelkan, mensimulasikan, dan menganalisa suatu sistem yang dinamis. Simulink mendukung sistem linear dan non linear, permodelan secara kontinyu, dan dengan menggunakan *sample time*.

Dengan menggunakan simulink yang merupakan satu kesatuan dalam program tersebut kita dapat melakukan suatu permodelan sistem kontrol atau suatu *plant* yang akan diatur. Hal itu dapat didesain dengan menggunakan blok-blok yang telah tersedia dalam *Simulink Library* sehingga *setting* parameter-parameter akan menjadi lebih mudah. Dalam *Simulink Library* telah tersedia berbagai macam permodelan-permodelan blok-blok yang lengkap. Kita hanya

perlu melakukan *drag and drop* pada lembar kerja simulink untuk memodelkan sesuai dengan permodelan yang kita inginkan dan mengisi blok – blok persamaan yang sesuai .



Gambar 2.12

Simulink Library Pada MATLAB

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.

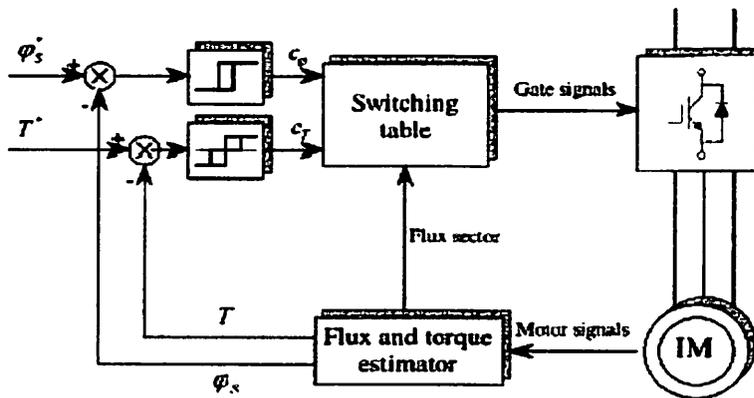
BAB III

DIRECT TORQUE CONTROL

Metode ini dikenalkan di Jepang oleh Takahashi (1984) dan juga di Jerman oleh Depenbrock (1985). *Direct Torque Control* (DTC) atau Pengatur Tenaga putaran Langsung adalah salah satu cara pengaturan yang nyaris sempurna dari pengatur tenaga putaran pada mesin induksi. Metode Ini dianggap sebagai satu alternatif dari *Field Oriented Control* (FOC) atau Pengatur Medan (PM) atau teknik pengatur garis vektor. Dua strategi pengaturan ini berbeda pada prinsip pengoperasiannya tetapi fungsinya tetap sama. Yaitu untuk mengatur secara efektif tenaga putaran. *Direct Torque Control* (DTC) pada motor induksi digunakan untuk memprediksi tegangan untuk menyuplai torsi out put, dengan sebuah rangkai tertutup maka dapat dibandingkan nilai torsi ketika motor diberi beban luar.

Konsep dasar dari DTC adalah untuk mengatur secara langsung baik antara hubungan aliran stator (atau hubungan aliran rotor, atau hubungan aliran magnetis) dan tenaga putaran elektromagnetis dari mesin secara bersamaan dengan memilih mode pembalik yang optimal. Penggunaan dari tabel perubahan untuk memilih tegangan garis vektor membuat respon tenaga putaran menjadi cepat, frekuensi pengganti menjadi rendah, dan kesesuaian yang rendah hilang tanpa orientasi medan yang kompleks dengan membatasi kesalahan pada aliran dan tenaga putaran dalam gelombang aliran dan tenaga putarannya masing-masing selama adanya optimum selection. Pengontrol DTC terdiri dari dua komparator

hysteresis (aliran dan tenaga putaran) untuk memilih garis vektor tegangan untuk mempertahankan aliran dan tenaga putaran antara batas atas dan batas bawah.



Gambar 3.1

Diagram Blok *Direct Torque Control* Pada Motor Induksi ^[1]

Pada prinsipnya metode *Direct Torque Control* mempunyai prinsip kerja untuk memilih satu dari enam vektor tegangan dan dua vektor nol dari *inverter*^[1]. Ini dilakukan untuk menjaga agar *flux* stator dan torsi motor tetap di dalam *Hysteresis band* untuk permintaan akan besaran flux stator dan torsi motor. Dengan Metode DTC adanya torsi error dapat diketahui sehingga DTC akan mengatur tegangan yang masuk kedalam motor sehingga dapat mengikuti torsi beban.

3.1 Model Mesin Induksi Dalam Metode *Direct Torque Control*

Mesin induksi tiga fasa yang dimodelkan dengan menggunakan persamaan tegangan dan *flux* dalam bingkai acuan *general*, yang diwakili dengan pangkat g (g) diperlihatkan pada persamaan di bawah ini.

Persamaan tegangan stator

$$V_s^g = i_s^g R_s + j\omega_g \lambda_s^g + p\lambda_s^g \dots\dots\dots(3.2)$$

Persamaan tegangan rotor

$$0 = i_r^g R_r + j(\omega_g - \omega_r)\lambda_r^g + p\lambda_r^g \dots\dots\dots(3.3)$$

Untuk flux stator

$$\lambda_s^g = L_s i_s^g + L_m i_r^g \dots\dots\dots(3.4)$$

Untuk flux rotor

$$\lambda_r^g = L_r i_r^g + L_m i_s^g \dots\dots\dots(3.5)$$

dan untuk persamaan torsi motor adalah

$$T_e - T_L = J_m p\omega_r + B_m \omega_r \dots\dots\dots(3.6)$$

$$T_e = \frac{3P}{4} (\lambda_{qs}^g i_{ds}^g) \dots\dots\dots(3.7)$$

Dengan merujuk pada bingkai perputaran stationary, yang diwakili dengan pangkat α ($^\alpha$), dimana sumbu d (*direct*) diaplikasikan pada kumparan stator pada fasa A diperlihatkan pada persamaan di bawah ini.

Persamaan tegangan stator

$$V_s^\alpha = i_s^\alpha R_s + p\lambda_s^\alpha \dots\dots\dots(3.8)$$

Persamaan tegangan rotor

$$0 = i_r^\alpha R_r - j\omega_r \lambda_r^\alpha + p\lambda_r^\alpha \dots\dots\dots(3.9)$$

Untuk flux stator

$$\lambda_s^\alpha = L_s i_s^\alpha + L_m i_r^\alpha \dots\dots\dots(3.10)$$

Untuk flux rotor

$$\lambda_r^\alpha = L_r i_r^\alpha + L_m i_s^\alpha \dots\dots\dots(3.11)$$

dan untuk persamaan torsi motor adalah

$$T_e - T_L = J_m p\omega_r + B_m \omega_r \dots\dots\dots(3.12)$$

$$T_e = \frac{3P}{4} (\lambda_{ds}^\alpha i_{qs}^\alpha - \lambda_{qs}^\alpha i_{ds}^\alpha) \dots\dots\dots(3.13)$$

dengan mensubstitusikan persamaan (3.10) dan (3.11) ke persamaan (3.13) didapatkan :

$$T_e = \frac{3P}{4} \frac{L_m}{\sigma L_s L_r} (\lambda_{ds}^\alpha i_{qr}^\alpha - \lambda_{qs}^\alpha i_{dr}^\alpha) \dots\dots\dots(3.14)$$

Dimana koefisien Leakage σ didefinisikan dengan :

$$\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_s \cdot L_r} \dots\dots\dots(3.15)$$

3.2 Perumusan Metode Direct Torque Control

Dengan menurunkan dari persamaan (3.8) maka flux stator akan mempunyai persamaan.

$$\hat{\lambda}_s^\alpha = \int \left(\hat{v}_s^\alpha - \hat{i}_s^\alpha R_s \right) dt \dots\dots\dots(3.16)$$

dimana \hat{V}_s^α dan \hat{i}_s^α mewakili dari tegangan stator dan arus stator yang diinginkan.

Torsi motor diperoleh dari persamaan (3.17) yang diturunkan dari persamaan (3.13).

$$\hat{T}_e = \frac{3P}{4} \left(\hat{\lambda}_{ds}^\alpha \hat{i}_{qs}^\alpha - \hat{\lambda}_{qs}^\alpha \hat{i}_{ds}^\alpha \right) \dots\dots\dots(3.17)$$

Untuk mencari hasil dari perubahan torsi motor (ΔT_e) dan perubahan pada flux stator ($\Delta \lambda_s$) didapatkan.

$$\Delta T_e \equiv T_e^* - \hat{T}_e \dots\dots\dots(3.18)$$

$$\Delta \lambda_s \equiv \lambda_s^* - \hat{\lambda}_s \dots\dots\dots(3.19)$$

dimana

$$\hat{\lambda}_s \equiv \sqrt{\left(\hat{\lambda}_{ds}^\alpha \right)^2 + \left(\hat{\lambda}_{qs}^\alpha \right)^2} \dots\dots\dots(3.20)$$

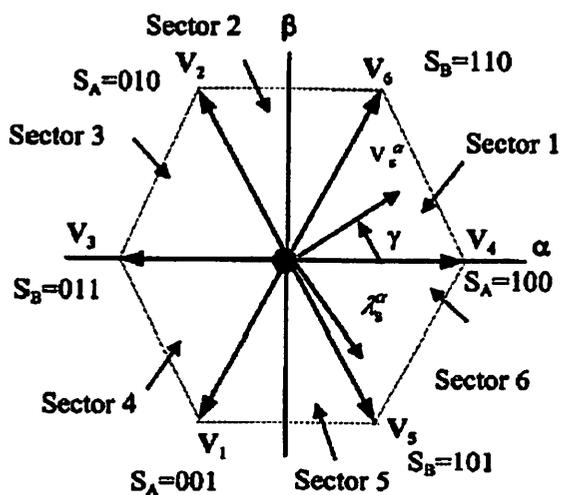
Tabel 3.1 memperlihatkan hubungan dari *switch-switch inverter* dalam tingkatan kontrol *inverter* di dalam metode *Direct Torque Control*. Status pen-switch-an dari *inverter* ditentukan oleh error dari torsi dan flux, dan posisi dari flux stator, yang diwakili dengan sudut theta ($\hat{\theta}_e$).

$$\hat{\theta}_e \equiv \tan^{-1} \left[\frac{\hat{\lambda}_{qs}^\alpha}{\hat{\lambda}_{ds}^\alpha} \right] \dots\dots\dots(3.21)$$

Tabel 3.1
Hubungan *Switching* dari metode Direct Torque Control

\hat{v}_s^α		Sector 1	Sector 2	Sector 3	Sector 4	Sector 5	Sector 6
$\hat{\theta}_e$		$[\frac{-\pi}{2}, \frac{-\pi}{6}]$	$[\frac{-\pi}{6}, \frac{\pi}{6}]$	$[\frac{\pi}{6}, \frac{\pi}{2}]$	$[\frac{\pi}{2}, \frac{5\pi}{6}]$	$[\frac{5\pi}{6}, \frac{7\pi}{6}]$	$[\frac{7\pi}{6}, \frac{3\pi}{2}]$
Decrease	Increase Torque	100	110	010	011	001	101
Flux	Decrease Torque	011	001	101	100	110	010
Increase	Increase Torque	110	010	011	001	101	100
Flux	Decrease Torque	001	101	100	110	010	011

Definisi dari *sectors* ditunjukkan oleh gambar 3.2, dimana hubungan posisi dari vektor tegangan stator dan *flux* stator ditunjukkan. Didalam gambar tersebut ditunjukkan bahwa vektor tegangan stator (V_s^α), tertinggal dari vektor *flux* stator (λ_s^α) sebesar 90° dan resistansi stator seperti pada persamaan (3.15) dianggap diabaikan.



Gambar 3.2
Hubungan Posisi dari Vektor tegangan stator dan *flux* stator

3.3 Hubungan Vektor Tegangan Stator Dengan Vektor Flux Stator

Besaran fasa stator dan hubungan vektor tegangan stator pada persamaan (3.16) diperoleh oleh persamaan dibawah ini.

$$\begin{aligned}\hat{v}_{an} &= \frac{V_{dc}}{3} (2S_a - S_b - S_c) \\ \hat{v}_{bn} &= \frac{V_{dc}}{3} (-S_a + 2S_b - S_c) \dots\dots\dots(3.22) \\ \hat{v}_{cn} &= \frac{V_{dc}}{3} (-S_a - S_b + 2S_c) \\ \hat{v}_{da}^\alpha &= \frac{V_{dc}}{3} (2S_a - S_b - S_c) \\ \hat{v}_{qa}^\alpha &= \frac{V_{dc}}{\sqrt{3}} (S_b - S_c) \dots\dots\dots(3.23)\end{aligned}$$

3.4 Inverter Tiga Fasa^[5]

3.4.1. Umum

Saat ini *inverter* membutuhkan desain yang mampu menyuplai torsi pada motor terutama pada kondisi *transient*. Karena pada saat kondisi *transient* sangat menentukan performansi dari *inverter*. Pada saat tersebut, motor membutuhkan perubahan arus yang cepat dan tegangan akan naik secara linear terhadap frekuensi, sedangkan torsi dipastikan cukup untuk melakukan *start* awal.

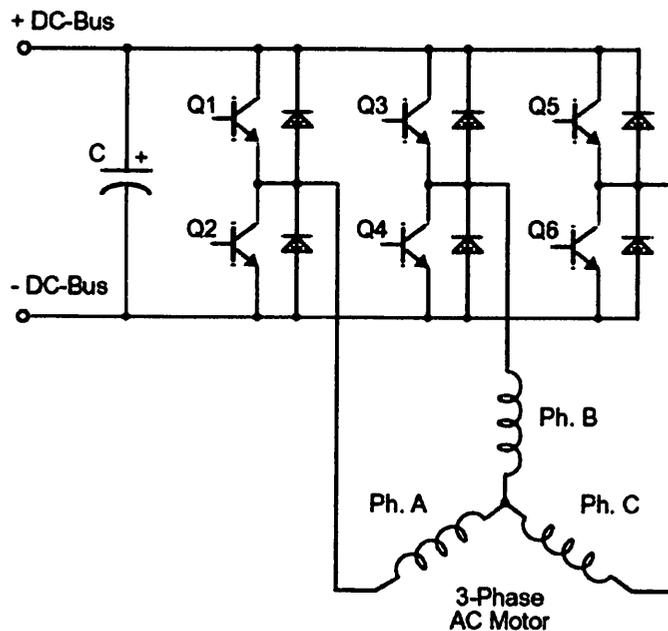
Secara umum pembalik (*inverter*) adalah rangkaian listrik yang digunakan untuk mengubah tegangan searah (DC) menjadi tegangan bolak balik (AC).

Ada dua jenis inverter yang umum digunakan pada sistem tenaga listrik yaitu :

- a. *Inverter* dengan frekuensi dan tegangan keluaran yang konstan CVCF (*Constant Voltage Constant Frequency*).
- b. *Inverter* dengan frekuensi dan tegangan keluaran yang berubah-ubah.

Perubahan tegangan keluaran dari *inverter* ditentukan oleh perubahan tegangan masukan DC dan yang terpenting disini adalah penguat *inverter* harus konstan. Disisi lain jika tegangan masukan DC tetap dan tidak bervariasi, perubahan tegangan keluaran dapat ditentukan oleh perubahan penguat pada *inverter*. Penguat *inverter* dapat didefinisikan sebagai perbandingan tegangan keluaran AC dengan tegangan masukan DC.

Bentuk gelombang keluaran yang ideal adalah murni gelombang *sinusoidal*, untuk penggunaan daya rendah dan menengah gelombang kotak bisa digunakan tetapi untuk penggunaan daya besar diharapkan gelombangnya adalah gelombang *sinusoidal* dengan distorsi rendah. Dengan penggunaan komponen elektronika daya yang mempunyai respon tinggi maka faktor harmonisa dapat ditekan seminimal mungkin.



Gambar 3.3

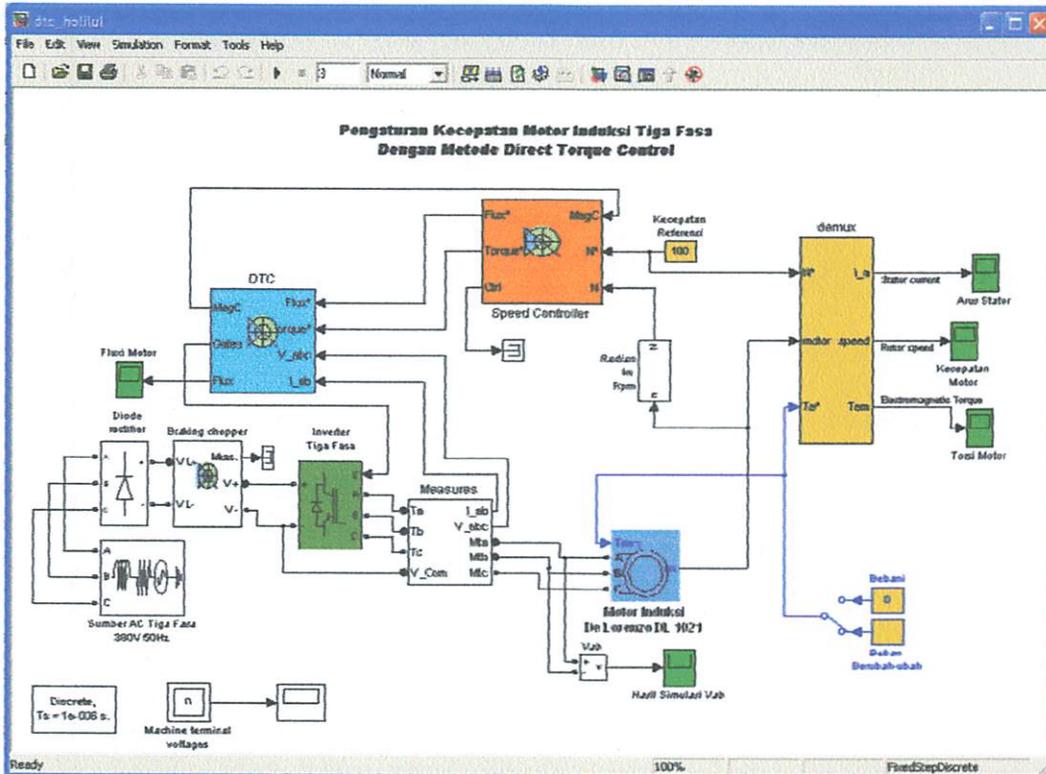
Rangkaian Inverter Tiga Fasa^[3]

3.4.2. Prinsip Kerja Inverter Tiga Fasa

Inverter tiga fasa pada umumnya digunakan pada aplikasi daya besar. Sinyal yang dibangkitkan oleh *inverter* harus mempunyai perbedaan sudut 120° antara fasa yang satu dengan fasa yang lainnya dan harus mempunyai tegangan yang seimbang. Sebuah *inverter* terdiri dari tiga unit *half bridge*, dimana *switch* bagian atas dan bawah dikontrol secara bergantian, yang berarti ketika *switch* bagian atas dihidupkan maka *switch* bagian bawah harus dimatikan, dan begitupun sebaliknya. Kebanyakan tegangan keluaran yang dihasilkan adalah hasil dari teknik modulasi PWM (*Pulse Width Modulation*), dimana gelombang pembawa yang berbentuk gelombang segitiga sama kaki dibandingkan dengan gelombang frekuensi dasar yang berbentuk gelombang sinus.

3.5 Pemodelan Metode *Direct Torque Control*

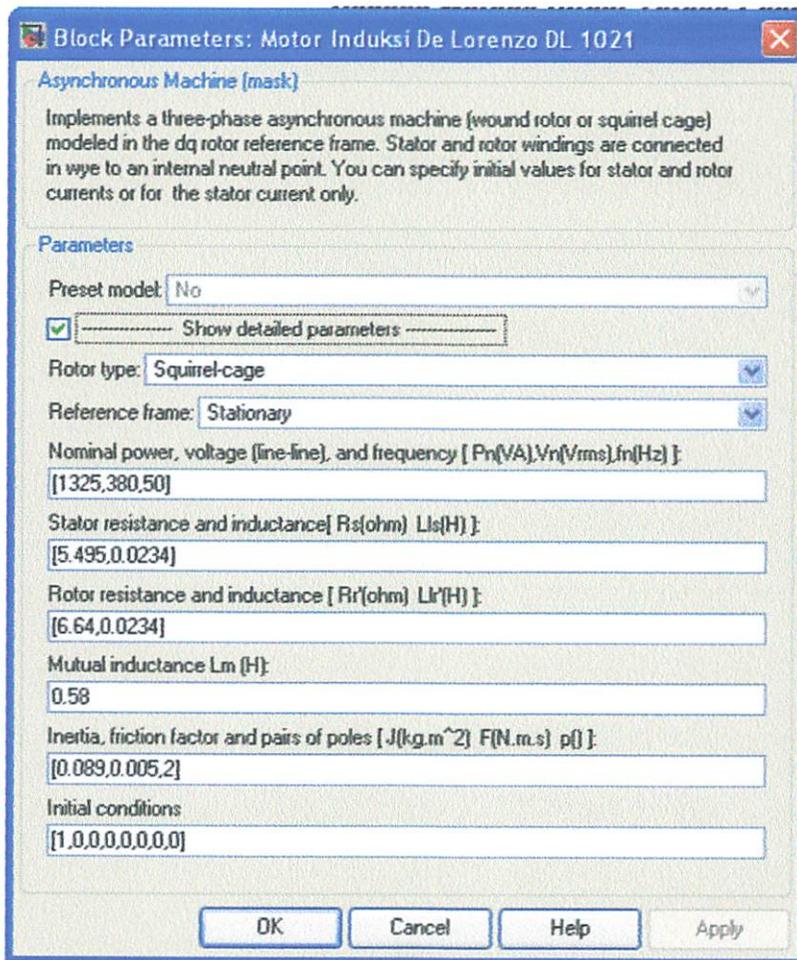
Dengan menggunakan bantuan MATLAB 7.0.4 maka dapat dibentuk blok pengontrolan untuk mengatur kecepatan motor induksi tiga fasa dengan metode DTC (*Direct Torque Control*) seperti yang tampak pada gambar 3.4



Gambar 3.4

Blok Model Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Dengan Metode *Direct Torque Control*

Dari gambar 3.4 terlihat blok simulasi pengaturan kecepatan motor induksi tiga fasa dengan metode *Direct Torque Control*. Dari blok tersebut kita dapat memasukkan data-data yang diperlukan seperti parameter-parameter motor induksi dan juga *setting point* dari beban maupun dari kecepatan.



Gambar 3.5
Blok Parameter Motor Induksi

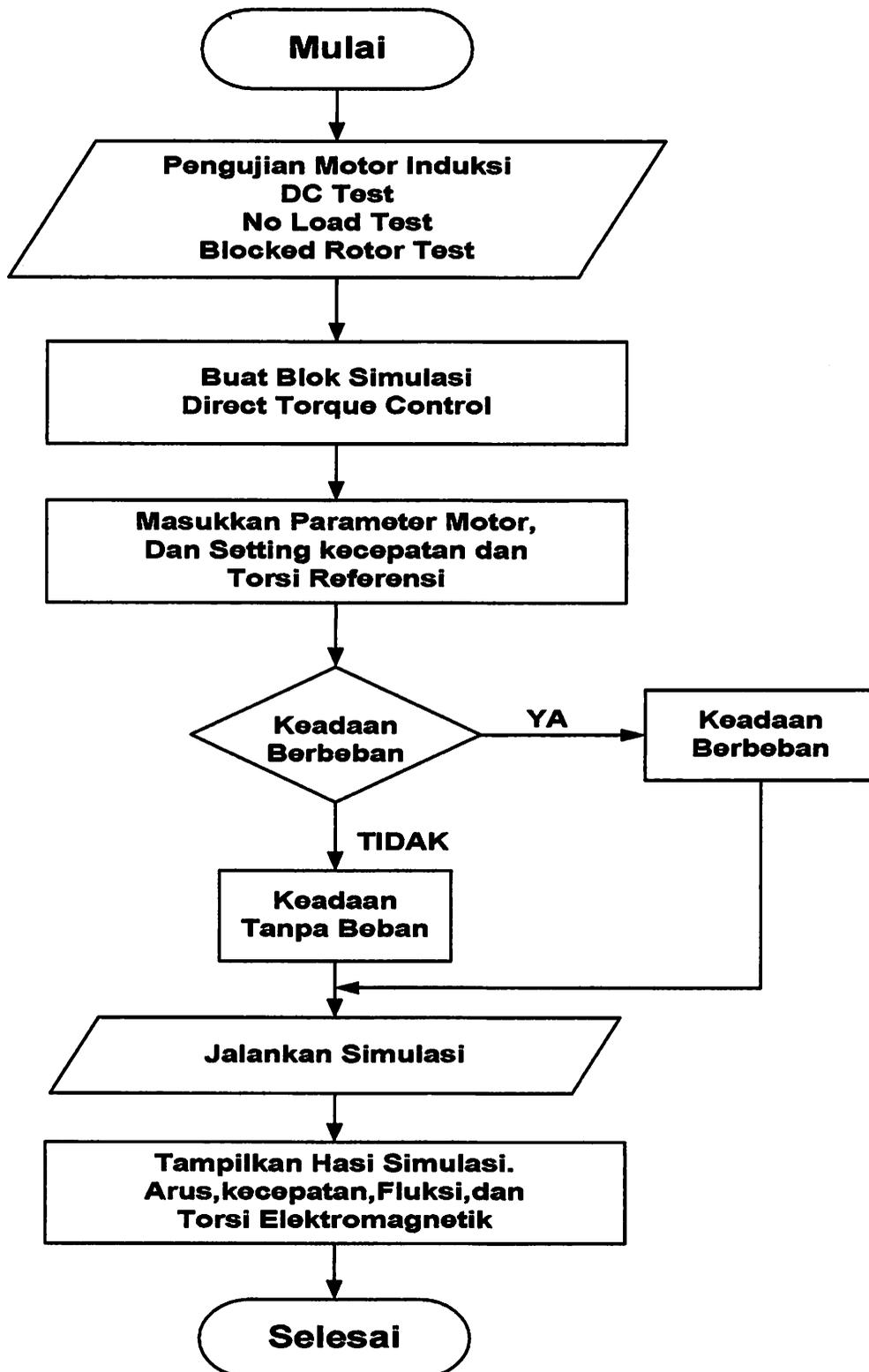
Dalam blok simulasi ini *setting point* beban dibuat dalam berbagai macam *setting* diantaranya adalah tanpa beban, berbeban konstan, dan beban berubah-ubah. Untuk kecepatan mempunyai *setting point* kecepatan konstan dan kecepatan yang berubah-ubah. *Setting point* ini diberikan karena mempunyai tujuan untuk mengetahui performansi dari motor induksi baik dalam keadaan *transient* maupun pada keadaan *steady state*.

3.6 Algoritma Penyelesaian Masalah

Algoritma penyelesaian masalah pengontrolan mesin induksi tiga fasa dengan metode *Direct Torque Control*.

1. Mulai
2. Pengujian parameter motor induksi
 - a. Pengujian DC test.
 - b. Pengujian beban nol (*No Load Test*).
 - c. Pengujian rotor tertahan (*Blocked Rotor Test*).
3. Buat blok simulasi *Direct Torque Control*.
4. Masukkan parameter motor induksi dan setting kecepatan dan torsi referensi.
5. Pilih keadaan berbeban atau keadaan tidak berbeban.
6. Jalankan simulasi.
7. Menampilkan hasil simulasi
8. Selesai.

3.7 Diagram Alir Pemecahan Masalah



BAB IV

PERHITUNGAN PARAMETER MOTOR DAN ANALISIS

HASIL SIMULASI

4.1 Pengujian Parameter Motor Induksi Tiga Fasa

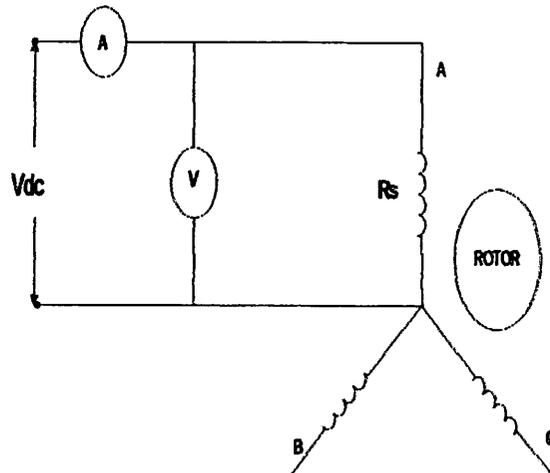
4.1.1. Alat-alat Yang Digunakan

Data papan nama motor induksi DL 1021 (*nameplate*):

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
KUTUB	:	2 KUTUB
KELAS ISOLASI	:	F

- a. Motor induksi 3 fasa DE LORENZO/DL 1021
- b. Voltmeter DE LORENZO 1031
- c. Amperemeter DE LORENZO DL 1031
- d. Wattmeter 3 fasa DE LORENZO DL 1031
- e. Tachometer DE LORENZO 2026
- f. AC Voltage Regulator dan DC Supply DE LORENZO 1013 M2
- g. Current Break DE LOENZO

4.1.2. Pengujian Arus Searah (*DC Test*)



Gambar 4.1

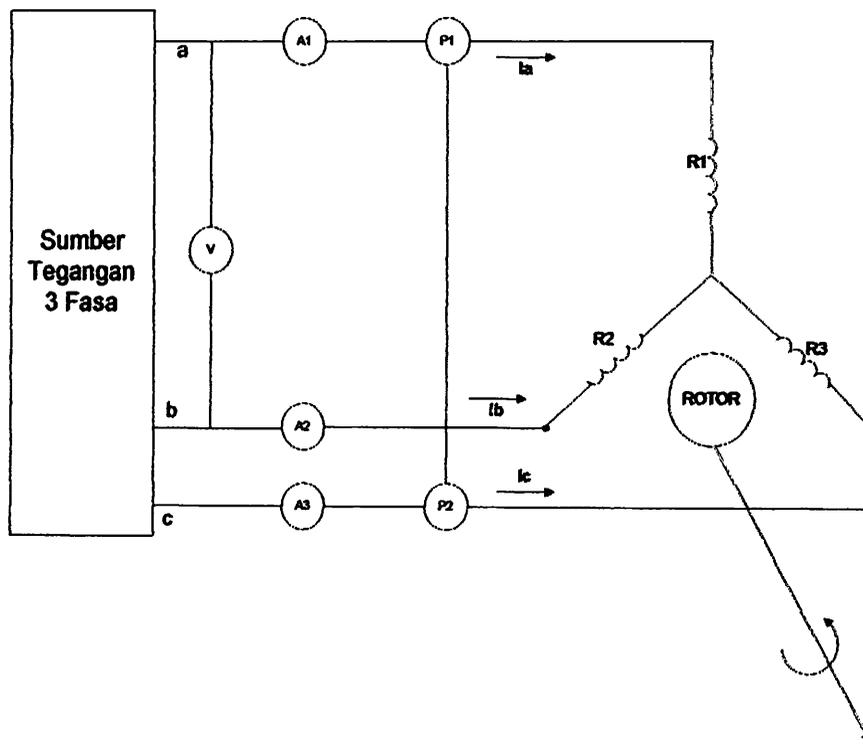
Rangkaian pengujian Arus searah (*DC Test*)

Tabel 4.1

Data Hasil Pengujian Arus Searah

NO.	V_{DC} (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*)



Gambar 4.2

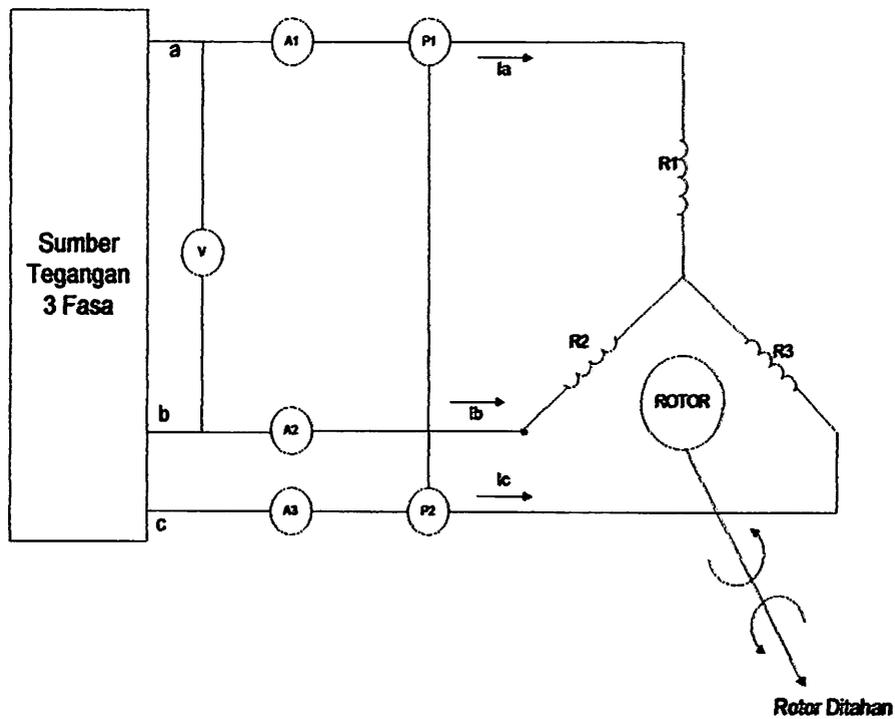
Rangkaian ekivalen pengujian Tanpa Beban (*No Load Test*)

Tabel 4.2

Data Hasil Pengujian Beban Nol

PENGUJIAN	I_{MOTOR} (Ampere)			$P_{3 \text{ FASA}}$ (Watt)	V_{L-L} (Volt)	Frekuensi (Hz)
	R	S	T			
1	0,59	0,68	0,59	90	220	50
2	0,60	0,63	0,55	70	220	50
3	0,59	0,63	0,57	60	220	50
4	0,59	0,62	0,55	60	220	50
5	0,59	0,62	0,56	60	220	50
Pengujian Rata-rata	0.59	0,63	0,56	68	220	50

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



Gambar 4.3

Rangkaian ekivalen pengujian Rotor Tertahan (*Blocked Rotor Test*).

Tabel. 4.3

Data Hasil Pengujian Motor Rotor Tertahan

PENGUJIAN	I_{MOTOR} (Ampere)			$P_{3 FASA}$ (Watt)	V_{L-L} (Volt)
	R	S	T		
1	2,01	2,03	1,95	140	65
2	2	2	1,95	140	62
3	2	1,99	1,94	140	62
4	2	1,98	1,93	140	62
5	2	1,98	1,93	140	62
Pengujian Rata-rata	2	1,99	1,94	140	62,5

4.2 Analisa Parameter Motor Induksi

- Dari Pengujian Arus Searah (*DC Test*).

Besarnya resistansi stator adalah :

Dengan menggunakan persamaan (2.29) maka resistansi stator diperoleh:

$$R_s = R_{DC} = \frac{V_{DC}}{I_{DC}} = \dots \Omega$$

Maka
$$R_{DC1} = \frac{V_{DC1}}{I_{DC1}} = \frac{4}{0.75} = 5.33\Omega$$

$$R_{DC2} = \frac{V_{DC2}}{I_{DC2}} = \frac{6}{1.12} = 5.36\Omega$$

$$R_{DC3} = \frac{V_{DC3}}{I_{DC3}} = \frac{8}{1.44} = 5.56\Omega$$

$$R_{DC4} = \frac{V_{DC4}}{I_{DC4}} = \frac{10}{1.78} = 5.62\Omega$$

$$R_{DC5} = \frac{V_{DC5}}{I_{DC5}} = \frac{12}{2.14} = 5.61\Omega$$

$$\begin{aligned} R_s &= \frac{R_{DC1} + R_{DC2} + R_{DC3} + R_{DC4} + R_{DC5}}{5} \\ &= \frac{5.33 + 5.36 + 5.56 + 5.62 + 5.61}{5} \\ &= \frac{27.48}{5} = 5.496\Omega \end{aligned}$$

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

Dengan menggunakan persamaan (2.30) arus tanpa beban adalah :

$$I_{TB} = \frac{I_{TB1} + I_{TB2} + I_{TB3}}{3}$$

$$I_{TB} = \frac{0.59 + 0.63 + 0.56}{3} = \frac{1.78}{3} = 0,59A$$

Dengan menggunakan persamaan (2.31) maka impedansi tanpa beban

$$\text{diperoleh : } Z_{TB} = \frac{V}{\sqrt{3}I_{TB}} = \frac{220}{\sqrt{3} \times 0,59} = 215,33\Omega$$

sedangkan dengan menggunakan persamaan (2.32) dan (2.33) berturut-turut untuk mencari resistansi tanpa beban dan reaktansi tanpa beban adalah :

$$R_{TB} = \frac{P_{3\phi}}{3I_{TB}^2} = \frac{68}{3 \times (0,59)^2} = 65,13\Omega$$

$$X_{TB} = \sqrt{Z_{TB}^2 - R_{TB}^2} = \sqrt{(215,53)^2 - (65,13)^2}$$

$$X_{TB} = 205,45\Omega$$

- Dari Pengujian Rotor Tertahan (*Blocked Rotor Test*)

Dengan menggunakan persamaan (2.34) arus rotor tertahan adalah :

$$I_{RT} = \frac{I_{RT1} + I_{RT2} + I_{RT3}}{3}$$

$$I_{RT} = \frac{2,01 + 1,99 + 1,94}{3} = \frac{5,93}{3} = 1,976A$$

Dengan menggunakan persamaan (2.35) maka impedansi rotor tertahan diperoleh :

$$Z_{RT} = \frac{V}{\sqrt{3}I_{RT}} = \frac{62,5}{\sqrt{3} \times 1,976} = 18,28\Omega$$

sedangkan dengan menggunakan persamaan (2.36) dan (2.37) berturut-turut untuk mencari resistansi tanpa beban dan reaktansi tanpa beban adalah :

$$R_{RT} = \frac{P_{3\phi}}{3I_{RT}^2} = \frac{140}{3 \times (1,976)^2} = 11,95\Omega$$

$$X_{RT} = \sqrt{Z_{RT}^2 - R_{RT}^2} = \sqrt{(18,28)^2 - (11,95)^2}$$

$$X_{RT} = 13,83\Omega$$

Karena motor induksi yang dipakai adalah motor induksi dengan rotor sangkar tunggal kelas A, maka secara umum $X_s = X'_r = \frac{1}{2} X_{RT} = \frac{1}{2} \cdot 13,83 = 6,915\Omega$

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

$$X_{TB} = X_s + X_m$$

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

$$= 205,45 - 6,915 = 198,535 \Omega$$

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

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

$$= 11,95 - 5,496 = 6,454 \Omega$$

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

$$= 6,915 + 198,535 = 205,45 \Omega$$

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

$$= 6,454 \left(\frac{205,45}{198,535} \right)^2 = 6,91 \Omega$$

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

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

Maka

$$L_s = \frac{X_s}{2\pi f} = \frac{6,915}{2 \times 3,14 \times 50} = 0,0220 H$$

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

Untuk besarnya nilai induktansi bersama (L_m)

$$L_m = \frac{X_m}{2\pi f} = \frac{198,535}{2 \times 3,14 \times 50} = 0,63 H$$

Tabel 4.4

Hasil Perhitungan Pengujian Parameter Motor Induksi Tiga fasa

$R_s (\Omega)$	$L_s (H)$	$R_r (\Omega)$	$L_r (H)$	$X_s (\Omega)$	$X_r (\Omega)$	$X_m (\Omega)$	$L_m (H)$
5,496	0,0220	6,91	0,0220	6,915	6,915	198,535	0,53

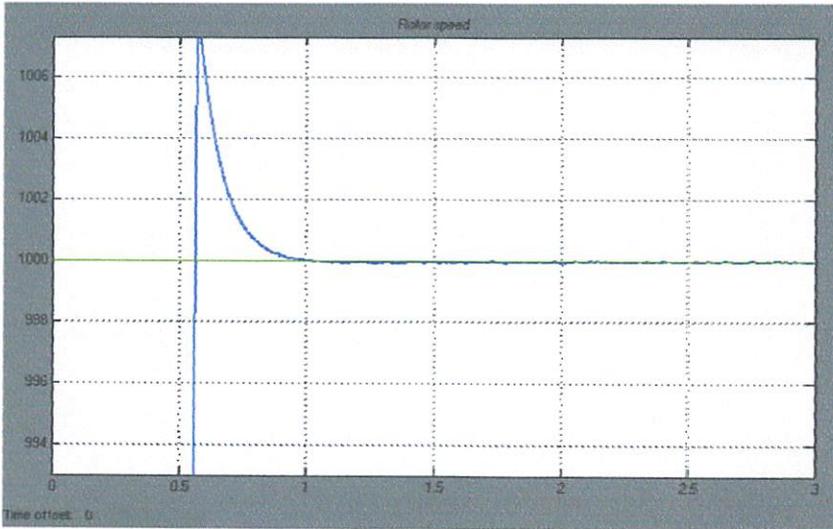
4.3 Hasil Simulasi

Simulasi pengaturan kecepatan motor induksi ini meliputi beberapa pengujian yang bertujuan untuk mengetahui performansi dari motor. Motor Induksi De Lorenzo DL1021 mempunyai torsi nominal sebesar 3.73 N.m.

Pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut ::

1. Pengujian motor induksi tiga fasa dengan kecepatan 1000 rpm tanpa beban.
2. Pengujian motor induksi tiga fasa dengan kecepatan 1000 rpm dengan beban berubah-ubah dengan setting pada $t = 0$ s beban sebesar 0 N.m, $t = 1.5$ s beban sebesar $25\% T_{nom}$, $t = 2$ s beban sebesar $50\% T_{nom}$, $t = 2.5$ s beban sebesar $75\% T_{nom}$
3. Pengujian motor induksi tiga fasa dengan kecepatan 1200 rpm tanpa beban.
4. Pengujian motor induksi tiga fasa dengan kecepatan 1000 rpm dengan beban berubah-ubah dengan setting pada $t = 0$ s beban sebesar 0 N.m, $t = 1.5$ s beban sebesar $25\% T_{nom}$, $t = 2$ s beban sebesar $50\% T_{nom}$, $t = 2.5$ s beban sebesar $75\% T_{nom}$

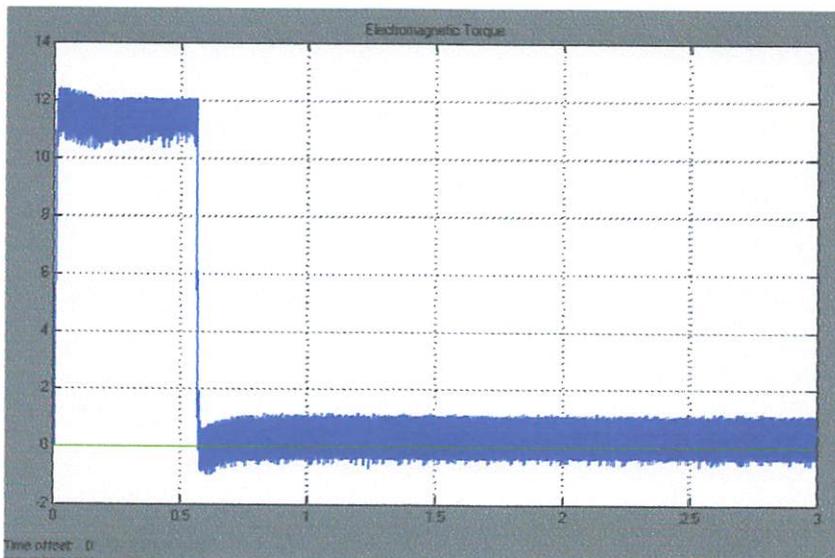
4.3.1 Analisa Simulasi Pada kecepatan 1000 rpm Tanpa Beban



Gambar 4.4

Hasil Simulasi Kecepatan Pada *Setting Point* 1000 rpm tanpa beban

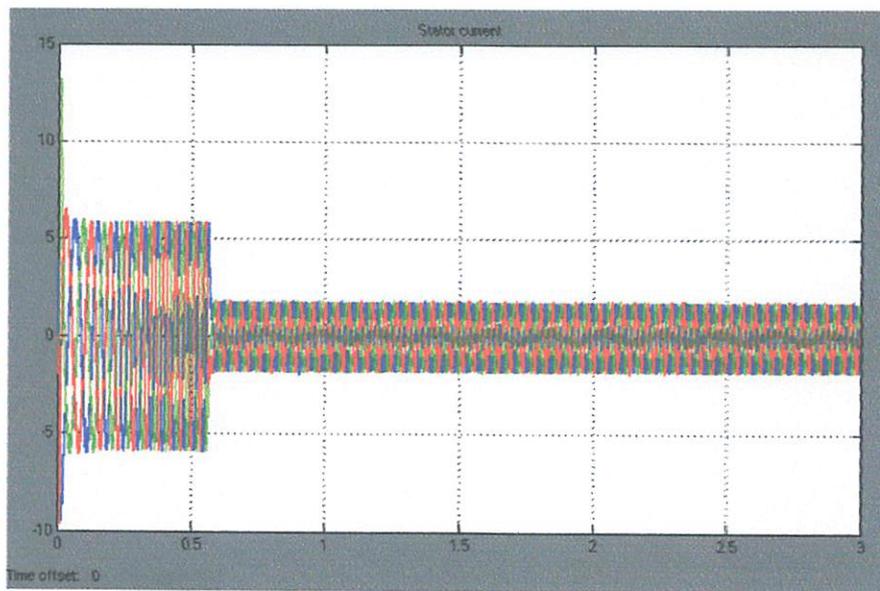
Pada kondisi tanpa beban, kecepatan motor dapat sesuai dengan kecepatan yang di inginkan, pada gambar 4.4 dalam kondisi tanpa beban ini motor mengalami kondisi transient pada $t = 0 - 1$ s dan mencapai kondisi stedy state pada $t = 1$ s



Gambar 4.5

Hasil Simulasi Torsi Motor Pada *Setting Point* 1000 rpm Tanpa Beban

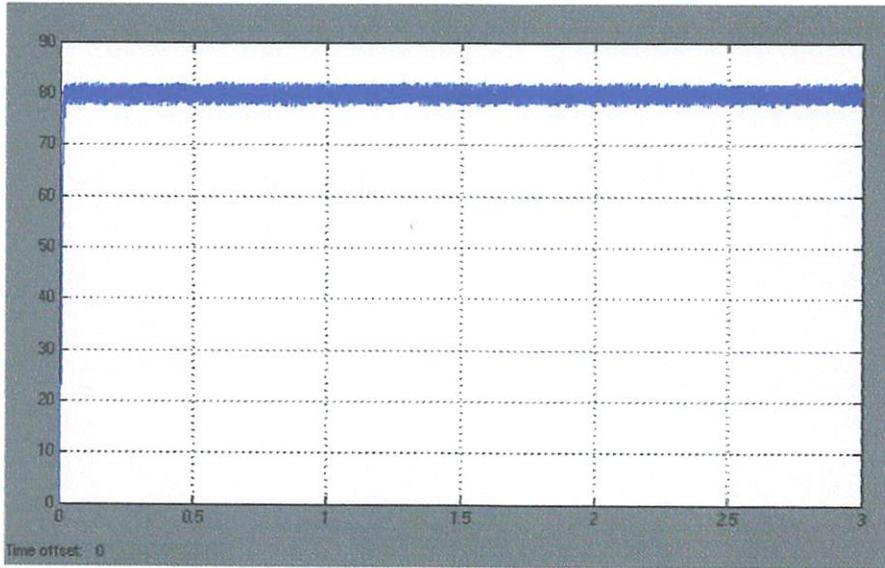
Pada kondisi tanpa beban, Torsi motor pada saat starting mencapai 5 N.m, setelah itu mencapai kondisi transient pada $t = 0.1 - 0.6$ s dengan besar torsi 4.8 N.m dan mencapai kondisi stedy state pada $t = 0.8$ s dengan besar torsi 0.1 Nm seperti tampak pada gambar 4.5



Gambar 4.6

Hasil Simulasi Arus Motor Pada *Setting Point* 1000 rpm Tanpa Beban

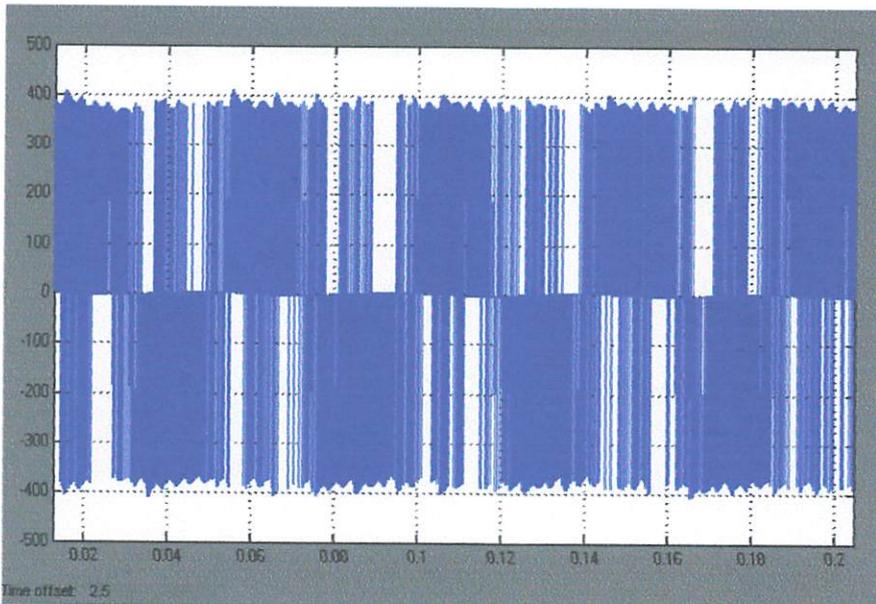
Pada hasil simulasi tanpa beban dengan kecepatan referensi 1000 Rpm, besar arus motor pada saat starting mencapai 14 Ampere setelah itu mencapai kondisi transient $t = 0.1$ s sampai $t = 0.54$ s dengan besar arus 3 Ampere, dan mencapai kondisi stedy state pada $t = 0.7$ s dengan besar arus 1.8 Ampere, Seperti yang tampak pada gambar 4.6



Gambar 4.7

Hasil Simulasi *Flux* Motor Pada *Setting Point* 1000 rpm Tanpa Beban

Besar Fluxi motor pada setting point 1000 Rpm tanpa beban adalah sebesar 80 Wb dapat dilihat pada gambar 4.7



Gambar 4.8

Hasil Simulasi *Tegangan* Motor Pada *Setting Point* 1000 rpm Tanpa Beban

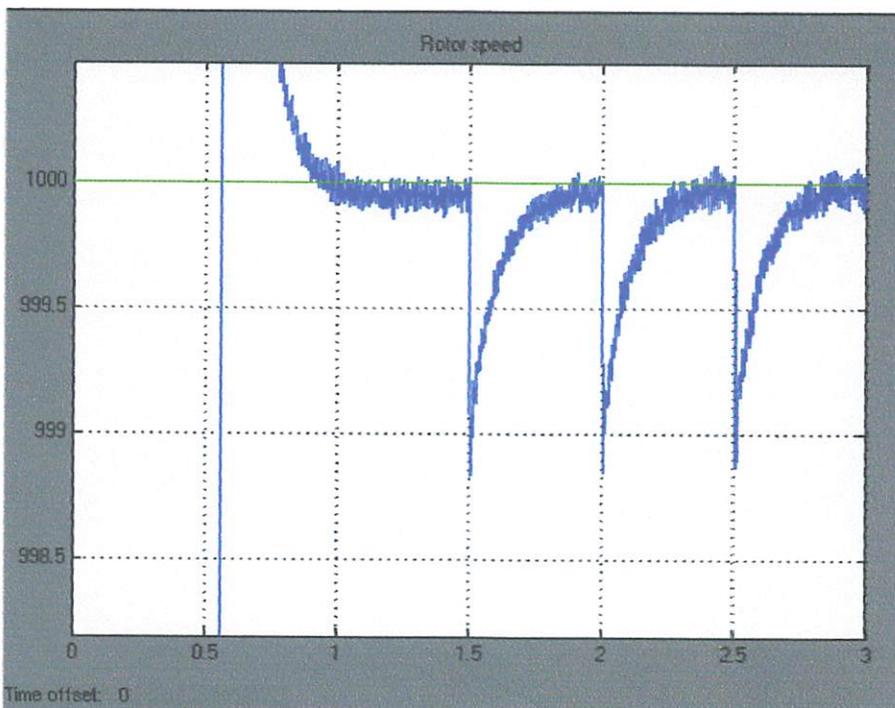
Besar tegangan motor pada setting point 1000 Rpm ,Pada gambar 4.8,besar tegangan motor sebesar 380 Volt

Tabel 4.5
Hasil Pengujian Motor Induksi Pada *Setting Point* 1000rpm Tanpa Beban

KECEPATAN (Rpm)	TORSI MOTOR <i>Steady state</i> (S)	FLUX (Wb)	ARUS (Ampere)	TEGANGAN (Volt)
1000	0.1	80	1.8	380

Tabel 4.5 menunjukkan hasil simulasi Pengujian motor induksi tiga fasa pada setting point 1000 rpm tanpa beban dimana pada table tersebut menunjukkan hasil pengujian motor pada saat kondisi stedy state

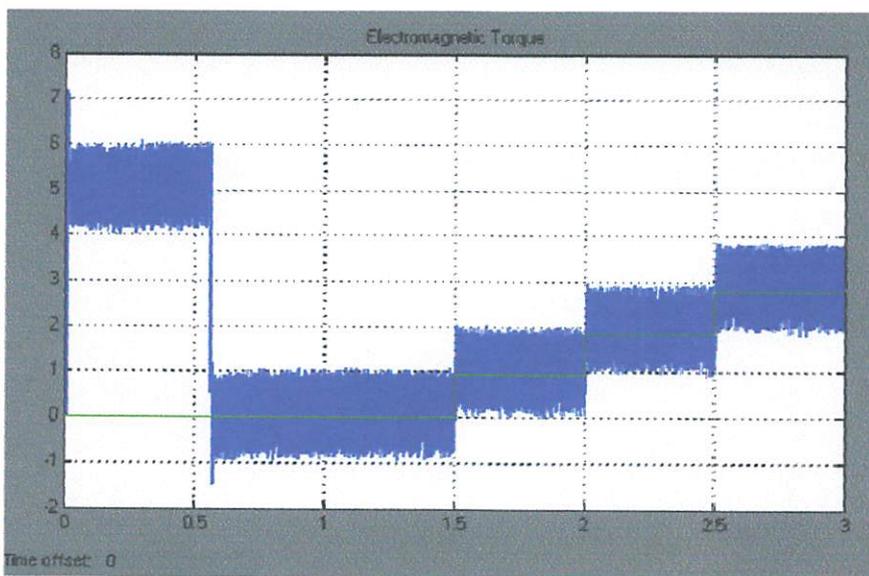
4.3.2 Analisa Simulasi Pada kecepatan 1000 rpm Dengan Beban Berubah – ubah



Gambar 4.9

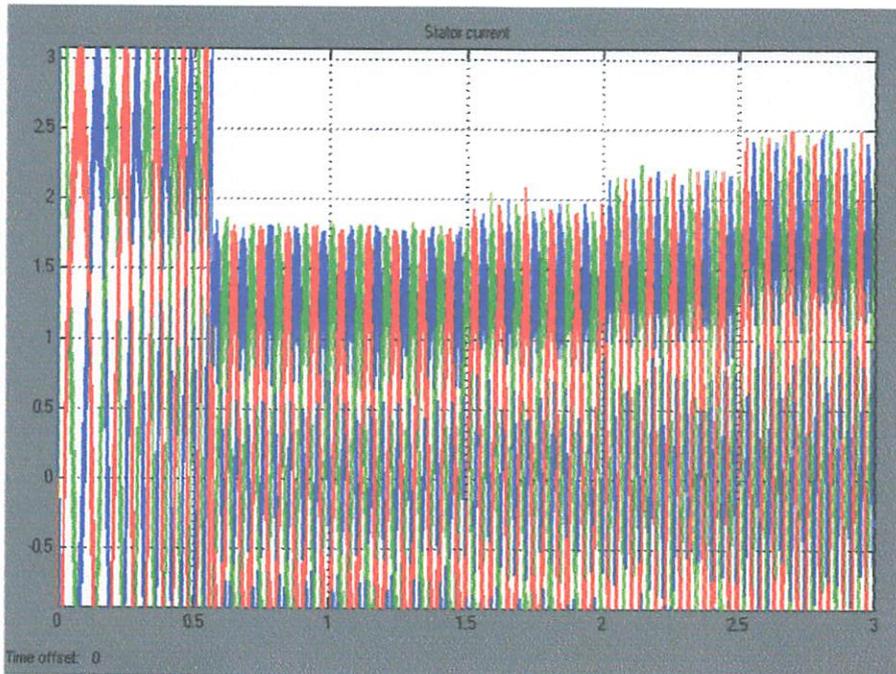
Hasil Simulasi Kecepatan Motor Pada *Setting Point* 1000 rpm Dengan Beban Berubah-ubah

Pada hasil pengujian simulasi beban berubah-ubah dengan setting point 1000 Rpm pada gambar 4.9, kecepatan motor dapat sesuai dengan kecepatan yang di inginkan pada saat belum berbeban, pada saat mencapai kondisi stedy state pada $t = 1.5s$ diberi beban sebesar 0.93 N.m atau sekitar 25 % dari T_{nom} , kecepatan motor mengalami penurunan dibawah setting point kecepatannya dengan kecepatan 998.8 Rpm. Waktu yang dibutuhkan dari kondisi mulai terbebani hingga mencapai *steady state* kembali (waktu pemulihan) sekitar 0.5s.



Gambar 4.10
Hasil Simulasi Torsi Motor Pada Setting Point 1000 rpm Dengan Beban Berubah-ubah

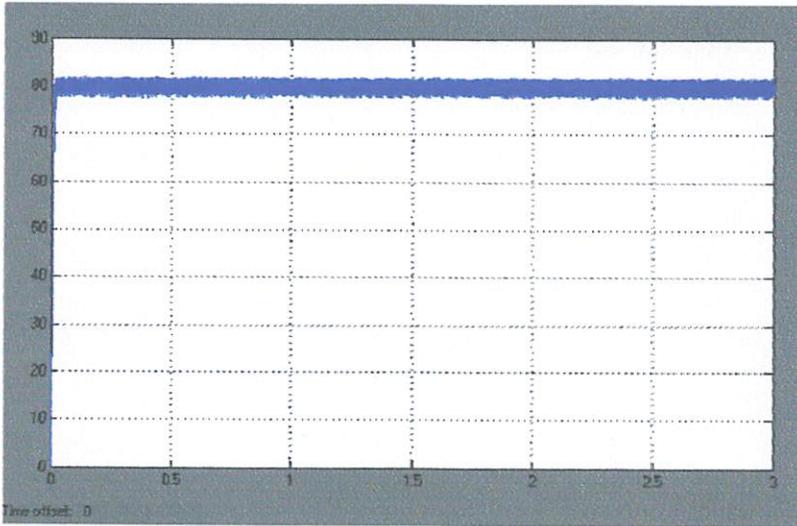
Pada kondisi tanpa beban, Torsi motor pada saat starting mencapai 7N.m, setelah itu mencapai kondisi transient pada $t = 0 - 0.6 s$ dengan besar torsi 5 N.m dan mencapai kondisi stedy state pada $t = 0.8s$ dengan besar torsi 0.1 Nm pada saat kondisi stedy state pada $t = 1.5s$ motor mendapat beban luar sebesar 0.93 N.m dapat dilihat pada gambar 4.10 dimana torsi motor dapat mengikuti besar torsi beban yang diberikan, begitu juga pada saat $t = 2s$, dan $t = 2.5s$ dimana pada saat tersebut motor mendapat beban luar sebesar 50 % dan 75% dari T_{nom} .



Gambar 4.11

Hasil Simulasi Arus Motor Pada *Setting Point* 1000 rpm Dengan Beban Berubah-ubah

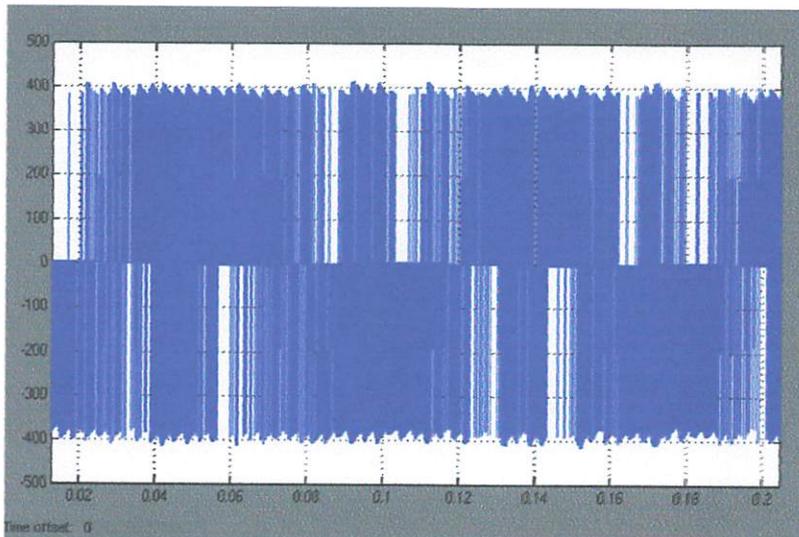
Pada hasil simulasi beban berubah-ubah dengan *setting point* 1000 Rpm, besar arus motor pada saat starting mencapai 14 Ampere setelah itu mencapai kondisi transient $t = 0.1s$ sampai $t = 0.54s$ dengan besar arus 3 Ampere, dan mencapai kondisi stedy state pada $t = 0.7s$ dengan besar arus 1.8 Ampere, Seperti yang tampak pada gambar 4.11. pada saat $t = 1.5s$ motor mendapat beban sebesar 0,93 N.m dan arus naik menjadi 1.9 Ampere pada $t = 2s$ beban yang diberikan sebesar 1.86 N.m dan arus kembali mengikuti kenaikan beban dengan besar arus 2.1 Ampere, pada $t = 2.5s$ beban yang diberikan kepada motor sebesar 2.79 N.m dengan besar arus 2.4 Ampere



Gambar 4.12

Hasil Simulasi *Flux* Motor Pada *Setting Point* 1000 rpm Dengan Beban Berubah-ubah

Besar Fluxi motor pada setting point 1000 Rpm tanpa beban adalah sebesar 80 Wb dapat dilihat pada gambar 4.12



Gambar 4.13

Hasil Simulasi Tegangan Motor Pada *Setting Point* 1000 rpm Dengan Beban Berubah-ubah

Besar tegangan motor pada setting point 1000 Rpm ,pada gambar 4.13, besar tegangan motor sebesar 380 Volt

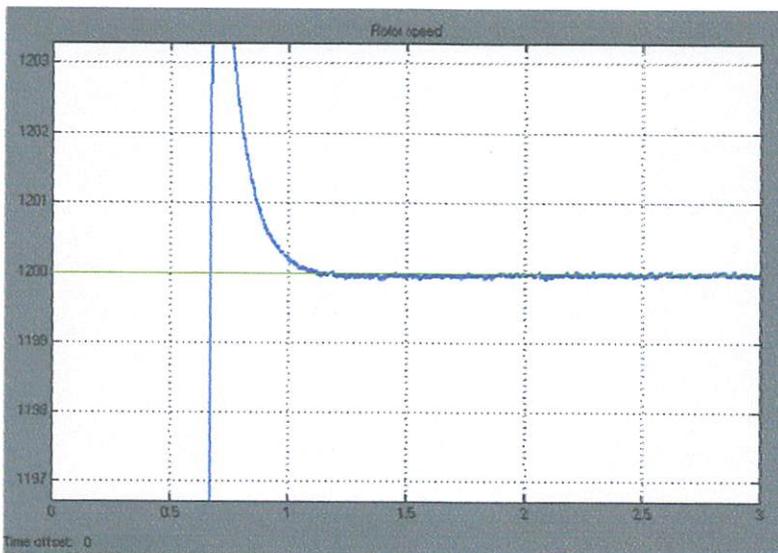
Tabel 4.6

Hasil Pengujian Motor Induksi Pada *Setting Point* 1000 rpm dengan beban berubah-ubah

Time (s)	Kecepatan Ref (Rpm)	Kecepatan motor (Rpm)	Beban (N.m)	Arus (Amp)	Flux (Wb)	V (Volt)
1 – 1.5	1000	1000	0	1.8	80	380
1.5 – 2	1000	998.8	0.93	1.9	80	
2 – 2.5	1000	999.8	1.86	2.1	80	
2.5 – 3	1000	998.8	2.79	2.4	80	

Tabel 4.6 menunjukkan hasil simulasi Pengujian motor induksi tiga fasa pada setting point 1000 rpm dengan beban berubah-ubah dimana pada table tersebut menunjukkan hasil pengujian motor pada saat motor di beri beban dimana pada saat ada beban kecepatan motor mengalami penurunan sementara.setelah itu motor mengalami kondisi transient

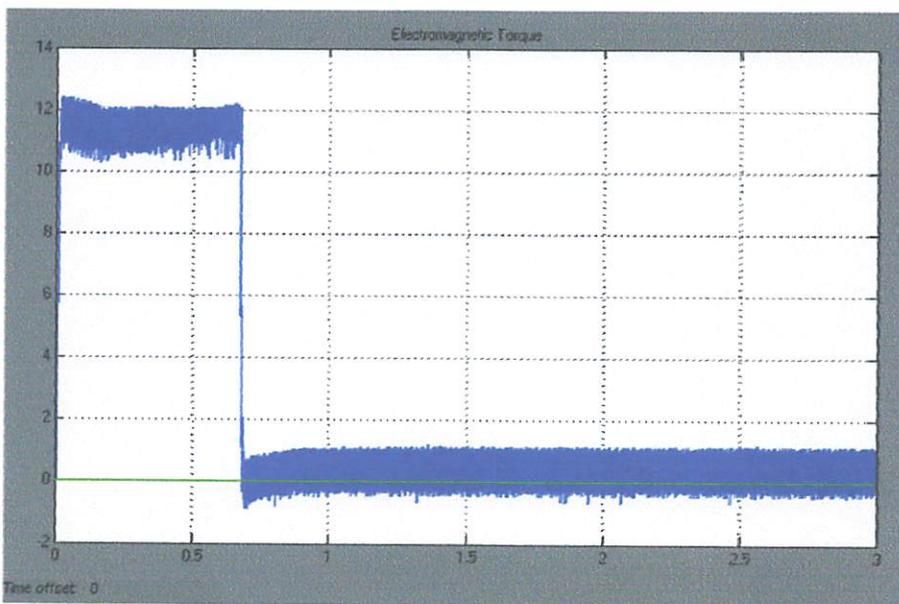
4.3.3 Analisa Simulasi Pada kecepatan 1200 rpm Tanpa Beban



Gambar 4.14

Hasil Simulasi Kecepatan Motor Pada *Setting Point* 1200 rpm Tanpa Beban

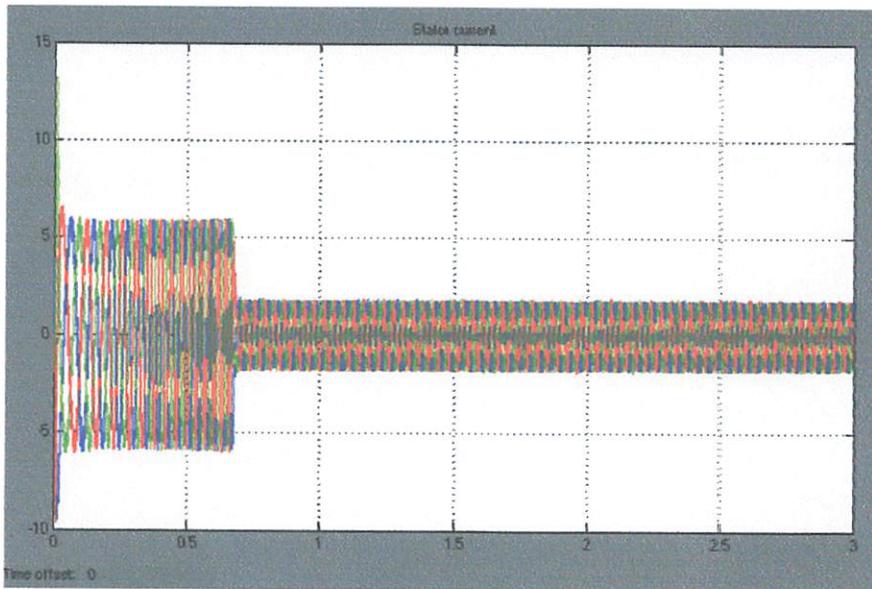
Pada hasil pengujian simulasi pada kondisi tanpa beban, dengan setting point 1200 Rpm dapat dilihat pada gambar 4.14 bahwa kecepatan motor dapat sesuai dengan kecepatan yang di inginkan, dalam kondisi tanpa beban ini motor mengalami kondisi transient pada $t = 0 - 1.04$ s dan mencapai kondisi stedy state pada $t = 1.04$ s



Gambar 4.15

Hasil Simulasi Torsi Motor Pada *Setting Point* 1200 rpm Tanpa Beban

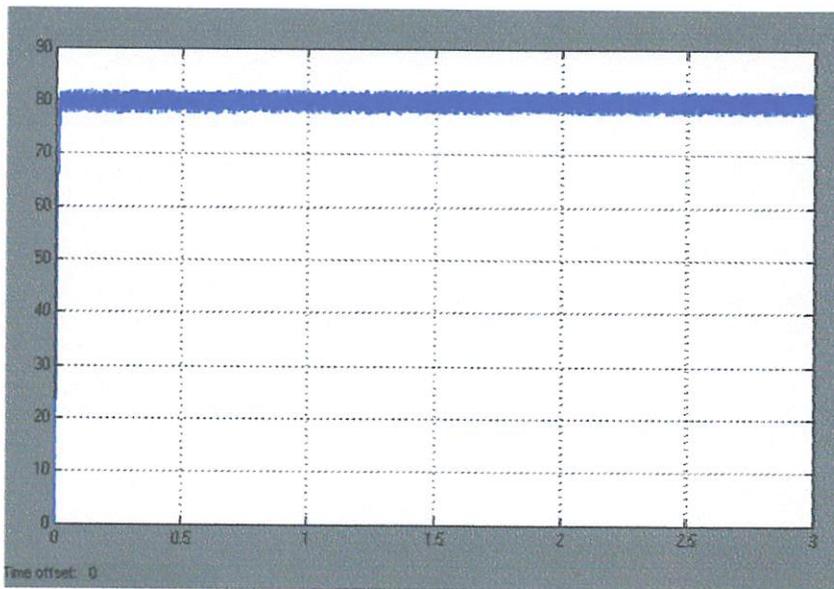
Pada hasil pengujian hasil simulasi pada kondisi tanpa beban, dengan setting point 1200 Rpm. Torsi motor pada saat starting mencapai 12 N.m, setelah itu mencapai kondisi transient pada $t = 0.1 - 0.7$ s dengan besar torsi 11 N.m dan mencapai kondisi stedy state pada $t = 0.8$ s dengan besar torsi 0.1 Nm seperti tampak pada gambar 4.15



Gambar 4.16

Hasil Simulasi Arus Motor Pada *Setting Point* 1200 rpm Tanpa Beban

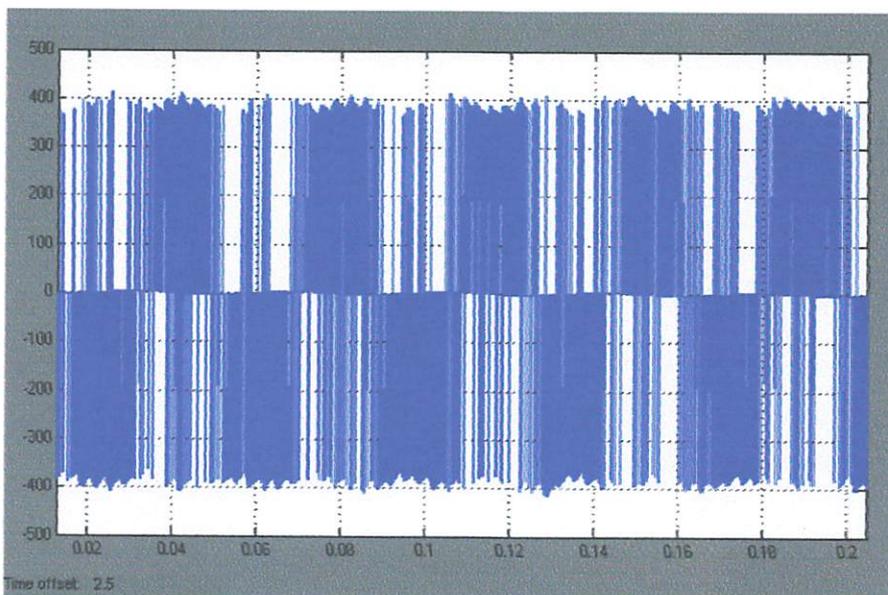
Pada hasil simulasi tanpa beban dengan Setting point 1200 Rpm, besar arus motor pada saat Starting mencapai 14 Ampere setelah itu mencapai kondisi transient $t = 0.1s$ sampai $t = 0.54s$ dengan besar arus 5.2 Ampere, dan mencapai kondisi stedy state pada $t = 0.7s$ dengan besar arus 1.8 Ampere, Seperti yang tampak pada gambar 4.16



Gambar 4.17

Hasil Simulasi *Flux* Motor Pada *Setting Point* 1200 rpm Tanpa Beban

Besar Fluxi motor pada setting point 1200 Rpm tanpa beban adalah sebesar 80 Wb dapat dilihat pada gambar 4.17



Gambar 4.18

Hasil Simulasi *Tegangan* Motor Pada *Setting Point* 1200 rpm Tanpa Beban

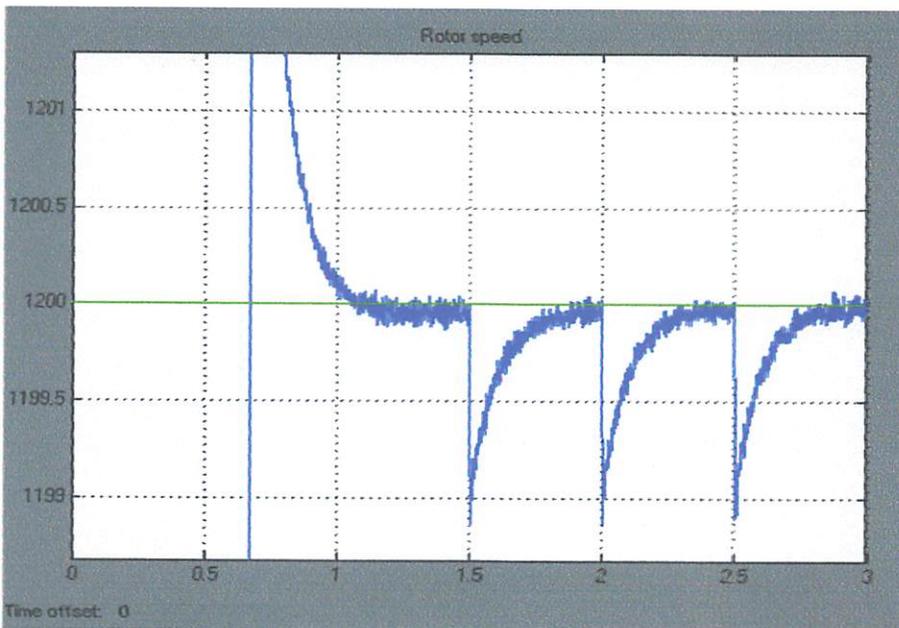
Besar tegangan motor pada setting point 1200 Rpm tanpa beban ,Pada gambar 4.18,besar tegangan motor sebesar 380 Volt

Tabel 4.7
Hasil Pengujian Motor Induksi Pada *Setting Point* 1200 rpm Tanpa Beban

KECEPATAN (Rpm)	TORSI MOTOR <i>Steady state</i> (S)	FLUX (Wb)	ARUS (Ampere)	TEGANGAN (Volt)
1200	0.8	80	1.8	380

Tabel 4.7 menunjukkan hasil simulasi Pengujian motor induksi tiga fasa pada setting point 1200 rpm tanpa beban dimana pada table tersebut menunjukkan hasil pengujian motor pada saat kondisi stedy state

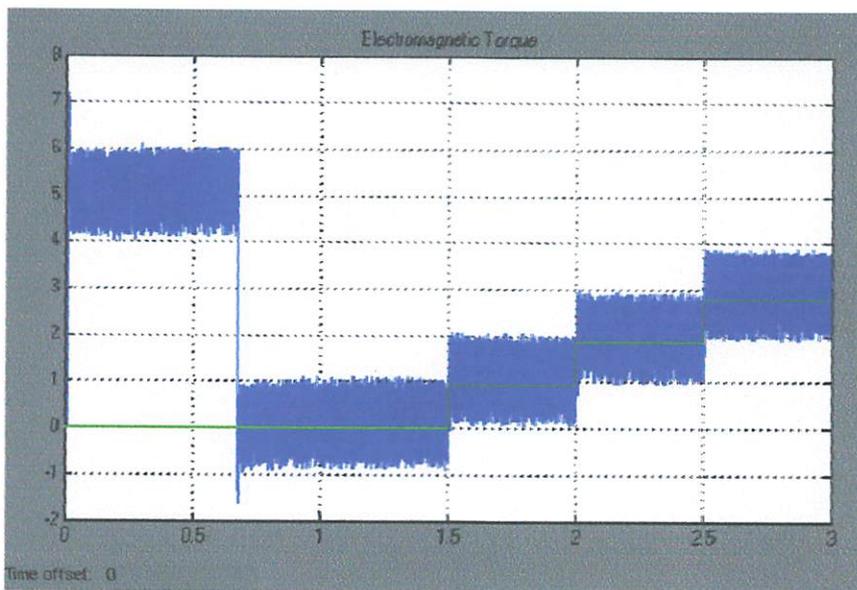
4.3.4 Analisa Simulasi Pada kecepatan 1200 rpm Dengan Beban Berubah – ubah



Gambar 4.19
Hasil Simulasi Kecepatan Motor Pada *Setting Point* 1200 rpm Dengan Beban Berubah-ubah

Pada hasil pengujian simulasi beban berubah-ubah dengan setting point 1200 Rpm pada gambar 4.19, kecepatan motor dapat sesuai dengan kecepatan yang di inginkan pada saat belum dibebani, pada saat mencapai kondisi stedy state

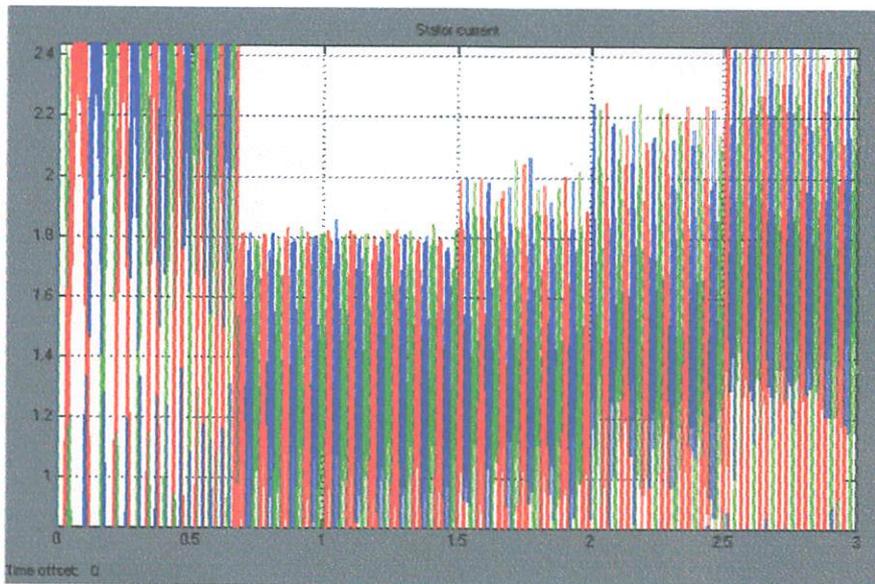
pada $t = 1.5$ s diberi beban sebesar 0.93 N.m atau sekitar 25 % dari T_{nom} , kecepatan motor mengalami penurunan dibawah setting point kecepatannya dengan kecepatan 1199 Rpm. Pada $t = 2$ s motor diberi beban sebesar 1.86 N.m atau sekitar 50% dari T_{nom} dan motor mengalami penurunan kecepatan 1198 Rpm. pada beban 2.79 N.m kecepatan motor 1198 Rpm, Waktu rata-rata yang dibutuhkan dari kondisi mulai terbebani hingga mencapai *steady state* kembali (waktu pemulihan) sekitar 0.4s.



Gambar 4.20

Hasil Simulasi Torsi Motor Pada *Setting Point* 1200 rpm Dengan Beban Berubah-ubah

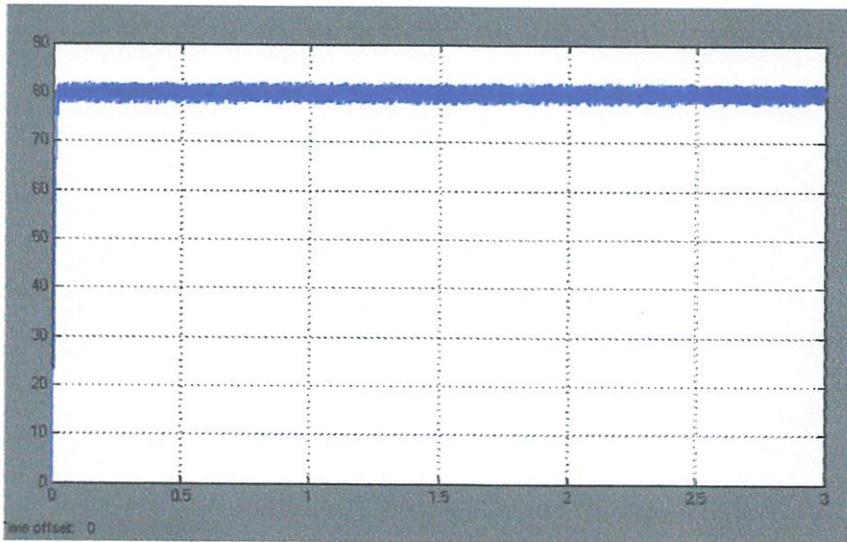
Pada kondisi tanpa beban, Torsi motor pada saat starting mencapai 7N.m, setelah itu mencapai kondisi transient pada $t = 0 - 0.6$ s dengan besar torsi 5 N.m dan mencapai kondisi stedy state pada $t = 0.8$ s dengan besar torsi 0.1 Nm pada saat kondisi stedy state pada $t = 1.5$ s motor mendapat beban luar sebesar 0.93 N.m dapat dilihat pada gambar 4.20 dimana torsi motor dapat mengikuti besar torsi beban yang diberikan, begitu juga pada saat $t = 2$ s, dan $t = 2.5$ s dimana pada saat tersebut motor mendapat beban luar sebesar 50 % dan 75% dari T_{nom} .



Gambar 4.21

Hasil Simulasi Arus Motor Pada *Setting Point* 1200 rpm Dengan Beban Berubah-ubah

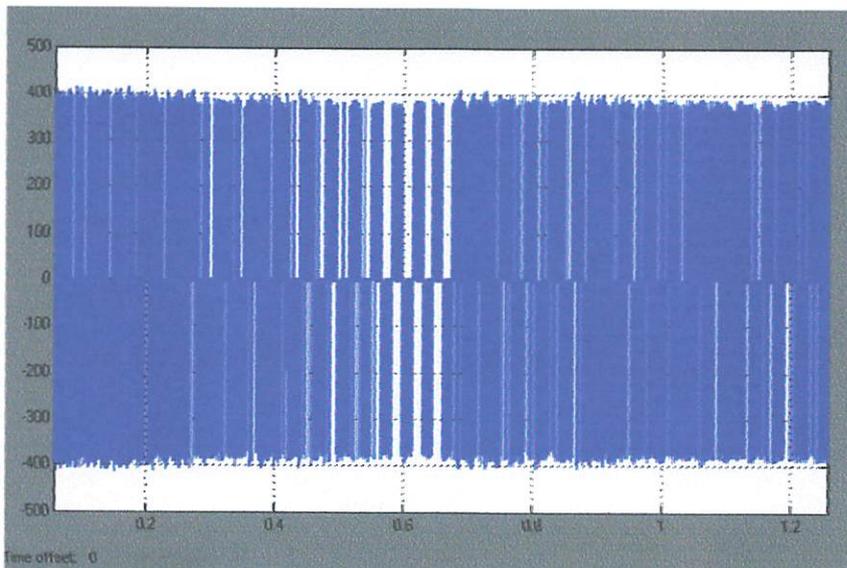
Pada hasil simulasi beban berubah-ubah dengan setting point 1200 Rpm, besar arus motor pada saat starting mencapai 14 Ampere setelah itu mencapai kondisi transient $t = 0.1s$ sampai $t = 0.6s$ dengan besar arus 3 Ampere, dan mencapai kondisi stedy state pada $t = 0.7s$ dengan besar arus 1.8 Ampere, Seperti yang tampak pada gambar 4.21. pada saat $t = 1.5s$ motor mendapat beban sebesar 0,93 N.m dan arus naik menjadi 1.9 Ampere pada $t = 2s$ beban yang diberikan sebesar 1.86 N.m dan arus kembali mengikuti kenaikan beban dengan besar arus 2.1 Ampere, pada $t = 2.5s$ beban yang diberikan kepada motor sebesar 2.79 N.m dengan besar arus 2.4 Ampere



Gambar 4.22

Hasil Simulasi *Flux* Motor Pada *Setting Point* 1200 rpm Dengan Beban Berubah-ubah

Besar Fluxi motor pada setting point 1200 Rpm dengan beban berubah-ubah adalah sebesar 80 Wb dapat dilihat pada gambar 4.22



Gambar 4.23

Hasil Simulasi *Tegangan* Motor Pada *Setting Point* 1200 rpm Dengan Beban Berubah-ubah

Besar tegangan motor pada setting point 1200 Rpm dengan beban berubah-ubah ,Pada gambar 4.23,besar tegangan motor sebesar 380 Volt

Tabel 4.8
Hasil Pengujian Motor Induksi Pada *Setting Point* 1200 rpm Berbeban

Time (s)	Kecepatan Ref (Rpm)	Kecepatan motor (Rpm)	Beban (N.m)	Arus (Amp)	Flux (Wb)	V (Volt)
1 – 1.5	1200	1200	0	1.8	80	380
1.5 – 2	1200	1199	0.93	1.9	80	
2 – 2.5	1200	1198	1.86	2.1	80	
2.5 – 3	1200	1198	2.79	2.4	80	

Tabel 4.8 menunjukkan hasil simulasi Pengujian motor induksi tiga fasa pada setting point 1200 rpm dengan beban berubah-ubah dimana pada table tersebut menunjukkan hasil pengujian motor pada saat motor di beri beban dimana pada saat ada beban kecepatan motor mengalami penurunan sementara.setelah itu motor mengalami kondisi transient dan mencapai stedy steate

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian Simulasi pada sistem pengaturan kecepatan motor induksi tiga fasa DE LORENZO/DL 1021 menggunakan pengontrol *Direct Torque Control*, dapat disimpulkan:

1. Semakin besar kecepatan referensi pada motor induksi tiga fasa DE LORENZO/DL 1021 maka waktu *transient* akan cenderung semakin lama.
2. Semakin besar beban yang diberikan pada motor induksi tiga fasa DE LORENZO/DL 1021 maka waktu *transient* cenderung semakin lama.
3. Dengan semakin bertambahnya Torsi beban pada motor induksi tiga fasa DE LORENZO/DL 1021 maka Arus juga semakin besar
4. Dengan menggunakan metode *Direct Torque Control* maka kecepatan motor induksi tiga fasa DE LORENZO/DL 1021 dapat mengikuti kecepatan referensi yang diberikan meskipun pada motor diberikan beban yang berubah-ubah.dengan waktu pemulihan 0,4s

5.2 Saran

1. Untuk mendapatkan keluaran yang lebih bagus dan dapat disesuaikan dengan yang diinginkan dapat menggunakan kontrol PID ataupun dengan fuzzy.
2. Pengetahuan tentang motor induksi merupakan suatu keharusan baik itu berupa teori – teori pendukung dan hal yang lainnya.
3. Implementasi di lapangan dari metode bisa menggunakan DSP (*Digital Signal Processor*). Pengetahuan tentang DSP merupakan hal yang mutlak diperlukan agar metode yang digunakan dapat menciptakan suatu pengendalian yang sesuai dengan yang diinginkan.
4. Perbandingan hasil dari metode *Direct Torque Control* dengan metode yang lain diperlukan demi terciptanya perkembangan kearah yang lebih baik dan terciptanya teknik-teknik baru dalam sistem kontrol pengaturan kecepatan motor induksi.

Daftar Pustaka

1. Zuhail, "Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya", PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1993, Bab 7, 101-129.
2. H.F. Abdul Wahab and H. Sanusi "Simulink Model of Direct Torque Control of Induction Machine" Faculty of Engineering, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor DE, Malaysia.
3. Jaroslav Lepka, Petr Stekl, "3-Phase AC Induction Motor Vector Control Using a 56F80x, 56F8100 or 56F8300 Device", Freescale Semiconductor, Application Note, AN1930, Rev. 2, 2/2005.
4. Burak Ozpineci, Leon M. Tolbert, "Simulink implementation of induction Machine Model- A Modular Approach", IEEE Transaction on Power Electronics, 2003, 728-734.
5. Lauhil Mahfudz Hayusman, "Analisis Pengaturan kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Dengan Flux Vector Control Inverter Menggunakan Software Matlab Simulink Di Laboratorium Konversi Energi Elektrik", Skripsi, Teknik Elektro S-1 ITN Malang, April 2008.
6. R. Rinkevičienė, V. Batkauskas, "Modeling and Investigation of Vector Controlled Induction Drive". Department of Automation, Vilnius Gediminas Technical University, Electronics And Electrical Engineering, ISSN 1392 – 1215 2008. No. 1(81).

Lampiran



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

BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

1. Nama : HOLILUL RAHMAN
2. NIM : 01.12.134
3. Jurusan : Teknik Elektro S-1
4. Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
5. Judul Skripsi : PENGATURAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI TIGA FASA DENGAN METODE *DIRECT TORQUE CONTROL* DI LABORATORIUM KONVERSI ENERGI ELEKTRIK ITN MALANG

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

Hari : Rabu
Tanggal : 24 September 2008
Dengan Nilai : 80,25 (A) *fy*

Panitia Ujian Skripsi

Ketua Majelis Penguji

Sekretaris Majelis Penguji

Ir. Mochtar Asroni, MSME
NIP. Y. 1018100036

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

Anggota Penguji

Penguji Pertama

Ir. H. Choirul Saleh, MT
NIP.Y. 1018800190

Penguji Kedua

Irrine Budi S. ST, MT
NIP. 132314400



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

Konsentrasi : Teknik Energi Listrik / ~~Teknik Elektronika~~ *)

1.	Nama Mahasiswa : HOLILUL RAHMAN	Nim : 01.12.134
2.	Waktu Pengajuan : Tanggal : 12 Bulan : Juni Tahun : 2008	
3.	Spesifikasi Judul **)	
	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 <u>Ir. M. Abd. Hamid, MT</u>	Mengetahui Ketua Jurusan, <u>Ir. F. Yudi Zimpraptono, MT</u> NIP.Y. 1039500274
5.	Judul yang diajukan mahasiswa	PENGATURAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI TIGA FASA DENGAN METODE DIRECT TORQUE CONTROL DI LABORATORIUM KONVERSI ENERGI ELEKTRIK ITN MALANG
6.	Perubahan Judul yang Diusulkan oleh Dosen sesuai materi bidang ilmu	
7.	Cacatan:	
8.	Persetujuan Judul skripsi yang dikonsultasikan kepada Dosen materi bidang ilmu	Disetujui, 12 - 06 - 2008 Dosen. <u>Ir. M. Abd. HAMID, MT</u> NIP.Y. 10188.00188.

Perhatian :

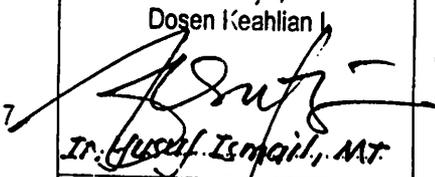
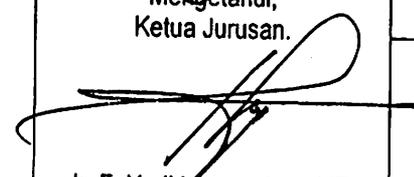
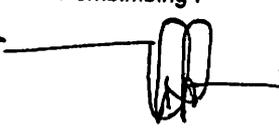
1. Formulir Pengajuan ini harap dikembalikan ke Jurusan paling lambat **satu minggu** setelah disetujui Kelompok Dosen Keahlian dengan dilampirkan Proposal Skripsi beserta persyaratan Skripsi sesuai Form. S-1.
2. Keterangan: *) Coret yang tidak perlu

***) dilingkari a, b, c, atau g, sesuai bidang keahlian



BERITA ACARA SEMINAR PROPOSAL SKRIPSI JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1

Konsentrasi : Teknik Energi Listrik/Teknik Elektronika*)

1.	Nama Mahasiswa: HOLILUL RAHMAN.	Nim: 0112134		
2.	Keterangan	Tanggal	Waktu	Tempat
	Pelaksanaan	25 JULI 2008		Ruang:
3.	Spesifikasi Judul (berilah tanda silang)**)			
	a. Sistem Tenaga Elektrik	e. Elektronika & Komponen		
	<input checked="" type="checkbox"/> b. Energi & Konversi Energi	f. Elektronika Digital & Komputer		
	c. Tegangan Tinggi & Pengukuran	g. Elektronika Komunikasi		
	d. Sistem Kendali Industri	h. lainnya		
4.	Judul Proposal yang diseminarkan Mahasiswa	PENGATURAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI TIGA FASA DENGAN METODE DIRECT TORQUE CONTROL DI LABORATORIUM KONVERSI ENERGI ELEKTRIK ITH MALANG.		
5.	Perubahan Judul yang diusulkan oleh Kelompok Dosen Keahlian	<p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>		
6.	Catatan:			
			
Persetujuan Judul Skripsi				
Disetujui, Dosen Keahlian I		Disetujui, Dosen Keahlian II		
 Ir. Yusuf Ismail, MT		 <p>.....</p>		
Mengetahui, Ketua Jurusan.		Disetujui, Calon Dosen Pembimbing ybs		
 Ir. F. Yudi Limpraptono, MT NIP. P. 1039500274		Pembimbing I	Pembimbing II	
		 <p>.....</p>	<p>.....</p>	

Perhatian:

1. Keterangan: *) Coret yang tidak perlu

**) cilingkari a, b, c, atau g sesuai bidang keahlian



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

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

NI (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, 06 Agt, 2008

Nomor : ITN-189/I.TA/2/08
ampiran : -
Perihal : BIMBINGAN SKRIPSI

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

Dosen Pembimbing
Jurusan Teknik Elektro S-1
di
Malang

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

Nama : HOLLILUL RAHMAN
Nim : 0112134
Fakultas : Teknologi Industri
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik

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

26 Juli 2008 s/d 26 Januari 2009

Sebagai satu syarat untuk menempuh ujian Sarjana Teknik,
Jurusan Teknik Elektro S-1
Demikian agar maklum dan atas perhatian serta bantuannya kami sampaikan
terima kasih



Ketua Jurusan
Teknik Elektro S-1

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

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



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

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

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
KAMPUS I 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, 06 Agt, 2008

Nomor : ITN-188/I.TA/2/08
Lampiran : -
Perihal : BIMBINGAN SKRIPSI

Kepada : Yth. Sdr. **IR. TEGUH HERBASUKI, MT**
Dosen Institut Teknologi Nasional Malang

Dosen Pembimbing
Jurusan Teknik Elektro S-1
di
Malang

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

Nama : HOLLUL RAHMAN
Nim : 0112134
Fakultas : Teknologi Industri
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik

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

26 Juli 2008 s/d 26 Januari 2009

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

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



Ketua Jurusan
Teknik Elektro S-1

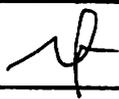
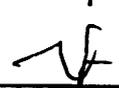
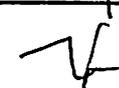
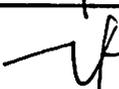
Ir. F. Yudi Limpraptono, MT
Nip. Y. 1039500274

Tembusan Kepada Yth :

1. Mahasiswa Yang bersangkutan
2. Arsip

FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : HOLILUL RAHMAN
 Nim : 01.12.134
 Masa Bimbingan : 25 Juli 2008 s/d 25 Januari 2009
 Judul Skripsi : **PENGATURAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI TIGA FASA
 DENGAN METODE *DIRECT TORQUE CONTROL* DI
 LABORATORIUM KONVERSI ENERGI ELEKTRIK
 ITN MALANG**

No.	Tanggal	Uraian	Parap Pembimbing
1.	22/08-08	Konsultasi bab I, II, III, IV, V	
2.	26/08-08	Revisi bab V	
3.	29/08-08	ACC bab V	
4.	09/09-08	Konsultasi makalah seminar hasil.	
5.	06/09-08	Acc. makalah. Seminar hasil.	
6.	18/09-08	Acc. ujian	
7.			
8.			
9.			
10.			

Malang, 200
 Dosen Pembimbing,



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

FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : HOLLILUL RAHMAN
 Nim : 01.12.134
 Masa Bimbingan : 25 Juli 2008 s/d 25 Januari 2009
 Judul Skripsi : **PENGATURAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI TIGA FASA DENGAN METODE *DIRECT TORQUE CONTROL* DI LABORATORIUM KONVERSI ENERGI ELEKTRIK ITN MALANG**

No.	Tanggal	Uraian	Parap Pembimbing
1.	24/08-08	Konsultasi bab I, II, III, IV	
2.	28/08-08	Revisi penugulan	
3.	03/09-08	Konsultasi penugulan - ok.	
4.	06/09-08	Konsultasi makalah seminar	
5.	14/0908	Acc seminar	
6.	23/0908	Acc ujian	
7.			
8.			
9.			
10.			

Malang, 200
 Dosen Pembimbing,


Ir. Teguh Herbasuki, MT
 NIP. Y.1038900209



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

PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI

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

Hari : Rabu
Tanggal : 24 September 2008

Telah dilakukan perbaikan skripsi oleh :

1. Nama : HOLILUL RAHMAN
2. NIM : 01.12.134
3. Jurusan : Teknik Elektro
4. Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
5. Judul Skripsi : PENGATURAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI TIGA FASA DENGAN METODE *DIRECT TORQUE CONTROL* DI LABORATORIUM KONVERSI ENERGI ELEKTRIK ITN MALANG

Perbaikan meliputi :

No	Materi Perbaikan	Ket
1	Perbaiki penampilan skripsi	CS
2	Abstrak dan kesimpulan sesuaikan dengan hasil analisisnya	CS.

Anggota Penguji

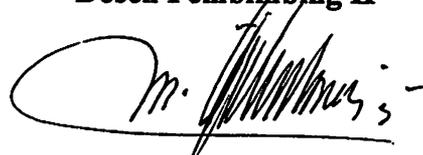

Ir. H. Choirul Saleh, MT
NIP.Y. 1018800190

Dosen Pembimbing I



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

Dosen Pembimbing II



Ir. Teguh Herbasuki, MT
NIP. Y.1038900209



PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI

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

Hari : Rabu
Tanggal : 24 September 2008

Telah dilakukan perbaikan skripsi oleh :

1. Nama : HOLLILUL RAHMAN
2. NIM : 01.12.134
3. Jurusan : Teknik Elektro
4. Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
5. Judul Skripsi : PENGATURAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI TIGA FASA DENGAN METODE *DIRECT TORQUE CONTROL* DI LABORATORIUM KONVERSI ENERGI ELEKTRIK ITN MALANG

Perbaikan meliputi :

No	Materi Perbaikan	Ket
1.	Besar penurunan kecepatan motor, torsi pada saat beban berubah nominalnya kurang terlihat jelas perbedaannya	
2.	Juga untuk arus dan torsi di plot nominalnya sehingga terlihat perbedaannya	
3.	Gambar di perbaiki yang jelas juga plotting untuk bedanya	

Anggota Penguji

Irrine Budi Sulistiawati, ST, MT
NIP. 132314400

Dosen Pembimbing I

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

Dosen Pembimbing II

Ir. Teguh Herbasuki, MT
NIP. Y.1038900209



**LABORATORIUM KONVERSI ENERGI ELEKTRIK
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

KAMPUS II : Jl. Karanglo Km 2 Telp.(0341) 417636 Ext 604

SURAT PERMOHONAN

Dengan Hormat,

Yang bertanda tangan sebagai pemohon, saya mahasiswa dengan identitas sebagai berikut :

Nama : Holilul Rahman
NIM : 01.12.134
Jurusan : Teknik Energi Listrik S1
Fakultas : Teknologi Industri
Keperluan : Pengujian parameter motor induksi 3 fasa
Waktu :

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 Tiga Fasa	DE LORENZO
2	DL 1031	Voltmeter	DE LORENZO
3	DL 1031	Amperemeter	DE LORENZO
4	DL 1031	Wattmeter 3 fasa	DE LORENZO
5	DL 2026	Tachometer	DE LORENZO
6	DL 1031 M2	AC Voltage Regulator	DE LORENZO
7	DL 1019	Eddy Current Break	DE LORENZO
8	6108141	Multimeter	SANWA

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

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

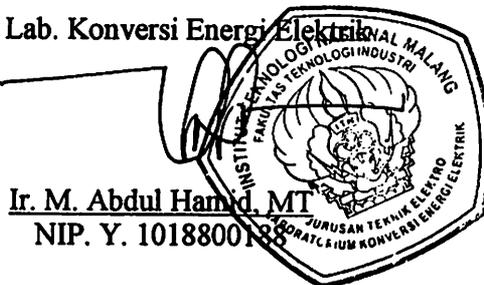
Asisten Pendamping

Muzi Arisandy
Nim. 0312020

Pemohon

Holilul Rahman
Nim. 0112134

Ka. Lab. Konversi Energi Elektrik



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

Data Hasil Pengujian Parameter Motor Induksi Tiga Fasa

Tabel 1
Data Hasil Pengujian Arus searah

Vdc (Volt)	I (Amper)
4	0.75
6	1.12
8	1.44
10	1.78
12	2.14

Tabel 2
Data Hasil Pengujian Tanpa Beban

PENGUJIAN	I _{MOTOR} (Ampere)			P _{3 FASA} (Watt)	V _{L-L} (Volt)	Frekuensi (Hz)
	R	S	T			
1	0,59	0,68	0,59	90	220	50
2	0,60	0,63	0,55	70	220	50
3	0,59	0,63	0,57	60	220	50
4	0,59	0,62	0,55	60	220	50
5	0,59	0,62	0,56	60	220	50
Pengujian Rata-rata	0.59	0,63	0,56	68	220	50

Tabel 3
Data Hasil Pengujian Rotor Tertahan

PENGUJIAN	I _{MOTOR} (Ampere)			P ₃ FASA (Watt)	V _{L-L} (Volt)
	R	S	T		
1	2,01	2,03	1,95	140	65
2	2	2	1,95	140	62
3	2	1,99	1,94	140	62
4	2	1,98	1,93	140	62
5	2	1,98	1,93	140	62
Pengujian Rata-rata	2	1,99	1,94	140	62,5

Mengetahui,

Ka. Lab. Konversi Energi Elektrik



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

Asisten Pendamping

Muzi Arisandy
Nim. 03.12..020