

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



**SKRIPSI**

**ESTIMASI KECEPATAN MOTOR INDUKSI 3 $\Phi$  TANPA SENSOR  
KECEPATAN DENGAN METODE FULL ORDER OBSERVER  
MENGUNAKAN SIMULASI SOFTWARE MATLAB 7.04**

*Oleh :*  
**Yafi Bastiyan  
0112007**

**APRIL 2007**

1981

0113001  
1981  
0001

MEMORANDUM BERKAITAN DENGAN PERALIHAN  
KESELURUHAN PERUSAHAAN KELOMPOK PT. SUDIRMAN  
KELOMPOK PERUSAHAAN KONGLOMERAT 30 JUNI 1981

BERKAITAN

PT. SUDIRMAN  
KONGLOMERAT  
W I F I K

BERKAITAN DENGAN PERALIHAN  
KESELURUHAN PERUSAHAAN KELOMPOK PT. SUDIRMAN  
KELOMPOK PERUSAHAAN KONGLOMERAT 30 JUNI 1981  
MEMORANDUM BERKAITAN DENGAN PERALIHAN

## LEMBAR PERSETUJUAN

**ESTIMASI KECEPATAN MOTOR INDUKSI 3 $\Phi$  TANPA SENSOR  
KECEPATAN DENGAN METODE FULL ORDER OBSERVER  
MENGUNAKAN SIMULASI SOFTWARE MATLAB 7.04**

### SKRIPSI

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

Oleh :

**Yafi Bastiyan**

**0112007**



Mengetahui,  
**Kepala Jurusan Teknik Elektro**

Diperiksa dan disetujui,  
**Dosen Pembimbing**

**Ir. FX. Yudi Limpraptono, MT**  
NIP.Y. 103 950 0274

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

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

## ABSTRAKSI

### ESTIMASI KECEPATAN MOTOR INDUKSI 3 $\Phi$ TANPA SENSOR KECEPATAN DENGAN METODE FULL ORDER OBSERVER MENGUNAKAN SIMULASI SOFTWARE MATLAB 7.04

*Yafi Bastiyan*  
*0112007*

*Ir. M. Abdul Hamid, MT*

*Kata kunci : Motor induksi 3 phasa sangkar tupai, full order observer.*

Umumnya kecepatan dari motor diukur dengan menggunakan sensor kecepatan sedangkan posisi rotor didapat dari integral kecepatan. Akan tetapi keterbatasan kemampuan perangkat keras dan besarnya biaya yang harus dikeluarkan untuk implementasi dan perawatan sensor kecepatan yang digunakan mendorong untuk dicarinya metode yang dapat mengeliminasi perangkat keras tersebut.

Untuk mengatasi masalah ini maka dilakukan suatu rancangan sistem estimasi kecepatan pada motor induksi 3 phasa tanpa sensor kecepatan.

Estimasi kecepatan motor induksi 3 phasa tanpa sensor kecepatan dengan menggunakan metode full order observer. Dimana parameter yang di analisa adalah arus stator dan fluksi rotor dalam kerangka acuan stator sedangkan kestabilan estimasi kecepatan motor induksi 3 phasa didapat berdasarkan teori lyapunov.

## KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena dengan rahmat dan karunia-NYA, Saya dapat menyelesaikan Penyusunan Skripsi ini yang merupakan syarat untuk meraih gelar Sarjana Teknik, Jurusan Teknik Elektro Konsentrasi Energi Listrik S-1 di Institut Teknologi Nasional Malang.

Dalam penyusunan skripsi ini tidak luput dari bantuan beberapa pihak yang terus memberi masukan dan dukungannya. Pada kesempatan Saya mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada.

1. Bapak Prof Dr Eng Ir. Abraham Lomi, MSEE selaku Rektor ITN Malang.
2. Bapak Ir. FX. Yudi Limpraptono, MT Selaku Ketua Jurusan teknik Elektro S-1 Institut Teknologi Nasional Malang.
3. Bapak Ir. M. Abdul Hamid , MT Selaku Dosen Pembimbing skripsi.
4. Kedua Orang Tua untuk doa dan dukungannya selama ini.
5. Semua pihak yang telah mendukung skripsi ini.

Menyadari akan banyaknya kekurangan yang ada dalam penyusunan laporan maka kami menganggap bahwa laporan ini belumlah sempurna, oleh karena itu kritik dan saran sangat membantu guna mendapatkan hasil yang lebih baik.

Malang, Maret 2007

*Yafi Bastiyan*

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PERSETUJUAN.....</b>	<b>ii</b>
<b>ABSTRAKSI .....</b>	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>iv</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GRAFIK.....</b>	<b>xi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan.....	3
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Metodologi Pembahasan.....	3
1.6. Sistematika Penulisan.....	4
<b>BAB II LANDASAN TEORI</b>	
2.1. Teori Dasar Motor Induksi.....	6
2.2. Konstruksi Motor Induksi.....	7
2.2.1. Stator.....	8
2.2.2. Rotor.....	8

2.3. Motor Induksi 3 Phasa .....	11
2.3.1. Medan Putar.....	12
2.3.2. Prinsip Kerja Motor Induksi .....	13
2.3.3. Slip Dan Kecepatan.....	16
2.4. Rangkaian Ekivalen.....	17
2.4.1. Rangkaian Ekivalen Stator .....	17
2.4.2. Rangkaian Ekivalen Rotor .....	18
2.4.3. Rangkaian Ekivalen Motor Induksi .....	20
2.5. Parameter Dasar Motor Induksi .....	24
2.6. Pengujian Motor Induksi 3 Phasa .....	26
2.6.1. Pengujian Arus Searah ( <i>DC Test</i> ).....	26
2.6.2. Pengujian Tanpa Beban ( <i>No Load Test</i> ) .....	27
2.6.3. Pengujian Rotor Tertahan ( <i>Blocked Rotor Test</i> ).....	29
<b>BAB III FULL ORDER OBSERVER</b>	
3.1. Perancangan Model Full Order Observer .....	32
3.2. Estimasi Kecepatan.....	36
3.2.1. Estimasi Kecepatan Berdasarkan Teori Kestabilan Lyapunov .....	36
3.2.2. Estimasi Kecepatan Dengan Metode Full Order Observer .....	40
3.3. Algoritma Full Order Observer.....	49
3.3.1. Algoritma Pemecahan Masalah Secara Umum.....	49
3.3.2. Flowchart Full Order Observer.....	50

## **BAB IV ANALISA FULL ORDER OBSERVER DAN HASIL SIMULASI**

4.1. Pengujian Parameter Motor Induksi .....	51
4.1.1. Alat yang digunakan .....	51
4.1.2. Pengujian Arus Searah ( <i>DC Test</i> ) .....	52
4.1.3. Pengujian Tanpa Beban ( <i>No Load Test</i> ) .....	52
4.1.4. Pengujian Rotor Tertahan ( <i>Blocked Rotor Test</i> ) .....	53
4.2. Analisa Parameter Motor Induksi .....	53
4.3. Estimasi Kecepatan Dengan Metode Full Order Observer .....	57
4.4. Simulasi Estimasi Kecepatan Dengan Metode Full Order Observer .....	63
4.5. Hasil Simulasi .....	65

## **BAB V PENUTUP**

5.1. Kesimpulan .....	71
5.2. Saran .....	72

<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	<b>73</b>
-----------------------------	-----------

## DAFTAR TABEL

<i>Tabel 3.1.</i> Kontanta Pengendali .....	47
<i>Tabel 4.1.</i> Data Hasil Pengujian Arus Searah ( <i>DC Test</i> ) .....	52
<i>Tabel 4.2.</i> Data Hasil Pengujian Tanpa Beban ( <i>No Load Test</i> ) .....	52
<i>Tabel 4.3.</i> Data Hasil Pengujian Rotor Tertahan ( <i>Blocked Rotor Test</i> ) .....	53
<i>Tabel 4.4.</i> Data Hasil Pengujian Parameter Motor Induksi .....	56
<i>Tabel 4.5.</i> Hasil Perhitungan Estimasi Kecepatan .....	62

## DAFTAR GAMBAR

<i>Gambar 2.1.</i> Konstruksi Motor Induksi.....	7
<i>Gambar 2.2.</i> Stator 3 Phasa Motor Induksi .....	8
<i>Gambar 2.3.</i> Motor Induksi Rotor Belitan Dan Sangkar Tupai .....	9
<i>Gambar 2.4.</i> Penampang Motor Induksi Sangkar Tupai .....	10
<i>Gambar 2.5.</i> Penampang Motor Induksi Rotor Belitan.....	11
<i>Gambar 2.6.</i> Medan Putar Pada Motor Induksi.....	13
<i>Gambar 2.7.</i> Representasi Skematik Induksi Tiga Phasa.....	15
<i>Gambar 2.8.</i> Rangkaian Ekuivalen Stator Motor Induksi .....	18
<i>Gambar 2.9.</i> Rangkaian Ekuivalen Rotor Motor Induksi.....	19
<i>Gambar 2.10.</i> Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi.....	20
<i>Gambar 2.11.</i> Rangkaian Ekuivalen Thevenin Motor Induksi.....	23
<i>Gambar 2.12.</i> Pengujian Arus Searah ( <i>DC Test</i> ).....	26
<i>Gambar 2.13.</i> Pengujian Tanpa Beban ( <i>No Load Test</i> ).....	27
<i>Gambar 2.14.</i> Pengujian Rotor Tertahan.....	29
<i>Gambar 3.1.</i> Rangkaian Ekuivalen dq Motor Induksi.....	41
<i>Gambar 3.2.</i> Diagram Sumbu dq Motor Induksi.....	42
<i>Gambar 3.3.</i> Bentuk Sumbu dq Ekuivalen.....	42
<i>Gambar 3.4.</i> Vektor Proyeksi Arus Stator Pada Motor Induksi.....	43
<i>Gambar 3.5.</i> Vektor Proyeksi $\alpha$ , $\beta$ Pada Motor Induksi .....	45
<i>Gambar 3.6.</i> Koordinat Sistem Tegangan .....	45
<i>Gambar 3.7.</i> Density Fluks .....	46

<i>Gambar 3.8.</i> Blok Diagram Full Order Observer.....	48
<i>Gambar 4.1.</i> Blok Simulink Full Order Observer .....	64

## DAFTAR GRAFIK

<i>Grafik 3.1.</i> Vektor Fluksi Rotor.....	40
<i>Grafik 4.1.</i> Arus $i_{sd}$ dan Arus $i_{sq}$ .....	66
<i>Grafik 4.2.</i> Fluksi Rotor.....	68
<i>Grafik 4.3.</i> Estimasi Kecepatan .....	69

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang.**

Sebagian besar aplikasi motor pada industri menggunakan jenis motor induksi. Alasan utama, diantaranya karena motor jenis ini memiliki struktur yang kokoh, keandalan tinggi, harga relatif murah, dan perawatan mudah. Namun pengendalian motor ini sulit sehingga peralatan pengendalinya menjadi mahal.

Motor Induksi Squirrel Cage atau di sebut juga dengan “Sangkar Tupai”, merupakan salah satu jenis motor yang sering di gunakan di dalam dunia industri, dan berbagai sektor bidang lainnya. Karena harganya yang relatif murah jika di bandingkan motor dengan medan magnet permanen, walaupun mempunyai ukuran yang relatif lebih besar.

Seperti halnya dalam mesin elektrik yang lainnya, informasi mengenai kecepatan dari motor sangat di butuhkan terutama dalam pengaturan kecepatan motor sesuai dengan kebutuhan yang di inginkan. Karena kecepatan dari motor adalah faktor utama dan yang terpenting dari spesifikasi motor itu sendiri.

Pada umumnya dapat di lihat dan dijumpai bahwa, kecepatan dari motor di ukur dengan menggunakan sensor kecepatan, sedangkan posisi rotor di dapat dari integral kecepatan. Akan tetapi dengan keterbatasan kemampuan perangkat keras dan besar biaya relatif sangat tinggi yang harus dikeluarkan untuk implementasi dan perawatan sensor kecepatan yang di gunakan. Mendorong untuk mencari

metode yang dapat mengeliminasi peralatan perangkat keras pada sistem dari kerja motor.

Berdasarkan hal tersebut di atas, maka penulis tertarik untuk mencari pemecahan bagaimana agar motor tanpa sensor kecepatan dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan di beberapa bidang industri. Salah satu pemecahan yang dapat terwujud pada motor tanpa sensor kecepatan adalah estimasi kecepatan motor induksi. Dimana estimasi kecepatannya menggunakan metode full order observer. Yang mana nantinya ketepatan di dalam pengendalian sangat mempengaruhi hasil produksi.

Mengingat pentingnya hal tersebut diatas maka Skripsi ini diberi judul :

**“ ESTIMASI KECEPATAN MOTOR INDUKSI 3 $\Phi$  TANPA SENSOR KECEPATAN DENGAN METODE FULL ORDER OBSERVER MENGGUNAKAN SIMULASI SOFTWARE MATLAB 7.04 “**

## **1.2. Perumusan Masalah.**

Berdasarkan latar belakang yang telah di jelaskan di atas, maka dapat di ambil suatu perumusan masalah sebagai berikut : “ Bagaimana cara untuk melakukan estimasi kecepatan Motor Induksi 3 phasa dengan Metode Full Order Observer “. Dimana untuk grafik estimasi kecepatan didapatkan dari simulasi Software Matlab versi 7.04.

### **1.3. Tujuan.**

Berdasarkan permasalahan yang telah dikemukakan diatas, Tujuan dari penyusunan skripsi ini adalah mengestimasi kecepatan Motor Induksi 3 phasa tanpa sensor kecepatan dengan metode Full Order Observer.

### **1.4. Batasan Masalah.**

Agar permasalahan yang di bahas didalam penyusunan skripsi ini tidak menyimpang dari judul yang telah di buat, maka perlu di tetapkan pokok-pokok permasalahan yang akan di bahas. Penulisan dibatasi pada masalah :

- \*. Pengujian dilakukan pada motor induksi 3 phasa rotor sangkar DE LORENZO / DL 1021, 1.1 KW, 220/380 ( $\Delta/Y$ ) Volt, 4.3 / 2.5 ( $\Delta/Y$ ) Ampere,  $\cos \phi$  0.83, 50 Hz, 2820 rpm, 2 kutup.
- \*. Estimasi kecepatan Motor Induksi tanpa sensor kecepatan dengan menggunakan metode Full Order Observer.
- \*. Teori Lyapunov sebagai pencapaian kestabilan mengenai estimasi kecepatan dalam kerangka acuan stator.
- \*. Pembahasan hanya ditekankan pada analisis estimasi kecepatan motor.
- \*. Motor Induksi disuplai dengan tegangan sinusoida murni.
- \*. Simulasi dengan menggunakan Software Matlab versi 7.04.

### **1.5. Metodologi.**

1. Kajian pustaka, yaitu bahan untuk memahami prinsip kerja dari motor induksi tiga phasa dan metode yang digunakan di dalam analisa.

## 2. Pengumpulan data

Pengumpulan data melalui percobaan motor induksi 3 fasa dengan pengujian arus searah (*DC Test*), pengujian rotor tertahan (*Block Rotor Test*) dan pengujian tanpa beban (*No Load Test*).

3. Melakukan perhitungan estimasi kecepatan dengan metode Full Order Observer.
4. Membuat blok simulink program Matlab 7.04 untuk mendapatkan grafik estimasi kecepatan motor.
5. Menarik kesimpulan.

## 1.6. Sistematika Penulisan.

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

### **Bab I           PENDAHULUAN**

Membahas penjelasan latar belakang masalah, menjelaskan permasalahan yang di hadapi dan penyelesaian yang di ambil, maksud dan tujuan, batasan masalah yang menjelaskan tentang rancangan system yang akan dianalisa, serta menjelaskan sistematika pembahasan.

### **Bab II          LANDASAN TEORI**

Membahas tentang berbagai macam teori dasar yang mendukung dalam motor motor induksi 3 fasa sebagai objek yang akan disimulasikan dengan menggunakan metode Full Order Observer.

**Bab III FULL ORDER OBSERVER**

Membahas tentang estimasi kecepatan motor induksi 3 phasa tanpa sensor kecepatan, menggunakan metode Full Order Observer.

**Bab IV ANALISA FULL ORDER OBSERVER DAN HASIL SIMULASI**

Membahas tentang pengujian parameter motor induksi 3 phasa tanpa sensor kecepatan lalu diimplementasikan dengan metode Full Order Observer untuk mendapatkan estimasi kecepatan motor. Simulasi software Matlab 7.04 digunakan untuk mendapatkan grafik estimasi kecepatan.

**Bab V PENUTUP**

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

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1. Teori Dasar Motor Induksi.**

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

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

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

Yaitu :

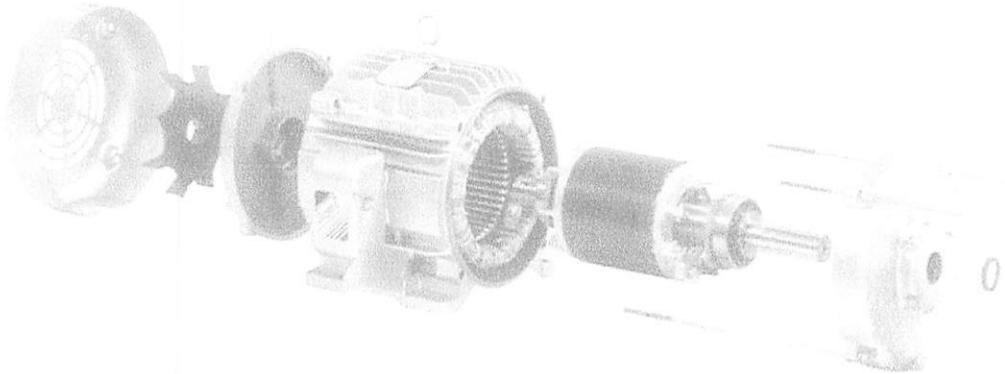
1. Sangat sederhana dan daya tahan kuat ( konstruksi hampir tak pernah mengalami kerusakan, khususnya tipe rotor sangkar tupai ).
2. Harga relatif murah dan perawatan mudah.
3. Efisiensi tinggi Pada kondisi berputar normal, tidak dibutuhkan sikat dan karenanya rugi daya yang ditimbulkan dapat dikurangi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

Motor induksi adalah jenis motor yang paling sering digunakan dalam industri. Motor induksi adalah jenis motor dimana arus AC disuplai secara langsung ke stator dan arus pada kumparan rotor diinduksikan oleh arus stator

Motor induksi pada dasarnya sama dengan sebuah transformator static dengan sisi sekunder dapat berputar terhadap primernya. Motor induksi bekerja pada kecepatan asinkron dan disebut sebagai mesin asinkron. Kecepatannya menurun seiring dengan kenaikan torsi beban. Terdapat dua tipe motor induksi, berdasarkan pada konstruksi rotornya. Tipe pertama adalah motor induksi dengan rotor silindris yang mempunyai batang konduktor dengan kedua ujungnya dihubungkan singkat dan tipe kedua dengan kumparan phasa ganda (*polyphase*) dengan terminal yang dihubungkan dengan slip ring untuk hubungan luar. Tipe yang pertama dikenal dengan rotor sangkar tupai dan yang kedua dikenal sebagai rotor belitan (*wound rotor*).

## 2.2. Konstruksi Motor Induksi.

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



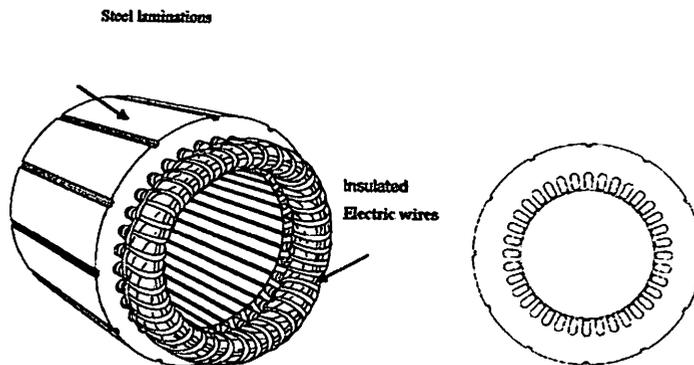
Gambar 2.1

Konstruksi Motor Induksi <sup>[3]</sup>

### 2.2.1. Stator.

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

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



Gambar 2.2

Stator Tiga Fasa Motor Induksi <sup>[3]</sup>

### 2.2.2. Rotor.

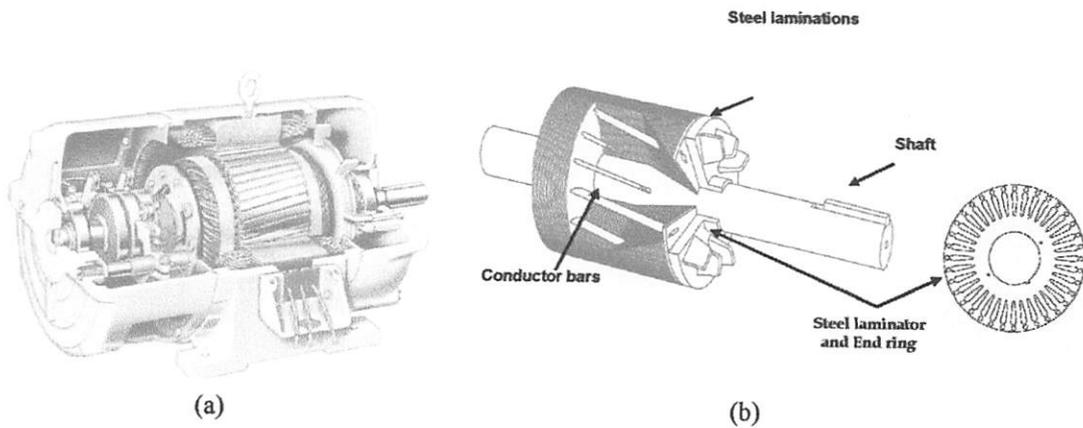
Konstruksi dari rotor motor induksi mempunyai dua bentuk, yaitu :

1. Rotor Belitan (*wound rotor/ rotor slip ring*).

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

## 2. Rotor sangkar tupai (*squirrel cage rotor*).

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



Gambar 2.3

a) Motor Induksi Rotor Belitan<sup>[3]</sup>

b) Rotor Sangkar Tupai<sup>[3]</sup>

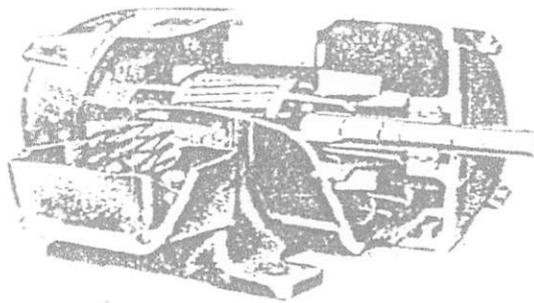
Inti stator terbuat dari lapis-lapis pelat baja yang didukung dalam rangka stator yang terbuat dari besi tuang atau pelat baja. Untuk lilitan-lilitannya, sama halnya dengan lilitan stator dari generator sinkron, diletakkan didalam alur stator yang terpisah 120 derajat. Lilitan-lilitan ini bisa tersambung secara delta ataupun bintang.

Rotor dari motor sangkar tupai konstruksi dari inti berlapis dengan konduktor dipasangkan paralel, dengan poros dan mengelilingi permukaan inti. Konduktornya tidak terisolasi dari inti, karena arus rotor secara alamiah akan

mengalir melalui tahanan yang paling kecil, yaitu konduktor rotor. Pada setiap ujung rotor, konduktor rotor semuanya dihubung singkatkan dengan cincin ujung.

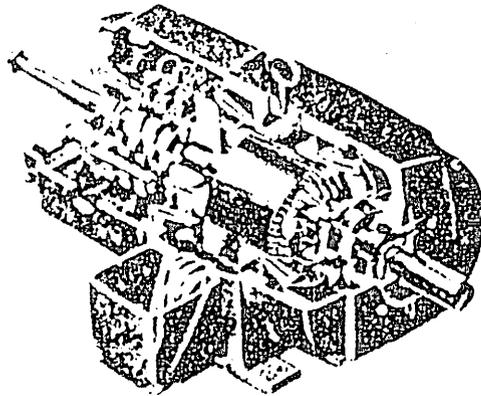
Batang rotor dan cincin ujung motor sangkar tupai yang lebih kecil adalah tembaga atau alumunium dalam satu lempeng pada inti rotor. Dalam motor yang lebih besar, batang rotor tidak dicor melainkan diletakkan ke dalam alur rotor dan kemudian dilas dengan kuat ke cincin ujung. Batang rotor motor sangkar tupai tidak selalu ditempatkan paralel terhadap poros motor tetapi kerap kali dimiringkan. Hal ini untuk menghasilkan torsi yang lebih seragam dan juga mengurangi deru dengung magnetik pada saat motor dijalankan.

Motor rotor lilitan atau motor cincin, slip berbeda dengan motor sangkar tupai dalam hal kontruksi rotornya. Seperti namanya, rotor dililit dengan lilitan terisolasi serupa dengan lilitan stator.



Gambar 2.4

Penampang Potongan Motor Induksi Sangkar Tupai <sup>[3]</sup>



Gambar 2.5

Penampang Potongan Motor Induksi Rotor Belitan <sup>[3]</sup>

### 2.3. Motor Induksi Tiga Fasa.

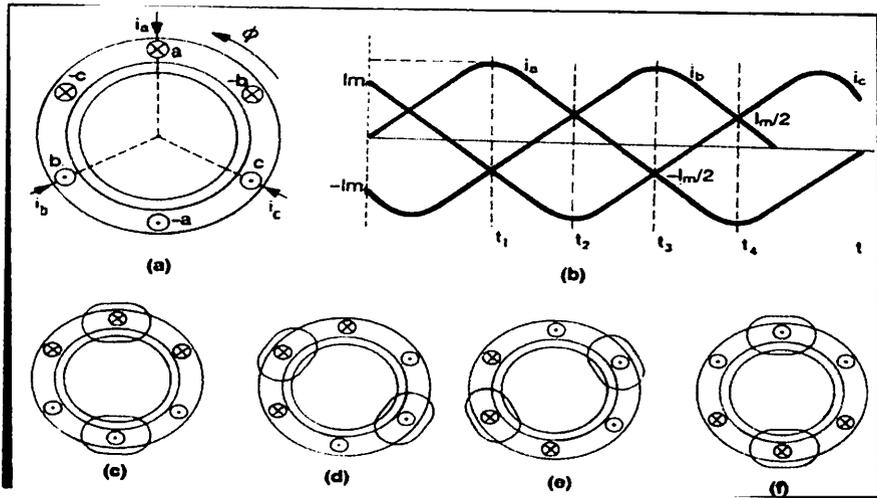
Motor induksi tiga fasa terdiri dari struktur silindris berlapis dengan slot pada motor stator. Pada stator terdapat tiga kumparan identik yang terpisah secara simetris diletakkan secara seragam. Kumparan yang terdistribusi secara seragam ini memungkinkan mmf sinusoidal untuk diproduksi dalam celah udara (*air gap*). Rotor juga memiliki tiga kumparan fasa simetris yang identik seperti pada stator.

Eksistensi stator tiga fasa menghasilkan medan magnet putar pada celah udara dari motor induksi. Medan ini berputar pada kecepatan sinkron.  $n_s = 120 f/p$ , menyebabkan tegangan diinduksikan pada konduktor. Tegangan induksi memberikan kenaikan arus rotor yang berinteraksi dalam celah udara untuk menghasilkan torsi.

### 2.3.1. Medan Putar.

Perputaran pada mesin arus bolak-balik ditimbulkan oleh adanya medan putar (fluks yang berputar) yang dihasilkan dalam kumparan statornya. Medan putar ini terjadi apabila kumparan stator dihubungkan dalam phasa banyak, umumnya 3 phasa. Hubungan dapat berupa hubungan bintang atau delta. Medan putar terjadi apabila kumparan  $a - a'$ ;  $b - b'$ ;  $c - c'$ ; dihubungkan tiga phasa dengan beda phasa masing-masing  $120^\circ$  ( gambar 2.6 ) a dan dialiri arus sinusoida. Distribusi arus  $i_a$ ,  $i_b$ ,  $i_c$ , sebagai fungsi waktu seperti gambar 2-6 b, pada keadaan  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$  dan  $t_4$ , fluks resultan yang ditimbulkan oleh kumparan tersebut masing-masing adalah seperti gambar ( 2 - 6 ) c, d, e, dan f.

Pada fluks resultan mempunyai arah sama dengan arah fluks yang dihasilkan oleh kumparan  $a - a'$ , sedangkan pada  $t_2$ , fluks resultan mempunyai arah sama dengan arah fluks yang dihasilkan oleh kumparan  $c - c'$ , dan untuk  $t_3$  fluks resultan mempunyai arah yang sama dengan fluks yang dihasilkan oleh kumparan  $b - b'$ , untuk  $t_4$ , fluks resultannya berlawanan arah dengan fluks resultan yang dihasilkan pada saat  $t_1$ .



Gambar 2.6

Medan Putar Pada Motor Induksi [1]

**2.3.2. Prinsip Kerja Motor Induksi.**

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

Prinsip kerja motor induksi dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Apabila sumber tegangan tiga fasa dipasang pada kumparan stator akan timbul medan putar dengan kecepatan :

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

atau 
$$\omega_s = \frac{4 \cdot \pi \cdot f}{P} \text{ rad/sec} \dots\dots\dots (2.2)$$

2. Medan putar stator tersebut akan memotong batang konduktor pada rotor sehingga pada kumparan rotor timbul tegangan induksi (GGL induksi).
3. Karena kumparan rotor merupakan rangkaian yang tertutup maka akan mengalir arus ( $I$ ). Kawat penghantar ( kumparan rotor ) yang dialiri arus yang berada dalam medan magnet akan menimbulkan gaya ( $F$ ) pada rotor.
4. Bila kopel mula yang dihasilkan oleh gaya ( $F$ ) pada rotor lebih besar dari pada kopel beban, maka rotor akan berputar searah dengan medan putar stator.
5. Seperti yang telah dijelaskan bahwa tegangan induksi timbul karena adanya perpotongan penghantar oleh medan putar stator. Artinya kecepatan putar rotor ( $n_r$ ) tidak boleh sama cepat dengan kecepatan putar medan putar ( $n_s$ ). Apabila  $n_r = n_s$ , tegangan tidak akan terinduksi dan arus tidak mengalir pada kumparan jangkar rotor sehingga tidak dihasilkan kopel, maka rotor akan cenderung untuk berhenti. Kopel motor akan ditimbulkan apabila  $n_r$  lebih kecil dari  $n_s$ .

Nilai rata-rata GGL induksi per fasa dari lilitan rotor dinyatakan dengan :

$$E_2 = 4,44 f_1 N_2 K_w \phi \dots\dots\dots (2.3)$$

Perlu diketahui bahwa frekuensi stator  $f_1$  yang digunakan disini, karena rotor tersebut dalam keadaan diam / berhenti. Dengan demikian  $E_2$  merupakan GGL

(gaya gerak listrik) frekuensi saluran. Fluks tertentu merupakan tiap elektroda (pole) dari kumparan stator dan rotor.

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

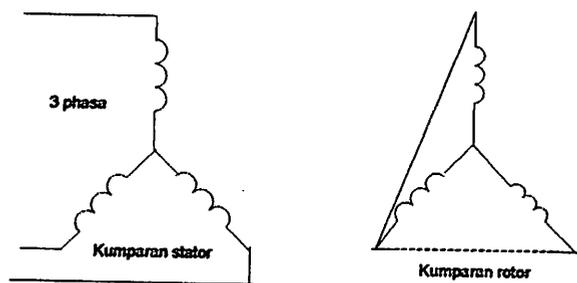
$$E_1 = 4,44 f_l N_1 K_w1 \phi \dots\dots\dots (2.4)$$

Berdasarkan persamaan (1) dan (2) dapat dirumuskan rasio :

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1 K_w1}{N_2 K_w2} \dots\dots\dots (2.5)$$

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

Selanjutnya mari kita tinjau perilaku motor induksi dalam keadaan berputar. Untuk menghasilkan torsi mula dan torsi penggerak berturut-turut perlu arus yang mengalir dalam kumparan rotor. Hal ini terjadi pada kumparan yang terhubung singkat seperti yang ditunjukkan oleh garis-garis putus pada gambar.



Gambar 2.7

Representasi Skematik Induksi Tiga Fasa <sup>[1]</sup>

Mula-mula GGL induksi  $E_2$  mengakibatkan arus rotor perphasa  $I_2$  mengalir melalui rangkaian hubung singkat, menghasilkan distribusi *ampere-conductor* bekerja dengan medan fluks untuk menghasilkan torsi mula. Pengaruh torsi ini selalu mengakibatkan rotor berputar dalam arah yang sama sebagai medan putar. Anggaplah bahwa medan fluks berputar searah jarum jam pada kecepatan tertentu yang bergantung pada frekuensi stator dan banyaknya kutub dari kumparan stator. Kecepatan ini disebut “kecepatan sinkron” dan dinyatakan.

$$n_s = \frac{120 f_1}{p} \dots\dots\dots (2.6)$$

Kemudian untuk arah arus ini aturan  $\vec{I}_2 \times \vec{B}$  menyatakan torsi yang searah jarum jam. Untuk itu rotor bergerak pada arah yang dapat memotong medan stator.

Karena rotor meningkatkan kecepatannya, laju yang mengijinkan medan stator memotong kumparan rotor menurun. Hal ini mengurangi GGL induksi resultan perphasa, pada gilirannya menurunkan magnitudo distribusi ampere konduktor dan menghasilkan torsi yang lebih kecil. Pada kenyataannya proses ini berlanjut hingga kecepatan rotor mampu untuk menghasilkan GGL yang cukup agar menghasilkan arus yang diperlukan untuk membangkitkan torsi yang setara dengan torsi lawan.

### 2.3.3. Slip dan kecepatan.

Slip diidentifikasi sebagai bagian dari kecepatan medan putar stator  $n_s$  dan kecepatan medan putar rotor  $n_r$ . Slip dirumuskan sebagai :

$$S = \frac{n_s - n_r}{n_s} \dots\dots\dots (2.7)$$

Sehingga untuk mencari kecepatan rotor adalah:

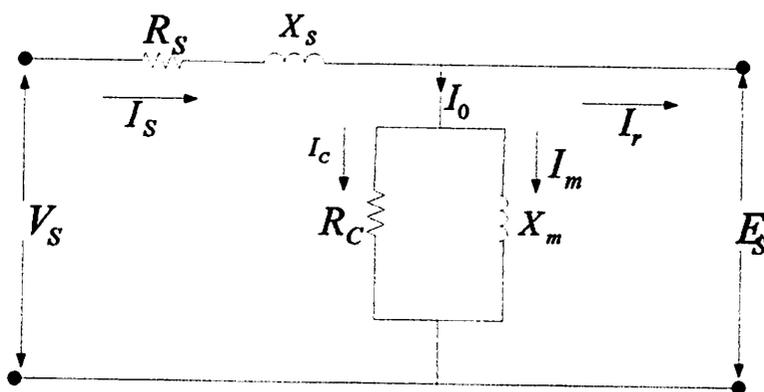
$$n_r = (1 - S) \cdot n_s \dots \dots \dots (2.8)$$

#### 2.4. Rangkaian Ekivalen.

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

##### 2.4.1. Rangkaian Ekivalen Stator.

Jika belitan stator mendapatkan tegangan catu dari jala-jala sebesar  $V_s$  maka akan mengalir arus tiga fase pada belitan stator yang akan membangkitkan medan magnet tiga fase. Arus Stator ( $I_s$ ) dapat dibagi menjadi dua komponen yaitu komponen beban ( $I_r$ ) dan komponen penguat / eksitasi ( $I_0$ ).



Gambar 2.8

Rangkaian Ekivalen Stator Motor Induksi <sup>[1]</sup>

Dimana :

$V_S$  = Tegangan terminal per fasa.

$R_S$  = Resistansi kumparan stator per fasa.

$X_S$  = Reaktansi bocor kumparan stator per fasa.

$E_S$  = Tegangan induksi ( GGL ) per fasa didalam kumparan stator.

$R_C$  = Resistansi rugi-rugi inti stator per fasa.

$X_m$  = Reaktansi magnetisasi stator per fasa.

#### 2.4.2. Rangkaian Ekivalen Rotor.

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

$$X'_r = sX_r \dots \dots \dots (2.9)$$

Tegangan yang diinduksikan pada rotor :

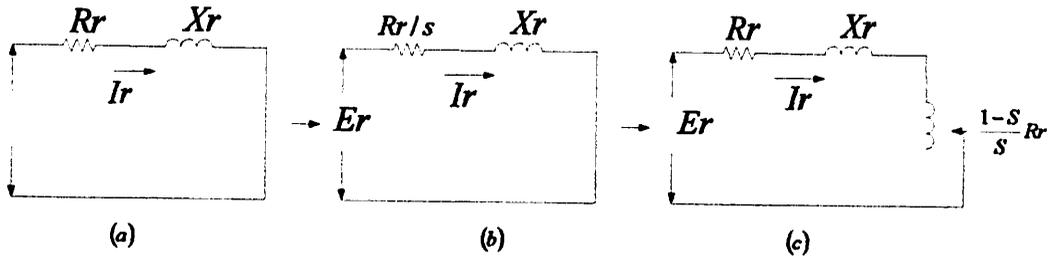
$$E_r = 4,44.f_r.N_r.\phi_m \dots \dots \dots (2.10)$$

Pada slip  $S$ , frekuensi rotor menjadi  $S.f_s$ , maka tegangan yang diinduksikan pada rotor ( $E_r'$ ) pada slip,  $S$ , adalah :

$$E_r' = 4,44.S.f_s.N_r.\phi_m \dots \dots \dots (2.11)$$

maka didapat:

$$E_r' = s.E_r \dots \dots \dots (2.12)$$



Gambar 2.9

### Rangkaian Ekuivalen Rotor Motor Induksi <sup>[1]</sup>

Dimana :

$S$  = Slip.

$E_r$  = Tegangan induksi per fasa didalam rotor pada kondisi diam.

$R_r$  = Resistansi kumparan rotor per fasa.

$X_r$  = Reaktansi bocor rotor per fasa.

Berdasarkan (2.10) dan (2.13) maka diperoleh rangkaian rotor seperti pada gambar. Arus rotor ( $I_r$ ) yaitu :

$$I_r = \frac{sE_r}{\sqrt{R_r^2 + (X_r)^2}} \dots \dots \dots (2.13)$$

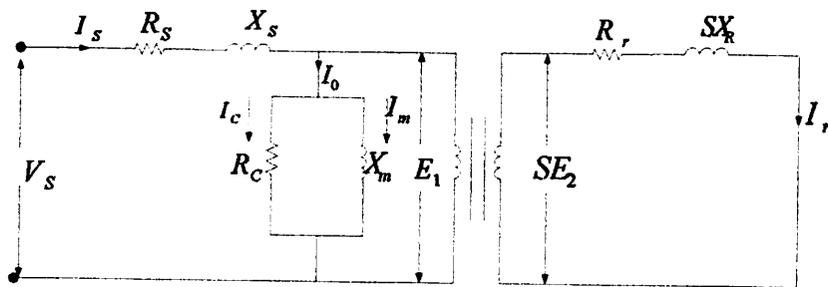
Atau

$$I_r = \frac{E_{Rr}}{\sqrt{\left(\frac{R_r}{s}\right)^2 + (X_r)^2}} \dots \dots \dots (2.14)$$

### 2.4.3. Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi.

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

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



Gambar 2.10 a

#### Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi <sup>[1]</sup>

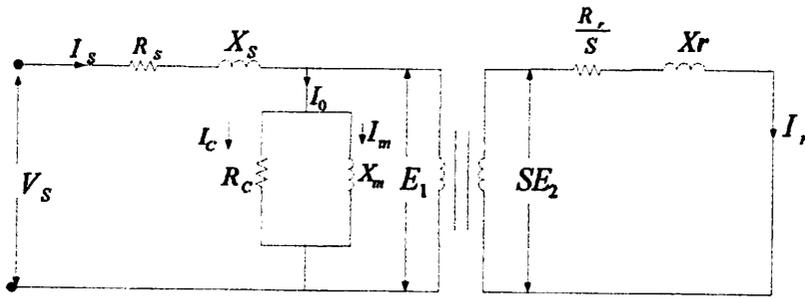
Persamaan tegangan pada rangkaian rotor adalah:

$$E_{2S} = I_r Z_r$$

$$S E_2 = I_r (R_r + jS X_R)$$

$$E_2 = I_r \left( \frac{R_2}{S} + X_R \right) \dots \dots \dots (2.15)$$

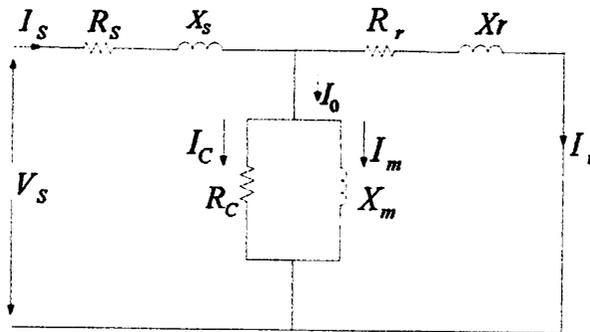
Sehingga rangkaian pengganti pada gambar diatas menjadi:



Gambar 2.10 b

Rangkaian Ekivalen Motor Induksi <sup>[1]</sup>

Apabila sisi primer sebagai referensi, maka rangkaian pengganti menjadi seperti pada gambar :

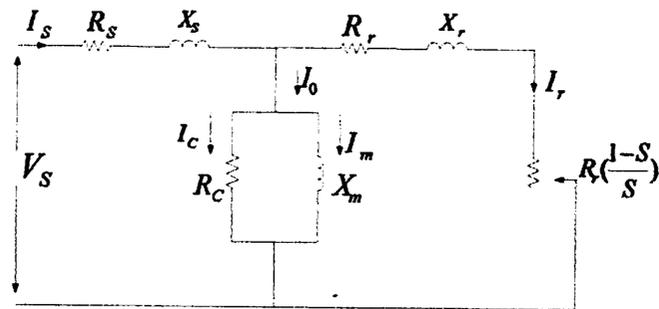


Gambar 2.10 c

Rangkaian Ekivalen Motor Induksi <sup>[1]</sup>

Dari rangkaian pengganti gambar diatas dapat dihitung :

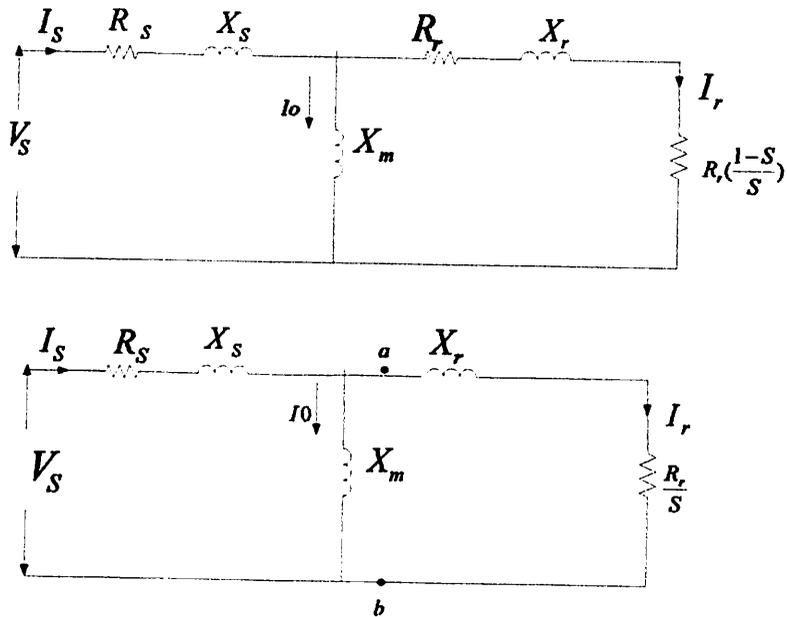
$$\begin{aligned}
 \frac{R_r}{S} &= R_r + \frac{R_r}{S} - R_r \\
 &= R_r + R_r \left[ \frac{1}{S} - 1 \right] \\
 &= R_r + R_r \left[ \frac{1-S}{S} \right] \dots \dots \dots (2.16)
 \end{aligned}$$



Gambar 2.10 d

Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi <sup>[1]</sup>

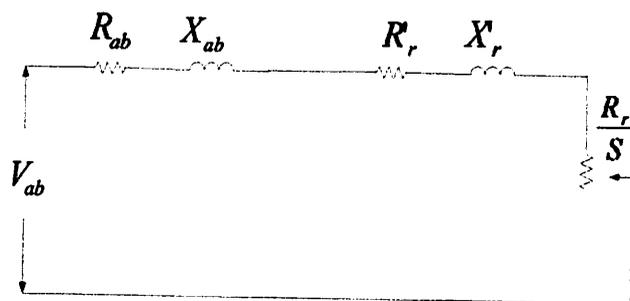
Dalam analisis rangkaian ekuivalen sering disederhanakan dengan menghilangkan resistansi ( $R_C$ ), sehingga rangkaian ekuivalen pada gambar dapat berubah seperti dibawah ini, rangkaian ekuivalen motor induksi yang disederhanakan menjadi rangkaian ekuivalen model T.



Gambar 2.10 e

### Rangkaian Ekivalen Motor Induksi Model T <sup>[1]</sup>

Untuk mempermudah perhitungan, rangkaian diatas dapat disederhanakan dengan menggunakan rangkaian ekivalen thevenin menjadi sebagai berikut :



Gambar 2.11

### Rangkaian Ekivalen Thevenin Motor Induksi <sup>[1]</sup>

## 2.5. Parameter Dasar Motor Induksi.

Dari rangkaian ekuivalen gambar 2.10 d, dinyatakan bahwa arus yang mengalir ke dalam rangkaian stator dipresentasikan dengan  $I_s$ , dan arus yang mengalir ke dalam rangkaian rotor merujuk stator dipresentasikan dengan  $I_r$ , sedangkan arus yang mengalir ke dalam rangkaian inti dipresentasikan dengan  $I_o$ . Parameter dasar dari suatu motor induksi dapat diperoleh melalui tiga macam parameter dasar dari suatu motor induksi yaitu melalui tiga macam pengujian standar, yakni pengujian DC untuk mencari nilai ( $R_s$ ), pengujian beban nol untuk mencari nilai tahanan inti ( $R_c$ ) dan nilai reaktansi magnetisasi ( $X_m$ ), sedangkan pengujian hubung singkat dimaksudkan untuk mendapatkan nilai tahanan ekuivalen ( $R_{ek}$ ) (mempresentasikan gabungan tahanan belitan pada sisi stator  $R_s$  dengan tahanan belitan pada sisi rotor  $R_r$ ) dan nilai reaktansi bocor ekuivalen ( $X_{ek}$ ) (mempresentasikan gabungan reaktansi bocor pada sisi stator  $X_s$  dengan reaktansi bocor pada sisi rotor  $X_r$ ).

Dari reaktansi ekuivalen  $X_{ek}$ , menurut IEEE standar diasumsikan bahwa nilai reaktansi adalah

Sebagai berikut :

$$X_1 = X_2 = 0,5 X_{ek}$$

Penentuan tahanan rotor  $R_r$  pada rangkaian ekuivalen konvensional dilakukan melalui pengujian hubung singkat, caranya adalah nilai tahanan hubung singkat atau tahanan ekuivalen dikurangi oleh tahanan stator yang diperoleh dari hasil pengukuran DC secara langsung terhadap belitan stator. Dari pernyataan tersebut terlihat bahwa tahanan rotor dilakukan dengan slip sama dengan satu

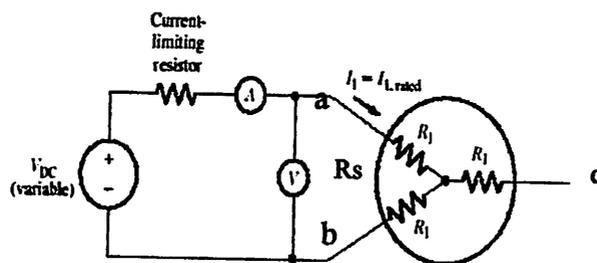
$(s = 1)$  atau frekuensi  $(f) = 50 \text{ Hz}$ , sedangkan pada waktu motor induksi 3 phasa dibebani harga slip jauh dibawah satu sesuai dengan besarnya beban. Selain itu pengaruh kenaikan temperatur akibat pembebanan akan mempengaruhi besaran tahanan rotor.

## 2.6. Pengujian Motor Induksi Tiga Phasa.

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

### 2.6.1. Pengujian Arus Searah (*DC Test*).

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



Gambar 2.12

Pengujian Arus Searah (*DC Test*) [8]

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

$$R_{ek} = 2R_s \quad \Omega \quad \dots\dots\dots(2.17)$$

untuk nilai resistansi kumparan a dan b :

$$R_{ab} = R_{ek} = \frac{V_{DC}}{I_{DC}} \quad \Omega \quad \dots\dots\dots(2.18)$$

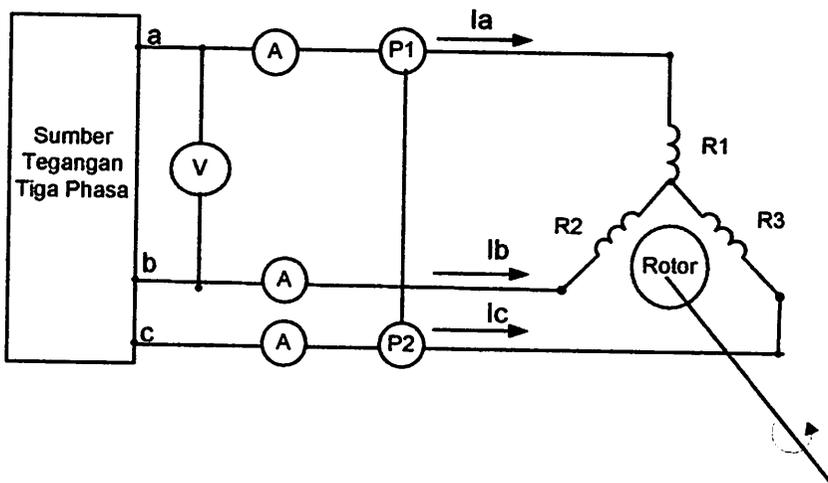
Dan nilai resistansi stator per phasa,  $R_s$  :

$$R_s = \frac{R_{ek}}{2} \text{ } \Omega/\text{phasa} \dots\dots\dots(2.19)$$

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

### 2.6.2. Pengujian Tanpa Beban (*No-Load Test*).

Pengujian Tanpa Beban (*No-Load Test*) bertujuan untuk menentukan nilai resistansi rugi-rugi inti ( $R_c$ ) dan reaktansi pemagnetan ( $X_m$ ). Pada pengujian ini motor induksi disuplai pada tegangan dan frekuensi nominalnya, serta rotor berputar tanpa terhubung dengan peralatan beban dimana harga slip sangat kecil (mendekati 0,0001 atau lebih kecil).



Gambar 2.13

Pengujian Tanpa Beban (*No Load Test*)<sup>[8]</sup>

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

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

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

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

$$V_{nl} = \frac{V_{ab}}{\sqrt{3}} \text{ Volt/phase}$$

Untuk arus pada no load :

$$I_{nl} = \frac{I_a + I_b + I_c}{3} \text{ Amp}$$

$$Z_{nl} = \frac{V_{nl}}{I_{nl}} \Omega$$

$$R_{nl} = \frac{P_{3\Phi}}{3I_0^2} \Omega$$

$$X_{nl} = \sqrt{Z_{nl}^2 - R_{nl}^2} \Omega$$

$R_c$ , resistansi rugi-rugi inti :

$$P_c = P_{nl} - P_{rs}$$

$$R_c = \frac{E_a^2}{P_c} \Omega/\text{phase}$$

Untuk Daya Aktif dan Reaktif :

$$S_{nl} = \sqrt{3} \cdot V_{nl} \cdot I_{nl}$$

$$Q_{nl} = \sqrt{S_{nl}^2 - P_{nl}^2}$$

Rugi Rugi Stator:

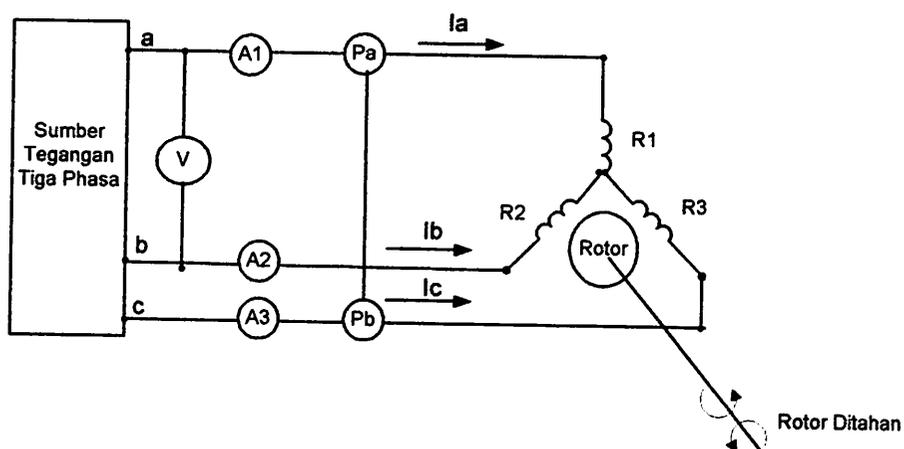
$$P_{rs} = 3I_{nl}^2 \cdot R_s$$

Rugi Gesek, angin, rugi besi :

$$P_{fvc} = P_{nl} - P_{rs}$$

### 2.6.3. Pengujian Rotor Tertahan (*Blocked Rotor Test*).

Tujuan pengujian rotor tertahan adalah untuk menentukan resistansi rotor pada motor induksi. Pada saat pengujian ini perputaran rotor motor induksi dikunci / diblok sehingga slip( $s$ ) sama dengan satu. Suplai tegangan tiga fasa motor induksi adalah tegangan yang nilainya di bawah tegangan nominalnya, yakni tegangan yang dapat menghasilkan arus nominalnya. Sebagai pendekatan, diasumsikan bahwa arus pemagnetan ( $I_m$ ) cukup kecil akibat penurunan suplai tegangan serta motor dalam keadaan tidak berputar ( $s=1$ ) sehingga rugi-rugi inti dapat diabaikan.



Gambar 2.14

Pengujian Rotor Tertahan<sup>[8]</sup>

$P_{3-\phi}$ , daya total yang terukur :

$$P_{3-\phi} = P_a + P_b \text{ Watt} \dots\dots\dots(2.20)$$

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

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

$$P_{br} = \frac{P_{3-\phi}}{3} \text{ Watt/fasa} \dots\dots\dots(2.21)$$

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

$$V_{br} = \frac{V_{ab}}{\sqrt{3}} \text{ V/fasa} \dots\dots\dots(2.22)$$

$I_{br}$ , arus fasa stator :

$$I_{br} = \frac{I_a + I_b + I_c}{3} \text{ Amp} \dots\dots\dots(2.23)$$

$R_{ek}$ , resistansi ekivalen :

$$R_{ek} = \frac{P_{br}}{I_{br}^2} \Omega / \text{fasa} \dots\dots\dots(2.24)$$

Untuk  $R_r'$ , resistansi rotor berpakaian pada stator :

$$R_r' = R_{ek} - R_s \Omega / \text{fasa} \dots\dots\dots(2.25)$$

$Z_{br}$ , Impedansi rotor tertahan :

$$Z_{br} = \frac{V_{br}}{I_{br}} \Omega / \text{fasa} \dots\dots\dots(2.26)$$

$X_{ek}$ , reaktansi ekivalen :

$$X_{ek} = \sqrt{(Z_{br}^2 + R_{ek}^2)} \Omega / \text{fasa} \dots\dots\dots(2.27)$$

Dimana :

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

$$X_s = 0.5 X_{ek} \Omega / \text{phasa.}$$

$$X_r' = 0.5 X_{ek} \Omega / \text{phasa.}$$

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

## **BAB III**

### **FULL ORDER OBSERVER**

#### **3.1. Perancangan Model Full Order Observer.**

Pada motor induksi 3 phasa kecepatan medan putar stator dan kecepatan rotor tidak sama, karena jika hal tersebut sama maka akan terjadi perpotongan medan magnet dengan batang konduktor (disini adalah rotor) sehingga tegangan tidak terinduksi dan arus tidak mengalir pada kumparan jangka rotor, perbedaan kecepatan medan putar stator dan rotor dalam dunia teknik elektro sering disebut dengan slip.

Ada beberapa cara yang dapat digunakan untuk mengestimasi motor induksi 3 phasa, baik pada torsi kecepatan maupun pada posisinya, secara umum hal tersebut di bagi dua, yaitu skalar dan vektor.

Pada estimasi skalar berarti variabel variabel yang di kendalikan adalah hanya magnitudenya saja dan sinyal pengendalinya sebanding dengan nilai DC. Skalar hanya dapat mengestimasi frekuensi stator menggunakan tegangan maupun arus sebagai pengendalinya. Walaupun pengimplementasiannya relatif sederhana dan cepat untuk di program, akan tetapi untuk metode ini memiliki beberapa kelemahan di antaranya respon yang lambat untuk perubahan beban.

Estimasi dengan vektor, tidak hanya pada magnitudenya saja, tetapi juga pada phasa dari variabel-variabel yang di kendalikan. Hasil pengendalinya memberikan keadaan yang lebih dinamis untuk variasi torsi pada batasan

kecepatan yang lebih besar dengan menggunakan metode full order observer dalam menyelesaikan persamaan-persamaanya.

Perancangan estimasi kecepatan motor induksi 3 fasa tanpa sensor kecepatan dengan menggunakan metode Full Order Observer, di mana parameter yang analisa adalah arus dan fluksi dalam kerangka acuan stator, sedangkan kestabilan estimasi kecepatan di dapat dari teori Lyapunov.

Model motor induksi dalam kerangka acuan stator dapat di lihat pada persamaan berikut ini :

$$X = AX + BV_s \dots\dots\dots (3.1)$$

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} I_s \\ \varphi_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_s \\ \varphi_r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_1 \\ 0 \end{bmatrix} V_s$$

$$y = Cx \dots\dots\dots (3.2)$$

di mana :

$$A_{11} = -\{R_s / (\sigma L_s) + (1 - \sigma) / (\sigma T_r)\} = a_{r11} I$$

$$A_{12} = L_m / (\sigma L_s L_r) \{(1 / T_r)I - \omega_r I\} = a_{r12} I + a_{r12} \cdot J$$

$$A_{21} = (L_m / T_r) I = a_{r21} I$$

$$A_{22} = -(1 / T_r) I + \omega_r \cdot I = a_{r22} I + a_{r22} \cdot J$$

$$I_s = [I_{s\alpha} \ I_{s\beta}]^T$$

$$\varphi_r = [\psi_{r\alpha} \ \psi_{r\beta}]^T$$

$$V_s = [V_{s\alpha} \ V_{s\beta}]^T$$

$$\sigma = 1 - L_m^2 / (L_s L_r)$$

$$T_r = L_r / R_r$$

$$b_1 = 1 / (\sigma L_s) I = b_1 \cdot I$$

$$C = [1 \ 0]$$

$$I = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \text{ dan}$$

$$J = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Yang mana parameter dalam Motor Induksi 3 phasa tanpa sensor kecepatan menggunakan metode Full Order Observer :

$R_r$	=	Hambatan pada Rotor ( $\Omega$ )
$R_s$	=	Hambatan pada Stator ( $\Omega$ )
$L_m$	=	Induktansi Mutual (H)
$L_r$	=	Induktansi Rotor (H)
$L_s$	=	Induktansi stator (H)
$\sigma$	=	Koefisien Leakage
$T_r$	=	$L_r/R_r$ (H / $\Omega$ )
$V_s \alpha$	=	Tegangan Stator Sumbu $\alpha$ (V)
$V_s \beta$	=	Tegangan Stator Sumbu $\beta$ (V)
$i_s \alpha$	=	Arus Stator Sumbu $\alpha$ (A)
$i_s \beta$	=	Arus Stator Sumbu $\beta$ (A)
$\Psi_r \alpha$	=	Fluks Rotor Sumbu $\alpha$ (Wb)
$\Psi_r \beta$	=	Fluks Rotor Sumbu $\beta$ (Wb)
$\omega_r$	=	Kecepatan Motor (Rad / S)

Sedangkan model observer yang digunakan adalah model motor yang didasarkan pada kerangka acuan stator dengan persamaan *state space* sebagai berikut :

$$\hat{x} = A \hat{X} + Bu + G (y - \hat{y}) \dots\dots\dots (3.3)$$

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} Is \\ \varphi_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A11 & A12 \\ A21 & A22 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Is \\ \varphi_r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B1 \\ 0 \end{bmatrix} V_s + \begin{bmatrix} g1I + g2J \\ g3I + g4J \end{bmatrix} (y - \hat{y})$$

$$\hat{y} = C \hat{X} \dots\dots\dots (3.4)$$

Matrik A dan C di asumsikan *observerable*. *Observerable* disini maksudnya dari informasi keluaran yang didapat maka *state* dari sistem dapat diketahui pula [1].

Besar gain observer G diperoleh dengan prinsip bahwa pole kestabilan dari k kali ( $k \geq 1$ ) dari pole kestabilan motor atau dapat dikatakan bahwa nilai eigenvalue dari observer adalah k kali dari nilai eigenvalue motor. Misalkan  $\mu$  adalah nilai eigenvalue motor dan  $\lambda$  adalah nilai eigenvalue observer, maka :

$$\det(I \mu - A) = \det(I \lambda - (A - GC)) \dots\dots\dots (3.5)$$

Dari persamaan (3.5) di atas maka besar dari Gain G didapatkan sebagai berikut ini [2]:

$$G = \begin{bmatrix} g1 & g2 & g3 & g4 \\ -g2 & g1 & -g4 & g3 \end{bmatrix}^T \dots\dots\dots (3.6)$$

$$g1 = (k-1) (a_{r11} + a_{r22}) \dots\dots\dots (3.7)$$

$$g2 = (k-1) a_{i22} \dots\dots\dots (3.8)$$

$$g3 = -c (k-1) (a_{r11} + a_{r22}) \dots\dots\dots (3.9)$$

$$g_4 = -c(k-1) a_{i22} \dots \dots \dots (3.10)$$

Karena Motor Induksi adalah stabil, maka Observer yang di gunakan juga stabil.

### 3.2. Estimasi Kecepatan.

Estimasi kecepatan merupakan perkiraan (penilaian) kecepatan dari motor induksi 3 phasa.

#### 3.2.1. Estimasi Kecepatan Berdasarkan Teori Kestabilan Lyapunov.

Dalam pengestimasian arus stator dan fluks rotor, nilai kecepatan sangat di butuhkan, akan tetapi tanpa penggunaan sensor kecepatan nilai dari kecepatan motor tidak dapat diketahui, karena itu di tambahkan algoritma pengestimasian kecepatan motor. Pengestimasian kecepatan motor ini didasarkan pada teori kestabilan Lyapunov. Dari persamaan (3.1), (3.3), (3.4) di atas di dapat persamaan estimasi kesalahan sebagai berikut :

$$\frac{d}{dt} e = (A - GC) e - \Delta A \hat{x} \dots \dots \dots (3.11)$$

di mana,

$$e = x - \hat{x}$$

$$c = (\sigma L_s L_r) / L_m$$

$$\Delta A = \hat{A} - A = \begin{bmatrix} O_s & -\Delta\omega r J / c \\ O_2 & \Delta\omega r J \end{bmatrix}$$

$$\Delta\omega r = \hat{\omega} r - \omega r$$

Dengan mengajukan Lyapunov *function candidate* :

$$V = e^T e + (\hat{\omega}r - \omega r)^2 / \lambda \dots\dots\dots (3.12)$$

Dimana  $\lambda$  merupakan konstanta positif, maka turunan terhadap waktu dari  $V$  adalah :

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} V &= e^T [(A - GC)^T + (A - GC)]e \\ &\quad - [\hat{x}^T \Delta A^T e + e^T \Delta A \hat{x}] \\ &\quad + 2\Delta\omega r \frac{d}{dt} \hat{\omega}r / \lambda \end{aligned} \quad (3.13)$$

Dengan mengasumsikan bahwa nilai  $\psi r = \hat{\psi}r$ , maka

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} V &= e^T [(A - GC)^T + (A - GC)]e \\ &\quad - 2 \frac{\Delta\omega r J}{c} (\hat{\psi}r \beta i_{sa} - \hat{\psi}r \alpha i_{s\beta}) \\ &\quad + 2\Delta\omega r \frac{d}{dt} \hat{\omega}r / \lambda \end{aligned} \quad (3.14)$$

Kesalahan dinamik dari observer akan stabil jika turunan  $V$  adalah *definite* negatif. Nilai gain matriks  $G$  yang telah didapatkan pada perhitungan *observer gain* adalah bernilai *semidefinite* negatif. Karena itu nilai dari matriks dalam tanda kurung  $[(A - GC)^T + (A - GC)]$  *semidefinite* negatif. Jadi turunan  $V$  akan *definite*

negatif jika persamaan (3.14) untuk baris kedua dan baris ketiga bernilai nol, seperti yang ditunjukkan pada persamaan (3.15)

$$0 = -2 \frac{\Delta \omega r}{c} (\hat{\psi}_r \beta i_{sa} - \hat{\psi}_r \alpha i_{s\beta}) + 2 \Delta \omega r \frac{d}{dt} \hat{\omega}_r / \lambda \dots \dots \dots (3.15)$$

Dari persamaan (3.15) di atas, maka persamaan kecepatan estimasi dapat diperoleh sebagai berikut:

$$\frac{d}{dt} \hat{\omega}_r = \lambda (\hat{\psi}_r \beta i_{sa} - \hat{\psi}_r \alpha i_{s\beta}) / c \dots \dots \dots (3.16)$$

Dengan  $K_i = \lambda / c$  adalah Gain Integral, maka persamaan estimasi kecepatan dapat diperoleh sebagai berikut:

$$\hat{\omega}_r = K_i \int (\hat{\psi}_r \beta i_{sa} - \hat{\psi}_r \alpha i_{s\beta}) dt \dots \dots \dots (3.17)$$

Untuk meningkatkan respon sistem maka persamaan estimasi kecepatan dimodifikasi menjadi:

$$\hat{\omega}_r = K_p \int (\hat{\psi}_r \beta i_{sa} - \hat{\psi}_r \alpha i_{s\beta}) + K_i \int (\hat{\psi}_r \beta i_{sa} - \hat{\psi}_r \alpha i_{s\beta}) dt \dots \dots \dots (3.18)$$

di mana ;

$\hat{\omega}_r$  = Kecepatan estimasi angular motor (Rad/s)

$\hat{\psi}_r \alpha$  = Fluks rotor estimasi sumbu  $\alpha$  (Wb)

$\hat{\psi}_r \beta$  = Fluks rotor estimasi sumbu  $\beta$  (Wb)

$i_{sa}$  = arus stator sumbu  $\alpha$  (A)

$i_{s\beta}$  = arus stator sumbu  $\beta$  (Wb)

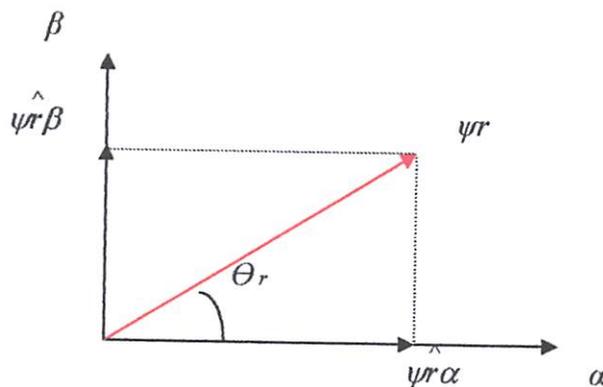
Masukan pada sistem adalah arus sumbu dq dengan menggunakan pengendali PI. Dekopling digunakan agar sistem yang dikendalikan bersifat linier. Pengendali PI, dekopling, dan fluks model tidak dibahas pada skripsi ini, sedangkan PWM (Pulse Width Modulation) digunakan untuk membentuk sinyal berupa pulsa-pulsa dengan lebar pulsa yang berbeda-beda sesuai dengan sinyal masukannya. Theta fluks memberikan informasi tentang magnitude dan posisi sudut dari fluks rotor dan torsi seperti yang ditunjukkan dalam persamaan berikut ini :

$$i_{mr} = \frac{\sqrt{\hat{\psi}_\alpha^2 + \hat{\psi}_\beta^2}}{L_m} \dots\dots\dots (3.19)$$

$$\omega_e = p \omega_r + \frac{R_r}{L_r} \frac{\dot{i}_{sq}^*}{\dot{i}_{mr}} \dots\dots\dots (3.20)$$

$$T_e = N (1 - \sigma) L_s i_{sq} i_{mr} \dots\dots\dots (3.21)$$

Sedangkan diagram posisi sudut fluks Rotor didapatkan dari analisa vektor berikut:



Grafik 3.1

## Vektor Fluks Rotor

Dari gambar vektor fluks rotor diatas, maka persamaan posisi sudut rotor adalah :

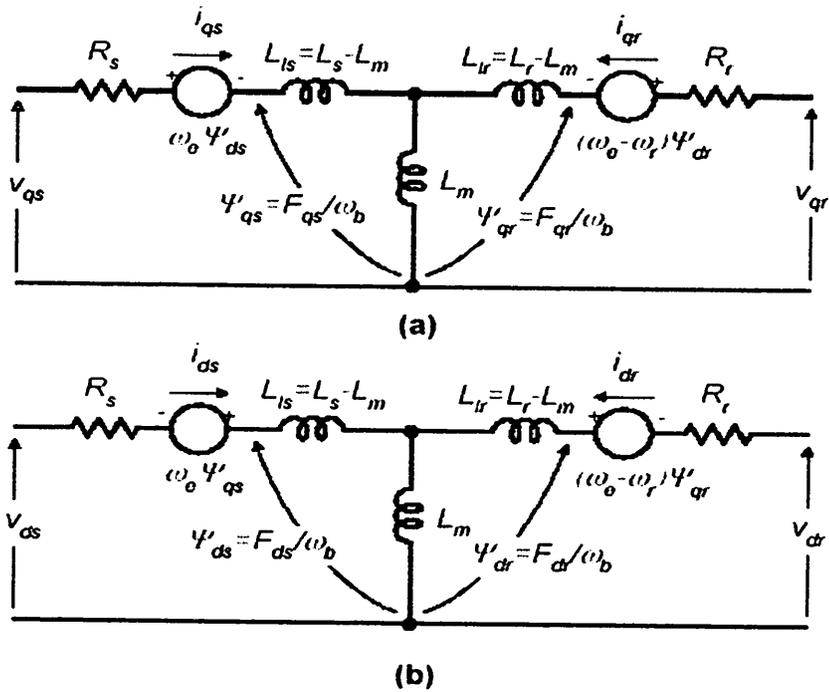
$$\hat{\theta}_r = \arctan\left(\frac{\psi\beta}{\psi\alpha}\right) \dots\dots\dots (3.22)$$

### 3.2.2. Estimasi Kecepatan Motor Induksi Dengan Metode Full Order Observer.

Di dalam perhitungan dan analisa dengan metode full order observer model menggunakan panah/garis vektor kendali yang dapat dipahami dengan penggunaan panah/garis vektor teori. 3 Phasa motor mempertimbangkan beberapa parameter ( seperti tegangan, arus stator, fluks maknetis, dll.) dinyatakan dalam kaitan dengan panah/garis vektor kompleks.

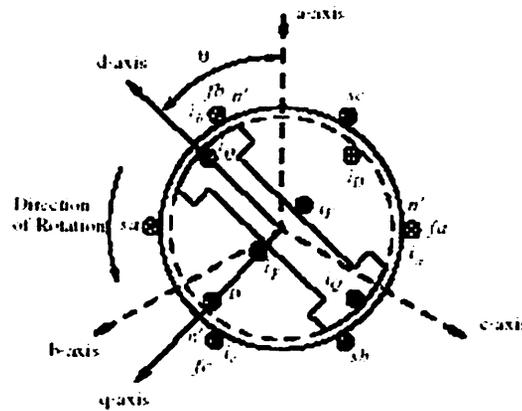
Model seperti itu adalah variasi arus dan fluksi seketika/spontan dan cukup menguraikan pencapaian mesin di bawah posisi mantap, untuk sementara operasi. panah/garis vektor yang kompleks penggunaanya dapat diuraikan hanya dua sumbu ortogonal. Motor dapat dipertimbangkan suatu 2 phasa mesin. Penggunaan suatu 2 phasa model motor mengurangi banyaknya penyamaan dan menyederhanakan desain kendali.

Untuk dapat melakukan estimasi kecepatan maka rangkaian ekivalen harus dirubah dalam bentuk rangkaian dq.



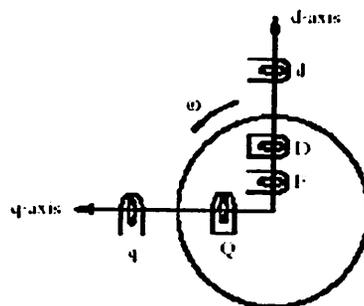
Gambar 3.1

Rangkaian Ekivalen dq Motor Induksi [2]



Gambar 3.2

Diagram Sumbu dq Motor Induksi [2]



Gambar 3.3

Bentuk Sumbu dq Ekuivalen [2]

Mengasumsikan bahwa  $i_{sa}$ ,  $i_{sb}$ ,  $i_{sc}$  adalah arus stator tiga fasa seimbang yang seketika/spontan:

$$i_{sa} + i_{sb} + i_{sc} = 0$$

Kemudian adalah untuk menggambarkan panah/garis vektor arus stator motor induksi sebagai berikut:

$$i_s = k (i_{sa} + a i_{sb} + a^2 i_{sc})$$

dimana,

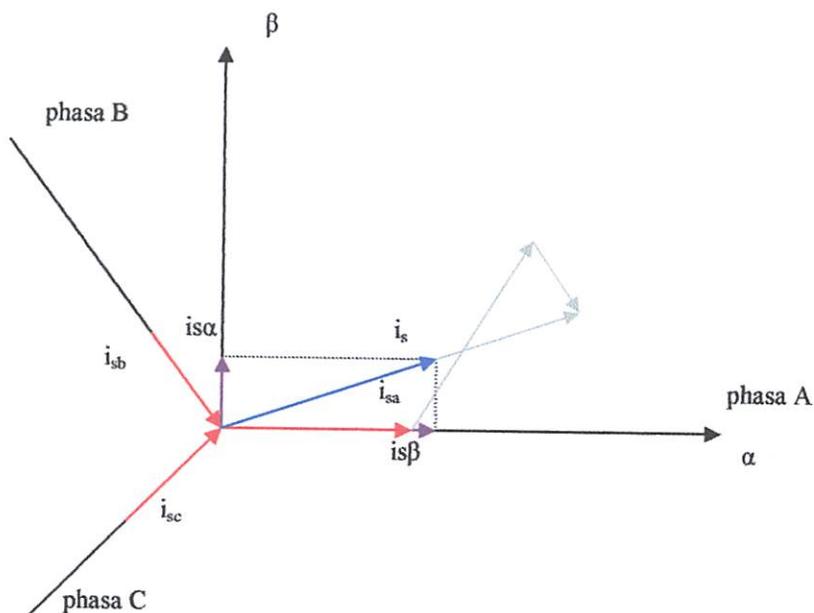
$a$  dan  $a^2$  = Operasi ruang operasi

$a$  =  $e^{j2\pi/3}$

$a^2$  =  $e^{j4\pi/3}$

$k$  = Konstanta tranformasi motor ( $k = 2/3$ )

Gambar berikut ini menunjukkan panah/garis vektor proyeksi arus stator pada motor induksi.



Gambar 3.4

#### Vektor Proyeksi Arus Stator Pada Motor Induksi [2]

Panah/Garis vektor yang digambarkan oleh persamaan di atas dapat dinyatakan pemanfaatan dua sumbu teori dengan bagian bagian riilnya. Panah/garis vektor dengan nilai seketika/spontan dari di bagi menjadi dua yaitu

*direct axis* (sumbu direct) biasa disebut dengan sumbu horizontal di dalam komponen arus stator. Dan *quadrature axis* (sumbu quadrature) biasa disebut dengan sumbu vertical. Dalam kerangka acuan yang terkait dengan stator, dapat dinyatakan :

$$i_s = i_{sa} + j i_{s\beta}$$

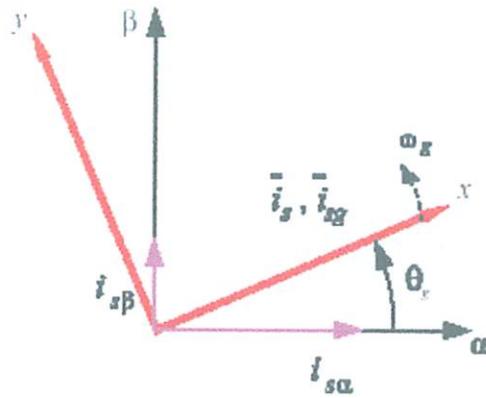
Di dalam 3 fasa mesin simetris arus stator poros kwadratur adalah samaran *quadrature* fasa ( 2 fasa) dengan komponen arus, yang dihubungkan dengan 3 fasa stator arus yang nyata. Maka persamaanya menjadi :

$$i_{sa} = k( i_{sa} - \frac{1}{2} i_{sb} + \frac{1}{2} i_{sc} )$$

$$i_{s\beta} = k \frac{\sqrt{3}}{2} ( i_{sb} - i_{sc} )$$

Ketika  $i_{sa}$  dan  $i_{s\beta}$  sudah mempunyai besaran nilai, maka  $i_{sa}$  dan  $i_{s\beta}$  dapat di cari nilai  $i_{sd}$  dan  $i_{sq}$ . yaitu dengan cara rotasi orthogonal sistem koordinat  $\alpha, \beta$  yang mempunyai persamaan :

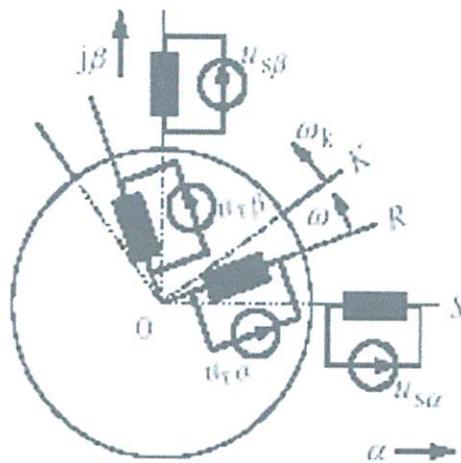
$$\begin{bmatrix} i_{sd} \\ i_{sq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \vartheta & \sin \vartheta \\ -\sin \vartheta & \cos \vartheta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{sa} \\ i_{s\beta} \end{bmatrix}$$



Gambar 3.5

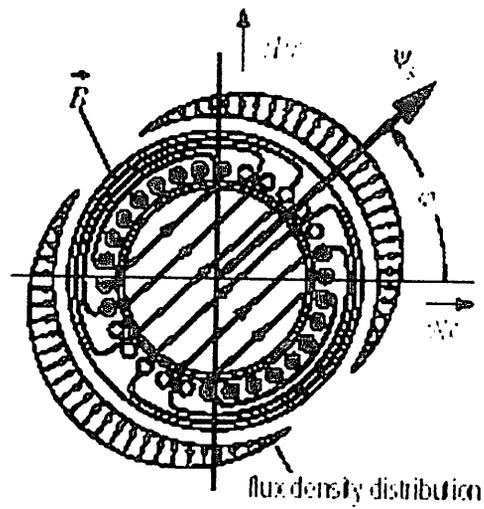
### Vektor Proyeksi $\alpha$ , $\beta$ Pada Motor Induksi <sup>[2]</sup>

Karena suatu uraian yang menyangkut motor induksi, mempertimbangkan 3 fasa yang simetris pada celah udara (*air gap*) dari motor induksi tersebut. Persamaan fluksi rotor dan juga tegangan (voltage) dapat dinyatakan seperti berikut ini:



Gambar 3.6

### Koordinat Sistem Tegangan (U)



Gambar 3.7

Density Fluks <sup>2)</sup>

$$U_{sa} = R_s I_{sa}$$

$$U_{s\beta} = R_s I_{s\beta}$$

$$\Psi_{ra} = L_r i_{ra} + \psi_m \cos(\theta_r)$$

$$\Psi_{r\beta} = L_r i_{r\beta} + \psi_m \cos(\theta_r)$$

Untuk mencari nilai *fluksi rotor d* dan *fluksi rotor q* memakai persamaan sebagai berikut :

$$\Psi_{rd} = L_r i_{sd} + \psi_m$$

$$\Psi_{rq} = L_r i_{sq}$$

Besar nilai dari fluksi rotor didapat dari *isd* dan *isq*.

$$\hat{\psi}_r = \left( \frac{1}{i_{sd}} + \frac{1}{i_{sq}} \right)$$

Dimana :

$\alpha, \beta$  = Sistem orthogonal koordinat cartesian

$U_{s\alpha, \beta}$  = Tegangan Stator  $\alpha, \beta$

$i_{s\alpha, \beta}$  = Arus stator  $\alpha, \beta$

$\psi_{r\alpha, \beta}$  = Fluksi Rotor  $\alpha, \beta$

$R_s$  = Resistansi stator phasa

$L_r$  = Induktansi rotor phasa

$\theta_r$  = Koordinat sistem posisi rotor

Persamaan estimasi kecepatan dapat diperoleh sebagai berikut:

$$\hat{\omega}_r = Ki \int (\hat{\psi}_{r\beta} i_{s\alpha} - \hat{\psi}_{r\alpha} i_{s\beta}) dt$$

Untuk meningkatkan kestabilan sistem maka persamaan estimasi kecepatan menjadi:

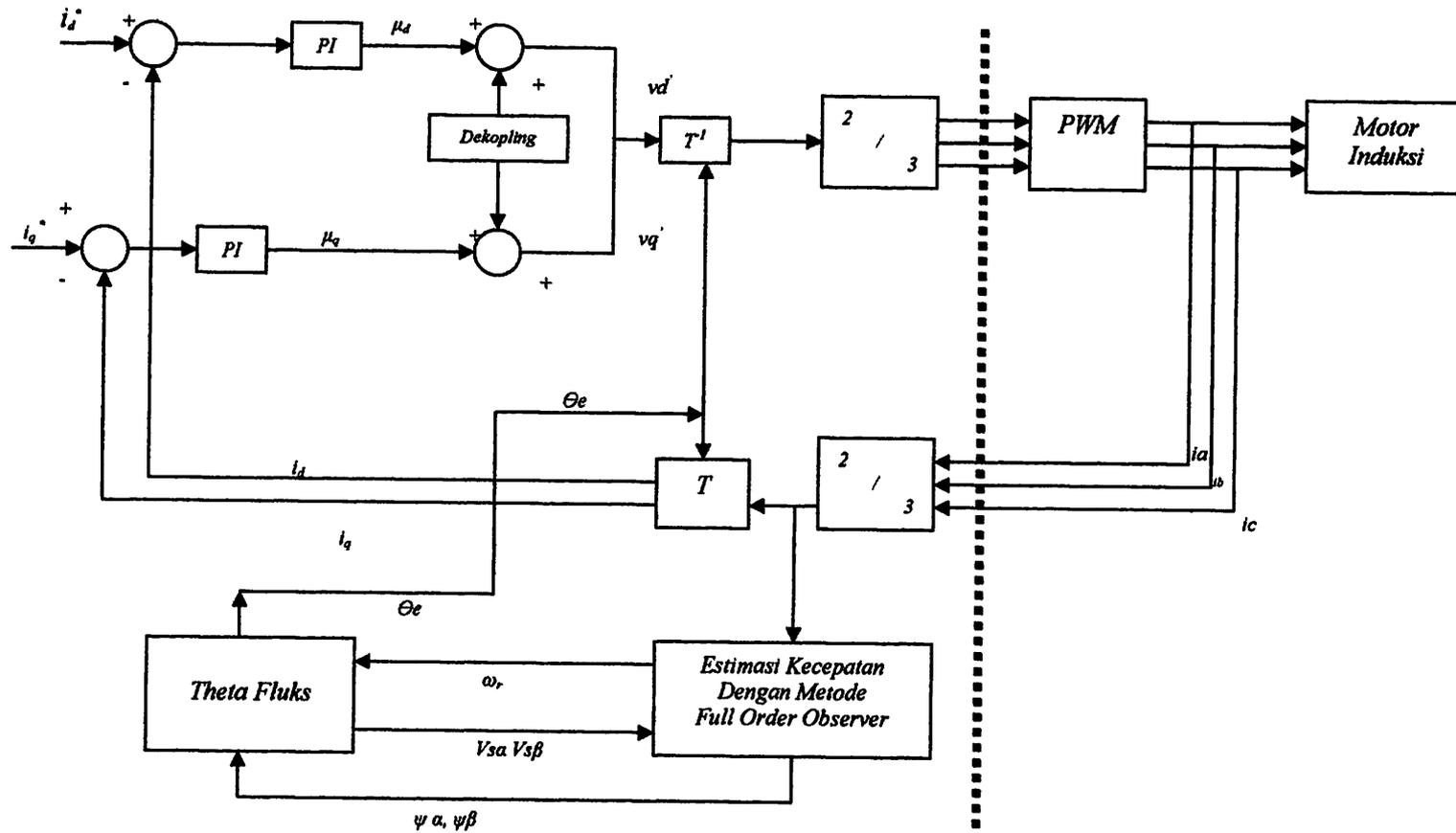
$$\hat{\omega}_r = Kp \int (\hat{\psi}_{r\beta} i_{s\alpha} - \hat{\psi}_{r\alpha} i_{s\beta}) + Ki \int (\hat{\psi}_{r\beta} i_{s\alpha} - \hat{\psi}_{r\alpha} i_{s\beta}) dt$$

Dimana untuk konstanta pengendali metode full order observer

No	Konstanta Pengendali	Symbol	Nilai
1	Proposional pengendali kecepatan estimasi	$Kp$	8
2	Integrator pengendali kecepatan estimasi	$Ki$	64

Tabel 3.1

Konstanta Pengendali



Gambar 3.8

Blok Diagram Motor Induksi 3 Fasa Tanpa Sensor Kecepatan Dengan Full Order Observer <sup>[12]</sup>.

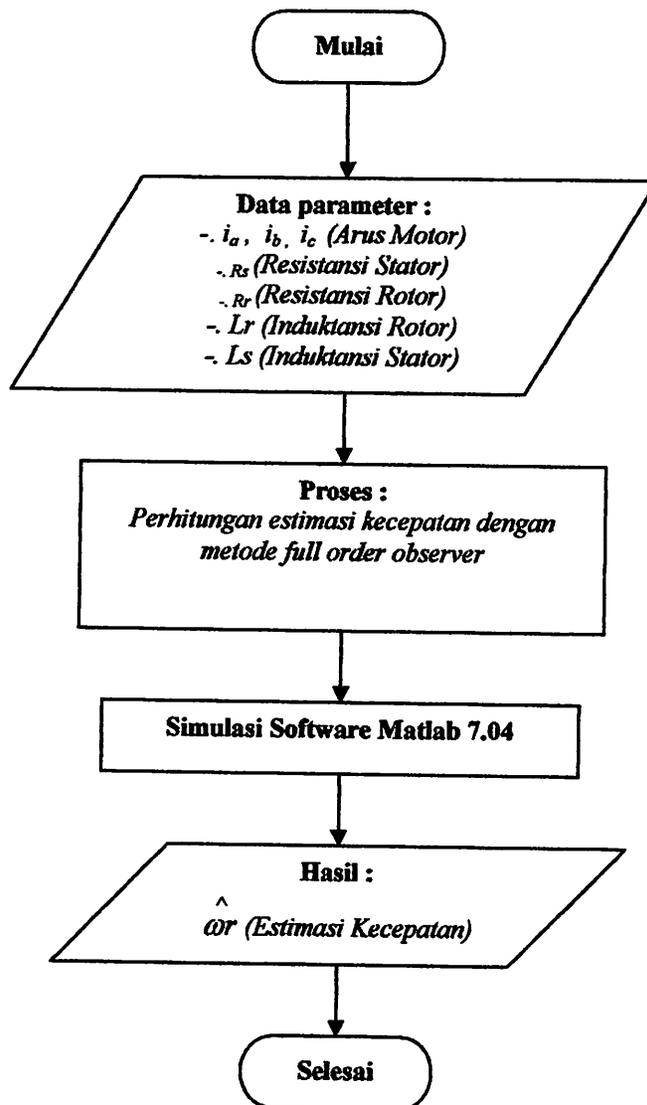
### **3.3. Algoritma Full Order Observer.**

#### **3.3.1. Algoritma pemecahan masalah secara umum.**

Urutan didalam estimasi kecepatan motor induksi 3 phasa dengan metode full order observer adalah sebagai berikut :

- 1            Pengujian parameter motor induksi 3 phasa
  - A   Pengujian arus searah (*DC Test*)
  - B   Pengujian tanpa beban (*No Load Test*)
  - C   Pengujian rotor tertahan (*Blocked Rotor Test*)
- 2            Menghitung estimasi kecepatan motor induksi 3 phasa dengan metode full order observer
- 3            Membentuk simulasi full order observer motor induksi 3 phasa dengan software Matlab versi 7.04.
- 4            Menjalankan simulasi full order observer motor induksi 3 phasa dengan parameter motor induksi yang telah dimasukkan
- 5            Menampilkan hasil simulasi full order observer dalam bentuk grafik arus, fluksi, dan estimasi kecepatan.

### 3.3.2. Flowchart Full Order Observer.



**BAB IV**  
**ANALISA FULL ORDER OBSERVER**  
**DAN HASIL SIMULASI**

Untuk menentukan parameter dari motor induksi 3 phasa yang akan dianalisa maka dapat dilakukan dengan mengambil parameter dengan melakukan pengujian.

**4.1. Pengujian Parameter Motor Induksi.**

**4.1.1. Alat-alat yang digunakan.**

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

Data papan (*Name Plate*)

<b>TEGANGAN</b>	<b>: 220/380 (<math>\Delta/Y</math>) VOLT</b>
<b>ARUS</b>	<b>: 4.3/2.5 (<math>\Delta/Y</math>) AMPERE</b>
<b>COS <math>\phi</math></b>	<b>: 0.83</b>
<b>FREKUENSI</b>	<b>: 50 HZ</b>
<b>DAYA</b>	<b>: 1.1 KW</b>
<b>PUTARAN</b>	<b>: 2820 RPM</b>
<b>KUTUP</b>	<b>: 2 KUTUP</b>
<b>KELAS ISOLASI</b>	<b>: F</b>

- b. Voltmeter = *DE LORENZO DL 1031*
- c. Amperemeter = *DE LORENZO DL 1031*
- d. Wattmeter 3 phasa = *DE LORENZO DL 1031*
- e. Tachometer = *DE LORENZO 2026*
- f. AC voltage Regulator dan DC Supply = *DE LORENZO 1013 M2*
- g. Current Break = *DE LORENZO*

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

<i>No</i>	<i>Vdc (Volt)</i>	<i>I (Ampere)</i>
1	4	0.75
2	6	1.12
3	8	1.44
4	10	1.78
5	12	2.14

Tabel 4.1

Data Hasil Pengujian Arus Searah

#### 4.1.3. Pengujian Tanpa Beban (*No Load Test*).

<i>I<sub>motor</sub> (Ampere)</i>			<i>P<sub>3 Phase</sub></i> <i>(WATT)</i>	<i>V<sub>L-L</sub></i> <i>(Volt)</i>	<i>Frekuensi</i> <i>(Hz)</i>
<i>R</i>	<i>S</i>	<i>T</i>			
0.59	0.68	0.59	90	220	50

Tabel 4.2

Data Hasil Pengujian Beban Nol

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

<i>I<sub>motor</sub> (Ampere)</i>			<i>P<sub>3 Phase</sub></i> <i>(WATT)</i>	<i>V<sub>L-L</sub></i> <i>(Volt)</i>
<i>R</i>	<i>S</i>	<i>T</i>		
<i>2.01</i>	<i>2.03</i>	<i>1.95</i>	<i>140</i>	<i>65</i>

Tabel 4.3

Data Hasil Pengujian Motor Rotor Tertahan

#### 4.2. Analisa Parameter Motor Induksi.

A. Dari pengujian arus searah (*DC Test*)

Dengan menggunakan persamaan :

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

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

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

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

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

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

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

*B. Dari pengujian Tanpa Beban (No Load Test)*

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

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

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

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

$$X_{tb} = \sqrt{Z_{tb}^2 - R_{tb}^2}$$

$$= \sqrt{205^2 - 78^2} = 189.58\Omega$$

*C. Dari Rotor tertahan (Blocked Rotor Test)*

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

$$I_{br} = \frac{2.01 + 2.03 + 1.97}{3} = 2.0A$$

$$Z_{br} = \frac{V}{\sqrt{3}I_{br}} = \frac{65}{\sqrt{3} \times 2} = 18.76\Omega$$

$$R_r = \frac{P_{(3\Phi)}}{3I_r^2} = \frac{140}{3 \cdot (2^2)} = 11.78\Omega$$

$$X_{br} = \sqrt{Z_{br}^2 - R_{br}^2}$$

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

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

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

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

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

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

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

$$= 189.58 - 7.3$$

$$= 182.28 \Omega$$

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

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

$$= 11.67 - 5.49$$

$$= 6.18$$

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

$$X_{rr} = 7.3 + 182.58 = 189.58 \Omega$$

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

$$= 6.18 \cdot \left( \frac{189.58}{182.28} \right)^2 = 6.68 \Omega$$

<i>R<sub>s</sub></i>	<i>R'<sub>r</sub></i>	<i>X<sub>s</sub></i>	<i>X'<sub>r</sub></i>	<i>X<sub>m</sub></i>
5.49	6.68	7.3	7.3	182.28

Tabel 4.4

#### Hasil Perhitungan Pengujian Parameter Motor Induksi Tiga Phasa

Setelah mendapatkan data parameter motor induksi berdasarkan pengujian tersebut maka dapat dilakukan perhitungan estimasi kecepatan dengan metode full order observer dan dapat simulasikan dengan blok simulink Matlab versi 7.04 yang telah dibentuk.

### 4.3. Estimasi Kecepatan Dengan Metode Full Order Observer.

Perancangan estimasi kecepatan motor induksi 3 fase tanpa sensor kecepatan dengan menggunakan metode Full Order Observer, di mana parameter yang analisa adalah arus stator dan fluksi rotor.

Dari pengujian data parameter motor induksi 3 fase dapat dilakukan perhitungan kecepatan dengan metode full order observer, dengan langkah sebagai berikut :

Mengasumsikan bahwa  $i_{sa}$ ,  $i_{sb}$ ,  $i_{sc}$  adalah arus stator tiga fase seimbang yang seketika/spontan:

$$i_{sa} + i_{sb} + i_{sc} = 0$$

Dari data pengujian parameter motor induksi di atas dapat diketahui besar  $i_{sa}$ ,  $i_{sb}$ ,  $i_{sc}$  adalah sebagai berikut ini :

$$i_{sa} = 0.59 \text{ Amp}$$

$$i_{sb} = 0.68 \text{ Amp}$$

$$i_{sc} = 0.59 \text{ Amp}$$

Dari besar nilai  $i_{sa}$ ,  $i_{sb}$ ,  $i_{sc}$  dapat di hitung besar nilai  $i_{sa}$  dan  $i_{s\beta}$  dengan menggunakan persamaan :

$$i_{sa} = k \left( i_{sa} - \frac{1}{2} i_{sb} + \frac{1}{2} i_{sc} \right)$$

$$i_{s\beta} = k \frac{\sqrt{3}}{2} (i_{sb} - i_{sc})$$

Dimana  $k$  = Konstanta tranformasi motor ( $k = \frac{2}{3}$ )

Perhitungan  $i_{sa}$  :

$$\begin{aligned}
 i_{sa} &= k \left( i_{sa} - \frac{1}{2} i_{sb} + \frac{1}{2} i_{sc} \right) \\
 &= \frac{2}{3} \left( 0.59 - \frac{1}{2} 0.68 + \frac{1}{2} 0.59 \right) \\
 &= \frac{2}{3} (0.59 - 0.34 + 0.295) \\
 &= \frac{2}{3} (0.545) \\
 &= 0.363 \text{ Amp}
 \end{aligned}$$

Perhitungan  $i_{s\beta}$ :

$$\begin{aligned}
 i_{s\beta} &= k \frac{\sqrt{3}}{2} (i_{sb} - i_{sc}) \\
 &= k \frac{\sqrt{3}}{2} (0.68 - 0.59) \\
 &= k \frac{\sqrt{3}}{2} (0.09) \\
 &= k (0.078), \text{ dimana } k = \text{Konstanta transformasi motor } (k = \frac{2}{3}) \\
 &= \frac{2}{3} (0.078) \\
 &= 0.052 \text{ Amp}
 \end{aligned}$$

Ketika  $i_{sa}$  dan  $i_{s\beta}$  sudah mempunyai besaran nilai, maka  $i_{sa}$  dan  $i_{s\beta}$  dapat di cari nilai  $i_{sd}$  dan  $i_{sq}$ , yaitu dengan cara rotasi orthogonal sistem koordinat  $\alpha, \beta$  yang mempunyai persamaan :

$$\begin{bmatrix} i_{sd} \\ i_{sq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \vartheta & \sin \vartheta \\ -\sin \vartheta & \cos \vartheta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{sa} \\ i_{s\beta} \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned}
 &= \begin{bmatrix} \cos 45^\circ & \sin 45^\circ \\ -\sin 45^\circ & \cos 45^\circ \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.363 \\ 0.052 \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} 0.525 & 0.851 \\ -0.851 & 0.525 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.363 \\ 0.052 \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} 2.36 \\ 3.36 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

$$\begin{bmatrix} i_{sd} \\ i_{sq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.36 \\ 3.36 \end{bmatrix}$$

$$i_{sd} = 2.36 \text{ Ampere}$$

$$i_{sq} = 3.36 \text{ Ampere}$$

Perhitungan untuk tegangan (voltage)  $U_{sa}$  dan  $U_{s\beta}$  :

Perhitungan  $U_{sa}$

$$U_{sa} = R_s I_{sa}$$

$$= (5.49) 0.363$$

$$= 1.993 \text{ Volt}$$

Perhitungan  $U_{s\beta}$

$$U_{s\beta} = R_s I_{s\beta}$$

$$= (5.49) 0.052$$

$$= 0.286 \text{ Volt}$$

Maka besar  $U_{sa} = 1.993 \text{ Volt}$  dan besar  $U_{s\beta} = 0.286 \text{ Volt}$ .

Untuk perhitungan fluksi rotor  $\alpha$  dan fluksi rotor  $\beta$  menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\hat{\psi}_r \alpha = L_r i_{s\alpha} + \psi_m \cos(\theta_r)$$

$$\hat{\psi}_r \beta = L_r i_{s\beta} + \psi_m \cos(\theta_r)$$

Untuk mencari nilai  $\psi_{ms}$

$$\psi_{ms} = x_m \left( \frac{\psi_s}{X_s} \right)$$

$$\psi_{mr} = x_m \left( \frac{\psi_r}{X_r} \right)$$

$$= 182.28 \left( \frac{\psi_r}{7.3} \right)$$

$$= 24.97 \text{ Wb}$$

Untuk mencari nilai  $L_r$

$$XL_r = 2\pi f$$

$$L_r = \frac{2\pi f}{X_r}$$

$$= \frac{2.3.14.50}{7.3}$$

$$= 43.014 \text{ H}$$

Besar nilai dari fluksi rotor didapat dari  $i_{sd}$  dan  $i_{sq}$

$$\hat{\psi}_r = \left( \frac{1}{i_{sd}} + \frac{1}{i_{sq}} \right)$$

$$= \left( \frac{1}{2.36} + \frac{1}{3.36} \right)$$

$$= 0.126 \text{ Wb.}$$

Perhitungan  $\hat{\psi}_r \alpha$

$$\hat{\psi}_r \alpha = L_r i_{s\alpha} + \psi_m \cos(\theta_r)$$

$$= (43.014 \cdot 0.363) + 24.97 \cos 45^\circ$$

$$\begin{aligned}
 &= (15.614) + (24.97 \cdot 0.525) \\
 &= (15.614) + (13.109) \\
 &= 28.723 \text{ Wb}
 \end{aligned}$$

Perhitungan  $\hat{\psi r \beta}$

$$\begin{aligned}
 \hat{\psi r \beta} &= Lr i_{s\beta} + \psi_m \cos(\theta_r) \\
 &= (43.014 \cdot 0.052) + 24.97 \cos 45^\circ \\
 &= (2.237) + (24.97 \cdot 0.525) \\
 &= (2.237) + (13.109) \\
 &= 15.346 \text{ Wb}
 \end{aligned}$$

Persamaan estimasi kecepatan dapat diperoleh sebagai berikut:

$$\hat{\omega r} = Ki \int (\hat{\psi r \beta} i_{sa} - \hat{\psi r \alpha} i_{s\beta}) dt$$

Untuk meningkatkan kestabilan sistem maka persamaan estimasi kecepatan menjadi:

$$\begin{aligned}
 \hat{\omega r} &= Kp \int (\hat{\psi r \beta} i_{sa} - \hat{\psi r \alpha} i_{s\beta}) + Ki \int (\hat{\psi r \beta} i_{sa} - \hat{\psi r \alpha} i_{s\beta}) dt \\
 &= Kp \int (15.346 \cdot 0.363 - 28.723 \cdot 0.052) + Ki \int (15.346 \cdot 0.363 - 28.723 \cdot \\
 &0.052) dt \\
 &= 8 \int (5.571 - 1.494) + 64 \int (5.571 - 1.494) dt \\
 &= 8 \int (4.077) + 64 \int (4.077) dt \\
 &= 293.544 \text{ Rad/s}
 \end{aligned}$$

Nilai Estimasi kecepatan dalam Rad / s adalah = 293.544 Rad/s

Nilai estimasi kecepatan dalam rpm adalah:

$$\hat{\omega}r = \frac{2\pi nr}{60}$$

$$293.544 = \frac{2\pi nr}{60}$$

$$2\pi nr = 17612.64$$

$$nr = 2804.561 \text{ rpm.}$$

Nilai kesalahan adalah sebagai berikut :

$$= \left| \frac{\text{nilai.perhitungan} - \text{nilai.sebenarnya}}{\text{nilai.perhitungan}} \right| \times 100 \%$$

$$= \left| \frac{2804.561 - 2820}{2804.561} \right| \times 100 \%$$

$$= 0.55 \%$$

Name plate motor	Estimasi kecepatan Foo		Kesalahan
2820 rpm	$\hat{\omega}r$	293.544 Rad/s	0.55 %
		2804.561 rpm	

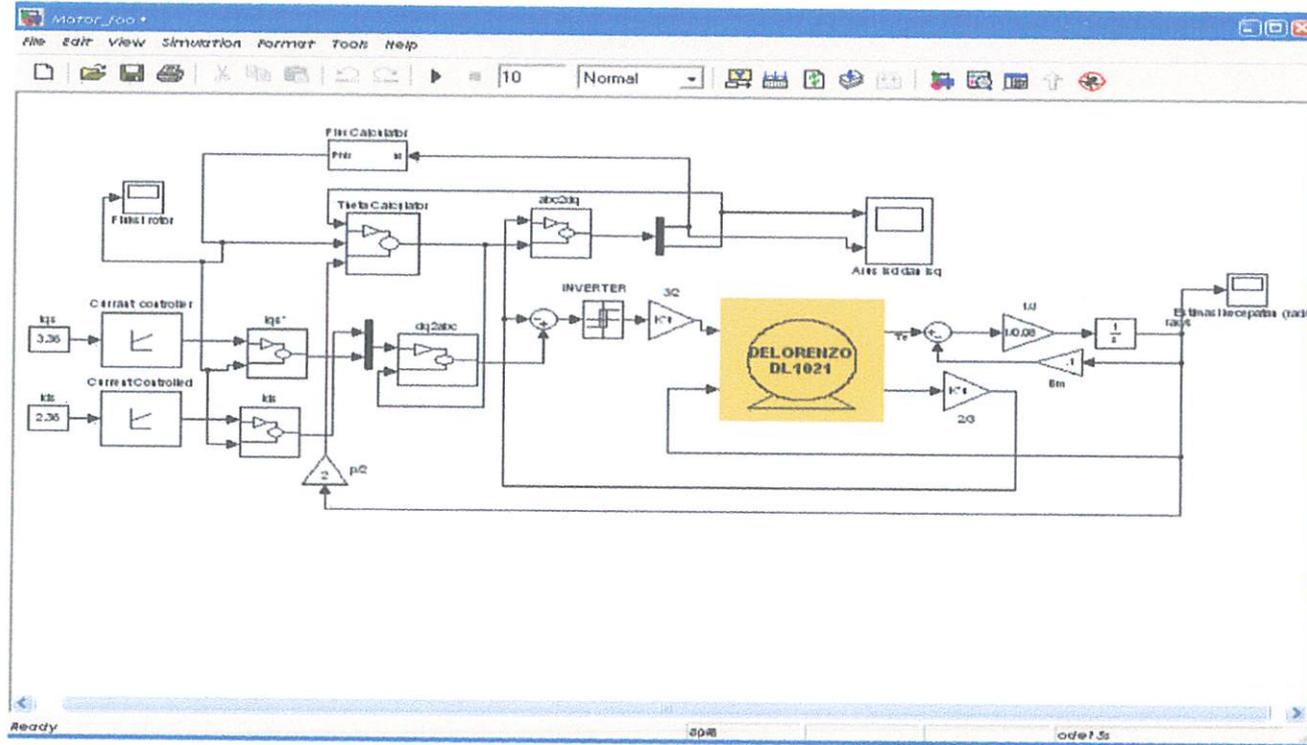
Tabel 4.5

Hasil Perbandingan Kecepatan Name Plate Motor Dan Perhitungan Estimasi Kecepatan Dengan Foo.

#### **4.4. Simulasi Estimasi Kecepatan Dengan Metode Full Order Observer.**

Simulasi untuk estimasi kecepatan motor induksi 3 phasa menggunakan software Matlab versi 7.04. Blok simulink merupakan blok simulasi estimasi kecepatan dengan metode full order observer.

Tampilan Blok Simulink Matlab 7.04.



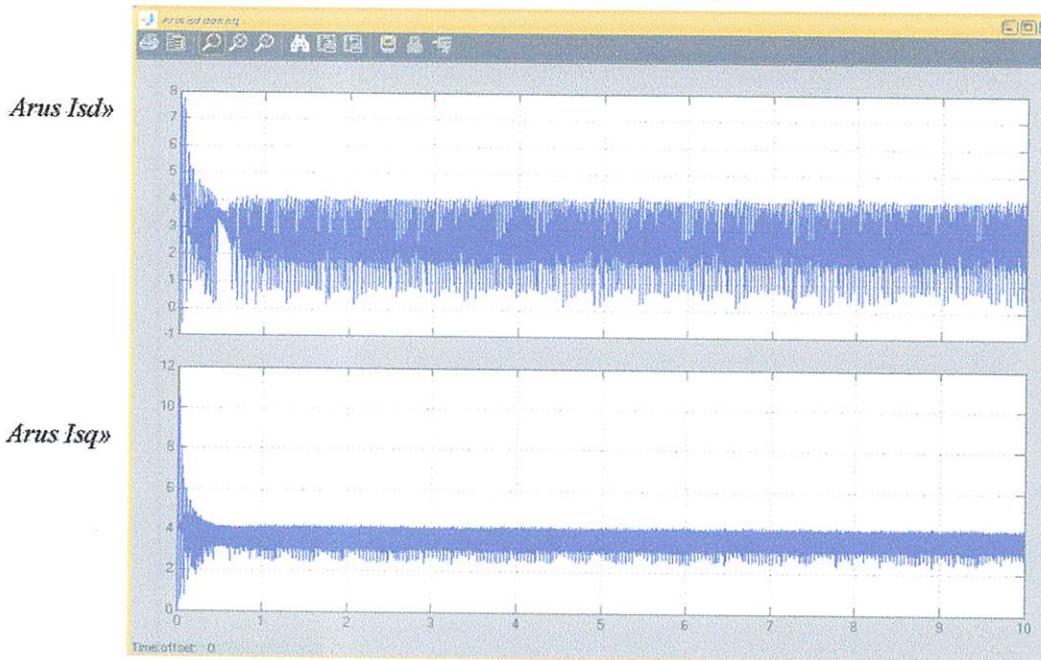
Gambar 4.1

Blok Simulink Full Order Observer

#### **4.5. Hasil Simulasi.**

Setelah diperoleh model blok simulink Matlab versi 7.04 dari rangkaian estimasi kecepatan motor induksi, maka selanjutnya dilakukan simulasi dengan menggunakan parameter motor induksi yang telah ada. Simulasi dilakukan selama 0-10 Second ( detik ). Beban awal adalah nol, Selanjutnya beban akan berubah seiring perubahan waktu, Simulasi dihentikan hingga tercapai keadaan *steady state*.

Grafik arus  $i_{sd}$  dan arus  $i_{sq}$ .



Grafik 4.1

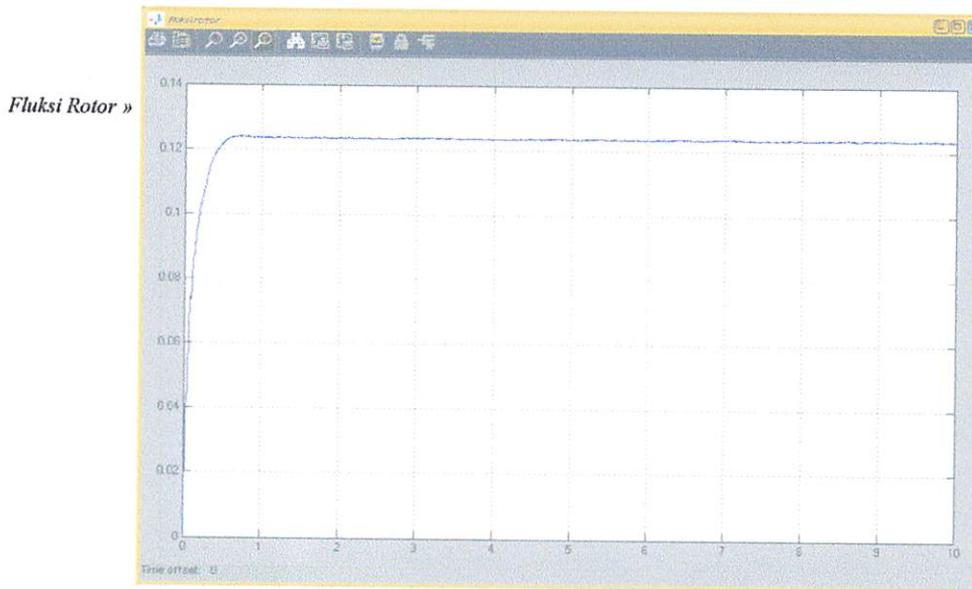
Grafik Arus  $i_{sd}$  Dan Arus  $i_{sq}$

Dari grafik 4.1 bagian atas ( $i_{sd}$ ), saat pertama kali mencapai 7.8 Ampere. Kemudian ketika waktu pada 0.1 s arus mengalami penurunan sebesar 0.2 Ampere dan kembali mengalami kenaikan pada waktu 0.3 s sebesar 5.5 Ampere. Dari kondisi arus 5.5 Ampere, arus mengalami penurunan hingga mencapai 0.2 Ampere. Setelah itu arus  $i_{sd}$  mengalami kondisi kenaikan lagi pada waktu 0.7 s. Kondisi transien terjadi dari 0.7 - 10 s. Terlihat bahwa arus  $i_{sd}$  mendekati linier 2.36 Ampere. Pada grafik  $i_{sd}$  untuk starting arus  $i_{sd}$  mencapai nilai

maksimum 7.8 Ampere, dan nilai minimum mencapai 0.2 Ampere. Sedangkan ketika pada kondisi steady state arus  $i_{sd}$  mencapai nilai maksimum 4.1 Ampere dan nilai minimum mencapai 0.1 Ampere.

Dari grafik 4.1 bagian bawah ( $i_{sq}$ ), saat pertama kali mencapai 10.9 Ampere. Kemudian ketika waktu pada 0.1 s arus mengalami penurunan sebesar 0.2 Ampere dan kembali mengalami kenaikan pada waktu 0.3 s sebesar 8 Ampere. Dari kondisi arus 8 Ampere, arus mengalami penurunan hingga mencapai 0.4 Ampere. Setelah itu arus  $i_{sq}$  mengalami kondisi kenaikan lagi pada waktu 0.35 s. Kondisi transient terjadi dari 0.5 - 10 s. Terlihat bahwa arus  $i_{sq}$  mendekati linier 3.36 Ampere. Pada grafik  $i_{sq}$  untuk starting arus  $i_{sq}$  mencapai nilai maksimum 8 Ampere, dan nilai minimum mencapai 0.2 Ampere. Sedangkan ketika pada kondisi steady state arus  $i_{sq}$  mencapai nilai maksimum 4.1 Ampere dan nilai minimum mencapai 2.4 Ampere.

## Grafik fluksi Rotor

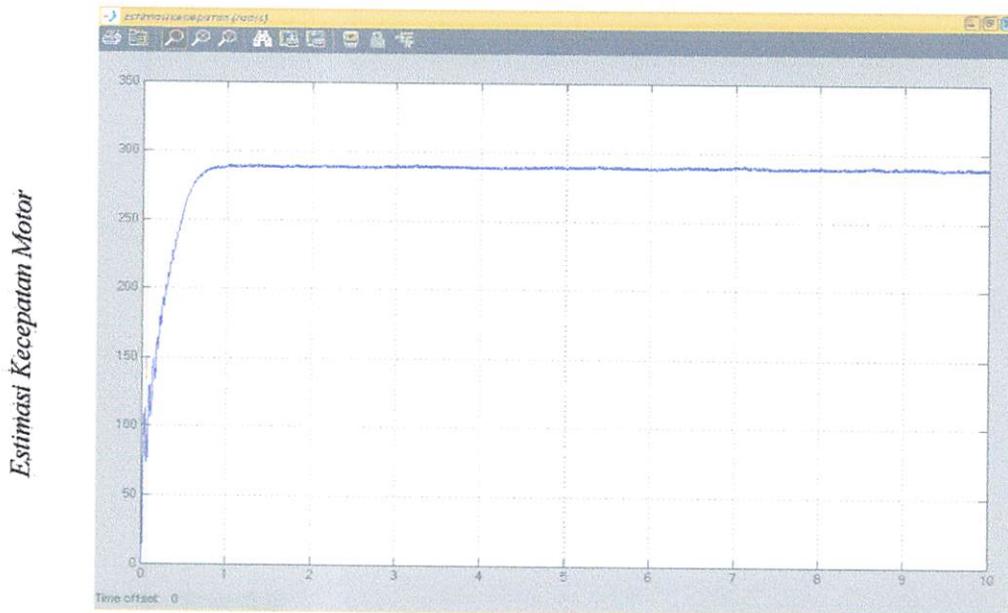


Grafik 4.2

### Grafik Fluksi Rotor

Dari grafik fluksi rotor, saat pertama kali Starting, besar nilai fluksi yaitu 0.02 Weber. Kemudian ketika waktu 0.1 s fluksi rotor mengalami kenaikan secara periodik sebesar 0.04, 0.06, 0.08, 0.1, 0.12 Weber terhadap selang waktu 0.2 – 0.6 second. Besar fluksi rotor mencapai 0.126 Wb saat 0.65 second, setelah itu fluksi rotor mengalami kondisi linier pada waktu 0.7 – 10 s. Terlihat bahwa fluksi rotor linier dengan besar 0.126 Wb. Pada grafik 4.2 untuk starting fluksi rotor mencapai nilai minimum 0.02 Wb, dan nilai maksimum mencapai 0.126 Wb. Sedangkan ketika pada kondisi steady state besar fluksi rotor, linier 0.126 Wb.

### Grafik Estimasi Kecepatan.



Grafik 4.3

### Grafik Estimasi Kecepatan

Pada grafik 4.3, saat pertama kali Starting, besar nilai estimasi kecepatan yaitu 75 Rad/ second. Kemudian ketika waktu 0.1 s kecepatan mengalami kenaikan secara periodik sebesar 100, 150, 200, 250 Rad/ second terhadap selang waktu 0.2 – 0.6 second. Besar estimasi kecepatan mencapai 293.544 Rad/ second saat 0.65 second, setelah itu kecepatan mengalami kondisi linier pada waktu 0.7 – 10 s. Terlihat bahwa kecepatan linier dengan besar 293.544 Rad/ second. Pada grafik 4.3 untuk starting kecepatan mencapai nilai minimum 75 Rad/ second, dan nilai maksimum

mencapai 293.544 Rad/ second. Sedangkan ketika pada kondisi steady state besar kecepatan, linier 293.544 Rad/second.

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1. Kesimpulan.

Di dapat beberapa kesimpulan dari skripsi dengan judul “ Estimasi Kecepatan Motor Induksi 3 Phasa Tanpa Sensor Kecepatan Dengan Metode Full Order Observer Menggunakan Simulasi Software Matlab 7.04” yang telah disusun sebagai berikut ;

1. Motor Induksi 3 Phasa Tanpa Sensor Kecepatan dapat diketahui kecepatannya dengan metode full order observer. Dimana Metode full order observer adalah metode yang berkaitan dengan arus stator dan fluksi rotor .
2. Estimasi kecepatan motor induksi 3 phasa tanpa sensor kecepatan dengan metode full order observer sebesar  $293.544 \text{ Rad/s}$  atau  $2804.561 \text{ rpm}$ .
3. Perbedaan estimasi kecepatan metode full order observer ( $2804.561 \text{ rpm}$ ) dengan name plate motor ( $2820 \text{ rpm}$ ) mempunyai selisih  $15.349 \text{ rpm}$ , Serta nilai kesalahan adalah  $0.55 \%$ .
4. Dari parameter pengujian motor induksi 3 phasa didapatkan nilai-nilai full order observer antara lain, untuk arus stator, besar nilai  $i_{sd}$  adalah  $2.36 \text{ Amp}$ , dan besar nilai  $i_{sq}$  adalah  $3.36 \text{ Amp}$ . Untuk fluksi rotor adalah  $0.126 \text{ Wb}$ , sedangkan besar nilai fluksi rotor  $\alpha$  adalah  $28.723 \text{ Wb}$ , dan besar nilai fluksi rotor  $\beta$  adalah  $15.346 \text{ Wb}$ .

5. Simulasi software Matlab versi 7.04 adalah bentuk simulasi dengan blok simulink untuk menampilkan grafik estimasi kecepatan, arus stator d ( $i_{sd}$ ), arus stator q ( $i_{sq}$ ), serta fluksi rotor.

## 5.2. Saran.

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

1. Untuk tindak lanjutnya dilakukan Pembuatan dan perancangan alat pengendali kecepatan dengan metode full order observer.
2. Penerapan estimasi kecepatan dengan metode full order observer pada motor induksi 3 phasa jenis (type) yang lainnya.



## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. A. E. Fitzgerald, Charles Kingsley, Jr, Stephen D. Umans,” *Electric Machinery*”, McGraw-Hill International, fourth edition.
- [2]. Burak Ozpineci Leon M. Tobert, “*Simulink Implementation Of Induction Machine Model – A modular Approach*”, IEEE Transaction on Power Electronics 2003, 728-734.
- [3]. G. D. Marques Secção de Máquinas Electricas e de Electronica de Potencia Instituto Superior Tccnico, Av. Rovisco Pais, 1096, Lisboa Codex, Portugal, “*A Computer Application For Teaching And Learning On The Induction Motor Dynamics*”.
- [4]. Fery, “*Pengendali Vektor Arus Dan Estimasi Kecepatan Pada Motor Induksi Tanpa Sensor Kecepatan*”, UI, Depok, Juli 2004.
- [5]. Kreyszig, E, 1998. “*Advanced Enginnering Mathematics*”, 6th ed. Terjemahan John Wiley And Son’s, Erlangga, Jakarta.
- [6]. R. Krishan.1998. ”*Electric Motor Drives Modeling, Analysis and Control*”. Pretince hall International Inc.
- [7]. Raganathan, V.T, 1994, et.al. *A Tutorial In Ac And Permanent Magnet Synchronous Motors*, Analog Devices, inc. USA.
- [8]. Stephen J. Chapman. “*Electrical Machinery Fundamentals*”, McGraw-Hill International Editons, 1985.

- [9]. Thomas W. Dwi Hartanto dan Y.W. Agung Prasetyo. 2003. "*Analisis Dan Desain Sistem Kontrol Dengan MATLAB*", Penerbit ANDI. Yogyakarta.
- [10]. Vas, Peter, 1992, *Electrical Machine And Drive : A Space Vector Theory Approach*, Oxford University Press, New York.
- [11]. [www.Microchip.com](http://www.Microchip.com), *AC Induction Motor Fundamentals*.
- [12]. Yusifar, F, "*Motor Induksi Tanpa Sensor Kecepatan Dengan Menggunakan Full Order Observer*", UI, Depok, Juli 2004.
- [13]. Zuhail. "*Dasar Teknik Tenaga Listrik*", Penerbit ITB, Bandung.



**BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI**

**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

Nama : Yafi Bastiyan.  
Nim : 01 12 007.  
Jurusan : Teknik Elektro S-1.  
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik.  
Judul skripsi : Estimasi Kecepatan Motor Induksi 3  $\Phi$  Tanpa Sensor Kecepatan Dengan Metode Full Order Observer Menggunakan Simulasi Software Matlab 7.04.

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

Hari : Rabu.  
Tanggal : 21 Maret 2007.  
Nilai : 80.55 (A). *Jef*

**Panitia Ujian Skripsi,**

**Ketua,**  
  
**Ir. Mochtar Asroni, MSME**  
**NIP. P. 1018100036**

**Sekretaris,**  
  
**Ir. FX. Yudi Limpraptono, MT**  
**NIP. P. 1039500274**

**Anggota Penguji,**

**Penguji Pertama,**  
  
**Ir. Djovo Priatmono, MT**  
**NIP. P. 1018800180**

**Penguji Kedua,**  
  
**Ir. Eko Nurcahyo**  
**NIP. P. 1028700172**



### FORMULIR PERBAIKAN SKRIPSI

Dalam pelaksanaan Ujian Skripsi jenjang Strata Satu (S-1) Jurusan Teknik Elektro konsentrasi Teknik Energi Listrik, maka perlu adanya perbaikan Skripsi untuk Mahasiswa :

Nama : Yafi Bastiyan.  
Nim : 01 12 007.  
Jurusan : Teknik Elektro S-1.  
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik.  
Judul skripsi : Estimasi Kecepatan Motor Induksi 3  $\Phi$  Tanpa Sensor Kecepatan Dengan Metode Full Order Observer Menggunakan Simulasi Software Matlab 7.04.

Tanggal	Uraian	Paraf
21 Maret 2007	Perbandingan nilai kesalahan metode dengan name plate motor.	

Mengetahui,

Anggota Penguji,

Penguji Pertama,

Ir. Djoyo Priatmono, MT  
NIP. P. 1018800180

Penguji Kedua,

Ir. Eko Nurcahyo  
NIP. P. 1028700172

Dosen Pembimbing,

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



## PERMOHONAN PERSETUJUAN SKRIPSI

Yang betanda tangan dibawah ini :

Nama : YAFI BASTIYAN  
 NIM : 012007  
 Semester : xi  
 Fakultas : Teknologi Industri  
 Jurusan : Teknik Elektro S-1  
 Konsentrasi : Teknik Elektronika / Teknik Energi Listrik  
 Alamat : Jl. Jend. Supriatno No 2, GAMBIRAN MOJOSARI, KAN, MLG

Dengan ini kami mengajukan permohonan untuk mendapatkan persetujuan untuk membuat **SKRIPSI Tingkat Sarjana**. Untuk melengkapi permohonan tersebut, bersama kami lampirkan persyaratan-persyaratan yang harus dipenuhi.

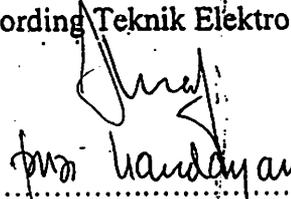
Adapun persyaratan-persyaratan pengambilan **SKRIPSI** adalah sebagai berikut :

1. Telah melaksanakan semua praktikum sesuai dengan konsentrasinya (.....)
2. Telah lulus dan menyerahkan Laporan Praktek Kerja (.....)
3. Telah lulus seluruh mata kuliah keahlian (MKB) sesuai konsentrasinya (.....)
4. Telah menempuh mata kuliah  $\geq 134$  sks dengan IPK  $\geq 2$  dan tidak ada nilai E (.....)
5. Telah mengikuti secara aktif kegiatan seminar skripsi yang diadakan Jurusan (.....)
6. Memenuhi persyaratan administrasi (.....)

Demikian permohonan ini untuk mendapatkan penyelesaian lebih lanjut dan atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Telah diteliti kebenaran data tersebut diatas  
 Recording Teknik Elektro

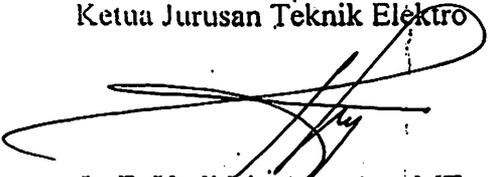
Malang, 13 NOV 2006  
 Pemohon

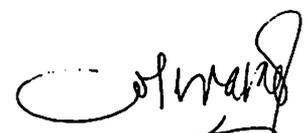
  
 (..... Prof Handayani.....)

  
 (..... YAFI BASTIYAN.....)

Disetujui  
 Ketua Jurusan Teknik Elektro

Mengetahui  
 Dosen Wali

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

  
 (..... Ir. I. NADE WAE TAMMIT.....) 21/11/06

Catatan :

Bagi mahasiswa yang telah memenuhi persyaratan mengambil SKRIPSI agar membuat proposal dan mendapat persetujuan dari Ketua Jurusan/Sekretaris Jurusan T. Elektro S-1

1. IPK 3.72-5 / 2 = 70.4 .....
2. pa ahli kuu / 138 .....
3. pa ahli kuu = lengkap .....



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

Konsentrasi : Teknik Energi Listrik/ Teknik Elektronika \*)

1	Nama Mahasiswa : <u>YAFI BASTIYAN</u>	Nim : <u>0112007</u>
2	Waktu pengajuan	Tanggal : Bulan : <u>DESEMBER</u> Tahun : <u>2006</u>
3	Spesifikasi judul ( berilah tanda silang )	
	a. Sistem Tenaga Elektrik <input checked="" type="checkbox"/> 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. 84</u>	Mengetahui, Ketua Jurusan.  Ir. F. Yudi Limpraptono, MT Nip. Y. 1039500274
5	Judul yang diajukan mahasiswa :	<u>PERBANKAN KESALAHAN ESTIMASI MOJOK meliputi TITIK SEMOR KECEPATAN DENGAN METODE FU ORDER OBSERVER DAN KOMPENSASI ARUS MENGGUNAKAN SIMULASI SOFTWARE MATLAB.</u>
6	Perubahan Judul yang disetujui Dosen sesuai materi bidang ilmu	<u>PERBANKAN KESALAHAN ESTIMASI KECEPATAN MOJOK meliputi TITIK SEMOR KECEPATAN DENGAN METODE FU ORDER OBSERVER, MENGGUNAKAN SIMULASI SOFTWARE MATLAB.</u>
Catatan :		
7	Persetujuan Judul Skripsi yang dikonsultasikan kepada Dosen materi bidang ilmu	Disetujui, <u>DESEMBER 2006</u> Dosen  <u>Ir. M. Abdul Hamid, MT</u> <u>Nip. Y. 108800188</u>

**Perhatian :**

1. Formulir Pengajuan ini harap dikembalikan kepada jurusan paling lambat satu minggu setelah disetujui 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

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL  
Kampus I Jl.Bendungan Sigura Gura No 2  
Kampus II Jl Raya Karanglo Km 2  
MALANG

Lampiran : 1 (satu) berkas  
Pembimbing Skripsi

kepada : Yth. Bapak Ir.M.Abdul Hamid,MT  
Dosen Institut Teknologi Nasional  
MALANG

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Yafi Bastiyan  
Nim : 0112007  
Jurusan : Teknik Elektro S1  
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik

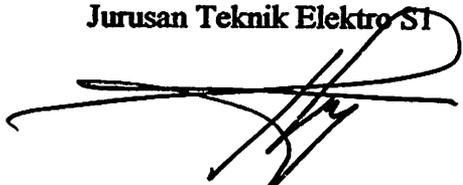
Dengan ini mengajukan permohonan, kiranya bapak bersedia menjadi Dosen Pembimbing Utama, untuk penyusunan Skripsi dengan judul :

ESTIMASI KECEPATAN MOTOR INDUKSI 3 $\Phi$  TANPA SENSOR KECEPATAN DENGAN METHODE FULL ORDER OBSERVER MENGGUNAKAN SIMULASI SOFTWARE MATLAB

Adapun tugas tersebut adalah sebagai salah satu syarat untuk menempuh Ujian Akhir Sarjana Teknik.  
Demikian permohonan saya dan atas kesediaan Bapak saya ucapkan terima kasih.

Malang, Januari 2007

Ketua  
Jurusan Teknik Elektro S1

  
Ir.Fx Yudi Limpraptono,MT *Yuf*  
Nip.P.1039500274

Hormat kami,

  
Yafi Bastiyan  
Nim : 0112007

Form S-3a

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL  
Jl Bendungan Sigura-gura No 2  
Jl Raya Karanglo Km 2  
Malang

PERNYATAAN KESEDIAAN DALAM PEMBIMBINGAN SKRIPSI

Sesuai Permohonan dari Mahasiswa :

Nama : Yafi Bastiyan  
Nim : 0112007  
Jurusan : Teknik Elektro S1  
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik

Dengan ini menyatakan bersedia membimbing Skripsi dari mahasiswa tersebut,  
dengan judul :

ESTIMASI KECEPATAN MOTOR INDUKSI 3 $\Phi$  TANPA SENSOR  
KECEPATAN DENGAN METHODE FULL ORDER OBSERVER  
MENGUNAKAN SIMULASI SOFTWARE MATLAB

Demikian surat pernyataan ini kami buat agar dapat dipergunakan seperlunya.

Malang, Januari 2007

Kami Yang Membuat Pernyataan,



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

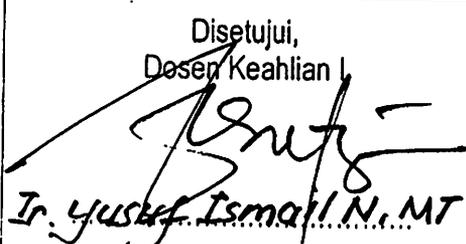
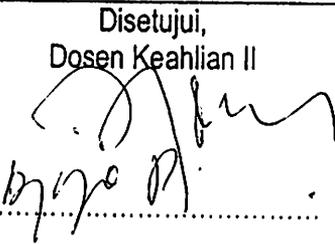
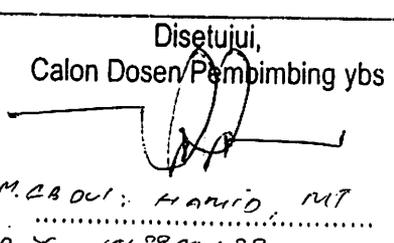
Catatan

Setelah disetujui agar formulir ini  
diserahkan mahasiswa yang  
bersangkutan kepada jurusan  
untuk diproses lebih lanjut



## BERITA ACARA SEMINAR PROPOSAL SKRIPSI JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1

Konsentrasi : Teknik Energi Listrik/Teknik Elektronika\*)

1.	Nama Mahasiswa: <u>Yafi Basfiyan</u>	Nim: <u>0112007</u>		
2.	Keterangan	Tanggal	Waktu	Tempat
	Pelaksanaan	<u>6 - 2 - 2007</u>	<u>09.00</u>	Ruang:
3.	Spesifikasi Judul (berilah tanda silang)**)			
	a. Sistem Tenaga Elektrik <input checked="" type="checkbox"/> 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.	Judul Proposal yang diseminarkan Mahasiswa	<u>KEPIMAHAN KECAPATAN MOTOR INDUKSI 3 φ</u> <u>*MIPA SEMESTER KECAPATAN BERGABUNG MERUPAKAN</u> <u>FULL OPERA OBSERVASI MERUPAKAN</u> <u>PINJATAN SOFTWARE MATLAB</u>		
5.	Perubahan Judul yang diusulkan oleh Kelompok Dosen Keahlian	..... ..... .....		
6.	Catatan: .....			
7.	Catatan: .....			
	<b>Persetujuan Judul Skripsi</b>			
	Disetujui, Dosen Keahlian I  <u>Ir. Yusuf Ismail N. MT</u>		Disetujui, Dosen Keahlian II  .....	
	Mengetahui, Ketua Jurusan  <u>Ir. F. Yudi Limpraptono, MT</u> NIP. P. 1039500274		Disetujui, Calon Dosen/Pembimbing ybs  <u>Ir. M. CAOU: HAMID, MT</u> NIP. Y. 1013800188	

Perhatian:

1. Keterangan: \*) Coret yang tidak perlu  
 \*\*) dilingkari 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

T. BNI (PERSERO) MALANG  
BANK NIAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting) Fax. (0341) 553015 Malang 65145  
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

Nomor : ITN-069/I.TA/2/07  
Lampiran : -  
Perihal : **BIMBINGAN SKRIPSI**

Malang, 17 Feb. 2007

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

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

Nama : YAFI BASTIYAN  
Nim : 0112007  
Fakultas : Teknologi Industri  
Jurusan : Teknik Elektro S-1  
Konsentrasi : T. Energi Listrik

Maka dengan ini pembimbing tersebut kami serahkan sepenuhnya kepada Saudara/1 selama masa waktu 6 (enam) bulan, terhitung mulai tanggal :

06 Pebruari 2007 s/d 06 Agustus 2007

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



Ketua Jurusan  
Teknik Elektro S-1

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

Tembusan Kepada Yth:

1. Mahasiswa Yang Bersangkutan
2. Arsip

Form S-4a



## FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : Yafi Bastiyan  
Nim : 01 12 007  
Masa Bimbingan : 06 Februari 2007 – 06 Agustus 2007  
Judul Skripsi : ESTIMASI KECEPATAN MOTOR INDUKSI 3 $\Phi$  TANPA SENSOR KECEPATAN DENGAN METODE FULL ORDER OBSERVER MENGGUNAKAN SIMULASI SOFTWARE MATLAB 7.04

No.	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1.	13 - 2 - 2007	Revisi : - Tujuan, Latar belakang disesuaikan dengan judul. - Redaksional Penulisan.	
2.	17 - 2 - 2007	Acc Bab I Revisi Bab II : Gambar Rangkaian Pengujian	
3.	24 - 2 - 2007	Acc Bab II Revisi Bab III : Kesesuaian Penggunaan Teori Lyapunov.	
4.	26 - 2 - 2007	Acc Bab III Revisi Bab IV : Analisa Grafik harus Disesuaikan	
5.	1 - 3 - 2007	Acc Bab IV Revisi Bab V : Kesimpulan Ditambahkan Data Estimasi Kecepatan	
6.	3 - 3 - 2007	Acc Makalah Seminar Hasil.	
7.	20 - 3 - 2007	Acc Ujian Komprehensif.	
8.			
9.			
10.			

Malang, Maret 2007  
Dosen Pembimbing,

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



**FORMULIR Bimbingan Skripsi**

Nama :  
 NIM :  
 Nama Bimbingan :  
 Judul Skripsi :

01 12 007  
 08 Februari 2007 - 08 Agustus 2007  
 ESTIMASI KECERATAN MOTOR INDIKSI 30 TAPPA  
 SENSOR KECEPATAN DENGAN METODE FULL ORDER  
 OBSERVER MENGGUNAKAN SIMULASI SOFTWARE  
 MATLAB 7.04

No.	Tanggal	Uraian	Pembimbing
1.	13 - 2 - 2007	Revisi : - Tujuan : dan belakang disusunkan dengan judul - Revisi : dan Revisi	
2.	17 - 2 - 2007	Acc Bab I Revisi Bab II : Gambar Revisi dan Revisi	
3.	24 - 2 - 2007	Acc Bab II Revisi Bab III : Keseluruhan Revisi dan Revisi	
4.	26 - 2 - 2007	Acc Bab III Revisi Bab IV : Analisis Grafik dan Revisi	
5.	1 - 3 - 2007	Acc Bab IV Revisi Bab V : Kesimpulan dan Revisi dan Revisi	
6.	3 - 3 - 2007	Acc Makalah Seminar Hasil	
7.	20 - 3 - 2007	Acc Ujian Komprehensi	
8.			
9.			
10.			

Malang, Maret 2007  
 Dosen Pembimbing

Dr. M. Abdul Hamid, MT  
 Nip. 1918800188