

**ANALISIS PENGATURAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI 3 FASA
MENGUNAKAN PENGENDALI IGBT (*INSULATED GATE BIPOLAR
TRANSISTOR*) DENGAN PSCAD/EMTDC DI LABORATORIUM KONVERSI
ENERGI ELEKTRIK ITN MALANG**

SKRIPSI

**Disusun oleh:
Subhan Mukhtar
NIM 02.12.085**



**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
AGUSTUS 2011**

THE UNIVERSITY OF CHICAGO
DEPARTMENT OF CHEMISTRY
5700 SOUTH CAMPUS DRIVE
CHICAGO, ILLINOIS 60637

RECEIVED
MAY 15 1968
CHEMISTRY DEPARTMENT

CHICAGO

RESEARCH REPORT NO. 1000
BY J. H. WILSON AND R. M. WAYNE
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, UNIVERSITY OF CHICAGO
CHICAGO, ILLINOIS 60637
MAY 15 1968

LEMBAR PERSETUJUAN

**ANALISIS PENGATURAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI 3 FASA
MENGUNAKAN PENGENDALI IGBT (*INSULATED GATE BIPOLAR
TRANSISTOR*) DENGAN PSCAD/EMTDC DI LABORATORIUM KONVERSI
ENERGI ELEKTRIK ITN MALANG**

SKRIPSI

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

**Disusun oleh:
Subhan Mukhtar
NIM 02.12.085**



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

**Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT
NIP. Y. 1018800189**

Diperiksa dan Disetujui,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

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

**Bambang Prio H, ST, MT
NIP. Y.1028400082**

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

AGUSTUS 2011

SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini :

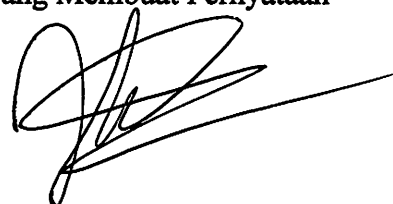
Nama : Subhan Mukhtar
NIM : 02.12.085
Program Study : Teknik Elektro
Kosentrasi : Energi Listrik S-1

Dengan ini menyatakan bahwa Skripsi yang saya buat adalah hasil karya sendiri, tidak merupakan plagiasi dari karya orang lain. Dalam skripsi ini tidak memuat karya orang lain, kecuali dicantumkan sumbernya sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat, dan apabila di kemudian hari ada pelanggaran atas surat pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksinya.

Malang, 01 - Juni – 2012

Yang Membuat Pernyataan



SUBHAN MUKHTAR
02.12.085

lebar Persembakan

Pada kesempatan ini saya sebagai penulis ingin mengucapkan terima kasih banyak kepada :

1. ALLOH swt yang telah melancarkan dan mendengarkan doa-doa saya.
2. Kedua orang tua saya yang telah memberikan dukungan dan motivasi selama ini.
3. Kakakku Sony Sodikin ,Yuly Yuliana dan adikku Ima Mukaroma terima kasih support dan doa-doanya.
4. Luluk Wahyuningsih makasi juga doa dan jasa-jasanya yang sudah tetap setia menemani aby di saat susah maupun senang.
5. Tidak lupa teman-teman ST'02 smuanya yang sama-sama berjuang yang tidak pernah lelah
6. Teman Coz Montana trima kasih canda tawanya yang tidak pernah terlupakan.

Tanpa kalian semua mungkin saya tidak bias menyelesaikan skripsi ini. Semoga ALLOH swt membalas kebaikan kalian semua amieenn ya robb..!!

ABSTRAKSI

ANALISIS PENGATURAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI 3 FASA MENGUNAKAN PENGENDALI IGBT (*INSULATED GATE BIPOLAR TRANSISTOR*) DI LABORATORIUM KONVERSI ENERGI ELEKTRIK ITN MALANG

(Subhan Mukhtar, Nim 02.12.085, Teknik Elektro/ T. Energi Listrik S-1)
(Dosen Pembimbing : Ir. Teguh Herbasuki, MT, Bambang Prio H, ST, MT)

Salah satu cara pengendalian motor induksi tiga fasa adalah mengatur kecepatan terminal motor. Pengaturan kecepatan tersebut dapat dilakukan dengan menambahkan sepasang IGBT pada setiap fasanya. Berbagai model telah banyak digunakan untuk menganalisis pengaturan kecepatan motor induksi dengan system pengendalian diatas. Penulisan ini menganalisa hasil unjuk kerja motor induksi 3 fasa yang tanpa menggunakan pengendali IGBT kemudian di bandingkan dengan menggunakan pengendali IGBT selanjutnya di simulasikan dengan menggunakan PASCAD/EMTDC. Hasilnya menunjukkan bahwa pada saat pengendalian kecepatan dengan menggunakan pengendali IGBT menghasilkan kerja motor dalam kondisi yang disimulasikan dengan PSCAD. Hasilnya menunjukkan bahwa perhitungan nilai tegangan, arus dan torsi sistem dapat diketahui dengan cepat dengan melakukan penelitian pengaturan kecepatan motor induksi 3 fasa sehingga mendapatkan hasil putaran motor yang dapat di atur menggunakan rangkaian IGBT.

Kata kunci : *IGBT, motor induksi, PASCAD/EMTDC.*

One way of controlling three-phase induction motor is to set the speed of the motor terminal. The speed setting can be done by adding a pair in each of the phase IGBT. Various models have been widely used to analyze the induction motor speed control with the above control system. This paper analyzes the performance results of three-phase induction motor without using IGBT controllers then compare it with the next IGBT controllers in simulated using PASCAD / EMTDC. The results show that when the speed control using IGBT controller generates the motor working under conditions that simulated with PSCAD. The results show that the calculation of the value of voltage, current and torque of the system can be detected quickly by doing the research setting speed 3-phase induction motor so that rotation of the motor to get the results that can be set using a series of IGBT.

Key words: IGBT, induction motors, PASCAD / EMTDC.

KATA PENGANTAR

Puji Syukur Kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan rahmat-Nya, sehingga kami selaku penyusun dapat menyelesaikan Laporan Skripsi ini.

Adapun maksud dan tujuan dari penulisan laporan ini merupakan salah satu syarat untuk dapat menyelesaikan studi dan mendapatkan gelar Sarjana Jurusan Teknik Elektro S-1, Konsentrasi Teknik Energi Listrik ITN Malang.

Sebagai pihak penyusun penulis menyadari tanpa adanya kemauan dan usaha serta bantuan dari berbagai pihak, maka laporan ini tidak dapat diselesaikan dengan baik. Oleh sebab itu, penyusun mengucapkan terima kasih kepada yang terhormat :

1. Ir. Soeparno Djiwo, MT selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang.
2. Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1 Institut Teknologi Nasional Malang.
3. Ir. Teguh Herbasuki, MT selaku Dosen Pembimbing satu Tugas Skripsi.
4. Bambang prio H,ST,MT, selaku Dosen Pembimbing dua Tugas Skripsi.
5. Sahabat-sahabat dan rekan-rekan yang tidak kami sebutkan satu-persatu, kami ucapkan banyak terima kasih atas bantuannya dalam proses pembuatan Skripsi yang telah saya kerjakan, begitu juga dengan penyelesaian laporan ini.

Usaha ini telah kami lakukan semaksimal mungkin, namun jika ada kekurangan dan kejanggalan dalam penyusunan, kami mohon saran dan kritik yang sifatnya membangun. Begitu juga sangat kami perlukan untuk menambah kesempurnaan laporan ini dan dapat bermanfaat bagi rekan-rekan mahasiswa pada khususnya dan pembaca pada umumnya.

Malang, Agustus 2011

Penyusun

DAFTAR ISI

| | |
|--|------------|
| LEMBAR PERSETUJUAN | i |
| SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS | ii |
| ABSTRAKSI..... | iii |
| KATA PENGANTAR..... | iv |
| DAFTAR ISI..... | v |
| DAFTAR GAMBAR..... | ix |
| DAFTAR GRAFIK | xi |
| DAFTAR TABEL..... | xii |

BAB I PENDAHULUAN

| | |
|------------------------------|---|
| 1.1. Latar Belakang | 1 |
| 1.2. Perumusan Masalah | 2 |
| 1.3. Tujuan | 2 |
| 1.4. Batasan Masalah..... | 2 |
| 1.5. Metode Penelitian..... | 3 |
| 1.6. Relevansi | 4 |

BAB II LANDASAN TEORI

| | |
|--|----|
| 2.1. Teori Dasar Motor Induksi..... | 5 |
| 2.2. Kontruksi Motor Induksi..... | 5 |
| 2.2.1. Stator | 6 |
| 2.2.2. Rotor..... | 7 |
| 2.3. Medan Magnet Putar | 8 |
| 2.3.1. Prinsip Kerja Motor Induksi..... | 9 |
| 2.3.2. Slip dan Frekuensi Arus Rotor | 10 |
| 2.4. Rangkaian Ekuivalen | 11 |
| 2.4.1. Pengaturan Kecepatan..... | 12 |
| 2.4.2. Mengatur Tegangan Jala-Jala..... | 12 |
| 2.4.3. Mengatur Tahanan Luar | 13 |

| | |
|--|----|
| 2.5. Operasional Motor Induksi | 14 |
| 2.5.1. Performa Steady State..... | 14 |
| 2.6. Pengujian Motor Induksi Tiga Fasa | 15 |
| 2.6.1. Pengujian Arus Searah (<i>DC Test</i>)..... | 15 |
| 2.6.2. Pengujian Tanpa Beban (<i>No-Load Test</i>)..... | 15 |
| 2.7. Pengendali IGBT (<i>Insulated Gate Bipolar Transistor</i>)..... | 17 |
| 2.8. PSCAD/EMTDC..... | 22 |

BAB III PEMODELAN MOTOR INDUKSI 3 FASA DAN IGBT

| | |
|--|----|
| 3.1. Transistor Sebagai Sakelar | 23 |
| 3.2. Aplikasi IGBT Untuk Inverter..... | 26 |
| 3.3. Pengaturan Kecepatan Motor DC | 27 |
| 3.4. Algoritma Pemograman | 29 |
| 3.4.1. Algoritma Pemecahan Masalah..... | 29 |
| 3.5. Flowchart Pemecahan Masalah Secara Umum | 30 |
| 3.5.1. <i>Simulasi</i> | 30 |

BAB IV ANALISA PARAMETER MOTOR DAN HASIL SIMULASI

| | |
|---|----|
| 4.1. Pengujian Parameter Motor Induksi..... | 31 |
| 4.1.1. Alat Alat Yang Digunakan..... | 31 |
| 4.1.2. Pengujian Arus Searah (<i>DC Test</i>) | 32 |
| 4.1.3. Pengujian Tanpa Beban (<i>No Load Test</i>)..... | 32 |
| 4.2. Analisa Parameter Motor Induksi | 33 |
| 4.3. Simulasi Motor Induksi..... | 36 |
| 4.3.1. Tampilan Parameter..... | 36 |
| 4.3.2. Hasil Simulasi pengaturan kecepatan motor induksi 3 fasa Tanpa Pengendali IGBT..... | 38 |
| 4.3.3. Hasil Simulasi pengaturan kecepatan motor induksi 3 fasa Menggunakan Pengendali IGBT..... | 41 |

| | |
|---|----|
| 4.4. Perbandingan Motor Induksi 3 fasa Sebelum dan Sesudah Menggunakan Pengendali IGBT | 45 |
|---|----|

BAB V PENUTUP

| | |
|----------------------|----|
| 5.1. Kesimpulan..... | 46 |
| 5.2. Saran..... | 46 |

| | |
|----------------------------|-----------|
| DAFTAR PUSTAKA..... | 47 |
|----------------------------|-----------|

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|--------------|---|----|
| Gambar 2.1. | Kontruksi Motor Induksi | 6 |
| Gambar 2.2. | Stator Motor Induksi 3 Fasa | 6 |
| Gambar 2.3. | Rotor Sangkar dan Rotor Belitan | 7 |
| Gambar 2.4. | Medan Putar Pada Motor Induksi..... | 8 |
| Gambar 2.5. | Pengaturan Putaran Yang Terbatas | 13 |
| Gambar 2.6. | Tahanan Luar..... | 13 |
| Gambar 2.7. | Keadaan Steady State Motor Induksi | 14 |
| Gambar 2.8. | Pengujian Arus Searah (DC Test)..... | 15 |
| Gambar 2.9. | Rangkaian Pengujian Tanpa Beban..... | 16 |
| Gambar 3.1 . | Karakteristik Output Transistor..... | 24 |
| Gambar 3.2 . | Tegangan Operasi Transistor Sebagai Saklar..... | 24 |
| Gambar 3.3 | Garis Beban Transistor..... | 25 |
| Gambar 3.4. | Karakteristik Output Transistor..... | 26 |
| Gambar 3.5. | Blok Diagram Pengaturan Kecepatan Motor DC..... | 27 |
| Gambar 3.6. | Blok Secara Keseluruhan. | 28 |
| Gambar 4.1. | Parameter Motor Induksi 3 fasa..... | 36 |
| Gambar 4.2. | Tampilan Blok Parameter 3 Phase Breaker..... | 37 |
| Gambar 4.3. | Blok Parameter Power Supply..... | 37 |
| Gambar 4.4. | Rangkaian Tanpa IGBT Pada PSCAD..... | 38 |

DAFTAR GRAFIK

| | | |
|--------------|---|----|
| Gambar 4.5. | Grafik Hasil Dari Daya Nyata Tanpa IGBT..... | 38 |
| Gambar 4.6. | Grafik Hasil Dari Daya Reaktiv Tanpa IGBT..... | 39 |
| Gambar 4.7 | .Grafik Hasil Dari Kecepatan Tanpa IGBT..... | 39 |
| Gambar 4.8. | Grafik Hasil Dari Torsi Tanpa IGBT..... | 40 |
| Gambar 4.9. | Grafik Hasil Dari Tegangan Terminal Tanpa IGBT | 40 |
| Gambar 4.10 | Rangkaian Menggunakan Pengendali IGBT..... | 41 |
| Gambar 4.11. | Grafik Motor induksi 3 fasa Menggunakan Penngendali IGBT.. | 42 |
| Gambar 4.12. | Grafik Hasil Dari Daya Nyata Menggunakan Pengendali IGBT.. | 42 |
| Gambar 4.13 | Grafik Hasil Dari Kecepatan Menggunakan Penngendali IGBT.. | 43 |
| Gambar 4.14. | Grafik Hasil Dari Torsi Menggunakan Pengendali IGBT..... | 43 |
| Gambar 4.15 | Grafik Hasil Tegangan Terminal Menggunakan Pengendali IGBT. | 44 |

DAFTAR TABEL

| | | |
|------------|---|----|
| Tabel 4.1. | Data Hasil Pengujian Arus Searah..... | 32 |
| Tabel 4.2. | Data Hasil Pengujian Beban Nol..... | 32 |
| Tabel 3.3. | Data Hasil Pengujian Motor Rotor Tertahan..... | 33 |
| Tabel 4.4. | Hasil Perhitungan Pengujian Parameter Motor Induksi Tiga Fasa.. | 35 |

BAB I

PENDAHULUAN

1. Latar Belakang

Motor listrik sampai pada saat ini memiliki peranan yang sangat penting baik di dunia industri maupun di rumah tangga. Hal ini menyebabkan motor listrik menjadi suatu perhatian yang khusus untuk peralatan yang membutuhkan tenaga mekanik. Hal ini di karenakan motor induksi mempunya banyak kelebihan-kelebihan diantaranya adalah selain harganya yang relatif lebih murah dibandingkan motor jenis lainnya konstruksi motor induksi juga lebih kokoh dan lebih mudah untuk perawatanya.

Pengaturan tegangan pada motor induksi 3 fasa adalah merupakan salah satu cara pengaturan kecepatan^[4]. Namun cara ini hanya menghasilkan pengaturan yang terbatas. Salah satu cara Pengaturan tegangan tersebut dapat dilakukan dengan menambahkan sepasang IGBT pada setiap fasanya^[2]. Di dalam skripsi ini akan membahas lebih jelas tentang pengaruh pemasangan IGBT pada sumber tegangan motor induksi 3 fasa sehingga yang di analisisi adalah kinerja (*performance*) motor.

IGBT komponen elektronika yang banyak dipakai dalam elektronika daya, aplikasinya sangat luas dipakai untuk mengatur putaran motor induksi 3 fasa baik dengan daya yang kecil maupun besar, dipakai sebagai inverter yang mengubah tegangan DC menjadi AC, kemudian pada penggunaanya dalam kontrol motor induksi, inverter berfungsi sebagai mengatur frekuensi pada tegangan input motor sehingga putaran motor dapat di atur.

Dari analisis tersebut didapatkan unjuk kerja motor dalam kondisi *steady-state* yang disimulasikan dengan PSCAD. Hasilnya menunjukkan bahwa perhitungan nilai tegangan, arus dan torsi sistem dapat di ketahui dengan cepat. Skripsi ini, penulis bermaksud untuk melakukan penelitian pengaturan kecepatan motor induksi 3 fasa

sehingga mendapatkan hasil putaran motor yang dapat di atur menggunakan rangkaian IGBT.

Dengan bantuan program PASCAD/EMTDC maka akan didapatkan hasil simulasi dari unjuk kerja motor induksi dengan cara membuat blok-blok simulink rangkaian secara langsung dan menginputkan parameter-parameter yang dibutuhkan.

2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka permasalahan yang timbul adalah :

- Bagaimana cara membuat rangkaian motor induksi dengan pengendali rangkaian IGBT.
- Bagaimana cara membuat blok-blok rangkaian simulasi di dalam PSCAD.
- Seberapa tinggi arus, torsi, dan daya pada saat kondisi *steady state*.
- Sejauh mana pengaruh pengaturan kecepatan menggunakan rangkaian IGBT (*Insulated Gate Bipolar Transistor*).

3. Tujuan Pembahasan

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaturan kecepatan motor induksi 3 fase menggunakan rangkaian pengendali IGBT (*Insulated Gate Bipolar Transistor*).

4. Batasan Masalah

Agar pembahasan dalam skripsi akan lebih terarah sesuai dengan tujuan dan judul yang ada maka permasalahan dibatasi oleh beberapa hal sebagai berikut :

- a. Analisis dilakukan pada motor induksi tiga fasa jenis rotor sangkar DE LORENZO/DL 1021, 1,1 kW, 220/380(Δ /Y) Volt, 4,3/2,5(Δ /Y) Ampere, $\text{Cos } \phi$ 0,83, 50 Hz, 2830 rpm, 2 kutup.

- b. Pembahasan ditekankan pada analisis unjuk kerja motor induksi 3 fasa jenis rotor sangkar menggunakan pengendali IGBT (*Insulated Gate Bipolar Transistor*).
- c. Simulasi menggunakan program PSCAD
- d. Menunjukkan hasil simulasi yaitu : bentuk gelombang arus, torsi, dan P_{in} pada saat sudut penyulutan tertentu.
- e. Tidak membahas sistem proteksi motor

5. Metode Penelitian

Dalam melaksanakan penulisan skripsi ini metodologi yang digunakan adalah sebagai berikut :

- a. Studi Literature
Pengumpulan bahan yang berkaitan dengan motor induksi serta penurunan rumus-rumus yang digunakan dalam skripsi ini.
- b. Pengumpulan Data
- c. Melakukan eksperimen dan pengambilan data dari motor induksi yang akan di analisa melalui percobaan dengan metode pengujian arus searah (*DC Test*), Pengujian rotor tertahan (*Block Rotor Test*) dan pengujian tanpa beban (*No Load Test*)
- d. Melakukan simulasi dari data yang ada kedalam Blok simulasi dengan bantuan PSCAD.
- e. Menampilkan hasil simulasi
- f. Menarik kesimpulan.

6. Relevansi

Dengan adanya analisis pada motor induksi 3 fasa dengan menggunakan pengaturan kecepatan tegangan melalui pemasangan IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) ini maka kita akan dapat mengetahui pengaruh unjuk kerja motor serta kita dapat menentukan kapan bahwa motor induksi memerlukan pengaturan tegangan atau tidak. Selain itu kita juga akan mengetahui dampak apa saja yang timbul pada motor tersebut.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Teori Dasar Motor Induksi.

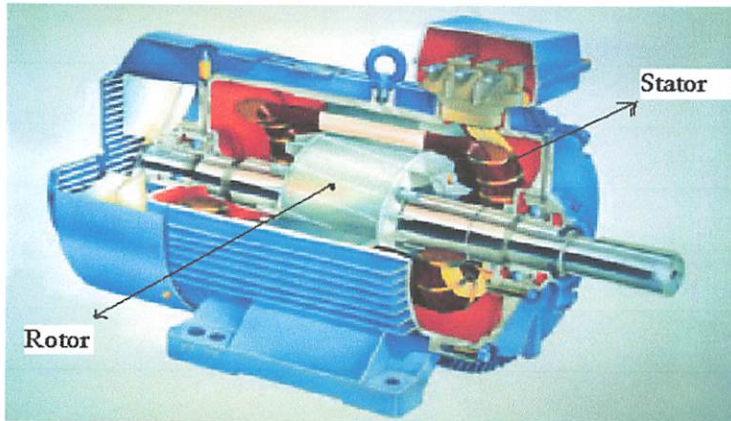
Motor arus bolak-balik (Motor AC) adalah suatu mesin yang berfungsi untuk mengubah tenaga listrik menjadi tenaga mekanik atau tenaga gerak, dimana tenaga gerak ini berupa perputaran pada poros motor. Salah satu jenis motor AC ini adalah motor induksi atau motor tak serempak. Dinamakan motor tak serempak (*asynchrone*) karena putaran poros motor tidak sama dengan putaran medan fluks magnet stator. Dengan kata lain, bahwa antara putaran rotor dan putaran fluks magnet terdapat selisih putaran yang disebut slip. Motor induksi *polyphase* banyak dipakai dikalangan industri. Ini berkaitan dengan beberapa keuntungannya. yaitu

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

2.2. Konstruksi Motor Induksi

Konstruksi motor induksi terdiri dari dua bagian utama yaitu stator dan rotor.

Hal ini dapat dilihat pada gambar 2-1 di bawah ini :

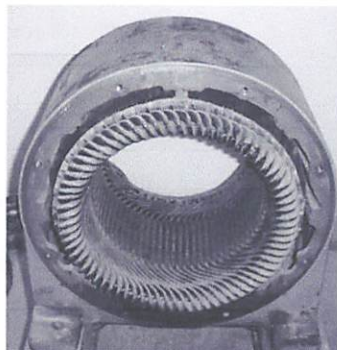


Gambar 2-1
Konstruksi Motor Induksi

2.2.1. Stator

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

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



Gambar 2-2
Stator Motor Induksi Tiga-Phasa

2.2.2. Rotor

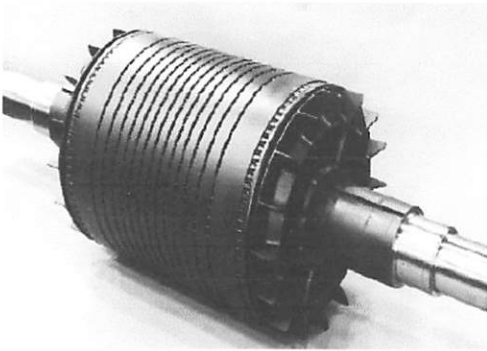
Konstruksi dari rotor motor induksi mempunyai dua bentuk, yaitu :

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

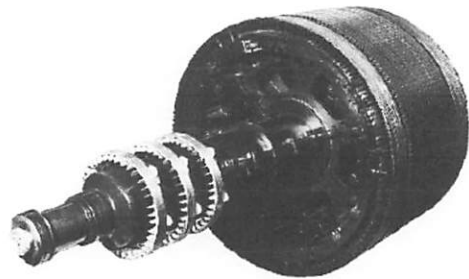
Motor induksi jenis ini mempunyai rotor dengan belitan kumparan tiga-fasa sama seperti kumparan stator. Kumparan stator dan rotor juga mempunyai jumlah kutub yang sama.

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

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



a)



b)

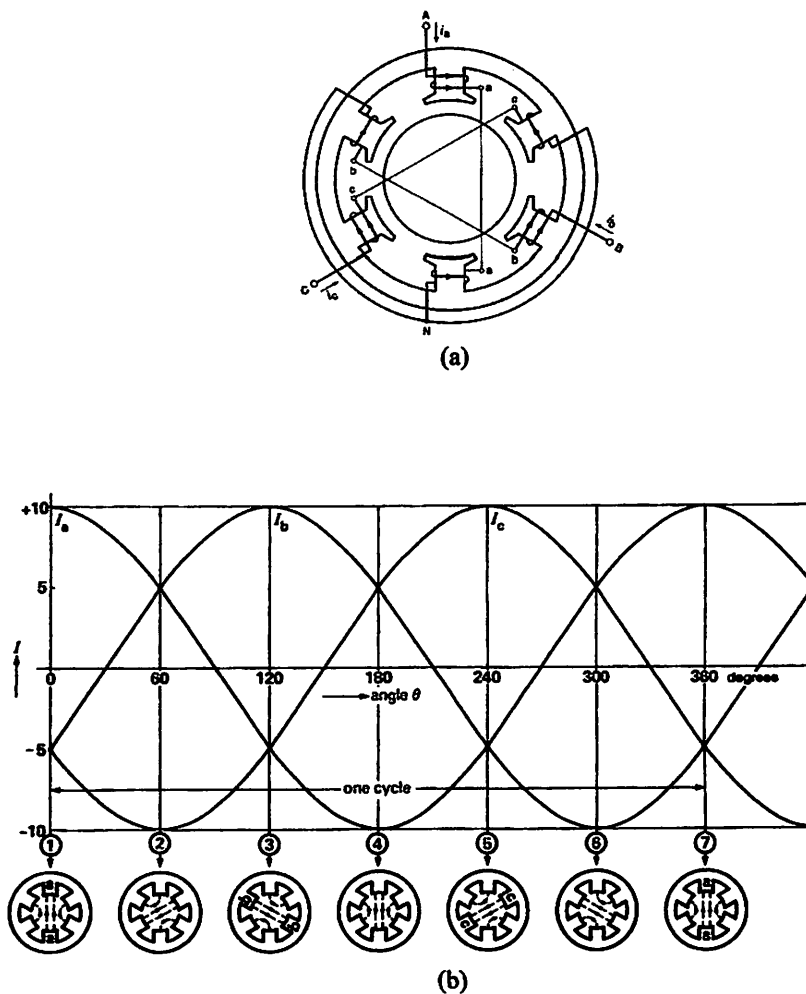
Gambar 2-3

a) Rotor Sangkar

b) Rotor Belitan

2.3. Medan Magnet Putar

Perputaran motor pada mesin arus bolak-balik ditimbulkan oleh adanya medan putar (fluks yang berputar) yang dihasilkan dalam kumparan statornya. Medan putar ini terjadi apabila kumparan stator dihubungkan dalam phasa banyak, umumnya tiga phasa. Hubungan dapat berupa hubungan bintang atau delta.



Gambar 2-4 : Medan Putar Pada Motor Induksi ^[5]

Medan putar terjadi apabila kumparan A-a, B-b, C-c dihubungkan tiga phasa dengan beda phasa 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.

2.3.1 Prinsip Kerja Motor Induksi

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

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

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

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

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

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

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

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

Untuk menghasilkan torsi mula (dan torsi penggerak berturut-turut) perlu arus yang mengalir dalam kumparan rotor. Mula-mula ggl induksi E_2 mengakibatkan arus rotor I_2 mengalir melalui rangkaian hubung-singkat, menghasilkan distribusi *ampere-conductor* yang berkerja dengan medan fluks untuk menghasilkan torsi mula. Pengaruh torsi ini selalu mengakibatkan rotor berputar dalam arah yang sama sebagaimana medan putar. Anggaphlah bahwa medan fluks putar searah jarum jam pada kecepatan tertentu yang bergantung pada frukuensi stator dan banyaknya kutub dari kumparan stator. Kecepatan ini disebut “kecepatan sinkron” dan dinyatakan :

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

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

2.3.2 Slip dan Frekuensi Arus Rotor

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

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} \dots\dots\dots (2.5)$$

Pada keadaan diam medan magnet putar yang dihasilkan oleh stator mempunyai kecepatan relatif yang sama dengan kumparan rotor. Pada saat ini frekuensi dari arus rotor sama dengan frekuensi stator ($f_r = f_s$). Frekuensi rotor f_r adalah nol ketika motor berputar pada kecepatan sinkron. Pada saat tersebut tidak terdapat gerakan (putaran) relatif antara medan putar dan rotor. Pada kecepatan yang lain,

frekuensi rotor proporsional dengan slip (s). Hubungan antara slip dan frekuensi dapat dilihat dari persamaan berikut ini^[21] :

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

dimana : p = jumlah kutub
 f_s = frekuensi stator

Pada rotor berlaku hubungan :

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

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

Maka :

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

2.4 Rangkaian Ekivalen

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

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

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

2.4.1 Pengaturan Putaran

Motor induksi tiga phase biasanya berputar dengan kecepatan yang relatif konstan. Akan tetapi dalam penggunaan tertentu kadang-kadang dikehendaki adanya pengaturan putaran untuk memperoleh jumlah putaran yang sesuai,

Berdasarkan rumus $n_s = \frac{120 f}{p}$, maka jumlah putaran motor induksi dapat diubah

dengan :

- Mengubah jumlah kutub, dengan frekuensi sumber tetap.
- Mengubah frekuensi sumber, dengan jumlah kutub tetap.

Untuk pengaturan putaran dengan cara yang pertama dapat dilakukan dengan merencanakan kumparan stator sedemikian rupa sehingga dapat menerima tegangan sumber dengan sambungan phase yang berbeda-beda. Masing-masing sambungan phase tersebut dapat diperoleh jumlah kutub yang berbeda-beda pula sehingga jumlah putaran motor berubah. Cara ini dapat dilakukan pada motor-motor induksi dengan rotor sangkar (karena jumlah kutub pada rotor sangkar akan menyesuaikan jumlah kutub dari statornya).

Pengaturan putaran motor induksi dengan mengubah frekwensi jala-jala dapat dilakukan dengan solid state frekwensi converter.

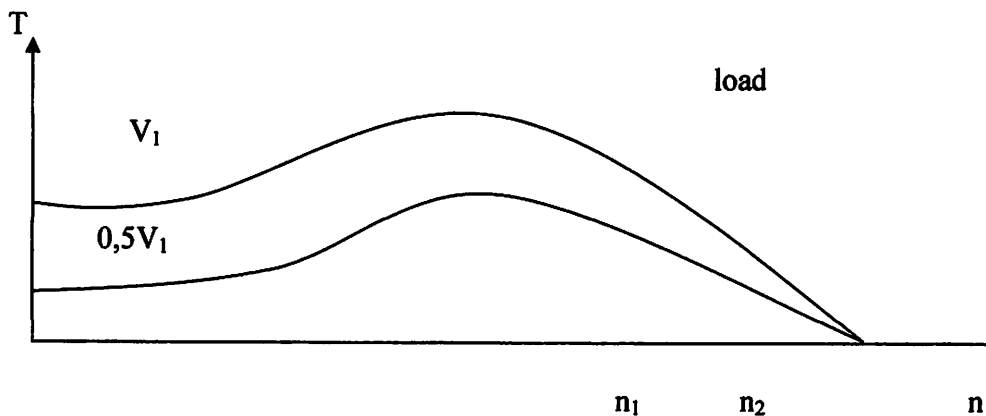
2.4.2 Mengatur Tegangan Jala-jala

$$\text{Dari persamaan } T = \frac{m}{2\pi n_r} \times \frac{v_1^2 \cdot r_2}{z_e^2} \times \frac{(1-s)}{s}$$

Diketahui bahwa T sebanding dengan kwadrat tegangan jala-jala.

Untuk karakteristik beban seperti gambar 2-1, kecepatan akan berubah dari n_1 ke n_2 untuk tegangan semula

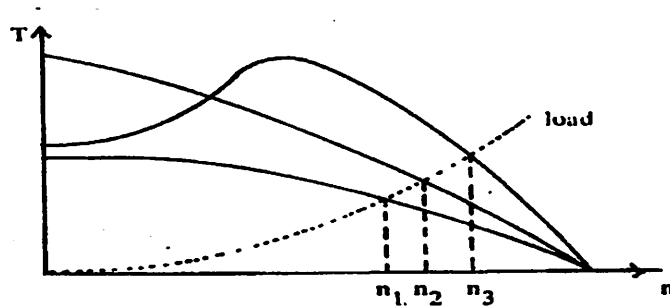
Cara ini hanya menghasilkan pengaturan putaran yang terbatas.



Gambar 2-5

2.4.3 Mengatur Tahanan Luar

Tahanan luar R_L motor induksi rotor dililit dapat diatur, dengan demikian dihasilkan karakteristik kopel kecepatan yang berbeda-beda seperti gambar 2-2. Putaran akan berubah dari n_1 ke n_2 ke n_3 dengan bertambahnya tahanan luar yang dihubungkan pada rotor.



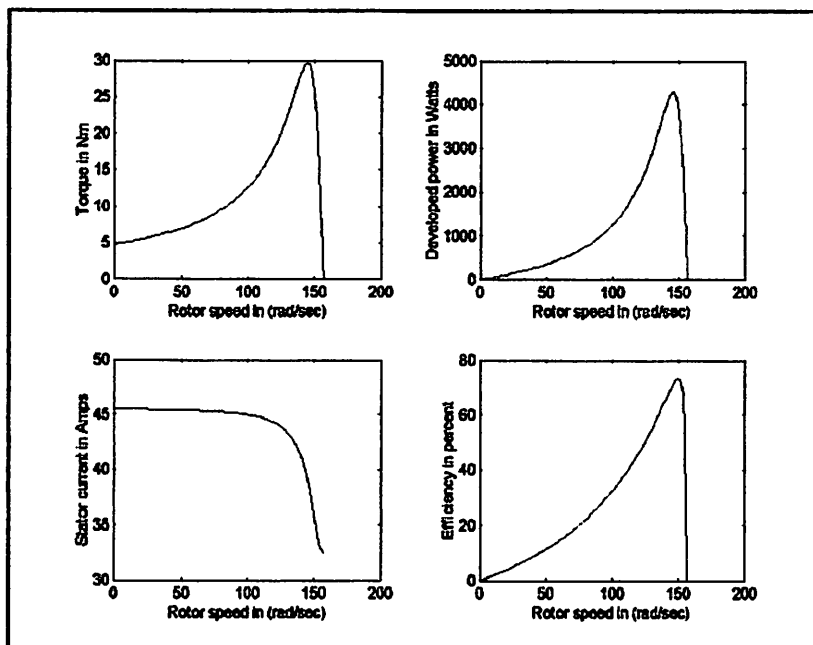
Gambar 2-6

2.5 Operasional Motor Induksi

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

2.5.1 Performa *Steady State*

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



Gambar 2-7

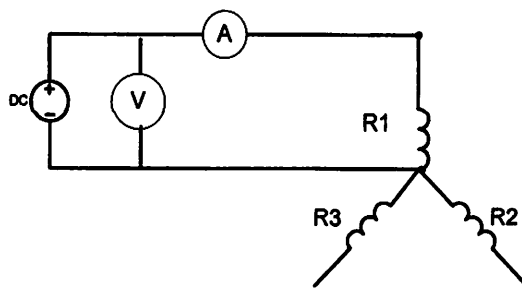
Keadaan Steady State Motor Induksi

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 2.10.



Gambar 2-8
Pengujian Arus Searah (*DC Test*)

Kumparan stator terhubung bintang (Y) dan bila sumber DC disuplai melalui kumparan kumparan 1 , dengan kumparan ke tiga (kumparan c) dalam keadaan terbuka (*open circuit*), maka nilai dari resistansi ekivalen (R_{dc}) :

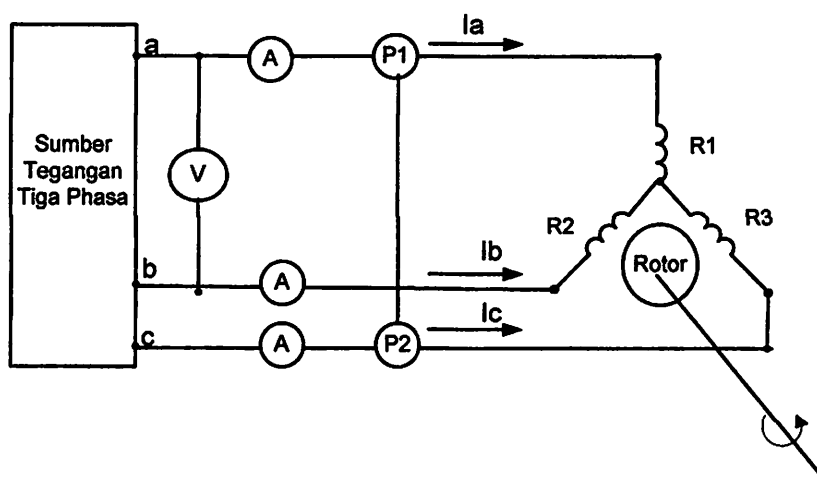
untuk nilai resistansi kumparan a dan b :

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

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

2.6.2 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 2-9

Rangkaian Pengujian Tanpa Beban (*No Load Test*)

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

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

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

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

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

Untuk arus pada no load

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

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

$$R_{nl} = \frac{P_{3\phi}}{3I_0} \text{ ohm} \dots\dots\dots (2.37)$$

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

R_c , resistansi rugi-rugi inti :

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

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

Rugi Rugi Stator

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

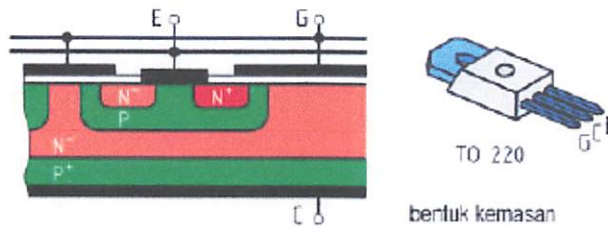
Rugi Gesek, angin, rugi besi :

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

2.7 Pengendali IGBT (*Insulated Gate Bipolar Transistor*).

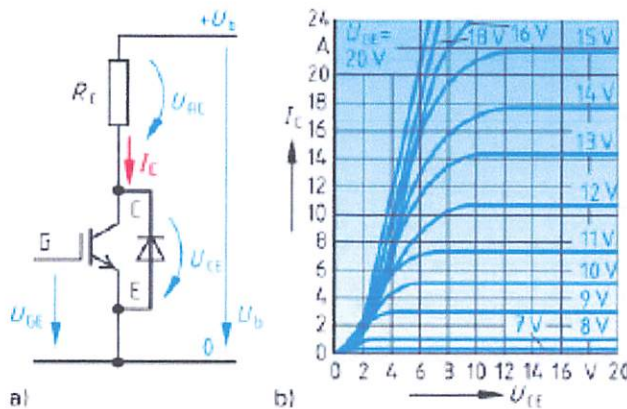
IGBT (*Insulated-Gate Bipolar Transistor*) adalah piranti semikonduktor dengan tiga terminal yang setara dengan gabungan sebuah transistor bipolar (BJT) dan sebuah transistor efek medan (MOSFET) yang tercatat untuk efisiensi tinggi dan cepat berpindah. Karena dirancang untuk cepat menghidupkan dan mematikan, IGBT sering digunakan dengan menyatukan kompleks waveforms pulse modulasi lebar dan low-pass filters. IGBT komponen elektronika yang banyak dipakai dalam elektronika daya, aplikasinya sangat luas dipakai untuk mengatur putaran motor DC atau motor AC daya besar, dipakai sebagai inverter yang mengubah tegangan DC menjadi AC,

dipakai komponen utama *Variable Voltage Variable Frequency* (VVVF), dipakai dalam kontrol pembangkit tenaga angin dan tenaga panas matahari. Dimasa depan IGBT akan menjadi andalan dalam industri elektronika maupun dalam listrik industri.



Gambar 10.18 : Struktur Fisik dan Kemasan IGBT

IGBT memiliki kesamaan dengan Transistor bipolar, perbedaannya pada Transistor bipolar arus basis I_B yang diatur. Sedangkan pada IGBT yang diatur adalah tegangan gate ke emitor U_{GE} . Dari gambar-10.19 karakteristik IGBT, pada tegangan $U_{CE} = 20\text{ V}$ dan tegangan gate diatur dari minimum 8 V, 9 V dan maksimal 16 V, arus *Collector IC* dari 2 A sampai 24 A.



Gambar 10.19 : Karakteristik Output IGBT

Pada tahun-tahun yang lalu, gelanggang piranti penyakelar daya (switching device) memang didominasi oleh transistor, juga SCR yang sulit untuk dimatikan serta bekerja relatif lambat. Kondisi ini mendorong para perancang di berbagai

laboratorium pembuatan piranti semikonduktor seperti di Motorola, IR, APT, IXYS, Siemens, Samsung dan lainnya saling berlomba untuk menemukan piranti penyalakel yang memiliki kemampuan lebih baik. Sebagai hasilnya, munculah piranti IGBT. IGBT memang telah muncul sebagai pesaing bagi Power MOSFET konvensional yang beroperasi pada tegangan tinggi dan rugi konduksi yang rendah. Berbagai usaha telah dilakukan dalam tahun-tahun terakhir ini untuk dapat membuat penyalakel IGBT dapat bekerja seperti halnya MOSFET, sembari mendapatkan kemampuan yang setara dengan transistor daya bipolar, baik yang bekerja pada tegangan menengah maupun tegangan tinggi.

Para pembuat IGBT memang sedang berusaha untuk membuat piranti elektronik ini menjadi pilihan alternatif yang menarik untuk rentang yang luas di bidang elektronika daya, tempat yang semula didominasi oleh power MOSFET dan transistor bipolar. Dampaknya, para rekayasawan yang berkecimpung di bidang elektronika dayapun kini dihadapkan pada suatu pilihan yang perlu lebih cermat dalam mempertimbangkan beberapa kriteria, saat memilih mana dari kedua piranti elektronik tersebut yang akan dipergunakan. Sebab, seri-seri baru kini terus bermunculan di pasaran, beserta masing-masing keunggulannya.

Sesuai dengan namanya, divais baru ini merupakan divais yang menggabungkan struktur dan sifat-sifat dari kedua jenis transistor tersebut di atas, BJT dan MOSFET. Dengan kata lain, IGBT mempunyai sifat kerja yang menggabungkan keunggulan sifat-sifat kedua jenis transistor tersebut. Terminal gate dari IGBT, sebagai terminal kendali juga mempunyai struktur bahan penyekat (insulator) sebagaimana pada MOSFET. Input dari IGBT adalah terminal Gate dari MOSFET, sedang terminal Source dari MOSFET terhubung ke terminal Basis dari BJT. Dengan demikian, arus drain keluar dari MOSFET akan menjadi arus basis dari BJT. Karena besarnya tahanan masuk dari MOSFET, maka terminal input IGBT

hanya akan menarik arus yang kecil dari sumber. Di pihak lain, arus drain sebagai arus

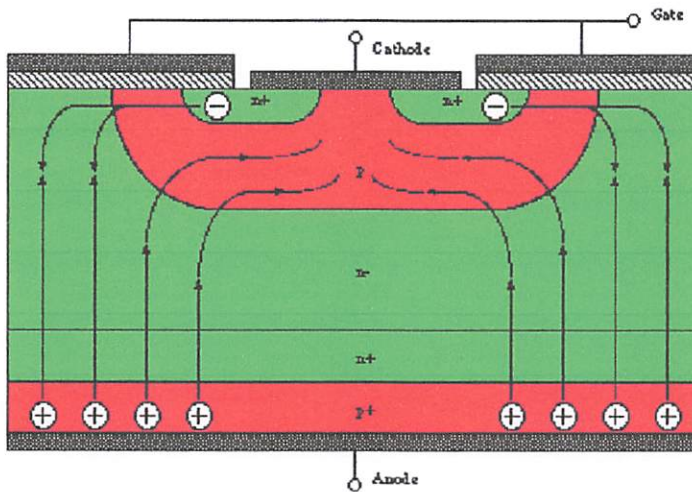


Fig 2: Hole and electron flow in the IGBT during on-state

keluaran dari MOSFET akan cukup besar untuk membuat BJT mencapai keadaan saturasi. Dengan gabungan sifat kedua elemen tersebut, IGBT mempunyai perilaku yang cukup ideal sebagai sebuah saklar elektronik. Di satu pihak IGBT tidak terlalu membebani sumber, di pihak lain mampu menghasilkan arus yang besar bagi beban listrik yang dikendalikannya. Terminal masukan IGBT mempunyai nilai impedansi yang sangat tinggi, sehingga tidak membebani rangkaian pengendalinya yang umumnya terdiri dari rangkaian logika. Ini akan menyederhanakan rancangan rangkaian pengendali (controller) dan penggerak (driver) dari IGBT. Di samping itu, kecepatan pensaklaran IGBT juga lebih tinggi dibandingkan divais BJT, meskipun lebih rendah dari divais MOSFET yang setara. Di lain pihak, terminal keluaran IGBT mempunyai sifat yang menyerupai terminal keluaran (kolektor-emitter) BJT. Dengan kata lain, pada saat keadaan menghantar, nilai tahanan menghantar (R_{on}) dari IGBT sangat kecil, menyerupai R_{on} pada BJT. Dengan demikian bila tegangan jatuh serta

lesapan dayanya pada saat keadaan menghantar juga kecil. Dengan sifat-sifat seperti ini, IGBT akan sesuai untuk dioperasikan pada arus yang besar, hingga ratusan Ampere, tanpa terjadi kerugian daya yang cukup berarti. IGBT sesuai untuk aplikasi pada perangkat inverter maupun Kendali Motor Listrik (Drive).

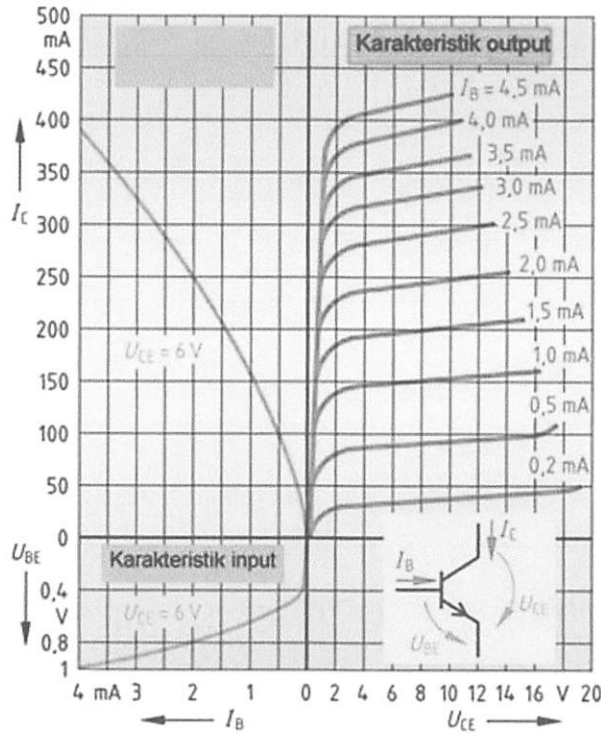
Komponen utama di dalam aplikasi elektronika daya (power electronics) dewasa ini adalah saklar zat padat (solid-state switches) yang diwujudkan dengan peralatan semikonduktor seperti transistor bipolar (BJT), transistor efek medan (MOSFET), maupun Thyristor. Sebuah saklar ideal di dalam aplikasi elektronika daya akan mempunyai sifat-sifat sebagai berikut:

1. Pada saat keadaan tidak menghantar (off), saklar mempunyai tahanan yang besar sekali, mendekati nilai tak berhingga. Dengan kata lain, nilai arus bocor struktur saklar sangat kecil
2. Sebaliknya, pada saat keadaan menghantar (on), saklar mempunyai tahanan menghantar (R_{on}) yang sekecil mungkin. Ini akan membuat nilai tegangan jatuh (voltage drop) keadaan menghantar juga sekecil mungkin, demikian pula dengan besarnya daya lesapan (power dissipation) yang terjadi, dan (kecepatan pensaklaran (switching speed) yang tinggi
 1. IGBT (Insulated Gate Bipolar Junction) adalah piranti yang memiliki kinerja cepat dalam berpindah dan memiliki efisiensi tinggi, sehingga dengan sifat yang dimilikinya IGBT cocok untuk digunakan sebagai saklar daya.
 2. Total Daya Disipasi (Daya maksimal yang dapat device tahan)
 3. Arus Pada Colector

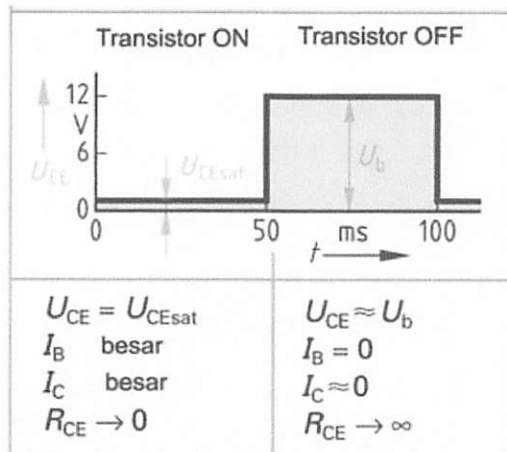
2.8 PSCAD/EMTDC

PSCAD (Power System Computer Aided Design) merupakan software yang mendukung simulasi, desain dan verifikasi semua tipe system tenaga listrik. Software ini memberikan fasilitas untuk studi dan analisis dalam bidang elektronika daya, kualitas daya, proteksidan perencanaan peralatan yang mendukung kinerja system tenaga listrik. Dibandingkan dengan software lain dengan tujuan sama, PSCAD memiliki kecepatan dan akurasi yang lebih baik serta lebih mudah di gunakan.^[6]

PSCAD juga dikenal dengan nama PSCAD/EMTDC karena EMTDC merupakan bagian fungsi simulasi yang terintergrasi dengan PSCAD untuk mendukung fungsi tampilan grafis PSCAD. Dengan adanya fasilitas EMTDC, software ini sangat sesuai untuk mendesain simulasi suatu system tenaga listrik beserta sistem kontrolnya secara online berdasarkan rentang waktu tertentu (time domain instantaneous response). Fungsi desain, analisis dan tampilan grafis untuk suatu system tenaga listrik yang akan di analisa dapat di tampilkan dalam suatu paket dengan fasilitas kontrol unit, meter dan online plotting grafis yang interaktif. Dengan kemampuannya ini, software PSCAD/EMTDC sudah digunakan dalam bidang manufaktur, penelitian dan konsultan sebagai alat analisa yang utama

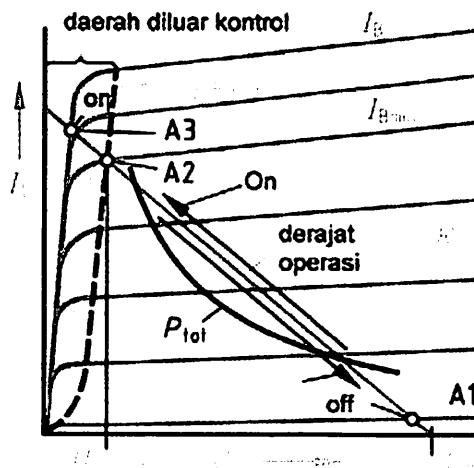


Gambar 3-1
Karakteristik Output Transistor



Gambar 3-2
Tegangan Operasi Transistor sebagai saklar sebagai Saklar

Ketika transistor kondisi OFF, tegangan UCE mendekati tegangan UB dan arus basis IB dan arus kolektor IC mendekati nol, pada saat tersebut tahanan RCE tak terhingga.

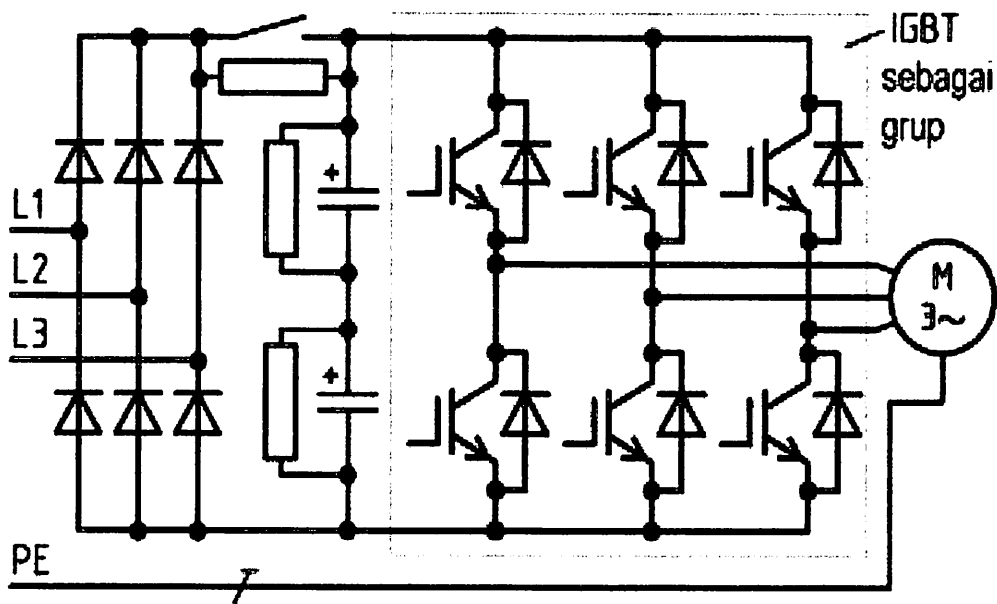


Gambar 3-3
Garis beban transistor

Karakteristik output transistor memperlihatkan garis kerja transistor dalam tiga kondisi. Pertama transistor kondisi sebagai sakelar ON terjadi ketika tegangan UCE saturasi, terjadi saat arus basis IB maksimum pada titik A3. Kedua transistor berfungsi sebagai penguat sinyal input ketika arus basis IB berada di antara arus kerjanya A2 sampai A1. Ketiga ketika arus basis IB mendekati nol, transistor kondisi OFF ketika tegangan UCE sama dengan tegangan suplai UB titik A1.

3.2 Aplikasi IGBT Untuk Inverter

Rangkaian *Cycloconverter* di mana tegangan AC 3 fase disearahkan menjadi tegangan DC oleh enam buah Diode. Selanjutnya sembilan buah IGBT membentuk konfigurasi yang akan menghasilkan tegangan AC 3 fase dengan tegangan dan frekuensi yang dapat diatur, dengan mengatur waktu ON oleh generator PWM. Rangkaian VVVF ini dipakai pada KRL merk HOLEC di Jabotabek.

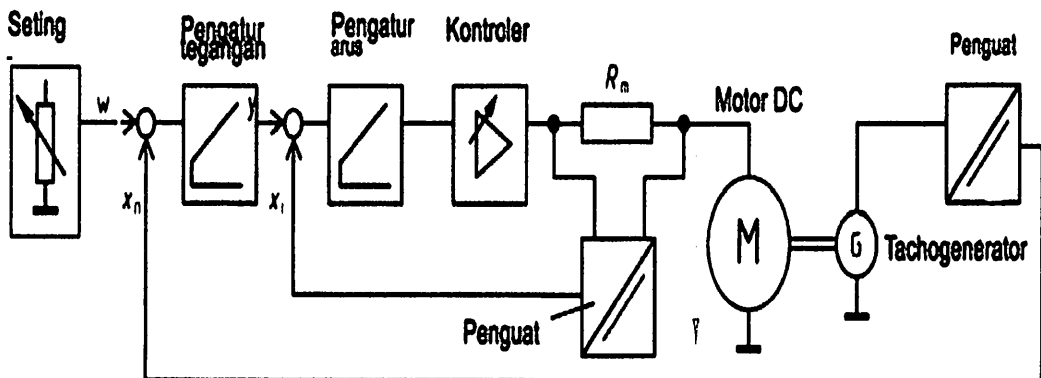


Gambar 3-4

Karakteristik Output Transistor

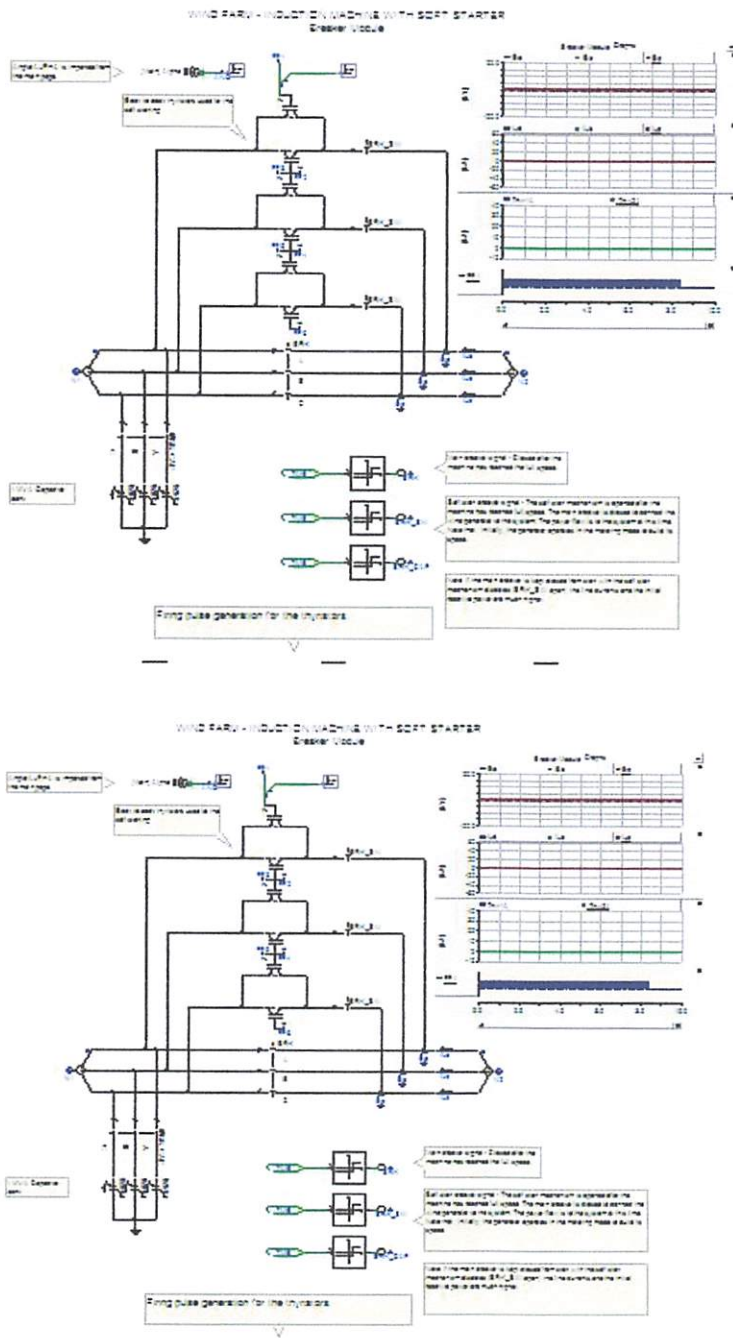
3.3 Pengaturan Kecepatan Motor DC

Bagian setting mengatur posisi potensiometer untuk mengatur tegangan 10 Volt pada 1.000 Rpm. Motor DC akan berputar setelah dihubungkan dengan suply DC sampai putaran mendekati 1.000 Rpm, misalkan 1.050 Rpm. Tachogenerator akan mendeteksi kecepatan motor DC, dan mengubah menjadi tegangan 10,05 Volt. Tegangan 10,05 Volt dibandingkan dengan tegangan setting 10 V, diperoleh selisih – 0,05V (10V – 10,05V). Selisih tegangan ini disebut sebagai kesalahan (error) yang menjadi input pengatur tegangan (penguatan 10X), hasilnya $10 \times 0,05V = 0,5V$. Tegangan 0,5V akan menjadi input Kontroller yang mengatur tegangan yang masuk ke. rangkaian jangkar motor DC, akibatnya putaran menurun sesuai dengan setting putaran 1.000 Rpm. Kondisi akan terjadi secara terus-menerus yang menghasilkan putaran motor DC tetap konstan.



Gambar 3-5

Blok Diagram Pengaturan Kecepatan Motor DC



Gambar 3-6
Blok Secara Keseluruhan

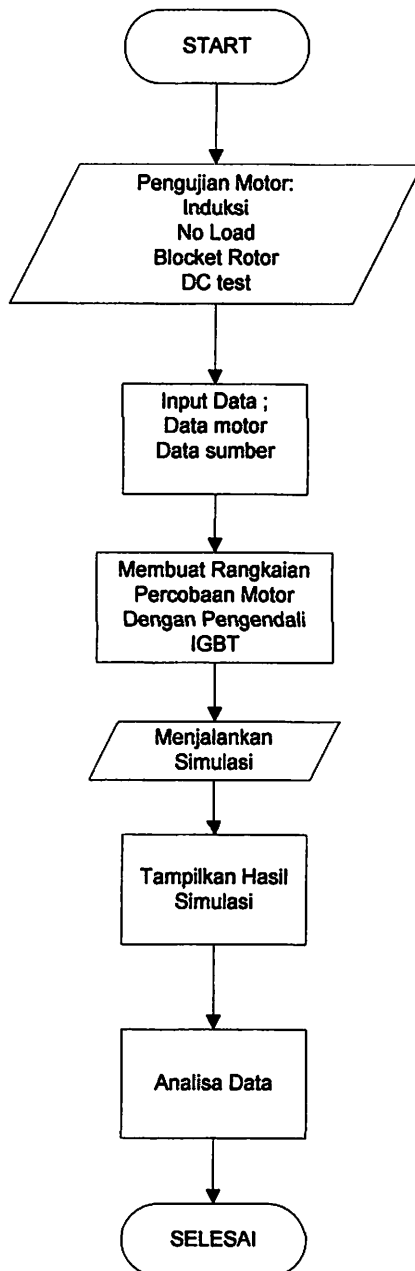
3.4. Algoritma Pemograman

3.4.1. Algoritma Pemecahan Masalah Secara Umum

1. Pengujian Parameter Motor Induksi
 - a. DC test
 - b. Tanpa Beban (*No Load Test*)
 - c. Rotor Tertahan (*Blocked Rotor Test*)
2. Membentuk Block Simulink Motor Induksi Berdasarkan *Transfer Function*
3. Memasukan parameter-parameter.
4. Menjalankan simulasi motor induksi dengan parameter motor dan sudut penyulutan yang telah dimasukkan
5. Menampilkan hasil simulasi Tegangan, Arus, Kecepatan, dan torsi

3.5. Flowchart Pemecahan Masalah Secara Umum.

3.5.1. Simulasi



BAB IV

ANALISA PARAMETER MOTOR DAN HASIL SIMULASI

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

4.1 Pengujian Parameter Motor Induksi

4.1.1 Alat-alat yang digunakan

- a. Motor induksi Tiga Phasa DE LORENZO / DL 1022

Data papan (*Name-Plate*)

| | |
|------------------------------|---|
| TEGANGAN | : 220/380 (Δ/Y) VOLT |
| ARUS | : 4.3/2.5 (Δ/Y) AMPERE |
| COS ϕ | : 0.83 |
| FREKUENSI | : 50 HZ |
| DAYA | : 1.1 KW |
| PUTARAN | : 2820 RPM |
| KUTUP | : 2 KUTUP |
| KELAS ISOLASI | : F |

- b. Voltmeter DE LORENZO DL 1031
c. Amperemeter DE LORENZO DL 1031
d. Wattmeter 3 phasa DE LORENZO DL 1031
c. 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*)

| No | Vdc (Volt) | I (Ampere) |
|----|------------|------------|
| 1 | 4 | 0.75 |
| 2 | 6 | 1.12 |
| 3 | 8 | 1.44 |
| 4 | 10 | 1.78 |
| 5 | 12 | 2.14 |

Tabel 4-1
Data Hasil Pengujian Arus Searah

4.1.3 Pengujian Tanpa Beban (*No Load Test*)

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

Tabel 4-2
Data Hasil Pengujian Beban Nol

4.1.4 Pengujian Rotor Tertahan (*Blocked Rotor Test*)

| I_{motor} (Ampere) | | | $P_{3 \text{ Phasa}}$ (WATT) | V_{L-L} (Volt) |
|-----------------------------|-----|-----|---------------------------------|---------------------|
| a | b | c | | |
| 2.5 | 2.5 | 2.5 | 230 | 78 |

Tabel 4-3

Data Hasil Pengujian Motor Rotor Tertahan

4.2 Analisa Parameter Motor Induksi

- Dari pengujian arus searah besarnya resistansi stator adalah:
Dengan menggunakan persamaan 2.52

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

C. Dari Rotor tertahan (Blocked Rotor Test)

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

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

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

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

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

$$= \sqrt{18.01^2 - 12.267^2} = 13.08\Omega$$

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

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

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

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

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

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

$$= 189.58 - 6.54$$

$$= 183.04 \Omega$$

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

$$R = R_r - R_s$$

$$= 12.267 - 5.49$$

$$= 6.78$$

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

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

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

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

| rs | rr | xls | xlr | xm |
|------|------|------|------|--------|
| 5.49 | 7.02 | 6.54 | 6.54 | 183.04 |

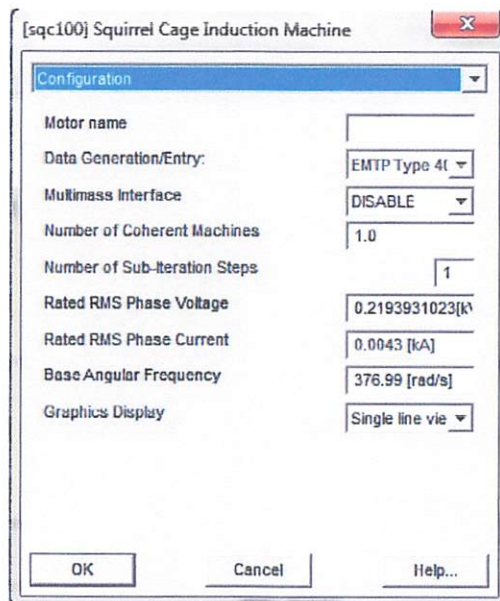
Tabel 4-4

Hasil Perhitungan Pengujian Parameter Motor Induksi Tiga Fasa

4.3 Simulasi Motor Induksi

4.3.1 Tampilan Parameter

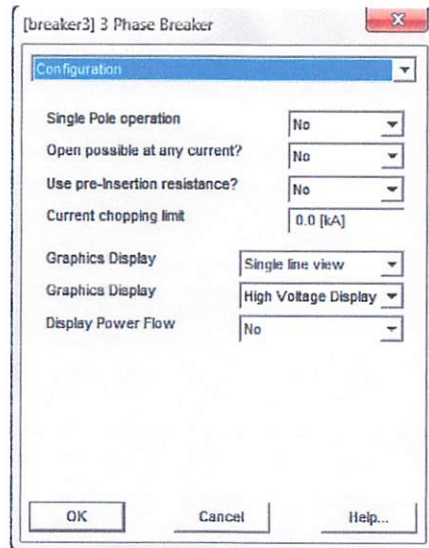
Dengan menggunakan parameter yang telah dihitung melalui pengujian dan *name plate* motor maka kita dapat melakukan analisa untuk mendapatkan Beberapa data dari simulasi motor induksi yang menggunakan pengendali IGBT. Berikut adalah bentuk hasil tampilan parameter motor induksi 3 fasa.



Gambar 4-1

Parameter Motor Induksi 3 fasa

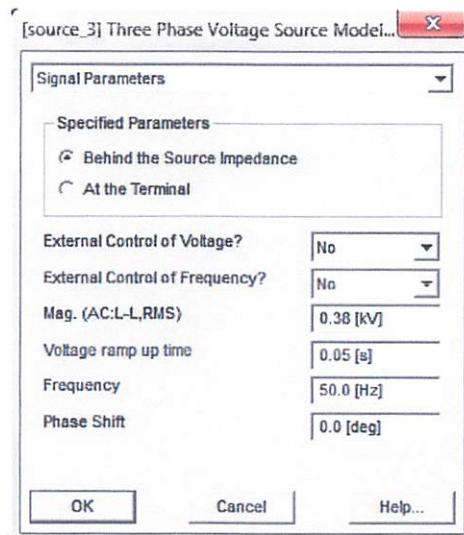
Dari gambar diatas rugi-rugi gesekan diabaikan sehingga bisa memungkinkan terjadi suatu inputan data yang kurang sempurna, namun tidak berpengaruh besar terhadap hasil simulasi.



Gambar 4-2

Tampilan Blok Parameter 3 Phase Breaker

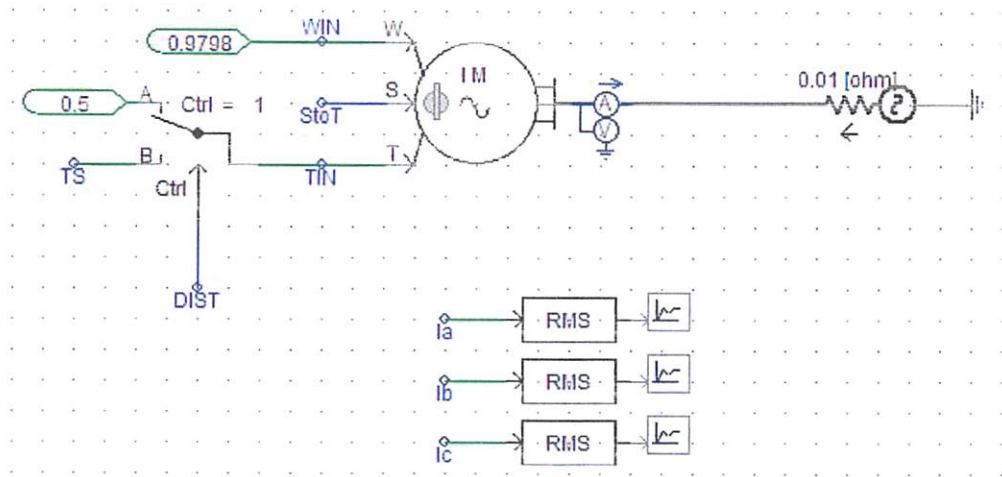
Dalam pemakaian blok 3 phase breaker diharapkan mengisikan parameter-parameter yang telah disediakan sesuai dengan seting yang diperlukan. Untuk pengaturan waktu terjadinya gangguan diatur dengan seting waktu tidak boleh sama dengan nol.



Gambar 4-3

Blok Parameter Power Supply

4.3.2 Hasil Simulasi Pengaturan Kecepatan Motor induksi 3 fasa Tanpa Pengendali IGBT.



Gambar 4-4

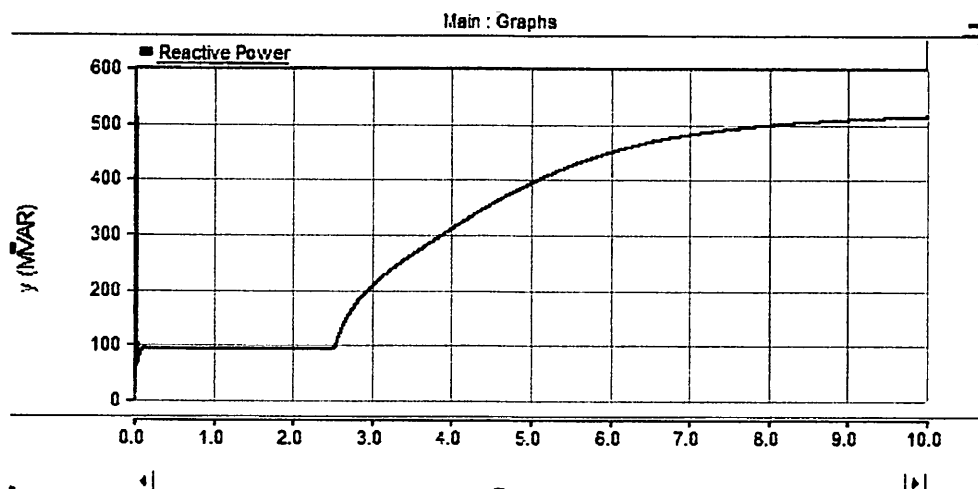
Rangkaian Tanpa IGBT Pada PSCAD



Gambar 4-5

Grafik Hasil Dari Daya Nyata Tanpa IGBT

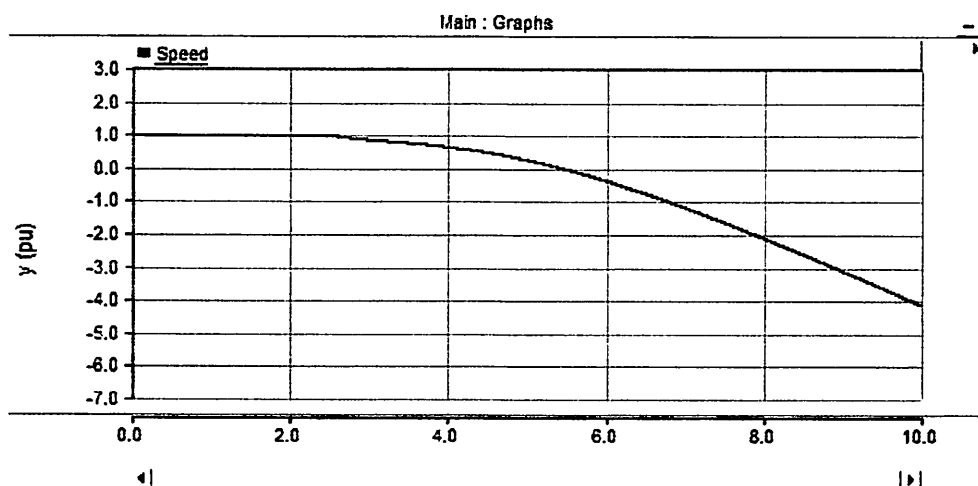
Pada Gambar 4-5 ini menerangkan tentang bentuk gelombang hasil daya nyata tanpa IGBT terlihat gelombang arus sinusoida secara tidak sempurna.



Gambar 4-6

Grafik Hasil Dari Daya Reaktif Tanpa IGBT

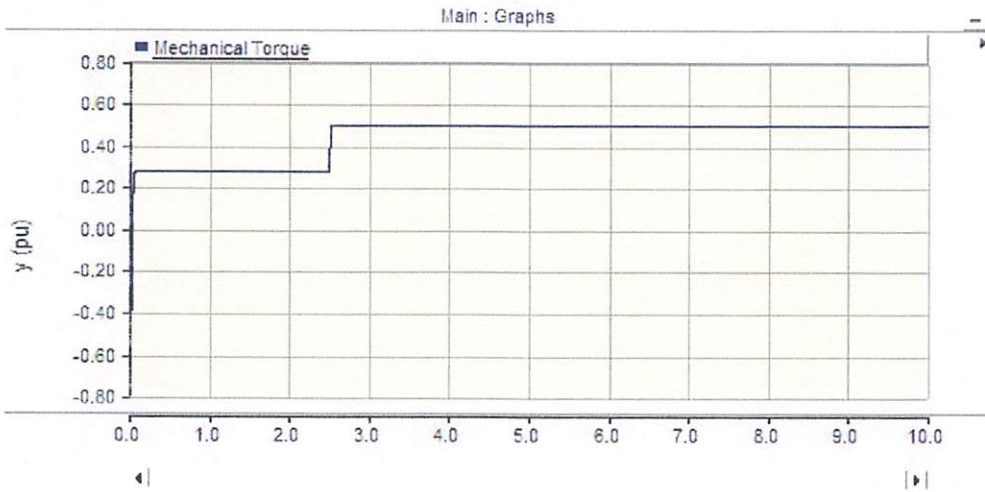
Pada Gambar 4-6 ini menerangkan tentang hasil daya reaktif tanpa menggunakan IGBT yang terlihat hasil dari gelombang masih belum sempurna.



Gambar 4-7

Grafik Hasil Dari Kecepatan Tanpa IGBT

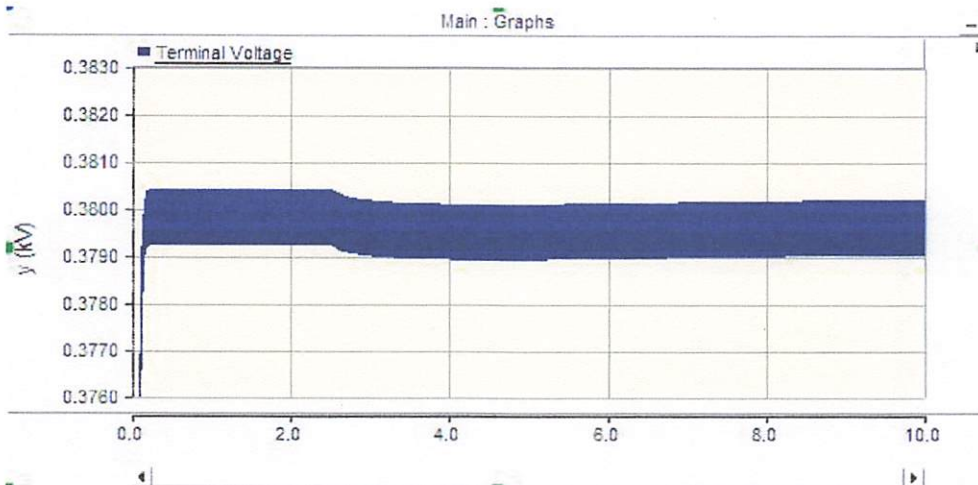
Pada gambar 4-7 ini menjelaskan tentang bentuk gelombang dari hasil kecepatan tanpa menggunakan IGBT terlihat gelombang yang belum sempurna.



Gambar 4-8

Grafik Hasil Dari Torsi Tanpa IGBT

Pada gambar 4-8 ini menjelaskan tentang bentuk gelombang dari hasil torsi tanpa menggunakan IGBT terlihat gelombang yang belum jelas atau sempurna.

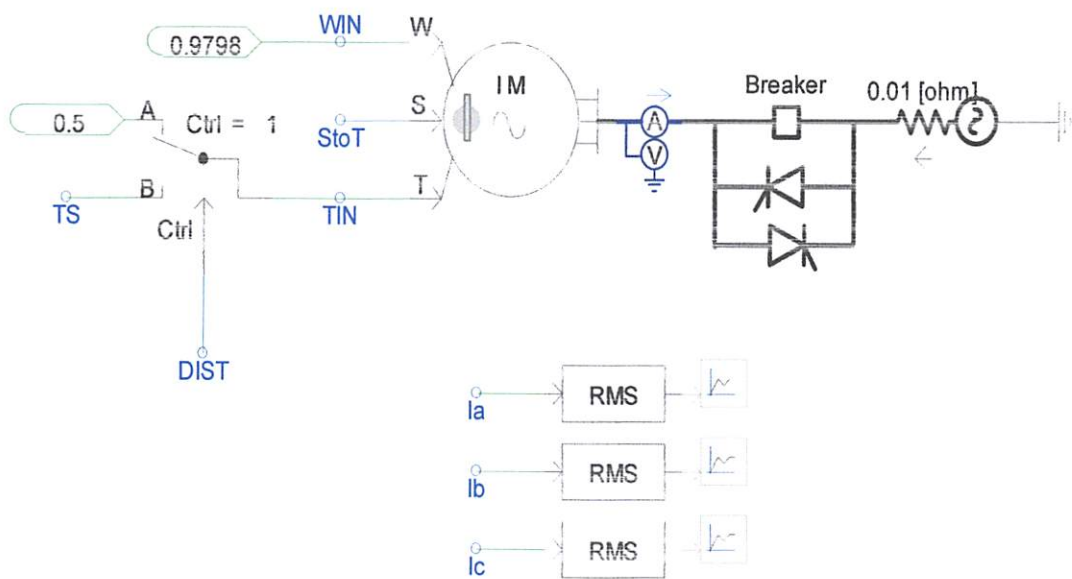


Gambar 4-9

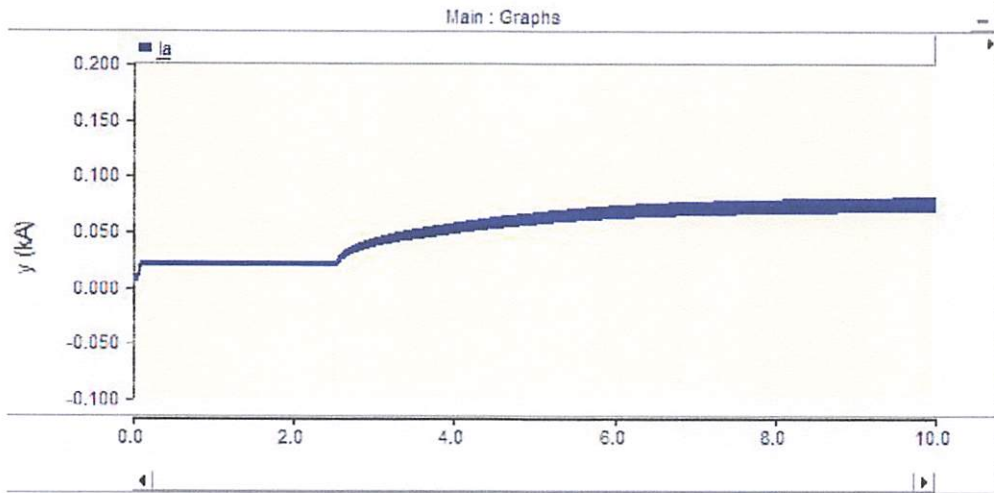
Grafik Hasil Dari Tegangan Terminal Tanpa IGBT

Pada gambar 4-9 ini menjelaskan bentuk gelombang hasil dari tegangan terminal tanpa menggunakan IGBT terlihat gelombang yang masih belum sempurna

4.3.3 Hasil Simulasi Pengaturan Kecepatan Motor induksi 3 fasa Menggunakan Pengendali IGBT.



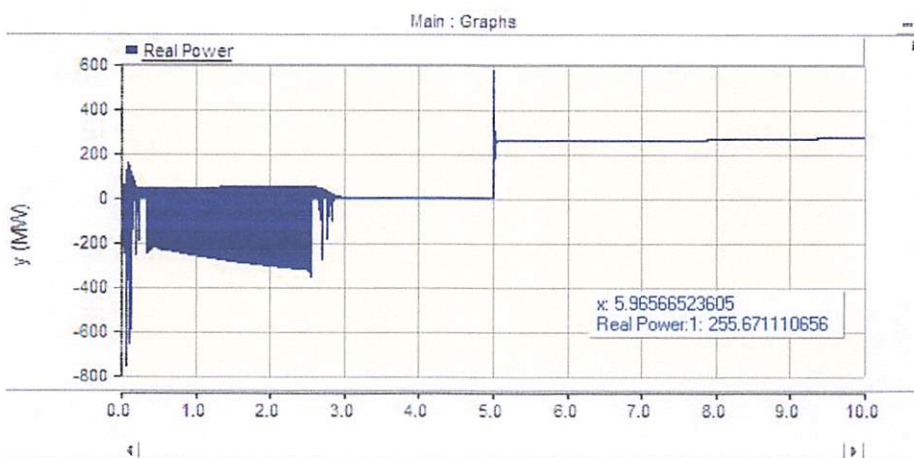
Gambar 4-10
Rangkaian Menggunakan Pengendali IGBT.



Gambar 4-11

Grafik Motor induksi 3 fasa Menggunakan Penngeendali IGBT.

Pada gambar 4-11 ini menjelaskan grafik motor induksi 3 fasa menggunakan IGBT terlihat membentuk konfigurasi yang akan menghasilkan tegangan AC 3 fasa dengan tegangan dan frekuensi yang dapat diatur



Gambar 4-12

Grafik Hasil Dari Daya Nyata Menggunakan Penngeendali IGBT.

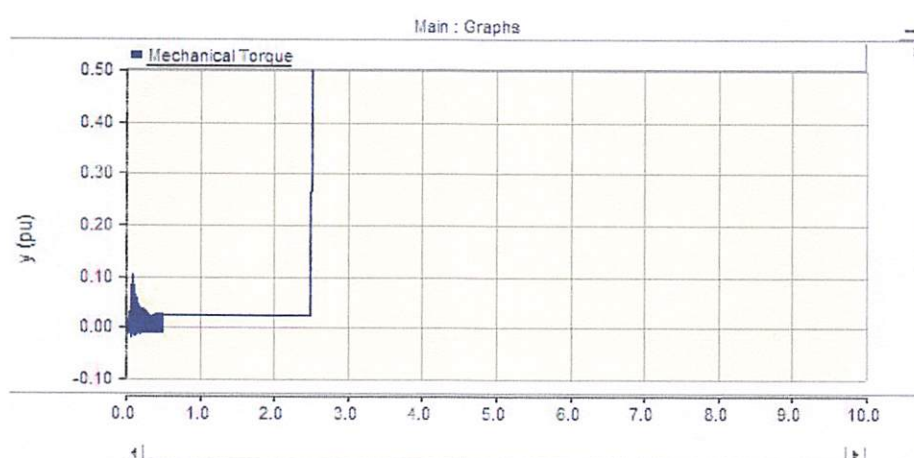
Gambar 4-12 ini menjelaskan hasil dari daya nyata menggunakan pengendali IGBT menghasilkan daya nyata yang lebih baik dan sempurna.



Gambar 4-13

Grafik Hasil Dari Kecepatan Menggunakan Pengendali IGBT

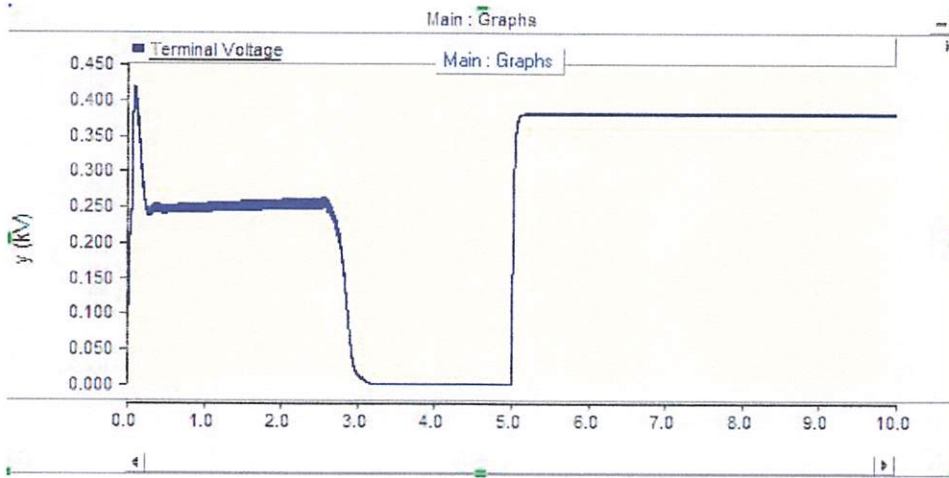
Pada gambar 4-13 ini menjelaskan hasil dari kecepatan menggunakan pengendali IGBT menghasilkan bentuk gelombang yang lebih baik dari sebelumnya.



Gambar 4-14

Grafik Hasil Dari Torsi Menggunakan Pengendali IGBT

Pada gambar 4-14 ini menjelaskan hasil dari torsi menggunakan pengendali IGBT menghasilkan torsi yang besar bagi beban yang dikendalikan.



Gambar 4-15

Grafik Hasil Tegangan Terminal Menggunakan Pengendali IGBT

Pada gambar 4-15 ini menjelaskan hasil dari tegangan terminal menggunakan pengendali IGBT menghasilkan bentuk gelombang yang lebih baik.

4.4. Perbandingan Motor Induksi 3 fasa Sebelum dan Sesudah Menggunakan Pengendali IGBT

Pengaturan tegangan pada motor induksi 3 fasa adalah merupakan salah satu cara pengaturan kecepatan¹Namun cara ini hanya menghasilkan pengaturan yang terbatas. Salah satu cara Pengaturan tegangan tersebut dapat dilakukan dengan menambahkan sepasang IGBT¹ pada setiap fasanya¹ Di dalam skripsi ini akan membahas lebih jelas tentang pengaruh pemasangan IGBT pada sumber tegangan motor induksi 3 fasa sehingga yang di analisisi adalah kinerja (*performance*) motor.

IGBT komponen elektronika yang banyak dipakai dalam elektronika daya, aplikasinya sangat luas dipakai untuk mengatur putaran motor induksi 3 fasa baik dengan daya yang kecil maupun besar, dipakai sebagai inverter yang mengubah tegangan DC menjadi AC, kemudian pada penggunaanya dalam kontrol motor induksi, inverter berfungsi sebagai mengatur frekuensi pada tegangan input motor sehingga putaran motor dapat di atur.

Dari analisis tersebut didapatkan unjuk kerja motor dalam kondisi *steady-state* yang disimulasikan dengan PSCAD. Hasilnya menunjukkan bahwa perhitungan nilai tegangan, arus dan torsi sistem dapat di ketahui dengan cepat.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari percobaan analisis unjuk kerja motor induksi 3 fasa DE LORENZO DL 1022 rotor sangkar dengan pengendali IGBT maka dapat ditarik beberapa kesimpulan antara lain :

1. Untuk simulasi dengan menggunakan IGBT maka motor induksi harus di modelkan dengan rangkaian.
2. Untuk pengaturan sudut penyulutan IGBT dapat menggunakan pengaturan arus yang masuk ke gerbang IGBT.
3. Penggunaan rangkaian IGBT berpengaruh pada tegangan AC.

5.2 Saran

Setelah penyusunan skripsi ini kami mempunyai beberapa masukan untuk di kembangkan yaitu :

1. Untuk mengoptimalkan penggunaan komponen IGBT, model rangkaiannya dapat di fariasi sehingga komponen IGBT ini dapat digunakan sebagai pengatur kecepatan motor induksi contohnya seperti model rangkaian pengatur frekwensi.
2. Didalam penggunaan komponen IGBT sebagai pengatur tegangan lebih bermanfaat bila di berikan suatu filter harmonisa.
3. Agar flidasi data lebih akurat, penginputan parameter dalam pembuatan program simulai hendaknya lebih teliti.
4. Untuk lebih bermanfaat lagi rangakaian ini dapat di aplikasikan pada Sistem pemanasan pada industry (*Industrial Heating*), Pengaturan Tap Trafo berdasarkan beban, (*on-load transformer tap changing*), Pengaturan intensitas cahaya lampu (*light control*)^[7].

DAFTAR PUSTAKA

- 1) Sixth Edition McGraw-Hill, 2003 Arthur E. Fitzgerald, Charles Kingsley, Jr., and Stephen D. Umans, *Electric Machinery*.
- 2) Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri di Asia
www.energyefficiencyasia.org
- 3) id.Wikipedia.org: Indonesia 2009 id.Wikipedia.org/wiki/IGBT, IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor).
- 4) Awan Uji Krismanto, ST, MT, Ir. Yusuf Ismail Nahkoda, MT 2010 “Modul Pelatihan PSCAD/EMTDC (Power System Computer Aided Design / Elektromagnetik Transient Including DC)”.
- 5) Theodore Wildi “Electrical Machine, drives, and Power system” Profesor Emeritus, Laval University.
- 6) Ahmed Ryas, Vol. 1, No 1, 2009 Atif Iqbal, Shaikh Moinoddin, SK MoinAhmed, Haitam Abu-Rub, “Comparative performance analysis of Thyristor and IGBT based induction motor soft starter”, International Journal of Engineering, Science and Technology.

LAMPİRAN



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

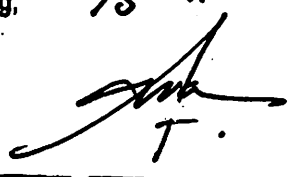
Formulir Perbaikan Ujian Skripsi

Dalam pelaksanaan Ujian Skripsi Janjang Strata 1 Jurusan Teknik Elektro Konsentrasi T. Energi Listrik / T. Elektronika / T. Infokom, maka perlu adanya perbaikan skripsi untuk mahasiswa :

NAMA : Subhan Mukhtar
NIM : 0212081
Perbaikan meliputi :

- * Penjelasan grafik !!
- * ~~BASIS~~ tidak ada penjelasan!
- Terdapat secara detail analisis hasil
- Searahkan barisannya dengan analisis hasil!
- Fungsi IGBT → turunkan!!

Malang, 20/3 '11

(
T.)


Formulir Perbaikan Ujian Skripsi

Dalam pelaksanaan Ujian Skripsi Janjang Strat 1 Jurusan Teknik Elektro Konsentrasi T. Energi Listrik / T. Elektronika / T. Infokom, maka perlu adanya perbaikan skripsi untuk mahasiswa :

NAMA : Subhan Mukti
NIM : 0212081
Perbaikan meliputi :

1. Setiap Grafik diberi penjelasan
2. Kesimpulan : anda menyebutkan Motor Induksi 3 ϕ sebelum dan sesudah 16B7 dipasang

Malang,

()



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

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

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

BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

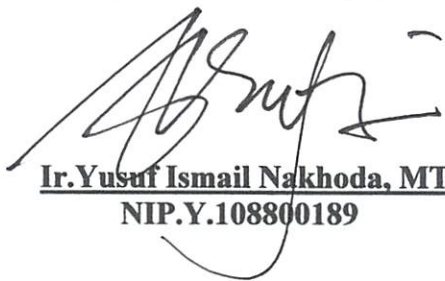
Nama Mahasiswa : SUBHAN MUKHTAR
NIM : 02.12.085
Jurusan : TEKNIK ELEKTRO S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik S-1
Judul Skripsi : **ANALISIS PENGATURAN KECEPATAN MOTOR
INDUKSI 3 FASA MENGGUNAKAN PENGENDALI
IGBT (INSULATED GATE BIPOLAR TRANSISTOR)
PSCAD/EMTDC**

Dipertahankan dihadapan tim penguji skripsi jenjang Strata Satu (S-1) pada:

Hari : Sabtu
Tanggal : 20 Agustus 2011
Dengan Nilai : 74.55 (B+) *or*

Panitia Ujian Skripsi,

Ketua Majelis Penguji

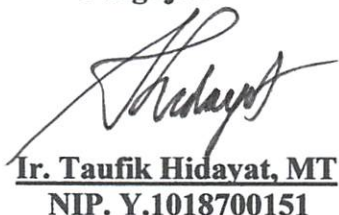

Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT
NIP. Y.108800189

Sekretaris Majelis Penguji


Dr. Eng. Aryuanto Soetedjo ST, MT
NIP. Y.1030800417

Anggota Penguji,

Penguji I


Ir. Taufik Hidayat, MT
NIP. Y.1018700151

Penguji II


Awan Uji Krismanto ST, MT
NIP. 132314402



PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI

**ari hasil ujian skripsi Jurusan Teknik Elektro jenjang strata satu (S-1)
ng diselenggarakan Pada :**

**ari : Sabtu
anggal : 20 Agustus 2011**

elah dilakukan perbaikan skripsi oleh :

**Nama : SUBHAN MUKHTAR
NIM : 02.12.085
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
Judul Skripsi : ANALISIS PENGATURN KECEPATAN MOTOR INDUKSI 3 FASA
MENGUNAKAN PENGENDALI
IGBT (INSULATED GATE BIPOLAR TRANSISTOR) DENGAN
PSCAD/EMTDC DI LABORATORIUM KONVERSI ENERGI
ELEKTRIK ITN MALANG**

erbaikan meliputi :

| No | Materi Perbaikan | Ket |
|----|---|-----|
| 1 | Penjelasan setiap grafik | |
| 2 | Jelaskan secara detail analisa hasil | |
| 3 | Sesuaikan kesimpulan dengan analisa hasil | |
| 4 | Kesimpulan bandingkan motor induksi 3 fasa sebelum dan sesudah IGBT | |
| 5 | Fungsi IGBT tunjukkan | |

Diperiksa dan disetujui :

Dosen penguji I

**H. Taufik Hidayat MT
NIP. Y. 1018700151**

Dosen penguji II

**Awan Uji Krismanto, ST, MT
NIP. 132314402**

Mengetahui :

Dosen Pembimbing I

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

Dosen Pembimbing II

**Bambang Prio H, ST, MT
NIP. Y. 1028400082**



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

SURAT PERMOHONAN

Dengan Hormat,
Saya dengan identitas sebagai berikut :

Nama : SUBHAN MUKHTAR
Nim : 02.12.085
Jurusan : Teknik Elektro/Teknik Energi Listrik S-1
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri
Keperluan : Pengambilan Parameter Motor Induksi 3 Fasa


Mengajukan permohonan peminjaman dan penggunaan alat untuk menyelesaikan Skripsi/Tugas Akhir dengan judul diatas di Laboratorium Konversi Energi Elektrik Malang.

Daftar Peralatan Yang Dipinjam

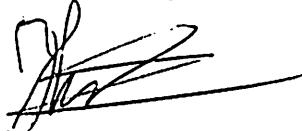
| Tanggal 03 Januari 2009 | | | |
|-------------------------|------------|---------------------|------------|
| No | Kode Alat | Nama Alat | Trade Mark |
| 1 | DL 1021 | Motor Motor Induksi | DELORENZO |
| 2 | DL 1013 M2 | Turret Power Suply | DELORENZO |
| 3 | DL 1031 | Volmeter | DELORENZO |
| 4 | 6108141 | Multimeter | SANWA |
| 5 | DL 2026 | Tacho Meter | DELORENZO |
| 6 | - | Aotu Travo | - |

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

Asisten Pendamping


Frans Ferry Pasaribu
05 12 019

Pemohon



Subhan Mukhtar
02.12.085

Ka. Lab. Konversi Energi Elektrik



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