

**ANALISA KONTROL TEGANGAN GENERATOR INDUKSI TIGA FASA  
DENGAN PEMASANGAN TDC (*TIME DELAY COMPENSATION*)  
MENGUNAKAN *SOFTWARE MATLAB SIMULINK*  
DI LABORATORIUM KONVERSI ENERGI ELEKTRIK ITN MALANG**

**SKRIPSI**



**Disusun oleh :**

**FREDY CHIANSIUSTIO**

**NIM : 03.12.063**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1  
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
2010**

2010

PERATURAN PERUMAHAN NEGARA RI  
TENTANG PERUMAHAN NEGARA  
KEMENTERIAN PERUMAHAN NEGARA  
TENTANG PERUMAHAN NEGARA

NO : 02/2008  
MUDA (MUDA)  
MUDA (MUDA)

2010-01

DI TUNDUKAN PERUMAHAN NEGARA NEGARA RI  
PERUMAHAN NEGARA NEGARA RI  
PERUMAHAN NEGARA RI (MUDA MUDA MUDA)  
PERUMAHAN NEGARA RI (MUDA MUDA MUDA)  
PERUMAHAN NEGARA RI (MUDA MUDA MUDA)

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**ANALISA KONTROL TEGANGAN GENERATOR INDUKSI TIGA FASA  
DENGAN PEMASANGAN TDC (TIME DELAY COMPENSATION)  
MENGUNAKAN SOFTWARE MATLAB SIMULINK  
DI LABORATORIUM KONVERSI ENERGI ELEKTRIK ITN MALANG**

**SKRIPSI**

**Disusun Dan Diajukan Untuk Melengkapi Tugas Dan Memenuhi Syarat Untuk  
Mencapai Gelar Sarjana Teknik Strata Satu**

**Disusun oleh :  
Fredy Chiansiustio  
NIM : 03.12.063**



**Mengetahui,  
Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1**

**Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT  
NIP.Y.101.8800.189**

**Diperiksa dan Disetujui,**

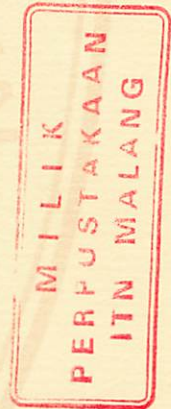
**Dosen Pembimbing I**

**Ir. M. Abdul Hamid, MT  
NIP.Y. 101.8800.188**

**Dosen Pembimbing II**

**Ir. Eko Nurcahyo  
NIP.Y.102.8700.172**

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





**ANALISA KONTROL TEGANGAN GENERATOR INDUKSI TIGA FASA  
DENGAN PEMASANGAN TDC (*TIME DELAY COMPENSATION*)  
MENGUNAKAN *SOFTWARE MATLAB SIMULINK*  
DI LABORATORIUM KONVERSI ENERGI ELEKTRIK ITN MALANG**

**Fredy Chiansiustio**

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

**Dosen Pembimbing II : Ir. Eko Nurcahyo**

Fakultas Teknologi Industri Jurusan Teknik Elektro S-1,

Institut Teknologi Nasional Malang,

Jl. Raya Karanglo, KM 2 Malang

Email : [Rank\\_cy3@yahoo.com](mailto:Rank_cy3@yahoo.com)

**Abstrak**

Sistem kendali memegang peranan yang sangat penting dalam perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang proses pengontrolannya secara luas digunakan pada industri, yang menggunakan mesin yang bekerja bersama-sama untuk melakukan suatu operasi tertentu. Regulator bekerja seperti sebuah kapasitor variabel, menghilangkan batasan kapasitor tetap hadir berbasis skema kapasitor dengan kompensasi waktu penundaan. Tidak mungkin menjaga voltase output dari generator induksi menggunakan kapasitor tetap konstan dan tidak sensitif ke variasi frekuensi operasi dan load. Nilai kapasitor bisa berubah cepat menurut perubahan dalam arus load atau frekuensi operasi. Dengan masalah dengan kapasitor di atas maka tidak mungkin hanya meniru perilaku kapasitor tapi juga penting mengontrol nilai kapasitor yang ditiru.

Masalah time-delay di dalam Inverter SVM sudah banyak diketahui orang karena dapat mengurangi kinerja dari kontrol tersebut. Skripsi ini tidak memberikan pendekatan baru dalam mengkompensasi time-delay saat switching, tapi mencoba mendeskripsikan kinerja suatu kontrol terhadap generator induksi dengan mengontrol tegangan pada keadaan yang berubah ubah.

Dengan bantuan program Matlab maka akan didapatkan hasil simulasi dari unjuk kerja motor induksi sebagai generator induksi dengan cara membuat blok-blok simulink rangkaian secara langsung dan menginputkan parameter-parameter yang dibutuhkan

Kata Kunci : *Generator Induksi, Solid State excitation, PWM inverter*



## KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penyusunan skripsi yang berjudul “ANALISA KONTROL TEGANGAN GENERATOR INDUKSI TIGA FASA DENGAN PEMASANGAN TDC (*TIME DELAY COMPENSATION*) MENGGUNAKAN *SOFTWARE MATLAB SIMULINK* DI LABORATORIUM KONVERSI ENERGI ELEKTRIK ITN MALANG” ini dapat terselesaikan dengan baik, yang merupakan syarat untuk meraih gelar Sarjana Teknik Jurusan Elektro Konsentrasi Energi Listrik di Institut Teknologi Nasional Malang.

Skripsi ini merupakan suatu karya yang tidak dapat di wujudkan tanpa adanya dorongan, bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini penyusun ingin menyampaikan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada :

1. Bapak Prof. DR. Eng Ir. Abraham Lomi, MSEE selaku Rektor ITN Malang
2. Bapak. Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT, selaku Ketua Jurusan Elektro.
3. Bapak. Ir. M. Abdul Hamid, MT Selaku Dosen Pembimbing I
4. Bapak. Ir. Eko Nurcahyo Selaku Dosen Pembimbing II
5. Bapak. Ir. M. Abdul Hamid , MT Ka Lab Konversi Energi Elektrik Institut Teknologi Nasional Malang
6. Orang Tua untuk doa dan dukungannya selama ini
7. Seluruh Dosen Elektro Energi Listrik di Institut Teknologi Nasional Malang
8. 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 sebab itu kritik dan saran sangat membantu guna mendapatkan hasil yang lebih baik.

Akhir kata semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca pada umumnya dan penyusun pada khususnya dalam memperkaya pengetahuan tentang ilmu kelistrikan.

Malang, September 2010

Penyusun

# DAFTAR ISI

## LEMBAR PERSETUJUAN

## ABSTRAK

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI .....	ii
DAFTAR TABEL .....	iv
DAFTAR GAMBAR.....	v

## BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Pembahasan .....	2
1.4 Batasan Masalah .....	2
1.5 Metodologi Penelitian .....	3
1.6 Kontribusi Penulisan .....	3
1.7 Sistematika Penulisan .....	3

## BAB II MESIN INDUKSI TIGA FASA

2.1. Pengertian Umum .....	5
2.2. Motor Induksi Tiga Fasa.....	6
2.2.1 Prinsip Kerja Motor Induksi.....	6
2.2.2 Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi.....	9
2.3. Generator Induksi .....	12
2.3.1. Prinsip Kerja.....	13

## BAB III GENERATOR INDUKSI MENGGUNAKAN KONTROL TDC (*TIME DELAY COMPENSATION*)

3.1. Menentukan Parameter Generator Induksi .....	16
3.1.1. Pengujian Arus Searah ( <i>DC Test</i> ).....	16
3.1.2. Pengujian Tanpa Beban ( <i>No-Load Test</i> ) .....	17
3.1.3. Pengujian Rotor Tertahan ( <i>Blocked-Rotor Test</i> ) .....	18
3.2. TDC ( <i>Time Delay Compensation</i> ).....	20

3.3. Transformasi Dua Fasa ke Tiga Fasa .....	22
3.4. Transformasi Tiga Fasa ke Dua Fasa .....	25
3.5. Pemodelan Generator Induksi pada MATLAB <i>Simulink</i> .....	27
3.6 Matlab Simulink .....	27
3.7. Algoritma Program.....	29
3.7.1. Algoritma Pemecahan Masalah Secara Umum .....	29
3.7.2. Diagram Alir Percobaan.....	30

#### **BAB IV MENGHITUNG PARAMETER GENERATOR DAN ANALISA HASIL SIMULASI**

4.1. Menentukan Parameter Generator 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
4.1.4. pengujian rotor tertahan ( <i>Bloked Rotor Test</i> ) .....	33
4.2. Analisa Parameter Generator Induksi.....	33
4.3. Simulasi Kontrol Tegangan dengan tanpa TDC ( <i>Time Delay Compensation</i> ) Menggunakan MATLAB .....	37
4.3.1. Hasil Simulasi Kontrol Tegangan tanpa TDC ( <i>Time Delay Compensation</i> ).....	38
4.4 Simulasi Kontrol Tegangan dengan TDC ( <i>Time Delay Compensation</i> ) Menggunakan MATLAB.....	40
4.4.1. Hasil Simulasi Kontrol Tegangan dengan TDC ( <i>Time Delay Compensation</i> ) Menggunakan MATLAB.....	40
4.5 Eksperimen.....	43
4.6 Analisa Hasil Simulasi.....	44

#### **BAB V PENUTUP**

5.1. Kesimpulan .....	45
5.2. Saran.. .....	46

<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>56</b>
----------------------------	-----------

<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>57</b>
----------------------	-----------



## DAFTAR TABEL

Tabel 4-1. Data Hasil Pengujian Arus Searah.....	32
Tabel 4-2. Data Hasil Pengujian Beban Nol .....	32
Tabel4-3. Data Hasil Percobaan Rotor Tertahan .....	33
Tabel 4-4. Hasil Perhitungan Pengujian Parameter Generator Induksi Tiga Fasa..... .....	35
Tabel 4-5. Hasil Eksperimen Generator Induksi Tiga Fasa di Laboratorium Konversi Elektrik .....	43
Tabel 4-6. Hasil Simulasi Generator Induksi Tiga Fasa Menggunakan TDC ( <i>Time Delay Compensation</i> ) dan tanpa TDC ( <i>Time Delay Compensation</i> ).....	44

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Mesin Induksi dengan rotor belitan ( <i>wound-rotor</i> ) dan mesin induksi dengan rotor sangkar ( <i>squirrel-cage rotor</i> ).....	5
Gambar 2.2	Perputaran Tegangan Tiga Fasa .....	7
Gambar 2.3	Proses Perputaran Motor pada saat t1 .....	7
Gambar 2.4	Proses Perputaran Motor pada saat t2 .....	8
Gambar 2.5	Proses Perputaran Motor pada saat t3 .....	8
Gambar 2.6	Proses Putaran Motor Saat Satu Kali Putaran Penuh.....	9
Gambar 2.7	Rangkaian Ekuivalen Kumbaran Stator .....	9
Gambar 2.8	Rangkaian Ekuivalen Kumbaran Rotor .....	10
Gambar 2.9	Rangkaian Ekuivalen Kumbaran Stator-Rotor .....	12
Gambar 2.10	Rangkaian Ekuivalen Kumbaran Stator-Rotor Motor Yang Disederhanakan.....	12
Gambar 2.11	Karakteristik Motor Induksi Sebagai Generator .....	14
Gambar 2.12	Motor Induksi tiga fasa Sebagai Generator Induksi satu fasa.....	14
Gambar 3.1	Pengujian Arus Searah ( <i>DC Test</i> ) .....	16
Gambar 3.2	Rangkaian Pengujian Tanpa Beban ( <i>No-Load Test</i> ).....	17
Gambar 3.3	Rangkaian Pengujian Rotor Tertahan ( <i>Blocked-Rotor Test</i> ).....	19
Gambar 3.4	Rangkaian Ekuivalen Pengujian Rotor Tertahan .....	20
Gambar 3.5	Diagram Blok Kontrol Tegangan.....	21
Gambar 3.6	Sistem Dari Sudut Pandang Kontrol .....	22
Gambar 3.7	Kumbaran Stator dan Rotor Motor Induksi 2 Fasa .....	23
Gambar 3.8	Blok Function abc2dq .....	25
Gambar 3.9	Kumbaran Dua Fasa dan Tiga Fasa .....	26
Gambar 3.10	Blok Function dq2abc .....	26
Gambar 3.11	Generator Induksi pada <i>Simulink</i> .....	27
Gambar 3.12	<i>Simulink Library</i> Pada <i>MATLAB 7.0</i> .....	28
Gambar 3.13	<i>Contoh Penggunaan Simulink</i> .....	28
Gambar 3.14	<i>Flowchart</i> Generator Induksi tiga fasa dengan menggunakan TDC ( <i>Time Delay Compensation</i> ).....	30
Gambar 4.1	Model Blok <i>Simulink</i> Pengontrolan tanpa TDC ( <i>Time Delay Compensation</i> .....	37

Gambar 4.2	Hasil Simulasi Kontrol Tegangan Terhadap Waktu tanpa TDC ( <i>Time Delay Compensation</i> ) tanpa beban .....	38
Gambar 4.3	Hasil Simulasi Kontrol Tegangan Terhadap Waktu tanpa TDC ( <i>Time Delay Compensation</i> ) pada beban 700 watt.....	38
Gambar 4.4	Hasil Simulasi Kontrol Tegangan Terhadap Waktu tanpa TDC ( <i>Time Delay Compensation</i> ) pada beban 800 watt.....	39
Gambar 4.5	Hasil Simulasi Kontrol Tegangan Terhadap Waktu tanpa TDC ( <i>Time Delay Compensation</i> ) pada beban 900 watt.....	39
Gambar 4.6	Model Blok Simulink Pengontrolan dengan TDC ( <i>Time Delay Compensation</i> ).....	40
Gambar 4.7	Hasil Simulasi Tegangan Terhadap Waktu Menggunakan TDC ( <i>Time Delay Compensation</i> ) tanpa beban .....	41
Gambar 4.8	Hasil Simulasi Tegangan Terhadap Waktu Menggunakan TDC ( <i>Time Delay Compensation</i> ) pada beban 700 watt.....	41
Gambar 4.9	Hasil Simulasi Tegangan Terhadap Waktu Menggunakan Kontrol TDC ( <i>Time Delay Compensation</i> ) pada Beban 800W .....	42
Gambar 4.10	Hasil Simulasi Tegangan Terhadap Waktu Menggunakan TDC ( <i>Time Delay Compensation</i> ) pada beban 900 watt.....	42
Gambar 4.11	Rangkain Eksperimen pengujian Motor Induksi menjadi Generator Induksi 3 Fasa .....	43







## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Seperti yang kita ketahui penggunaan generator induksi sering dibutuhkan. Penggunaan generator induksi memang jarang kita temui, karena generator induksi hanya mampu menghasilkan daya dalam skala kecil. Biasanya generator induksi banyak digunakan dan dijumpai pada pusat-pusat pembangkit energi alternatif, seperti pembangkit listrik tenaga *mikrohidro* (PLTMH).

Dalam penggunaan pada pembangkit energi alternatif generator induksi umumnya digerakkan oleh prime over dimana generator induksi digunakan secara terpisah atau tidak dihubungkan dengan jala-jala, oleh karena itu dibutuhkan sumber penguatan sendiri (*self excited*) yaitu dengan memasang kapasitor, Seperti yang sudah dijelaskan, tidak mungkin menjaga voltase output dari generator induksi menggunakan kapasitor tetap konstan dan tidak sensitif ke variasi frekuensi operasi dan load. Nilai kapasitor bisa berubah cepat menurut perubahan dalam arus load atau frekuensi operasi. Dengan masalah dengan kapasitor di atas maka tidak mungkin hanya meniru perilaku kapasitor tapi juga penting mengontrol nilai kapasitor yang ditiru.

Masalah time-delay di dalam Inverter SVM sudah banyak diketahui orang karena dapat mengurangi kinerja dari kontrol tersebut. Skripsi ini tidak memberikan pendekatan baru dalam mengkompensasi time-delay saat switching, tapi mencoba mendeskripsikan kinerja suatu kontrol terhadap generator induksi dengan mengontrol tegangan pada keadaan yang berubah ubah.

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

## 1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka timbul suatu permasalahan bagaimana pengaruh tegangan saat *switching* inverter sehingga mempengaruhi kerja generator induksi itu sendiri, sehingga skripsi ini mengambil judul:

**ANALISA KONTROL TEGANGAN GENERATOR INDUKSI TIGA FASA DENGAN  
PEMASANGAN TDC (*TIME DELAY COMPENSATION*)  
MENGUNAKAN *SOFTWARE MATLAB SIMULINK*  
DI LABORATORIUM KONVERSI ENERGI ELEKTRIK ITN MALANG**

## 1.3 Tujuan Pembahasan

Mensimulasikan parameter Generator Induksi 3 fasa menggunakan kontrol *Time Delay compensation* (TDC) untuk mengontrol Tegangan yang dioperasikan pada keadaan tanpa beban dan beban yang berubah-ubah menggunakan bantuan *software* MATLAB *Simulink*.

## 1.4 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 Rotor Belitan De Lorenzo/ DL-1022, 1,1 kW, 220/380 ( $\Delta/Y$ ) Volt, 4,3/2,5 ( $\Delta/Y$ ) Ampere,  $\text{Cos } \phi$  0,83, 50 Hz, 2830 rpm, 2 kutub.
- b. Analisa Menggunakan Simulink yang dibentuk menggunakan *transfer function* dari persamaan matematika.
- c. Sistem kontrol yang digunakan adalah sistem kontrol *Time Delay compensation* (TDC) untuk mengontrol tegangan pada inverter
- d. Hal yang dianalisa adalah melihat bagaimana hasil tegangan dengan menggunakan kontrol yang dipasang *Time Delay compensation* (TDC) terhadap beban yang berubah-ubah pada batasan tegangan yang diijinkan dengan simulasi sistem kontrol yang direncanakan.
- e. Tidak membahas gangguan saat Switching Inverter



- f. Tidak membahas proteksi Generator Induksi
- g. Pengambilan data dilakukan di Lab. Konversi Energi Listrik.

### 1.5 Metodologi Penelitian

Dalam melaksanakan penulisan skripsi ini metodologi sebagai berikut:

- a. Studi literatur  
Pengumpulan bahan yang berkaitan dengan motor induksi sebagai generator induksi serta penurunan rumus – rumus yang digunakan dalam skripsi ini.
- b. Melakukan analisa dari data untuk parameter-parameter yang akan digunakan.
- c. Melakukan simulasi dari data yang ada ke dalam Blok Simulink Dengan Bantuan *Software* MATLAB versi 7.0
- d. Menganalisa dan membahas hasil Simulasi
- e. Menarik Kesimpulan.

### 1.6 Kontribusi Penulisan

Dengan adanya penulisan skripsi ini diharapkan kita dapat mengetahui koneksi penguatan. Dimana penguatan tersebut adalah salah satu jenis penguatan jika kita ingin menjadikan suatu motor induksi sebagai generator. Terutama jika generator induksi tersebut digunakan untuk melayani beban yang berubah-ubah maka masalah yang sering terjadi kurangnya tegangan dari generator pada setiap pengoperasian dengan kecepatan yang konstan. Sehingga dengan adanya kontrol yang dibahas dalam skripsi ini maka diharapkan dapat membantu kita dalam pengaturan tegangan suatu generator induksi yang dioperasikan pada beban yang berubah-ubah

### 1.7.Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini tersusun sebagai berikut :

- BAB I : PENDAHULUAN, berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penulisan, batasan masalah, metodologi penelitian, sistematika penulisan dan kontribusi penulisan.
- BAB II : MESIN INDUKSI TIGA PHASA, berisi tentang teori mesin induksi

- BAB III : GENERATOR INDUKSI TIGA FASA MENGGUNAKAN KONTROL TDC (*TIME DELAY COMPENSATION*), membahas tentang generator induksi dengan menggunakan kontrol TDC (*Time Delay Compensation*) dan membahas pemodelan generaotr induksi, juga membahas pengujian generator induksi guna mendapatkan parameter-parameter generator.**
- BAB IV : PERCOBAAN DAN ANALISA DATA, berisi tentang analisa penentuan parameter generator dan analisa data hasil simulasi.**
- BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN, memuat intisari hasil pembahasan yang berisikan kesimpulan dan saran yang dapat digunakan sebagai pertimbangan untuk pengembangan penulisan selanjutnya.**







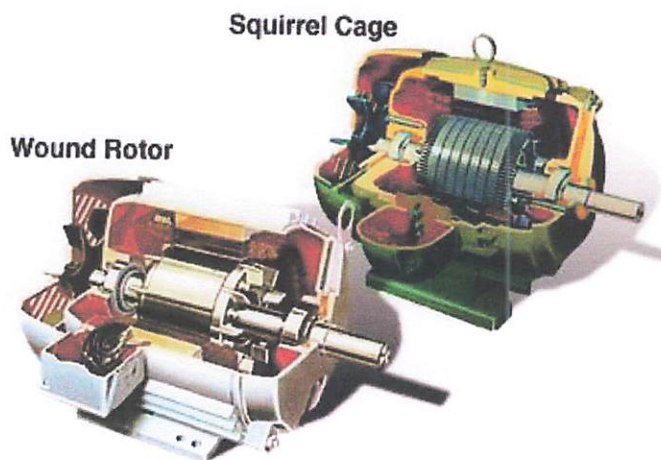
## BAB II

### MESIN INDUKSI TIGA PHASA

#### 2.1. Pengertian Umum

Mesin Induksi merupakan mesin arus bolak-balik (AC) yang banyak digunakan. Penamaannya berasal dari kenyataan bahwa arus rotor diperoleh bukan dari sumber tertentu, tetapi merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar (*rotating magnetic field*) yang dihasilkan oleh stator. Perbedaan putaran relatif antara stator dengan rotor disebut slip. Penempatan belitan masing-masing kumparan pada mesin induksi tiga fasa berbeda  $120^\circ$ .

Dikenal dua tipe mesin induksi tiga fasa, yaitu mesin induksi dengan rotor belitan (*wound-rotor*) dan mesin induksi dengan rotor sangkar (*squirrel-cage rotor*). Mesin induksi dengan rotor belitan (*wound-rotor*) mempunyai rotor dengan belitan kumparan tiga fasa sama seperti kumparan stator. Sedangkan mesin induksi dengan rotor sangkar (*squirrel-cage rotor*) mempunyai rotor dengan kumparan yang terdiri atas beberapa batang konduktor yang disusun sedemikian rupa hingga menyerupai sangkar tupai. Dalam pembahasan skripsi ini hanya ditekankan pada mesin induksi dengan rotor sangkar.



Gambar 2.1. Mesin induksi dengan rotor belitan (*wound-rotor*) dan mesin induksi dengan rotor sangkar (*squirrel-cage rotor*)<sup>[3]</sup>

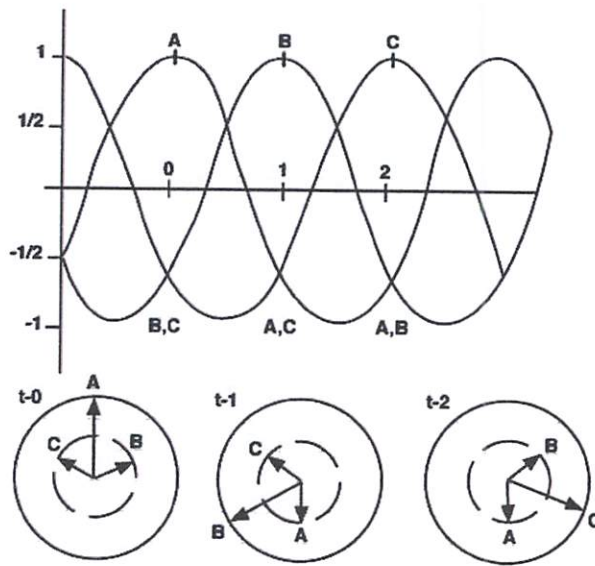
## 2.2. Motor Induksi Tiga Phasa

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 *asinkron*. Disebut motor *asinkron* karena putaran riil motor yakni pada rotor tidak sama dengan putaran 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 di kalangan industri. Ini berkaitan dengan beberapa keuntungan, yaitu:

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

### 2.2.1. Prinsip Kerja Motor Induksi

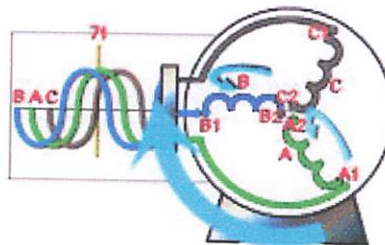
Daya tiga phasa terdiri dari tiga tegangan yang berdiri sendiri. Tiap phasanya memiliki beda sudut fasa  $120^\circ$ . Disaat phasa yang pertama (A) berada pada titik nol, maka phasa yang kedua (B) berada pada titik yang mendekati maksimum dan mempunyai nilai positif, sedangkan untuk phasa yang ketiga (C) berada pada titik yang mendekati maksimum tetapi mempunyai nilai yang negatif. Tiap-tiap phasa ini akan berubah dari positif ke negatif sebagai perputaran daya arus bolak-balik. Oleh karena itu suatu perputaran medan magnet akan dihasilkan apabila kumparan stator dari sebuah motor induksi dihubungkan dengan sumber tiga phasa.



Gambar 2.2. Perputaran tegangan tiga fasa<sup>[3]</sup>

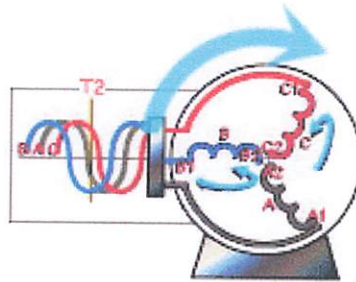
Pada  $t_1$  (gambar 2.3), arus mengalir pada kumparan fasa A (hijau) bernilai positif sehingga A1 merupakan kutub utara dan kutub yang berlawanan yaitu A2 merupakan kutub magnet selatan, medan magnet bergerak dari utara ke selatan.

Arus yang mengalir pada kumparan fasa B (biru) bernilai negatif, sehingga B2 adalah kutub utara dan B1 adalah kutub selatan. Medan magnet terlihat mengalir dari B2 ke B1. Sedangkan pada kumparan fasa C (hitam) tidak ada arus yang mengalir, tidak ada kutub magnet yang terbentuk sehingga juga tidak ada medan magnet yang dihasilkan pada kumparan ini. Semua medan magnet yang terbentuk menghasilkan sebuah medan putar yang menyebabkan rotor berputar searah dengan medan putar yaitu searah jarum jam.



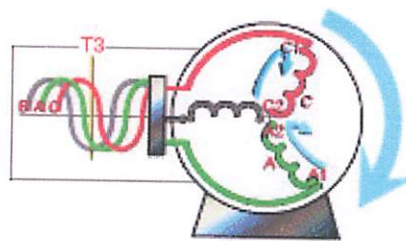
Gambar 2.3. Proses perputaran motor pada saat  $t_1$ <sup>[3]</sup>

Pada  $t_2$  (gambar 2.4), arus yang mengalir pada fasa C menjadi negatif, sehingga terbentuk kutub magnet pada kumparan ini yang mana C1 adalah selatan dan C2 adalah utara. Arus yang mengalir pada fasa B (biru) yang awalnya negatif menjadi positif, sehingga pada kumparan ini terbentuk kutub magnet yang mana B1 dan B2 adalah kutub utara dan selatan. Pada fasa A (hijau) adalah nol atau tidak ada arus yang mengalir pada kumparan ini. Perpindahan medan magnet pada tiap kumparan ditunjukkan oleh anak panah.



Gambar 2.4. Proses perputaran motor pada saat  $t_2$  <sup>[3]</sup>

Akhirnya, pada saat  $t_3$  (gambar 2.5), kita lihat bahwa fasa A (hijau) yang tadinya nol menjadi positif dan fasa C (merah) menjadi negatif. Pada masing-masing kutub timbul medan magnet yang menghasilkan suatu gaya medan putar yang berkelanjutan dan gaya inilah yang membuat pergerakan pada rotor.

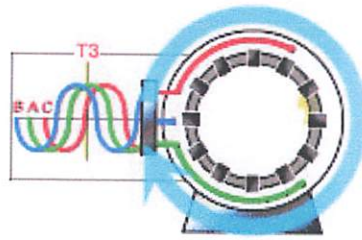


Gambar 2.5. Proses perputaran motor pada saat  $t_3$  <sup>[3]</sup>

Tegangan bolak-balik berputar 60 kali tiap detiknya antara negatif dan positif. Karena dalam kumparan stator motor terdapat medan magnetik, maka akan terjadi medan induksi magnetik dimana kutub-kutub yang berlainan antara stator dan rotor akan saling



tarik-menarik, sehingga akan menyebabkan perubahan medan magnetik pada rotor akan mengikuti perubahan medan magnetik pada stator. Secara kontinyu rotor terus mengikuti perubahan medan magnet yang terjadi pada stator, tiap-tiap fasa akan selalu bergeser  $60^\circ$  dan ini akan menyebabkan perpindahan polaritas secara kontinyu pula yang berakibat pada berputarnya suatu motor (gambar 2.6).

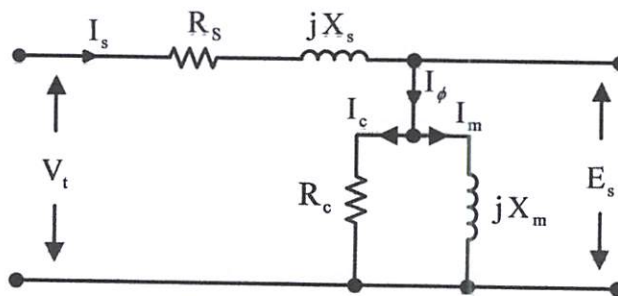


gambar 2.6. Proses putaran motor saat satu kali putaran penuh<sup>[3]</sup>

### 2.2.2. Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi

Seperti juga transformator, kerja motor induksi adalah berdasarkan prinsip induksi-elektromagnet. Oleh karena itu rangkaian ekuivalennya dapat digambarkan sebagai berikut:

#### a. Rangkaian Stator



gambar 2.7. Rangkaian ekuivalen kumparan stator

dimana :

$V_t$  = Tegangan terminal per-fasa

$R_s$  = Resistansi kumparan stator per-fasa

$E_s$  = Tegangan induksi (ggl) per-fasa di dalam kumparan stator

$R_c$  = Resistansi rugi-rugi inti stator per-fasa

$X_m$  = Reaktansi magnetisasi stator per-fasa

**b. Rangkaian Rotor**

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

$$X_2' = sX_2 \dots\dots\dots(2-8)$$

$$X_2 = 2\pi f_s L_2 \dots\dots\dots(2-9)$$

dimana  $X_2$  merupakan reaktansi rotor pada start atau diam.

Tegangan induksi pada rotor :

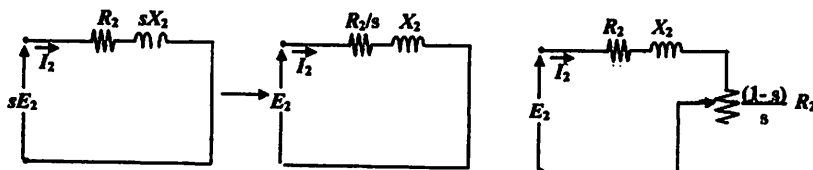
$$E_2 = 4,44 f_2 N_2 \Phi_m \dots\dots\dots(2-10)$$

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

$$E_2' = 4,44 s f_1 N_2 \Phi_m \dots\dots\dots(2-11)$$

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

$$E_2' = s E_2 \dots\dots\dots(2-12)$$



Gambar 2.8  
Rangkaian Ekivalen Rotor<sup>[6]</sup>

Dimana :

$S$  = Slip.

$E_2$  =Tegangan induksi per-fasa di dalam rotor pada keadaan diam.

$R_2'$  = Resistansi kumparan rotor per-fasa berpatokan pada stator.



$X_2'$  = Reaktansi bocor rotor per-fasa berpatakan pada stator.

Berdasarkan persamaan (2.10) dan (2.14) maka diperoleh rangkaian ekivalen rotor seperti pada gambar 2.6.

Besar arus rotor ( $I_2$ ) saat berputar adalah :

$$I_2 = \frac{sE_2}{\sqrt{R_2^2 + (sX_2)^2}} \dots\dots\dots(2-13)$$

13)

Atau

$$I_2 = \frac{E_2}{\sqrt{\left(\frac{R_2}{s}\right)^2 + X_2^2}} \dots\dots\dots(2-14)$$

14)

Sedangkan torsi untuk motor induksi dapat dihtung dengan menggunakan rumus:

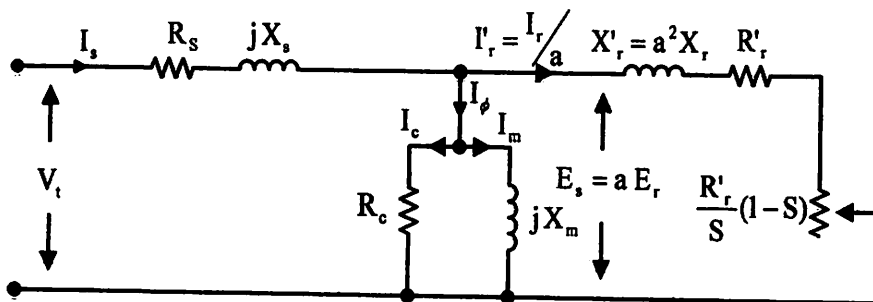
$$P_o = T_o \cdot \omega_r \dots\dots\dots(2-15)$$

$$T_o = \frac{P_o}{\omega_r} \dots\dots\dots(2-16)$$

$$\omega_r = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_r}{60} \dots\dots\dots(2-17)$$

$$Pin = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I \cdot \cos\phi \dots\dots\dots(2-18)$$

**c. Rangkaian Ekivalen Stator-Rotor**

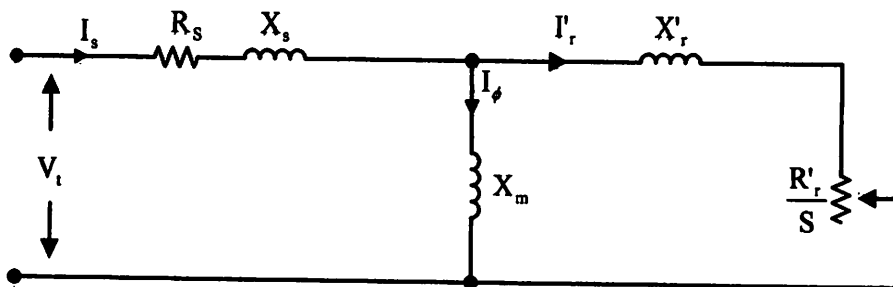


gambar 2.9. Rangkaian ekivalen kumparan stator-rotor

dimana :

a = Perbandingan lilitan stator dengan lilitan rotor

Sebagai catatan, apabila mesin induksi dihubungkan dengan suplai tegangan dan frekuensi yang tetap, maka rugi-rugi inti stator juga tetap pada kondisi tanpa beban, mesin akan beroperasi mendekati kecepatan sinkron. Sehingga frekuensi rotor ( $f_r$ ) menjadi sangat kecil. Demikian juga dengan rugi-rugi inti rotor adalah sangat kecil. Apabila kecepatan rotor ( $n_r$ ) diperlambat, maka frekuensi rotor ( $f_r$ ) akan meningkat, demikian juga dengan rugi-rugi inti rotor akan meningkat. Total rugi-rugi inti  $R_c$  jadi meningkat sebagaimana putaran menurun. Sedangkan pada kondisi tanpa beban, rugi-rugi gesekan dan pelilitan adalah maksimum dan sebagaimana putaran menurun, rugi-rugi ini juga akan menurun. Sehingga jika mesin beroperasi pada sumber tegangan dan frekuensi yang konstan, jumlah rugi-rugi inti, gesekan dan pelilitan juga akan konstan pada semua operasi kecepatan. Rugi-rugi ini akan bercampur bersama membentuk rugi-rugi putaran mesin induksi yang konstan. Jika rugi-rugi inti telah bercampur dengan rugi-rugi gesekan dan pelilitan, maka  $R_c$  dapat dihilangkan. Dari uraian diatas, maka gambar 2.9. dapat disederhanakan menjadi :



Gambar 2.10. Rangkaian ekivalen kumparan stator-rotor yang disederhanakan

### 2.3. Generator Induksi

Generator arus bolak-balik (Generator AC) adalah suatu mesin yang berfungsi untuk mengubah tenaga mekanik atau tenaga gerak menjadi tenaga listrik arus bolak-balik. Jenis generator AC ini pada umumnya adalah generator induksi atau generator *asinkron*. Pada kenyataannya banyak generator induksi yang digunakan diperoleh dari pengoperasian motor induksi sebagai generator penguatan sendiri (SEIG). SEIG (*Self-Excited Induction Generator*) ini banyak diterapkan pada Pembangkit Listrik Tenaga *Mikrohidro* (PLTMh). Digunakannya generator induksi dikarenakan harganya murah dan mudah perawatannya, serta banyak tersedia di pasaran.

**2.3.1. Prinsip Kerja**

Dengan menghubungkan sumber tegangan pada kumparan stator, dihasilkan medan putar. Penggerak utama (*Prime Mover*) dipakai untuk memutar rotor searah dengan arah medan putar. Ketika putaran rotor dari mesin induksi ( $n_r$ ) secara mekanis diputar lebih cepat dari pada kecepatan medan putar atau kecepatan sinkron ( $n_s$ ), atau dengan kata lain slip (S) dibuat negatif :

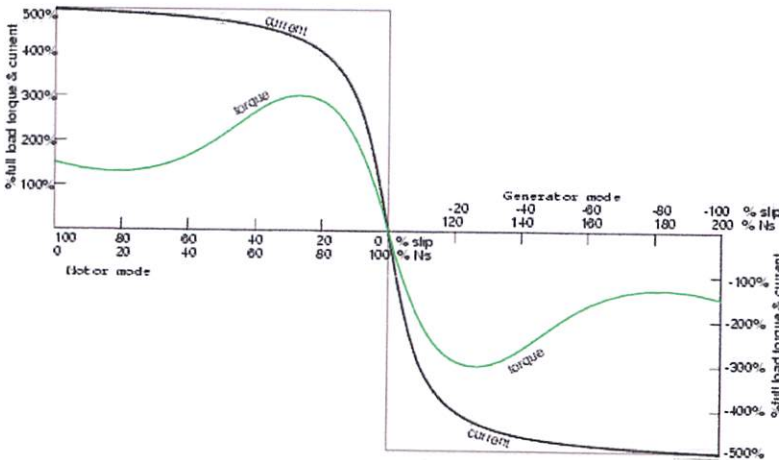
$$S = \frac{n_s - n_r}{n_s} \dots\dots\dots(1)$$

Dengan : S : slip

$n_s$  : kecepatan medan putar atau kecepatan sinkron

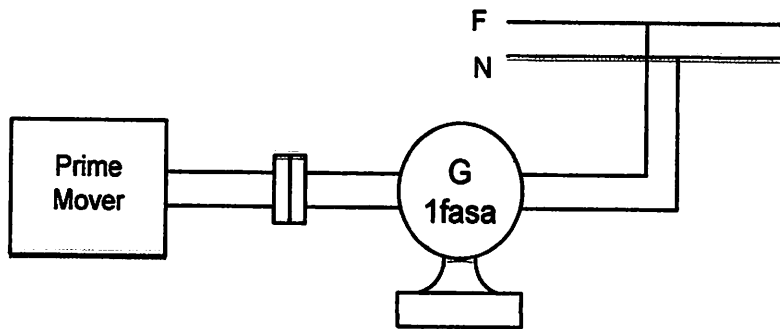
$n_r$  : kecepatan putar rotor

Dengan s negative maka mesin akan berfungsi sebagai generator dan energi listrik akan dikembalikan ke jala-jala.



Gambar 2.11. Karakteristik Motor Induksi sebagai Generator. [7]

Berdasarkan hukum Faraday ( $e = B.l.v$ ), apabila konduktor dengan panjang  $l$  digerakkan pada kecepatan  $v$  memotong medan magnet dengan kerapatan fluksi  $B$ , maka akan menghasilkan gaya gerak listrik (ggl)  $e$ . Dengan demikian agar operasi generator dapat berjalan dengan baik, maka dibutuhkan peralatan tambahan yaitu sumber penguatan (excitation source).

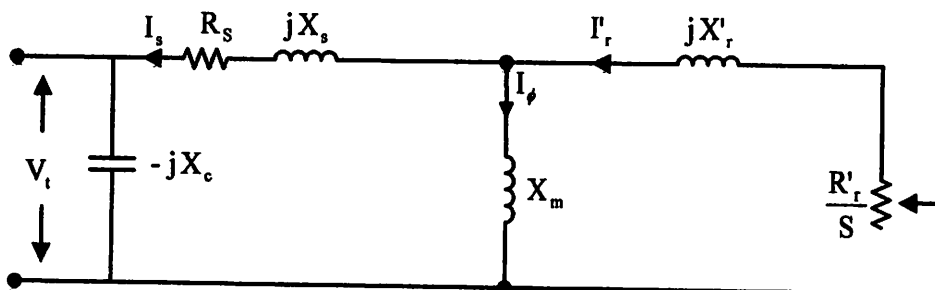


Gambar 2.12. Motor induksi satu fasa sebagai generator induksi satu fasa

Apabila generator induksi dihubungkan dengan jala-jala (interkoneksi), maka sumber penguatan ini akan disuplai oleh jala-jala. Tetapi jika generator induksi digerakkan secara terpisah atau tidak interkoneksi, maka dibutuhkan sumber penguatan sendiri (self-excited), yaitu dengan memasang kapasitor sesuai dengan parameter-parameter mesin. Generator inilah yang sering disebut generator induksi penguatan sendiri (*self-excited induction generator*).

Generator induksi hanya menghasilkan daya aktif (kw), berbeda dengan alternator yang dapat menghasilkan daya aktif (kw) maupun daya reaktif (KVar) atau dengan kata lain generator induksi merupakan mesin pasif sedangkan alternator merupakan mesin aktif.

### 2.3.2. Rangkaian Ekuivalen Generator Induksi



gambar 2.13. Rangkaian ekuivalen per-fasa generator induksi

Karena mesin dioperasikan sebagai generator induksi, maka pada terminal stator dipasang kapasitor yang berfungsi sebagai sumber penguatan (gambar 2.13). Agar generator induksi dapat memberikan arus kerja, maka perlu diberikan arus reaktif untuk

keperluan magnetisasi. Generator penguatan sendiri ini mendapatkan arus reaktif melalui kapasitor penguat yang dipasang pada terminal keluarannya.

Suatu generator induksi memperoleh daya reaktif magnetisasi dari suatu banku kapasitor. Dalam hal ini tidak diperlukan penguatan luar, frekuensi dan tegangan operasi ditentukan oleh kecepatan generator, beban dan nilai kapasitor penguatan. Generator induksi rotornya harus memiliki fluks remanensi. Pada gambar 2.13. adalah gambar rangkaian generator induksi tanpa beban. Pada kondisi tanpa beban tersebut  $I_{sb}$ , arus pengisian kapasitor,  $I_c = V_1/X_c$ , harus sama dengan arus magnetisasi  $I_m = V_1/X_m$  sebab  $V_1$  merupakan fungsi dari  $I_m$ . Reaktansi kapasitif  $X_c = 1/\omega C = 1/2\pi f C$  dan arus magnetisasi dapat ditulis  $I_m = 2\pi f C V_1$  yang nilainya sama dengan  $I_c$ . Jadi pada keadaan beban nol besarnya reaktansi  $X_m$  sama dengan besarnya reaktansi  $X_c$ .







**BAB III**  
**GENERATOR INDUKSI**  
**MENGGUNAKAN KONTROL TDC (*TIME DELAY COMPENSATION*)**

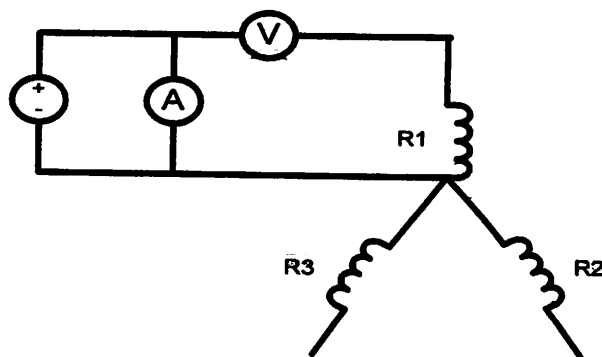
**3.1. Menentukan Parameter Generator Induksi**

Karena pada umumnya parameter suatu mesin induksi belum diketahui, maka terlebih dahulu dilakukan pengujian parameter terhadap mesin induksi yang akan dioperasikan sebagai generator induksi. Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui parameter-parameter ( $R_s, R_r, X_s, X_r, X_m$ ) dari generator induksi yang akan dianalisis. Pengujian ini dibagi atas tiga macam, yaitu pengujian arus searah (*DC Test*), pengujian tanpa beban (*No-Load Test*) dan pengujian rotor tertahan (*Blocked-Rotor Test*).

**3.1.1. Pengujian Arus Searah (DC Test)**

Pada pengujian ini, terminal stator generator induksi diberikan tegangan searah (dc), sehingga dalam stator mengalir arus searah. Tujuan dari pengujian arus searah (*DC Test*) adalah untuk memperoleh besarnya nilai resistansi stator ( $R_s$ ). Rangkaian pengujian ditunjukkan pada gambar 3.1. Besarnya  $R_s$  dapat diperoleh dengan persamaan berikut :

$$R_s = R_{d-c} = \frac{V}{I} \dots\dots\dots(3.1)$$



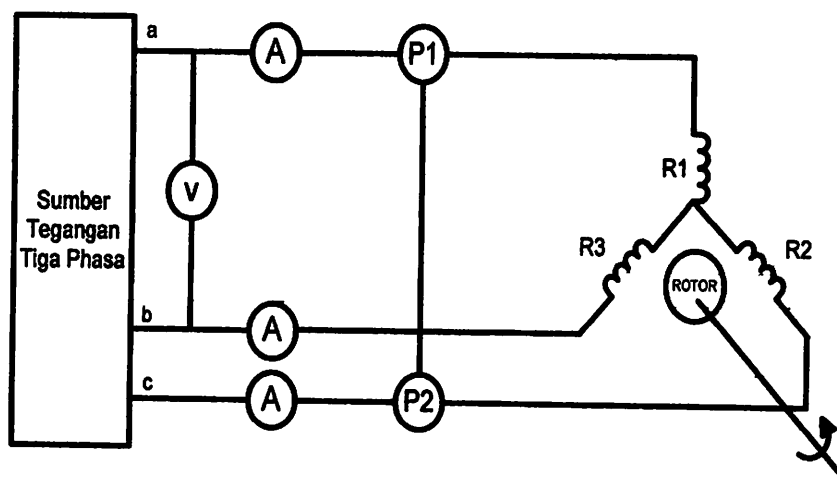
Gambar 3.1. Pengujian Arus Searah (*DC Test*)<sup>[6]</sup>

### Langkah-Langkah Pengujian Arus Searah (*DC Test*)

- Kumbaran stator dihubung bintang.
- Sumber tegangan DC dihubungkan dengan alat ukur (Voltmeter dan Amperemeter).
- Sumber tegangan DC dari alat ukur dihubungkan pada kumbaran stator yaitu pada titik A dan titik N.
- Atur tegangan dari yang paling kecil sampai arus yang terbaca pada alat ukur amperemeter mendekati arus nominal dari data name plate motor.
- Catat hasil pengukuran dari arus dan tegangan dari alat ukur untuk dianalisa.

### 3.1.2. Pngujian Tanpa Beban (*no-Load Test*)

Pengujian tanpa beban mesin induksi sama dengan pengjian rangkaian terbuka. Pada keadaan tanpa beban, besarnya arus rotor sangat kecil dan hanya diperlukan untuk menghasilkan torsi yang cukup untuk mengatasi gesekan dan perlilitan, sehingga rugi-rugi  $I^2R$  rotor tanpa beban sangat kecil dan dapat diabaikan. Sedangkan rugi-rugi  $I^2R$  stator pada keadaan tanpa beban tidak dapat diabaikan karena besarnya cukup berarti yang disebabkan arus peneralannya lebih besar. Pengujian tanpa beban (*no-Load Test*) bertujuan untuk menentukan nilai 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 mendekati nol ( $s = 0$ ).



Gambar 3.2. Rangkaian Pengujian Tanpa beban (*no-Load Test*)<sup>[6]</sup>

Rugi-rugi tahanan stator :

$$PI^2R_s = 3I_{nl}R_s \dots\dots\dots(3.2)$$

Dengan  $I_{nl}$  adalah arus tanpa beban.

Maka total rugi daya :

$$P_{loss} = P_{nl} - PI^2R_s \dots\dots\dots (3.3)$$

Reaktansi diri stator :

$$X_{ss} = X_s + X_m + X_{nl} \dots\dots\dots(3.4)$$

Untuk setiap mesin tiga fasa yang terhubung bintang besarnya impedansi tanpa beban ( $Z_{nl}$ ) tiap fasa adalah :

$$Z_{nl} = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{V_{nl}}{I_{nl}} \dots\dots\dots(3.5)$$

Besarnya resistansi tanpa beban :

$$R_{nl} = \frac{P_{nl}}{3I_{nl}^2} \dots\dots\dots(3.7)$$

Dan reaktansi tanpa beban :

$$X_{nl} = \sqrt{Z_{nl}^2 - R_{nl}^2} \dots\dots\dots(3.8)$$

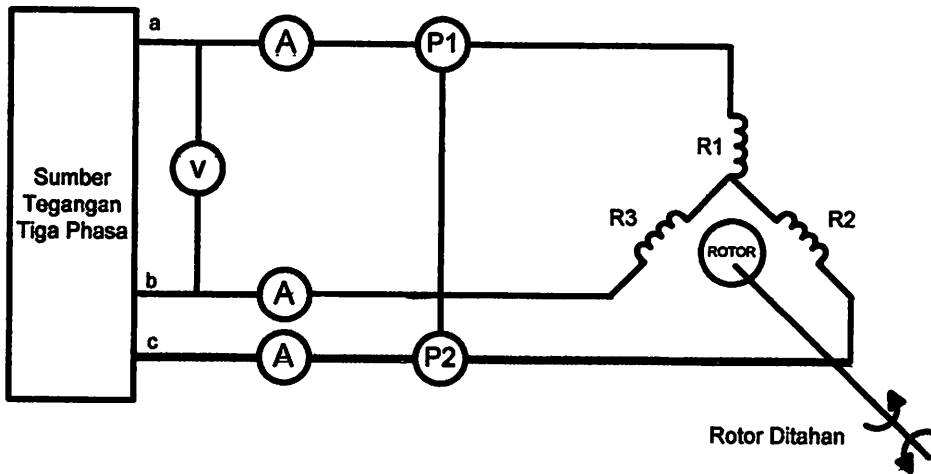
**Langkah-langkah pengujian Tanpa beban (*no-Load Test*)**

- Sumber tegangan tiga fasa dihubungkan pada alat ukur (Voltmeter, amperemeter dan wattmeter).
- Sumber tegangan tiga fasa dari alat ukur dihubungkan pada kumparan stator.
- Kumparan stator motor dirangkai hubungan bintang.
- Atur tegangan tiga fasa jala-jala sampai tegangan nominal motor.
- Ukur kecepatan (rpm) dengan tachometer pada kecepatan nominal motor.
- Catat hasil pengukuran dari alat ukur (Arus, tegangan dan daya) untuk dianalisa.

**3.1.3 Pengujian Rotor tertahan (*Blocked-Rotor test*)**

Pada pengujian rotor tertahan, bila diinginkan karakteristik waktu bekerja normal, pengujian rotor tertahan harus dilakukan pada tegangan yang lebih kecil yang akan menghasilkan arus yang diinginkan. Besarnya reaktansi rotor tertahan ( $X_{bl}$ ) yang ditentukan pada frekuensi normal sama dengan jumlah reaktansi bocor stator dan rotor pada frekuensi normal ( $X_s$  dan  $X_r$ ). 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 dibawah tegangan nominalnya. Sebagai pendekatan, diasumsikan bahwa arus pemagnetan ( $I_m$ ) cukup kecil akibat penurunan suplai tegangan serta motor dalam keadaan tidak berputar ( $s = 1$ ) sehingga rugi-rugi inti dapat diabaikan.



Gambar 3.3. Rangkaian Pengujian Rotor Tertahan (*Blocked-Rotor Test*)<sup>[6]</sup>

Reaktansi magnetisasi dapat ditentukan dari pengujian tanpa beban, yaitu :

$$X_m = X_m - X_s \dots\dots\dots (3.9)$$

$$R = R_{bl} - R_s \dots\dots\dots (3.10)$$

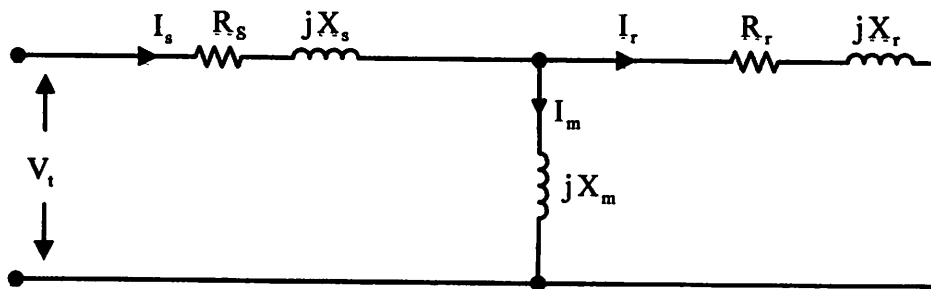
Dari rangkaian ekivalen, dengan  $s = 1$  maka tahanan  $R$  adalah tahanan kombinasi,  $R_r + jX_r$  parallel dengan  $jX_m$ , sehingga :

$$R = R_r \frac{X_m^2}{R_r^2 + X_r^2} \approx R_r \left[ \frac{X_m}{X_r} \right]^2 \dots\dots\dots (3.11)$$

Dengan  $X_r = X_r + X_m$  merupakan reaktansi diri rotor, maka :

$$R_r = R \left( \frac{X_r}{X_m} \right)^2 = (R_{bl} - R_s) \left[ \frac{X_r}{X_m} \right]^2 \dots\dots\dots (3.12)$$





Gambar 3.4. Rangkaian ekivalen pengujian rotor tertahan<sup>[6]</sup>

### Langkah-langkah Pengujian Rotor Tertahan (*Blocked-Rotor Test*)

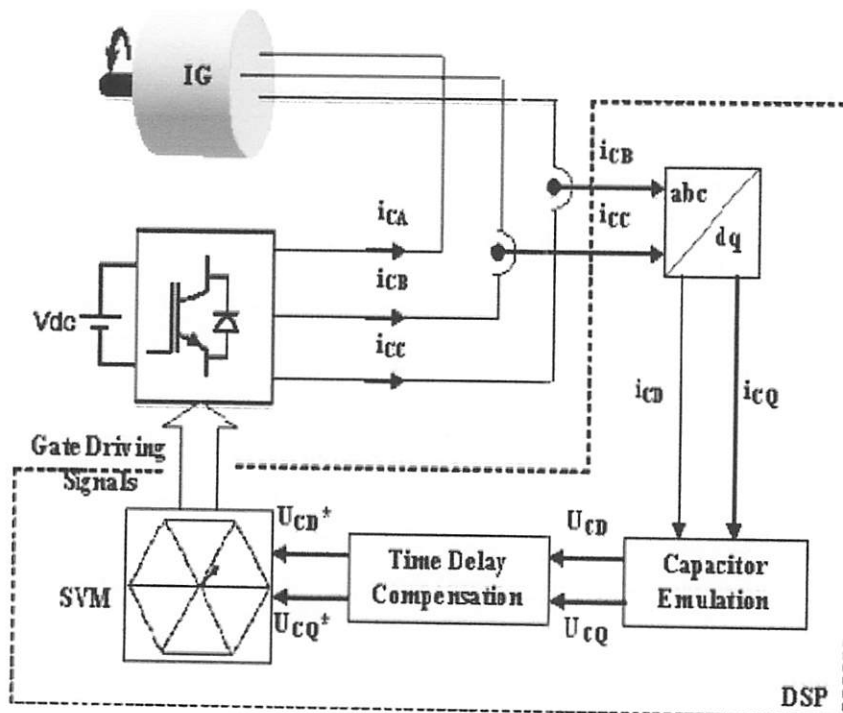
- Sumber tegangan tiga fasa diatur dari tegangan kecil dan dihubungkan pada alat ukur (Voltmeter, Amperemeter dan Wattmeter).
- Sumber tegangan tiga fasa dari alat ukur dihubungkan pada kumparan stator motor induksi tiga fasa.
- Kumparan stator motor induksi dirangkai hubungan bintang.
- Motor induksi dikopel dengan *current-break*.
- Motor dalam keadaan berputar direm dengan injeksi tegangan DC dari *current-break* hingga motor berhenti sesaat.
- Motor direm hingga tidak berputar, penunjuk arus pada alat ukur di usahakan mendekati arus nominal dari data *name plate* motor.

### 3.2. TDC (*Time Delay Compensation*)

Prinsip operasi generator induksi berbasis kapasitor pasif dan karakteristik operasi dari dua frekuensi berbedanya ( $f_1 > f_2$ ) dapat menyebabkan kualitas kerja generator induksi menjadi berkurang ketika frekuensi rotasi berkurang dan titik operasinya tidak ada. Kurangnya efisiensi generator hanya terjadi karena naiknya arus beban. Seperti yang sudah dijelaskan, tidak mungkin menjaga tegangan output dari generator induksi menggunakan kapasitor tetap konstan dan tidak terpengaruh oleh frekuensi dan beban. Nilai kapasitor bisa berubah cepat menurut perubahan dalam arus atau frekuensi, maka tidak mungkin hanya meniru perilaku kapasitor tapi juga penting mengontrol nilai kapasitor yang ditiru. Ini bisa

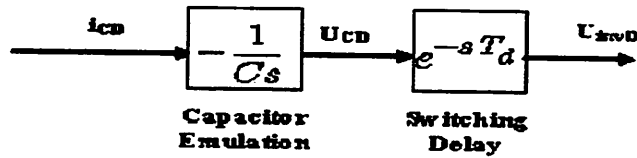
dilakukan dengan menginjeksi arus kapasitif dengan amplitudo berbeda ke dalam generator induksi, yang menjaga tegangan output tetap konstan.

Sistem pemodelan generator induksi 3 fasa dengan sumber DC dikoneksikan ke sisi DC dan DSP (*Digital Signal Processor*) yang mampu memberikan sinyal untuk transistor inverter. Sistem pemodelan dijalankan seperti berikut. Dua dari tiga arus yang mengalir antara generator dan inverter diambil sampelnya, dan nilai arus ketiga di ubah menjadi 2 fasa, dari tiga-fase (abc) menjadi dua-fase (dq). Arus yang dihasilkan dimasukkan ke dalam (kapasitor emulasi) yang menghitung tegangan yang dibentuk kapasitor rril dengan nilai tertentu di setiap arus. tegangan yang dihasilkan adalah tegangan terminal generator (dalam frame dq). Meski begitu, dalam sistem yang diusulkan, tegangan diciptakan oleh inverter, yang menghasilkan delay saat switching. Seperti yang ditunjukkan, ini menimbulkan kinerja buruk. Karena itu, output dari dari kapasitor emulasi pertama kali di-fed ke dalam TDC (*Time Delay Compensation*) dan kemudian masuk ke *Space Vector Modulator* (SVM) yang menciptakan sinyal gate driving untuk switch inverter.



Gambar 3.5 diagram blok Kontrol Tegangan<sup>[1]</sup>

Dari sudut pandang Kontrol, sistem yang digunakan bisa dideskripsikan sebagai kapasitor *emulator* plus delay  $T_d$ , karena itu, untuk mengkompensasi delay tersebut, harus disisipkan sebuah delay oposit dari  $T_d$  sebelum delay blok.



Gambar 3.6 Sistem Dari Sudut Pandang Kontrol<sup>[1]</sup>

Sistem tersebut bukan kasual dan tidak bisa diimplementasikan. Tapi, dengan menggunakan aproksimasi berikut :

$$\begin{aligned}
 u_{cD}^* &= u_{invD} \cdot e^{sT_d} = u_{cD} \\
 u_{cD}^* &= u_{invQ} \cdot e^{sT_d} = u_{cQ} \dots\dots\dots(3.13) \\
 e^{sT_d} &\approx 1 + sT_d
 \end{aligned}$$

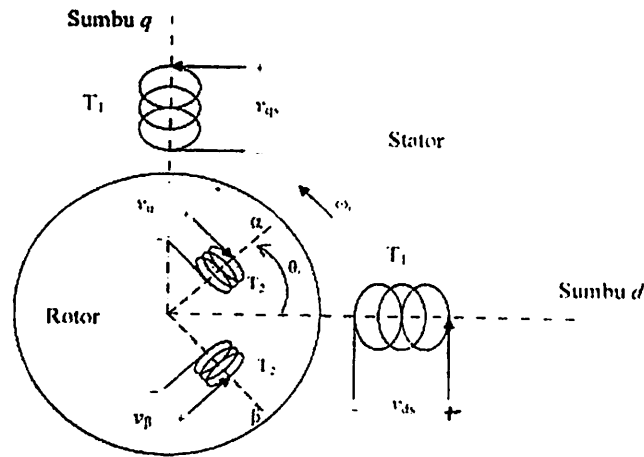
Dan menambahkan aproksimasi resultan ke blok *Capacitor Emulation* :

$$\begin{aligned}
 u_{sD}^* &= -\frac{1+sT_d}{C_s} i_{sD} \\
 u_{sQ}^* &= -\frac{1+sT_d}{C_s} i_{sD} \dots\dots\dots(3.14)
 \end{aligned}$$

Transfer daya reaktif bisa diaproksimasikan. Ada sejumlah kecil daya aktif yang mengalir antara konverter dan generator induksi. Ini bisa dihilangkan dengan *slow loop*, contohnya, integral nol per siklus dari kebutuhan daya aktif. Jika kapasitor dikoneksikan pada sisi DC dari inverter, pengontrol tegangan DC bisa digunakan.

### 3.3 Transformasi Dua Fasa ke Tiga Fasa

Satu mesin induksi dua-fasa dengan kumparan stator dan rotor. Kumparan-kumparan dalam ruang sejauh  $90^0$  derajat listrik, dan kumparan rotor  $\alpha$  berada pada sudut  $0_r$  dari sumbu  $d$  kumparan stator. Dimisalkan sumbu  $d$  mendahului sumbu  $q$  mengelilingi rotor searah jarum-jam. Bila sekuen fasa searah jam adalah  $dq$ , medan magnit putar akan bergerak dengan kecepatan sudut sesuai frekuensi suplai tetapi sesuai urutan/sekuen fasa dari suplai stator.<sup>[9]</sup>



Gambar 3.7 Kumbaran Stator dan Rotor Motor Induksi dua fasa

Oleh karena itu, rotor didorong kearah perputaran medan magnet, yaitu pada kasus ini melawan arah jarum-jam. Tegangan terminal dari kumbaran stator dan rotor dapat diekspresikan sebagai jumlah tegangan jatuh di tahanan dan kecepatan perubahan *flux linkage*, yang berupaperkalian arus dan induktansi. Persamaan tersebut sebagai berikut :

$$V_{qs} = R_s i_{qs} + P(L_{qq} i_{qs}) + P(L_{qd} i_{ds}) + P(L_{qa} i_{\alpha}) + P(L_{q\beta} i_{\beta}) \dots\dots\dots(3.15)$$

$$V_{ds} = P(L_{dq} i_{qs}) + R_d i_{ds} + P(L_{dd} i_{ds}) + P(L_{da} i_{\alpha}) + P(L_{d\beta} i_{\beta}) \dots\dots\dots(3.16)$$

$$V_{\alpha} = P(L_{\alpha q} i_{qs}) + P(L_{\alpha d} i_{ds}) + R_{\alpha} i_{\alpha} + P(L_{\alpha\alpha} i_{\alpha}) + P(L_{\alpha\beta} i_{\beta}) \dots\dots\dots(3.17)$$

$$V_{\beta} = P(L_{\beta q} i_{qs}) + P(L_{\beta d} i_{ds}) + P(L_{\beta\alpha} i_{\alpha}) + R_{\beta} i_{\beta} + P(L_{\beta\beta} i_{\beta}) \dots\dots\dots(3.18)$$

Dimana *p* adalah operator diferensial *d/dt*, dan induktansi yang dipakai diatas dijelaskan sebagai berikut :

- $v_{qs}$ ,  $v_{ds}$ ,  $v_{\alpha}$ ,  $v_{\beta}$ , masing-masing adalah tegangan terminal kumbaran stator sumbu *q*, sumbu *d*, dan tegangan terminal kumbaran-kumbaran rotor  $\alpha$  dan  $\beta$ .
- $i_{qs}$  dan  $i_{ds}$  masing-masing merupakan arus kumbaran stator sumbu *q* dan sumbu *d*.
- $L_{qq}$ ,  $L_{dd}$ ,  $L_{\alpha\alpha}$ , dan  $L_{\beta\beta}$  masin-masing adalah induktansi diri kumbaran stator sumbu *q* dan sumbu *d* dan kumbaran rotor  $\alpha$  dan  $\beta$ .

Induktansi mutual antara setiap dua kumbaran dinyatakan dengan *L* dengan dua subkrip, subkrip pertama menyatakan kumbaran dimana emf diukur karena pengaruh arus di kumbaran lain, yang ditunjukkan oleh subkrip kedua. Sebagai contoh,  $L_q$  adalah



induktansi mutual antara kumparan sumbu  $q$  dan  $d$  karena pengaruh satu arus di kumparan sumbu  $d$ . Dibawah asumsi celah udara *uniform*, induktansi diri adalah tidak tergantung pada posisi sudut, jadi nilainya adalah konstan :

$$L_{\alpha\alpha}=L_{\beta\beta}=L_{rr} \dots\dots\dots(3.19)$$

$$L_{dd}=L_{qq}=L_s \dots\dots\dots(3.20)$$

Induktansi mutual antar kumparan stator dan antar kumparan rotor adalah nol, karena fluks yang dibangkitkan oleh satu arus di satu kumparan tidak akan menyambung (*link*) dengan kumparan lain yang berjarak  $90^\circ$ . Hal demikian membuat persamaan menjadi sederhana.

$$L_{\alpha\beta}=L_{\beta\alpha}=0 \dots\dots\dots(3.21)$$

$$L_{dq}=L_{qd}=0 \dots\dots\dots(3.22)$$

Induktansi mutual antara kumparan stator dan rotor adalah sebagai satu fungsi posisi  $\theta_r$ , dan ditetapkan berbentuk fungsi sinusoida karena asumsi distribusi *mmf* di kumparan adalah sinusoida. Bentuk konstruksi dan kumparan yang simetri menyebabkan induktansi mutual diantara satu kumparan stator dan satu kumparan rotor akan bernilai sama, apakah dilihat dari sisi stator atau rotor :

$$L_{\alpha d}=L_{d\alpha}=L_{sr} \cos \theta_r \dots\dots\dots(3.23)$$

$$L_{\beta d}=L_{d\beta}=L_{sr} \sin \theta_r \dots\dots\dots(3.24)$$

$$L_{\alpha q}=L_{q\alpha}=L_{sr} \sin \theta_r \dots\dots\dots(3.25)$$

$$L_{\beta q}=L_{q\beta} L_{sr} \cos \theta_r \dots\dots\dots(3.26)$$

Dimana  $L_{sr}$  adalah nilai puncak induktansi mutual antara satu kumparan stator dan satu kumparan rotor. Persamaan terakhir memiliki satu bagian negatif, karena satu arus positif di kumparan  $\beta$  memproduksi satu *flux linkage* negatif di kumparan sumbu  $q$ , dan sebaliknya. Substitusi persamaan dari (3.33) s/d (3.41) kedalam persamaan (3.29) s/d (3.32) menghasilkan satu persamaan deferensial system dengan induktansi berubah sesuai waktu (*time-varying inductances*). Persamaan sistem tersebut adalah :

$$V_{qs}=(R_s+L_s p)i_{qs}+L_{sr}P(i_{\alpha}\sin \theta_r)-L_{sr}P(i_{\beta}\cos \theta_r) \dots\dots\dots(3.27)$$

$$V_{ds}=(R_s+L_s p)i_{ds}+L_s P(i_{\alpha}\cos \theta_r)+L_{sr}P(i_{\beta}\sin \theta_r) \dots\dots\dots(3.28)$$

$$V_{\alpha}=L_{sr}P(i_{qs}\sin \theta_r)+L_{sr}P(i_{\alpha}\cos \theta_r)+(R_{rr}+L_{rr} p)i_{\alpha} \dots\dots\dots(3.29)$$

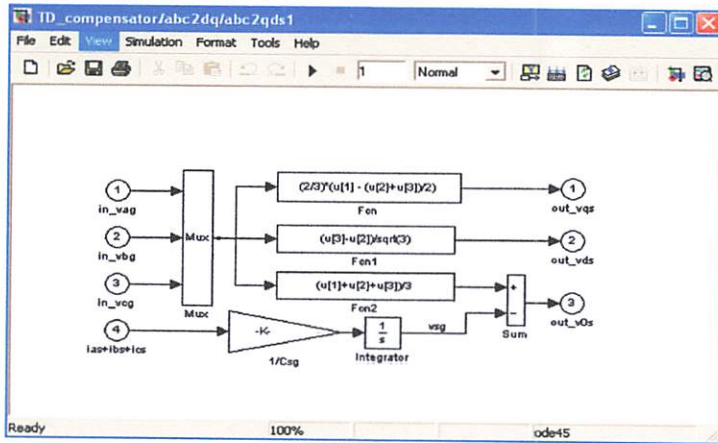
$$V_{\beta}=-L_{sr}P(i_{qs}\cos \theta_r)+L_{sr}P(i_{\alpha}\sin \theta_r)+(R_{rr}+L_{rr} p)i_{\beta} \dots\dots\dots(3.30)$$

Dimana

$$R_s=R_q= R_d \dots\dots\dots(3.31)$$

$$R_{rr}=R_a= R_\beta \dots\dots\dots(3.32)$$

Penyelesaian persamaan diatas menghabiskan banyak waktu, karena ketergantungannya pada hasil kali fungsi cosines sesaat yang tergantung posisi rotor dan arus kumparan. Oleh karena itu, diperlukan adanya satu set persamaan kompak yang member satu prosedur penyelesaian sederhana.<sup>[9]</sup>



Gambar 3.8 Blok Function abc2dq

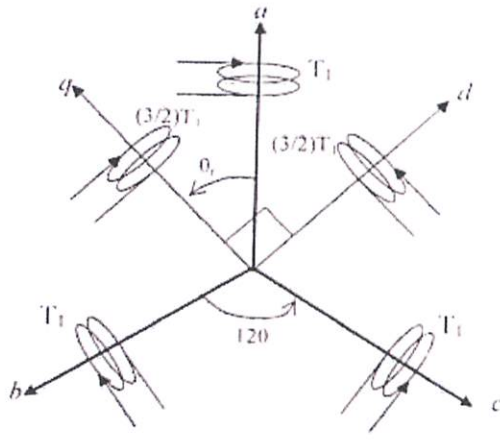
### 3.4 Transfiormasi Tiga Fasa ke Dua Fasa

Model yang dikembangkan adalah untuk satu mesin dua fasa. Mesin induksi tiga fasa adalah mesin yang banyak digunakan di industry, sedangkan mesin dua fasa jarang digunakan pada aplikasi industri. Satu model dinamik mesin induksi tiga fasa dapat diturunkan dari mesin dua fasa bila dapat disusun kesamaan atau ekivalensi diantara tiga fasa dan dua fasa. Ekivalensi disusun berdasarkan kesamaan *mmf* yang diproduksi oleh kumparan dua fasa dan kumparan tiga fasa, dan kesamaan *magnitude* arus. Dengan asumsi bahwa masing-masing dari kumparan tiga fasa memiliki  $T_1$  gulungan per-fasa dan memiliki *magnitude* arus yang sama, kumparan dua fasa akan memiliki  $3T_1/2$  gulungan per-fasa untuk memproduksi *mmf* yang sama. *Mmf* sumbu *d* dan sumbu *q* diperoleh dengan memutar *mmf* dari tiga fasa sepanjang sumbu *d* dan sumbu *q*.

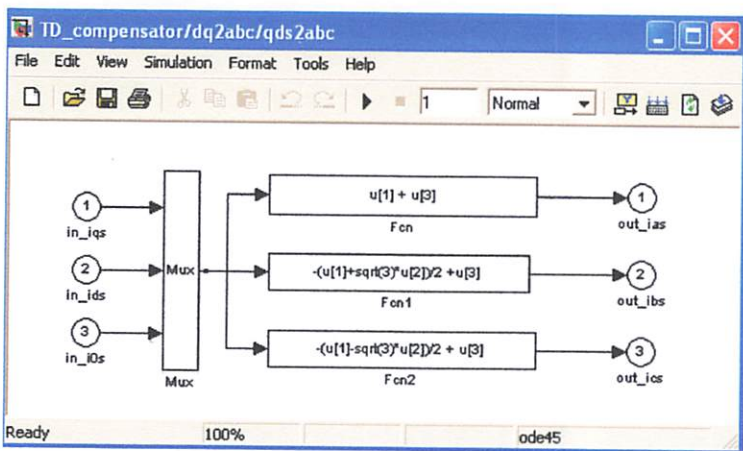
Banyaknya gulungan di kumparan merupakan bagian dengan besaran yang sama, saling dihilangkan pada kedua sisi persamaan dan menyisakan kesamaan arus. Sumbu  $q$  dimisalkan ketinggalan sebesar  $\theta_c$  dibelakang sumbu  $q$ . Keterkaitan antara arus-arus  $dq0$  dan  $abc$  adalah sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} i_d \\ i_q \\ i_0 \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos(\theta_c) & \sin(\theta_c) & 0 \\ -\sin(\theta_c) & \cos(\theta_c) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \dots\dots\dots(3.33)$$

Arus  $i_0$  menyatakan ketidak-seimbangan arus di fasa  $a$ ,  $b$ , dan  $c$  dan dapat dikenali sebagai komponen sekuen zero dari arus.



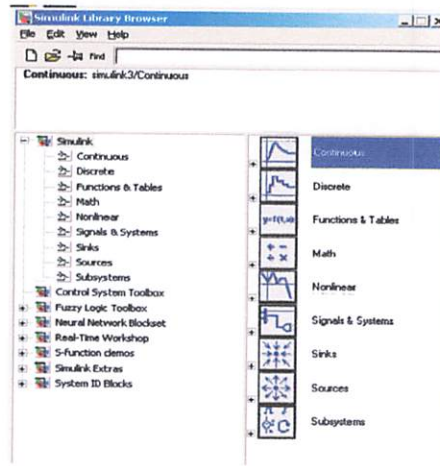
Gambar 3.9 Kumparan Dua fasa dan Tiga Fasa



Gambar 3.8 Blok Function dq2abc

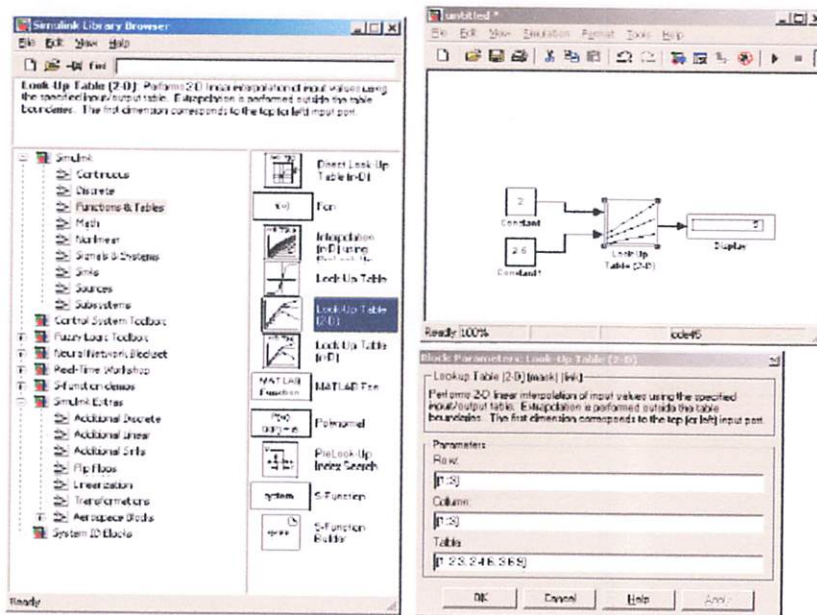






Gambar 3.10 Simulink Library Pada MATLAB 7.0

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



Gambar 3.11 Contoh Penggunaan Simulink



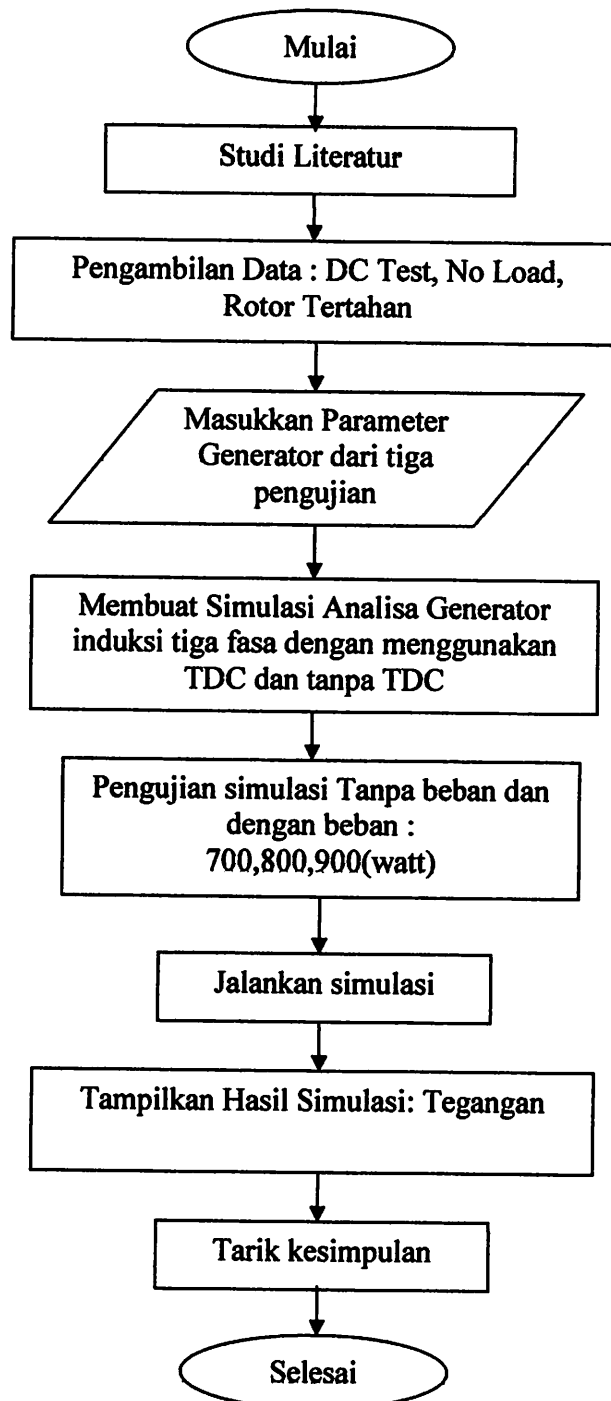
Selain Simulink dalam MATLAB juga terdapat M-Files yaitu bagain untuk menuliskan listing program yang dengan hasil program setelah dijalankan akan disimulasikan dengan Blok Simulink yang telah dibuat.

### **3.7. ALGORITMA PROGAM**

#### **3.7.1. Algoritma Pemecahan Masalah Secara Umum**

1. Pengujian Parameter generator Induksi tiga fasa
  - a. Dc Test digunakan untuk menentukan nilai  $R_s$
  - b. Beban Nol (*No Load Test*) untuk menentukan  $R_c$  dan  $X_m$
  - c. Rotor Tertahan (*Blocked Rotor Test*) untuk menentukan  $R_r$
2. Membuat analisa generator induksi tiga fasa dengan kontrol kapasitor emulation menggunakan *software* MATLAB
3. Memasukkan parameter generator
4. Menjalankan simulasi
5. Menampilkan hasil simulasi Tegangan dengan menggunakan kontrol TDC (*Time Delay Compensation*)

### 3.7.2. Diagram Alir Percobaan Masalah Secara Umum









**BAB IV**  
**MENGHITUNG PARAMETER GENERATOR**  
**DAN ANALISA HASIL SIMULASI**

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

**4.1. Menentukan Parameter Generator Induksi**

**4.1.1. Alat-alat yang digunakan**

- a. Generator induksi Tiga Fasa 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>: 0.85</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 fasa : DE LORENZO DL 1031  
e. Tachometer : DE LORENZO 2026  
f. AC voltage Regulator : DE LORENZO 1013 M2  
g. DC Supply : DE LORENZO 1013 M2  
h. Current Break : DE LORENZO

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

Tabel 4.1  
Data Hasil Pengujian Arus Searah

No	$V_{dc}$ (Volt)	I (Ampere)
1	4	0.75
2	6	1.12
3	8	1.44
4	10	1.78
5	11	2.14

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

Tabel 4.2  
Data Hasil Pengujian Beban Nol

$I_{stator}$ (Ampere)			$P_{3\text{ Phasa}}$ (Watt)	$V_{L-L}$ (Volt)	Frekuensi (Hz)
R	S	T			
0.59	0.68	0.59	90	220	50



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

Tabel 4.3  
Data Hasil Pengujian Generator Rotor Tertahan

I <sub>stator</sub> (Ampere)			P <sub>3 Phasa</sub> (Watt)	V <sub>L-L</sub> (Volt)	Frekuensi (Hz)
R	S	T			
2.01	2.03	1.95	140	65	50

$$P_{3\text{phasa}} = P_1 + P_3$$

#### 4.2. Analisa Parameter Generator Induksi

- A. Dari pengujian arus searah besarnya resistansi stator adalah:  
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*)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$R_{br} = \frac{P_{(3\phi)}}{3I_{br}^2} = \frac{140}{3 \cdot (2^2)} = 11.78\Omega$$

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

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

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

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

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

Besarnya reaktansi yang diukur pada terminal stator pada keadaan tanpa beban ( $X_{tb}$ ) mendekati sama dengan  $X_s + X_m$  yang merupakan reaktansi diri stator<sup>[1]</sup>, 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 :

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

$$= 11.67 - 5.49$$

$$\cong 6.18$$

$$X_r = X'_r + X_m$$

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

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

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

Tabel 4.4

Hasil Perhitungan Pengujian Parameter Generator Induksi Tiga Phasa

$R_s$	$R'_r$	$X_s$	$X'_r$
5.49 $\Omega$	6.68 $\Omega$	7.3 $\Omega$	7.3 $\Omega$

Setelah mendapatkan data parameter generator induksi berdasarkan pengujian tersebut maka dapat dilakukan perhitungan parameter tersebut dirubah dalam bentuk PU (perunit).

Untuk melakukan perhitungan dalam PU maka

Untuk Mva

$$VA = \frac{P}{\cos\theta}$$

$$VA = \frac{1100}{0.85}$$

$$Z_{\text{dasar}} = \frac{KV^2}{MVA}$$

$$Z_{\text{dasar}} = \frac{(220 \times 10^{-3})^2}{1294.11 \times 10^{-6}} = 37.40 \text{ohm}$$

Untuk parameter generator dapat dihitung sebagai berikut :

$R_s(\text{pu})$

$$R_s(\text{pu}) = \frac{R_s}{Z_{\text{dasar}}}$$

$$R_s = \frac{5.44}{37.40} = 0.146 \text{ pu}$$

$$R_r (\text{pu}) = \frac{R_r}{Z_{\text{dasar}}}$$

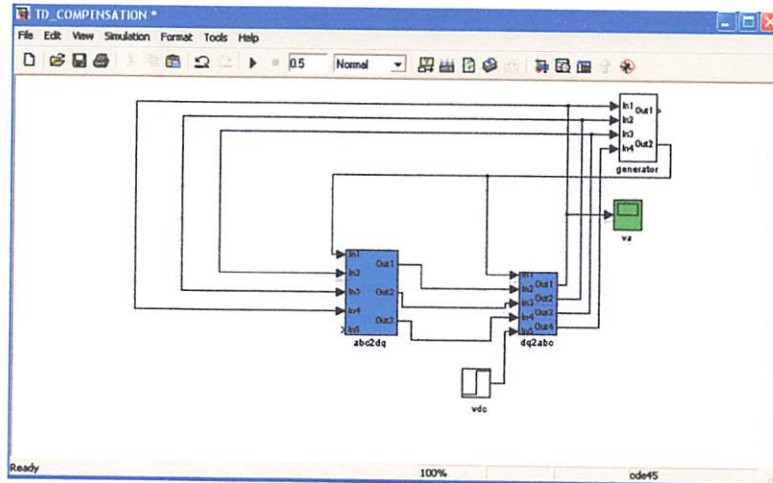
$$R_r = \frac{6.68}{37.40} = 0.178 \text{ pu}$$

$$X_s = \frac{7.3}{37.40} = 0.195 \text{ pu}$$

$$X_r = \frac{7.3}{37.40} = 0.195 \text{ pu}$$

### 4.3 Simulasi Kontrol Tegangan dengan tanpa TDC (*Time Delay Compensation*) Menggunakan MATLAB

Berdasarkan parameter-parameter pengujian di atas di buat model simulasi sistem tanpa penggunaan TCD (*Time Delay Compensation*) pada kontrol tegangan generator induksi,:



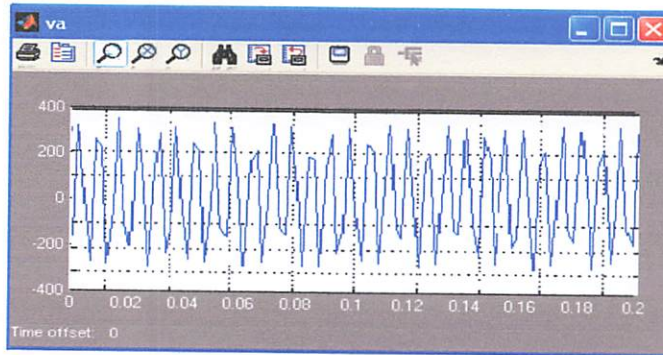
Gambar 4.1 Model Blok Simulink Pengontrolan tanpa TDC (*Time Delay Compensation*)

Pada gambar 4.1 diatas adalah gambar simulasi menggunakan *software* MATLAB sistem kontrol tegangan generator induksi tiga fasa tanpa menggunakan tanpa TCD (*Time Delay Compensation*)



#### 4.3.1 Hasil Simulasi Kontrol Tegangan dengan tanpa TDC (*Time Delay Compensation*) Menggunakan MATLAB

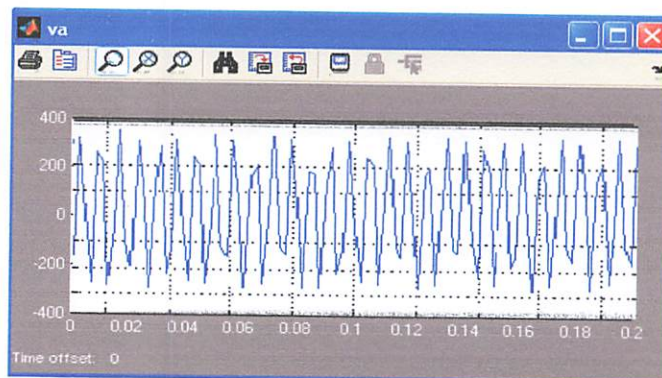
1. Hasil Simulasi Kontrol Tegangan terhadap Waktu tanpa kontrol TDC (*Time Delay Compensation*) tanpa beban



Gambar 4.2 Hasil Simulasi Kontrol Tegangan Terhadap Waktu tanpa TDC (*Time Delay Compensation*) tanpa beban

Gambar 4.2 adalah bentuk gelombang tegangan dari hasil simulasi tanpa TDC (*Time Delay Compensation*) tanpa beban dihasilkan tegangan sebesar 290 Volt.

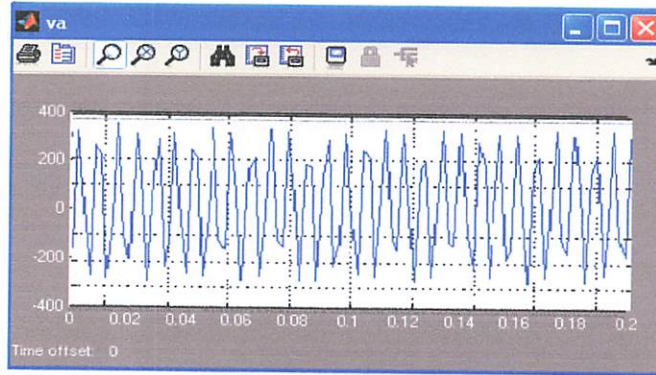
2. Hasil Simulasi Tegangan terhadap Waktu kontrol tegangan tanpa TDC (*Time Delay Compensation*) pada beban 700 watt



Gambar 4.3 Hasil Simulasi Kontrol Tegangan Terhadap Waktu tanpa TDC (*Time Delay Compensation*) pada beban 700 watt

Gambar 4.3 adalah bentuk gelombang tegangan dari hasil simulasi tanpa TDC (*Time Delay Compensation*) pada beban 700 watt dihasilkan tegangan sebesar 290 Volt.

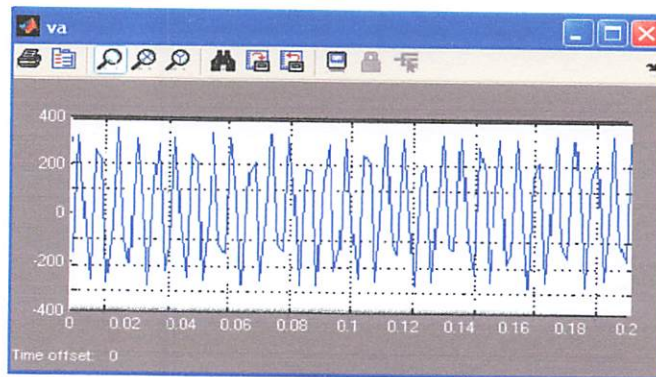
3. Hasil Simulasi Tegangan terhadap Waktu kontrol tegangan tanpa TDC (*Time Delay Compensation*) pada beban 800 watt



Gambar 4.4 Hasil Simulasi Kontrol Tegangan Terhadap Waktu tanpa TDC (*Time Delay Compensation*) pada beban 800 watt

Gambar 4.4 adalah bentuk gelombang tegangan dari hasil simulasi tanpa TDC (*Time Delay Compensation*) pada beban 800 watt dihasilkan tegangan sebesar 290 Volt.

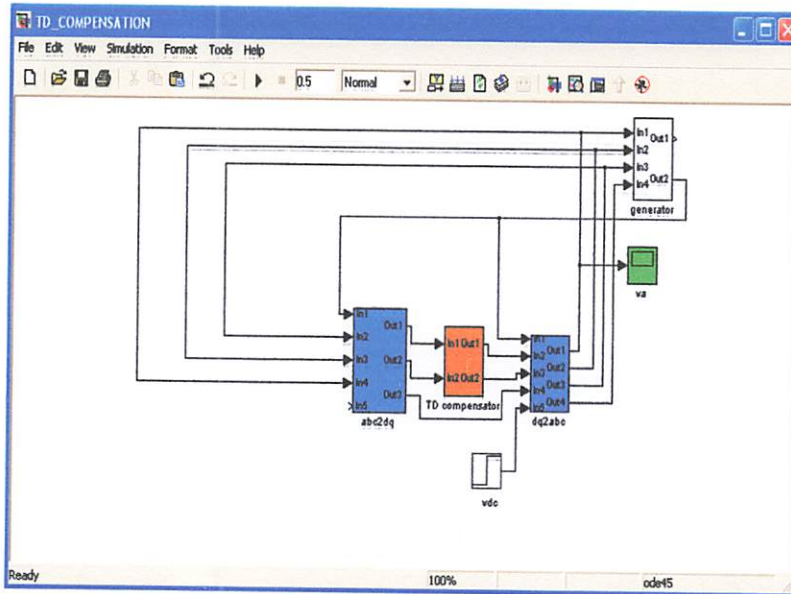
4. Hasil Simulasi Tegangan terhadap Waktu kontrol tegangan tanpa TDC (*Time Delay Compensation*) pada beban 900 watt



Gambar 4.5 Hasil Simulasi Kontrol Tegangan Terhadap Waktu tanpa TDC (*Time Delay Compensation*) pada beban 900 watt

Gambar 4.5 adalah bentuk gelombang tegangan dari hasil simulasi tanpa TDC (*Time Delay Compensation*) pada beban 900 watt dihasilkan tegangan sebesar 290 Volt.

#### 4.4 Simulasi Kontrol Tegangan dengan TDC (*Time Delay Compensation*) Menggunakan MATLAB

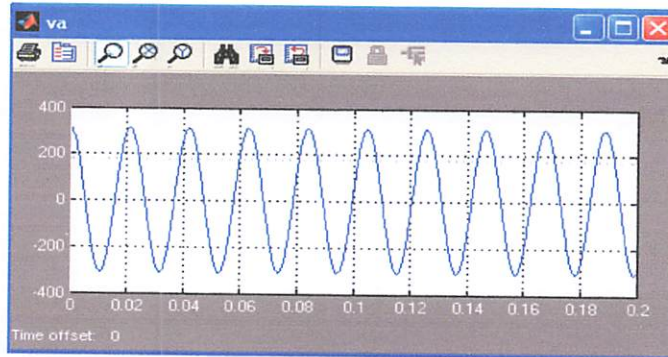


Gambar 4.6 Model Blok Simulink Pengontrolan dengan TDC (*Time Delay Compensation*) Pada gambar 4.1 diatas adalah gambar simulasi menggunakan *software* MATLAB sistem pengontrolan generator induksi tiga fasa dengan TCD (*Time Delay Compensation*)



#### 4.4.1 Hasil Simulasi Kontrol Tegangan dengan TDC (*Time Delay Compensation*) Menggunakan MATLAB

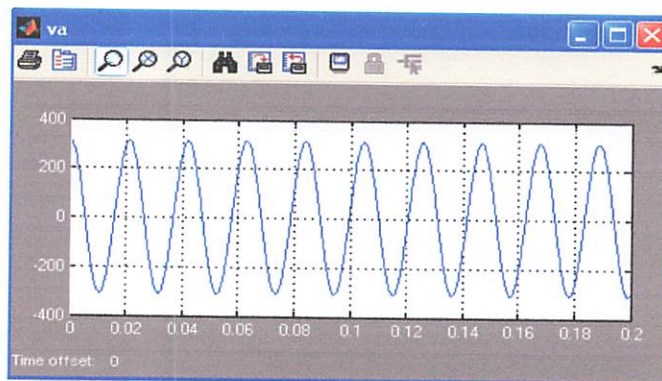
1. Hasil Simulasi kontrol Tegangan terhadap Waktu menggunakan TDC (*Time Delay Compensation*) tanpa beban



Gambar 4.7 Hasil Simulasi Tegangan Terhadap Waktu Menggunakan TDC (*Time Delay Compensation*) tanpa beban

Gambar 4.7 adalah bentuk gelombang tegangan dari hasil simulasi menggunakan TDC (*Time Delay Compensation*) tanpa beban di hasilkan tegangan sebesar 310 Volt.

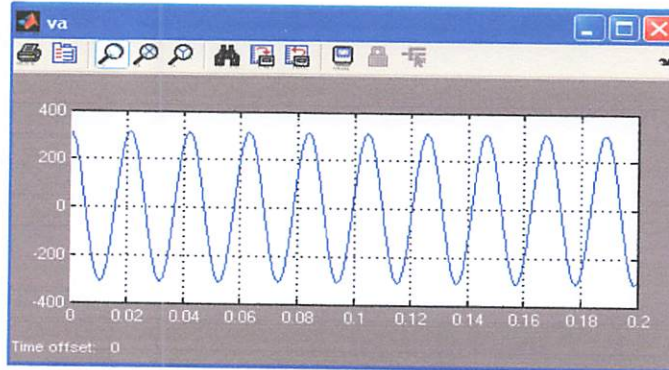
2. Hasil Simulasi kontrol Tegangan terhadap Waktu menggunakan TDC (*Time Delay Compensation*) pada beban 700 watt



Gambar 4.8 Hasil Simulasi Tegangan Terhadap Waktu Menggunakan TDC (*Time Delay Compensation*) pada beban 700 watt

Gambar 4.8 adalah bentuk gelombang tegangan dari hasil simulasi menggunakan TDC (*Time Delay Compensation*) pada beban 700 watt di hasilkan tegangan sebesar 310 Volt.

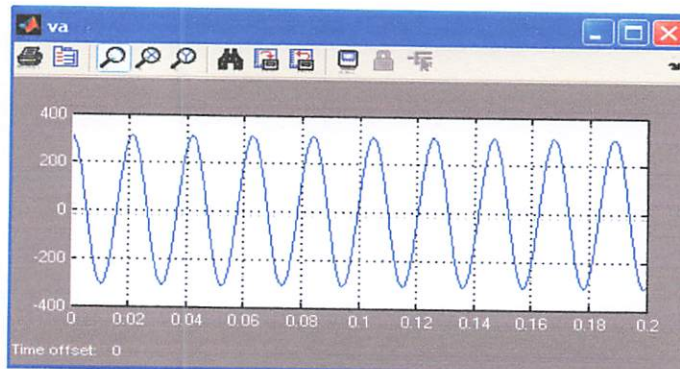
3. Hasil Simulasi kontrol Tegangan terhadap Waktu menggunakan TDC(*Time Delay Compensation*) pada beban 800W



Gambar 4.9 Hasil Simulasi Tegangan Terhadap Waktu Menggunakan Kontrol TDC (*Time Delay Compensation*) pada Beban 800W

Gambar 4.7 adalah bentuk gelombang tegangan dari hasil simulasi menggunakan TDC (*Time Delay Compensation*) pada beban 800 watt di hasilkan tegangan sebesar 310 Volt.

4. Hasil Simulasi kontrol Tegangan terhadap Waktu menggunakan TDC (*Time Delay Compensation*) pada beban 900 watt



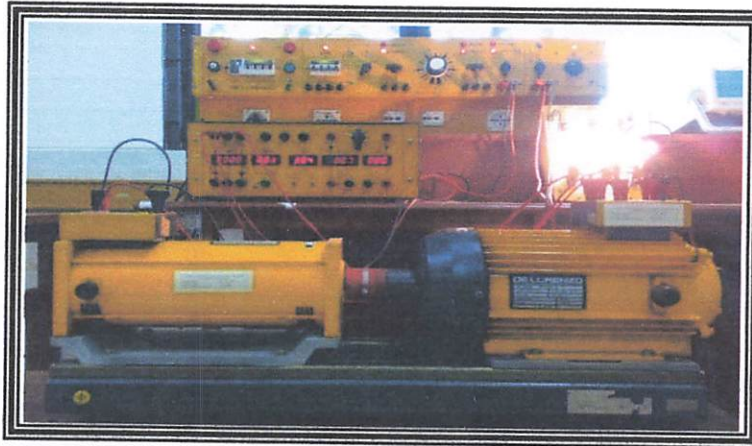
Gambar 4.10 Hasil Simulasi Tegangan Terhadap Waktu Menggunakan TDC (*Time Delay Compensation*) pada beban 900 watt

Gambar 4.10 adalah bentuk gelombang tegangan dari hasil simulasi menggunakan TDC (*Time Delay Compensation*) pada beban 900 watt di hasilkan tegangan sebesar 310 Volt



#### 4.5 Eksperimen

Berikut ini merupakan gambar pengujian kinerja motor induksi sebagai generator induksi 3 fasa sebagai pembanding di Laboratorium Konversi Energi Elektrik ITN Malang



Gambar 4.11 Rangkaian Eksperimen pengujian Motor Induksi sebagai Generator Induksi 3 fasa

Tabel 4.5 Hasil Eksperimen Generator Induksi tiga Fasa di Laboratorium Konversi Enetgi Elektrik

No	Beban (Watt)	Tegangan (Volt)
1	Tanpa beban	380
2	700	330
3	800	320
4	900	310

Gambar Tabel 4.6 Hasil Simulasi Generator Induksi Tiga Fasa Menggunakan TDC (*Time Delay Compensation*) dan tanpa TDC (*Time Delay Compensation*)

No	Beban (watt)	Hasil Simulasi				Hasil Eksperimen
		Tanpa TDC		Dengan TDC		Tegangan (Volt)
		(Volt)	Bentuk gelombang	(Volt)	Bentuk gelombang	
1	Tanpa beban	290	Tidak sinussioda	310	sinussioda	380
2	700	290	Tidak sinussioda	310	sinussioda	330
3	800	290	Tidak sinussioda	310	sinussioda	320
4	900	290	Tidak sinussioda	310	sinussioda	310

#### . 4.6 Analisa Hasil simulasi

Dari hasil analisa perbandingan di atas menunjukkan bahwa Kontrol tegangan yang di pasang TDC (*Time Delay Compensation*) menunjukkan hasil tegangan yang konstan sebesar 310 Volt pada beban yang berubah maupun dalam kondisi tanpa beban, menunjukkan bentuk gelombang yang sinussioda.







## **BAB V PENUTUP**

### **5. 1. Kesimpulan**

Dari hasil sistem kontrol yang dilakukan pada generator induksi tiga fasa dengan menggunakan kontrol TDC ( *Time Delay Compensation*) dapat di tarik beberapa kesimpulan adalah:

1. Dari hasil simulasi generator induksi menggunakan TDC ( *Time Delay Compensation*) tanpa beban, dihasilkan tegangan 310V dengan bentuk gelombang yang sinusoida
2. Dari hasil simulasi generator induksi menggunakan TDC ( *Time Delay Compensation*) pada beban 700, 800, 900 (watt) di hasilkan tegangan 310V dengan bentuk gelombang yang sinusoida
3. Dari hasil simulasi generator induksi tanpa TDC ( *Time Delay Compensation*) tanpa beban, dan pada beban yang berubah ubah dihasilkan tegangan 290 V dengan bentuk gelombang tidak sinusoida
4. Dari hasil simulasi generator induksi tanpa TDC ( *Time Delay Compensation*) hasil kerja dari sebuah kontrol tegangan tidak maksimal dengan menunjukan bentuk gelombang yang tidak sinusoida.
5. Dari hasil eksperimen dilaboratorium menunjukan sebuah generator induksi membutuhkan suatu penguat atau suatu kontrol untuk dapat menghasilkan tegangan yang stabil pada saat beban yang berubah ubah.

## **5.2 Saran**

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

1. Agar validasi data lebih akurat, penginputan parameter dalam pembuatan program simulasi hendaknya lebih teliti.
2. Untuk lebih bermanfaat lagi rangkaian ini dapat diaplikasikan pada industri - industri yang banyak menggunakan motor AC dalam menjalankan proses produksi dalam hal ini dapat menghasilkan pengaturan kecepatan motor AC yang diinginkan. Sehingga dapat meningkatkan kualitas hasil produksi.







## DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Kuperman, And R. Rabinovici, *Departemen of Electronic Engineering ben-Gurion University of Nevag, Ber-Sheva, Israel.* alonk@ee.bgu.ac.il
- [2] B. Singh, L. Shridhar and C. S. Jha. November 1999. "*Improvements in The Performance of Self Excited Induction Generator Through Series Compensation*". JEE Proc-Gener. Transm. Distrib.
- [3] B. Singh, R. B. Saxena, S. S. Murthy, and B. P. Singh. 1988. "*A single-phase self-excited induction generator for lighting loads in remote areas*".: international journal on Elect. Engg. Education.
- [4] B. Singh, L. Shridhar and C. S. Jha. November 1999. "*Improvements in The Performance of Self Excited Induction Generator Through Series Compensation*". JEE Proc.
- [5] G. Raina and O. P. Malik. Dec. 1983 "*Wind energy conversion using a self-excited induction generator*". IEE Trans. Power apparatus and systems.
- [6] S. S. Murphy. Sep. 1993. "*A novel self-excited self-regulated single phase induction generator Part 1: Basic system and theory*" IEE Trans. Energi Conversion.
- [7] S. S. Murthy, O. P. Malik, And A. K. Tandon. Nov. 1982. "*Anaysis of self-excited induction generators*". Proceedings of IEEE.







# LAMPIRAN



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

## FORMULIR PERBAIKAN SKRIPSI

Nama : Fredy Chiansiustio  
NIM : 03.12.063  
Masa Bimbingan : 03 Mei 2010 s/d 03 November 2010  
Judul Skripsi : ANALISA KONTROL TEGANGAN GENERATOR  
INDUKSI TIGA FASA DENGAN PEMASANGAN  
TDC (*TIME DELAY COMPENSATION*) MENGGUNAKAN  
*SOFTWARE MATLAB SIMULINK*  
DI LABORATORIUM KONVERSI ENERGI ELEKTRIK  
ITN MALANG

No.	Uraian	Paraf Penguji
1.	Pada Kesimpulan no.3, apakah tegangan yang di hasilkan 310 volt? Jelaskan di kesimpulan	
2.	Listing Program harap ditampilkan	
3.	Format penulisan skripsi disesuaikan dengan pedoman penulisan skripsi di buku silabus 2009 – 2014	
4.	Dibandingkan dengan pengujian di Lab	
5.	Ditambahkan turunan rumus 3 fasa ke 2 fasa ( <i>dq</i> )	

Disetujui :

Penguji I

Ir. Teguh Herbasuki, MT  
NIP.Y. 103.8900.209

Penguji H

Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT  
NIP.Y. 101.8800.189

Mengetahui,

Dosen Pembimbing I

Ir. M. Abdul Hamid, MT  
NIP.Y. 101.8800.188

Dosen Pembimbing II

Ir. Eko Nurcahyo  
NIP.Y. 102.8700.172





**FORMULIR PERBAIKAN SKRIPSI**

Nama : \_\_\_\_\_  
 NIM : \_\_\_\_\_  
 Nama Pembimbing : \_\_\_\_\_  
 Judul Skripsi : \_\_\_\_\_  
 Tanggal Pengumpulan : 03 April 2010 dan 03 November 2010  
 Analisis Kontrol, PLANGGAN GENERATOR  
 INDIKSI TIGA FASE DENGAN PEMANANGAN  
 TPC (VARI DEBIT) (COMPARISON) MENGGUNAKAN  
 SISTEM KONTROL PID  
 DI LABORATORIUM KONVULSI ENERGI ELEKTRIK  
 ITM MALANG

No.	Uraian	Tanggal
1.	Revisi Kesempurnaan no. 3, apabila revisi yang di berikan 210 volt, tetapkan di kesempurnaan	
2.	1 listing Program hasil diambungkan	
3.	Format penulisan skripsi disesuaikan dengan pedoman penulisan skripsi di bulan Agustus 2009 - 2014	
4.	Diambungkan dengan pengujian di 1 ab	
5.	Diambungkan turunan rumus 3 dan ke 2 dan (w)	

Disetujui :

Pembimbing II

Pembimbing I

Dr. Yusuf Hamid Nakhuda, MT  
 NIP. 7.101.2800128

Dr. Teguh Herbasuki, MT  
 NIP. 7.103.8900299

Mengetahui

Boson Pembimbing II

Boson Pembimbing I

Dr. Eko Nugroho  
 NIP. 7.102.8700172

Dr. Teguh Hamid, MT  
 NIP. 7.101.2800128



## FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : Fredy Chiansiustio  
Nim : 03.12.063  
Masa Bimbingan : 03 Mei 2010 s/d 03 November 2010  
Judul Skripsi : ANALISA KONTROL TEGANGAN GENERATOR INDUKSI TIGA FASA DENGAN PEMASANGAN TDC (*TIME DELAY COMPENSATION*) MENGGUNAKAN *SOFTWARE MATLAB SIMULINK* DI LABORATORIUM KONVERSI ENERGI ELEKTRIK ITN MALANG

No.	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1.	07-05-2010	Uraian pada Pendahuluan Bab	
2.	19-05-2010	Penjelasan Tujuan dari Judul Skripsi	
3.	20-05-2010	Penambahan Penjelasan Prinsip Dasar Motor Induksi	
4.	24-05-2010	Penjelasan Tiap Gambar Pada Bab II	
5.	05-06-2010	Penambahan Rumus dasar pada Rangkaian Ekuivalen	
6.	07-06-2010	Penjelasan dari TDC di tambahkan	
7.	07-06-2010	Teori Dasar rumus $dq$	
8.	21-06-2010	Penambahan Rumus Tiga Fasa dan Dua Fasa	
9.	29-06-2010	Perbaikan Hasil Simulasi	
10.	30-05-2010	Penambahan Kesimpulan	

Malang, 2010  
Dosen Pembimbing,

**Ir. M. Abdul Hamid, MT**  
NIP.Y. 101.8800.188



### FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : Fredy Chiansiustio  
Nim : 03.12.063  
Masa Bimbingan : 03 Mei 2010 s/d 03 November 2010  
Judul Skripsi : ANALISA KONTROL TEGANGAN GENERATOR INDUKSI TIGA FASA DENGAN PEMASANGAN TDC (*TIME DELAY COMPENSATION*) MENGGUNAKAN *SOFTWARE MATLAB SIMULINK* DI LABORATORIUM KONVERSI ENERGI ELEKTRIK ITN MALANG

No.	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1.	8-05-2010	Latar Belakang Masalah di Lengkapi	
2.	19-05-2010	Batasan Masalah di Perjelas	
3.	20-05-2010	Penjelasan Tiap Gambar Pada Bab II	
4.	24-05-2010	Penambahan Gambar Rangkaian Ekuivalen	
5.	04-06-2010	Perbaikan Sistematis Penulisan	
6.	15-06-2010	Penambahan Gambar Blok Simulink Kontrol pada Matlab	
7.	30-06-2010	Perbaikan Flowchat	
8.	02-07-2010	Penambahan Penjelasan dari Tiap Gambar Hasil Simulasi	
9.	07-07-2010	Pada Kesimpulan di tambahkam Perbandingan dari Hasil Simulasi	
10.	17-07-2010	Tabel Perbandingan	

Malang, 2010  
Dosen Pembimbing,

**Ir. Eko Nurcahyo**  
NIP.Y.102.8700.172

UNILAB LABORATORY

*D34*  
SEPARATE EXCITATION  
BRAKING DC GENERATOR

DL 1025



## CONTENTS

### PART A

1. Dynamometric brakes	Page	1
2. Braking dc generator	Page	2
3. Measuring the braking torque	Page	4
4. Load conditions	Page	5
5. Direct measurement of the braking torque	Page	6
6. Brake composition	Page	7
7. Test modalities	Page	8

### PART B

Rated data	Page	11
------------	------	----

#### PRACTICAL TEST :

Testing the asynchronous motor with the braking dc generator	Page	12
--	------	----

---

**1. DYNAMOMETRIC BRAKES**

---

The axis mechanical power developed by a rotating machine is generally determined by measuring the rounds per minute and the mechanical torque.

Anyway, when the mechanical power isn't exploited it is possible to measure the torque through a brake, i.e. a device which is able to dissipate the power developed by the machine under test.

Among the absorption kind brakes, where the power is absorbed and dissipated within the brake itself, the braking dc generator represents a solution of universal application, specially for medium powers and high speeds.

---

**2. BRAKING DC GENERATOR**

---

It is known that in all rotating electric machines the torque (either driving or resisting, in motors or generators, respectively) is generated by an electromagnetic reaction between the stator and the rotor. Therefore, the generating forces of this torque act in perfectly equal and opposite ways, both on the stator and on the rotor. Normally, the stator is locked to a base, while the rotor is supported by bearings. It is therefore the latter that rotates. Anyway, it is clear that when the rotor was clamped and the stator wasn't constrained, it was the stator that would start to rotate.

When we consider a dc generator running under load, we can note that it develops inside itself a given resisting torque whose value is proportional to the generated electric power. In other words, the stator of the dc generator exerts on the rotor a torque which is opposite to the direction of rotation. This torque will have to be balanced, when the dynamic steady state is achieved, by the torque developed by the driving motor which provides the rotation). Due to reaction, an equal but opposite torque is present on the stator, which therefore tends to be driven in the direction of rotation. Should it be clamped, not rigidly but through a calibrated dynamometer, it would be possible to measure the value of the braking torque developed by the dc generator.

The braking dc generator is a test equipment very useful for the direct testing of motors. In fact, it allows both a finely adjustable braking (it is enough to vary the electric load of the dc generator) and an easy measurement of the output torque.

When compared to the common eddy currents electromagnetic brakes, which are substantially based on the same principle, the braking dc generator shows a smaller torque measuring sensitivity because of the unavoidable frictions, but offers the following fundamental advantages :

- The braking power doesn't necessarily have to be dissipated "on the spot", but can be also recovered through a back-conversion for supplying dc users. In this way, there is no limitation to the maximum braking power, that is therefore determined by the rated power of the dc generator. For the same reason, no local heat is generated, that would alter the thermal steady state of the motor under test.
- Being perfectly reversible, the braking dc generator can be also operated as a motor, to be used for the testing of electric generators. In this latter use, the dc generator is normally called TORQUE-METER.

**2.1 TORQUES OF NON ELECTROMAGNETIC KIND IN THE BRAKING DC GENERATOR**

The torque of electromagnetic kind developed by the braking dc generator isn't the only one that the motor under braking must overcome. In fact, there are other torques, though of very smaller magnitude, that oppose themselves to the motion due to purely mechanical reasons. They are :

- the friction torque in the bearings
- the friction torque of the brushes on the commutator
- the ventilation torque

For easily intuitable reasons, both the friction torque in the bearings and the friction torque of the brushes are fully reflected on the stator, where they are perfectly added to the torque of electromagnetic kind, and are therefore included in the measure.

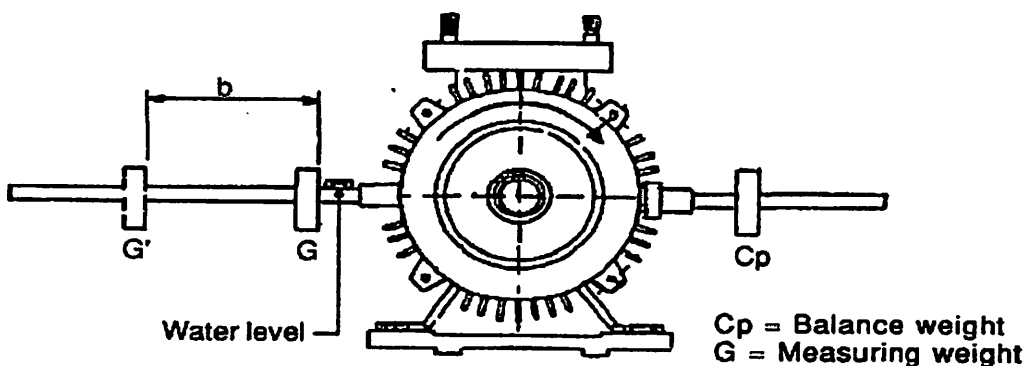
Instead, the ventilation torque is only partially perceived: in fact, a large part of the air fillets that brake the motor and are set in motion, waste in the surrounding environment their kinetic energy without affecting the stator. Therefore, giving rise to a small ventilation torque, this drawback can be tolerated.

In conclusion, it can be said that the braking torque exerted by the braking dc generator on the driving motor is fully available on the swinging stator. Therefore, it can be measured with the maximum ease through the balancing of the stator.



### 3. MEASURING THE BRAKING TORQUE

When the motor under test tends to rotate the rotor of the dc generator according to the arrow (clockwise direction), it is necessary to arrange the measuring weight  $G$  on the left graduated arm and the counter-weight  $C_p$  on the other arm. In case of opposite rotation, it is necessary to exchange the positions of the measuring weight and the counter-weight.



With standstill motor, move the measuring weight  $G$  to the starting point of the graduation on the relevant arm. Adjust the position of the counter-weight  $C_p$  until the frame is balanced.

At this point, lock the counter-weight  $C_p$ , that doesn't have to be moved anymore.

(It is self-evident that the stoppers limiting the frame rotation must be adjusted so that the maximum stroke is always shown by the balancing water level).

When the motor under test has been started, the different load conditions are realized by varying the load current of the braking dc generator (adjustment of the load rheostats) and by adjusting the excitation current of the dc generator.

When the measuring weight  $G$  is moved along the graduated arm it is possible to find a position where the frame is balanced again, i.e. where the braking is perfectly balanced by the torque generated on the stator.

The braking torque represents the output torque of the motor and is given by the product of the measuring weight  $G$  times the displacement arm  $b$ : (note that  $1 \text{ N} = 0.102 \text{ kg}$ )

$$C_{(Nm)} = 9.81 G(\text{kg}) \cdot b(\text{m}) = G(\text{N}) \cdot b(\text{m})$$

When the rotating speed " $n$ " in rpm is known, it is possible to calculate the mechanical power absorbed by the dc generator and, therefore, the mechanical power that the machine under test really provides to the shaft.

$$P_{out(w)} = \frac{2\pi n}{60} \cdot C_{(Nm)} = 1.027 G(\text{kg}) \cdot b(\text{m}) \cdot n(\text{rpm})$$

---



---

**4. LOAD CONDITIONS**


---

The braking dc generator is the load of the motor under test.

**1 Rated torque of the motor under test**

Using the rated data of the motor under test, the rated torque can be calculated in advance:

$$C_{n(Nm)} = \frac{60}{2\pi n} \cdot P_{out(w)}$$

where "n" is expressed in rpm.

**2 Braking torque**

The load values as a function of the rated torque are normally preset in the various fourths distributed between zero and a 25% overload:

$$C_{brak(Nm)} = 0; \quad 1/4 C_n; \quad 2/4 C_n; \quad 3/4 C_n; \quad 4/4 C_n; \quad 5/4 C_n$$

**3 Measuring weight and arms**

When the full graduation of the measuring arm is to be exploited, the required measuring weight is given by:

$$G(N) = \frac{C_{max}}{b_{max}} = \frac{5/4 C_{n(Nm)}}{b_{max(m)}}$$

When the measuring weight G has been selected, the arm corresponding to the rated braking torque can be calculated :

$$b_{n(m)} = \frac{C_{n(Nm)}}{G(N)}$$

therefore, the testing arms at the different fourths of the load are determined:

$$b_{test} = 5/4 b_n; \quad 4/4 b_n; \quad 3/4 b_n; \quad 2/4 b_n; \quad 1/4 b_n$$

## 5. DIRECT MEASUREMENT OF THE BRAKING TORQUE

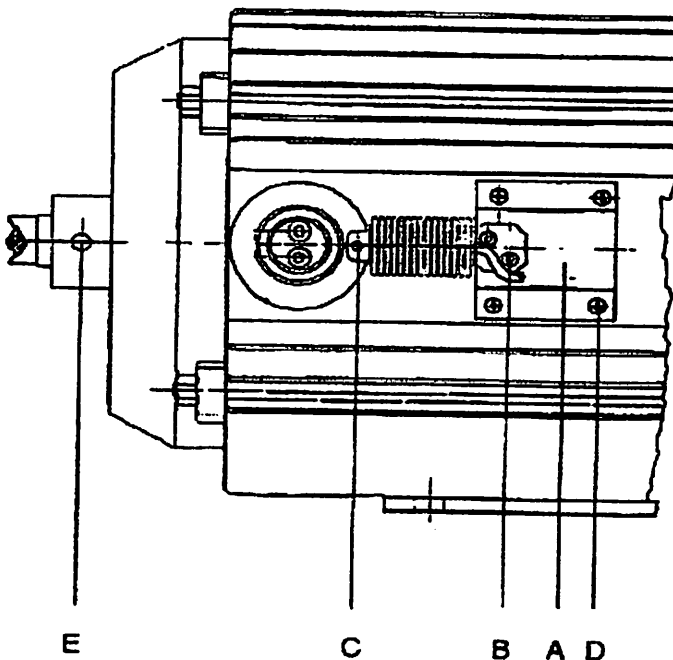
By using a load cell DL 2006E, the braking torque can be directly measured in Nm on the braking dc generator.

The load cell must be coupled to a digital torque meter.

The load cell must be fixed in the base A with the screws B.  
The load cell must be inserted softly in the plug C. It is possible, if necessary, regulate the base (A) with the screws D.

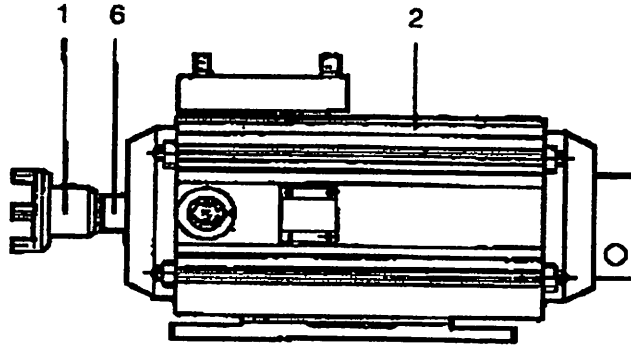
**WARNING :** DO NOT FORCE THE LOAD CELL IN ORDER TO NOT DAMAGE IT.

Inserting its rod in the hole E in such way it comes out from the other side, is possible measuring the static torque since the rotor and swinging ring are mechanically locked between them.

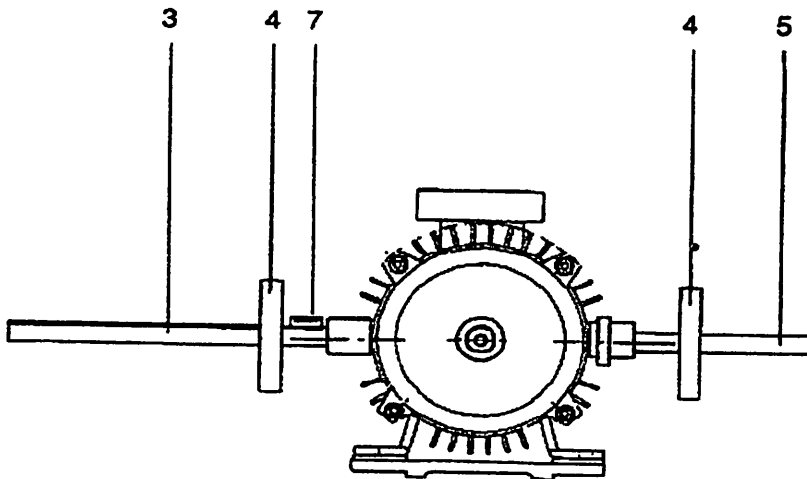


**6 - BRAKE COMPOSITION**

The electromagnetic brake DL 1025 is composed by the following main components:



- 1) : Machine half-joint
- 2) : External frame
- 6) : Internal swinging body

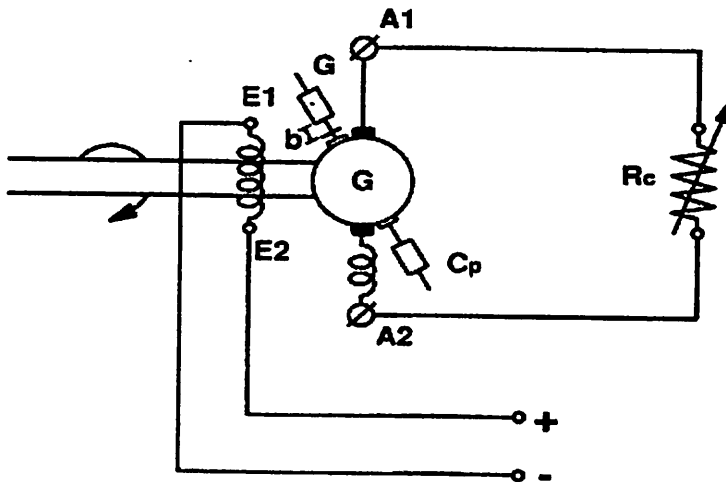


- 3) : Graduated arm
- 4) : Measuring weights
- 5) : Arm
- 7) : Water level

## 7. TEST MODALITIES

The rotor of the motor under test is connected through a joint to the rotor of the braking dc generator.

## 1 ELECTRIC DIAGRAM



The armature A1 - A2 is connected to a suited variable load.  
The excitation winding E1 - E2 is connected to a suited variable dc voltage supply.

## 2 INITIAL BALANCING

Before the tests are started, the braking dc generator has to be balanced with standstill machine.

Set the measuring weight G to the zero of the graduated arm and adjust the counter-weight Cp until the arm is in horizontal position, checking it through the water level. Clamp the counter-weight Cp, that doesn't have to be moved anymore.



### 3 TESTS

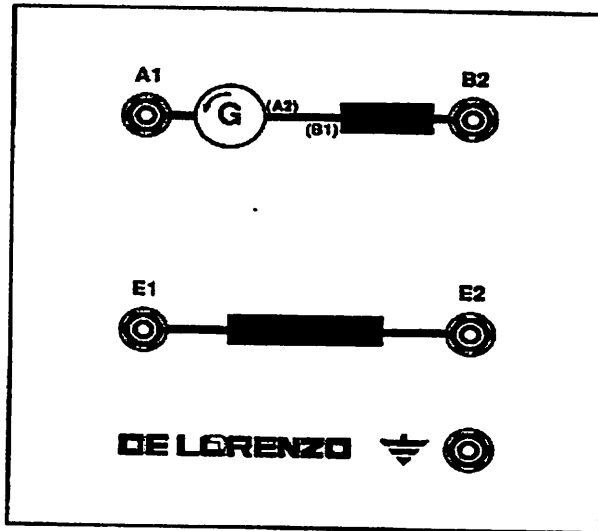
The tests are started by clamping the measuring weight G in the position of the arm corresponding to the maximum load condition.

To prevent the overheating of the windings of the motor under test it is suggested to start with cold machine and with the maximum load. During the test, at the different fourths, the machine temperature settles within given values when the load is decreased.

- 3.1 Start the motor keeping the load circuit of the dc generator open.  
When the motor is started, adjust the load rheostat and the excitation current of the braking dc generator until the balance condition is achieved. Then measure the readings of all the instruments and measure the rpm of the motor.
- 3.2 The other load conditions of the motor under test are obtained by varying the position of the measuring weight G.

**PRACTICAL TEST**

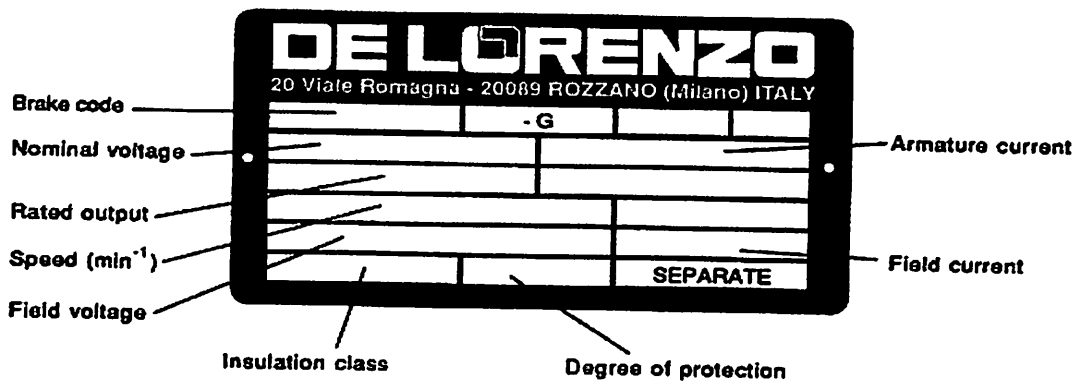
**BRAKING DC GENERATOR DL 1025**



Armature winding :                    A1 - (A2) (armature)  
 Excitation winding :                (B1) - B2 (auxiliary poles)  
     E1 - E2

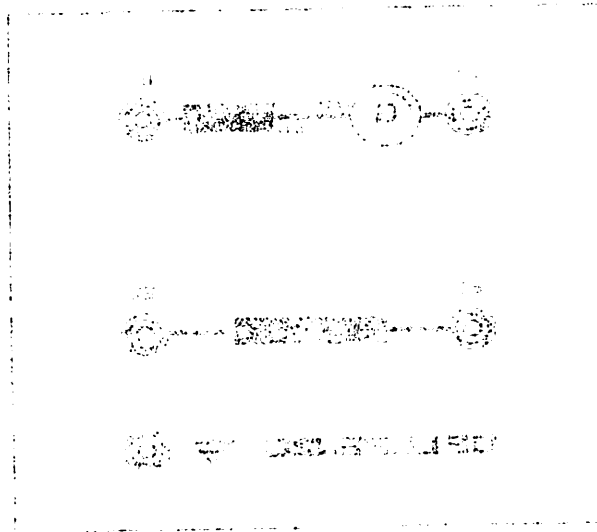
The frame is free to oscillate around the axis and can hold two arms on which the measuring weight and the counter-weight are arranged.

Useful length of the arms :            300 mm  
 Two weights rated :                    1.5 kg  
 Complete of balancing water level



SECRET

CONFIDENTIAL



SECRET

CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL

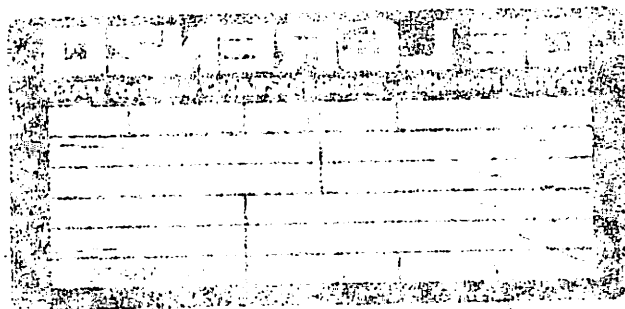
CONFIDENTIAL

SECRET

CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL



SECRET

CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL

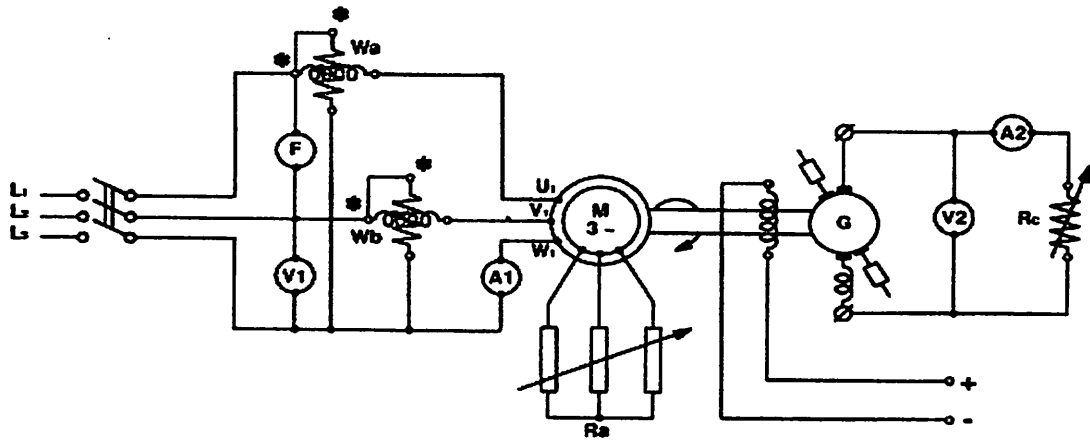
CONFIDENTIAL

SECRET

CONFIDENTIAL

TESTING THE ASYNCHRONOUS MOTOR

ELECTRIC DIAGRAM



**NOTE :** *Considering the rated values of the test motor, it results more useful to make a star connection of the stator windings.*





## OPERATION SEQUENCE

When the machine under test and the braking have been arranged wire the test circuit according to the reported diagrams and arrange the controls in the following way :

- 1 - Preset control in the module:

**FIXED THREE-PHASE OUTPUT :**

Switch open.  
Variac fully turned CCW

**VARIABLE DC OUTPUT :**  
(excitation)

Switch open.  
Variac fully turned CCW

- 2 - Shunt the ammetric coils of the instruments (wiring the dotted connection) to protect them against the peak of the starting current.
- 3 - Perform the initial balancing of the braking dc generator moving the measuring weight at the beginning of the graduation on its arm and moving the balance weight until the water level is balanced.  
Clamp the balance weight, that hasn't to be moved anymore during the whole test.
- 4 - Close the switches of DC and three-phase outputs.  
Check that the motor is rotating in the right direction with reference to the measuring weight. Remove the short-circuit jumpers.
- 5 - Move the measuring weight to the maximum testing arm and adjust the excitation output at every switching of Rc to perfectly re-balance the swinging casing, taking care not to excessively exceed the rated values of the dc generator.  
Note the instrument readings and the rotation speed of the motor by means of a speed-meter.
- 6 - Progressively move the measuring weight to the other values on the testing arm, each time re-balancing the casing through adjustment of excitation output (and, possibly, of Rc) and note the new readings of the instruments and the rotation speed.
- 7 - Stop the motor by opening the switches.

## Formulas

$$C = G \cdot b \quad Pa = K (Wa + Wb)$$

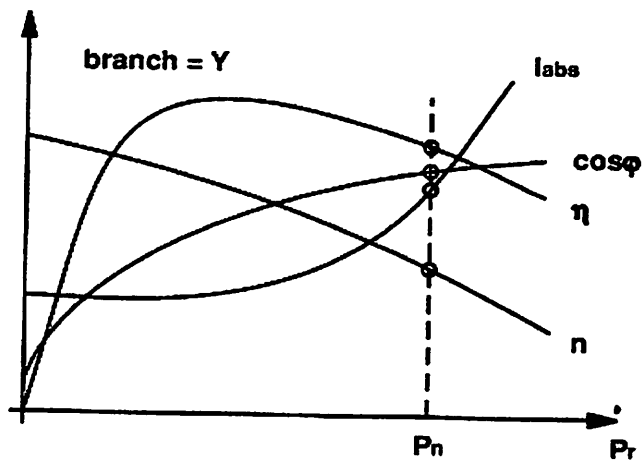
$$\cos\varphi = \frac{1 + X}{2 \sqrt{X^2 - X + 1}} \quad \text{where } X = \frac{Wb}{Wa}$$

$$Pr = \frac{2\pi n}{60} C \quad \eta = \frac{Pr}{Pa}$$

TABLE

	G (N)	b (m)	C (Nm)	K div	I (A/div)	I (A)	K (W/div)	Wa (div)	Wb (div)	Pa (W)	cosφ	n (rpm)	Pr (W)	η
1/4														
2/4														
3/4														
4/4														
5/4														

## GRAPHS



Revised 15/01/1993

© 1993 DE LORENZO - Printed in Italy - All Rights Reserved

DE LORENZO S.R.L.

V. le Romagna, 20 20089 Rozzano (MI)

Tel. (02) 8254551/2/3 - Telefax 8255181 - Telex 321122 DELORI