

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



**ANALISIS PENGENDALI VVVF EFISIENSI TINGGI  
SEBAGAI PENGGERAK MOTOR INDUKSI**

**SKRIPSI**



**Disusun Oleh :  
ULIBASA SILABAN  
NIM : 96.12.114**

**APRIL 2005**

---

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**ANALISIS PENGENDALI VVVF EFISIENSI TINGGI  
SEBAGAI PENGGERAK MOTOR INDUKSI**

**SKRIPSI**

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

**Disusun Oleh :**

**ULIBASA SILABAN**

**NIM. 96.12.114**



**Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Elektro**

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

**Disetujui,  
Dosen Pembimbing**

**Ir. Moch. Anwar**  
**NIP. 110 023 470**

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

## ABSTRAKSI

*Ulibasa Silaban, 2005, Analisis Pengendali VVVF Efisiensi Tinggi Sebagai Penggerak Motor Induksi, Jurusan Teknik Elektro S-1 konsentrasi Teknik Energi Listrik, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang.*

*Dosen pembimbing : Ir. Moch. Anwar*

*Pengaturan putaran motor induksi dengan menggunakan perangkat power electronic makin dikembangkan. Dengan berkembangnya teknologi dan berbagai macam kebutuhan kecepatan motor induksi, dibutuhkan pengaturan tegang input stator yang mempunyai frekwensi dan besar tegangan yang sesuai.*

*Pada sistem pengendali Variable Voltage Variable Frequency (VVVF) terdiri dari dua pengontrolan, pengontrolan besar tegangan dan pengaturan frekwensi tegangan. Permasalahan timbul ketika sumber tegangan bolak-balik harus disearahkan terlebih dahulu sebelum menjadi input Variable DC Link. Penggunaan boost regulator yang dilengkapi filter akan menyebabkan ratanya tegangan rectifier.*

*Dengan pemilihan harga boost regulator, besar nilai komponen induktor dan kapasitor yang sesuai, dan pengontrolan frekwensi switching pada boost konverter dan inverter diharapkan diperoleh variabel dan frekwensi yang baik bagi beban.*

*Kata kunci : Pengendali VVVF, DC Link, Boost Regulator, PWM IGBT Inverter.*

## DAFTAR ISI

Halaman :

HALAMAN JUDUL .....	i
LEMBAR PERSETUJUAN .....	ii
ABSTRAK.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI .....	v
DAFTAR GAMBAR .....	vi
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR GRAFIK .....	viii
<b>BAB I      PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang Masalah.....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	1
1.3. Tujuan Masalah.....	2
1.4. Batasan Masalah.....	2
1.5. Metodologi Pembahasan .....	3
1.6. Sistematika Penulisan.....	3
<b>BAB II      MOTOR INDUKSI .....</b>	<b>5</b>
2.1. Pengertian Umum.....	5
2.2. Prinsip Kerja Motor Induksi Tiga Fasa.....	6
2.3. Metode Rangkaian Ekuivalen .....	8
2.3.1. Rangkaian Stator Motor Induksi .....	8

## DAFTAR GAMBAR

Gambar :	Halaman :
2.1 Stator Tiga Fasa.....	5
2.2 Medan Magnet Putar.....	6
2.3 Rangkaian Ekivalen Stator Motor Induksi.....	8
2.4 Rangkaian Ekivalen Rotor Motor Induksi.....	9
2.5 Rangkaian Ekivalen Motor Induksi.....	10
2.6 Rangkaian Ekivalen Motor Induksi yang Disederhanakan.....	12
3.1 Rangkaian Utama Pengendali Motor Induksi.....	13
3.2 Rangkaian Konverter Dengan Boost Regulator.....	14
3.3 Rangkaian Utama Konverter Type Boost.....	15
3.4 Rangkaian Ekivalen Cara Kerja Boost Regulator.....	16
3.5 Bentuk Gelombang Tegangan dan Arus Beban.....	17
3.6 Inverter Tiga Fasa dengan Sistem Jembatan.....	23
3.7 Beban dengan Hubungan Delta Bintang.....	24
3.8 Tegangan Fasa Untuk Periode Konduksi $180^\circ$ .....	24
3.9 Inverter Tiga Fasa dengan Beban RL.....	26
3.10 Bentuk Gelombang Keluaran Sinusoidal PWM.....	27
4.1 Diagram Simulasi Sistem Kendali VVVF.....	30

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman :
4.1 Data Hasil Percobaan Menggunakan Metode VVVF $f = 50$ Hz.....	35
4.2 Data Hasil Percobaan Menggunakan Metode VVVF $f = 45$ Hz.....	36
4.3 Data Hasil Percobaan Menggunakan Metode VVVF $f = 40$ Hz.....	40
4.4 Data Hasil Percobaan Menggunakan Metode VVVF $f = 35$ Hz.....	38
4.5 Hasil Perhitungan Menggunakan Metode VVVF $f = 50$ Hz.....	40
4.6 Hasil Perhitungan Menggunakan Metode VVVF $f = 45$ Hz.....	43
4.7 Hasil Perhitungan Menggunakan Metode VVVF $f = 40$ Hz.....	46
4.8 Hasil Perhitungan Menggunakan Metode VVVF $f = 35$ Hz.....	49
4.9 Data Hasil Percobaan Menggunakan Metode V/f.....	51
4.10 Hasil Perhitungan Menggunakan Metode V/f.....	49

### 1.3 Tujuan Pembahasan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah untuk:

1. Mengevaluasi penggunaan sistem pengendali 'VVVF' pada motor induksi untuk menghasilkan efisiensi yang tinggi.
2. Membandingkannya dengan metode pengendalian motor yang sudah ada yaitu metode V/f ( Hasil skripsi saudara I Gusti Bagus Deddy Pramatha dengan judul “ Analisis Peningkatan Unjuk Kerja Motor Induksi Pada Kecepatan Rendah Dengan Menggunakan Metode V/f“, Februari 2003 ).

### 1.4 Batasan Masalah

Permasalahan dalam sistem tenaga listrik merupakan permasalahan yang sangat luas, sehingga dalam menganalisis suatu permasalahan perlu diadakan pembatasan-pembatasan yang sesuai dengan permasalahan tersebut. Didalam penulisan skripsi ini pembatasan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Analisa hanya dilakukan pada motor induksi tiga fasa.
2. Analisa dibatasi pada penggunaan sistem kendali VVVF, khususnya pada penggunaan boost regulator sebagai converter DC-DC.
3. Rugi-rugi rangkaian diabaikan. Rugi-rugi rangkaian ini relatif kecil jika dibandingkan dengan daya output Boost Regulator.
4. Komponen harmonisa yang terjadi pada system kendali secara keseluruhan tidak dibahas.

## **1.5 Metode Pemecahan Masalah**

Dalam pemecahan masalah ini digunakan metode:

1. Studi literatur dari buku dan jurnal yang berkaitan.
2. Pengumpulan data yang diperlukan dengan melakukan simulasi menggunakan program Matlab.
3. Analisa dan pembahasan.

## **1.6. Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan pada skripsi ini adalah:

### **BAB I : PENDAHULUAN**

Penyusun mengemukakan tentang latar belakang masalah, perumusan masalah, tujuan, batasan masalah, metode pemecahan masalah dan sistematika penulisan.

### **BAB II : MOTOR INDUKSI**

Penyusun mengemukakan tentang teori motor induksi khususnya motor induksi tiga fasa rotor sangkar.

### **BAB III : SISTEM PENGENDALI VARIABLE VOLTAGE VARIABLE FREQUENCY ( VVVF )**

Penyusun mengemukakan secara umum tentang pengendali VVVF dan bagian-bagian pendukungnya.

### **BAB IV : ANALISA PERCOBAAN**

Dalam bab ini membahas hasil simulasi menggunakan program MATLAB v.7.0 tentang unjuk kerja motor induksi tiga fasa terkait



dengan penggunaan sistem pengendali VVVF, dan kemudian membandingkannya dengan hasil metode V/f.

## BAB V : PENUTUP

Dalam bab ini berisi tentang kesimpulan.

2. Medan putar stator tersebut akan memotong batang konduktor pada rotor sehingga pada kumparan rotor timbul tegangan induksi ( ggl induksi ).

$$E_{2s} = 4,44 f_2 N_2 \text{ ( untuk satu fasa )}$$

$E_{2s}$  adalah tegangan induksi pada saat rotor berputar.

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

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

Bila frekwensi tegangan stator adalah  $f_s$ , dan frekwensi tegangan induksi pada rotor adalah  $f_r$ , maka :

$$f_s = \frac{p n_s}{120} \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

Sedangkan kecepatan putar relatif medan putar stator terhadap kecepatan putar rotor adalah  $n_s - n_r$  sehingga frekwensi tegangan induksi pada rotor :

$$f_r = \frac{p(n_s - n_r)}{120} \dots\dots\dots(2.5)$$

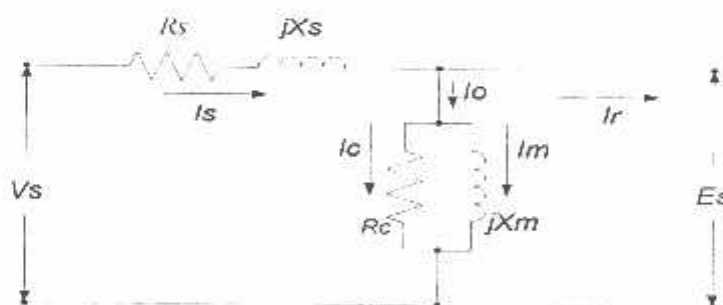
Dari persamaan (2.4) dan (2.5) dapat ditulis

$$f_r = \frac{p n_s}{120} \frac{(n_s - n_r)}{n_s} = s f_s \dots\dots\dots(2.6)$$

## 2.3. Metode Rangkaian Ekvivalen

### 2.3.1. Rangkaian Stator Motor Induksi

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



Gambar 2.3 Rangkaian Ekvivalen Stator Motor Induksi

Sumber : A.E. Fitzgerald and Charles Kingsley, Jr, Electric Machinery, Secon Edition, International Student Edition, New York Toronto London

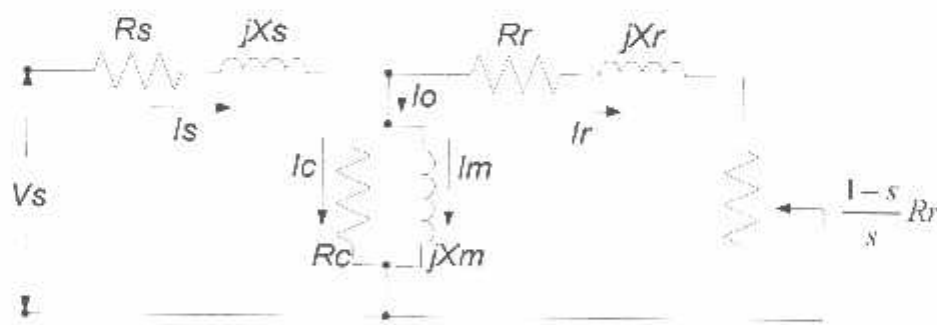
Berdasarkan ( 2.7 ) dan ( 2.11 ) maka diperoleh rangkaian rotor seperti pada gambar 2.4.(a). Arus rotor (  $I_r$  ) yaitu :

$$I_r = \frac{s E_p}{\sqrt{R_r^2 + (s X_r)^2}} \dots\dots\dots(2-12)$$

**2.3.3. Rangkaian Ekivalen Motor Induksi**

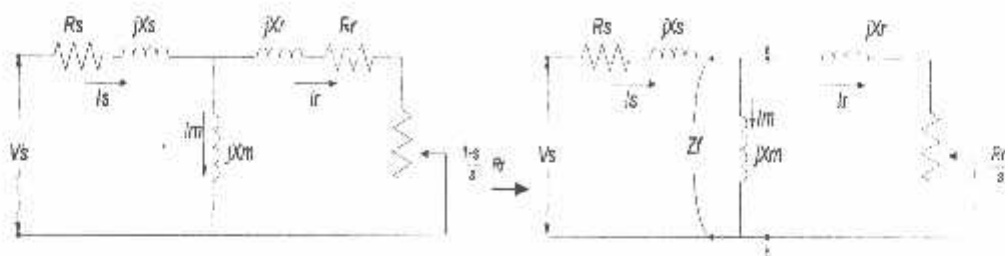
Kerja motor induksi seperti juga kerja pada transmator adalah berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Oleh karena itu motor induksi dapat dipandang sebagai transformator yang mempunyai ciri-ciri khusus yaitu :

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



Gambar 2.5Rangkaian Ekivalen Motor Induksi

Sumber : Djoko Achyanto Msc,EE, Mesin-Mesin Listrik Edisi Keempat, Erlangga, Jakarta



Gambar 2.6 Rangkaian Ekivalen Motor Induksi Yang Disederhanakan

Sumber : Djoko Achyanto Msc,EE, Mesin-Mesin Listrik, Edisi Keempat, Erlangga, Jakarta

Dengan mensubstitusi persamaan ( 2.18 ) dan ( 2.19 ) dapat ditulis :

$$T = \frac{3}{\omega_s} \times \frac{V_s^2}{\left(R_s + \frac{R_r}{s}\right)^2 + (X_s + X_r)^2} \times \frac{R_r}{s} \dots\dots\dots(2-20)$$

Torsi starting dapat diperoleh dari persamaan ( 2.20 ) dengan memasukkan s = 1 ,  
maka :

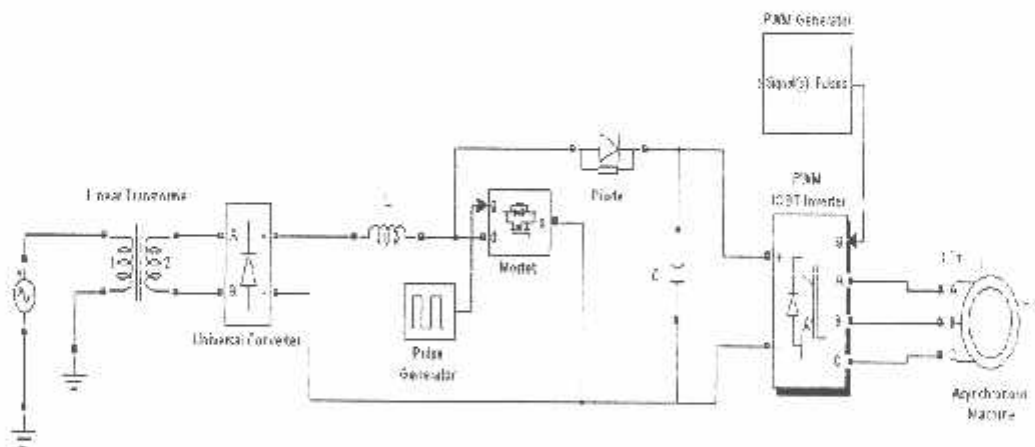
$$T_{st} = \frac{3}{\omega_s} \times \frac{V_s^2 R_r}{(R_s + R_r)^2 + (X_s + X_r)^2} \dots\dots\dots(2-21)$$

## BAB III

### PENGENDALI VVVF

#### 3.1. Konsep dan Diagram

Secara umum Driver Motor Induksi VVVF ( Variabel Voltage Variabel Frekwensi) dapat dilihat pada gambar 3.1. Pada dasarnya sistem driver VVVF merupakan kombinasi dari converter-inverter sistem dengan variable DC Link yang dapat kita kontrol melalui sinyal switchingnya. Variabel DC Link pada sistem VVVF drive berupa sebuah converter regulator tipe boost. Sumber tegangan 1 fasa yang lebih banyak tersediakan oleh PLN harus disearahkan dulu melalui rectifier,



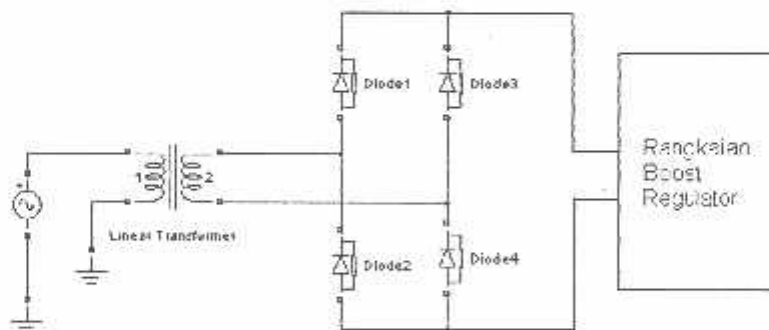
Gambar 3.1 Rangkaian Utama Pengendali Motor Induksi  
Sumber: Diagram simulasi program MATLAB v 7.0

Output DC rectifier menjadi input dari boost converter dan dengan pemilihan harga boost inductor yang tepat serta pengaturan duty cycle dapat

diperoleh harga tegangan output yang dikehendaki. Tegangan output converter tersebut disesuaikan dengan output tegangan inverter yang dikehendaki. Dengan pengaturan besar tegangan oleh converter type boost dan pengaturan besar frekwensi pada switching inverter akan diperoleh harga tegangan output inverter dengan variabel tegangan dan variabel frekwensi sesuai yang dikehendaki.

### 3.2. Konverter Sebagai Pengatur Tegangan ( Variabel DC Link )

Variabel DC Link ini pada dasarnya adalah suatu dc-dc converter dengan type switching boost regulator. Input DC diperoleh dari rangkaian penyearah jembatan 1 fasa gelombang penuh ( full brigde rectifier ) dengan inductor boostnya (  $L$  ) dipasang pada pada saluran input fasenya, seperti pada gambar. Sedangkan input rangkaian dc-dc converter dengan type boost regulator dihubungkan pada keluaran penyearah 1 fasa gelombang penuh. Diagram rangkaian ac-dc converter dapat dilihat pada gambar 3.2.



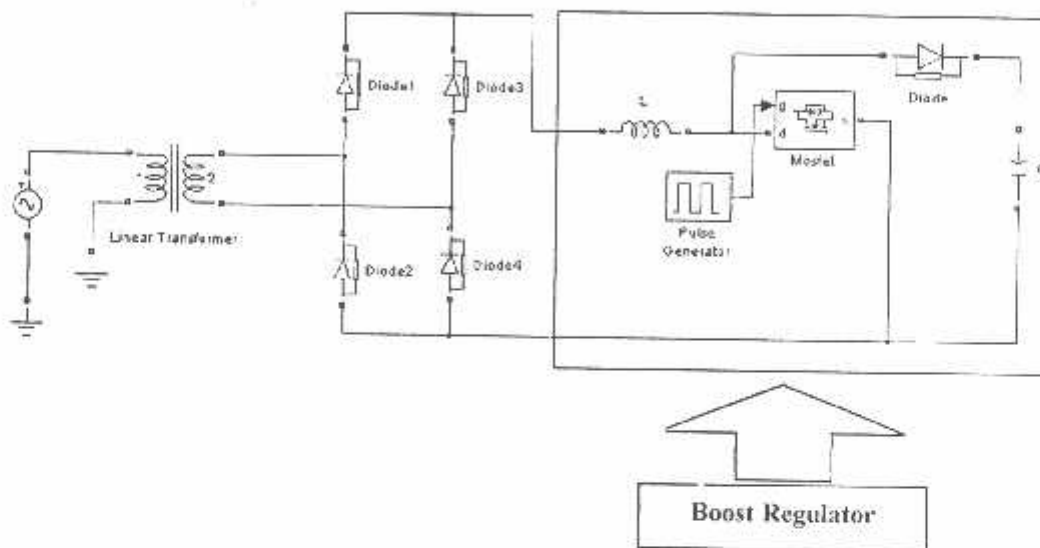
Gambar 3.2 Rangkaian Konverter dengan Boost Regulator  
Sumber: Diagram simulasi program MATLAB v 7.0

Rangkaian ini terdiri dari 2 bagian converter yaitu penyearah 1 fasa, bagian kedua adalah dc-dc converter type boost dengan boost induktornya yang

berfungsi sebagai active power correction dengan capacitor filter dc. Keluaran dari converter ini dapat diatur berdasarkan cara kerja rangkaianya.

### 3.2.1. Prinsip Kerja

Gambar rangkaian utama variable DC Link dengan boost converter regulator terlihat pada gambar 3.3,



Gambar 3.3 Rangkaian utama Converter Type Boost  
Sumber: Diagram simulasi program MATLAB v 7.0

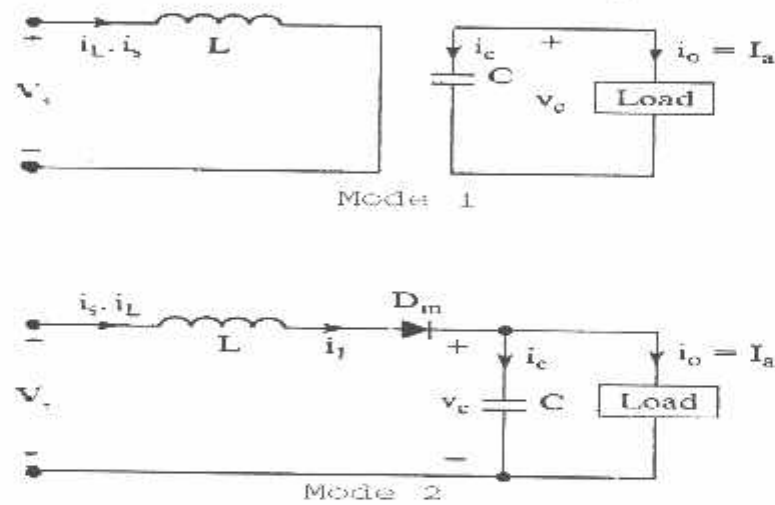
Konverter type boost ( Boost Regulator ) bekerja sebagai media konversi dari tegangan DC yang telah konstan ( fixed ) menjadi tegangan DC yang dapat dikontrol. Seperti yang diketahui bahwa sebagian besar sumber tegangan adalah berasal dari sumber AC ( PLN ). Karena itu untuk mensuplai Boost Regulator agar didapatkan tegangan variable yang akan dapat dikontrol, tegangan AC perlu untuk disearahkan terlebih dahulu ( sebagai penyearah digunakan diode ).

Dengan asumsi suplai sumber 1 fasa yang telah disearahkan, cara kerja dari Converter type Boost dapat dibagi mejadi dua mode yaitu sebagai berikut:



1. Mode 1 dimulai pada saat transistor M1 di-on-kan pada  $t = 0$ , arus masukan yang meningkat mengalir melalui inductor L dan transistor Q1.
2. Mode 2 dimulai saat transistor M1 di-off-kan pada  $t = t_1$ , arus yang mengalir melalui transistor akan mengalir melalui L, C, beban, dan diode Dm. Arus induktor turun sampai transistor M1 di-on-kan kembali pada siklus berikutnya, energi yang tersimpan pada inductor L dipindahkan ke beban.

Rangkaian ekuivalen untuk mode-mode kerja ditunjukkan pada gambar 3.4, bentuk gelombang untuk tegangan dan arus beban yang kontinyu ditunjukkan pada gambar 3.5



Gambar 3.4 Rangkaian ekuivalen cara kerja boost regulator  
 Sumber : M.H. Rashid ; Power Electronic Circuit, Devices, And Application Edisi Ke Tiga, 2004.

$$t_2 = \frac{\Delta I \cdot L}{V_a - V_s} \dots\dots\dots(3-4)$$

Dengan  $\Delta I = I_2 - I_1$  adalah arus ripple puncak ke puncak induktor  $L$ , dari persamaan

$$\Delta I = \frac{V_s \cdot t_1}{L} = \frac{(V_a - V_s) \cdot t_2}{L} \dots\dots\dots(3-5)$$

Substitusi  $t_1 = kT$  dan  $t_2 = (1 - k)T$  menghasilkan tegangan keluaran rata-rata

$$V_a = V_s \frac{T}{t_2} = \frac{V_s}{1 - k} \dots\dots\dots(3-6)$$

Dengan mengasumsikan rangkaian yang tidak mengandung rugi-rugi,  $V_s \cdot I_s = V_a \cdot I_a = V_s \cdot I_a / (1 - k)$  dan arus masukan rata-rata adalah

$$I_s = \frac{I_a}{1 - k} \dots\dots\dots(3-7)$$

Periode pensaklaran  $T$  dapat ditentukan dari

$$T = \frac{1}{f} = t_1 + t_2 = \frac{\Delta I \cdot L}{V_s} + \frac{\Delta I \cdot L}{V_a - V_s} = \frac{\Delta I \cdot L \cdot V_a}{V_s (V_a - V_s)} \dots\dots\dots(3-8)$$

sDan ini memberikan arus puncak ke puncak

$$\Delta I = \frac{V_s (V_a - V_s)}{f L V_a} \dots\dots\dots(3-9)$$

Atau

$$\Delta I = \frac{V_s k}{f L} \dots\dots\dots(3-10)$$

Pada saat transistor sedang on, kapasitor mencari arus beban selama  $t = t_1$ . Arus rata-rata selama waktu  $t_1$  adalah  $I_s = I_a$  dan tegangan ripple puncak ke puncak kapasitor adalah

$$\Delta V_c = v_c - v_c(t=0) = \frac{1}{C} \int_0^{t_1} I_c dt = \frac{1}{C} \int_0^{t_1} I_a = \frac{I_a t_1}{C} \quad \dots\dots\dots(3-11)$$

Persamaan (3-6) memberikan  $t_1 = (V_a - V_s)/(V_a f)$  dan substitusi  $t_1$  kedalam persamaan (3-11) memberikan

$$\Delta V_s = \frac{I_a (V_a - V_s)}{V_a f C} \quad \dots\dots\dots(3-12)$$

Atau

$$\Delta V_s = \frac{I_a k}{f C} \quad \dots\dots\dots(3-13)$$

### 3.2.2. Operasi Pada Keadaan Steady State

Pada saat operasi steady state, total perubahan arus pada induktor boost regulator adalah nol.

$$(\Delta I_L)_{closed} + (\Delta I_L)_{open} = 0$$

$$\frac{V_s D T}{L} + \frac{(V_s - V_o)(1-D)T}{L} = 0$$

yang akan menghasilkan  $V_o$  :

$$V_s(D + 1 - D) - V_o(1 - D) = 0$$

$$V_o = \frac{V_s}{1 - D} \quad \dots\dots\dots(3-14)$$

Tegangan rata-rata induktor nol selama periode operasi, sehingga tegangan rata-rata induktor selama satu periode pensaklaran :

$$V_L = V_s D + (V_s - V_o)(1 - D) = 0$$

yang akan menghasilkan  $V_o$  sama dengan persamaan (3-14).

### 3.2.2.1. Arus Induktor Rata-Rata, Maksimum, dan Minimum

Daya keluaran boost regulator dengan beban resistif:

$$P_o = \frac{V_o^2}{R}$$

Dengan menggunakan daya masukan  $V_s I_s = V_L I_L$ , maka dengan menggunakan persamaan (3-14 )

$$V_s I_L = \frac{V_o^2}{R} = \frac{\left( \frac{V_s}{1-D} \right)^2}{R} = \frac{V_s^2}{(1-D)^2 R}$$

atau

$$I_L = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} \quad \dots\dots\dots(3-15)$$

Arus induktor maksimum dan minimum ditentukan dengan menggunakan nilai rata-rata dan perubahan arus :

$$I_{\max} = I_L + \frac{\Delta i_L}{2} = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} + \frac{V_s DT}{2L} \quad \dots\dots\dots(3-16)$$

$$I_{\min} = I_L - \frac{\Delta i_L}{2} = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} - \frac{V_s DT}{2L} \quad \dots\dots\dots(3-17)$$

Batas arus kontinyu dan diskontinyu pada induktor ditentukan dari:

$$I_{\min} = 0 = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} - \frac{V_s DT}{2L}$$

atau

$$\frac{V_s}{(1-D)^2 R} = \frac{V_s DT}{2L} = \frac{V_s D}{2Lf}$$

Kombinasi minimum induktansi dan frekuensi pensaklaran untuk arus kontinyu pada step-up chopper adalah:

$$(Lf)_{\min} = \frac{D(1-D)^2 R}{2} \dots\dots\dots(3-18)$$

atau

$$L_{\min} = \frac{D(1-D)^2 R}{2f} \dots\dots\dots(3-19)$$

**3.2.2.2. Ripple Tegangan Keluaran Boost Regulator**

Dalam prakteknya, kapasitansi dari kapasitor yang sangat besar akan tetap menghasilkan fluktuansi pada tegangan keluaran (ripple).

Tegangan ripple keluaran puncak-ke-puncak dapat dihitung dari gelombang arus kapasitor. Perubahan muatan kapasitor dapat dihitung dari:

$$|\Delta Q| = \left(\frac{V_o}{R}\right)DT = C\Delta V_o$$

sehingga ripple-nya adalah :

$$\Delta V_o = \frac{V_o DT}{RC} = \frac{V_o D}{RCf}$$

atau

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{D}{RCf}$$

dimana f adalah frekuensi pensaklaran (hertz)

Regulator boost dapat menaikkan tegangan keluaran tanpa memerlukan trafo karena memiliki satu buah transistor, regulator ini memiliki efisiensi yang tinggi dan arus masukan kontinyu namun arus puncak yang tinggi mengalir

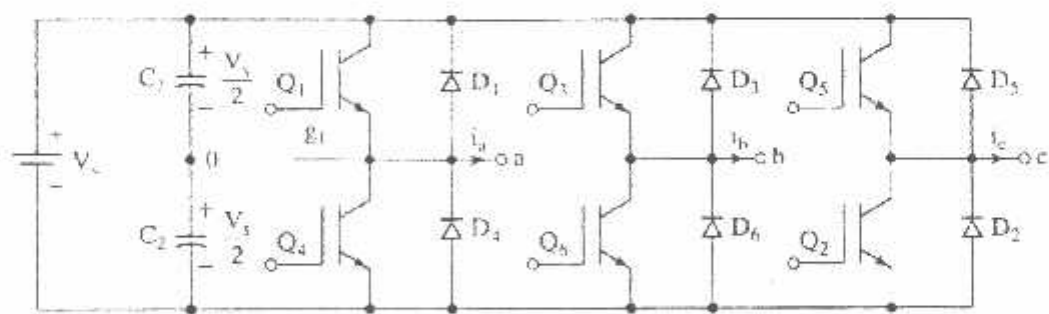
melalui transistor. Tegangan keluaran sangat sensitif terhadap perubahan duty cycle  $k$ .

Karena adanya peristiwa switching pada boost regulator sehingga akan menimbulkan harmonisa orde tertentu. Tentunya hal ini akan merugikan kinerja system secara keseluruhan.

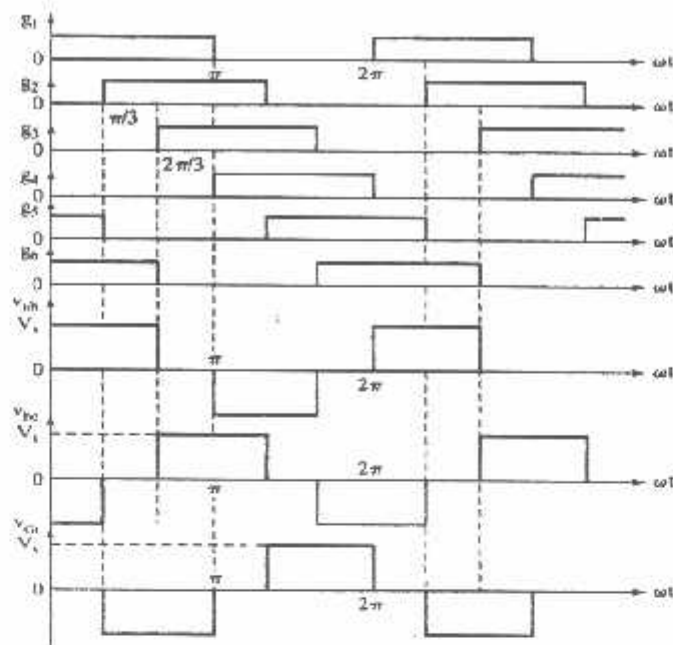
**3.3 Inverter Tiga Fasa sebagai Suplai Tegangan Motor Induksi**

Inverter tiga fasa pada umumnya digunakan untuk aplikasi daya besar. Sinyal diangkitkan oleh inverter harus mempunyai perbedaan sudut sebesar  $120^0$  antar fasa dan harus memiliki tegangan yang seimbang.

Keluaran tiga fasa dapat ditentukan dari konfigurasi enam buah transistor dan enam buah dioda seperti ditunjukkan pada gambar 3, ketika transistor  $Q_1$  diaktifkan, terminal a dihubungkan ke terminal positif dari tegangan masukan dc. Ketika transistor  $Q_4$  diaktifkan, terminal a terletak pada terminal negatif dari sumber dc. Ke enam model operasi transistor berada dalam satu siklus yang memiliki durasi konduksi selama 60 detik.



a. Gambar rangkaian



b. Bentuk Gelombang

Gambar 3.6 Inverter Tiga Fasa Dengan Sistem Jembatan

Sumber : M.H. Rashid, Power Electronic Circuit, Devices, And Application Edisi Ke Tiga, 2004.

Periode konduksi pada setiap transistor sebesar  $180^\circ$ , bentuk gelombang pada waktu transistor konduksi dapat dilihat pada gambar 3, dan masing-masing gelombang bergeser sebesar  $60^\circ$  satu sama lainnya hal ini untuk menentukan keseimbangan tegangan tiga fasa. Beban bisa dihubungkan bintang atau delta seperti ditunjukkan pada gambar 3.8.

Untuk beban dihubungkan delta arus fasa dapat ditentukan secara langsung dari tegangan line. Dengan didapatnya arus fasa maka arus line dapat ditentukan, untuk beban dihubungkan bintang tegangan fasa (line to neutral) harus ditentukan terlebih dahulu untuk menentukan arus line maupun arus fasa.

$$V_{bc} = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{4V_s}{n\pi} \sin \frac{n\pi}{3} \sin n \left( \omega t + \frac{\pi}{2} \right) \dots\dots\dots(3-21)$$

$$V_{ca} = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{4V_s}{n\pi} \sin \frac{n\pi}{3} \sin n \left( \omega t - \frac{7\pi}{6} \right) \dots\dots\dots(3-22)$$

Berdasarkan persamaan diatas maka untuk tegangan line rms didapat sebagai berikut:

$$V_L = \left[ \frac{2}{2\pi} \int_0^{2\pi/3} V_s^2 d(\omega t) \right]^{1/2} = \sqrt{\frac{2}{3}} V_s = 0,8165 V_s \dots\dots\dots(3-23)$$

Berdasarkan persamaan (3-20), komponen ke-n dari tegangan line adalah:

$$V_{Ln} = \frac{4V_s}{\sqrt{2n\pi}} \sin \frac{n\pi}{3} \dots\dots\dots(3-24)$$

Dimana, untuk  $n = 1$  didapat nilai komponen fundamental dari tegangan line:

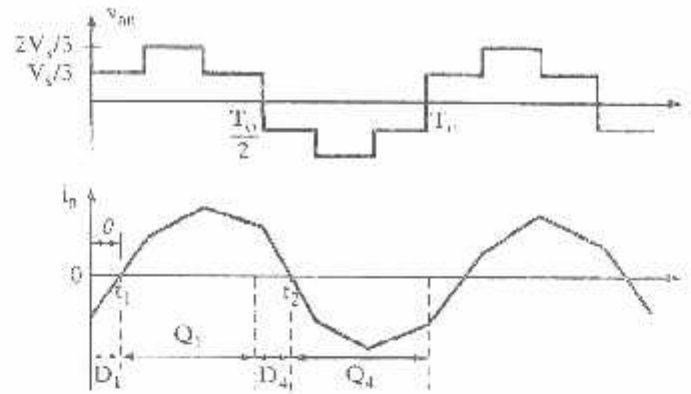
$$V_{L1} = \frac{4V_s \sin 60^\circ}{\sqrt{2\pi}} = 0,7797 V_s \dots\dots\dots(3-25)$$

Harga rms dari tegangan fasa dapat ditentukan dari tegangan line:

$$V_p = \frac{V_L}{\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{2} V_s}{3} = 0,4714 V_s \dots\dots\dots(3-26)$$

Dengan beban resistif, diode yang melalui transistor tidak berfungsi. Sedangkan untuk beban induktif arus pada tiap-tiap bagian dari inverter akan ditunda dengan tegangan sebagaimana ditunjukkan pada gambar 3.9 . Pada saat transistor Q<sub>4</sub> pada gambar 3.6a padam, hanya bagian untuk arus line negative i<sub>o</sub> yang melalui D1 dari sini terminal beban a dihubungkan ke sumber dc melalui D1 sampai arus beban kembali ke polaritas  $t = t_1$  selama untuk  $0 < t < t_1$  transistor Q1 tidak konduksi begitu juga transistor Q4 hanya akan konduksi pada  $t = t_2$ .





Gambar 3.9 Inverter Tiga Fasa Dengan Beban RL.  
 Sumber : M.H. Rashid ; Power Electronic Circuit, Devices, And Application Edisi Ke Tiga, 2004

### 3.3.2 Metode Penyalaan Inverter PWM

Secara umum sistem control Pulse Width Modulation ( PWM ) dilakukan dengan menggunakan teknik penyalaan:

1. Single PWM
2. Multiple PWM
3. Sinusoidal PWM
4. Modified Sinusoidal PWM
5. Phasa Displacement Control

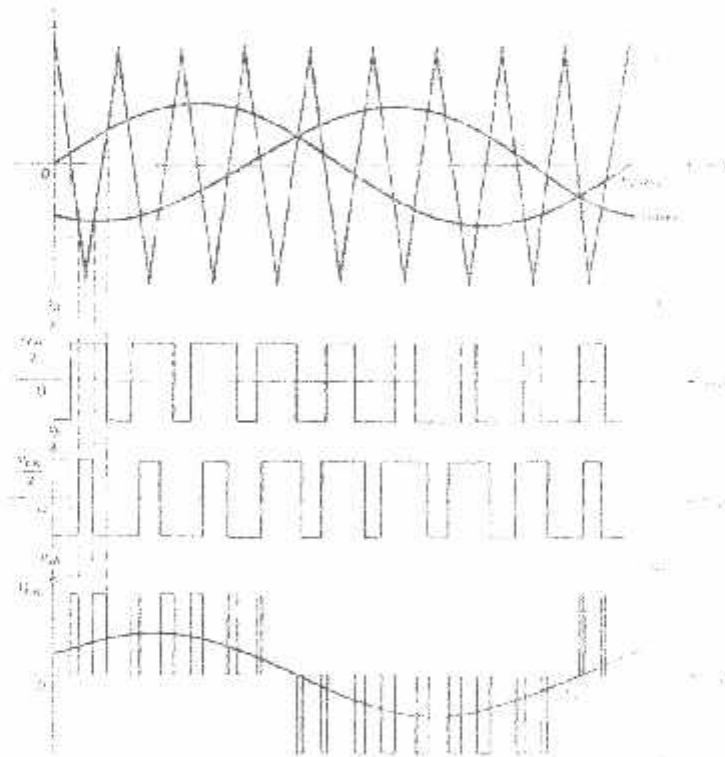
Dalam hal ini penyusun menggunakan sinusoidal PWM sebagai metode penyalaan inverter pada simulasi sistem kendali VVVF ( Variable Voltage Variable Frequency).

Metode penyalaan sinusoidal PWM dapat dijelaskan sebagai berikut:

Dalam teknik penyalaan ini lebar dari setiap pulsa berubah sesuai dengan besar amplitudo dari gelombang sinus dilihat dari tengah pada pulsa yang sama. Sinyal

gate dibangkitkan dengan perbandingan sinyal referensi sinusoidal dengan gelombang pembawa triangular. Sinyal output yang tampak pada gambar 3.

Frekuensi sinyal referensi  $f_r$ , menentukan frekuensi output  $f_0$  dan amplitude puncak  $A_r$ , berfungsi untuk mengontrol indeks modulasi  $M$  dan kemudian membalikkan tegangan output rms  $V_0$ . Jumlah pulsa per setengah periode tergantung pada frekuensi pembawa, dengan asumsi bahwa transistor Q1 dan Q4 tidak menyala dalam waktu bersamaan. Maka tegangan outputnya akan diperoleh seperti pada gambar 3.10a dan 3.10b Sinyal yang sama juga akan dihasilkan oleh sinyal keluaran inverter seperti pada gambar 3.10c.



Gambar. 3.10 Bentuk Gelombang Keluaran Sinusoidal PWM.  
Sumber : M.H. Rashid ; Power Electronic Circuit, Devices, And Application Edisi Ke Tiga, 2004.

Tegangan output rms dapat divariasikan dengan mengubah harga indeks modulasi M yang berharga antara 0 sampai 1. Jika m menyatakan harga indeks modulasi maka tegangan output rms dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 V_{L-L} &= \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}} \cdot \left( \hat{V}_{AN} \right) \\
 &= \frac{\sqrt{3}}{2\sqrt{2}} m_a \cdot V_d (m_a \leq 1,0) \\
 &= 0,612 m_a \cdot V_d \dots\dots\dots(3-27)
 \end{aligned}$$

## BAB IV

### PENGAMBILAN DAN ANALISA DATA

#### 4.1 Pengambilan Data Pada Simulasi Dengan Program MATLAB v7.0

Pada pelaksanaan simulasi dengan program MATLAB v7.0 penyusun menggunakan parameter sebagai berikut :

1. Motor induksi 3  $\phi$  rotor sangkar dengan data :

Daya	: 0.3 kW
Tegangan	: 230 V
Nr	: 1380 rpm
Cos $\phi$	: 0.796
poles	: 4
Rstator	: 1.115 $\Omega$
Lstator	: 0.005974 H
Rrotor	: 1.083 $\Omega$
Lrotor	: 0.005974 H
Lbersama	: 0.2037 H
Faktor gesekan	: 0.005752 J
Momen inersia	: 0.02 N.m.s

2. Simulasi dilakukan dengan waktu 2 detik dengan metode pemecahan iterasi ode23tb (stiff/TR-BDF2) dengan parameter simulasi yang telah ditentukan sebagai berikut :

Max step size : auto

Min step size : auto

Initial step size : auto

Relative tolerance :  $1e-3$

Absolute tolerance : auto

3. PWM Generator dengan frekuensi carrier 1000 Hz dan indeks modulasi sebesar 0.85

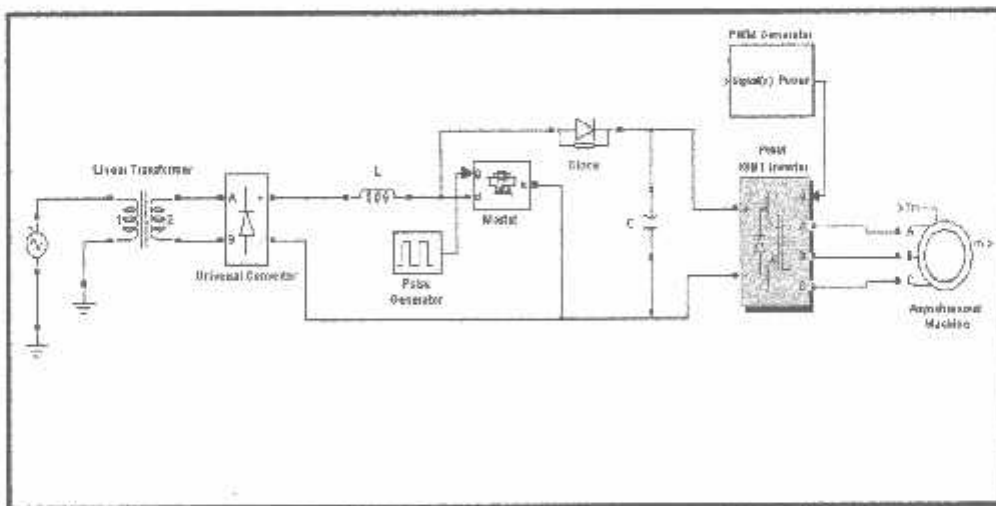
4. PWM IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) Inverter dengan parameter sebagai berikut :

$R_s$  (snubber resistance) :  $5000 \Omega$

$C_s$  (snubber capacitance) : infinite

$R_{on}$  :  $1e-3 \Omega$

Sedangkan gambar dari simulasi sistem kendali VVVF dapat ditinjau pada gambar di bawah ini :



Gambar 4.1 Diagram simulasi sistem kendali VVVF  
Sumber: Diagram simulasi program MATLAB v 7.0

Sebelum menginjak pada simulasi sistem kendali VVVF terlebih dahulu dilakukan penentuan parameter DC – DC konverter dengan masukan sumber DC yang rendah, Masukan sumber DC yang rendah ini diperoleh dari hasil keluaran penyearah gelombang penuh ( full wave rectifier ) pada simulasi. Perancangan DC – DC konverter ini akan dijelaskan pada bagian berikutnya.

#### 4.2 Penentuan Parameter DC – DC Konverter Tipe Boost Regulator.

Pada bagian ini akan dijelaskan tentang bagaimana penyusun merancang DC – DC konverter. Sebagaimana yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya bahwa DC – DC konverter ini berfungsi untuk meningkatkan tegangan sampai dengan level tegangan tertentu yang diinginkan. Tentunya peningkatan dari tegangan ini tergantung dari komponen switching , pengaturan duty cycle (D) dari boost regulator sendiri, serta frekuensi switching yang digunakan dan beberapa hal lainnya. Dasar perancangan akan dipaparkan sebagai berikut :

$V_{in} (V_s)$  :  $\pm 55$  Volt

$V_{out}$  yang diharapkan ( $V_o$ ) :  $\pm \max 281.20$  Volt

Frekuensi switching yang digunakan : 5 KHz

$R_{beban}$  : 10  $\Omega$

Ripple tegangan keluaran : < 1%

Duty cycle boost regulator ditentukan dari persamaan :

$$V_o = \frac{V_s}{1 - D} \dots\dots\dots ( 4-1)$$

Sehingga  $D = 1 - \frac{V_s}{V_o}$

$$= 1 - \frac{55}{281.20} = 0.8044$$

Besarnya induktansi minimum yang diperlukan agar arus kontinyu ditentukan oleh persamaan :

$$L_{\min} = \frac{D(1-D)^2 R}{2f} \dots\dots\dots (4-2)$$

$$= \frac{0.8044(1-0.8044)^2 10}{2.5.10^3}$$

$$= 3,077.10^{-5} H$$

Untuk meyakinkan arus kontinyu maka dipilih nilai  $L_{\min}$  yang lebih besar daripada yang telah diketahui yaitu sebesar  $10.10^{-5} H$

Untuk mengetahui arus maksimum dan arus minimum yang dikeluarkan oleh boost regulator dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$I_L = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} \dots\dots\dots (4-3)$$

$$= \frac{55}{(1-0.8044)^2 10}$$

$$= 143.756 A$$

$$\Delta I_L = \frac{VsDT}{2L} \dots\dots\dots (4-4)$$

$$= \frac{55.0.8044}{2.10.10^{-5}.5.10^3} = 44.242 A$$

Sehingga :  $I_{\max} = (143.756 + 44.242) \text{ A} = 187.998 \text{ A}$

$$I_{\min} = (143.756 - 44.242) \text{ A} = 99.514 \text{ A}$$

Penentuan nilai kapasitor yang digunakan adalah melalui persamaan :

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{D}{RCf} < 1 \% \quad \text{Buku Elektronika II oleh Prof. Dr. Ir. H. M. S. (4-5)}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka : } C &> \frac{D}{Rf \frac{\Delta V_o}{V_o}} \\ &= \frac{0.8044}{10.5 \cdot 10^3 \cdot 0.01} \\ &= 1.608 \cdot 10^{-3} \text{ F} \\ &= 1608 \mu\text{F} \end{aligned}$$

Hasil perancangan tiap komponen di atas dapat diaplikasikan dengan catatan kita mengetahui karakteristik dari komponen switching yang digunakan, dalam hal ini MOSFET ( Metal Oxide Silicon Field Effect Transistor ), sehingga mampu untuk menghasilkan tegangan keluaran yang diharapkan. Pada waktu simulasi perancangan DC-DC Konverter tipe boost regulator penyusun menggunakan parameter untuk MOSFET standar yang telah disediakan dalam program simulasi MATLAB v7.0 sehingga nilai komponen – komponen yang dihasilkan adalah :

$$L_{\min} = 0.905 \text{ H}$$

$$C = 10000 \mu\text{F}$$

Dengan nilai parameter yang lain tetap.



### 4.3 Penentuan Parameter Inverter PWM Tiga Fasa

Seperti yang telah kita ketahui, inverter sebagai rangkaian elektronik pengubah tegangan DC menjadi tegangan AC dengan besar magnitude dan frekuensi tertentu mempunyai beberapa karakteristik tertentu. Pada program simulasi penyusun menggunakan inverter dengan metode switching sinusoidal PWM dengan indeks modulasi yang tetap yaitu sebesar 0.85 dan tegangan masukan dari boost regulator maksimum sebesar  $\pm 281.20$  Volt. Dasar dari perancangan inverter adalah sebagai berikut :

$V_{out}$  inverter : 206.997 V

Indeks modulasi : 0.85

Maka untuk menentukan tegangan input bagi inverter dengan metode switching sinusoidal PWM dapat dihitung dengan persamaan :

$$V_{out} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot m \cdot V_{dc} \quad \dots\dots\dots (4-6)$$

$$\begin{aligned} \text{Sehingga : } V_{dc} &= \frac{V_{out} \cdot 2}{\sqrt{3} \cdot m} \\ &= \frac{206,68.2}{\sqrt{3} \cdot 0,85} \\ &= 230,09 \text{ Volt} \end{aligned}$$

#### 4.4 Data Hasil Simulasi Program

Dari hasil simulasi sistem kendali VVVF dengan menggunakan program MATLAB v7.0 diperoleh data sebagai berikut :

**Tabel 4.1**

**Data Hasil Percobaan Menggunakan Metode VVVF pada  $f = 50$  Hz**

Duty Cycle	Vin Inv (V)	Tbeban (Nm)	THD (%)	V Line (V)	I Line (A)	I rotor (A)	com (rpm)	Te (Nm)	Pout (W)
0,7360	±230,09	0	0	0	0	0	0	0	0
		0.05	1,92	163,12	5,94	5,56	155,14	0,94	525,72
		0.18	1,56	159,48	6,02	5,58	154,84	1,08	584,54
		0.25	0,49	160,49	3,26	2,90	154,77	1,14	562,88
		0.35	2,97	163,79	6,45	4,67	154,70	1,22	492,94
0,6928	±207,01	0	0	0	0	0	0	0	0
		0.05	1,94	152,48	4,39	4,06	154,76	0,94	591,05
		0.18	2,57	151,24	5,38	4,78	154,40	1,06	427,01
		0.25	2,11	149,20	6,88	5,24	154,32	1,13	186,36
		0.35	1,02	147,25	4,75	3,40	154,18	1,25	321,32
0,6375	±184,01	0	0	0	0	0	0	0	0
		0.05	1,86	136,40	3,89	3,51	154,46	0,95	278,50
		0.18	1,37	132,26	5,21	4,67	153,92	1,06	378,57
		0.25	1,97	133,24	4,49	3,95	153,89	1,13	289,53
		0.35	1,74	131,14	3,97	2,98	153,54	1,24	299,00
0,5645	±161,07	0	0	0	0	0	0	0	0
		0.05	1,53	118,29	3,71	3,52	153,65	0,95	102,40
		0.18	0,7	113,85	3,78	3,29	153,28	1,05	238,90
		0.25	0,85	118,16	4,21	3,32	152,85	1,19	240,20
		0.35	1,87	114,35	4,71	3,36	152,56	1,25	365,97

**Tabel 4.2**

**Data Hasil Percobaan Menggunakan Metode VVVF pada  $f = 45 \text{ Hz}$**

Duty Cycle	Vin Inv (V)	Teban (Nm)	THD (%)	V Line (V)	I Line (A)	I rotor (A)	ωm (rpm)	Te (Nm)	Pout (W)
0,7360	±230,09	0	0	0	0	0	0	0	0
		0.05	1.19	175.79	3.68	3.35	139.81	0.80	409.08
		0.18	0.80	162.11	3.47	3.11	139.75	0.97	506.85
		0.25	0.88	171.75	5.64	5.07	139.63	1.00	634.15
		0.35	1.72	169.51	3.27	2.91	139.50	1.12	254.55
0.6928	±207,01	0	0	0	0	0	0	0	0
		0.05	1.01	152.35	4.48	3.97	139.62	0.80	314.90
		0.18	1.74	150.03	3.18	2.77	139.40	1.00	733.24
		0.25	2.66	149.04	5.23	4.47	139.37	1.06	154.64
		0.35	2.11	149.95	2.51	2.08	138.85	1.17	161.22
0.6375	±184,01	0	0	0	0	0	0	0	0
		0.05	1.77	131.98	3.88	3.55	139.16	0.89	175.46
		0.18	1.06	137.92	1.99	1.76	139.02	1.01	188.70
		0.25	2.03	134.18	4.76	4.04	138.84	1.07	262.57
		0.35	1.11	133.4	3.90	3.09	138.74	1.18	126.11
0.5645	±161,07	0	0	0	0	0	0	0	0
		0.05	1.63	119.27	3.53	3.25	138.73	0.85	79.33
		0.18	0.92	115.76	2.86	2.53	138.29	0.97	119.39
		0.25	0.99	120.10	2.84	2.46	138.15	1.04	236.52
		0.35	0.91	117.26	2.91	2.36	138.07	1.12	137.83

Tabel 4.3

Data Hasil Percobaan Menggunakan Metode VVVF pada  $f = 40 \text{ Hz}$

Duty Cycle	V <sub>in Inv</sub> (V)	T <sub>beban</sub> (Nm)	THD (%)	V <sub>Line</sub> (V)	I <sub>Line</sub> (A)	I <sub>rotor</sub> (A)	$\omega_m$ (rpm)	T <sub>e</sub> (Nm)	P <sub>out</sub> (W)
0,7360	$\pm 230,09$	0	0	0	0	0	0	0	0
		0.05	1.72	160.21	8.77	8.06	124.45	0.80	418.15
		0.18	1.86	172.73	4.63	4.14	124.39	0.89	132.95
		0.25	1.10	166.18	4.84	4.27	124.18	1.02	612.52
		0.35	1.83	161.55	6.13	5.08	124.11	1.05	595.73
0.6928	$\pm 207,01$	0	0	0	0	0	0	0	0
		0.05	0.53	144.01	4.65	4.06	124.24	0.74	139.69
		0.18	0.81	144.99	4.80	4.14	124.11	0.92	165.95
		0.25	1.59	151.05	3.59	3.05	123.79	0.98	289.26
		0.35	1.24	142.67	7.59	5.57	123.58	1.07	413.22
0.6375	$\pm 184,01$	0	0	0	0	0	0	0	0
		0.05	0.75	123.23	5.80	5.24	123.88	0.72	360.88
		0.18	1.13	138.77	2.01	1.79	123.73	0.87	327.31
		0.25	0.47	130.50	2.16	1.74	123.52	0.96	372.57
		0.35	1.35	129.35	3.84	3.08	123.32	1.00	357.50
0.5645	$\pm 161,07$	0	0	0	0	0	0	0	0
		0.05	1.55	117.84	4.73	4.05	123.46	0.58	253.10
		0.18	0.94	118.00	4.47	3.29	123.33	0.77	194.88
		0.25	1.41	116.57	3.86	2.76	123.19	0.99	326.86
		0.35	1.13	114.35	2.96	2.08	122.96	1.03	122.60

Tabel 4.4

Data Hasil Percobaan Menggunakan Metode VVVF pada  $f = 35 \text{ Hz}$ 

Duty Cycle	Vin Inv (V)	Tbeban (Nm)	THD (%)	V Line (V)	I Line (A)	I rotor (A)	$\omega_m$ (rpm)	Te (Nm)	Pout (W)
0,7360	$\pm 230,09$	0	0	0	0	0	0	0	0
		0.05	0.84	167.12	5.78	5.18	108.95	0.73	389.21
		0.18	1.00	163.45	6.67	5.62	108.84	0.87	141.78
		0.25	0.61	166.72	5.13	4.30	108.76	0.97	367.45
		0.35	0.43	174.29	5.98	4.95	108.58	1.03	818.08
0,6928	$\pm 207,01$	0	0	0	0	0	0	0	0
		0.05	1.81	143.44	8.81	7.91	108.64	0.58	644.80
		0.18	0.56	152.93	4.82	4.17	108.53	0.76	597.42
		0.25	0.48	155.75	4.51	3.81	108.34	0.91	517.69
		0.35	1.30	151.54	5.24	4.03	108.28	1.04	474.04
0.6375	$\pm 184,01$	0	0	0	0	0	0	0	0
		0.05	0.77	132.56	6.92	5.91	108.68	0.43	284.40
		0.18	1.91	129.56	3.82	3.19	108.53	0.79	168.19
		0.25	0.85	133.39	4.15	3.15	108.42	0.87	234.00
		0.35	1.32	132.70	2.92	2.03	108.32	1.03	311.89
0.5645	$\pm 161,07$	0	0	0	0	0	0	0	0
		0.05	0.83	119.32	3.78	3.32	108.56	0.67	143.34
		0.18	1.32	116.79	3.31	2.79	108.31	0.79	184.78
		0.25	0.86	120.92	5.79	4.77	107.95	0.86	226.94
		0.35	0.98	111.29	4.03	3.25	107.62	1.02	166.52

#### 4.5 Analisis Data Hasil Percobaan Metode VVVF

##### 4.5.1 Analisis Data Percobaan pada $f = 50 \text{ Hz}$

Untuk  $D = 0.8044$  ;  $f = 50 \text{ Hz}$  ; Tbeban = 0.05 Nm

$$P_{out} = \sqrt{3} V_L I_r \cos \varphi \quad \dots\dots\dots (4-7)$$

Dari rumusan di atas dapat diperoleh nilai dari  $\cos \varphi$  yaitu :

$$\begin{aligned} \cos \varphi &= \frac{P_{out}}{\sqrt{3} V_L I_r} \quad \dots\dots\dots (4-8) \\ &= \frac{525,72}{\sqrt{3} \cdot 163,12 \cdot 5,56} = 0,335063 \end{aligned}$$

Dengan mengetahui nilai  $\cos \varphi$  maka nilai dari daya masukan ( $P_{in}$ ) dari motor induksi dapat diketahui pula yaitu :

$$P_{in} = \sqrt{3} V_L I_L \cos \varphi \quad \dots\dots\dots (4-9)$$

$$\text{Sehingga nilai dari } P_{in} = \sqrt{3} \cdot 163,12 \cdot 94,0,335063 = 561,65$$

Apabila nilai  $P_{out}$  dan  $P_{in}$  motor sudah diketahui maka nilai efisiensi ( $\eta$ ) motor induksi dapat ditentukan melalui persamaan :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \% \quad \dots\dots\dots (4-10)$$

$$\text{Jadi untuk data di atas, efisiensi motor adalah : } \eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \%$$

$$= \frac{535,72}{561,65} \times 100 \%$$

$$= 93,60 \%$$

Seperti cara perhitungan di atas, untuk perhitungan pengaturan yang lain hasilnya dapat dilihat pada tabel di halaman berikut ini :

Tabel 4.5

Hasil Perhitungan Menggunakan Metode VVVF pada  $f = 50 \text{ Hz}$ 

Duty Cycle	Vin Inv (V)	Tbehan (Nm)	THD (%)	V Line (V)	I Line (A)	I rotor (A)	$\omega_m$ (rad/s)	Tc (Nm)	Pout (W)	Pin (W)	$\eta$ (%)
0,7360	$\pm 230,09$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0.05	1,92	163,12	5,94	5,56	155,14	0,94	525,72	561,65	93,60
		0.18	1,56	159,48	6,02	5,58	154,84	1,08	584,54	630,63	92,69
		0.25	0,49	160,49	3,26	2,90	154,77	1,14	562,88	632,75	88,95
		0.35	2,97	163,79	6,45	4,67	154,70	1,22	492,94	680,82	72,40
0,6928	$\pm 207,01$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0.05	1,94	152,48	4,39	4,06	154,76	0,94	591,05	639,09	92,48
		0.18	2,57	151,24	5,38	4,78	154,40	1,06	427,01	480,60	88,84
		0.25	2,11	149,20	6,88	5,24	154,32	1,13	186,36	244,68	76,16
		0.35	1,02	147,25	4,75	3,40	154,18	1,25	321,32	448,90	71,57
0,6375	$\pm 184,01$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0.05	1,86	136,40	3,89	3,51	154,46	0,95	278,50	308,65	90,23
		0.18	1,37	132,26	5,21	4,67	153,92	1,06	378,57	422,34	89,63
		0.25	1,97	133,24	4,49	3,95	153,89	1,13	289,53	329,11	87,97
		0.35	1,74	131,14	3,97	2,98	153,54	1,24	299,00	398,33	75,06
0,5645	$\pm 161,07$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0.05	1,53	118,29	3,71	3,52	153,65	0,95	102,40	107,92	94,87
		0.18	0,7	113,85	3,78	3,29	153,28	1,05	238,90	274,48	87,03
		0.25	0,85	118,16	4,21	3,32	152,85	1,19	240,20	304,59	78,85
		0.35	1,87	114,35	4,71	3,36	152,56	1,25	365,97	513,01	71,33

#### 4.5.2 Analisis Data Percobaan pada $f = 45 \text{ Hz}$

Untuk  $D = 0,8044$  ;  $f = 45 \text{ Hz}$  ; Tbeban  $= 0,05 \text{ Nm}$

$$P_{out} = \sqrt{3} V_L I_r \cos \varphi \quad \dots\dots\dots (4-11)$$

Dari rumusan di atas dapat diperoleh nilai dari  $\cos \varphi$  yaitu :

$$\begin{aligned} \cos \varphi &= \frac{P_{out}}{\sqrt{3} V_{line} I_r} \quad \dots\dots\dots (4-12) \\ &= \frac{409,08}{\sqrt{3} \cdot 175,79 \cdot 3,35} = 0,401535 \end{aligned}$$

Dengan mengetahui nilai  $\cos \varphi$  maka nilai dari daya masukan ( $P_{in}$ ) dari motor induksi dapat diketahui pula yaitu :

$$P_{in} = \sqrt{3} V_L I_L \cos \varphi \quad \dots\dots\dots (4-13)$$

$$\begin{aligned} \text{Sehingga nilai dari } P_{in} &= \sqrt{3} \cdot 175,79 \cdot 3,68 \cdot 0,401535 \\ &= 449,37 \text{ W} \end{aligned}$$

Apabila nilai  $P_{out}$  dan  $P_{in}$  motor sudah diketahui maka nilai efisiensi ( $\eta$ ) motor induksi dapat ditentukan melalui persamaan :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \% \quad \dots\dots\dots (4-14)$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi untuk data di atas, efisiensi motor adalah : } \eta &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \% \\ &= \frac{409,08}{449,37} \times 100 \% \\ &= 91,03 \% \end{aligned}$$

Seperti cara perhitungan di atas, untuk perhitungan pengaturan yang lain hasilnya dapat dilihat pada tabel di halaman berikut ini :



Tabel 4.6

Hasil Perhitungan Menggunakan Metode VVVF pada  $f = 45 \text{ Hz}$ 

Duty Cycle	V <sub>inv</sub> (V)	T <sub>beban</sub> (Nm)	THD (%)	V Line (V)	I Line (A)	I rotor (A)	$\omega_m$ (rad/s)	T <sub>e</sub> (Nm)	P <sub>out</sub> (W)	P <sub>in</sub> (W)	$\eta$ (%)
0,7360	$\pm 230,09$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0.05	1.19	175.79	3.68	3.35	139.81	0.80	409.08	449.37	91.03
		0.18	0.80	162.11	3.47	3.11	139.75	0.97	506.85	565.52	89.62
		0.25	0.88	171.75	5.64	5.07	139.63	1.00	634.15	705.44	89.89
		0.35	1.72	169.51	3.27	2.91	139.50	1.12	254.55	286.04	88.99
0.6928	$\pm 207,01$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0.05	1.01	152.35	4.48	3.97	139.62	0.80	314.90	355.35	88.61
		0.18	1.74	150.03	3.18	2.77	139.40	1.00	733.24	841.77	87.10
		0.25	2.66	149.04	5.23	4.47	139.37	1.06	154.64	180.93	85.46
		0.35	2.11	149.95	2.51	2.08	138.85	1.17	161.22	194.54	82.86
0.6375	$\pm 184,01$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0.05	1.77	131.98	3.88	3.55	139.16	0.89	175.46	191.77	91.44
		0.18	1.06	137.92	1.99	1.76	139.02	1.01	188.70	213.35	88.44
		0.25	2.03	134.18	4.76	4.04	138.84	1.07	262.57	309.36	84.87
		0.35	1.11	133.4	3.90	3.09	138.74	1.18	126.11	159.16	79.23
0.5645	$\pm 161,07$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0.05	1.63	119.27	3.53	3.25	138.73	0.85	79.33	86.16	92.06
		0.18	0.92	115.76	2.86	2.53	138.29	0.97	119.39	134.96	88.46
		0.25	0.99	120.10	2.84	2.46	138.15	1.04	236.52	273.05	86.61
		0.35	0.91	117.26	2.91	2.36	138.07	1.12	137.83	169.95	81.09

**4.5.3 Analisis Data Percobaan pada f = 40 Hz**

Untuk D = 0,8044 ; f = 40 Hz ; Tbeban = 0.05 Nm

$$P_{out} = \sqrt{3} V_L I_r \cos \varphi \dots\dots\dots (4-15)$$

Dari rumusan di atas dapat diperoleh nilai dari Cos  $\varphi$  yaitu :

$$\begin{aligned} \cos \varphi &= \frac{P_{out}}{\sqrt{3} V_L I_r} \dots\dots\dots (4-16) \\ &= \frac{418,15}{\sqrt{3} \cdot 160,21 \cdot 8,06} = 0,187181 \end{aligned}$$

Dengan mengetahui nilai Cos  $\varphi$  maka nilai dari daya masukan ( $P_{in}$ ) dari motor induksi dapat diketahui pula yaitu :

$$P_{in} = \sqrt{3} V_L I_L \cos \varphi \dots\dots\dots (4-17)$$

$$\begin{aligned} \text{Sehingga nilai dari } P_{in} &= \sqrt{3} \cdot 160,21 \cdot 8,77 \cdot 0,187181 \\ &= 454,98 \text{ W} \end{aligned}$$

Apabila nilai  $P_{out}$  dan  $P_{in}$  motor sudah diketahui maka nilai efisiensi ( $\eta$ ) motor induksi dapat ditentukan melalui persamaan :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \% \dots\dots\dots (4-18)$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi untuk data di atas, efisiensi motor adalah : } \eta &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \% \\ &= \frac{418,15}{454,98} \times 100 \% \\ &= 91,90 \% \end{aligned}$$

Seperti cara perhitungan di atas, untuk perhitungan pengaturan yang lain hasilnya dapat dilihat pada tabel di halaman berikut ini :

Tabel 4.7

Hasil Perhitungan Menggunakan Metode VVVF pada  $f = 40 \text{ Hz}$ 

Duty Cycle	Vin Inv (V)	Teban (Nm)	THD (%)	V Line (V)	I Line (A)	I rotor (A)	$\omega_m$ (rad/s)	Te (Nm)	Pout (W)	Pin (W)	$\eta$ (%)
0,7360	$\pm 230,09$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0.05	1.72	160.21	8.77	8.06	124.45	0.80	418.15	454.98	91.90
		0.18	1.85	172.73	4.63	4.14	124.39	0.89	132.95	148.68	89.41
		0.25	1.10	166.18	4.84	4.27	124.18	1.02	612.52	694.28	88.22
		0.35	1.83	161.55	6.13	5.08	124.11	1.05	595.73	718.86	82.87
0.6928	$\pm 207,01$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0.05	0.53	144.01	4.65	4.06	124.24	0.74	139.69	159.98	87.31
		0.18	0.81	144.99	4.80	4.14	124.11	0.92	165.95	192.40	86.25
		0.25	1.59	151.05	3.59	3.05	123.79	0.98	289.26	340.47	84.95
		0.35	1.24	142.67	7.59	5.57	123.58	1.07	413.22	563.07	73.38
0.6375	$\pm 184,01$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0.05	0.75	123.23	5.80	5.24	123.88	0.72	360.88	399.44	90.34
		0.18	1.13	138.77	2.01	1.79	123.73	0.87	327.31	367.53	89.05
		0.25	0.47	130.50	2.16	1.74	123.52	0.96	372.57	462.50	80.55
		0.35	1.35	129.35	3.84	3.08	123.32	1.00	357.50	445.71	80.20
0.5645	$\pm 161,07$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0.05	1.55	117.84	4.73	4.05	123.46	0.58	253.10	295.59	85.62
		0.18	0.94	118.00	4.47	3.29	123.33	0.77	194.88	264.77	73.60
		0.25	1.41	116.57	3.86	2.76	123.19	0.99	326.86	457.13	71.50
		0.35	1.13	114.35	2.96	2.08	122.96	1.03	122.60	174.46	70.27

**4.5.4 Analisis Data Percobaan pada f = 35 Hz**

Untuk D = 0.8044 ; f = 35 Hz ; Tbeban = 0.05 Nm

$$P_{out} = \sqrt{3} V_L I_r \cos \varphi \dots\dots\dots (4-19)$$

Dari rumusan di atas dapat diperoleh nilai dari Cos  $\varphi$  yaitu :

$$\begin{aligned} \cos \varphi &= \frac{P_{out}}{\sqrt{3} V_{line} I_r} \dots\dots\dots (4-20) \\ &= \frac{389,21}{\sqrt{3} .167,12 .5,18} = 0.259884 \end{aligned}$$

Dengan mengetahui nilai Cos  $\varphi$  maka nilai dari daya masukan ( $P_{in}$ ) dari motor induksi dapat diketahui pula yaitu :

$$P_{in} = \sqrt{3} V_L I_L \cos \varphi \dots\dots\dots (4-21)$$

$$\begin{aligned} \text{Sehingga nilai dari } P_{in} &= \sqrt{3} .167,12 .5,78 .0,259884 \\ &= 434,29 \text{ W} \end{aligned}$$

Apabila nilai  $P_{out}$  dan  $P_{in}$  motor sudah diketahui maka nilai efisiensi ( $\eta$ ) motor induksi dapat ditentukan melalui persamaan :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \% \dots\dots\dots (4-22)$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi untuk data di atas, efisiensi motor adalah : } \eta &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \% \\ &= \frac{389,21}{434,2922} \times 100 \% \\ &= 89,61 \% \end{aligned}$$

Seperti cara perhitungan di atas, untuk perhitungan pengaturan yang lain hasilnya dapat dilihat pada tabel di halaman berikut ini :

Tabel 4.8

Hasil Perhitungan Menggunakan Metode VVVF pada  $f = 35 \text{ Hz}$ 

Duty Cycle	Vin Inv (V)	Teban (Nm)	THD (%)	V Line (V)	I Line (A)	I rotor (A)	$\omega_m$ (rad/s)	Te (Nm)	Pout (W)	Pin (W)	$\eta$ (%)
0,7360	$\pm 230,09$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0.05	0.84	167.12	5.78	5.18	108.95	0.73	389.21	434.29	89.61
		0.18	1.00	163.45	6.67	5.62	108.84	0.87	141.78	168.26	84.25
		0.25	0.61	166.72	5.13	4.30	108.76	0.97	367.45	438.37	83.82
		0.35	0.43	174.29	5.98	4.95	108.58	1.03	818.08	988.30	82.77
0.6928	$\pm 207,01$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0.05	1.81	143.44	8.81	7.91	108.64	0.58	644.80	718.16	89.78
		0.18	0.55	152.93	4.82	4.17	108.53	0.76	597.42	690.54	86.51
		0.25	0.48	155.75	4.51	3.81	108.34	0.91	517.69	612.80	84.47
		0.35	1.30	151.54	5.24	4.03	108.28	1.04	474.04	616.36	76.90
0.6375	$\pm 184,01$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0.05	0.77	132.56	6.92	5.91	108.68	0.43	284.40	333.00	85.40
		0.18	1.91	129.56	3.82	3.19	108.53	0.79	168.19	201.40	83.50
		0.25	0.85	133.39	4.15	3.15	108.42	0.87	234.00	308.28	75.90
		0.35	1.32	132.70	2.92	2.03	108.32	1.03	311.89	448.63	69.52
0.5645	$\pm 161,07$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0.05	0.88	119.32	3.78	3.32	108.56	0.67	143.34	163.20	87.83
		0.18	1.32	116.79	3.31	2.79	108.31	0.79	184.78	217.21	84.29
		0.25	0.86	120.92	5.79	4.77	107.95	0.86	226.94	275.46	82.38
		0.35	0.98	111.29	4.03	3.25	107.62	1.02	166.52	206.48	80.64

4.6 Data Hasil Percobaan Metode V/f

Data yang diperoleh dari hasil percobaan dengan metode V/f dapat dilihat pada tabel berikut dengan pengambilan sampel data pada beberapa torsi beban yang bervariasi.

Tabel 4.9

Data Hasil Percobaan Menggunakan Metode V/f

Vin Inv (V)	Tbeban (Nm)	Nr (rpm)	V Line (V)	I Line (A)	I rotor (A)	ωm (rad/s)	Te (Nm)	Pout (W)
230V/50Hz	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.05	1402	182	0.6984	0.3526	157.0796	0.3526	51.741
	0.18	1364	177	0.796	0.4361	157.0796	0.4361	62.259
	0.25	1303	172	0.9142	0.5429	157.0796	0.5429	74.041
	0.35	1155	153	1.1982	0.603	157.0796	0.603	72.896
207V/45Hz	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.05	1259	179	0.8288	0.3506	141.3717	0.3506	49.539
	0.18	1212.24	168	0.8597	0.4322	141.3717	0.4322	61.069
	0.25	1168.78	167	0.9426	0.5233	141.3717	0.5233	73.942
	0.35	1029.88	151	1.18	0.6041	141.3717	0.6041	85.359
184V/40Hz	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.05	1112.98	173	0.731	0.3517	125.6637	0.3517	44.173
	0.18	1065.64	161	0.9244	0.4276	125.6637	0.4276	53.706
	0.25	1004	159	0.936	0.5419	125.6637	0.5419	68.062
	0.35	#	#	#	#	#	#	#
161V/35Hz	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.05	960.2	159	0.7976	0.3378	109.9557	0.3378	37.124
	0.18	906.96	151	0.8444	0.4352	109.9557	0.4352	47.828
	0.25	848.14	150	0.9304	0.5364	109.9557	0.5364	58.950
	0.35	#	#	#	#	#	#	#

#### 4.6.1 Analisis Data Percobaan metode V/f

Untuk tegangan = 230 V ; f = 50 Hz ; Tbeban = 0,05 N-m

$$T = K.I_r.Sin \delta_r$$

$$= 1.I_r.1$$

$$I_r = 0.3526 \text{ A}$$

$$T = \frac{P_{out}.60}{2\pi N_r}$$

$$P_{out} = \frac{T.2\pi.N_r}{60} = \frac{0.3526.2\pi.1402}{60} = 51,741 \text{ W}$$

$$\cos \varphi = \frac{P_{out}}{\sqrt{3}V_{line}I_r} = \frac{47,37107}{\sqrt{3}.186.0.3194} = 0,460913$$

$$P_{in} = \sqrt{3} V_L I_L \cos \varphi$$

$$= \sqrt{3} .186.0,679.0,460913$$

$$= 102,48 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \%$$

$$= \frac{51,741}{102,48} \times 100 \%$$

$$= 50,48 \%$$

Seperti cara perhitungan di atas, untuk perhitungan pengaturan yang lain hasilnya dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 4.10

Hasil Perhitungan Menggunakan Metode V/f

V <sub>Inv</sub> (V)	T <sub>beban</sub> (Nm)	N <sub>r</sub> (rpm)	V <sub>Line</sub> (V)	I <sub>Line</sub> (A)	I <sub>rotor</sub> (A)	ω <sub>m</sub> (rad/s)	T <sub>e</sub> (Nm)	P <sub>out</sub> (W)	P <sub>in</sub> (W)	η (%)
230V/50Hz	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.05	1402	182	0.6984	0.3526	157.0796	0.3526	51.741	102.48	50.48
	0.18	1364	177	0.796	0.4361	157.0796	0.4361	62.259	113.64	54.78
	0.25	1303	172	0.9142	0.5429	157.0796	0.5429	74.041	124.67	59.38
	0.35	1155	153	1.1982	0.603	157.0796	0.603	72.896	144.85	50.32
207V/45Hz	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.05	1259	179	0.8288	0.3506	141.3717	0.3506	49.539	117.10	42.30
	0.18	1212.24	168	0.8597	0.4322	141.3717	0.4322	61.069	121.47	50.27
	0.25	1168.78	167	0.9426	0.5233	141.3717	0.5233	73.942	133.18	55.51
	0.35	1029.88	151	1.18	0.6041	141.3717	0.6041	85.359	166.73	51.19
184V/40Hz	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.05	1112.98	173	0.731	0.3517	125.6637	0.3517	44.173	91.81	48.11
	0.18	1065.64	161	0.9244	0.4276	125.6637	0.4276	53.706	116.10	46.25
	0.25	1004	159	0.936	0.5419	125.6637	0.5419	68.062	117.56	57.89
	0.35	#	#	#	#	#	#	#	#	#
161V/35Hz	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.05	960.20	159	0.7976	0.3378	109.9557	0.3378	37.124	87.65	42.35
	0.18	906.96	151	0.8444	0.4352	109.9557	0.4352	47.828	92.79	51.53
	0.25	848.14	150	0.9304	0.5364	109.9557	0.5364	58.950	102.25	57.65
	0.35	#	#	#	#	#	#	#	#	#



## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Dari analisis motor induksi 3 fasa 0.25 kW 230/400 V dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Penggunaan boost regulator sebagai suplai dari inverter PWM 3  $\phi$  pada sistem kendali VVVf akan menghasilkan tegangan masukan inverter yang lebih stabil ( mempunyai tegangan keluaran rata-rata yang besarnya tetap dan tidak terpengaruh oleh perubahan sumber aslinya ) dari pada sistem pengendali metode V/f yang terhubung langsung dengan sumber tegangan AC sehingga tegangan keluaran rata-ratanya tidak tetap tergantung frekuensi sumbernya.
2. Efisiensi motor induksi pada sistem pengendali VVVf mempunyai nilai yang lebih baik daripada sistem pengendali metode V/f, hal ini disebabkan oleh adanya pengaturan duty cycle pada boost regulator sebagai suplai tegangan inverter PWM 3  $\phi$  pada sistem pengendali VVVf. Efisiensi tertinggi pada sistem pengendali metode VVVf pada tegangan 280,83 V dengan frekuensi 50 Hz memiliki nilai efisiensi sebesar 91.667 %, sedangkan efisiensi pada sistem pengendali V/f memiliki nilai efisiensi tertinggi sebesar 59.38 % pada tegangan 230 V dengan frekuensi 50 Hz.

3. Untuk torsi beban yang bervariasi yaitu 0.05 Nm ; 0.18 Nm ; 0.25 Nm ; 0.35 Nm metode VVVF memiliki nilai keluaran torsi motor sebesar 0,94 Nm pada frekuensi 50 Hz untuk memikul torsi beban sebesar 0,05 Nm, sedangkan sistem pengendali metode V/f menghasilkan torsi sebesar 0,3526 Nm pada frekuensi dan torsi beban yang sama. Sehingga secara umum metode VVVF memiliki torsi motor lebih besar dari pada metode V/f.
4. Pada sistem pengendali VVVF , penggunaan boost regulator dengan tegangan masukan DC yang rendah ( $\approx 55$  V) dan penggunaan komponen MOSFET pada rangkaian boost regulator akan menghasilkan rugi – rugi daya pada rangkaian kendali yang kecil dan efisiensi pensaklaran yang baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. M. Morimoto, "**High Efficiency, Unity Power Factor VVVF Drive System of an Induction Motor**", IEEE Transactions on Power Electronics, Vol.6, No.3, July 1991.
- [2]. Djoko Achyanto, Ir, Msc, "**Mesin-Mesin Listrik**", Edisi Keempat, Erlangga, Jakarta, 1992.
- [3]. Zuhal, "**Dasar Teknik Tenaga Listrik**", Penerbit ITB Bandung, 1991.
- [4]. Muhammad H. Rashid, "**POWER ELECTRONICS Circuits, Devices, and Applications**", Third Edition, Pearson Prentice Hall, Inc, 2004.
- [5]. Ned Mohan, "**POWER ELICTRONICS Converters, Applications, and Design**", Jhon Wiley & Sons, Inc, 1989.
- [6]. S.A. Nasar and L.E. Unnewehr, "**Electromechanics and Electric Machines**", Second Edition, Jhon Wiley & Sons, Inc, 1983.
- [7]. Bahram Shahian and Michael Hassul, "**Control System Design Using MATLAB<sup>®</sup>**", Prentice-Hall, Inc, 1993.
- [8]. Kolokium, "**Analisis Peningkatan Unjuk Kerja Motor Induksi Pada Kecepatan Rendah Dengan Menggunakan Metode V/f**", I Gusti Bagus Deddy Pramatha, ITN Malang, 2003.

# LAMPIRAN

---



**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

---

**BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

1. Nama : Ulibasa Silaban  
2. NIM : 96.12.114  
3. Jurusan : Teknik Elektro  
4. Konsentrasi : Energi Listrik S-I  
5. Judul Skripsi : Analisis Pengendali VVVF Efisiensi Tinggi  
Sebagai Penggerak Motor Induksi

Dipertahankan dihadapan Majelis Panitia Skripsi Jenjang Strata Satu (S-I) pada:

Hari : Rabu

Tanggal : 30 Maret 2005

Dengan Nilai : 78,80 ( B )



H. Mochtar Asroni, MSME  
Ketua

Panitia Ujian Skripsi

Ir. F. Yudi Limpraptono, MT  
Sekretaris

Anggota Tim Penguji

Ir. Abdul Hamid, MT  
Penguji I

Ir. Junior Siahaan  
Penguji II



**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

---

**LEMBAR BIMBINGAN SKRIPSI**

---

1. Nama : Ulibasa Silaban
2. Nim : 96.12.114
3. Jurusan : Teknik Elektro
4. Konsentrasi : Energi Listrik S-1
5. Judul : Analisis Pengendali VVVF Efisiensi  
Tinggi Sebagai Penggerak Motor Induksi
6. Tanggal Mengajukan Skripsi : 03 Januari 2004
7. Selesai Mengajukan Skripsi : 03 Januari 2005
8. Pembimbing : Ir. Moch. Anwar
9. Telah Dievaluasi Dengan Nilai : 80 ( Delapan Puluh ) 

Malang, April 2003

Mengetahui,


Disetujui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro

Dosen Pembimbing



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



Ir. Moch. Anwar  
NIP. 110 023 470



**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**  
**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**  
**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

---

**PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI**

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

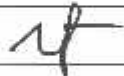
Hari : Rabu

Tanggal : 30 Maret 2005

Telah dilakukan perbaikan skripsi oleh:

1. Nama : Ulibasa Silaban
2. NIM : 96.12.114
3. Jurusan : Teknik Elektro
4. Konsentrasi : Energi Listrik S-1
5. Judul Skripsi : Analisis Pengendali VVVF Efisiensi Tinggi Sebagai Penggerak Motor Induksi

Perbaikan Meliputi :

No.	Materi Perbaikan	Ket
1.	Pengujian dengan tegangan yang sama	

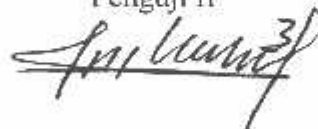
Disetujui / diperiksa

Penguji I



Ir. Abdul Hamid, MT

Penguji II



Ir. Junior Siahaan

Mengetahui / menyetujui,

Dosen Pembimbing



Ir. Moch. Anwar

---



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

## Formulir Perbaikan Ujian Skripsi

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

NAMA

*Ullibaso glaberr.*

NIM

9612.119

Perbaikan meliputi

- Pengiriman dgn tayaran yg sama

Malang,

200

78  
(Junior Grade)





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

Konsentrasi : Teknik Energi Listrik/Teknik Elektronika<sup>\*)</sup>

1	Nama Mahasiswa : ULIBASA SILABAN	Nim : 96.19.114		
2	Keterangan	Tanggal :	Waktu :	Tempat :
	Pelaksanaan	23-03-2005		Ruang :
	Spesifikasi judul <sup>**)</sup> :			
3	a. Sistem Tenaga Elektrik b. Energi & Konversi Energi c. Tegangan Tinggi & Pengukuran d. Sistem Kendali Industri	e. Elektronika & Komponen f. Elektronika Digital & Komputer g. Elektronika Komunikasi h. lainnya .....		
4	Judul Skripsi yang diseminarkan Mahasiswa	ANALISIS PENGENDALI VVVF EFISIENSI TINGKAT KAPASITAS PENGGERAK MOTOR INDUKSI		
5	Perubahan Judul yang diusulkan oleh Kelompok Dosen Keahlian/Pengamat			
6	<b>Keputusan :</b> Dari hasil penilaian sejumlah ..... orang dosen keahlian dan ..... orang dosen pengamat sesuai format penilaian terlampir, peserta seminar tersebut di atas (1) dengan judul Skripsi (4) dinyatakan : LULUS / TIDAK LULUS <sup>*)</sup> dengan nilai komulatif : ..... ( angka ) atau ..... (huruf)			
7	Persetujuan Seminar Skripsi :			
	Disetujui, Dosen Keahlian I	Disetujui, Dosen Keahlian II		
	Disetujui, Dosen Pengamat	Disetujui, Dosen Pengamat		
	Mengetahui, Ketua Jurusan  Ir. F. Yudi Limpraptono, MT Nip. Y. 1039500274	Disetujui, Dosen Pembimbing,  Ir. Moch. Anwar		

Keterangan :

<sup>\*)</sup> coret yang tidak perlu

<sup>\*\*)</sup> diingkari a, b, c, ..... atau f. sesuai bidang keahlian.



**FORMULIR PENGAJUAN JUDUL SKRIPSI**  
**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO/T. ENERGI LISTRIK S-1**

1.	Nama Mahasiswa : <b>ULIBASA SILABAN</b>	Nim : <b>96.19.114</b>		
2.	Waktu pengajuan :	Tanggal <b>21</b>	Bulan <b>OKTOBER</b>	Tahun <b>2003</b>
3.	Spesifikasi Judul *) a. Sistem Tenaga Elektrik                      d. Sistem Kendali b. Mesin-Mesin Elektrik & Elda              e. Teknik Tegangan Tinggi c. Sistem Pemb. Energi Elektrik              f. lainnya .....			
4.	Konsultasikan judul sesuai materi bidang ilmu kepada Kelompok Dosen Keahlian :  <i>Dr. Moch. Nur Hafid</i>		Ketua Jurusan,  <i>Ir. I Made Wartana, MT</i> Nip 131 991 182	
5.	Judul yang diajukan mahasiswa	<b>ANALISIS PENGELOMPOKAN SISTEM VVVF DRIVE TERHADAP UNJUK KERJA MOTOR INDUKSI TIGA FASA</b>		
6.	Perubahan Judul yang diusulkan oleh Kelompok Dosen Keahlian	<b>ANALISIS PENGENDALI VVVF EFFISIENSI DAN FAKTOR DAYA TINGGI SEBAGAI PENGGERAK MOTOR INDUKSI</b>		
7.	Catatan :			
8.	Persetujuan Judul Skripsi yang dikonsultasikan kepada Kelompok Dosen Keahlian.		Disetujui, Kelompok Dosen Keahlian  <i>[Signature]</i> Tanggal : <b>28 Okt 2003</b>	

Perhatian :

1. Formulir Pengajuan ini harap dikembalikan kepada Jurusan paling lambat *satu minggu* setelah disetujui Kelompok Dosen Keahlian dengan dilampirkan Proposal Skripsi beserta persyaratan Skripsi sesuai Form. S-1.
2. Keterangan : \*) dilingkari a, b, c .... atau f, sesuai bidang Keahlian.  
\*\*) diisi oleh Jurusan

Form.S-2



Malang, Desember 2003

Lampiran : satu lembar  
Prihal : **Kesediaan Sebagai Dosen  
Pembimbing Skripsi**

Kepada : Yth. Bapak/Ibu. **Ir. Moch. Anwar**  
Dosen Jurusan Elektro/T. Energi Listrik  
Institut Teknologi Nasional Malang  
di-  
Malang

Yang bertandatangan di bawah ini :

N a m a	: Ulibasa Silaban
N i m	: 96.12.114
Semester	: XV (lima belas)
Jurusan	: Teknik Elektro
Program Studi	: Teknik Energi Listrik S-1

Dengan ini mengajukan permohonan, kiranya Bapak/Ibu bersedia menjadi Dosen Pembimbing Utama/~~Pembimbing~~ untuk penyusunan Skripsi dengan judul :

**ANALISIS PENGENDALI VVVF EFFISIENSI DAN FAKTOR DAYA TINGGI  
SEBAGAI PENGGERAK MOTOR INDUKSI**

seperti proposal terlampir.

Adapun Tugas tersebut sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro.

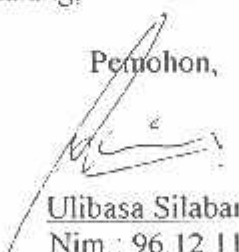
Demikian permohonan kami, atas kesediaan Bapak/Ibu kami ucapkan terimakasih.

Mengetahui,  
Ketua Jurusan  
Teknik Elektro

Ir. I Made Wartana, MT  
Nip. 131 991 182

Malang, Desember 2003

Pemohon,

  
Ulibasa Silaban  
Nim.: 96.12.114



## PERNYATAAN KESEDIAAN SEBAGAI DOSEN PEMBIMBING SKRIPSI

Sesuai dengan permohonan mahasiswa/i :


Nama : Ulibasa Silaban  
Nim : 96. 12. 114  
Semester : XV (lima belas)  
Jurusan : Teknik Elektro  
Program Studi : Teknik Energi Listrik S-1

Dengan ini menyatakan ~~bersedia/tidak bersedia~~ " menjadi Dosen Pembimbing Utama / Pendamping ", untuk penyusunan Skripsi mahasiswa/i tersebut dengan judul:

### ANALISIS PENGENDALI VVVF EFFISIENSI DAN FAKTOR DAYA TINGGI SEBAGAI PENGGERAK MOTOR INDUKSI

Demikian pernyataan ini kami buat untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Malang Desember 2003  
Yang membuat pernyataan,

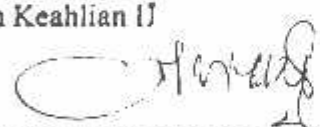
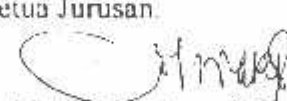

  
Ir. Moch. Anwar  
Nip. :

#### Catatan :

1. Formulir ini supaya diserahkan Mahasiswa/i ybs. ke jurusan untuk diproses jadwal Praseminar yang pelaksanaan selambat-lambatnya satu bulan setelah ditanda tangani Dosen ybs.
2. " Coret yang tidak perlu



**BERITA ACARA SEMINAR PROPOSAL SKRIPSI**  
**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO/ENERGI LISTRIK S-1**

1	Nama Mahasiswa : <u>ULI BASA SILABAN</u>		Nim : <u>96.19.114</u>	
2	Keterangan	Tanggal	Waktu	Tempat
	Pelaksanaan	<u>03/01/2004</u>	<u>Pkl 09.00 WIB</u>	Ruang <u>07</u>
3	Spesifikasi judul *)			
	a. Sistem Tenaga Elektrik	d. Sistem Kendali		
	<input checked="" type="radio"/> b. Mesin mesin Elektrik & Elda	e. Teknik Tegangan Tinggi		
	c. Sistem Pemb. Energi Elektrik	f. lainnya .....		
4	Judul Proposal yang diseminarkan Mahasiswa	<u>ANALISIS PENGENDALI VVVF EFISIENSI</u> <u>DAN FAKTOR DAYA TINGGI</u> <u>SEBAGAI PENGGERAK MOTOR INDUKSI</u>		
5	Perubahan Judul yang diusulkan oleh Kelompok Dosen Keahlian			
6	Catatan : <u>Perlu diuraikan lebih jelas bagian listrik</u> <u>shg mampu menyajikan alur yang</u> <u>lebih benar</u>			
7	Persetujuan Judul Skripsi			
	Disetujui, Dosen Keahlian I	Disetujui, Dosen Keahlian II		
		 Ir. ....		
	Mengetahui, Ketua Jurusan	Disetujui, Calon Dosen Pembimbing ybs.		
	 Ir. I Made Wartana, MT Nip: 131 991 182	 Ir. ....		

Perhatian :

\*) dilingkari a, b, c, ..... atau f. sesuai bidang keahlian.

Cg. Sari Selis T-Elektro 5-1

Ace bisnis lebih lanjut

di perpanjang hingga mulai 31.9.2004

SURAT PERNYATAAN

Malang, November 2004

Kepada : Yth. Bapak Ir. I Made Wartana, MT  
Ketua Jurusan Teknik Elektro  
Institut Teknologi Nasional Malang  
di-  
Malang

Dengan Hormat,

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Ulibasa Silaban

NIM : 96.12.114

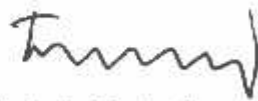
Jurusan : T. Elektro Energi Listrik

Dengan ini mengajukan permohonan perpanjangan kontrak Bimbingan Skripsi dengan masa bimbingan 3 Juli 2004 sampai dengan 3 Januari 2005, dengan judul skripsi tetap, yaitu "ANALISIS PENGENDALIAN VVVF EFISIENSI DAN FAKTOR DAYA TINGGI SEBAGAI PENGGERAK MOTOR INDUKSI", dengan dosen pembimbing Bpk. Ir. Moch. Anwar

Demikian agar maklum, dan atas perhatian serta bantuannya kami ucapkan terima kasih

Malang, 3 November 2004

Mengetahui,  
Dosen Pembimbing,



Bpk. Ir. Moch. Anwar

Pemohon,



Ulibasa Silaban



PT. BNI (PERSERO) MALANG  
BANK NIAGA 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

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

Malang, 22 Nov. 2004

Nomor : ITN-9931SKP/2004  
Lampiran : satu lembar  
Perihal : BIMBINGAN SKRIPSI

Kepada : Yth Sdr. Ir. MUHAMMAD ANWAR \*)  
Dosen Institut Teknologi Nasional  
di Malang

Dengan Hormat,

Sesuai dengan permohonan dan persetujuan dalam perpanjangan masa bimbingan skripsi yang telah dilakukan untuk mahasiswa :

Nama : ULIBASA SILABAN  
Nim : 9612114  
Fakultas : Teknologi Industri  
Jurusan : Teknik Elektro  
Konsentrasi : T. Energi Listrik (S-I)

Dengan ini pembimbingan skripsi tersebut kami serahkan Kembali sepenuhnya kepada Saudara/I, selama masa waktu 6 (enam) bulan terhitung mulai tanggal:

3 Juli 2004 s/d 3 Januari 2005

Adapun tugas tersebut merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik, Jurusan Teknik Elektro, apabila lewat dari batas waktu tsb, maka, skripsinya akan diunggulkan.  
Demikian atas perhatian serta kerjasamanya yang baik kami ucapkan terima kasih



Ketua  
Jurusan Teknik Elektro  
*[Signature]*  
Ir. I Made Wartana, MT  
Nip.131 991 182

## Tindakan

1. \*) Perpanjangan Kontrak
2. Mahasiswa yang bersangkutan
3. Arsip.

Form. S-4a



### FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : Ulibasa Silaban  
Nim : 96.12.114  
Masa Bimbingan : 3 Juli 2004 – 3 Januari 2004  
Judul Skripsi : Analisis Pengendali VVVF Efisiensi Tinggi Sebagai Penggerak Motor Induksi

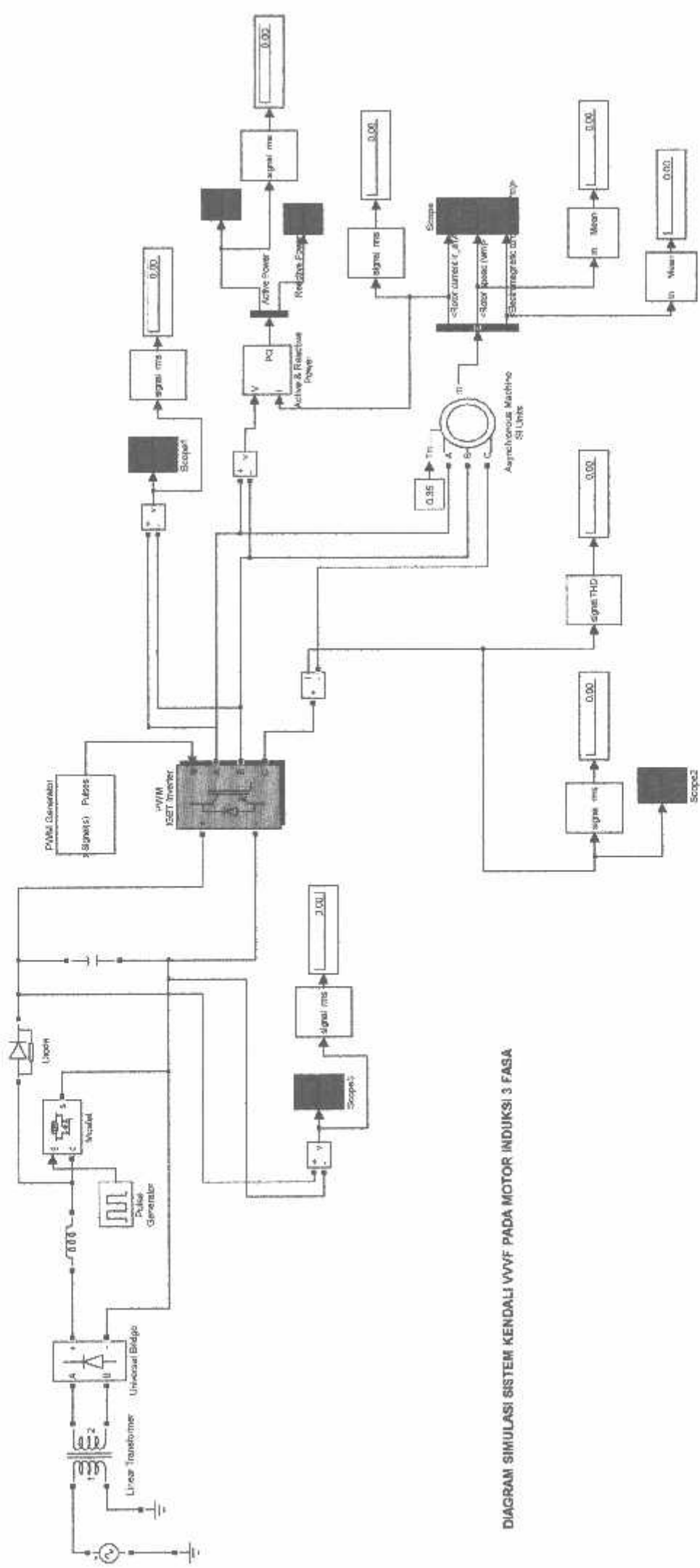
No	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1.	22-08-2004	BAB IV Analisa data dan percobaan	
2.	29-08-2004	Perbaikan data percobaan BAB IV	
3.	05-09-2004	Perbaikan data dan kurva efisiensi motor BAB IV	
4.	12-09-2004	Perbaiki kurva BAB IV	
5.	26-09-2004	Membandingkan data hasil percobaan pada bab iv dengan metode V/f	
6.	03-10-2004	Asistensi BAB IV	
7.	10-10-2004	Asistensi BAB I dan BAB II	
8.	17-10-2004	Asistensi BAB III Sistem pengendali VVVF	
9.	24-10-2004	Asistensi BAB V Penutup	
10.	31-10-2004	ACC Makalah Seminar Hasil	

Malang, 31 Oktober 2004  
Dosen Pembimbing,

Ir. Moch. Anwar

Form. S-4b





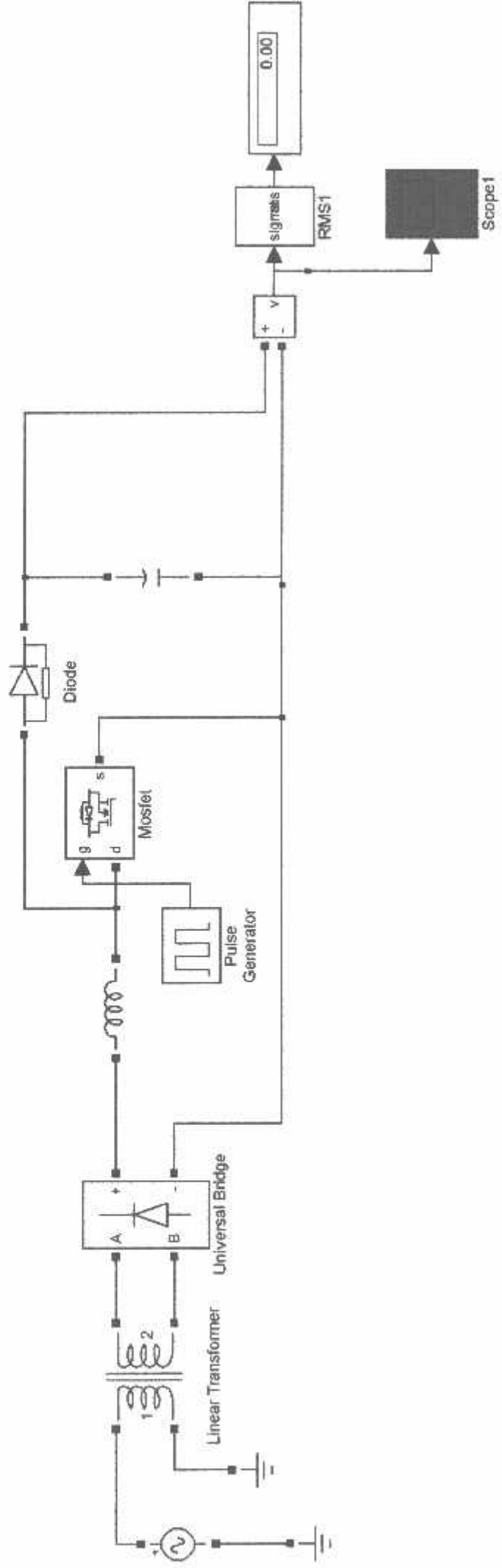


DIAGRAM SIMULASI BOOST REGULATOR PADA  $f = 50\text{Hz}$

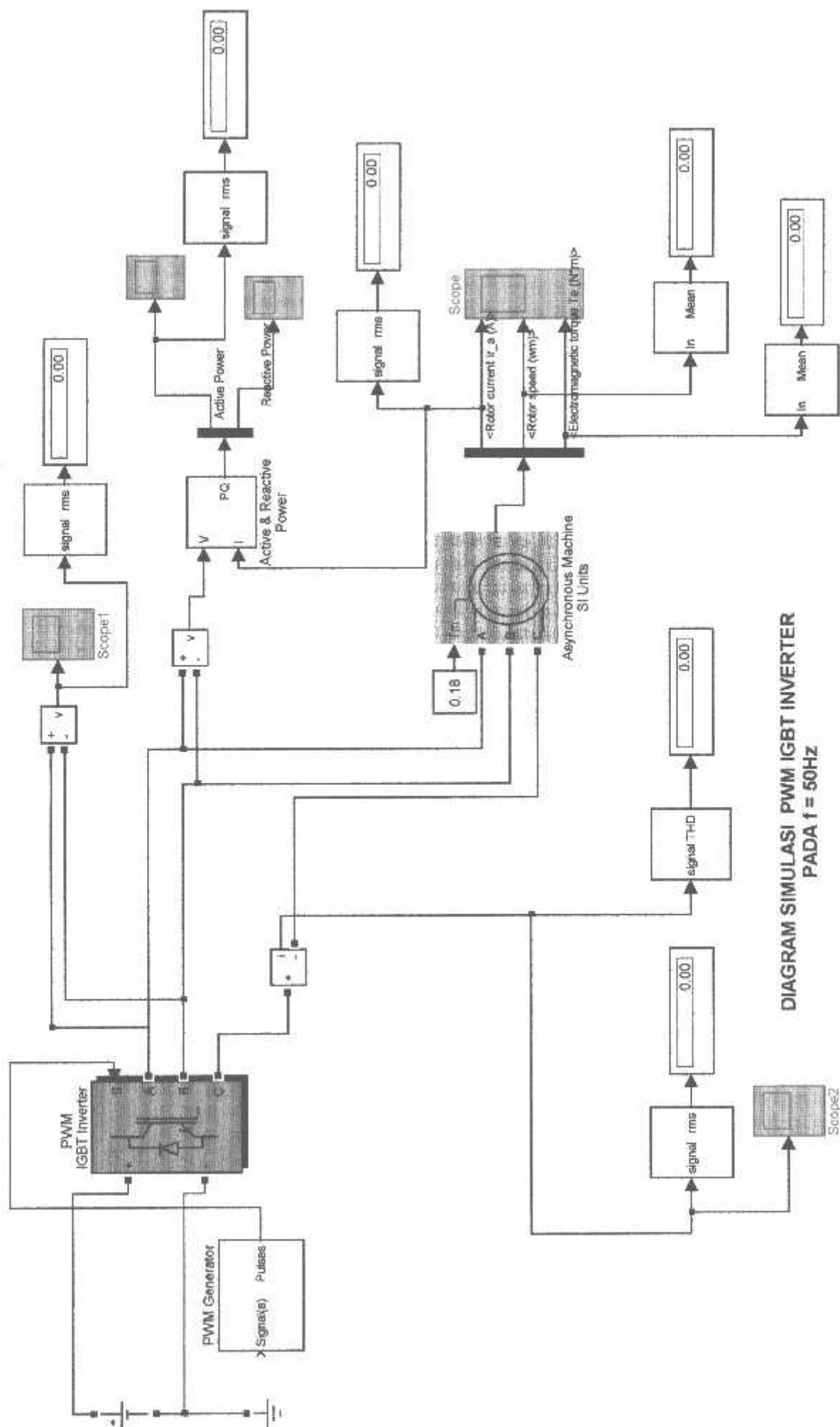


DIAGRAM SIMULASI PWM IGBT INVERTER  
PADA  $f = 50\text{Hz}$