

**ANALISA PENGGUNAAN PWM METODE SVM PADA
INVERTER SEBAGAI KONTROL
MOTOR INDUKSI 3 FASA**

SKRIPSI

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



Oleh :

**AMALIA RIZKY
01.12.059**

**KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2006**

LEMBAR PERSETUJUAN

**ANALISA PENGGUNAAN PWM METODE SVM PADA
INVERTER SEBAGAI KONTROL
MOTOR INDUKSI 3 FASA**

SKRIPSI

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

Disusun Oleh :

**AMALIA RIZKY
NIM. 01.12.059**

**Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro**



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

**Menyetujui,
Dosen Pembimbing**



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

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

**ANALISA PENGGUNAAN PWM
METODE SPACE VECTOR MODULATION PADA INVERTER
SEBAGAI KONTROL MOTOR INDUKSI 3 FASA**

Amalia Rizky Nim : 01.12.059

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

ABSTRAK

Inverter merupakan salah satu bagian yang sering digunakan pada Drive Motor Induksi yang sangat luas dalam kepentingan industri karena dapat digunakan pada motor induksi dengan frekuensi dan tegangan yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan.

Dalam penggunaan inverter dibutuhkan suatu penginputan berupa masukan tegangan yang biasanya diberikan oleh PWM (Pulse Width Modulation). Dengan semakin berkembangnya metode-metode dalam pengendalian sinyal PWM untuk mengontrol Penyalaan (*gating*), pada inverter diharapkan dapat membantu dari kinerja motor induksi termasuk untuk mengontrol kecepatan motor induksi.

Dengan metode PWM yang baru berkembang saat ini, yaitu dengan metode Space Vector mampu memberikan respon kecepatan yang lebih tinggi

Kata Kunci : Inverter, PWM, *Space Vector Modulation*, Motor induksi

KATA PENGANTAR

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

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

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

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

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

Malang, September 2006

Penulis

Puji syukur kuucapkan Alhamdulillah, Terima Kasih Ya ALLAH dengan Rahmat Dan berkahMU aku akhirnya LULUS

Tak ada rintangan dan ujian yang tak bisa kulalui karena Engkau selalu menuntunku

Maafkan aku atas semua kesalahan-kesalahan dan ketidak jujuranku pada diriku hingga membuatku kadang kurang bersyukur padaMu

Terima kasih Ya ALLAH atas kesabaranMu yang begitu besar hingga memaafkan dan melindungiku slalu.....

Tak ada kata yang mampu kuucapkan pada Keluargaku yang telah mendukungku slama ini :

- ✦ Ayah, terima kasih atas kepercayaan yang telah diberikan padaku maaf kalo aku lama baru lulus hehehe.....jangan lupa jaga kesehatan ya!
- ✦ Ibue, maafin aku slama ini sering bohong n bantah tapi aku sayang sama ibue terima kasih karena slama ini slalu sayang ama aku, sing sabar....
- ✦ Kak iyung, lebih sabar lagi ya biar kita juga tambah sayang ama kak iyung, makasih udah capek-capek ke malang
- ✦ Fafa, sing manut neng wong tuwo, jangan ngalem terus ya.....
- ✦ Rahmat, makin tinggi aja yang rukun sama ulfa ya.....

Keluargaku thanks a lot kalian adalah bagian dari hidupku yang paling penting tanpa Ayah dan ibue aku takkan ada di bumi ini Thankss...

Terima kasih banyak kuucapkan pada keluarga keduaku keluarga besar Teratai Tunjung yang slalu menyemangati dan membimbingku serta membuat jauhhhh lebih baik.

Thanx to:

Bapak Wahyu Bhudi Utomo, Guruku Terima Kasih atas kesediaan Beliau menerimaku dan membimbingku serta mengarahkanku

- ✦ Mas Oni, maafin aku gak pernah main kesana n terima kasih atas kesabarannya punya anggota mokong kaya' aku
- ✦ Mas novan, mas hari, n Anak2 kediri, maaf ya gak pernah keliatan n thanx atas dukungannya
- ✦ Mas joko, makasih mas atas saran-sarannya dan jangan bosan mas nasehatin qita-qita moga kita jadi anak yang baek.....
- ✦ Mas adam, anas, fitri, wiki, mba Riska, mukhlis, ade'yoko, reza, mas herlan, mba desti dan semua anggota ITN thanx telah membantu n menerimaku dengan baik kalian adalah teman terbaikku yang slama ini kumiliki
- ✦ For ALL Chayoooooooooooo..... moga kita bisa n mampu mencapai tujuan kita bersama Inget janji perguruan ya.....!



Thank to:

✚ Mas Yuli thanks atas perhatian dan dukungannya sama aku, maaf jadi tong sampah yang suka dimarahin, n dijutekin, kuharap rasa sayang itu takkan hilang n bisa jadi yang lebih baik, mas harus belajar masa lalu itu adalah pelajaran

✚ Buat Geng 26 konco, dulur wes pokoke... Win, thanks ya atas perhatiannya slama ini aku sayang ama wiiien but mungkin banyak hal yang buat kita ada jarak. Ana risma belajar sabar....., thanks udah minjemin computer tanpa itu aku gak jadi sarjana. Adhe rinda yang rukun ya sama risma. n Hati-hati kalo Gak senang Orang jawa nanti kumat dapet orang jawa loh... Meni pinkers Semangat moga kamu bisa jadi yang kamu inginkan



.n tetep pinkers aja Ima mak tungtung... belajar Ya Menerima saudaramu bukan milikmu suatu hari kamu harus menerima ada orang lain yang masuk dikehidupannya dan itu mutlak terjadi. Moga kita tetep jadi Friends Forever

Tak lupa kucapkan to anak2 lab konversi

✚ Pak Widodo thanx udah ngasih banyak ilmu, jangan lupa pantangan makanannya ya!

✚ Pak ndut, n mas ram thanx atas masukan-masukannya

✚ Rendi, udin, semua anak2 lab maafin aku jarang kelab ya! moga kalian mengerti

MISS U ALL..... Moga kalian semua sukses



DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
ABSTRAK	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penulisan	2
1.4. Batasan Masalah.....	2
1.5. Metodologi pembahasan.....	3
1.6. Sistematika Penulisan.....	3
BAB II LANDASAN TEORI	4
2.1. Teori dasar motor induksi.....	4
2.2. Konstruksi motor induksi	5
2.2.1. Stator.....	5
2.2.2. Rotor.....	6
2.3. Medan putar	6
2.4. Prinsip kerja motor induksi	7

2.4.1. Slip dan frekuensi Arus Rotor.....	8
2.5. Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi.....	9
2.5.1. Rangkaian Ekuivalen.....	9
2.5.2. Rangkaian Ekuivalen stator.....	10
2.5.3. Rangkaian Ekuivalen rotor.....	11
2.5.4. Rangkaian Ekuivalen motor Induksi.....	12
2.6. Pengujian Motor Induksi Tiga Phasa	14
2.6.1. Pengujian arus Searah (DC Test)	14
2.6.2. Pengujian tanpa Beban(No-Load Test).....	15
2.6.3. Pengujian Rotor Tertahan(Blocked Rotor Test).....	17
BAB III SPACE VECTOR MODULATION	20
3.1. Inverter.....	20
3.1.1. Prinsip Operasi	21
3.1.2. Performance parameter	25
3.2. PWM drive	27
3.3. Space Vector Modulation.....	29
3.3.1. Tegangan Space Vector.....	29
3.3.2. Prinsip PWM Space Vector.....	35
3.3.3. Mengimplementasikan <i>Space vector modulation</i>	36
3.4. PWM sinusoida	40

BAB IV SIMULASI DAN ANALISA.....	41
4.1. Pengujian Parameter Motor Induksi Tiga Phasa.....	41
4.1.1. Alat-alat Yang Digunakan.....	41
4.1.2. Pengujian tanpa Beban (No-Load Test).....	42
4.1.3. Pengujian arus Searah (DC Test).....	43
4.1.4. Pengujian Rotor Tertahan (Blocked Rotor Test).....	44
4.2. Simulasi dan Analisa.....	50
4.2.1. Blok Simulasi.....	50
4.2.2. Tampilan Hasil Simulasi dan Analisa.....	52
4.2.3. Flowchart Simulasi Analisa PWM.....	57
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	60
5.1. Kesimpulan.....	60
5.2. Saran.....	61
DAFTAR PUSTAKA.....	62
LAMPIRAN.....	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1. Konstruksi motor Induksi	5
2.2. Stator Tiga –phasa Motor induksi	5
2.3. Motor Induksi Rotor Belitan dan Sangkar Bajing.....	6
2.4. Medan Putar Pada Motor Induksi.....	7
2.5. Rangkaian ekivalen Stator.....	10
2.6. Rangkaian ekivalen Rotor	11
2.7. Rangkaian ekivalen Motor Induksi	13
2.8. Penyederhanaan Rangkaian Ekivalen Motor Induksi	14
2.9. Pengujian Arus Searah (DC Test)	15
2.10. Pengujian Tanpa beban	16
2.11. Pengujian Rotor Tertahan.....	18
3.1. Half-Bridge Inverter satu fasa	23
3.2. Struktur dari PWM AC Drive	27
3.3. Sumber Tegangan Inverter 3 fasa.....	28
3.4. Delapan Topologi tegangan vector inverter	29
3.5. (a). Topologi 1-V1 (pnn) dari suatu inverter (vsi).....	30
(b) Penyajian dari topologi 1-V1 (pnn) dalam (α, β)	31
3.6. <i>Non-zero voltage vectors</i> dalam α, β plane	31
3.7. (a). Topologi tegangan keluaran nol.....	32
(b). Penyajian vector tegangan nol dalam dimensi α, β plane.....	33

3.8.	(a). vector tegangan keluaran pada α, β	33
	(b). Tegangan line keluaran pada waktu domain	34
3.9.	Hasil perkiraan vector tegangan keluaran pada sector 1.	35
3.10.	<i>Space vector</i> Output dari sistem tiga phasa	37
3.11.	PWM sinusoida	40
4.1.	Rangkaian pengujian tanpa beban	42
4.2.	Rangkaian pengujian arus searah	43
4.3.	Rangkaian pengujian rotor tertahan	44
4.4.	Rangkaian ekivalen motor induksi	47
4.5.	Diagram blok PWM space vector	50
4.6.	Diagram blok PWM sinusoida	51
4.7.	Respon V line terhadap waktu pada keluaran inverter	52
4.8.	Bentuk Pulse PWM pada sinyal PWM	53
4.9.	Respon I line terhadap waktu pada keluaran inverter	53
4.10.	Respon Torsi elektromagnetik terhadap waktu pada keluaran motor induksi 3 fasa	54
4.11.	Respon Arus Stator (I_s), Arus rotor (I_r) terhadap waktu pada keluaran motor induksi 3 fasa	55
4.12.	Respon Kecepatan motor induksi terhadap waktu pada keluaran motor induksi 3 fasa	56
4.13.	Flowchart simulasi secara umum	57
4.14.	Flowchart pembentukan blok simulasi SV PWM	58
4.15.	Flowchart pembentukan blok simulasi PWM sinusoida	59

DAFTAR TABEL

Tabel		Halaman
3.1.	Tegangan keluaran inverter 3 fasa.....	36
3.2.	Waktu swiching.....	39
3.3.	Urutan Switching untuk 3 Phasa 3 Kawat	39
4.1.	Data Hasil Pengujian Beban Nol.....	42
4.2.	Data Hasil Pengujian Arus – Searah	43
4.3.	Data Hasil Rotor Tertahan.....	45

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Adanya perkembangan teknologi membawa dampak besar dengan terdapatnya berbagai macam alat atau sarana yang dapat mempermudah segala macam aktifitas manusia dengan berbagai macam penyempurnaan untuk mendapatkan hasil yang semaksimal mungkin. Dalam bidang industri , misalnya dalam industri perawatan mesin, konveyor, pompa, dan fan, sangat membutuhkan pengaturan dan koordinasi kecepatan motor yang baik. Pada pengaturan kecepatan motor memerlukan akselerasi kecepatan yang berbeda-beda sesuai dengan beban yang dipikul oleh motor.

Adapun salah satu yang sangat membantu dalam pengaturan kecepatan motor induksi adalah inverter. Inverter terdiri dari saklar semikonduktor yang disusun sedemikian rupa dan memerlukan sinyal yang sesuai untuk mengatur nyala-mati transistor. Metode untuk mengkodekan sinyal analog menjadi durasi on atau off tersebut adalah Pulse Width Modulation (PWM). Ada berbagai metode untuk mengontrol sinyal pwm yaitu: pwm sinusoida, space vector modulation dan banyak lagi. Berbagai metode untuk mengontrol PWM memiliki capaian yang berbeda –beda yang berupa tegangan keluaran inverter serta capaian ripple arus dari keluaran inverter.

1.2. Rumusan masalah

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

- Bagaimana membentuk PWM metode SVM
- Bagaimana mensimulasikan inverter dengan metode SVM pada suatu motor induksi 3 fasa dengan menggunakan matlab
- Menganalisis penggunaan PWM metode SVM pada keluaran inverter
- Menganalisis penggunaan PWM metode SVM pada keluaran motor induksi
- Membandingkan hasilnya dengan metode sinusoida

1.3. Tujuan penulisan

Tujuan dari penulisan ini adalah untuk menganalisis penggunaan PWM dengan metode SVM pada inverter serta pengaruhnya pada motor induksi dan membandingkan hasilnya dengan PWM Sinusoida.

1.4. Batasan Masalah

- Pembahasan diutamakan pada penggunaan PWM dengan metode SVM(space vector modulation) pada inverter
 - Motor yang digunakan adalah motor induksi 3 fasa rotor sangkar
 - Simulasi menggunakan MATLAB secara offline.
 - Metode sinusoida sebagai pembanding, jadi tidak dibahas secara mendetail
-

1.5. Metodologi Pembahasan

Metodologi yang digunakan dalam penyusunan skripsi ini adalah :

1. Studi literatur mengenai Space Vector dan PWM
2. Membuat rancangan simulasi
3. Pengujian simulasi dan analisa dengan menggunakan MATLAB 7.0
4. Membandingkan hasil simulasi dan analisa dengan metode SPWM
5. Menarik kesimpulan

1.6. Sistematika Penulisan

BAB I : Latar Belakang, rumusan masalah, tujuan penulisan, batasan masalah, metodologi pembahasan dan sistematika penulisan

BAB II : Materi yang terkait dengan motor induksi tiga fasa

BAB III : PWM Metode Space Vector, Inverter dan SPWM

BAB IV : Pengujian Simulasi dan analisa

BAB V : Kesimpulan Dan Saran

BAB II

KONSEP DASAR MOTOR INDUKSI TIGA PHASA

2.1. Teori Dasar Motor Induksi.

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

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

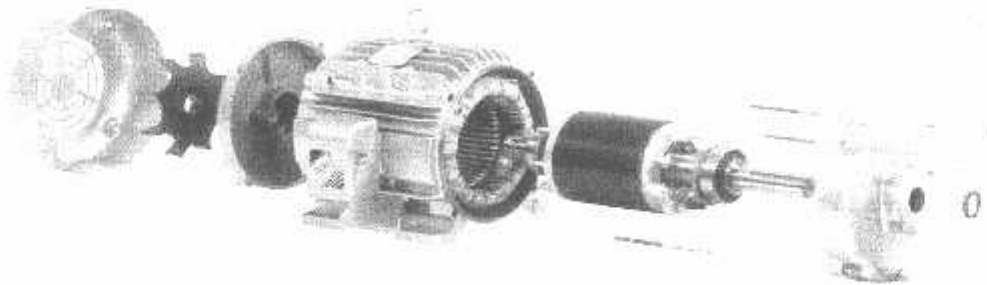
Motor induksi *polyphase* banyak dipakai dikalangan industri. Ini berkaitan dengan beberapa keuntungannya.

Keuntungan :

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

2.2. Konstruksi Motor Induksi

Konstruksi motor induksi terdiri dari dua bagian utama yaitu stator dan rotor. Hal ini dapat dilihat pada gambar 2-1 di bawah ini :

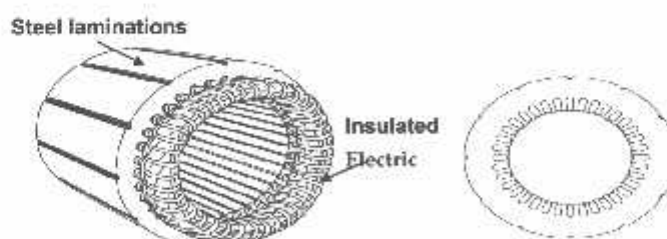


Gambar 2-1 : Konstruksi Motor Induksi
Theodore Wildi, *Electrical Machines, drives, and Power Systems*.

2.2.1. Stator

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

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



Gambar 2-2: Stator Tiga-Phasa Motor Induksi

2.2.2. Rotor

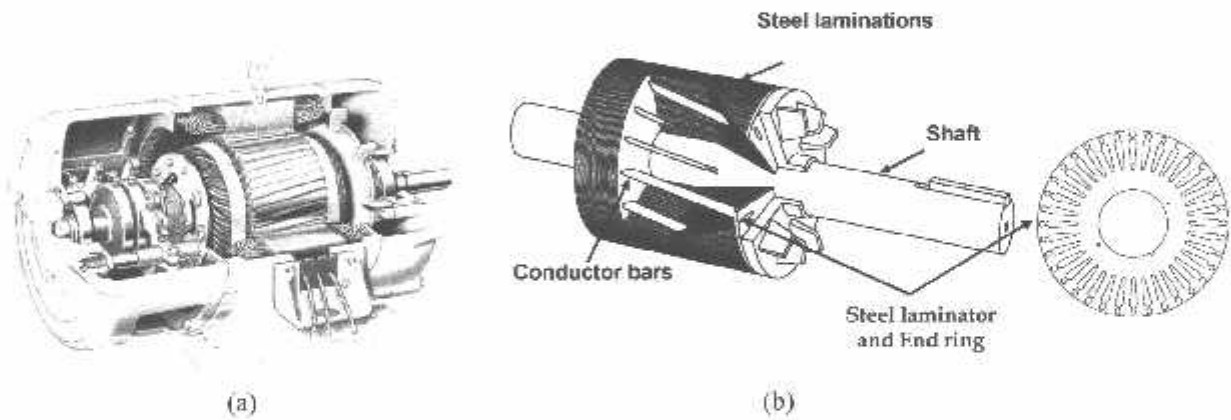
Konstruksi dari rotor motor induksi mempunyai dua bentuk, yaitu :

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

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

2. Rotor Sangkar Bajing (*squirrel cage rotor*).

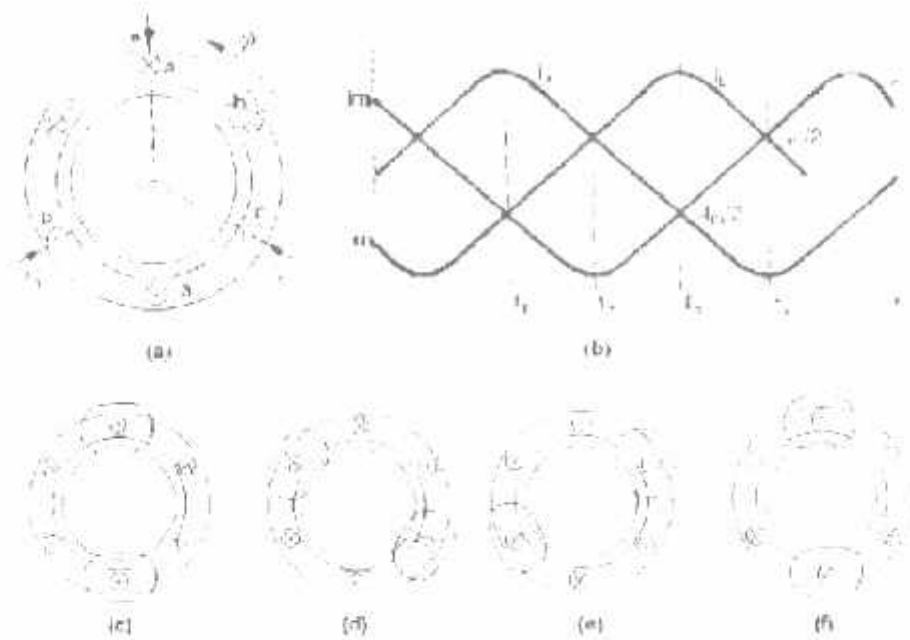
Motor induksi jenis ini mempunyai rotor dengan kumparan yang terdiri atas beberapa batang konduktor yang disusun sedemikian rupa sehingga menyerupai sangkar tupai.



Gambar 2-3 : a) Motor Induksi Rotor Belitan b) Rotor Sangkar Bajing

2.3. Medan Putar

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



Gambar 2-4 : Medan Putar Pada Motor Induksi

Medan putar terjadi apabila kumparan A-a, B-b, C-c dihungkan tiga fasa dengan beda fasa masing-masing 120° (gambar 2-4a) dan dialiri arus sinusoida. Distribusi i_a , i_b , i_c sebagai fungsi waktu adalah seperti gambar 2-4b. Pada keadaan t_1 , t_2 , t_3 dan t_4 fluks resultan yang ditimbulkan oleh kumparan tersebut masing-masing adalah seperti gambar 2-4c, d, e dan f.

2.4. Prinsip Kerja Motor Induksi

Ada beberapa prinsip kerja motor induksi .

1. Apabila sumber tegangan 3 fasa dipasang pada kumparan stator , timbullah

medan putar dengan kecepatan :
$$n_s = \frac{120}{p} f$$

2. Medan putar tersebut akan memotong batang konduktor pada rotor .
3. Akibatnya pada kumparan rotor akan timbul tegangan induksi (GGL) .
4. Karena kumparan rotor merupakan rangkaian yang tertutup , ggl (E) akan menghasilkan arus (I) .
5. Adanya arus I di dalam medan magnet menimbulkan gaya F pada rotor .
6. Bila kopel mula yang di hasilkan oleh gaya F pada rotor cukup besar untuk memikul kopel beban , rotor akan berputar searah dengan medan putar stator .
7. Seperti telah di jelaskan pada (3) , tegangan induksi timbul karena terpotongnya batang konduktor / rotor oleh medan putar stator . Artinya agar tegangan terinduksi di perlukan adanya perbedaan relative antara kecepatan medan putar stator (n_s) dengan kecepatan berputar rotor (n_r)
8. Perbedaan kecepatan antara n_r dan n_s di sebut Slip S di nyatakan dengan ;

$$S = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100\%$$

9. Bila $n_r = n_s$, tegangan tidak akan terinduksi dan arus tidak mengalir pada kumparan jangkar rotor , dengan demikian tidak di hasilkan kopel .
Kopel motor akan ditimbulkan apabila n_r lebih kecil dari n_s .

2.4.1. Slip dan Frekuensi Arus Rotor

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

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} \dots\dots\dots (2.1)$$

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

$$n_s = \frac{120f_s}{p} \text{ atau } f_s = \frac{p.n_s}{120} \dots\dots\dots (2.2)$$

dimana : p = jumlah kutub

f_s = frekuensi stator

Pada rotor berlaku hubungan :

$$f_r = \frac{(n_s - n_r)p}{120} = \frac{(n_s - n_r)n_s p}{n_s 120} \dots\dots\dots (2.3)$$

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

$$\text{Maka : } f_r = s.f_s \dots\dots\dots (2.4)$$

2.5. Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi

2.5.1. Rangkaian Ekuivalen

Suatu rangkaian ekuivalen motor induksi tiga phasa diperlukan untuk membantu analisis operasi dan untuk memudahkan penghitungan kinerja.

Rangkaian ekivalen tersebut mengasumsikan suatu bentuk yang identik rangkaian ekivalen transformator. Oleh karena itu motor induksi dapat dipandang sebagai

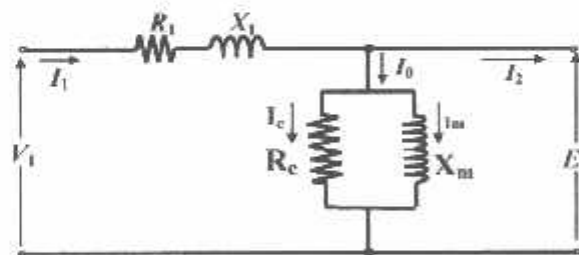
transformator yang mempunyai ciri-ciri khusus yaitu :

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

2.5.2. Rangkaian Ekivalen Stator

Apabila kumparan stator diberikan tegangan catu dari jala-jala sebesar V_1 , maka akan mengalir arus putar tiga fasa pada kumparan stator yang membangkitkan medan magnet tiga fasa. Arus stator (I_1) bercabang menjadi dua komponen arus yaitu :

1. Komponen arus beban (I_2)
2. Komponen arus eksitasi (I_0)



Gambar 2-5 : Rangkaian Ekivalen Stator

Dimana :

- V_1 – tegangan terminal
- R_1 = resistansi kumparan
- X_1 – reaktansi bocor kumparan

- E_1 = tegangan induksi (ggl)
- R_c = resistansi tembaga
- X_m = reaktansi magnetisasi

2.5.3. Rangkaian Ekuivalen 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*) adalah :

$$X_2 = sX_2 \dots\dots\dots (2.5)$$

$$X_2 = 2\pi f_s L_2 \dots\dots\dots (2.6)$$

dimana X_2 merupakan reaktansi rotor pada start atau diam.

Tegangan induksi pada rotor :

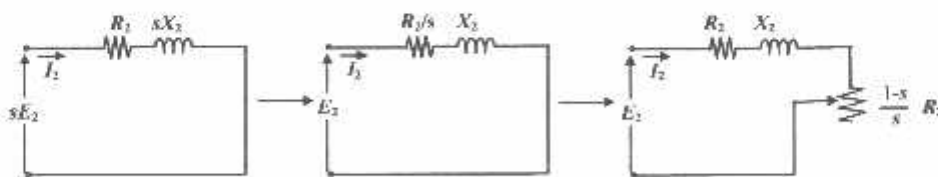
$$E_2 = 4,44f_2 N_2 \Phi_m \dots\dots\dots (2.7)$$

$$f_2 = sf_1$$

$$sE_2 = 4,44sf_1 N_2 \Phi_m \dots\dots\dots (2.8)$$

Dengan memasukkan persamaan (2.7) ke (2.8) maka didapat persamaan :

$$E_2 = sE_2 \dots\dots\dots (2.9)$$



Gambar 2-6: Rangkaian Ekuivalen Rotor

Dimana :

S = Slip

E_2 = tegangan induksi pada saat rotor dalam keadaan diam

R_2 = resistansi kumparan rotor

X_2 = reaktansi bocor rotor

Berdasarkan persamaan (2.5) dan (2.9) maka diperoleh rangkaian ekuivalen rotor seperti pada gambar 2-6.

Besar arus rotor (I_2) saat berputar adalah :

$$I_2 = \frac{sE_2}{\sqrt{R_2^2 + (sX_2)^2}} \dots\dots\dots(2.10)$$

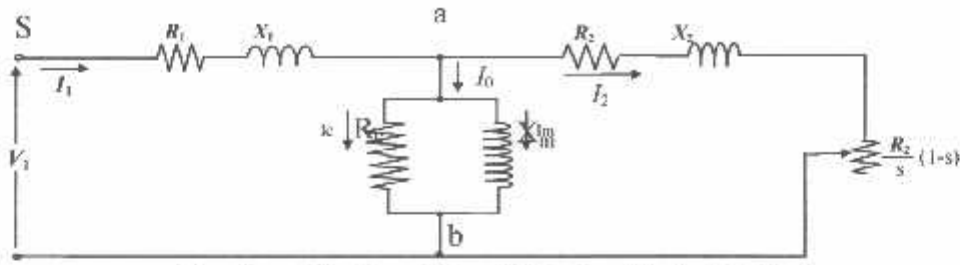
Atau

$$I_2 = \frac{E_2}{\sqrt{\left(\frac{R_2}{s}\right)^2 + X_2^2}} \dots\dots\dots(2.11)$$

2.5.4. Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi

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

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



Gambar 2-7 : Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi

Rangkaian tersebut memperlihatkan bahwa daya keseluruhan yang dialihkan pada celah udara dari stator (masukan daya ke rotor) adalah :

$$P_2 = 3I_2^2 \frac{R_2}{s} \dots\dots\dots(2.12)$$

Dengan rugi tembaga rotor :

$$P_{cu2} = 3I_2^2 R_2 \dots\dots\dots(2.13)$$

Maka daya mekanis yang dibangkitkan oleh motor induksi adalah :

$$P_m = P_2 - P_{cu2} = 3I_2^2 \frac{R_2}{s} - 3I_2^2 R_2 = 3I_2^2 R_2 \frac{(1-s)}{s} \dots\dots\dots(2.14)$$

$$P_m = T \cdot \omega_r = T \cdot \omega_s (1-s) \dots\dots\dots(2.15)$$

dimana :

T = Torsi motor dalam N-m

ω_r = kecepatan rotor dalam rad/det

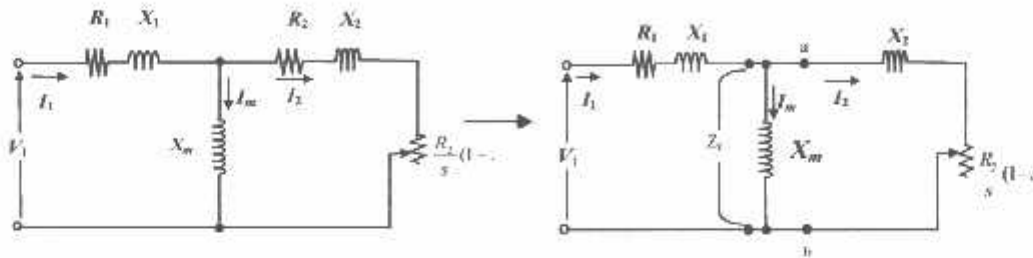
ω_s = kecepatan sinkron stator dalam rad/det

sehingga diperoleh :

$$T = \frac{3}{\omega_s} I_2^2 \frac{R_2}{s} \text{ Nm} \dots\dots\dots(2.16)$$

$$I_2 = \frac{V_1}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2}{s} \right)^2 + (X_1 + X_2)^2}} \dots\dots\dots(2.17)$$

Dalam analisis rangkaian ekivalen, sering disederhanakan dengan menghilangkan konduktansi (R_c), sehingga rangkaian ekivalen pada gambar (2.7) berubah menjadi :



Gambar 2-8 : Penyederhanaan Rangkaian Ekivalen Motor Induksi

Daya masukan (P_{in}) pada rangkaian ekivalen adalah :

$$P_{in} = 3(I_1^2) \frac{R_r}{S} \text{ watt} \dots\dots\dots(2.18)$$

Daya Keluaran (P_{out}) adalah :

$$P_{out} = P_{input} - P_{rugi-mekanik} \text{ watt} \dots\dots\dots(2.19)$$

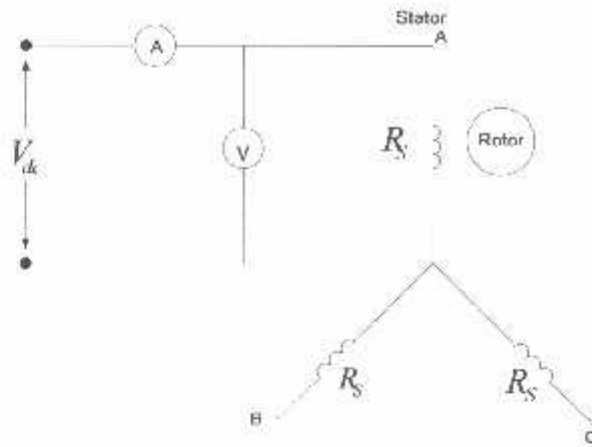
Efisiensi(η) didapat dari persamaan :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \cdot 100\% \dots\dots\dots(2.20)$$

2.6. Pengujian Motor Induksi Tiga Fasa

2.6.1. Pengujian Arus Searah (DC Test)

Tujuan dari pengujian arus searah (*DC Test*) adalah untuk menentukan nilai resistansi stator. Diagram pengukuran ditunjukkan pada gambar 2.9.



Gambar 2-9 : Pengujian Arus Searah (*DC Test*)

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

$$R_{ek} = 2R_s \Omega \dots\dots\dots(2.21)$$

untuk nilai resistansi kumparan stator perphasa (R_s):

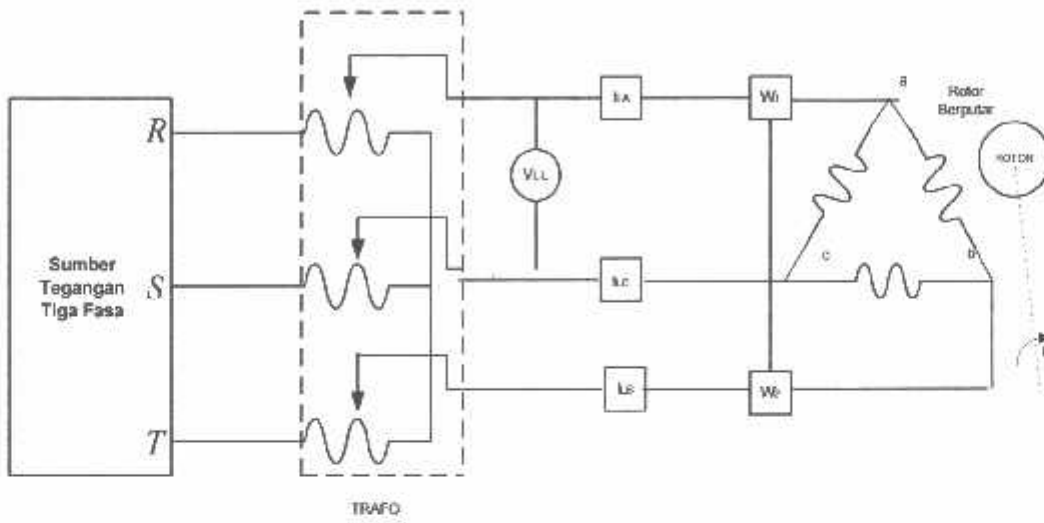
$$R_s = R_{dc} = \frac{V_{DC}}{I_{DC}} \Omega \dots\dots\dots(2.22)$$

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

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

Pengujian Tanpa Beban (*No-Load Test*) adalah sama dengan pengujian rangkaian terbuka. Pada keadaan tanpa beban, R_r / s adalah sangat tinggi. Sehingga arus rotor sangat kecil dan hanya diperlukan untuk menghasilkan torsi

yang cukup untuk mengatasi gesekan dan pelilitan, dengan demikian rugi-rugi I^2R rotor tanpa beban sangat kecil dan dapat diabaikan.



Gambar 2-10 : Diagram Pengujian Tanpa Beban

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

$$P_{3-\phi} = W_a + W_b \quad \text{watt} \dots \dots \dots (2.24)$$

I_{nb} , arus phasa stator :

$$I_{nb} = \frac{I_a + I_b + I_c}{3} \quad \text{Amperc} \dots \dots \dots (2.25)$$

Rugi-rugi tahanan stator :

$$P_{1^2 R_s} = 3 I_{nb}^2 \cdot R_s \dots \dots \dots (2.26)$$

Besarnya rugi-rugi putaran :

$$P_{loss} = P_{tb} - P_{1^2 R_s} \dots \dots \dots (2.27)$$

Reaktansi diri stator :

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

Dimana:

I_{nb} = arus tanpa beban

P_{tb} = masukan daya ke stator pada keadaan tanpa beban

P_{rot} = rugi-rugi putaran tanpa beban

Tahanan inti adalah :

$$R_c = \frac{V_{tb}^2}{P_{tb}} \Omega$$

Resistansi tanpa beban adalah :

$$R_{tb} = \frac{P_{tb}}{3(I_{tb})^2} \Omega \dots\dots\dots(2.28)$$

Impedansi tanpa beban adalah :

$$Z_{tb} = \frac{V_{tb}}{\sqrt{3}I_{tb}} \Omega \dots\dots\dots(2.29)$$

$$Z_{tb} = R_{tb} + j X_{tb} \dots\dots\dots(2.30)$$

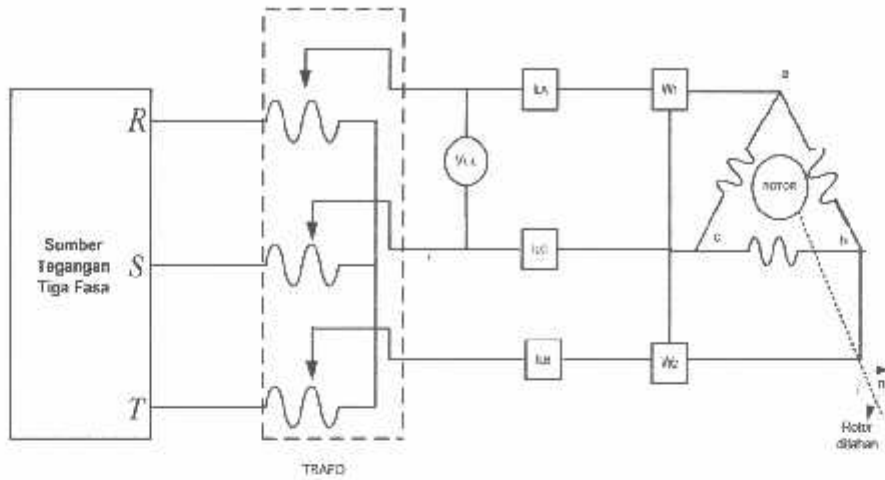
Reaktansi tanpa beban adalah :

$$X_{tb} = \sqrt{Z_{tb}^2 - R_{tb}^2} \Omega \dots\dots\dots(2.31)$$

$$X_m = X_{tb} - X_l \dots\dots\dots(2.32)$$

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

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



Gambar 2-11 : Diagram Pengujian Rotor Tertahan

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

$$P_{3-\phi} = W_a + W_b \text{ watt} \dots \dots \dots (2.33)$$

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

I_n , arus fasa stator :

$$I_n = \frac{I_a + I_b + I_c}{3} \text{ Ampere} \dots \dots \dots (2.34)$$

Resistansi rotor tertahan adalah :

$$R_{rt} = \frac{P_n}{3.(I_n)^2} \Omega \dots \dots \dots (2.35)$$

Impedansi rotor tertahan adalah :

$$Z_{rt} = \frac{V_n}{\sqrt{3}.I_n} \Omega \dots \dots \dots (2.36)$$

Reaktansi rotor tertahan adalah :

$$X_{rt} = \sqrt{Z_{rt}^2 - R_{rt}^2} \quad \Omega \dots\dots\dots(2.37)$$

$$X_{ek} = X_1 + X_2' \dots\dots\dots(2.38)$$

Dimana:

I_{rt} = arus pada keadaan rotor tertahan

P_{rt} = masukan daya ke stator pada keadaan rotor tertahan

V_{rt} = tegangan terminal stator pada keadaan rotor tertahan

Motor induksi yang dipakai adalah motor induksi dengan rotor sangkar tunggal.

Kelas A maka secara umum :

$$\frac{x_1}{x_1 + x_2} = 0.5 \dots\dots\dots(2.39)$$

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, sehingga :

$$X_{ss} = X_{tb} = X_s + X_m \dots\dots\dots(2.40)$$

Resistansi stator dapat dipandang sebagai harga Dcnya. Maka resistansi rotor dapat ditentukan sebagai berikut :

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

Dengan $X_{rr} = X_r + X_m$ merupakan reaktansi diri rotor maka :

$$X_{rt} = X_r + X_m \dots\dots\dots(2.41)$$

$$R_r = R \left(\frac{X_{rr}}{X_m} \right)^2 \dots\dots\dots(2.42)$$

BAB III

PWM INVERTER

3.1. Inverter

Untuk membalik arus searah ke arus bolak-balik dikenal sebagai inverters. Fungsi dari suatu inverter adalah untuk mengubah suatu masukan tegangan D_c ke suatu tegangan keluaran arus bolak-balik simetris dari amplitudo dan frequency yang diinginkan. Tegangan keluaran bisa ditetapkan atau pada suatu variabel diperbaiki atau frekwensi variabel. Suatu tegangan keluaran variabel dapat diperoleh dengan bermacam-macam masukan tegangan dc dan memelihara penguatan inverter tetap. Pada sisi lain, jika masukan tegangan DC ditetapkan dan tidak dapat diawasi, suatu tegangan keluaran variabel dapat diperoleh dengan bermacam-macam penguatan dari inverter, yang mana adalah secara normal terpenuhi oleh berdenyut modulasi lebar (PWM) kendali di dalam inverter itu. Penguatan inverter digambarkan sebagai perbandingan tegangan keluaran arus bolak-balik ke tegangan masukan DC.

Bentuk gelombang keluaran dari inverters ideal harus sinusoidal. Bagaimanapun, bentuk gelombang dari inverters praktis adalah nonsinusoidal dan berisi harmonisa tertentu. Untuk aplikasi power yang rendah dan medium, square-wave atau quasisquare-wave voltase mungkin bisa diterima; dan untuk high-power aplikasi, bentuk gelombang sinusoidal dengan distorsi rendah diperlukan. Dengan ketersediaan dari alat semi penghantar tenaga kecepatan tinggi, indeks harmonisasi.

tegangan keluaran dapat diperkecil atau dikurangi dengan mantap dengan teknik men-switch.

Inverters secara luas digunakan aplikasi industri (cth: variable speed ac motor drives, induction heating, standby power supplies, uninterruptible power supplies. Masukan suatu baterai, sel bahan-bakar, sel matahari, atau sumber DC yang lain. Keluaran phasa-tunggal yang khas adalah 1). 120V pada 60 hz, 2) 220 v pada 50 hz, dan 3) 115v pada 400hz. untuk sistem tiga fasa tenaga tinggi, keluaran khas adalah 1) 220/380 pada 50 hz, 2) 120/380v pada 60 hz, 3). 115/200 v pada 400hz.

Inverters dapat dengan luas digolongkan ke dalam dua jenis: Pembalik fase tunggal. Dan Pembalik tiga fase masing-masing jenis dapat dikendalikan menggunakan peralatan turn-on and turn off (cth: BJTS, MOSFETS, IGBTs, MCTS, SITs, GTOS) atau FCT (forced-commutated thyristors) tergantung atas permohonan. Inverters ini biasanya menggunakan kendali PWM untuk memproduksi suatu tegangan keluaran arus bolak-balik. Suatu inverter disebut suatu voltage fed inverter (VFI) jika arus masukan dijaga konstan, dan suatu variabel dc berhubungan inverter jika tegangan masukan dapat diawasi.

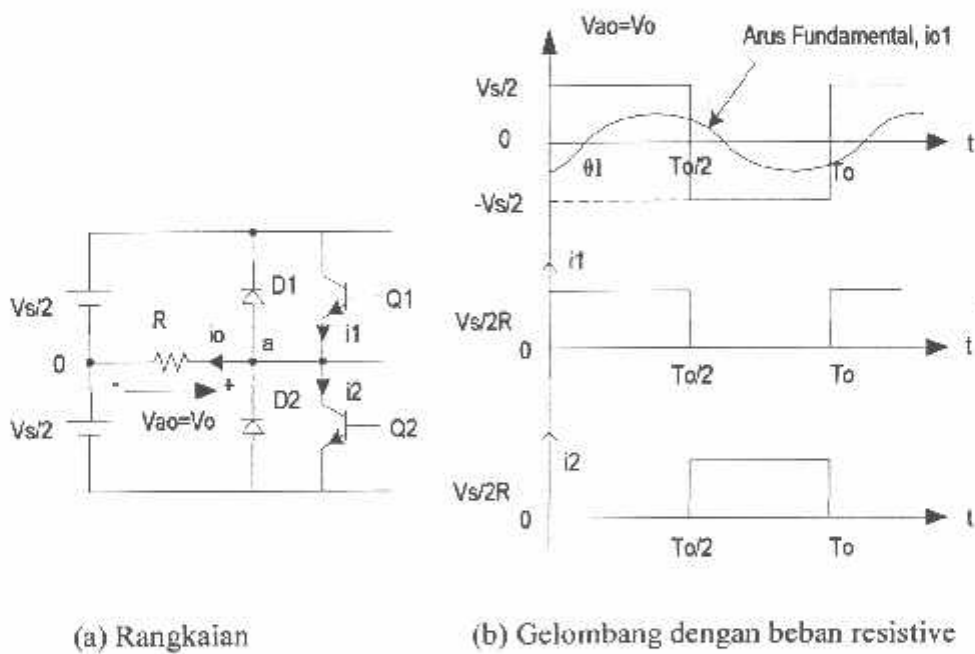
3.1.1. Prinsip operasi

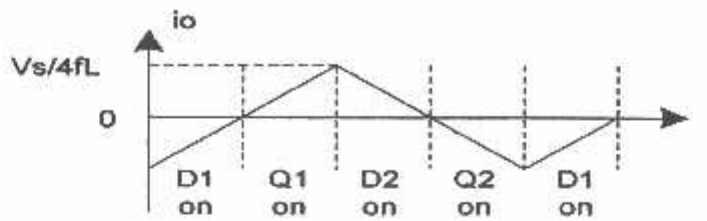
Prinsip dari pembalik fase tunggal dapat diterangkan dengan gambar 3.1.a. sircuit inverter terdiri dari dua choppers. Ketika hanya transistor Q1 dipasang untuk sementara waktu $T_0/2$, voltase yang seketika /spontan ke seberang beban v_o adalah $V_s/2$. jika transistor Q2 saja dipasang untuk waktu $T_0/2$.- $V_s/2$ nampak ke seberang

beban. Rangkaian logic harus dirancang seperti itu bahwa Q1 Dan Q2 tidaklah dipasang pada waktu yang sama. Gambar. 3.1.b menunjukkan bentuk gelombang untuk tegangan keluaran dan arus transistor dengan suatu beban resistif. Inverter ini memerlukan suatu sumber DC three-wire, dan ketika suatu transistor padam, Tegangan kebalikannya V_s , diganti menjadi $V_s/2$. inverter ini dikenal sebagai suatu inverter half-bridge

Rms tegangan keluaran dapat ditemukan dari

$$V_o = \left(\frac{2}{T_o} \int_0^{T_o/2} \frac{V_s^2}{4} dt \right)^{1/2} = \frac{V_s}{2} \quad (3-1)$$





(c) Arus beban dengan beban induktif yang tinggi

Gambar.3.1. Half-Bridge Inverter satu fasa

Tegangan keluaran dapat digambarkan pada deret forier sebagai:

$$V_O = \sum_{n=1,3,5}^{\infty} \frac{2V_s}{n\pi} \sin n\omega t \quad (3-2)$$

dimana $\omega = 2\pi f_o$ adalah frequency dari tegangan keluaran dalam rad/s.

untuk $n=1$, Eq.(10-2) memberikan nilai rms dari komponen fundamental

$$V_1 = \frac{2V_s}{\sqrt{2\pi}} = 0,45V \quad (3-3)$$

Karena suatu beban induktif, arus beban tidak bisa berubah dengan seketika dengan tegangan keluaran. Jika Q1 dipadamkan pada $t = T_o/2$, arus beban akan berlanjut untuk mengalir sepanjang beban D2, dan yang lebih rendah separuh dari sumber dc sampai arus mendekati nol. Dengan cara yang sama, ketika Q2 dipadamkan pada $t = T_o$ Arus Beban mengalir sepanjang beban D1, dan yang bagian atas separuh dc sumber ketika dioda D1 Atau D2 conducts, energy diumpun-balikkan kepada dc sumber dan dioda ini dikenal sebagai dioda umpan balik. Gambar 3.1.c menunjukkan interval konduksi dan arus beban alat itu untuk suatu beban induktif

murni. Itu dapat dicatat bahwa untuk suatu beban induktif murni, sebuah transistor terkonduksi hanya untuk $T_0/2$ (atau 90°). Tergantung pada faktor daya beban itu, periode konduksi suatu transistor akan bertukar-tukar dari 90° ke 180° .

Transistor dapat digantikan oleh GTOS atau forced-commutated thyristors. Jika t_q adalah waktu memadamkan suatu thyristor. Harus ada suatu penundaan waktu t_q yang minimum antara thyristor yang keluar dan tembakan thyristor yang datang berikutnya. Cara lainnya, suatu rangkaian kondisi hubung singkat hasilnya akan melalui dua thyristors. Oleh karena itu, waktu konduksi yang maksimum suatu thyristor menjadi $T_0/2 - T_q$. Dalam praktek, bahkan transistor memerlukan suatu waktu turn on dan turn off tertentu untuk operasi inverters yang sukses. Rangkaian logic perlu dipertimbangkan disini.

Untuk suatu beban RL, arus beban yang seketika i_0 dapat ditemukan dari

$$i_0 = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{2V_s}{n\pi\sqrt{R^2 + (n\omega L)^2}} \sin(n\omega t - \theta_n) \quad (3-4)$$

Dimana $\theta_n = \tan^{-1}(n\omega L/R)$. Jika I_{01} adalah arus beban fundamental rms. Tegangan fundamental keluaran (untuk $n = 1$) adalah:

$$\begin{aligned} P_{01} &= V_1 I_{01} \cos \theta_1 = I_{01}^2 R \\ &= \left[\frac{2V_s}{\sqrt{2}\pi\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \right]^2 R \end{aligned} \quad (3-5)$$

Di dalam kebanyakan aplikasi (cth: drive motor elektrik) daya keluaran dalam kaitan dengan arus pokok biasanya tenaga yang bermanfaat, dan tenaga dalam

kaitan dengan harmonic arus dikurangi ketika memanaskan dan meningkatkan temperatur beban itu.

3.1.2. Performance parameter

Keluaran dari inverter praktis berisi harmonik dan mutu dari suatu inverter secara normal dievaluasi dalam kaitan dengan parameter capaian yang berikut.

Harmonic Factor Of n th harmonic, HF_n faktor harmonik (tentang harmonic n th), yang mana adalah suatu ukuran dari kontribusi selaras individu, digambarkan sebagai

$$HF_n = \frac{V_n}{V_1} \quad (3-6)$$

dimana V_1 adalah nilai rms dari komponen fundamental dan V_n adalah nilai rms dari komponen harmonik

Total harmonic distortion THD.Total distorsi harmonik, yang mana adalah suatu ukuran kedekatan dalam keadaan antara suatu bentuk gelombang dan komponen dasarnya, digambarkan sebagai:

$$THD = \frac{1}{V_1} \left[\sum_{n=2,3,\dots}^{\infty} V_n^2 \right]^{1/2} \quad (3-7)$$

Distortion factor DF. Faktor Penyimpangan DF. THD memberi isi dari total harmonic, tetapi tidak menandai adanya tingkatan dari tiap komponen harmonik. Jika suatu filter digunakan di keluaran dari inverter. Harmonic tingkat tinggi akan

disusutkan lebih secara efektif. Oleh karena itu, suatu pengetahuan dari kedua frekwensi dan besar dari tiap harmonik adalah penting. Faktor Penyimpangan menandai adanya jumlah dari distorsi harmonic yang tinggal pada bentuk gelombang tertentu setelah harmonik dari bentuk gelombang itu telah diperlakukan untuk suatu urutan penipisan ke dua (oleh n^2) kemudian DF adalah suatu ukuran dari kecenderungan di dalam mengurangi harmonik yang tak dikehendaki tanpa keharusan untuk menetapkan nilai-nilai suatu filter beban urutan kedua dan digambarkan sebagai

$$DF = \frac{1}{V_1} \left[\sum_{n=2,3,\dots}^{\infty} \left(\frac{V_n}{n^2} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (3-8)$$

Factor distorsi dari suatu individu (or n^{th}) komponen harmonic yang digambarkan sebagai:

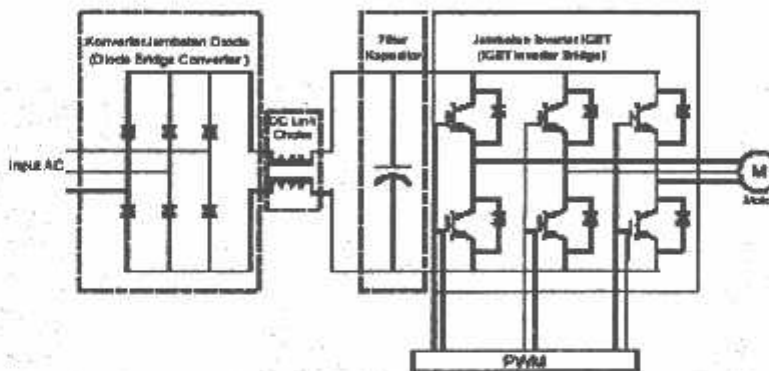
$$DF_n = \frac{V_n}{V_1 n^2} \quad (3-9)$$

Lowest-order harmonic LOH..

Lowest-Order LOH selaras. Lowest-Order harmonik adalah bahwa komponen harmonik dimana frekwensi mana yang terdekat dengan pokok, dan amplitudonya adalah lebih besar dan sama dengan 3% dari komponen dasar itu.

3.2. PWM Drive

Gambar dibawah menggambarkan skema dari struktur sistem AC drive PWM modern yang terdiri dari tiga bagian atau tingkat. Bagian pertama berfungsi untuk mengkonversi sumber tiga fasa AC ke DC. Bagian pertama ini disebut *converter*.



Gambar 3.2. Struktur dari PWM AC drive.

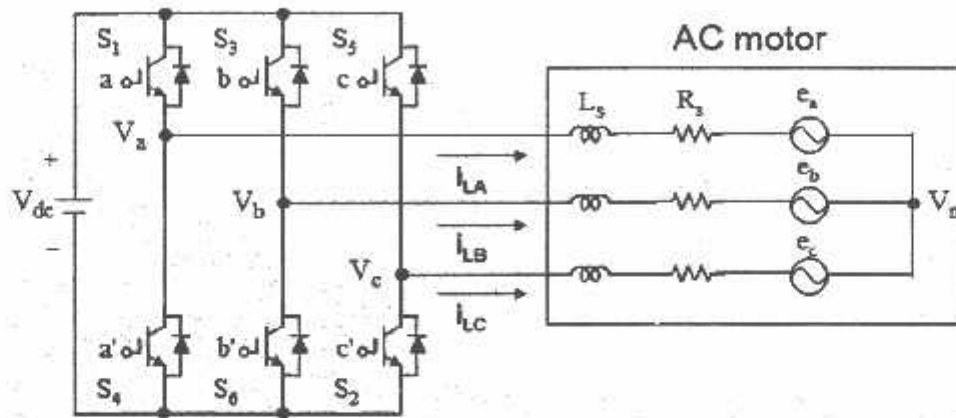
Jika bagian ini dipisah dari struktur yang lain, didapatkan tegangan DC dengan *ripple* tertentu, dikenal dengan istilah DC link.

Filter diperlukan untuk meratakan *ripple* pada DC link. Umumnya merupakan *capacitor bank* yang kadang ditambahkan induktor atau *Link Choke*.

Tingkat ketiga adalah bagian inverter yang merupakan rangkaian transistor berfungsi sebagai saklar kecepatan tinggi untuk memberikan modulasi lebar pulsa atau gelombang PWM ke beban.

Sumber tegangan inverter 3 kaki bisa dilihat pada gambar 3.3. Karena adanya batasan bahwa tegangan line harus tidak pernah hubung pendek, dan arus keluaran

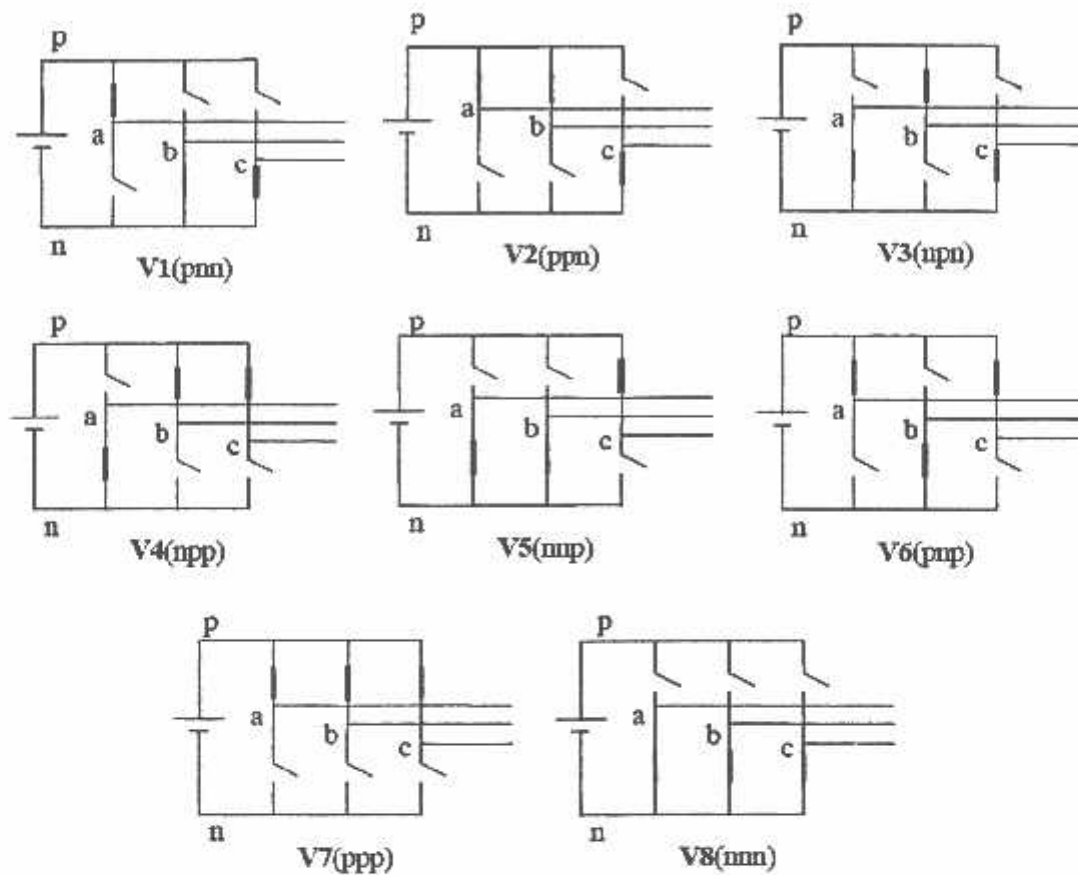
harus selalu mengalir secara kontinyu; sebuah tegangan inverter dapat diasumsikan dalam 8 topologi yang berbeda.(gambar 3.4)



Gambar 3.3. Sumber tegangan inverter 3 fasa

sumber: "pulse width modulation techniques, Prof ali keyhani"

Enam dari 8 topologi ini menghasilkan tegangan keluaran tidak sama dengan nol (punya nilai) dan dikenal sebagai *non zero swicthing states* dan sisa 2 topologi menghasilkan tegangan keluaran sama dengan nol dan dikenal sebagai *zero swicthing states*.



Gambar 3.4. Delapan topologi tegangan vector inverter

3.3. Space Vector Modulation

3.3.1. Tegangan space vector

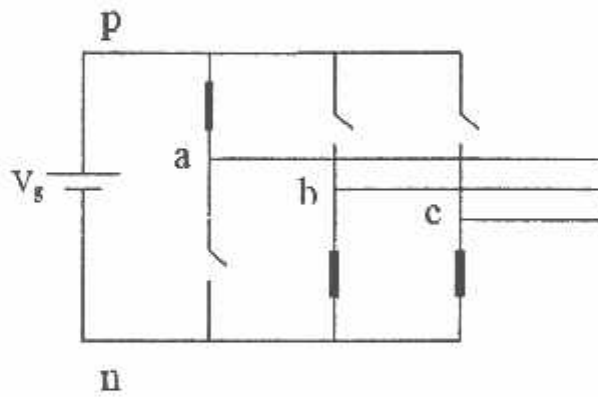
Space vector modulation (SVM) untuk VSI (sumber tegangan inverter) 3 kaki berdasarkan pada penyajian 3 fasa sebagai vector dalam dua dimensi sudut (α , β). Melihat topologi 1 pada gambar 3.4. yang mana diulangi pada gambar 3.5 dapat kita lihat bahwa tegangan line V_{ab} , V_{bc} , V_{ca} diberikan oleh

$$V_{ab} = g$$

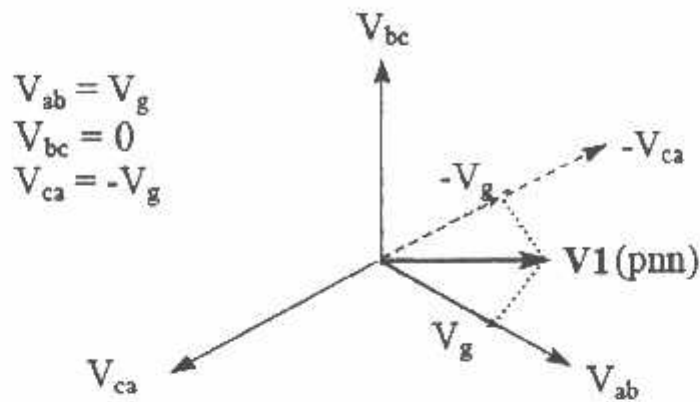
$$V_{bc} = 0 \quad \dots\dots\dots(3-10)$$

$$V_{ca} = -g$$

Ini dapat disajikan dalam dua dimensi sudut (α , β).Seperti ditunjukkan dalam gambar 3.5.b. Dimana tegangan V_{ab}, V_{bc}, V_{ca} adalah tiga tegangan line yang terpisah secara vector 120° dalam ruang .Tegangan vector yang efektif dihasilkan oleh topologi ini adalah seperti yang disajikan V_1 (pnn) pada gambar 3.5.b. notasi pnn mengacu pada tiga kaki/fasa a,b,c yang dihubungkan pada rel dc positif (p) atau rel dc negatif(n).Jadi 'pnn' sesuai dengan fasa a yang dihubungkan pada rel dc positif dan fasa b,c dihubungkan pada rel dc negatif.

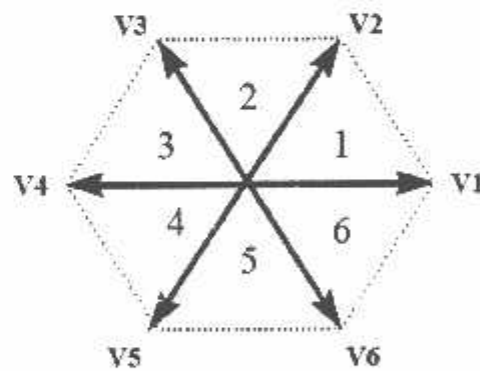


Gambar 3.5.(a).Topologi 1-V1 (pnn) dari suatu inverter (vsi)



Gambar 3.5.(b).Penyajian dari topologi 1-V1 (pnn) dalam (α, β) .

Kelanjutan dalam bentuk yang serupa enam vektor tegangan tidak nol (V_1 - V_6) yang dapat digambarkan untuk asumsi posisi seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.5. kita menggambarkan area yang dipagari oleh dua vector yang bersebelahan didalam enam bangun ruang sebagai sektor. Yang kemudian dinomori 1-6 seperti pada gambar 3.6



Gambar 3.6. *Non-zero voltage vectors* dalam α, β plane.

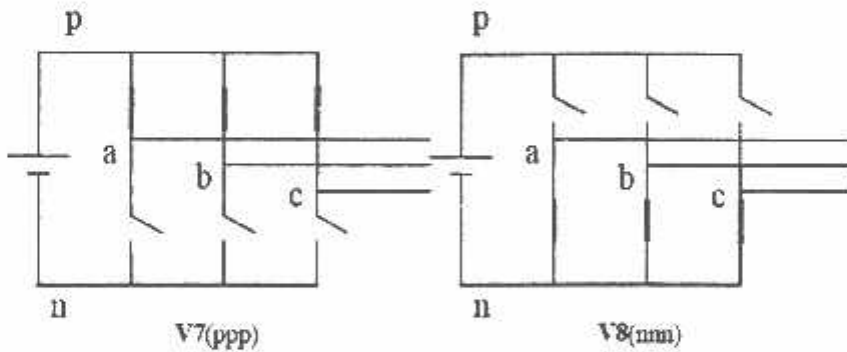
Mempertimbangkan dua topologi terakhir pada gambar 3.4. yang diulang pada gambar 3.5.(b) untuk memudahkan kita melihat bahwa tegangan arus keluaran yang dihasilkan oleh topologi ini diberi oleh:

$$V_{ab} = 0$$

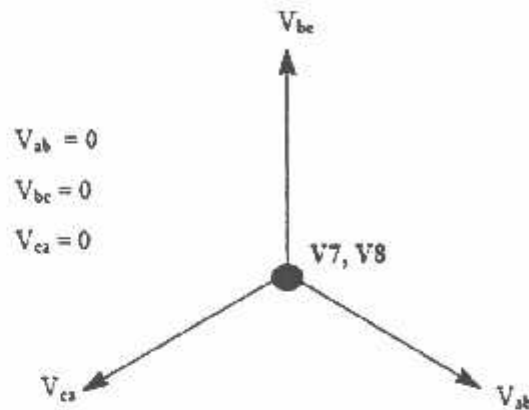
$$V_{bc} = 0 \quad \dots\dots\dots(3-11)$$

$$V_{ca} = 0$$

Ini mewakili ketika vector mempunyai *zero magnitude* dan karenanya dikenal sebagai keadaan *zero-switching vector* atau tegangan vector nol. Diasumsikan posisi mereka pada keadaan asal dalam dimensi ruang α, β seperti digambarkan pada gambar. 3.5.(b). Vector V1-V8 disebut sebagai switching state vectors (SSVS) / vector keadaan swiching .

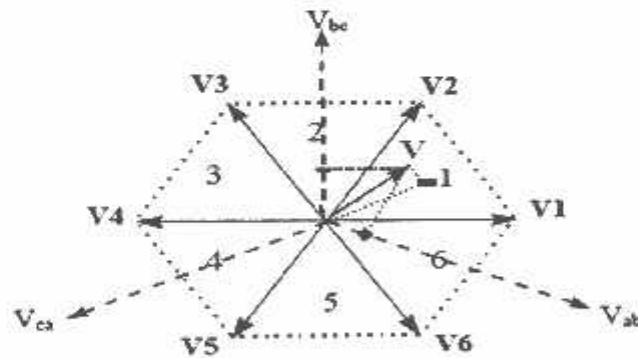


Gambar 3.7.(a). Topologi tegangan keluaran nol

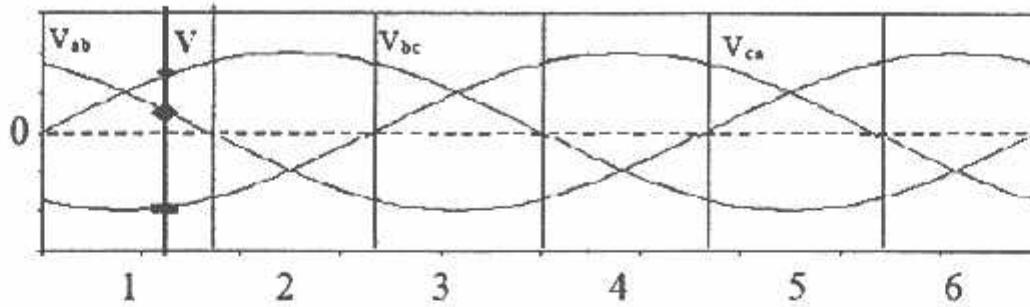


3.7 (b). Penyajian vector tegangan nol dalam dimensi α, β plane.

Tegangan tiga fasa yang diinginkan pada keluaran dari inverter bisa diwakili dengan suatu vektor berputar V yang sepadan dalam jam konter yang memiliki arah yang beragam seperti pada gambar. 3.8.(a) .Magnitudo dari vector ini berhubungan dengan magnitudo tegangan keluaran inverter.(gambar3.8.b) dan waktu vektor ini menuju ke satu perubahan yang sama seperti periode waktu yang diperlukan pada tegangan keluaran.



Gambar 3.8.(a). vector tegangan keluaran pada α, β .



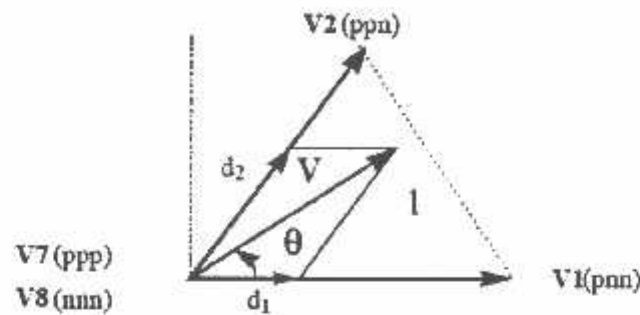
Gambar. 3.8.(b). Tegangan line keluaran pada waktu domain.

Mari kita mempertimbangkan situasi manakala line to line tegangan keluaran vector V adalah dalam sektor 1 seperti ditunjukkan dalam gambar.3.9. Vector ini dapat disatukan oleh pulse width-modulation (PWM) dari kedua yang bersebelahan SSV'S V_1 (pnn) dan V_2 (ppn), siklus putaran masing-masing menjadi d_1 dan d_2 yang berturut-turut dan vector nol V_7 (nnn) dan V_8 (ppp) menjadi d_0 [1].

$$d_1 V_1 + d_2 V_2 = V = m V_g e^{j\theta} \quad \dots\dots\dots(3-12)$$

$$d_1 + d_2 + d_0 = 1 \quad \dots\dots\dots(3-13)$$

Dimana $0 \leq m \leq 0.866$ adalah indeks modulasi. Ini akan sesuai dengan suatu tegangan line to line maksimum dari $1.0.V_g$. Yang mana 15% lebih sinusoidal dari PWM konvensional.



Gambar. 3.9. Hasil perkiraan vector tegangan keluaran pada sector 1.

Pada umumnya Prinsip dari PWM Space Vector adalah:

- Memperlakukan tegangan sinusoidal sebagai amplitudo yang tetap, vector yang berputar pada frekwensi yang tetap
- Transformasi Sistem tiga phasa yang didefinisikan oleh $u(t)$, $v(t)$, dan $w(t)$, dapat direpresentasikan dengan vector berputar as :

$$\underline{as} = \frac{2}{3} \left[u(t) + \underline{a} \cdot v(t) + \underline{a}^2 \cdot w(t) \right]$$

dimana $\underline{a} = e^{j\frac{2\pi}{3}}$ dan $\underline{a}^2 = e^{j\frac{4\pi}{3}}$ (3-14)

Representasi vektor didapat dengan transformasi 3 ke 2, dalam bentuk matriks:

$$\underline{as} = \begin{bmatrix} A\alpha \\ A\beta \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix}$$

.....(3-15)

Dimana $(A\alpha, A\beta)$ membentuk sistem 2 phasa ortogonal, dan $\underline{as} = A\alpha + jA\beta$.

Langkah-langkah untuk mengimplementasikan *Space Vector Modulation* untuk inverter sumber tegangan :

1. Definisi vektor switching yang mungkin pada space tegangan output.

Diasumsikan S1 dan S2, S3 dan S4, S5 dan S6 diswitch secara komplementer

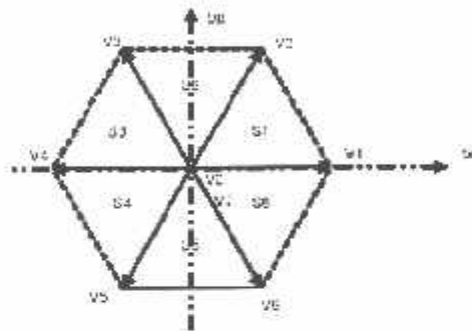
Tabel 3.1. Tegangan keluaran inverter 3 fasa

sumber: "pulse width modulation techniques, Prof ali keyhani"

Vector	Vector swicthing			Tegangan line ke line		
	S1	S3	S5	Vab	Vbc	Vca
V0	0	0	0	0	0	0
V1	1	0	0	1	0	-1
V2	1	1	0	0	1	-1
V3	0	1	0	-1	1	0
V4	0	1	1	-1	0	1
V5	0	0	1	0	-1	1
V6	1	0	1	1	-1	0
V7	1	1	1	0	0	0

2. Mencari matriks dekomposisi

Space tegangan output dibuat dengan mengaplikasikan persamaan (3-15) ke delapan vektor switching yang diberikan di tabel 3.3. Pada koordinat sistem baru ini, terdapat 6 vektor tidak nol ($V_1 - V_6$) dan dua vektor mempunyai amplitudo sama dengan nol (V_0, V_7)



Gambar 3.10. *Space vector* Output dari sistem tiga fase

Sumber: IES 2004 Politeknik Elektronika Negeri Surabaya-IIS"

3. Definisi urutan switching

Matriks dekomposisi diperlukan untuk mencari waktu switching. Misalkan vektor referensi ada di sektor 1 dan urutan switching yang diimplementasikan adalah $V_0-V_1-V_2-V_7-V_2-V_1-V_0$. Jika vektor switching $V_1, V_2, V_0/V_7$, dan waktu durasi yang diasosiasikan untuk setiap vektor adalah t_1, t_2, t_0 , maka vektor tegangan output rata-rata dari inverter pada periode sampling T_s adalah sama dengan U_{ref} , sehingga:

$$V_1.t_1 + V_2.t_2 + V_0.t_0 = U_{ref} \cdot T_s \quad \dots\dots\dots(3-16)$$

Jika persamaan (3) dipenuhi, maka :

$$t_1 + t_2 + t_0 = T_s \quad \dots\dots\dots(3-17)$$

Menulis persamaan diatas dalam bentuk matriks didapat:

$$\begin{bmatrix} V_1 & V_2 & V_0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t_1 \\ t_2 \\ t_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_{ref} \\ 1 \end{bmatrix} \cdot T_s \quad \dots\dots\dots(3-18)$$

Diinginkan agar perhitungan waktu dilakukan secara unik yaitu:

$$\begin{bmatrix} t_1 \\ t_2 \\ t_3 \end{bmatrix} = M_1 \cdot \begin{bmatrix} U_{ref}\alpha \\ U_{ref}\beta \\ 1 \end{bmatrix} \cdot T_s \cdot M_1 = \begin{bmatrix} V_1 & V_2 & V_3 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \quad \dots\dots\dots(3-19)$$

Dimana M_1 adalah matriks dekomposisi diasosiasikan dengan sektor 1. Waktu durasi dari sektor lain dihitung dengan cara serupa. Dalam bentuk tabel, persamaan dituliskan dalam tabel 2.

Tabel 3.2. Waktu swiching

SEKTOR	WAKTU SWITCHING	
1	$t_1 = \frac{T_s}{V_{dc}\sqrt{2/3}} \left(\alpha - \beta \frac{\cos 60}{\sin 60} \right)$	$t_2 = \frac{T_s}{V_{dc}\sqrt{2/3}} \left(\frac{\beta}{\sin 60} \right)$

2	$t2 = \frac{Ts}{Vdc\sqrt{2/3}} \left(\alpha + \beta \frac{\cos 60}{\sin 60} \right)$	$t3 = \frac{Ts}{Vdc\sqrt{2/3}} \left(-\alpha + \beta \frac{\cos 60}{\sin 60} \right)$
3	$t3 = \frac{Ts}{Vdc\sqrt{2/3}} \left(\frac{\beta}{\sin 60} \right)$	$t4 = \frac{Ts}{Vdc\sqrt{2/3}} \left(-\alpha - \beta \frac{\cos 60}{\sin 60} \right)$
4	$t4 = \frac{Ts}{Vdc\sqrt{2/3}} \left(-\alpha + \beta \frac{\cos 60}{\sin 60} \right)$	$t5 = \frac{Ts}{Vdc\sqrt{2/3}} \left(-\frac{\beta}{\sin 60} \right)$
5	$t5 = \frac{Ts}{Vdc\sqrt{2/3}} \left(-\alpha - \beta \frac{\cos 60}{\sin 60} \right)$	$t6 = \frac{Ts}{Vdc\sqrt{2/3}} \left(\alpha - \beta \frac{\cos 60}{\sin 60} \right)$
6	$t1 = \frac{Ts}{Vdc\sqrt{2/3}} \left(\alpha - \beta \frac{\cos 60}{\sin 60} \right)$	$t6 = \frac{Ts}{Vdc\sqrt{2/3}} \left(-\frac{\beta}{\sin 60} \right)$

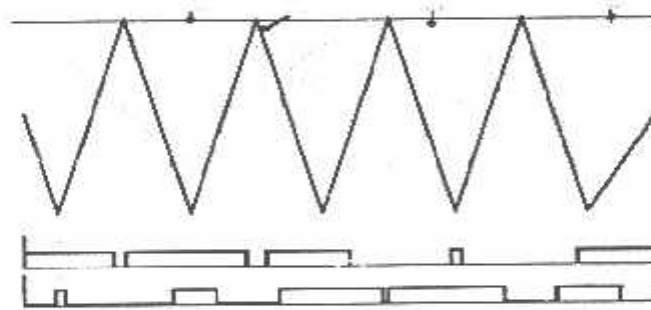
Tabel 3.3. Urutan Switching untuk 3 Phasa 3 Kawat

SEKTOR	URUTAN SIMETRIK
S1	V0-V1-V2-V7-V2-V1-V0
S2	V0-V3-V2-V7-V2-V3-V0
S3	V0-V3-V4-V7-V4-V3-V0
S4	V0-V5-V4-V7-V4-V5-V0
S5	V0-V5-V6-V7-V6-V5-V0
S6	V0-V1-V6-V7-V6-V1-V0

Urutan switching yang digunakan adalah metode DIH. Dalam metode DIH, pembagian interval vektor nol sama besar pada setiap interval sampling ($t_0 = t_7$)

3.3. PWM Sinusoida

Sebagai pembanding digunakan metode PWM Sinusoida. Metode ini menggunakan modulator individual pada masing-masing fasa. Pada metoda Sinusoidal ini sinyal sinus referensi dibandingkan dengan gelombang segitiga (carrier). Jika gelombang sinus lebih besar daripada gelombang segitiga maka PWM akan mempunyai keluaran "1" yang ditandai dengan arsir berbentuk persegi . jika sebaliknya outputnya bernilai "0".



Gambar 3.11. PWM sinusoida

"Sumber: IES 2004 Politeknik Elektronika Negeri Surabaya-ITS"

BAB IV SIMULASI DAN ANALISA

4.1. Pengujian Parameter Motor Induksi Tiga Phasa.

4.1.1. Alat-alat Yang Digunakan

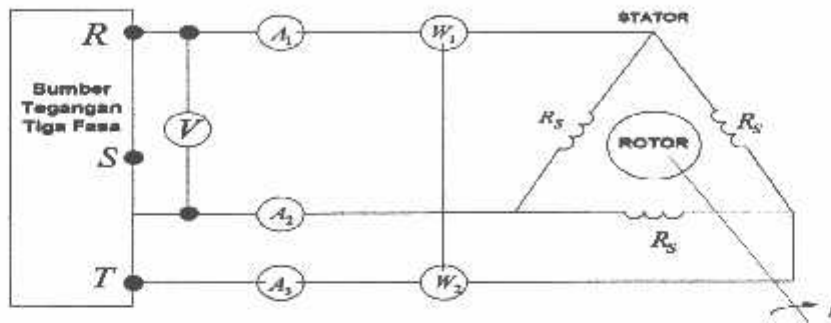
1. Motor Induksi Tiga-Phasa DE LORENZO / DL 1021

Data papan-nama (*nameplate*) :

TEGANGAN	: 220/380 (Δ / Y) VOLT
ARUS	: 4.3/2.5 (Δ / Y) AMPERE
COS φ	: 0,83
FREKUENSI	: 50 HERTZ
DAYA	: 1.1 kW
PUTARAN	: 2820 rpm
KUTUB	: 2 KUTUB
KELAS ISOLASI	: F

2. Voltmeter (3 buah)
3. Ampermeter (3 buah)
4. Wattmeter 3 \emptyset (3 buah)
5. Tachometer (1 buah)
6. AC Voltage Regulator
7. DC supply

4.1.2. Pengujian Tanpa Beban (No – Load Test)



Gambar 4.1. Rangkaian pengujian tanpa beban

Tabel 4 - 1

Data Hasil Pengujian Beban Nol

I (Ampere)			P 3Ø (Watt)	V (Volt)	F (Hz)
A ₁	A ₂	A ₃			
0.59	0.68	0.59	90	220	50

Dari pengujian beban nol

$$I_{tb} = \frac{I_{Ia} + I_{Ib} + I_{Ic}}{3} = A \quad ; I_{tb} = \frac{0.59 + 0.68 + 0.59}{3} = 0.62A$$

$$Z_{tb} = \frac{V_0}{\sqrt{3}I_0} = \frac{220}{\sqrt{3} \times 0.62} = 204.87 \Omega$$

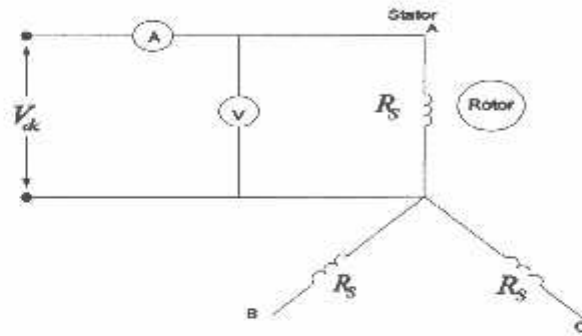
$$R_{tb} = \frac{P(3\Phi)}{3I_0^2} = \frac{90}{3 \cdot (0.62)^2} = 78.04\Omega$$

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

$$= \sqrt{204.87^2 - 78.04^2}$$

$$= 189.42 \Omega / \text{Phasa}$$

4.1.3. Pengujian Arus Searah (DC - Test)



Gambar 4.2. Rangkaian pengujian arus searah

Tabel 4 – 2

Data Hasil Pengujian Arus - Searah

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

Dari pengujian arus searah, besarnya resistansi stator adalah :

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

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

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

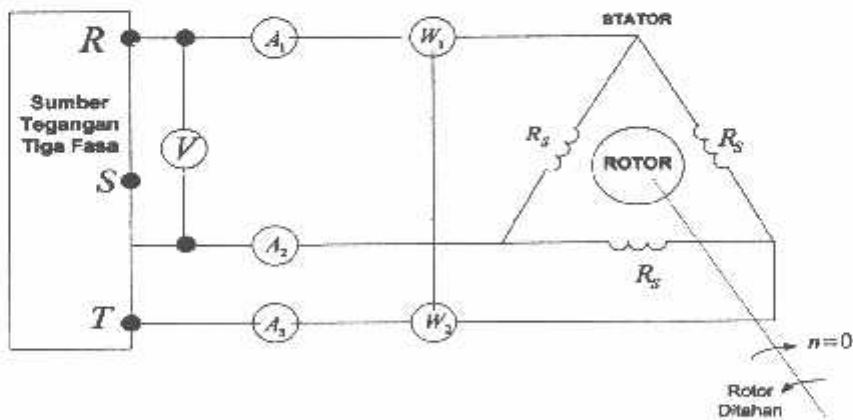
$$R_{dc(3)} = \frac{8}{1.44} = 5.55 \Omega$$

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

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

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

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



Gambar 4.3. Rangkaian pengujian rotor tertahan

Tabel 4 - 3
Data Hasil Rotor Tertahan

I (Ampere)			P 3Ø (Watt)	V (Volt)
A ₁	A ₂	A ₃		
2.01	2.03	1.97	140	65

Dari pengujian rotor tertahan

$$I_n = \frac{I_a + I_b + I_c}{3} = A \quad ; \quad I_n = \frac{2.01 + 2.03 + 1.97}{3} = 2A$$

$$Z_n = \frac{V_{l-l}}{\sqrt{3} \cdot I_0} = \frac{65}{\sqrt{3} \times 2} = 18.77 \Omega$$

$$R_n = \frac{P(3\Phi)}{3 \cdot (I_0)^2} = \frac{140}{3 \cdot (2)^2} = 11.67 \Omega$$

$$\begin{aligned} X_n &= \sqrt{Z_n^2 - R_n^2} \\ &= \sqrt{18.77^2 - 11.67^2} \\ &= 14.70 \Omega \end{aligned}$$

$$X_n = X_s + X'_r$$

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

$$X_s = X_r = 0.5 \times 14.7 = 7.35 \Omega / \text{phasa}$$

$$L_s = L_r = \frac{X_s}{2\pi f} = \frac{7.35}{2 \times 3.14 \times 50} = 2.34 \times 10^{-2} H$$

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

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

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

$$= 189,42 - 7,35$$

$$= 182,07 \Omega$$

$$L_m = \frac{X_m}{2\pi f} = \frac{182,07}{2 \times 3,14 \times 50} = 0,58 H$$

Resistansi stator dapat dipandang sebagai harga R_{sc} nya maka resistansi rotor dapat ditentukan sebagai berikut :

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

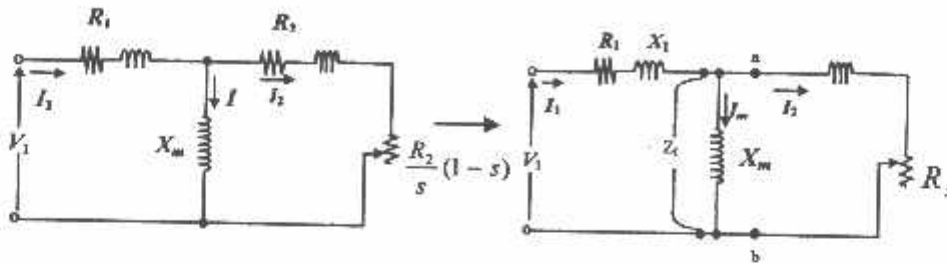
$$= 11,67 - 5,49$$

$$= 6,18 \Omega$$

$$R'_r = (R_{rc} - R_s) \left(\frac{X_r + X_m}{X_m} \right)^2$$

$$= (11,67 - 5,49) \left(\frac{7,35 + 182,07}{182,07} \right)^2$$

$$= 6,68 \Omega$$



Gambar 4.4. rangkaian ekivalen motor induksi

Dari data parameter motor induksi dapat dihitung nilai torsi yaitu :

$$V_s = 220 \text{ Volt/phasa}$$

$$n_s = \frac{120 \cdot f}{p} = \frac{120 \cdot 50}{2} = 3000 \text{ rpm}$$

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} = \frac{3000 - 2820}{3000} = \frac{180}{3000} = 0,06$$

$$\omega_s = \frac{120 \cdot f}{p \cdot 60} \cdot 2\pi = \frac{120 \cdot 50}{2 \cdot 60} \cdot 6,28 = 314 \text{ rad / s}$$

$$V_1 = \frac{220}{\sqrt{3}} = 127 \text{ volt/phasa}$$

$$V_{ab} = \frac{jX_m}{R_s + jX_s + jX_m} V_s$$

$$= \frac{j182,07}{5,49 + j7,35 + j182,07} 127 < 0^\circ$$

$$= \frac{182,07 \angle 90^\circ}{189,45 \angle 88,34^\circ} 127$$

$$= 122,05 \angle 1,66^\circ$$

$$\begin{aligned}
 Z_{ab} &= \frac{jX_m (R_s + jX_s)}{jX_m + R_s + jX_s} = \frac{j182.07(5.49 + j7.35)}{j182.07 + 5.49 + j7.35} \\
 &= \frac{1663.03 \angle 143.05^\circ}{189.45 \angle 88.34^\circ} \\
 &= 5.07 + j7.17 \text{ ohm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{jadi } Z_{ab} &= R_{ab} + X_{ab} \\
 &= 5.07 + j 7.17 \text{ ohm}
 \end{aligned}$$

$$I_{ab} = \frac{V_{ab}}{Z_{ab}} = \frac{122.05 \angle 1.66}{8.78 \angle 54.71} = 13.90 \angle -54.05$$

$$\begin{aligned}
 S &= 3 \times V_{ab} \times I_{ab} \\
 &= 3 \times 122.05 \angle 1.66 \times 13.90 \angle -54.05 \\
 &= 4794 \angle -52.39 \text{ VA}
 \end{aligned}$$

Menghitung torsi mekanik :

$$n_r = 0 \text{ rpm}, S = 1$$

$$n_r = 2820 \text{ rpm}, S = 0,06$$

$$\begin{aligned}
 I_r' &= \frac{V_{ab}}{\sqrt{(R_{ab} + R_r'/S)^2 + (X_{ab} + X_r')^2}} \\
 &= \frac{122}{\sqrt{(5.07 + 6.68/0,06)^2 + (7.17 + 7.35)^2}} \\
 &= \frac{122}{117.3982} = 1.0392 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$P_{\text{mekanik}} = 3 \cdot (I_r')^2 \cdot R_r' \cdot \left(\frac{1-S}{S} \right)$$

$$= 3 \cdot (1,0392)^2 \cdot 6,68 \cdot \left(\frac{1-0,06}{0,06} \right)$$

$$= 339.0564 \text{ Watt}$$

$$\tau_{mek} = \frac{P_{mek}}{\omega_s} = \frac{339.0564}{314} = 1.15 \text{ N/m}$$

Berdasarkan perhitungan diatas maka parameter yang digunakan dalam simulasi ini adalah :

Motor belitan sangkar 1.1 KW, 220V ,50Hz

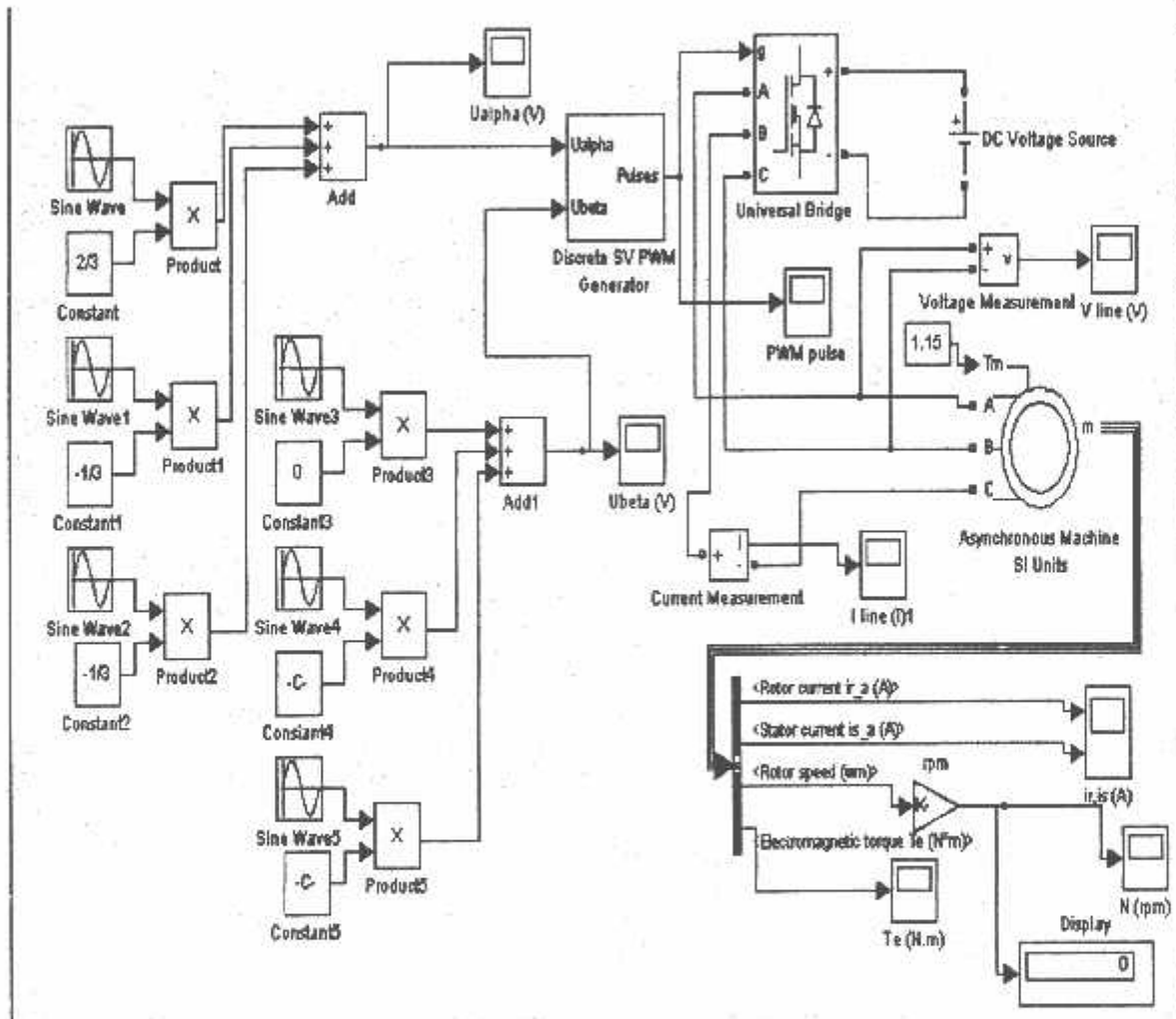
- P = 4794VA
 - V = 220 V
 - F = 50 Hz
 - Rs = 5.49 ohm
 - Rr' = 6.68
 - J.poles = 2
 - $L_s = L_r' = 2.34 \times 10^{-2} \text{ H}$
 - $L_m = 0.58 \text{ H}$
 - $\tau_m = 1.15 \text{ N/m}$
-

4.2. SIMULASI DAN ANALISA

4.2.1. Blok Simulasi

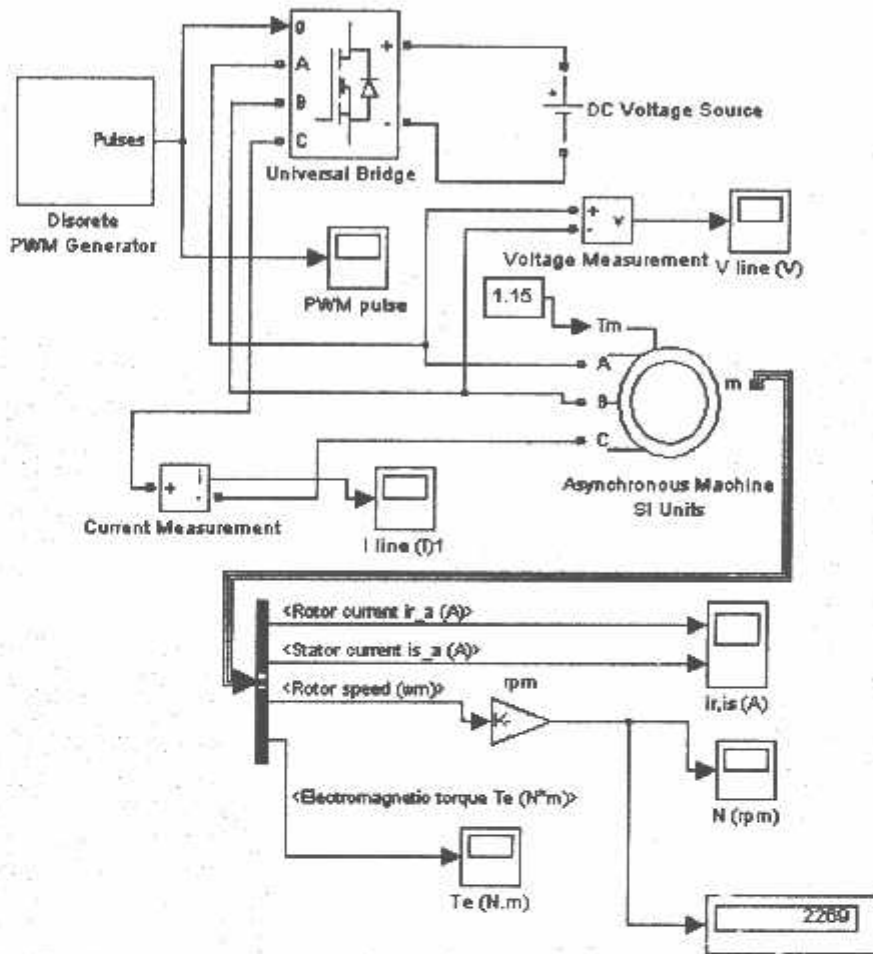
Adapun blok simulasinya adalah :

1. PWM space vector



Gambar 4.5. Diagram blok PWM space vector

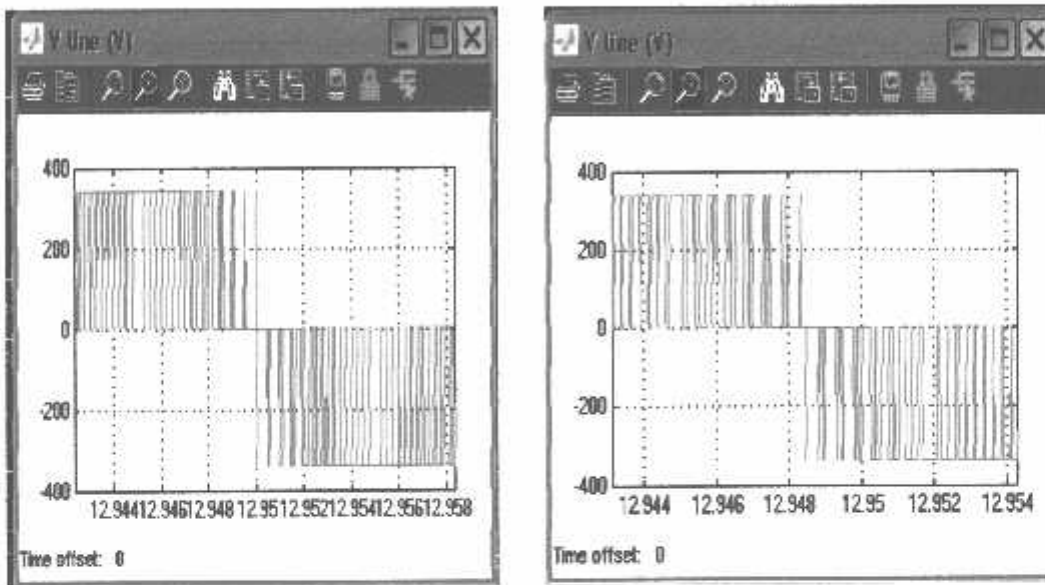
2. Sinusoidal PWM



Gambar 4.6. Diagram blok PWM sinusoida

4.2.2. TAMPILAN HASIL SIMULASI DAN ANALISA

A. Keluaran inverter

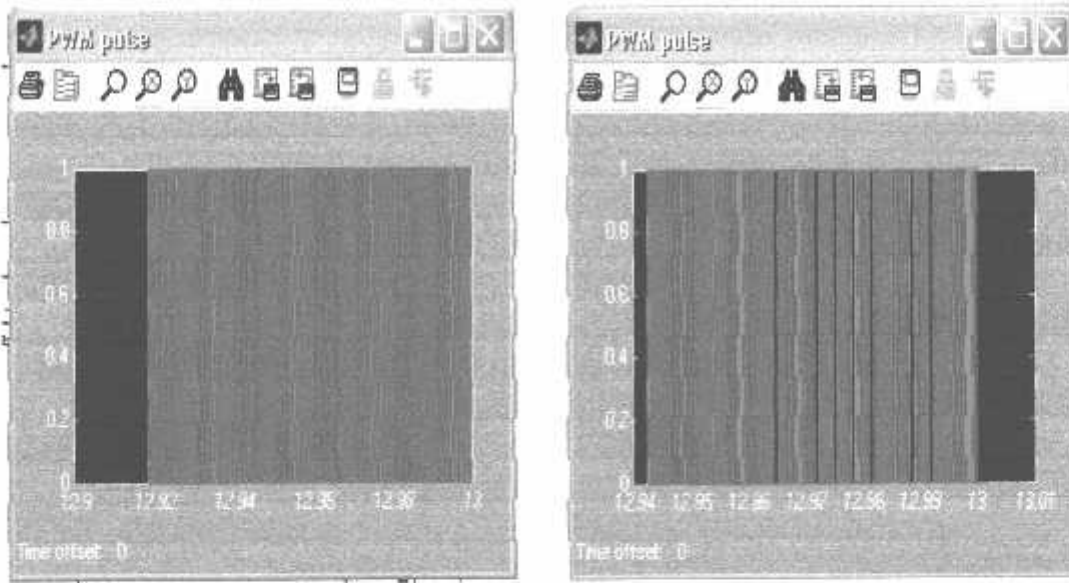


Gambar 4.7. Respon V line terhadap waktu pada keluaran inverter

(a). hasil dari PWM metode space vector

(b). hasil dari PWM sinusoida

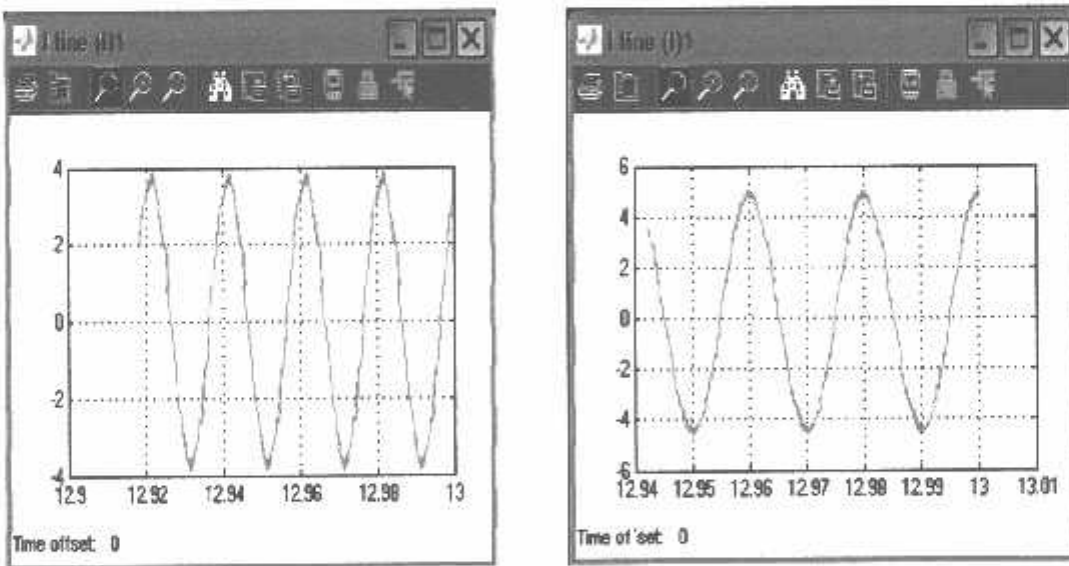
Dilihat dari gambar diatas, tegangan keluaran pada PWM space vector memiliki tegangan yang sama dibandingkan dengan PWM sinusoida hal ini berarti



Gambar 4.8. Bentuk Pulse PWM pada sinyal PWM

(a). hasil dari PWM metode space vector

(b). hasil dari PWM sinusoida



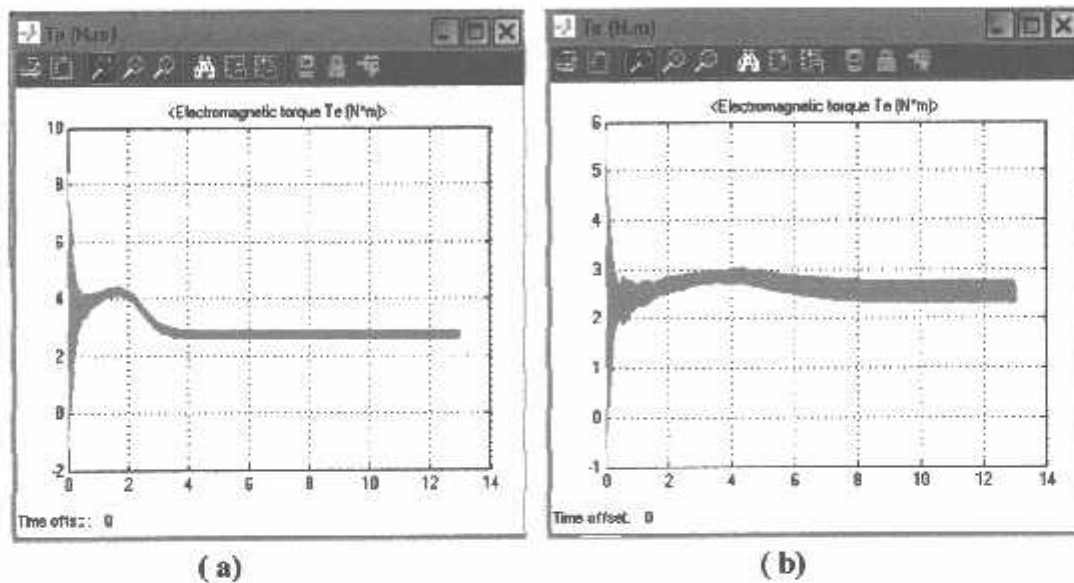
Gambar 4.9. Respon I line terhadap waktu pada keluaran inverter

(a). hasil dari PWM metode space vector

(b). hasil dari PWM sinusoida

Dilihat dari gambar diatas arus line pada PWM sinusoida memiliki arus yang besar pada keluaran inverter.

B. KELUARAN DARI MOTOR INDUKSI 3 FASA

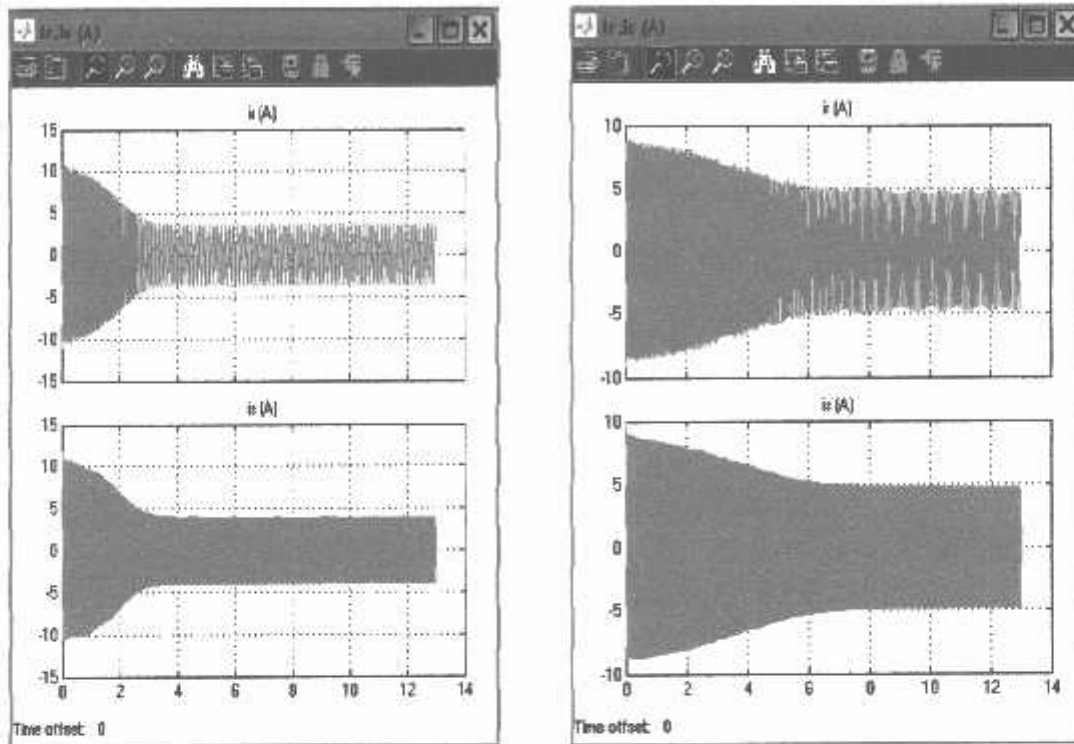


Gambar 4.10. Respon Torsi elektromagnetik terhadap waktu pada keluaran motor induksi 3 fasa

(a). hasil dari PWM metode space vector

(b). hasil dari PWM sinusoida

Dilihat dari gambar diatas keadaan transient pada masing-masing metode, metode space vector lebih cepat dalam waktu 3 detik sudah mencapai keadaan mantap/ stabil namun lonjakan torsi awal lebih tinggi yaitu 8 detik daripada metode sinusoida.

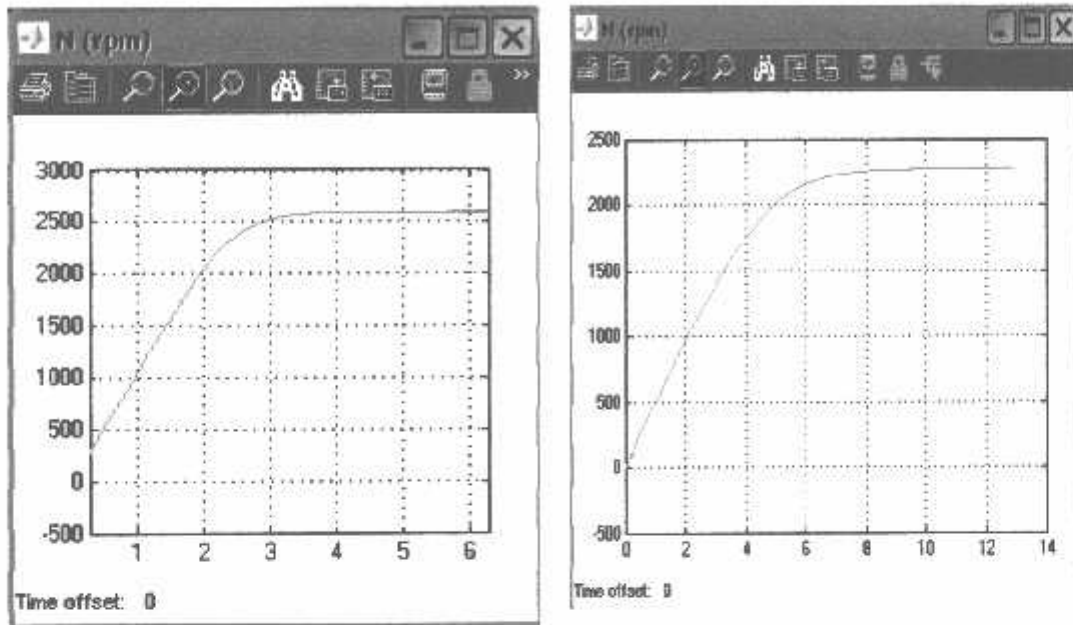


Gambar 4.11. Respon Arus Stator (I_s), Arus rotor (I_r) terhadap waktu pada keluaran motor induksi 3 fasa

(a). hasil dari PWM metode space vector

(b). hasil dari PWM sinusoida

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa pada metode space vector dalam waktu 3 detik telah mencapai keadaan mantap sedangkan metode sinusoida sekitar 6 detik baru mencapai keadaan mantap.



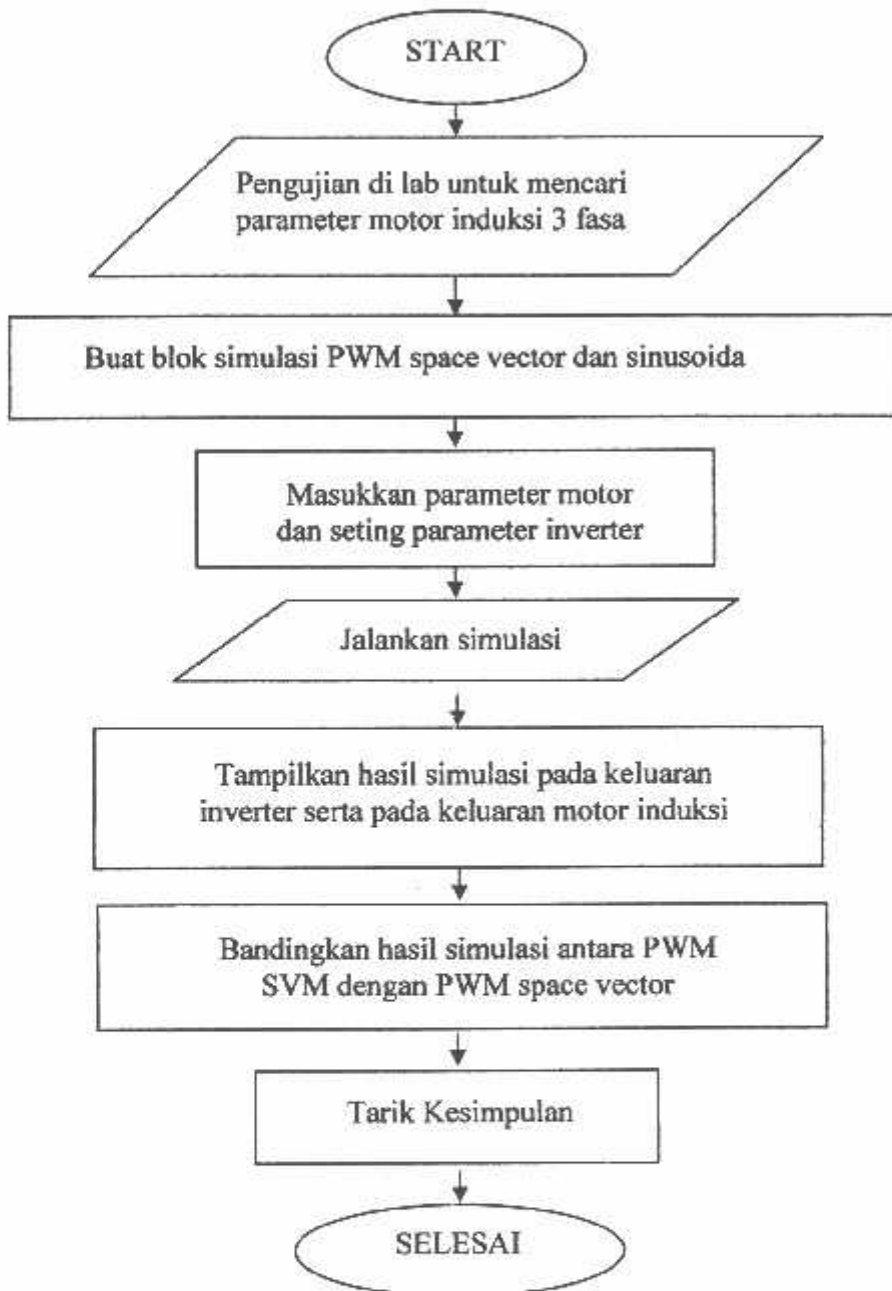
Gambar 4.12. Respon Kecepatan motor induksi terhadap waktu pada keluaran motor induksi 3 fasa

(a). hasil dari PWM metode space vector

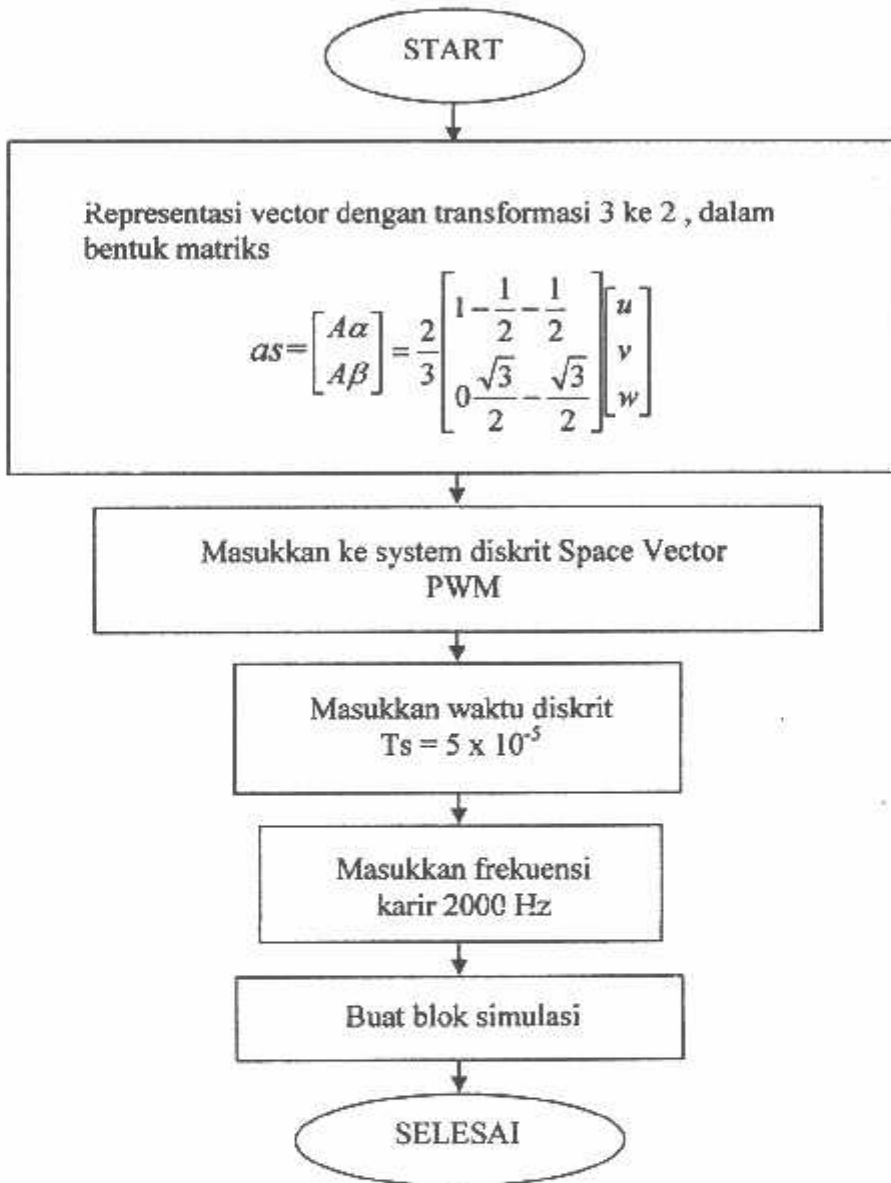
(b). hasil dari PWM sinusoida

Dari gambar diatas dapat dilihat dalam waktu 3 detik metode space vector sudah mencapai kecepatan diatas 2500 sedangkan metode sinusoida dalam waktu 10 detik belum mencapai 2500 rpm.

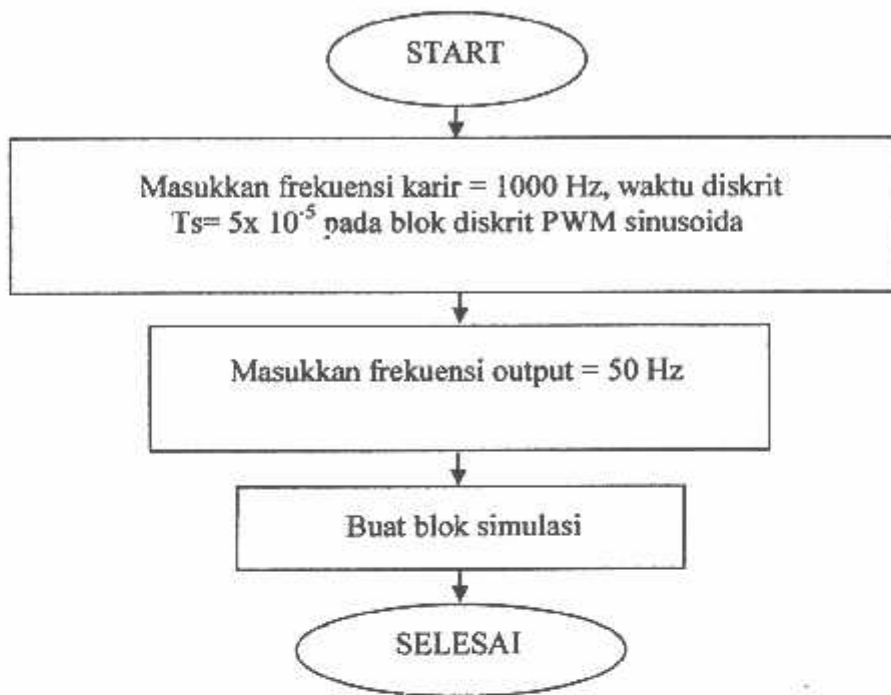
4.2.3. Flowchart simulasi analisa PWM



Gambar 4.13. Flowchart simulasi secara umum



Gambar 4.14. Flowchart pembentukan blok simulasi SV PWM



Gambar 4.15. Flowchart pembentukan blok simulasi PWM sinusoida

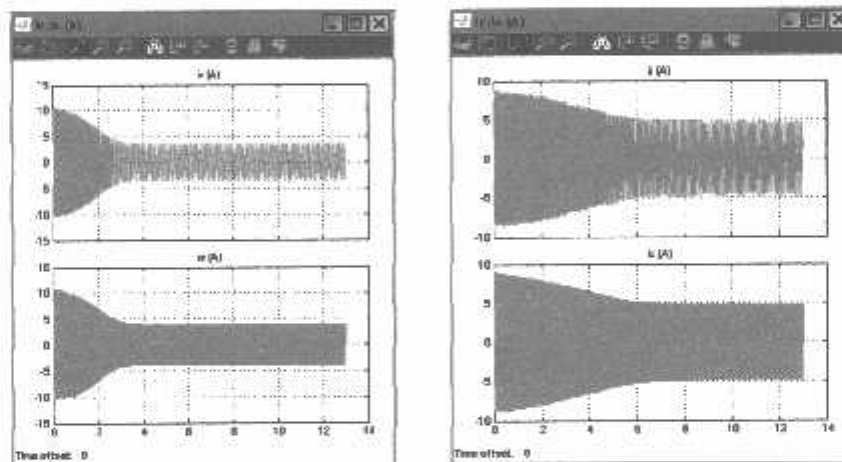
BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

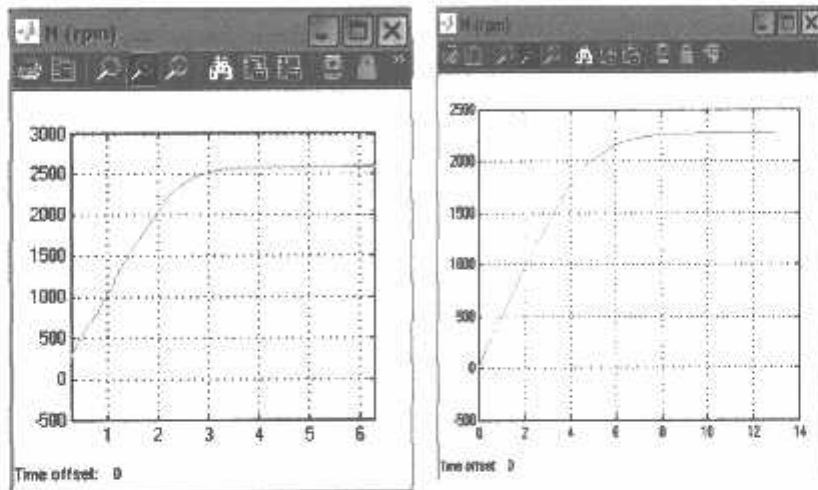
Dari hasil simulasi PWM metode SVM dibandingkan metode sinusoida dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- Metode SVM memiliki kelebihan respon transient yang lebih cepat yaitu dalam waktu 3 detik sudah mencapai kondisi mantap (gb. 4.11)



Gambar 4.11. Respon Arus Stator (I_s), Arus rotor (I_r) terhadap waktu pada keluaran motor induksi 3 fasa

- (Gb.4.12) menunjukkan pada metode SVM dalam waktu 3 detik sudah mencapai kecepatan 2500 Rpm lebih, sedangkan pada SPWM dalam waktu 10 detik hanya mencapai kurang dari 2500 Rpm.



Gambar 4.12. Respon Kecepatan motor induksi terhadap waktu pada keluaran motor induksi 3 fasa

5.2. Saran

Pengujian pada blok simulasi sebaiknya ditambah untuk menganalisa harmonisa dari keluaran inverter dan juga ditambahkan control yang lain semisal PID atau fuzzy agar keluaran dari motor lebih bagus dan dapat disesuaikan dengan yang diinginkan.

Daftar pustaka

1. Feri Yusivar dan Leo Kusuma, *Pembentukan Sinyal Pulse Width Modulation dengan Metoda Space Vector Modulation Menggunakan Matlab dalam Sistem Waktu Nyata*, IES 2004 – Politeknik Elektronika Negeri Surabaya – ITS
 2. Theodore Wildi, *Electrical Machines, Drivers, and Power systems*
 3. Thomas Wahyu Dwi Hartanto dan y. Wahyu Agung Prasetyo *Analisis dan design system control dengan matlab*. Penerbit ANDI.
 4. Prof. Ali Keyhani, *Pulse-Width Modulation (PWM) Techniques*; Department of Electrical and Computer Engineering The Ohio State University.
 5. George G. Karady, *Induction Machine*; Lecture Notes EEE 360.
-



LEMBAR BIMBINGAN SKRIPSI

1. Nama : Amalia Rizky
2. NIM : 01.12.059
3. Jurusan : Teknik Elektro S-1
4. Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
5. Judul Skripsi : Analisa Penggunaan Pwm Metode Svm
(Space Vector Modulation) Pada Inverter
Sebagai Kontrol Motor Induksi 3 Fasa
6. Tanggal Mengajukan Skripsi : 8 Maret 2006
7. Tanggal Menyelesaikan Skripsi : 21 September 2006
8. Dosen Pembimbing : Ir. M.Abdul Hamid , MT
9. Telah dievaluasi dengan nilai : 85 (Delapan puluh lima)

Malang, 28 September 2006

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1

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

Disetujui,
Dosen Pembimbing

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



**BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

Nama Mahasiswa : AMALIA RIZKY
N.I.M. : 01.12.059
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
Judul Skripsi : ANALISA PENGGUNAAN PWM METODE
SPACE VECTOR MODULATION PADA
INVERTER SEBAGAI KONTROL MOTOR
INDUKSI 3 FASA

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

Hari : Kamis
Tanggal : 21 September 2006
Dengan Nilai : 82.5 (A)



(Ir. Mochtar Asroni, MSME)
Ketua

Panitia Ujian

(Ir. F. Yudi Limpraptono, MT)
Sekretaris

Anggota Penguji

(Ir. Widodo Pudji M, MT)
Penguji I

(Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT)
Penguji II



PERMOHONAN PERSETUJUAN SKRIPSI

Yang betanda tangan dibawah ini :

Nama : AMALIA RIZKY
NIM : 01.12.059
Semester : VIII IX
Fakultas : Teknologi Industri
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
Alamat : JL. BENDUNGAN BATILUHUR 26 MALANG

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

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

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

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

Telah dibeliri kebenaran data tersebut diatas
Reecording Teknik Elektro


(.....)

Malang, 24 OKTOBER 2005
Pemohon


(AMALIA RIZKY.....)

Disetujui
Ketua Jurusan Teknik Elektro


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

Mengetahui
Dosen Wali


(Ir. CHAIRUL SALEH, MT.....)

Catatan :

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

1. IBC 290/3 2 83
2. 138
3. F. G. S. R. M. Y. G. B. K. Y.



Lampiran : 1 (satu) berkas
Pembimbing skripsi

Kepada : Yth. Bapak Ir. M. Abdul Hamid, MT
Dosen Institut Teknologi Nasional
M A L A N G

Yang Bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Amalia Rizky
Nim : 01.12.059
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik

Dengan ini mengajukan permohonan, kiranya Bapak bersedia menjadi
Dosen Pembimbing Utama, untuk penyusunan Skripsi dengan judul
(proposal terlampir):

“Analisis penggunaan pwm Metode space vector modulation
Pada inverter Sebagai kontrol motor induksi 3 ϕ ”

Adapun tugas tersebut sebagai salah satu syarat untuk menempuh ujian akhir
sarjana teknik.
Demikian permohonan kami dan atas kesediaan Bapak kami ucapkan terima
kasih.

Malang, 20 april 2006

Hormat kami

Amalia Rizky

Ketua
Jurusan Teknik Elektro S-1

Ir. F. Yudi Limpraptono, MT
Nip. 1039500274

Form S-3a



PERNYATAAN KESEDIAAN DALAM PEMBIMBINGAN SKRIPSI

Sesuai permohonan dari mahasiswa:

Nama : Amalia Rizky

Nim : 01.12.059

Semester : 10

Jurusan : Teknik Elektro S-1

Konsentrasi : Teknik Energi listrik

Dengan ini menyatakan bersedia/ tidak bersedia *) Membimbing skripsi dari mahasiswa tersebut, dengan judul:

“Analisis penggunaan pwm Metode space vector modulation
Pada inverter Sebagai kontrol motor induksi 3 ϕ ”

Demikian surat pernyataan ini kami buat agar dapat digunakan seperlunya kami.

Malang, april 2006

Kami yang membuat pernyataan,

Ir. M. Abdul Hamid, MT
NIP.

Catatan :

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

*) coret yang tidak perlu

Form S-3b



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, 19 Juli 2006

Nomor : ITN-1545/LTA/2/06
Lampiran : satu lembar
Perihal : **BIMBINGAN SKRIPSI**
Kepada : Yth. Sdr. Ir. M. ABDUL HAMID, MT
Dosen Institut Teknologi Nasional
di -
Malang

Dengan Hormat,
Sesuai dengan permohonan dan persetujuan dalam proposal skripsi melalui seminar proposal yang telah dilakukan untuk mahasiswa :

Nama : AMALIA RIZKY
Nim : 0112059
Fakultas : Teknologi Industri
Jurusan : Teknik Elektro
Konsentrasi : T. Energi Listrik (S-1)

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

22 Juni 2006 s/d 22 Des. 2006

Adapun tugas tersebut merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik, Jurusan Teknik Elektro
Demikian atas perhatian serta kerjasamanya yang baik kami ucapkan terima kasih



Ketua
Jurusan Teknik Elektro S-1

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

Tindakan :

1. Mahasiswa yang bersangkutan
2. Arsip.




Form. S-4a



BERITA ACARA SEMINAR SKRIPSI JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1

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

1.	Nama Mahasiswa: <u>AMALIA RZKY</u>	Nim: <u>01.12.0501</u>
2.	Keterangan	Tanggal
	Pelaksanaan	<u>13 SEPTEMBER 08</u>
Waktu		
Tempat		
Ruang		
Spesifikasi Judul (berilah tanda silang)**)		
3.	a. Sistem Tenaga Elektrik	e. Elektronika & Komponen
	b. Energi & Konversi Energi	f. Elektronika Digital & Komputer
	c. Tegangan Tinggi & Pengukuran	g. Elektronika Komunikasi
	d. Sistem Kendali Industri	h. lainnya
4.	Judul Proposal yang diseminarkan Mahasiswa	<u>AMALIA..... PENGELOMPOKAN..... RUMAH..... METODE.....</u>
		<u>SVM PADA INVERTOR SEBAGAI CONTROL MOTOR INDUKSI.....</u>
5.	Perubahan Judul yang diusulkan oleh Kelompok Dosen Keahlian/Pengamat
6.	Keputusan: Dari hasil penilaian sejumlahorang dosen keahlian danorang dosen pengamat sesuai format penilaian terlampir, peserta seminar tersebut diatas (1) dengan judul skripsi (4) dinyatakan LULUS/TIDAK LULUS *) dengan nilai Kumulatif:(angka) atau(huruf)	
Persetujuan Judul Skripsi		
7.	Disetujui, Dosen Keahlian I	Disetujui, Dosen Keahlian II

	Disetujui, Dosen Pengamat I	Disetujui, Dosen Pengamat II
		
	Mengetahui, Ketua Jurusan.	Disetujui, Dosen Pembimbing
	<u>Ir. F. Yudi Limpraptono, MT</u> NIP. P. 1039500274	 <u>(Ir. M. ABDUL HAMID, MT)</u>

Perhatian:

- Keterangan: *) Coret yang tidak perlu
**) dilingkari a, b, c, atau g sesuai bidang keahlian