

SKRIPSI

**ANALISIS PENGGUNAAN *DIRECT TORQUE CONTROL*
MENGUNAKAN *SPACE VECTOR MODULATION* PADA
MOTOR INDUKSI 3 PHASA DENGAN *MATLAB SIMULINK*
DI LABORATORIUM KONVERSI ENERGI ELEKTRIK
ITN MALANG**



Disusun oleh :

DEDE MAHMUDIN

NIM : 0212065

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

SEPTEMBER 2007

LEMBAR PERSETUJUAN

**ANALISIS PENGGUNAAN *DIRECT TORQUE CONTROL*
MENGUNAKAN *SPACE VECTOR MODULATION* PADA
MOTOR INDUKSI 3 PHASA DENGAN *MATLAB SIMULINK*
DI LABORATORIUM KONVERSI ENERGI ELEKTRIK
ITN MALANG**

SKRIPSI

*Disusun dan Diajukan Untuk Melengkapi dan Memenuhi
Persyaratan Guna Mencapai Gelar Sarjana Teknik Elektro (S-1)*

Disusun Oleh :

DEDE MAHMUDIN

02.12.065

Malang, September 2007

Diperiksa dan disetujui,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

(Ir. M. Abdul Hamid, MT)

NIP. Y. 1018800188

(Ir. Eko Nurcahyo)

NIP. Y. 1028700172

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1

(Ir. F. Yudi Limpraptono, MT)

NIP. Y. 1039500274

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

**Analisis Penggunaan *Direct Torque Control*
Menggunakan *Space Vector Modulation*
Pada Motor Induksi 3 Fasa Dengan *Matlab Simulink*
Di Laboratorium Konversi Energi Elektrik Itn Malang**

(Dede Mahmudin Nim : 02.12.065)

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

Dosen Pembimbing II : Ir. Eko Nurcahyo

ABSTRAK

pada saat ini terdapat beberapa metode pengontrolan torsi motor induksi 3 fasa yang sering digunakan, diantaranya *direct torque control* konvensional dan *direct torque control* dengan menggunakan *space vector modulation*. DTC (*direct torque control*) merupakan salah satu metode untuk mengontrol torsi motor induksi yang menghasilkan respon torsi motor yang cepat tetapi memiliki kekurangan yaitu memiliki ripple yang tinggi. Untuk mengurangi ripple yang tinggi maka digunakan *direct torque control* dengan metode *space vector modulation*. *Softwer matlab simulink* di gunakan dalam proses analisa untuk mebandingkan antara DTC (*direct torque control*) konvensional dan *direct torque control* dengan menggunakan *space vector modulation*.

Dimana pada DTC SVM memiliki ripple yang lebih sedikit jika dibandingkan dengan DTC konvensional dimana untuk torsi beban 1 Nm, 0.8 Nm, dan 0.6 Nm. Maka didapatkan Hasil rata-rata perbandingan antara DTC Konvensional dengan DTC SVM yaitu : Untuk ripple torsi maksimum 0.18 Nm. Untuk riple pada arus 0.62 Amp. Untuk kecepatannya 0.6 rad/sec. Untuk fluksi stator dan rotor hampir memiliki nilai yang tetap walaupun terdapat perubahan torsi beban. DTC SVM fluks stator mencapai nilai 0.23 Wb, fluks rotor 0,21 Wb, pada DTC Konvensional memiliki ripple. Besarnya fluks tersebut mencapai 0.25 Wb, fluks rotor mencapai 0.24 Wb. Untuk respons torsi juga pada DTC-SVM memiliki respons torsi yang lebih cepat, dimana untuk DTC SVM memiliki respons dari $t=0.0$ s, sedangkan untuk DTC Konvensional respons dimulai dari 0.1 s. Jadi untuk penggunaan DTC SVM mampu mengurangi ripple pada penggunaan DTC Konvesional. DTC SVM mampu meningkatkan kecepatan motor dan memiliki ripple arus yang lebih kecil.

Kata kunci: motor induksi, *direct torque control*, *dte using space vector modulation*.

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 Konsentrasi 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 utama
5. Bapak Ir. Eko Nurcahyo. Selaku dosen pembimbing pendamping
6. Kedua orang tua untuk doa dan dukungannya selama ini
7. 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, Agustus 2007

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
ABSTRAKSI.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR	ix

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	2
1.4. Batasan Masalah.....	2
1.5. Metodologi Penelitian	3

BAB II KONSEP DASAR MOTOR INDUKSI TIGA PHASA

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 Magnet Putar	7

2.4. Prinsip Kerja Motor Induksi.....	8
2.4.1. Slip dan Frekuensi Arus Rotor.....	10
2.5. Karakteristik T ~ S.....	11
2.6. Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi.....	13
2.6.1. Rangkaian Ekuivalen Stator.....	14
2.6.2. Rangkaian Ekuivalen Rotor.....	14
2.6.3. Rangkaian Ekuivalen DQ Motor Induksi.....	17
2.7. Operasional Motor Induksi.....	19
2.7.1. Performa <i>Steady State</i>	19
2.7.2. Performa Transient.....	20
2.8. Pengujian Motor Induksi Tiga Phasa.....	23
2.8.1. Pengujian Arus Searah (<i>DC Test</i>).....	23
2.8.2. Pengujian Tanpa Beban (<i>No-Load Test</i>).....	24
2.8.3. Pengujian Rotor Tertahan (<i>Blocked Rotor Test</i>).....	25
2.9. Pemodelan Motor Induksi 3 Phasa.....	27
2.9.1. Matlab Simulink.....	27

BAB III *DIRECT TORQUE CONTROLLER*

3.1. <i>Direct Torque Controller</i>	31
3.2. <i>DTC Using Space Vector Modulation</i>	34
3.2.1. <i>Space Vector Modulation</i>	34
3.2.1.1. Tegangan <i>space vector</i>	34

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

4.1. Menentukan Parameter Motor Induksi.....	50
4.1.1. Alat-alat yang digunakan	50
4.1.2. Pengujian Arus Searah (<i>DC Test</i>)	51
4.1.3. Pengujian Tanpa Beban (<i>No Load Test</i>).....	51
4.1.4. Pengujian Rotor Tertahan (<i>Blocked Rotor Test</i>).....	52
4.2. Analisa Parameter Motor Induksi.....	52
4.3. Tampilan Blok Simulink DTC SVM.....	57
4.4. Tampilan Blok Simulink DTC Konvensional.....	58
4.5. Hasil Simulasi	60
4.5.1. Hasil Simulasi Dengan Menggunakan DTC SVM	61
4.5.2. Hasil Simulasi Dengan Menggunakan DTC Konvensional....	61

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan.....	82
5.2. Saran.....	84

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel 3-1	<i>Vector Selection Table</i>	33
Tabel 3-2	tegangan keluaran inverter 3 fasa	41
Tabel 3-3	Waktu swiching.....	43
Tabel 3-4	Urutan swiching untuk 3 phasa 3 kawat	44
Tabel 4-1	Data Pengujian Arus Searah	51
Tabel 4-2	Data Hasil Pengujian Beban Nol	51
Tabel 4-3	Data Hasil Pengujian Rotor Tertahan	52
Tabel 4-4	Hasil Perhitungan Pengujian Parameter Motor Induksi Tiga Phasa...55	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1	Konstruksi Motor Induksi	5
Gambar 2-2	Stator Tiga Phasa Motor Induksi.....	6
Gambar 2-3	Motor Induksi Rotor Belitan Dan Rotor Sangkar Bajing.....	7
Gambar 2-4	Medan Putar Pada Motor Induksi.....	8
Gambar 2-5	Karakteristik T-S	11
Gambar 2-5	Rangkaian Ekuivalen Stator	13
Gambar 2-6	Rangkaian Ekuivalen rotor.....	14
Gambar 2-7	Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi.....	16
Gambar 2-8	Rangkaian Ekuivalen DQ Motor Induksi.....	17
Gambar 2-9	Karakteristik Motor Induksi keadaan <i>steady state</i>	20
Gambar 2-10	Transient Respons Pada Starting Motor Induksi 3 HP	21
Gambar 2-11	Karakteristik Motor Torsi Pada Beban Berubah	21
Gambar 2-12	Pengujian Arus Searah (<i>DC Test</i>)	23
Gambar 2-13	Rangkaian Pengujian Tanpa Beban (<i>No Load Test</i>).....	24
Gambar 2-14	Rangkaian Pengujian Rotor Tertahan	26
Gambar 2-15	Simulink Library Pada MATLAB 7.0.....	28
Gambar 2-16	Contoh Penggunaan Simulink	29
Gambar 2-17	Contoh Tampilan M-Files.....	30
Gambar 3-1	Blok Kontrol DTC.....	31
Gambar 3-2	Pengaruh Flux Rotor Terhadap Torsi	33

Gambar 3-3	Direct Torque Operation	34
Gambar 3-4	delapan topologi tegangan vector inverter	35
Gambar 3-5	(a). Topologi 1-V! (pnn) dari suatu inverter (vsi)	36
Gambar 3-5	(b). Penyajian dari topologi 1-V! (pnn) dalam (α, β)	36
Gambar 3-6	<i>Non-Zero voltage vector</i> dalam α, β plane	37
Gambar 3-7	(a). topologi tegangan keluaran nol	38
Gambar 3-7	(b). penyajian vector tegangan nol dalam dimensi α, β	38
Gambar 3-8	(a). vector tegangan keluaran pada α, β	39
Gambar 3-8	(b). tegangan line keluaran pada waktu domain.....	39
Gambar 3-9	hasil perkiraan vector tegangan keluaran pada sector 1	40
Gambar 3-10	<i>space vector</i> output dari sistem tiga fasa	40
Gambar 4-1	Blok Simulink Untuk DTC SVM.....	57
Gambar 4-2	Blok Simulink Untuk DTC Konvensional	58
Gambar 4-3	Tampilan Parameter Motor	59
Gambar 4-4	Tampilan Table Switching Untuk DTC	59
Gambar 4-5	Torsi Beban Inputan	60
Gambar 4-6	DTC SVM	61
Gambar 4-7	DTC Konvensional.....	61
Gambar 4-8	Arus DTC SVM	62
Gambar 4-9	Arus DTC Konvensional	63
Gambar 4-10	kecepatan Motor DTC SVM	64
Gambar 4-11	kecepatan Motor DTC Konvensional.....	64
Gambar 4-12	Fluksi Stator dan Rotor DTC SVM.....	65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1	Konstruksi Motor Induksi	5
Gambar 2-2	Stator Tiga Phasa Motor Induksi.....	6
Gambar 2-3	Motor Induksi Rotor Belitan Dan Rotor Sangkar Bajing.....	7
Gambar 2-4	Medan Putar Pada Motor Induksi.....	8
Gambar 2-5	Karakteristik T-S	11
Gambar 2-5	Rangkaian Ekuivalen Stator	13
Gambar 2-6	Rangkaian Ekuivalen rotor.....	14
Gambar 2-7	Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi.....	16
Gambar 2-8	Rangkaian Ekuivalen DQ Motor Induksi.....	17
Gambar 2-9	Karakteristik Motor Induksi keadaan <i>steady state</i>	20
Gambar 2-10	Transient Respons Pada Starting Motor Induksi 3 HP	21
Gambar 2-11	Karakteristik Motor Torsi Pada Beban Berubah	21
Gambar 2-12	Pengujian Arus Searah (<i>DC Test</i>)	23
Gambar 2-13	Rangkaian Pengujian Tanpa Beban (<i>No Load Test</i>)	24
Gambar 2-14	Rangkaian Pengujian Rotor Tertahan	26
Gambar 2-15	Simulink Library Pada MATLAB 7.0	28
Gambar 2-16	Contoh Penggunaan Simulink	29
Gambar 2-17	Contoh Tampilan M-Files.....	30
Gambar 3-1	Blok Kontrol DTC.....	31
Gambar 3-2	Pengaruh Flux Rotor Terhadap Torsi	33

BAB I

PENDAHULUAN

1. Latar Belakang

Penggunaan motor induksi yang mencakup dunia luas baik dalam bidang industri maupun dalam kehidupan sehari-hari membuat motor jenis ini mendapat perhatian dari para pengguna serta pabrik pembuatannya untuk semakin meningkatkan mutu dari suatu motor induksi yang dihasilkan sehingga tidak mengecewakan para konsumennya. Motor induksi yang kecil digunakan untuk peralatan rumah tangga misalnya untuk mesin cuci, dan lemari es, sedangkan motor induksi dengan kapasitas yang besar digunakan pada dunia industri sebagai pompa, fan, compresor dan banyak lainnya.

Pada umumnya motor induksi biasanya sering disimulasikan dan dianalisa dalam kondisi *steady state*, tetapi untuk mempelajari pengendalian dalam bidang elektrik metode *Direct Torque Control* dengan menggunakan *Space Vector Modulation* juga sangat penting.

Hal-hal yang berhubungan dengan metode *Direct Torque Control* dengan menggunakan *Space Vector Modulation* adalah untuk mengontrol torsi pada motor inuksi 3 fasa

BAB II TEORI DASAR

2.1. Teori Dasar Motor Induksi.

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

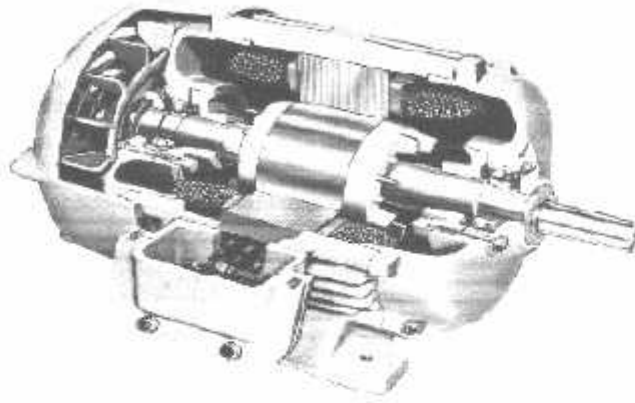
Dinamakan motor tak serempak (*asynchrone*) karena putaran poros motor tidak sama dengan putaran medan fluks magnet stator. Dengan kata lain, bahwa antara putaran rotor dan putaran fluks magnet terdapat selisih putaran yang disebut slip.

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

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

2.2. Konstruksi Motor Induksi

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

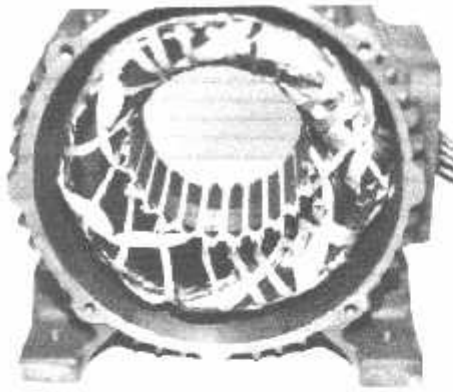


Gambar 2-1
Konstruksi Motor Induksi ^[6]

2.2.1. Stator

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

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



Gambar 2-2
Stator Tiga-Phasa Motor Induksi ^[6]

2.2.2. Rotor

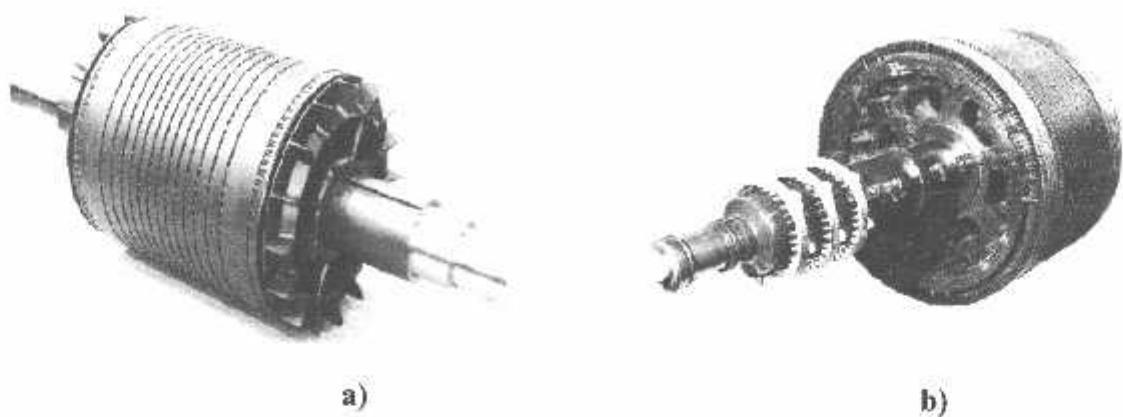
Konstruksi dari rotor motor induksi mempunyai dua bentuk, yaitu :

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

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

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

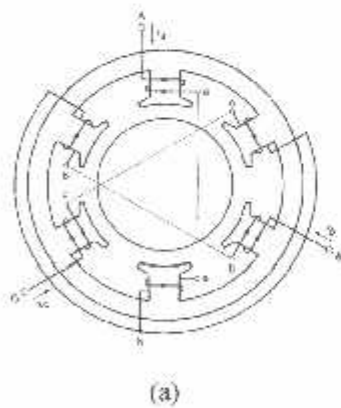
Motor induksi jenis ini mempunyai rotor dengan kumparan yang terdiri atas beberapa batang konduktor yang disusun sedemikian rupa sehingga menyerupai sangkar tupai.

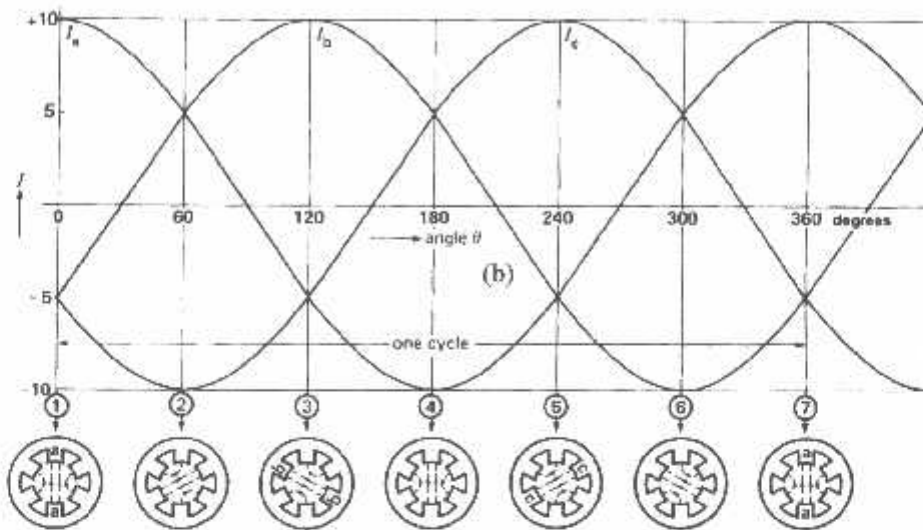


Gambar 2-3 : a) Rotor Sangkar^[6]
 b) Rotor Belitan^[6]

2.3. Medan Magnet Putar

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





Gambar 2-4 : Medan Putar Pada Motor Induksi ^[1]

Medan putar terjadi apabila kumparan A-a, B-b, C-c dihubungkan tiga phasa dengan beda phasa masing-masing 120° (hubungan bintang, Y) dan dialiri arus sinusoida. Distribusi i_a , i_b , i_c sebagai fungsi waktu adalah seperti gambar 2-4b. Pada keadaan t_1 fluks resultan mempunyai arah yang sama dengan arah yang dihasilkan oleh kumparan A-a, sedangkan pada t_3 , fluks resultannya dihasilkan oleh kumparan B-b. Untuk t_4 , fluks resultannya berlawanan arah dengan fluks resultan yang dihasilkan pada t_1 . Dari gambar 2-4 b tersebut terlihat bahwa fluks resultan ini akan berputar satu kali.

2.4 Prinsip Kerja Motor Induksi

Motor induksi tiga phasa dapat dibandingkan dengan transformator karena merupakan piranti yang melibatkan perubahan kebocoran fluks pada kumparan stator. Dalam hubungan ini diasumsikan bahwa rotor terdiri atas tipe lilitan dan hubungan bintang. Dengan lilitan rotor dalam keadaan rangkaian terbuka tidak

ada torsi yang dibangkitkan. Dengan demikian pemberian tegangan tiga fasa pada kumparan stator tiga fasa menimbulkan medan magnet putar dan memotong kumparan rotor pada frekuensi f_1 . Nilai rata-rata ggl induksi per fasa dari kumparan rotor dinyatakan dengan persamaan :

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

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

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

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

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

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

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

Untuk menghasilkan torsi mula (dan torsi penggerak berturut-turut) perlu arus yang mengalir dalam kumparan rotor. Mula-mula ggl induksi E_2 mengakibatkan arus rotor I_2 mengalir melalui rangkaian hubung-singkat, menghasilkan distribusi *ampere-conductor* yang berkerja dengan medan fluks untuk menghasilkan torsi mula. Pengaruh torsi ini selalu mengakibatkan rotor berputar dalam arah yang sama sebagaimana medan putar. Anggaplah bahwa

medan fluks putar searah jarum jam pada kecepatan tertentu yang bergantung pada frekuensi stator dan banyaknya kutub dari kumparan stator. Kecepatan ini disebut “kecepatan sinkron” dan dinyatakan :

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

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

2.4.1. Slip dan Frekuensi Arus Rotor

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

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

Pada keadaan diam medan magnet putar yang dihasilkan oleh stator mempunyai kecepatan relatif yang sama dengan kumparan rotor. Pada saat ini frekuensi dari arus rotor sama dengan frekuensi stator ($f_r = f_s$). Frekuensi rotor f_r adalah nol ketika motor berputar pada kecepatan sinkron. Pada saat tersebut tidak terdapat gerakan (putaran) relatif antara medan putar dan rotor. Pada kecepatan yang lain, frekuensi rotor proporsional dengan slip (s). Hubungan antara slip dan frekuensi dapat dilihat dari persamaan berikut ini^[2] :

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

dimana : p = jumlah kutub

f_s = frekuensi stator

Pada rotor berlaku hubungan :

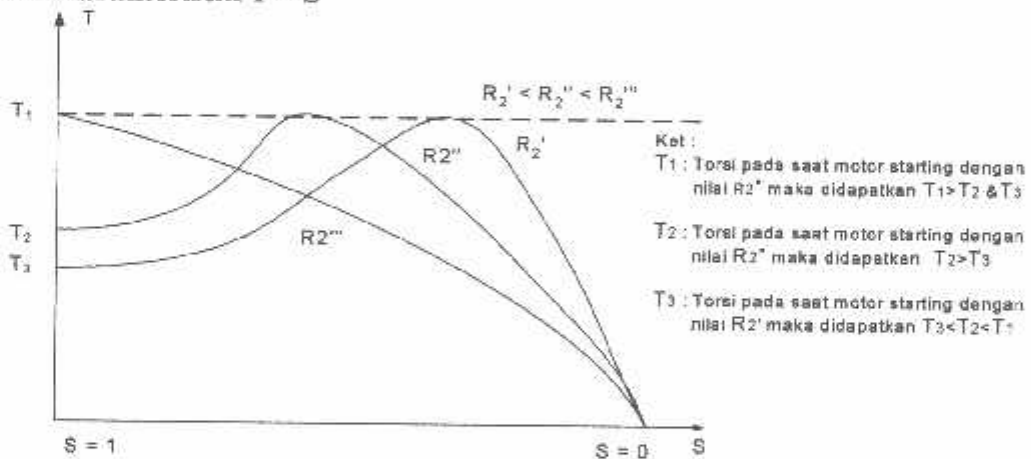
$$f_r = \frac{(n_s - n_r)p}{120} = \frac{(n_s - n_r)n_s p}{n_s 120} \dots\dots\dots (2.7)$$

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

Maka :

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

2.5 Karakteristik T ~ S



Gambar 2-5 Kurva T ~ S^[10]

$$T = \frac{3}{\omega} V_1^2 \frac{S_a^2 R_2}{(a^2 R^2)^2 + S^2 (a^2 X_2)^2} \dots\dots\dots (2.9)$$

Berapa harga S agar harga T maksimum? Harga S untuk mendapatkan T maksimum adalah bila $dT/dS = 0$ diperoleh harga T maksimum pada saat

$$S = \pm R_2 / X_2 \dots\dots\dots (2.10)$$

$$T_{maks} = \pm 3V_1^2 / 2\omega\alpha^2 X_2 \dots\dots\dots (2.11)$$

Dari ketiga persamaan tersebut dapat ditarik beberapa kesimpulan. Dari persamaan (2.9) diketahui bahwa untuk harga S kecil di mana $S^2(a^2 X_2)^2$ dapat diabaikan. Maka kopel sebanding dengan S ($T \sim S$). Dari persamaan (2.10) diketahui bahwa untuk memperoleh kopel maksimum pada saat *start* ($S = 1$) ialah dengan membuat $R_2 = X_2$. harga kopel maksimum dapat diubah dengan mengatur harga X_2 atau tegangan sumber V_1 (lihat persamaan (2.11)). dari persamaan (2.9) diketahui bahwa kopel akan menjadi nol ketika $S = \pm \infty$. Persamaan (2.9) dan (2.10) menunjukkan bahwa R_2 tidak mengubah harga kopel maksimum, melainkan hanya mengubah harga S pada saat kopel maksimum terjadi. Perubahan R_2 dalam hubungannya dengan kopel (T) dan slip (S) dapat dilihat dari kurva berikut pada Gambar dibawah ini.

2.6 Rangkaian Ekuivalen

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

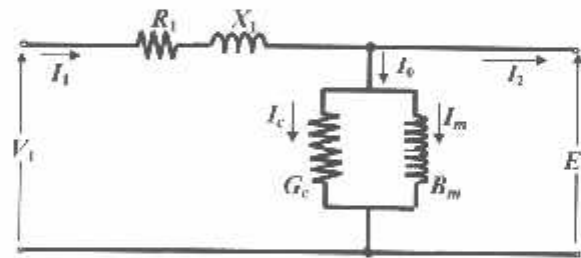
1. Stator sebagai sisi primer

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

2.6.1 Rangkaian Ekuivalen Stator

Apabila kumparan stator diberikan tegangan catu dari jala-jala sebesar V_L , 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 2-6

Rangkaian Ekuivalen Stator¹¹¹

- Dimana :
- V_1 = tegangan terminal per-fasa
 - R_1 = resistansi kumparan stator per-fasa
 - X_1 = reaktansi bocor kumparan stator per-fasa
 - E_1 = tegangan induksi (ggl) per-fasa di dalam kumparan stator
 - G_c = konduktansi rugi-rugi inti stator per-fasa

B_m = suseptansi magnetisasi stator per-fasa

2.6.2 Rangkaian Ekivalen Rotor

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

$$X_2' = sX_2 \dots\dots\dots (2.9)$$

$$X_2 = 2\pi f_s L_2 \dots\dots\dots (2.10)$$

dimana X_2 merupakan reaktansi rotor pada start atau diam.

Tegangan induksi pada rotor :

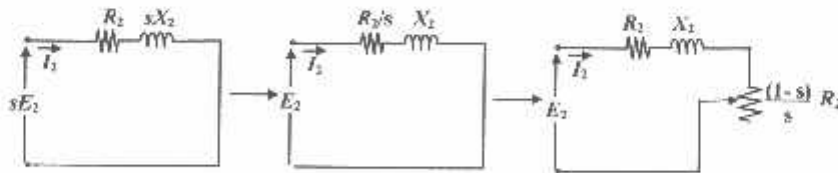
$$E_2 = 4,44f_2 N_2 \Phi_m \dots\dots\dots (2.11)$$

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

$$E_2' = 4,44s f_1 N_2 \Phi_m \dots\dots\dots (2.12)$$

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

$$E_2' = s E_2 \dots\dots\dots (2.13)$$



Gambar 2-7 Rangkaian Ekivalen Rotor^[1]

Dimana :

S = Slip

E_2 = tegangan induksi per-fasa di dalam rotor pada keadaan diam

R_2 = resistansi kumparan rotor per-fasa berpatokan pada stator

X_2 = reaktansi bocor rotor per-fasa berpatokan pada stator

Berdasarkan persamaan (2.10) dan (2.14) maka diperoleh rangkaian ekuivalen rotor seperti pada gambar 2-6.

Besar arus rotor (I_2) saat berputar adalah :

$$I_2 = \frac{sE_2}{\sqrt{R_2^2 - (sX_2)^2}} \dots\dots\dots(2.14)$$

Atau

$$I_2 = \frac{E_2}{\sqrt{\left(\frac{R_2}{s}\right)^2 + X_2^2}} \dots\dots\dots(2.15)$$

Sedangkan torsi untuk motor induksi dapat dihtung dengan menggunakan rumus:

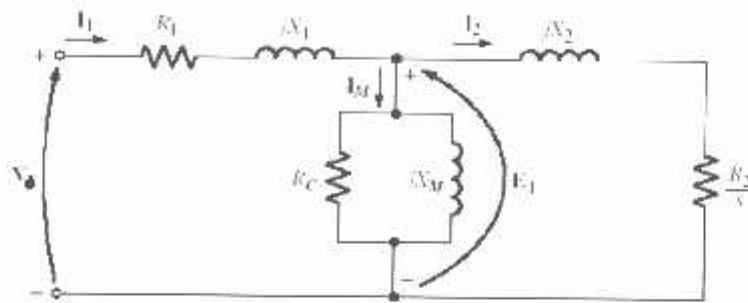
$$Po = T_o \cdot \omega_r \dots\dots\dots(2.16)$$

$$T_o = \frac{P_o}{\omega_r} \dots\dots\dots(2.17)$$

$$\omega_r = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_r}{60} \dots\dots\dots(2.18)$$

$$Pin = \sqrt{3} \cdot V_l \cdot I \cdot \cos \varphi \dots\dots\dots(2.19)$$

Jadi rangkaian ekuivalen secara keseluruhan ketika motor berjalan adalah sebagai berikut:

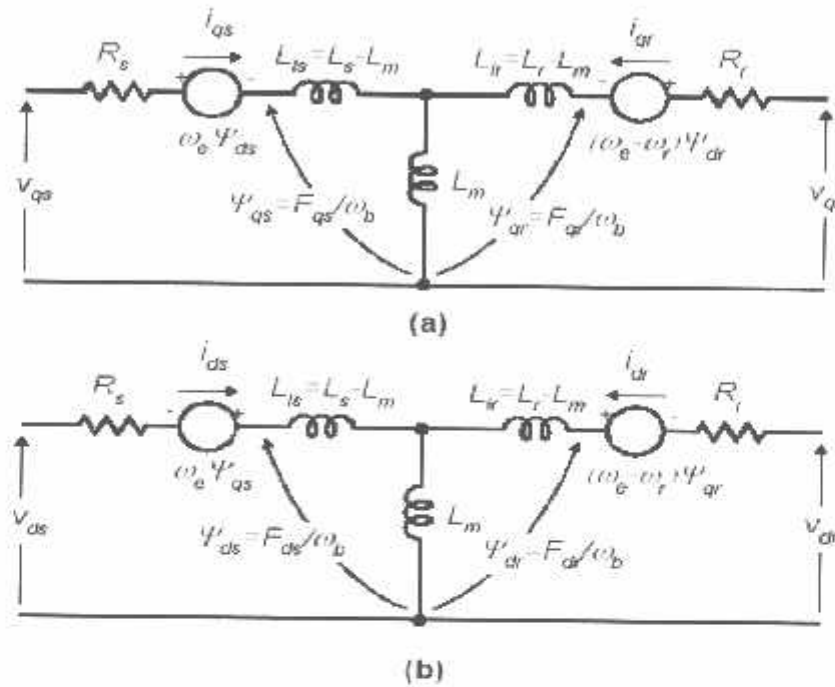


Gambar 2-8
Rangkaian Ekivalen Motor Induksi ^[4]

Dimana

- V_1 = tegangan terminal
- R_1 = resistansi kumparan stator
- X_1 = reaktansi kumparan stator
- X_m = reaktansi magnetik (ohm)
- I_1 = Arus Input (amp)
- I_2 = Arus Rotor (amp)
- I_m = Arus Magnetisasi (amp)
- E_1 = tegangan induksi (ggl) di dalam kumparan stator (volt)
- S = slip
- R_2 = resistansi kumparan rotor (ohm)
- X_2 = reaktansi bocor rotor (ohm)
- R_c = Resistansi Rugi Inti (ohm)
- P_o = Daya Output (Watt)
- P_{in} = Daya Input (Watt)
- T_o = Torsi Mekanik (Nm)
- ω_r = Kecepatan sudut rotor (rad/sec)

Untuk dapat melakukan menganalisis respons transient pada motor induksi dengan perubahan torsi mekanik yang bervariasi maka rangkaian ekivalen harus dirubah dalam bentuk rangkaian DQ



Gambar 2-9
Rangkaian Ekivalen DQ Motor Induksi ^[2]

$$v_{qs} = r_s i_{qs} + \frac{\omega}{\omega_b} \Psi_{ds} + \frac{P}{\omega_b} \Psi_{qs} \dots\dots\dots(2.20)$$

$$v_{ds} = r_s i_{ds} + \frac{\omega}{\omega_b} \Psi_{ds} + \frac{P}{\omega_b} \Psi_{ds} \dots\dots\dots(2.21)$$

$$v_{qs} = r_s i_{qs} + \frac{P}{\omega_b} \Psi_{qs} \dots\dots\dots(2.22)$$

$$v'_{qr} = r' i'_{qr} + \left(\frac{\omega - \omega_r}{\omega_b} \right) \Psi'_{dr} + \frac{P}{\omega_b} \Psi'_{qr} \dots\dots\dots(2.23)$$

$$v'_{dr} = r'i'_{dr} + \left(\frac{\omega - \omega_r}{\omega_b} \right) \Psi'_{qr} + \frac{P}{\omega_b} \Psi'_{dr} \dots\dots\dots(2.24)$$

$$v'_{or} = r'i'_{or} - \frac{P}{\omega_b} \Psi'_{or} \dots\dots\dots(2.25)$$

$$\Psi'_{qr} = X_{is}i_{qs} + X_M (i_{qr} + i'_{qr}) \dots\dots\dots(2.26)$$

$$\Psi'_{ds} = X_{is}i_{ds} + X_M (i_{ds} + i'_{dr}) \dots\dots\dots(2.27)$$

$$\Psi'_{or} = X_{is}i_{os} \dots\dots\dots(2.28)$$

$$\Psi'_{qr} = X'_{sr}i'_{qr} + X_M (i_{qs} + i'_{qr}) \dots\dots\dots(2.29)$$

$$\Psi'_{dr} = X'_{sr}i'_{dr} + X_M (i_{ds} + i'_{dr}) \dots\dots\dots(2.30)$$

$$\Psi'_{or} = X'_{sr}i'_{or} \dots\dots\dots(2.31)$$

Dimana

- d : sumbu *direct*
- q : sumbu *quadrature*
- r : rotor variabel
- F_{ij} : fluks
- V_{qs}, V_{ds} : Tegangan stator sumbu q dan d
- F_{mq}, F_{md} : Fluks Magnetic sumbu q dan d
- R_r : Rotor Resistance
- R_s : Stator Resistance
- X_{is} : Reaktansi Stator
- X_{ir} : Reaktansi Rotor
- I_{qs}, I_{ds} : Arus stator sumbu q dan d
- I_{qr}, I_{dr} : Arus Rotor sumbu q dan d
- P : Jumlah dari Kutub
- T_e : Torsi Output Elektrik
- T_L : Torsi Beban

- J : Moment Inertia
 ω_s : Frekuensi elektrik sudut stator
 ω_b : Frekuensi dasar elektrik sudut motor

Pada umumnya pada sebuah motor induksi telah terdapat informasi pada name plate dimana data informasi itu merupakan dasar dalam pengopersian motor tersebut. Data tersebut berupa:

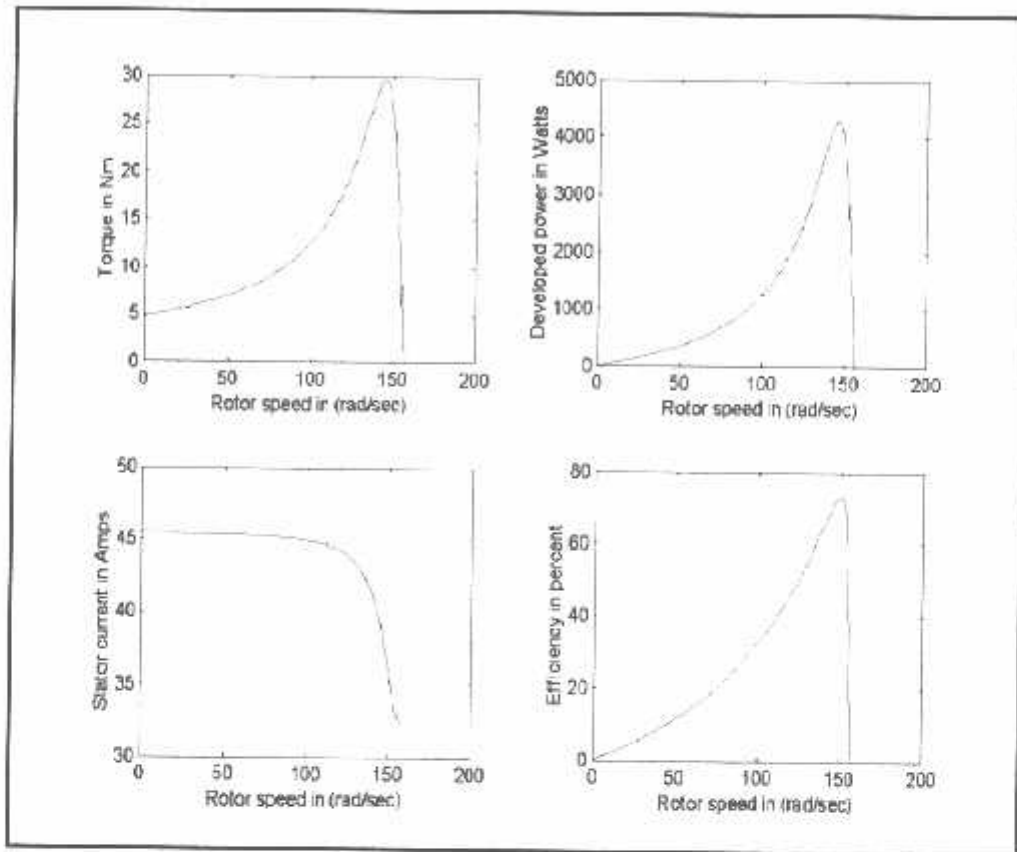
- Daya Output (Hp/KW)
- Tegangan Nominal $V_{V-\Delta}$ (Volt)
- Arus Nominal (Amp)
- Power Faktor
- Kecepatan (rpm)
- Jumlah Kutub

2.7 Operasional Motor Induksi

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

2.7.1 Performa *Steady State*

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



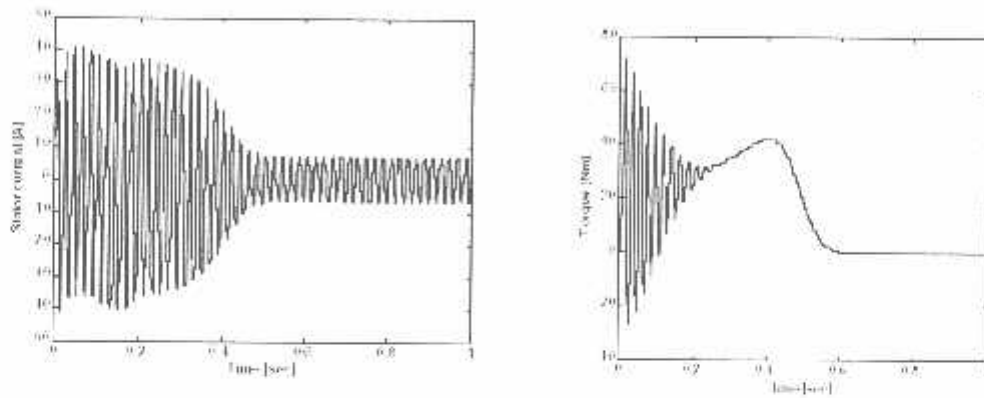
Gambar 2-10
Karakteristik Motor Induksi keadaan *steady state* ^[8]

2.7.2 Performa Transient

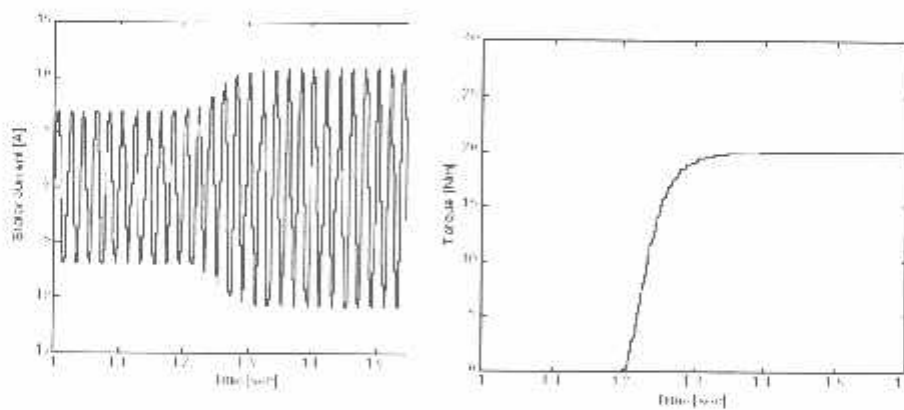
Keadaan transient atau peralihan merupakan kondisi motor sesaat dimana keadaan berubah-ubah dan dapat menentukan beberapa faktor penting dalam pengendalian motor, sedangkan keadaan *steady state* adalah kondisi dimana motor dalam keadaan mantap.

Kondisi pada awal atau start, pengereman, perubahan kecepatan akan mengalami keadaan transient pada motor induksi. Misalnya pada keadaan

start motor induksi dengan kapasitas besar akan menghasilkan arus starting yang besar dimana besarnya 3 sampai 8 kali arus nominal yang tertera pada name plate motor.



Gambar 2-11
Transient Respons Pada Starting Motor Induksi 3 HP ^[4]



Gambar 2-12
Karakteristik Motor Torsi Pada Beban Berubah ^[4]

Beban motor induksi merupakan factor yang penting dalam stabilitas power system karena adanya beberapa alasan yaitu:

- Perubahan yang cepat dari penambahan beban

- Untuk beban dengan power faktor rendah akan meminta daya reaktif yang tinggi
- Akan menyebabkan tegangan turun ketika beban pada motor ditambah

Perubahan arus torsi dan tegangan yang terjadi misalnya pada keadaan penambahan torsi beban yang berubah-ubah merupakan informasi yang diperlukan oleh teknisi di bidang kontrol sehingga dapat menentukan jenis pengaman yang akan digunakan dan peralatan kontrol yang mana akan digunakan. Keadaan transien berlangsung dalam waktu yang cukup singkat tetapi jika diperhatikan secara baik akan menyebabkan bahaya pada motor tersebut. Jadi adanya transient respons ini sangat berhubungan dengan waktu.

Perubahan torsi beban pada motor akan mempengaruhi, arus stator, tegangan dan fluks rotor. Tidak semua motor dijalankan pada torsi yang konstan misalnya suatu motor dijalankan pada 0,5 dari torsi rata-rata pada awal dan torsi penuh setelah motor berjalan beberapa detik. Faktor-faktor dalam ini merupakan suatu gejala peralihan ketika motor dioperasikan dengan beban ataupun torsi yang berubah-ubah. Perubahan ini juga akan mengakibatkan pada arus, dan flux rotor. Ketika motor pertama kali dijalankan atau pada kondisi startup dapat diketahui akan mengalami transient respons adanya gejala naik turun arus, tegangan, kecepatan dan flux sebelum motor tersebut beroperasi dalam kondisi steady state.

Dalam menganalisa gejala transient ada motor induksi, maka motor induksi digunakan dalam dua fasa yaitu motor dalam D (direct) dan Q (quadrature)

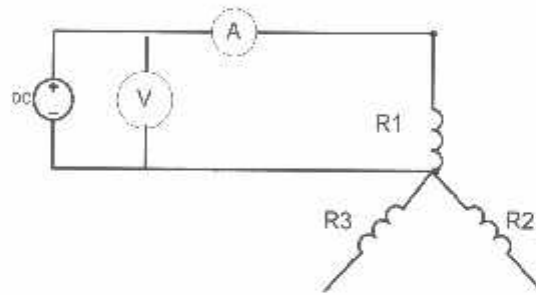
sumbu. Konsep ini dianggap mudah karena terdiri dari dua pengaturan medan yaitu pada stator dan pada rotor.

2.8 Pengujian Motor Induksi Tiga Phasa

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

2.8.1. Pengujian Arus Searah (*DC Test*)

Tujuan dari pengujian arus searah (*DC Test*) adalah untuk menentukan nilai resistansi stator. Diagram pengukuran ditunjukkan pada gambar 2.10.



Gambar 2-13
Pengujian Arus Searah (*DC Test*)

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

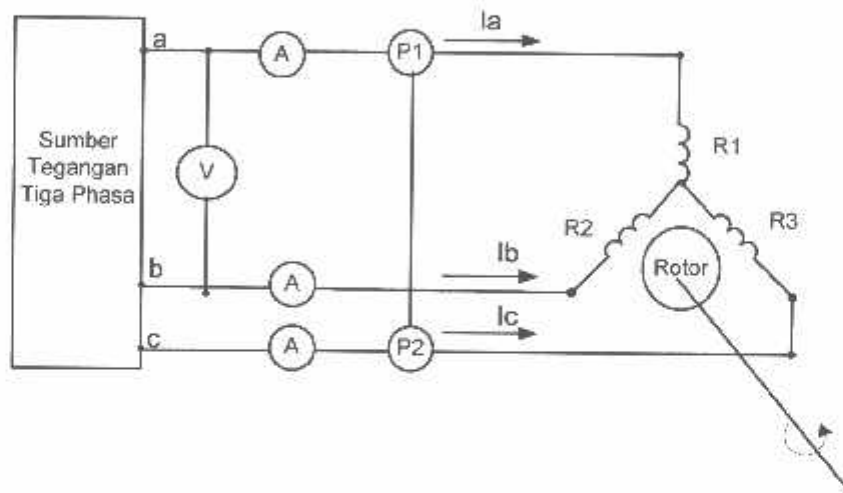
untuk nilai resistansi kumparan a dan b :

$$R_{ab} = R_1 = \frac{V_{IX}}{I_{DC}} \Omega \dots\dots\dots(2.32)$$

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

2.8.2 Pengujian Tanpa Beban (*No-Load Test*)

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



Gambar 2-14
Rangkaian Pengujian Tanpa Beban (*No Load Test*)

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

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

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

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

$$V_{nl} = \frac{V_{ab}}{\sqrt{3}} \text{ Volt/ fasa} \dots\dots\dots(2.33)$$

Untuk arus pada no load

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

$$Z_{nl} = \frac{V}{I_m} \text{ ohm} \dots\dots\dots (2.35)$$

$$R_{nl} = \frac{P_{3\phi}}{3I_a} \text{ ohm} \dots\dots\dots (2.36)$$

$$X_{nl} = \sqrt{Z_{nl}^2 - R_{nl}^2} \text{ ohm} \dots\dots\dots (2.37)$$

R_c , resistansi rugi-rugi inti :

$$P_c = P_{nl} - P_{rs} \dots\dots\dots (2.38)$$

$$R_c = \frac{E_a^2}{P_c} \text{ ohm/phase} \dots\dots\dots (2.39)$$

Rugi Rugi Stator

$$P_{rs} = 3I_{nl}^2 \cdot R_s \text{ (Watt)} \dots\dots\dots (2.40)$$

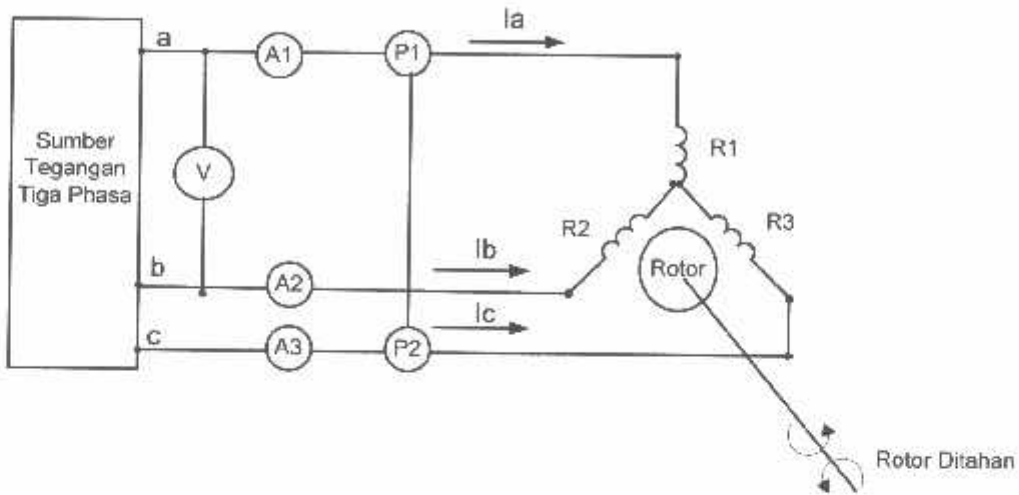
Rugi Gesek, angin, rugi besi :

$$P_{fwc} = P_{nl} - P_{rs} \text{ (Watt)} \dots\dots\dots (2.41)$$

2.8.3 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 2-15
Rangkaian Pengujian Rotor Tertahan (*Blocked Rotor*)

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

$$P_{3-\phi} = P_1 + P_2 \text{ watt} \dots \dots \dots (2.42)$$

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

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

$$P_{br} = \frac{P_{3-\phi}}{3} \text{ watt/fasa} \dots \dots \dots (2.43)$$

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

$$V_{br} = \frac{V_{ab}}{\sqrt{3}} \text{ Volt/fasa} \dots \dots \dots (2.44)$$

I_{br} , arus phasa stator :

$$I_{br} = \frac{I_a + I_b + I_c}{3} \text{ Ampere} \dots \dots \dots (2.45)$$

R_{ek} , resistansi ekivalen :

$$R_{ek} = \frac{P_{br}}{I_{br}^2} \text{ ohm/phasa} \dots \dots \dots (2.46)$$

Untuk R_r' , resistansi rotor berpatokan pada stator :

$$R_r' = R_{ek} - R_s \text{ ohm/phasa} \dots \dots \dots (2.47)$$

Z_{br} , Impedansi rotor tertahan :

$$Z_{br} = \frac{V_{br}}{I_{br}} \text{ ohm/phasa} \dots \dots \dots (2.48)$$

X_{ek} , reaktansi ekivalen :

$$X_{ek} = \sqrt{(Z_{br}^2 - R_{ek}^2)} \text{ ohm/phasa} \dots \dots \dots (2.49)$$

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

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

2.9 Pemodelan Motor Induksi 3 Phasa

2.9.1 Matlab Simulink

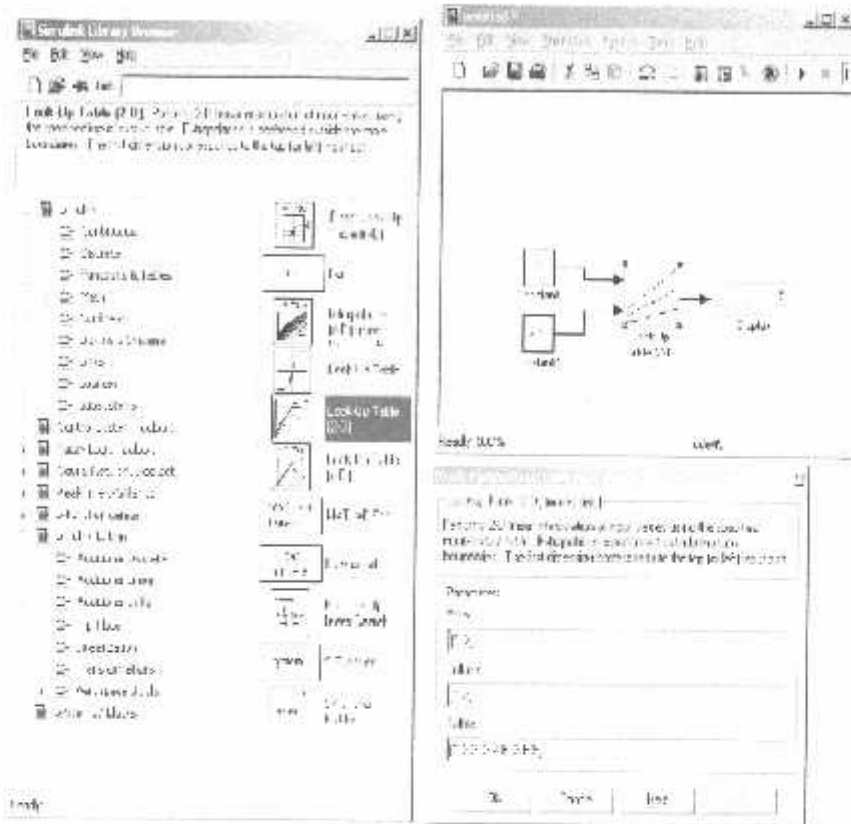
MATLAB merupakan suatu software yang sangat baik untuk digunakan untuk menganalisa berbagai kebutuhan dalam bidang teknik. Didalam matlab terdapat dua bagian penting yaitu M-files yang berfungsi untuk menuliskan listing programnya dan Simulink yang digunakan untuk melakukan simulasi.

Dengan menggunakan Simulink yang merupakan kesatuan dalam program tersebut kita dapat melakukan suatu pemodelan sistem kontrol atau suatu plant yang akan diatur. Hal itu dapat didesain dengan menggunakan blok-blok yang telah tersedia serta setting parameter-parameter akan menjadi lebih mudah. Blok-blok simulink dapat juga dibentuk dari persamaan matematika dengan menggunakan blok *transfer function* sehingga kita dapat menuliskan persamaan dalam blok tersebut sesuai dengan parameter yang akan kita cari.



Gambar 2.16
Simulink Library Pada MATLAB 6.1

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



Gambar 2-17
Contoh Penggunaan Simulink

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

```

C:\Baik\My Papers\Accepted\IFNDC 2003\PARAHU17
File Edit View Text Debug Breakpoints Web Window Help
[Icons] Stack [Drop]
4 % initialization
5
6 Rz=.39; %rotor resistance
7 Rs=.19; %stator resistance
8 Lls=.21e-3; %stator inductance
9 Llr=.6e-3; %rotor inductance
10 Lm=4e-3; %magnetizing inductance
11 fb=100; %base frequency
12 p=4; %number of poles
13 J=0.0226; %moment of inertia
14
15 Lc=Lr+Lm;
16 Tr=Lc/Rr;
17
18 % impedance and angular speed calculations
19
20 w=2*pi*fb; %base speed
21 Xls=w*Lls; %stator impedance
22 Xlr=w*Llr; %rotor impedance
23 Xm=w*Lm; %magnetizing impedance
24 Xrotor=1/(1/JLs+1/Xst+1/Xlr);
script Ln 24 Col 20

```

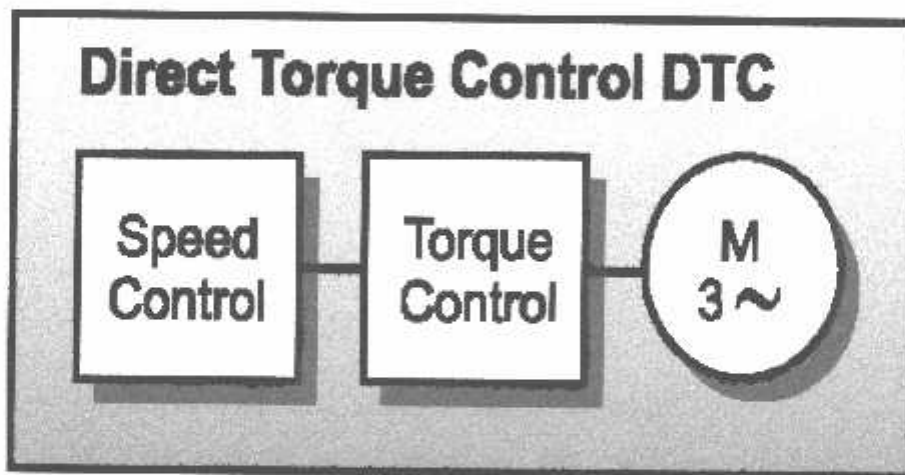
Gambar 2-18
Contoh Tampilan M-Files

Dalam skripsi ini digunakan MATLAB versi 6.1 dengan membentuk blok-blok simulink dengan menggunakan persamaan – persamaan motor induksi berdasarkan rangkaian DQ

BAB III DIRECT TORQUE CONTROLLER

3.1 *Direct Torque Controller*

Torsi motor secara sederhana dapat dikontrol dengan menggunakan *Field Orient Control* (FOC). Ini meliputi transformasi arus stator ke sebuah bentuk synchronous referensi DQ yang merupakan tipe untuk mengontrol fluksi rotor. Pada metode ini torsi dan fluksi menghasilkan komponen arus stator. Dengan menggunakan PI controller yang berfungsi untuk mengatur output tegangan yang dipakai arus stator kemudian menghasilkan torsi.



Gambar 3.1

Blok Kontrol DTC¹⁵¹

Direct Torque Controller pada motor induksi dipergunakan untuk memprediksi tegangan untuk menyuplai torsi output. Jadi untuk pengontrolan dengan metode *Direct Torque Controller* merupakan pengendalian torsi motor

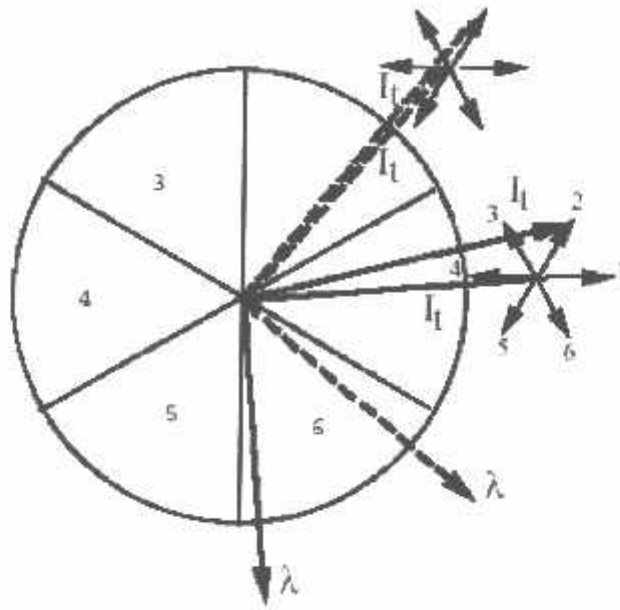
dengan inputan torsi yang menjadi referensi dan fluks yang menjadi referensi. Dengan sebuah rangkaian *closed loop* maka dapat dibandingkan nilai torsi elektrik yang menjadi referensi dan nilai torsi elektrik ketika motor diberi beban luar, adanya torsi error kemudian dengan menggunakan metode DTC maka akan mengatur tegangan dan masuk ke dalam motor Induksi sehingga dapat mengikuti torsi beban. *Direct torque Controller* merupakan suatu metode pengontrol torsi motor induksi yang menghasilkan respons yang cepat dan jelas.

Pada prinsipnya DTC suatu metode dengan memilih satu dari inverter 6 vektor control dan dua vektor nol untuk tetap menjaga torsi tetap sesuai dengan referensi. Torsi pada motor induksi dapat ditulis dengan persamaan dibawah ini:

$$T_e = \frac{3}{2} \cdot \frac{P}{L_s} \cdot \frac{L_m}{L_r} \cdot |\lambda_r| \cdot |\lambda_s| \cdot \sin \alpha \dots\dots\dots(3.1)$$

Dari persamaan diatas torsi yang dihasilkan bergantung pada stator fluksi, magnitude dan sudut antara stator dan rotor fluks vectors.

Pengaruh perubahan position dari flux terhadap torsi motor induksi dapat terlihat pada gambar di bawah ini.



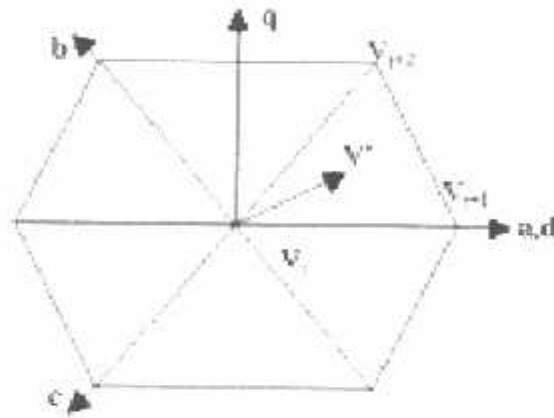
Gambar 3-2
Pengaruh Flux Rotor Terhadap Torsi ^[5]

Sebuah dua level inverter hanya dapat menghasilkan *six non zero* Vektor tegangan dan dua vector nol, ini mungkin untuk membuat table untuk menghitung vektor tegangan yang digunakan berdasarkan posisi dari fluks stator dan perubahan yang terjadi pada fluksi stator dan torsi. Tabel dinamakan *Vector Selection Table*.

$\Delta\lambda$		Sector					
		1	2	3	4	5	6
↑	↑	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_1
	0	V_0	V_0	V_0	V_0	V_0	V_0
	↓	V_6	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5
↓	↑	V_3	V_4	V_5	V_6	V_1	V_2
	0	V_0	V_0	V_0	V_0	V_0	V_0
	↓	V_5	V_6	V_1	V_2	V_3	V_4

TABEL 3-1 *Vector Selection Table.*

Untuk merubah fluks stator dan torsi pada system control DTC maka dapat menggunakan vector 6 tegangan dan vector tegangan nol. Variasi pengatur vector tegangan adalah seperti pada gambar dibawah ini



Gambar 3-3
Direct Torque Operation ^[5]

3.2 DTC Using Space Vector Modulation

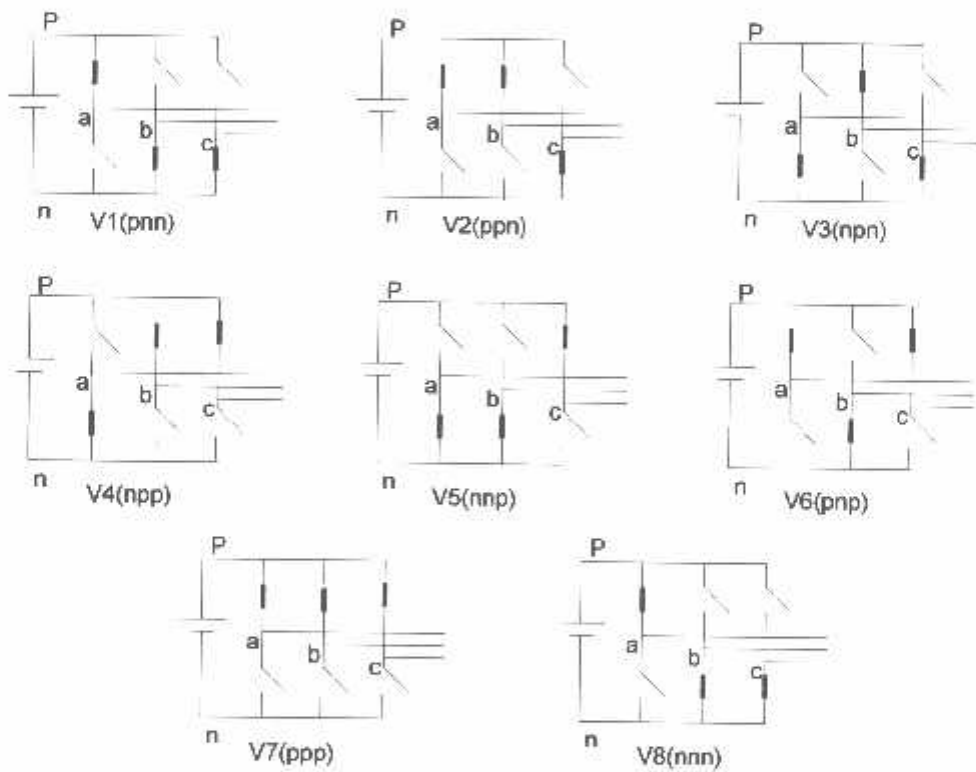
3.2.1. Space Vector Modulation

3.2.1.1. Tegangan space vector

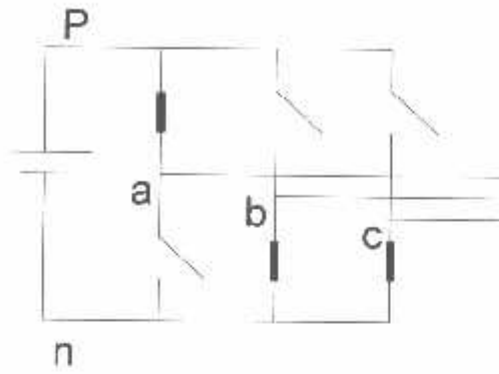
Space vector modulation (SVM) Untuk SVI (sumber tegangan inverter) 3 kaki berdasarkan pada penyajian 3 fasa sebagai vector dalam dua dimensi sudut (α, β). Melihat topologi satu pada gambar 3.4. yang mana diulangi pada gambar 3.5 dapat kita lihat bahwa tegangan line V_{ab}, V_{bc}, V_{ca} diberikan oleh

$$\begin{aligned}
 V_{ab} &= g \\
 V_{bc} &= 0 \\
 V_{ca} &= -g
 \end{aligned}
 \dots\dots\dots(3-2)$$

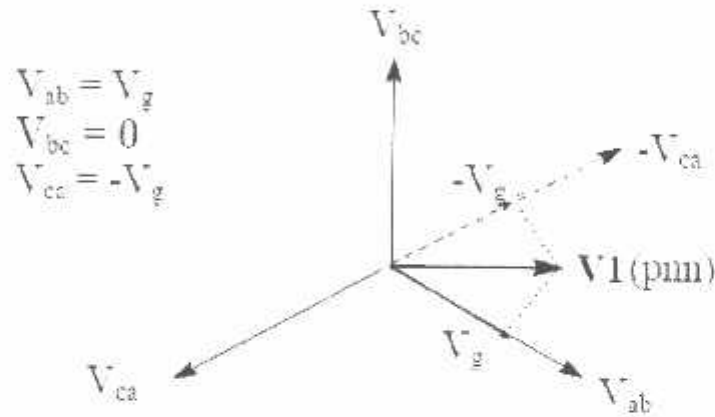
Ini dapat disajikan dalam dua dimensi sudut (α , β). Seperti ditunjukkan dalam gambar 3.5.b. dimana tegangan V_{ab}, V_{bc}, V_{ca} adalah tiga tegangan line yang terpisah secara vector 120° dalam ruang. Tegangan vector yang efektif dihasilkan oleh topologi ini adalah seperti yang disajikan V_1 (pnn)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



Gambar 3.4. delapan topologi tegangan vector inverter¹⁹⁾

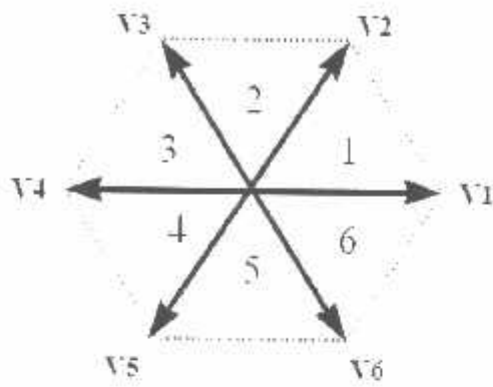


Gambar 3.5. (a). Topologi 1-VI (pnn) dari suatu inverter (vsi) ^[9]



Gambar 3.5.(b). Penyajian dari topologi 1-VI (pnn) dalam (α, β) ^[9]

Kelanjutan dalam bentuk yang serupa enam vector tegangan tidak nol (V1-V6) 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 dinomorri 1-6 seperti pada gambar 3.6



Gambar 3.6. Non-Zero voltage vector dalam α, β plane¹⁹¹

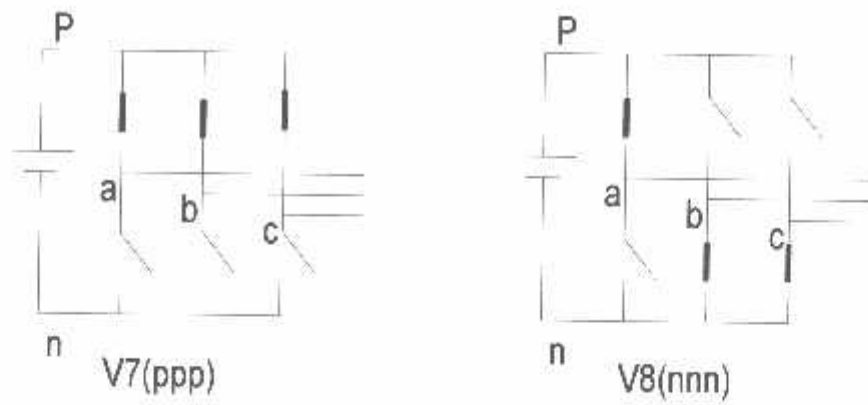
Mempertimbangkan dua topologi terakhir pada gambar 3.4. yang diulang pada gambar 3.5.(b) untuk memudahkan kita melihat bahwa tegangan arus keluaran yang dihasilkan oleh topologi ini diberi oleh :

$$V_{ab} = 0$$

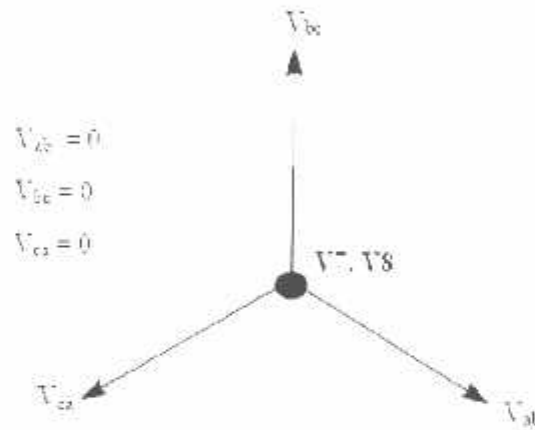
$$V_{bc} = 0 \quad \dots\dots\dots(3-3)$$

$$V_{ca} = 0$$

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 (SSV)* - vektor keadaan *switching*.



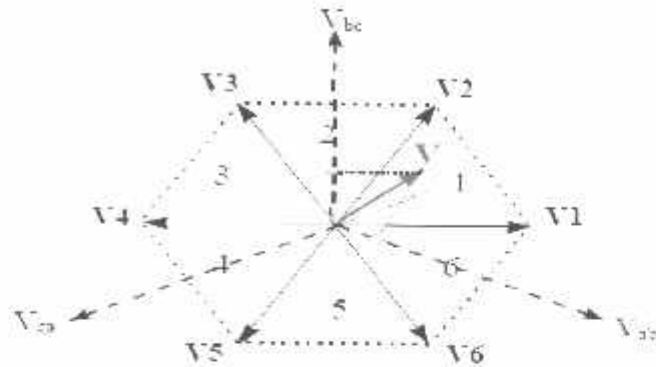
Gambar 3.7.(a). topologi tegangan keluaran nol^[9]



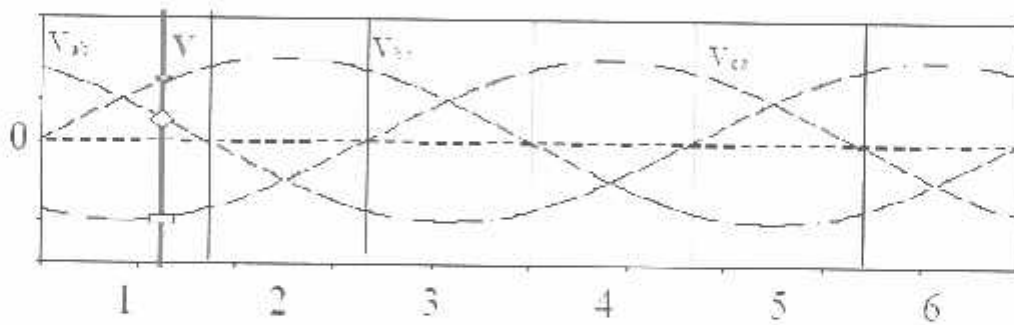
Gambar 3.7.(b). penyajian vector tegangan nol dalam dimensi α, β plane^[9]

Tegangan tiga fasa yang diinginkan pada keluaran dari inverter bias diwakili dengan suatu vector berputar V yang sepadan dalam jam konter yang memiliki arah yang bragam seperti pad gambar. 3.8.(a). magnitudo dari vector ini berhubungan dengan magnitudo tegangan keluaran inventer. (gambar 3.8.b) dan

waktu vector 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 ^[9]



Gambar. 3.8.(b). tegangan line keluaran pada waktu domain^[9].

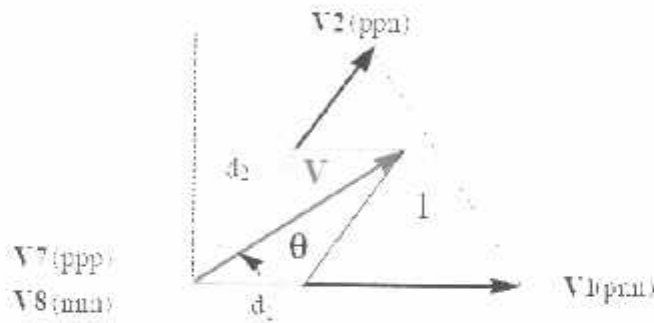
Mari kita mempertimbangkan situasi manakala line to line tegangan keluaran vector V adalah dalam sector 1 seperti ditunjukkan dalam gambar .3.9. vector ini dapat disatukan oleh pulse width-modulation (PWM) dari kedua yang bersebelahan SSV'S $V1$ (pnn) dan $V2$ (pnn), siklus putaran masing-masing

menjadi d_1 dan d_2 yang berturut-turut dan vector nol V_7 (nnn) dan V_8 (ppp) menjadi d_0 .

$$d_1 V_1 + d_2 V_2 = V = m V_g e^{j\theta} \dots\dots\dots(3.4)$$

$$d_1 + d_2 + d_0 = 1 \dots\dots\dots(3.5)$$

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^[9]

Langkah-langkah untuk mengimplementasikan space vector modulation untuk inverter sumber tegangan:

1. Transformasi sistem tiga fasa yang di definisikan oleh $u(t)$, $v(t)$, dan $w(t)$, dapat direpresentasikan dengan vector berputar as :

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

Dimana $\underline{a} = e^{j\frac{2\pi}{3}}$ dan $\underline{a}^2 = e^{j\frac{4\pi}{3}}$ (3.6)

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

$$\underline{as} = \begin{bmatrix} A\alpha \\ A\beta \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} \dots\dots\dots(3.7)$$

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

2. Definisi vector switching yang mungkin pada space tegangan output.

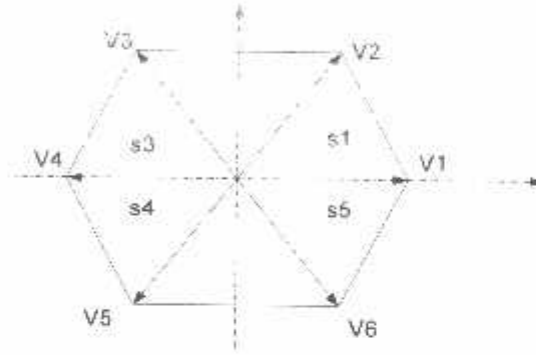
Diasumsikan S1 dan S2,S3 dan S4,S5 dan S6 diwiteks secara komplementer

Tabel 3.2. tegangan keluaran inverter 3 fasa¹⁹¹

Vector	Vector switcbing			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	1
V7	1	1	1	0	0	0

3. Mencari Matriks dekomposisi

Space tegangan output dibuat dengan mengaplikasikan persamaan (3-15) ke delapan vektor switching yang diberikan di tabel 3.3. Pada koordinat system baru ini, terdapat 6 vektor tidak nol ($V1 - V6$) dan dua vektor mempunyai amplitudo sama dengan nol ($V0 - V7$).



Gambar 3.10. *space vector output dari sistem tiga fasa* ^[9]

4. Definisi urutan switching

Matriks dekomposisi diperlukan untuk mencari waktu switching. Misalkan vektor referensi ada di sector 1 dan urutan switching yang diimplementasikan adalah $V0-V1-V2-V3-V4-V5-V6-V7$. Jika vektor switching $V1, V2, V0/V7$, dan waktu durasi yang diasosiasikan untuk setiap vektor adalah $t1, t2, t0$, maka vektor tegangan output rata-rata dari inverter pada periode sampling Ts adalah sama dengan $Uref$, sehingga:

$$V1.t1 + V2.t2 + V0.t0 = Uref . Ts \quad \dots\dots\dots(3.8)$$

Jika persamaan (3) dipenuhi, maka:

$$t1 + t2 + t0 = Ts \quad \dots\dots\dots(3.9)$$

menulis persamaan diatas dalam bentuk matriks didapat:

$$\begin{bmatrix} V1 & V2 & V0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t1 \\ t2 \\ t0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Uref \\ 1 \end{bmatrix} \cdot Ts \quad \dots\dots\dots(3.10)$$

Diinginkan agar perhitungan waktu dilakukan secara unik yaitu:

$$\begin{bmatrix} t1 \\ t2 \\ t0 \end{bmatrix} = M1 \begin{bmatrix} Uref\alpha \\ Uref\beta \\ 1 \end{bmatrix} Ts; M1 = \begin{bmatrix} V1 & V2 & V3 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \quad \dots\dots\dots(3.11)$$

Dimana M1 adalah matriks dekomposisi diasosiasikan dengan sector 1. waktu durasi dari sektor lain dihitung dengan cara serupa. Dalam bentuk tabel, persamaan dituliskan dalam tabel 2.

Tabel 3.3. Waktu swiching^[9]

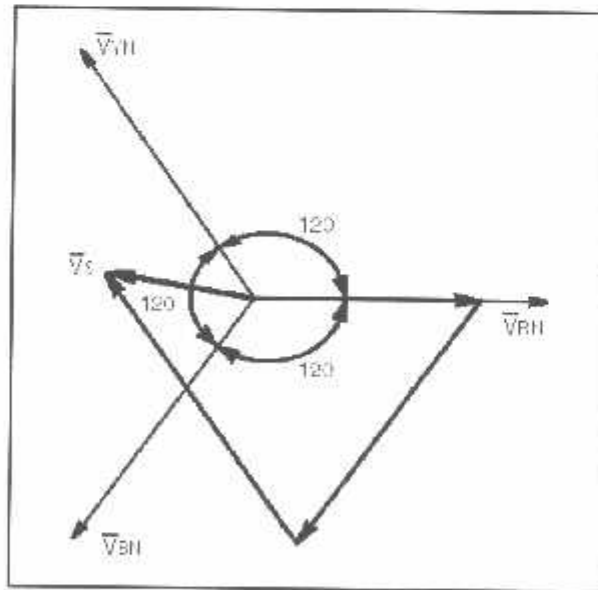
SEKTOR	WAKTU SWITCHING	
1	$t1 = \frac{Ts}{Vdc\sqrt{2/3}} \left(\alpha - \beta \frac{\cos 60}{\sin 60} \right)$	$t2 = \frac{Ts}{Vdc\sqrt{2/3}} \left(\frac{\beta}{\sin 60} \right)$
2	$t2 = \frac{Ts}{Vdc\sqrt{2/3}} \left(\alpha + \beta \frac{\cos 60}{\sin 60} \right)$	$t3 = \frac{Ts}{Vdc\sqrt{2/3}} \left(-\alpha + \beta \frac{\cos 60}{\sin 60} \right)$
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 3.4. Urutan swiching untuk 3 fasa 3 kawat^[9]

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

Seperti pada tujuan DTC yaitu untuk mengatur tegangan input motor sehingga dapat mengontrol torsi. Setelah tegangan vector yang merupakan output dari DTC kemudian vector tegangan ini dihitung lagi menggunakan metode Space Vektor Modulation. Untuk tiga fasa simetris sudut antara fasa yang satu dengan yang lain adalah 120° (V_{rn} , V_{yn} , V_{bn}) seperti terlihat pada gambar dibawah ini.



Dari gambar diatas maka jumlah ketiga vector tersebut adalah nol, sehingga dapat dekspresikan sebagai satu vector referensi.(Vs), dengan demikian dapat mengontrol tegangan atau frekuensi, cara ini dikenal dengan nama Space Vector Modulation. Untuk hubungan antara torsi dan arus dapat dilihat pada persamaan

$$\Delta T_{em} = \frac{3}{2} \cdot \frac{P}{2} (\lambda_s \Delta I_s) \dots\dots\dots(3.12)$$

Dari persamaan diatas dapat terlihat perubahan torsi dipengaruhi oleh Fluks Stator (λ_s) dan arus stator (I_s). Untuk merubah fluks hanya bergantung dari V berdasarkan persamaan

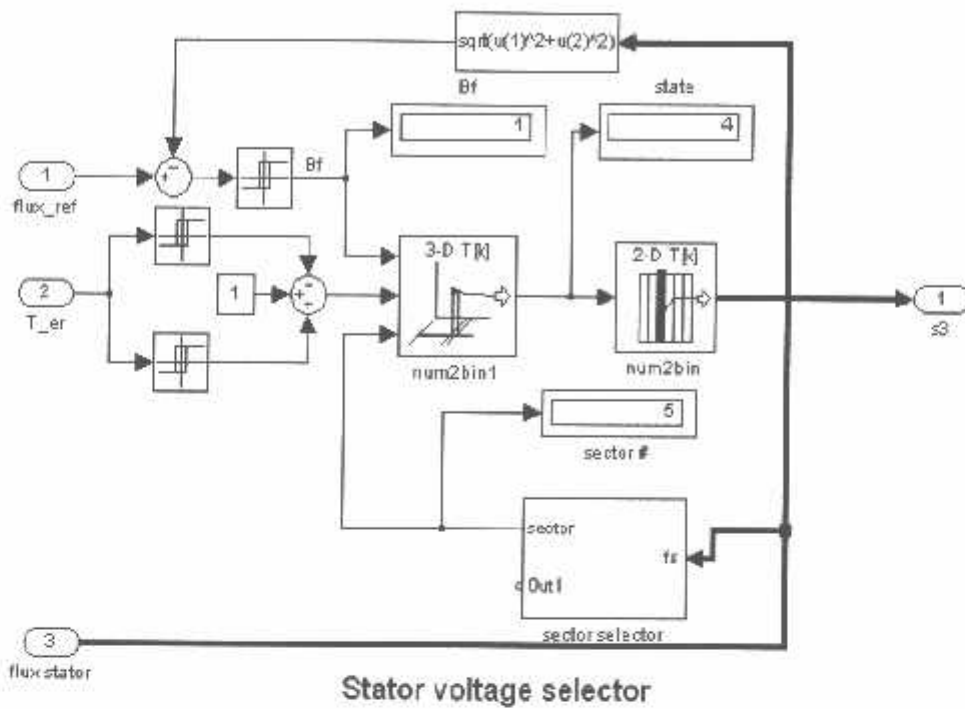
$$\dot{\lambda}_s = V_s \cdot \Delta t \dots\dots\dots(3.13)$$

Maka untuk menyelesaikan ini maka diperlukan dua persamaan lagi yaitu

$$\Delta T_{em} = \frac{3}{2} \cdot \frac{P}{2} \cdot \frac{\Delta t}{L_s} (\lambda_s \times (V - E)) \dots\dots\dots(3.14)$$

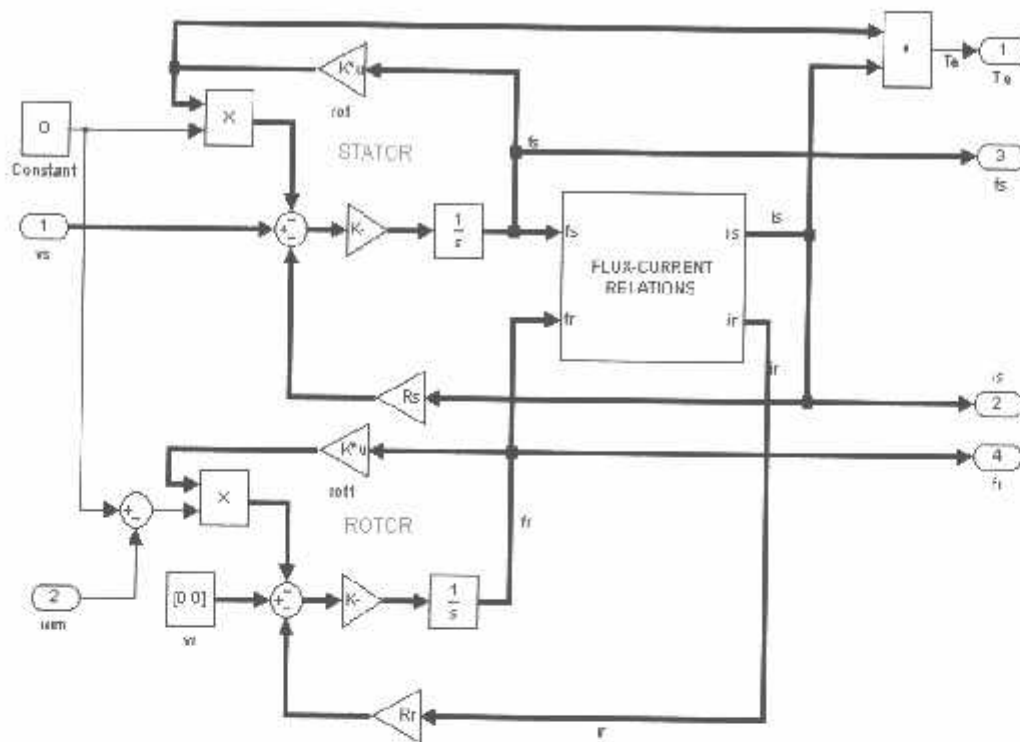
$$\Delta \lambda_s = V \cdot \Delta t \dots\dots\dots(3.15)$$

Dengan menggunakan bantuan MATLAB 7.04 maka dapat dibentuk Blok perhitungan dari DTC adalah sebagai berikut.



Dari gambar diatas dapat terlihat untuk merespons adanya inputan dari torsi error dimana torsi error didapat dari Torsi referensi dibandingkan dengan torsi yang terjadi pada motor dijalankan. Selain itu juga untuk inputan dalam blok DTC ini adalah flux referensi dan fluks yang motor ketika motor dijalankan..Untuk mengatur tegangan vector yang keluar dari DTC maka penyalaan diperlukan table switching.

Untuk penggunaan DTC-SVM maka setelah vector tegangan yang merupakan keluaran dari DTC akan kembali dihitung dengan menggunakan Space Vector Modulation. Untuk melakukan suatu sistem control Vektor Tegangan maka motor harus dibentuk dalam rangkaian DQ



Blok Rangkaian Motor Induksi Tiga Fasa

3.3 Algoritma Program

3.1. Algoritma Pemecahan Masalah Secara Umum

1. Pengujian Parameter Motor Induksi
 - a. Dc Test
 - b. Beban Nol (*No Load Test*)
 - c. Rotor Tertahan (*Blocked Rotor Test*)
2. Membentuk Blok Simulink Motor Induksi Dalam Bentuk DQ berdasarkan *Transfer Function*.
3. Memasukan parameter motor induksi dan seting waktu untuk torsi mekanik
4. Menjalankan simulasi Motor Induksi dengan parameter motor dan torsi yang telah dimasukan.
5. Menampilkan Hasil Simulasi Arus Stator, Torsi, kecepatan dan tegangan stator

BAB IV MENGHITUNG PARAMETER MOTOR DAN ANALISA HASIL SIMULASI

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

4.1. Menentukan Parameter Motor Induksi

Pengujian untuk mencari parameter motor induksi 3 phasa dilakukan di laboratorium konversi energi elektrik ITN Malang.

4.1.1. Alat-alat yang digunakan

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

Data papan (*Name-Plate*)

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

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

4.1.2. Pengujian Arus Searah (*DC Test*)**Tabel 4.1****Data Hasil Pengujian Arus Searah**

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

4.1.3. Pengujian Tanpa Beban (*No Load Test*)**Tabel 4.2****Data Hasil Pengujian Beban Nol**

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

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

Tabel 4.3

Data Hasil Pengujian Motor Rotor Tertahan

I _{stator} (Ampere)			P _{3 Phasa} (WATT)	V _{L-L} (Volt)
R	S	T		
2.01	2.03	1.95	140	65

4.2. Analisa Parameter Motor Induksi

A. Dari pengujian arus searah besarnya resistansi stator adalah:

Dengan menggunakan persamaan

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

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

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

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

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

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

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

$$X_{\pi} = X_s + X'_r$$

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

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

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

$$X_{ob} = X_s + X_m$$

$$X'_m = X_{ob} - X_s$$

$$= 189.58 - 7.3$$

$$= 182.28 \Omega$$

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

$$R = R_{\pi} - R_s$$

$$= 11.67 - 5.49$$

$$= 6.18$$

$$X_{\pi} = X'_r + X_m$$

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

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

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

Tabel 4.4

Hasil Perhitungan Pengujian Parameter Motor Induksi Tiga Phasa

Rs	R'r	Xs	X'r	Xm
5.49	6.68	7.3	7.3	182.28

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

Untuk melakukan perhitungan dalam PU maka

Untuk Mva

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

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

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

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

Untuk parameter motor dapat dihitung sebagai berikut

$R_s(\text{pu})$

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

$$R_s(\text{pu}) = \frac{5.49}{37.40} = 0.1468 \text{ ohm}$$

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

$$R_r(\text{pu}) = \frac{6.68}{37.40} = 0.1786 \text{ ohm}$$

$$X_{ls} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_s$$

$$L_s = \frac{X_{ls}}{2 \cdot \pi \cdot f}$$

$$L_s = \frac{7.3}{2 \cdot 3.14 \cdot 50} = 0.023$$

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

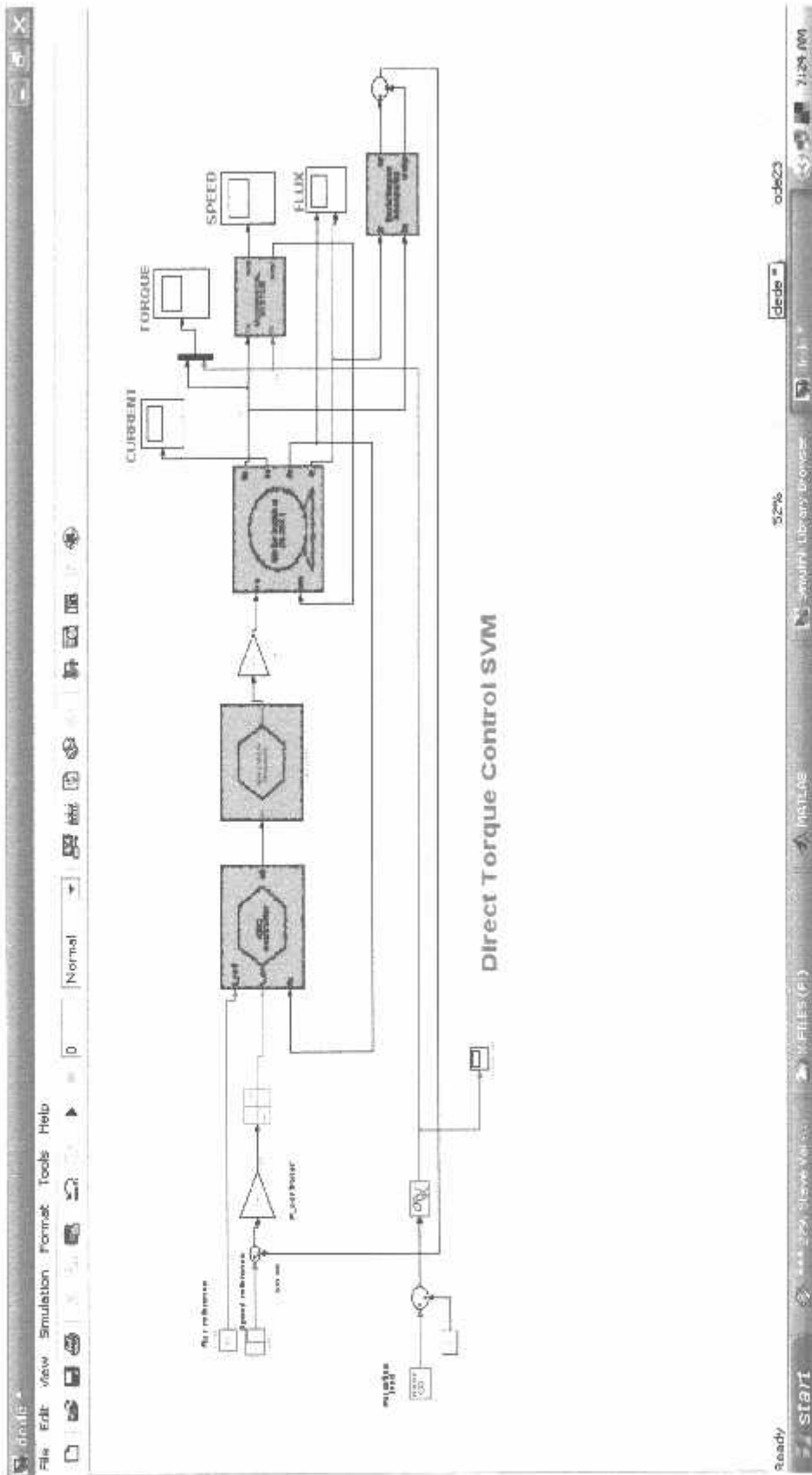
$$L_s(\text{pu}) = \frac{0.023}{37.40} = 0.0006$$

$$L_s = L_r = 0.0006$$

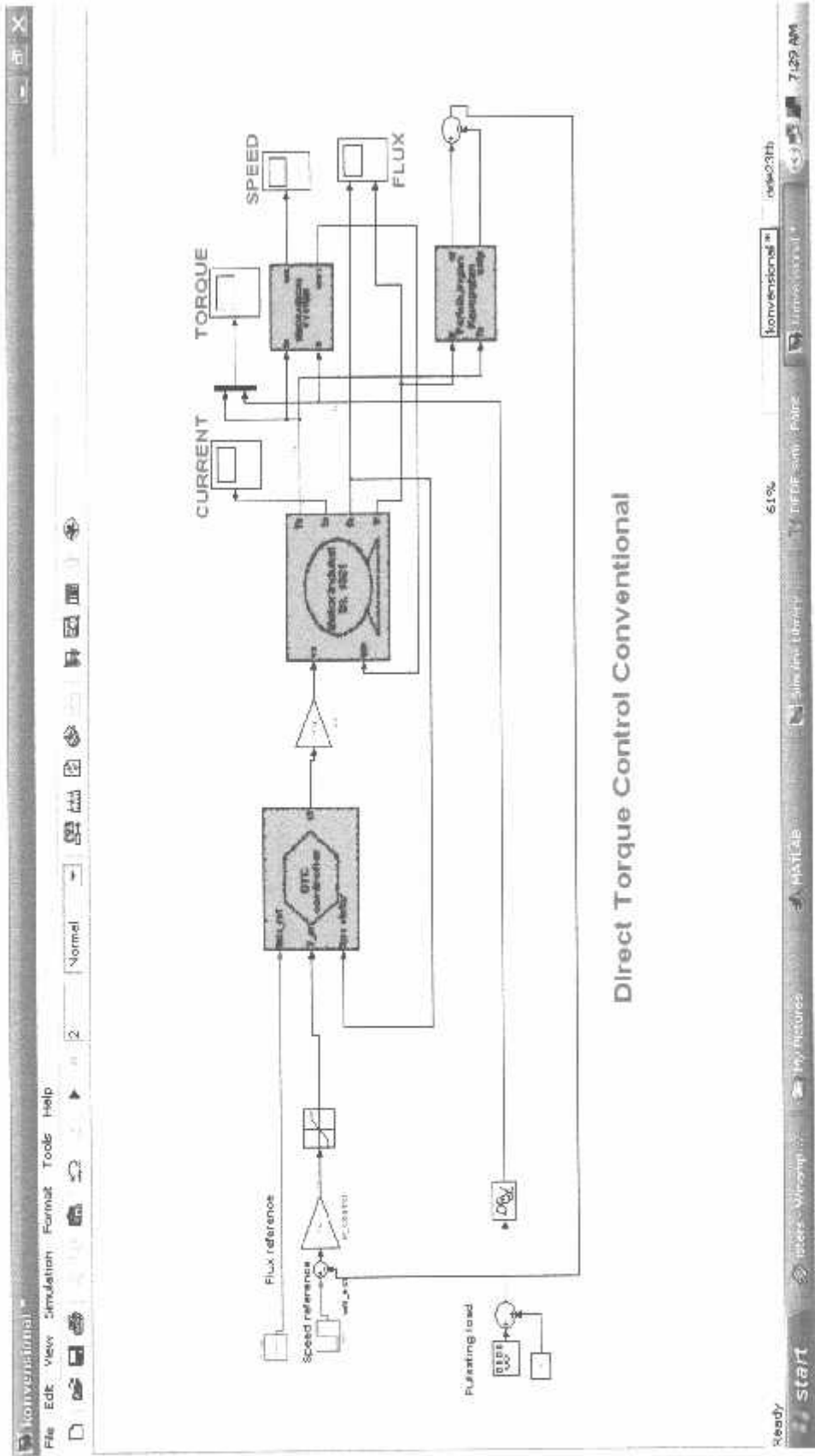
$$X_{lm} = 2 \cdot 3.14 \cdot f \cdot L_m$$

$$L_m = \frac{X_m}{2 \cdot \pi \cdot F} = \frac{182.28}{2 \cdot 3.14 \cdot 50} = 0.5805$$

Dengan menggunakan bantuan Matlab-Simulink maka blok analisis DTC konvensional dan DTC menggunakan SVM dapat dibentuk dapat dilihat pada gambar dibawah ini



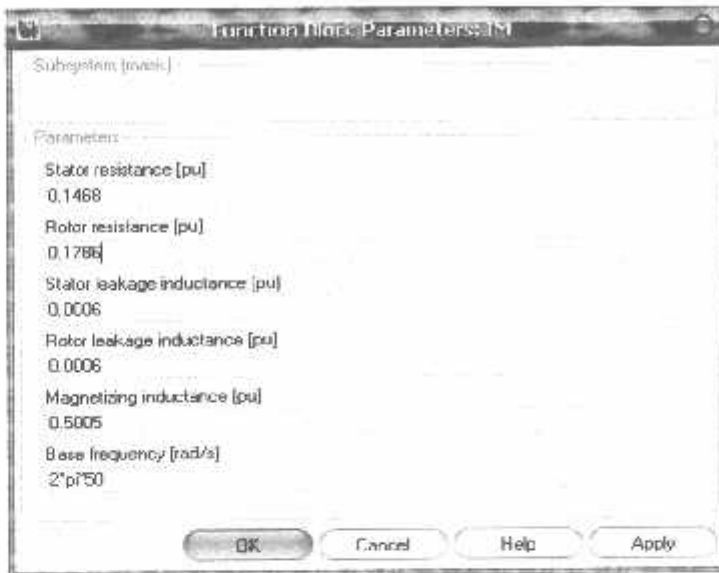
Gambar 4-1
Blok Simulink Untuk DTC-SVM



Direct Torque Control Conventional

Gambar 4-2
Blok Simulink DTC Konvensional

Untuk parameter motor pada gambar dibawah ini ini:



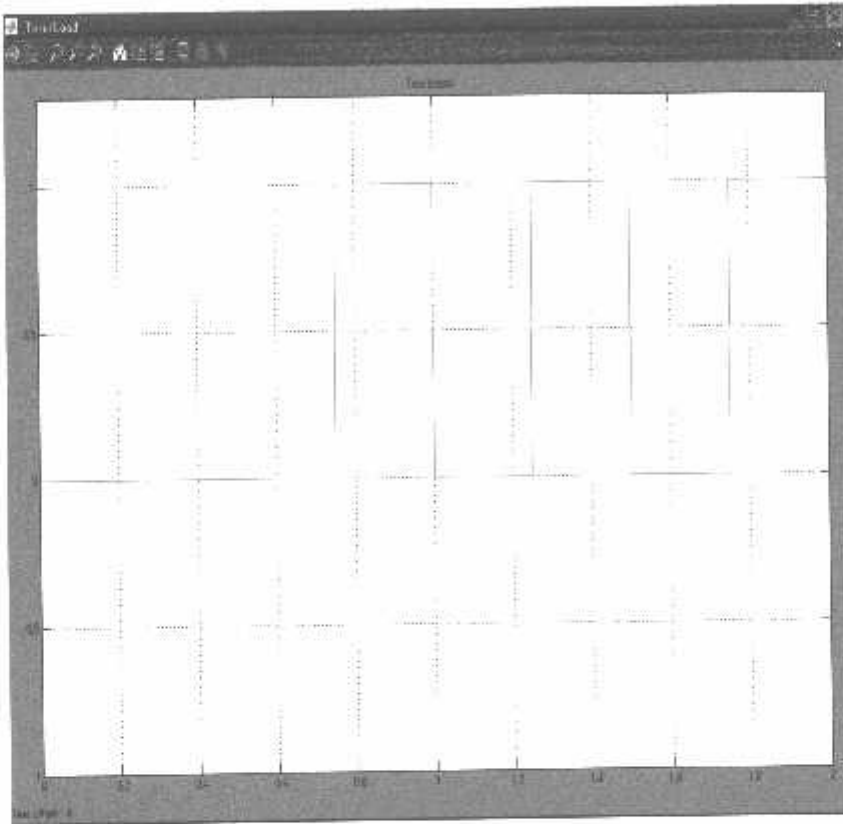
Gambar 4.3
Tampilan Parameter Motor

Untuk analisis yang pertama torsi beban yang pertama yaitu pada $t=2$ s untuk menjalankan DTC maka tabel penyalan dari 6 vektor tegangan adalah seperti gambar dibawah ini.

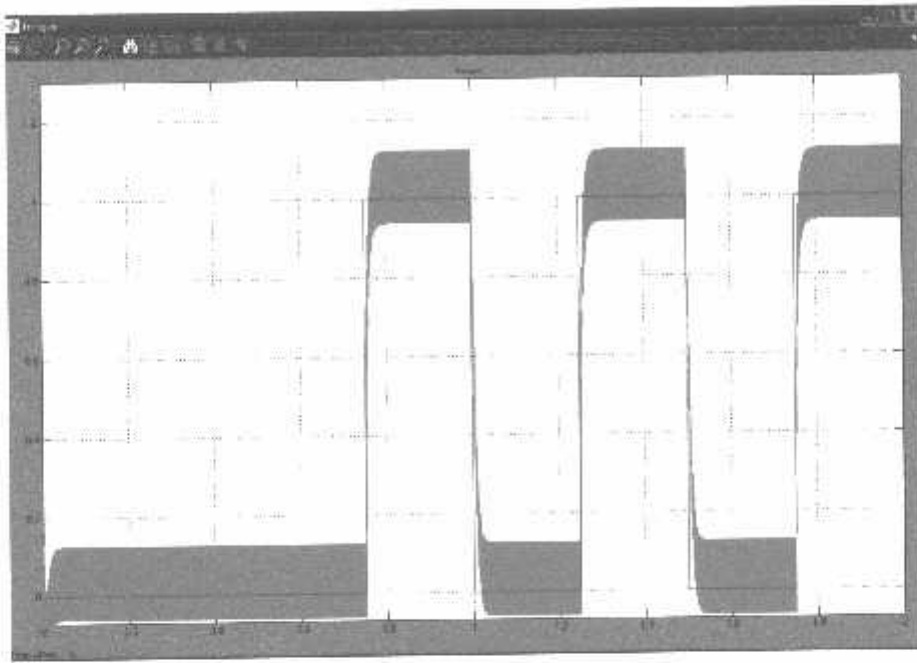


Gambar 4.4
Tampilan Table Switcing Untuk DTC

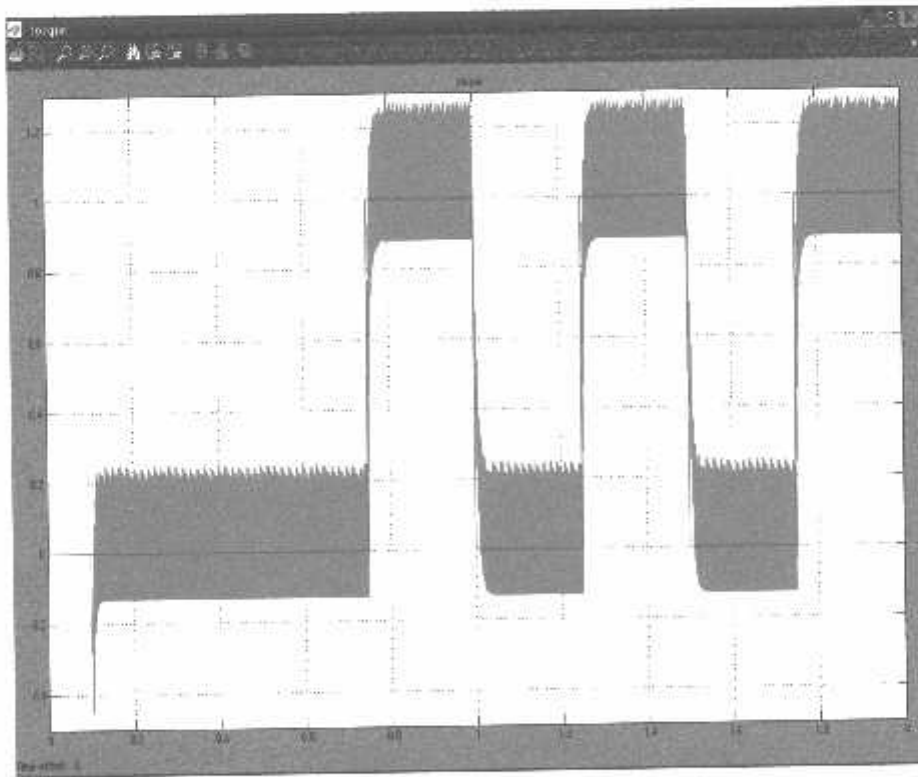
Dimana torsi beban divariasasi seperti pada gambar dibawah ini untuk melihat respons torsi arus, dan kecepatan dari DTC SVM dan DTC Konvensional.



Gambar 4.5
Torsi Beban Inputan

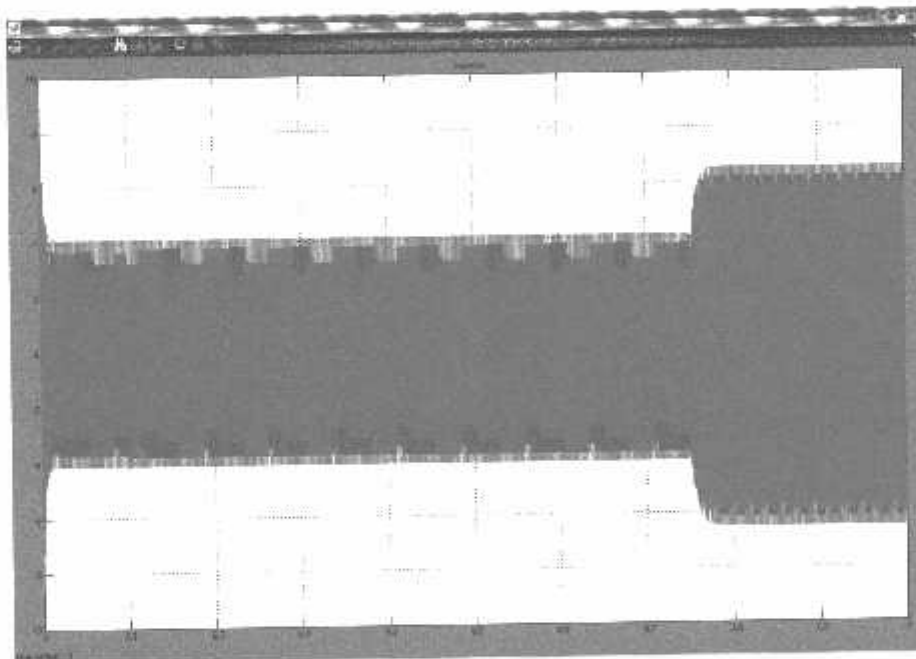


Gambar 4-6
DTC SVM

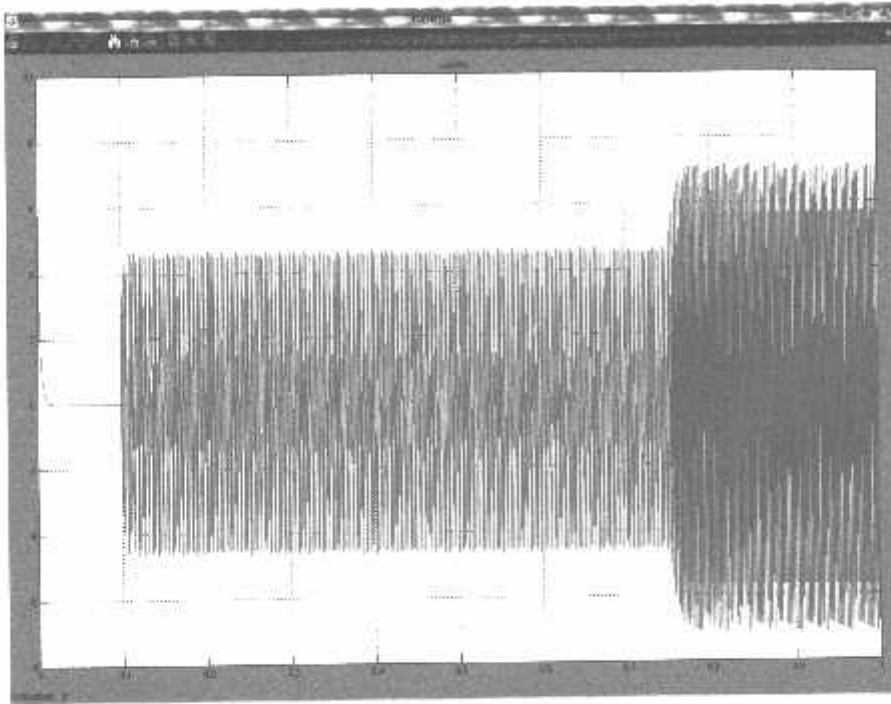


Gambar 4-7
DTC Konvensional

Setelah Simulink dijalankan dari gambar diatas maka pada DTC SVM memiliki ripple yang lebih sedikit jika dibandingkan dengan DTC konvensional dimana ripple torsi maksimum mencapai 1,33 Nm sedangkan untuk DTC SVM hanya mencapai nilai maksimum 1,15 Nm jika dilihat dari torsi beban nilainya adalah 1 Nm, dan dari bentuk gelombang pada DTC SVM memiliki bentuk gelombang yang lebih halus. Untuk respons torsi juga pada DTC-SVM memiliki respons torsi yang lebih cepat, dimana untuk DTC SVM memiliki respons dari $t=0.0$ s, sedangkan untuk DTC Konvensional respons dimulai dari 0.1 s.

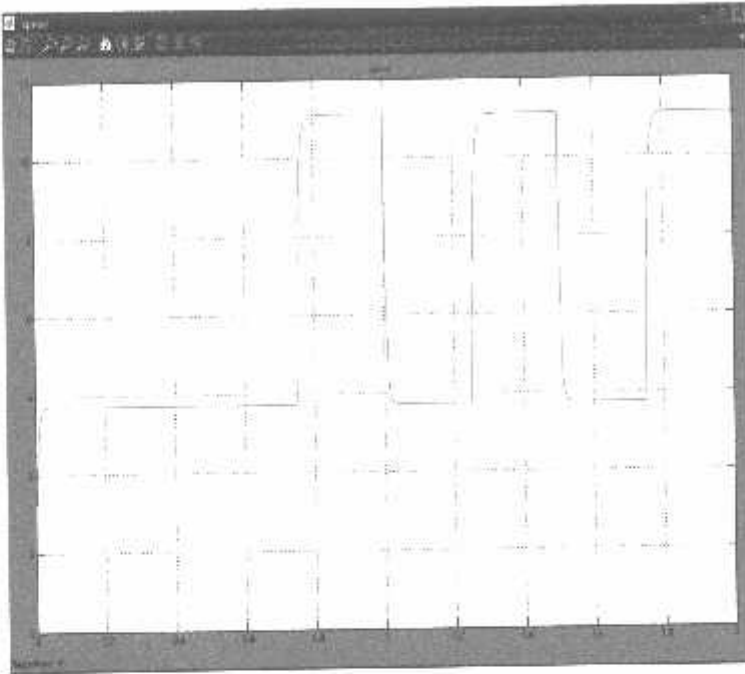


Gambar 4-8
Arus DTC SVM

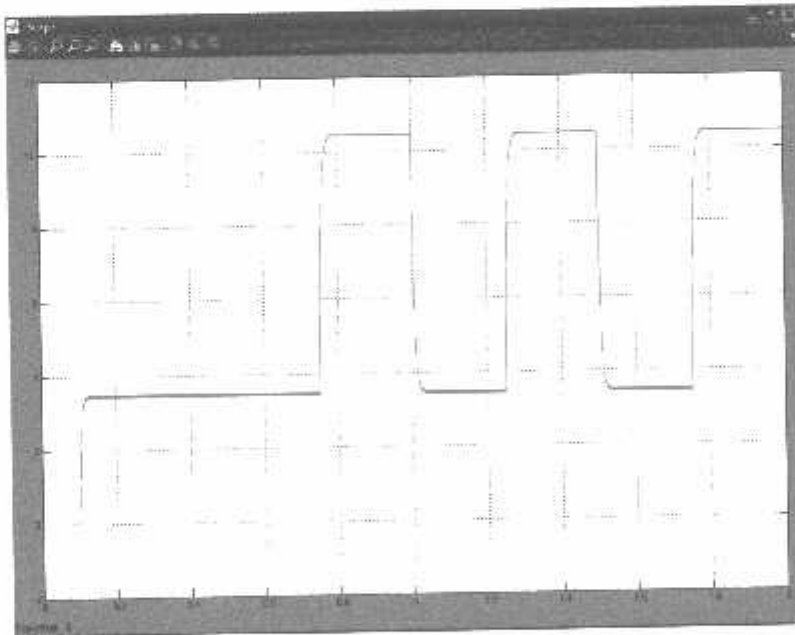


Gambar 4-9
Arus DTC Konvensional

DTC SVM pada gambar 4-7 memiliki ripple pada arus yang lebih sedikit jika dibandingkan dengan DTC konvensional. Gambar 4-8 dimana ripple pada arus mencapai 7.15 Amp sedangkan untuk DTC SVM hanya mencapai 6.53, dan dari bentuk gelombang arus terlihat pada DTC SVM memiliki bentuk gelombang yang lebih halus. Jadi untuk besarnya arus dimiliki oleh DTC Konvensional, sedangkan untuk bentuk gelombang arus yang memiliki ripple paling kecil adalah DTC SVM.

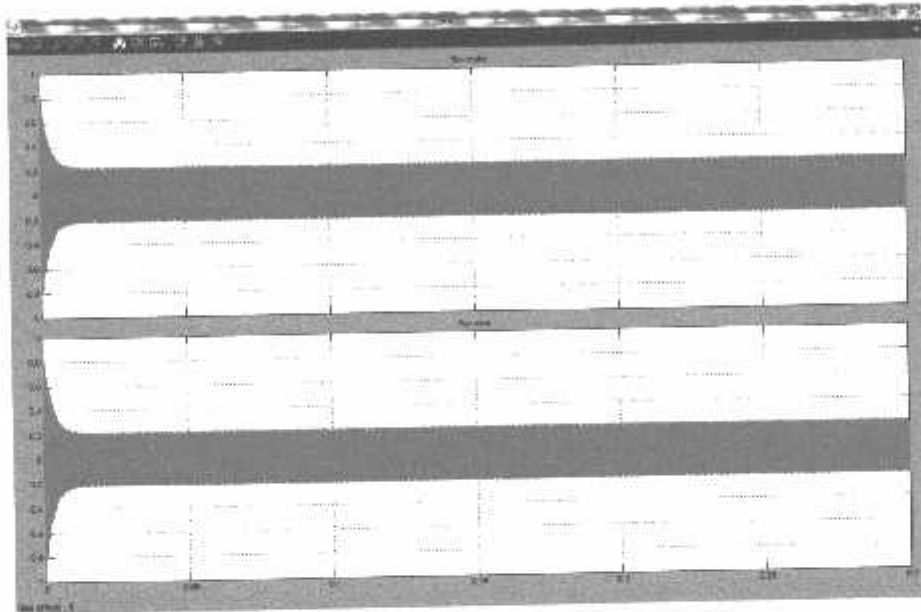


Gambar 4-10
Kecepatan Motor
DTC SVM

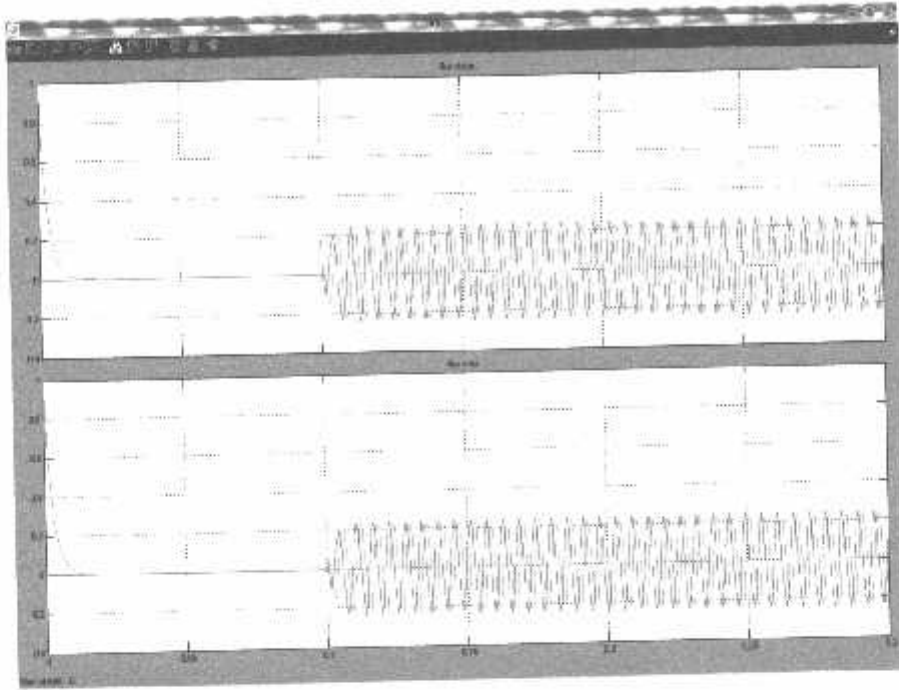


Gambar 4-11
Kecepatan Motor
DTC Konvensional

Setelah Simulink dijalankan dari gambar 4-9 diatas maka pada DTC SVM memiliki kecepatan yang lebih tinggi untuk torsi beban yang sama yaitu mencapai 11.1 rad/sec sedangkan untuk DTC Konvensional gambar 4-10 Kecepatan hanya mencapai 10.46 rad/sec.



Gambar 4-12
Fluksi Stator dan Rotor
DTC SVM



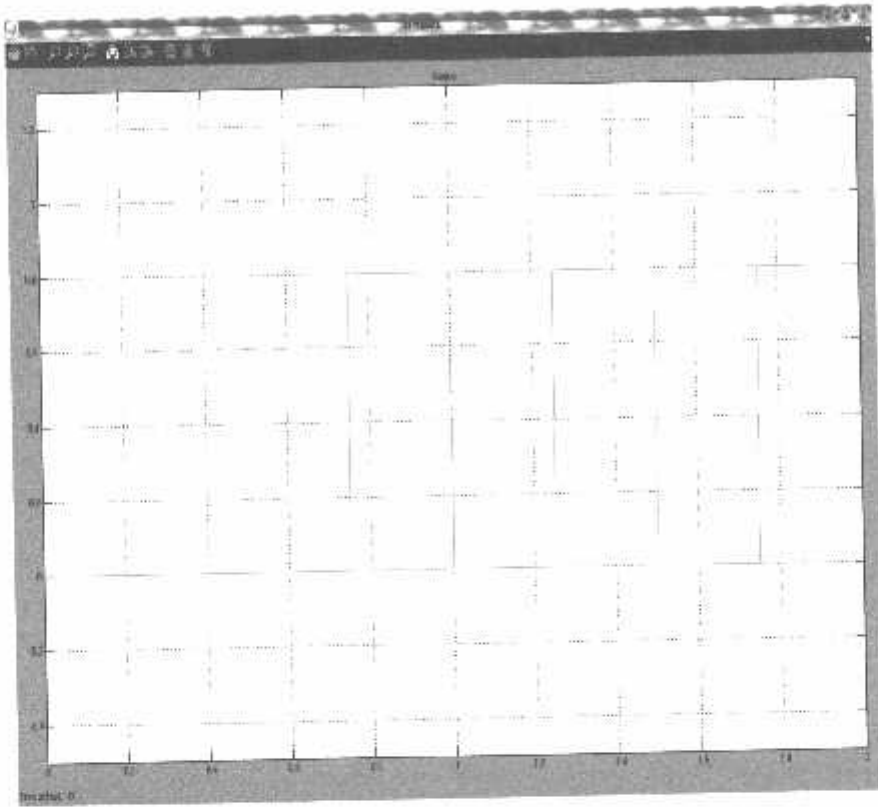
Gambar 4-13
Fluksi Stator dan Rotor
DTC Konvensional

Untuk gambar 4-11 fluks stator mencapai nilai 0.23 Wb, fluks rotor 0,21 Wb. Pada gambar 4-12 terlihat fluksi sator dan rotor pada DTC Konvensional memiliki ripple. Besarnya fluks tersebut mencapai 0.25 Wb, fluks rotor mencapai 0.24 Wb. Dari kedua hasil simulasi untuk terlihat bahwa fluksi stator dan rotor hampir memiliki nilai yang tetap walaupun terdapat perubahan torsi beban. Hal ini menunjukkan untuk pengendalian torsi dengan metode DTC, dengan menjaga konstan nilai fluks stator dan rotor maka torsi motor dapat mengikuti torsi beban sehingga pengontrolan ini menjadi lebih efektif

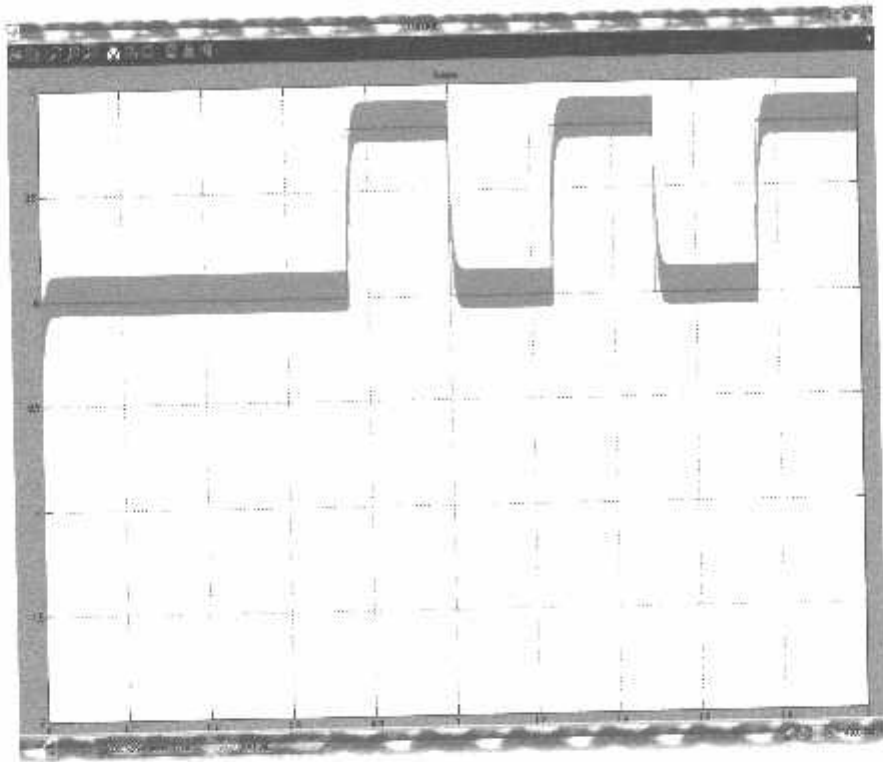
Dari keseluruhan hasil simulasi yang dijalankan maka dapat terlihat adanya penggunaan DTC SVM mampu mengurangi ripple atau kerugian-kerugian pada

penggunaan DTC Konvensional. DTC SVM mampu meningkatkan kecepatan motor dan memiliki ripple arus yang lebih kecil. Tetapi untuk menjalankan DTC SVM memiliki waktu yang lebih lama daripada menjalankan DTC Konvensional yaitu memiliki perbedaan selama 2.3 menit. Penggunaan DTC SVM bisa dikatakan merupakan suatu metode perbaikan untuk pengontrol torsi motor yang lebih baik. Dengan metode DTC, output torsi motor dapat disesuaikan dengan inputan torsi beban dengan mengatur fluks stator dan torque.

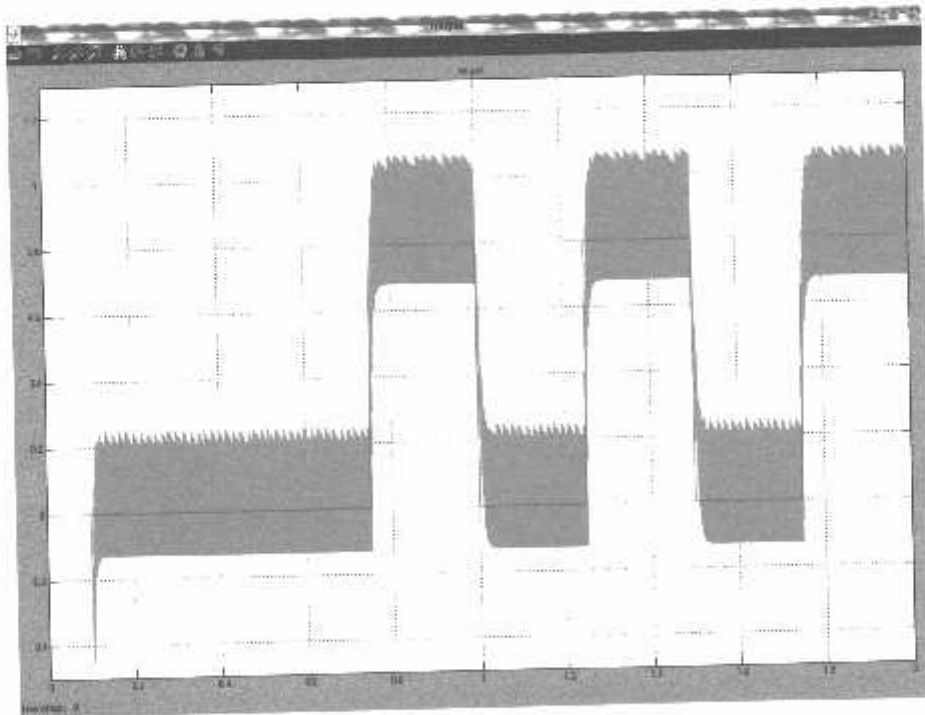
- Pada saat torsi beban : 0.8 Nm



Gambar 4-14
Torsi Beban Inputan

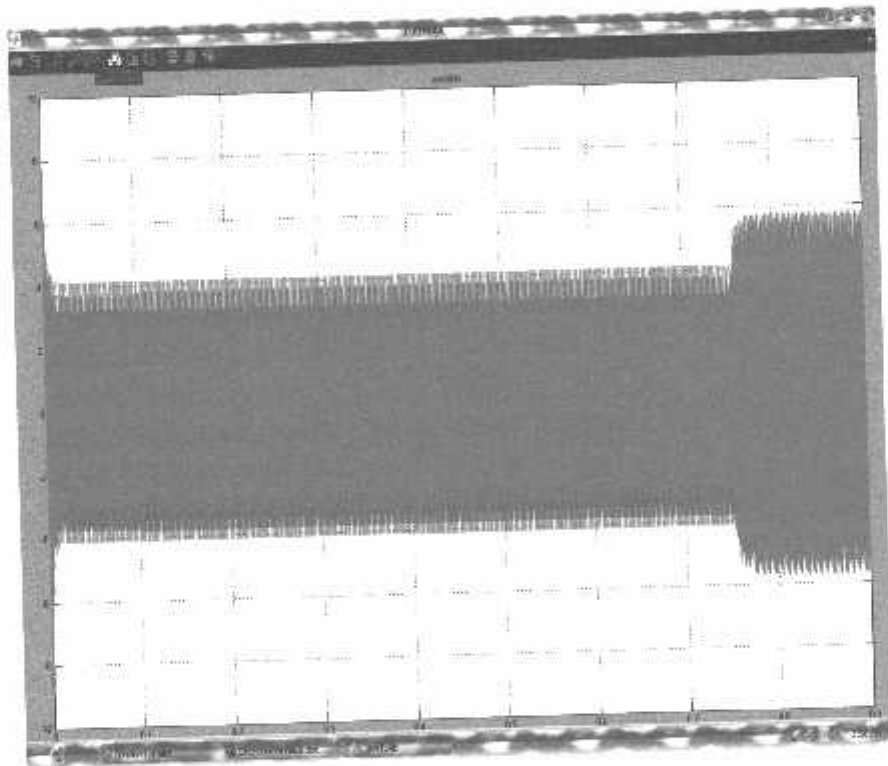


Gambar 4-15
DTC SVM

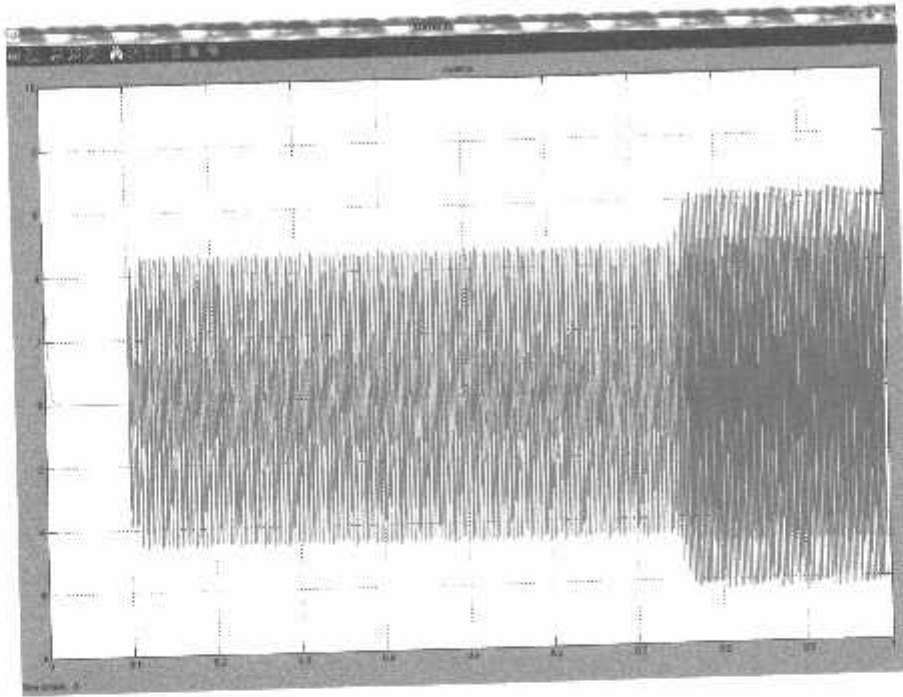


Gambar 4-16
DTC Konvensional

Setelah Simulink dijalankan dari gambar diatas maka pada DTC SVM memiliki ripple yang lebih sedikit jika dibandingkan dengan DTC konvensional dimana ripple torsi maksimum mencapai 1,08 Nm sedangkan untuk DTC SVM hanya mencapai nilai maksimum 0.9 Nm jika dilihat dari torsi beban nilainya adalah 0.8 Nm, dan dari bentuk gelombang pada DTC SVM memiliki bentuk gelombang yang lebih halus. Untuk respons torsi juga pada DTC-SVM memiliki respons torsi yang lebih cepat, dimana untuk DTC SVM memiliki respons dari $t=0.0$ s, sedangkan untuk DTC Konvensional respons dimulai dari 0.1 s.

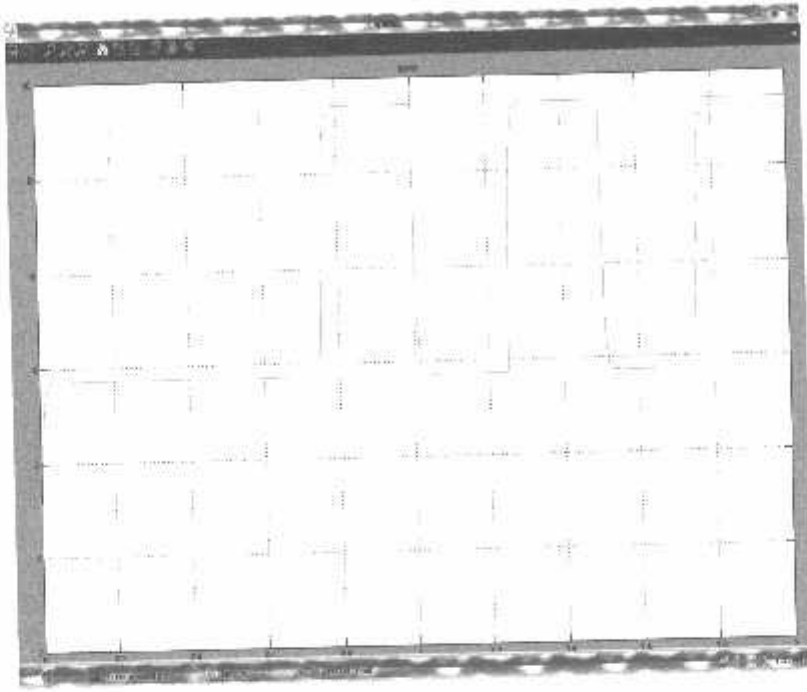


Gambar 4-17
Arus DTC SVM

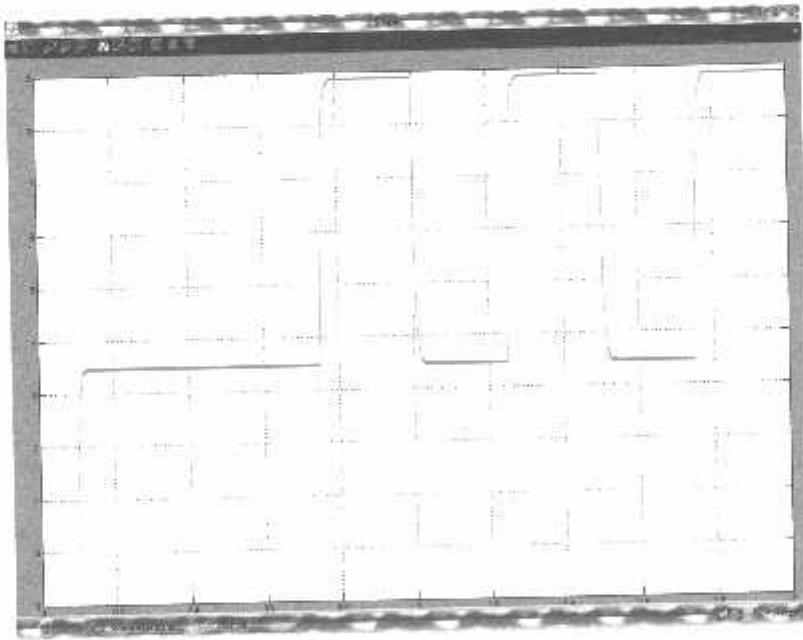


Gambar 4-18
Arus DTC Konvensional

DTC SVM pada gambar 4-17 memiliki ripple pada arus yang lebih sedikit jika dibandingkan dengan DTC konvensional Gambar 4-18 dimana ripple pada arus mencapai 6.15 Amp sedangkan untuk DTC SVM hanya mencapai 5.53, dan dari bentuk gelombang arus terlihat pada DTC SVM memiliki bentuk gelombang yang lebih halus. Jadi untuk besarnya arus dimiliki oleh DTC Konvensional, sedangkan untuk bentuk gelombang arus yang memiliki ripple paling kecil adalah DTC SVM.

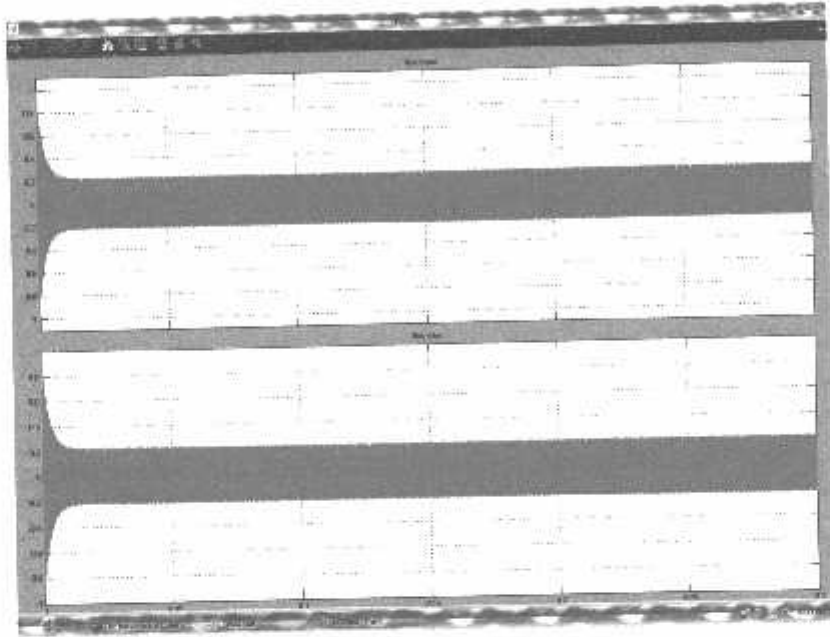


Gambar 4-19
Kecepatan Motor
DTC SVM

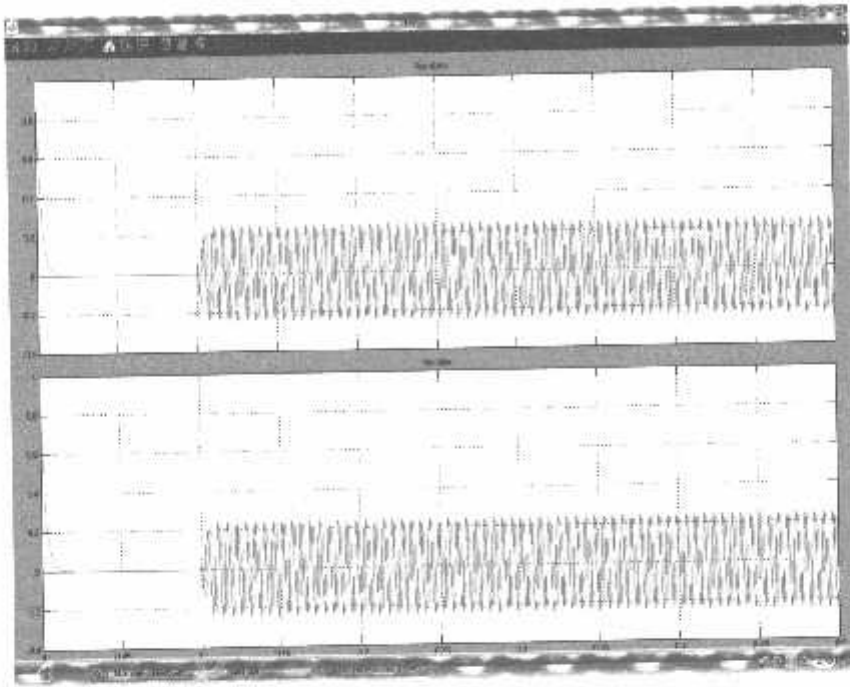


Gambar 4-20
Kecepatan Motor
DTC Konvensional

Setelah Simulink dijalankan dari gambar 4-19 diatas maka pada DTC SVM memiliki kecepatan yang lebih tinggi untuk jumlah variasi torsi beban yang sama yaitu mencapai 9.5 rad/sec sedangkan untuk DTC Konvensional gambar 4-20 Kecepatan hanya mencapai 8.9 rad/sec.



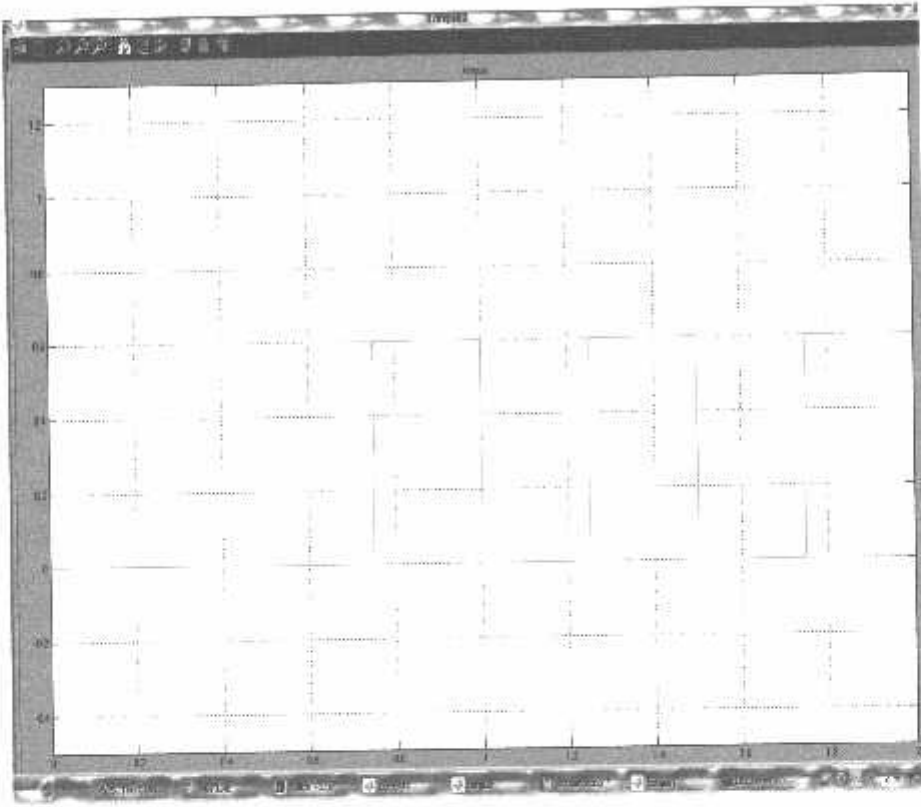
Gambar 4-21
Fluksi Stator dan Rotor
DTC SVM



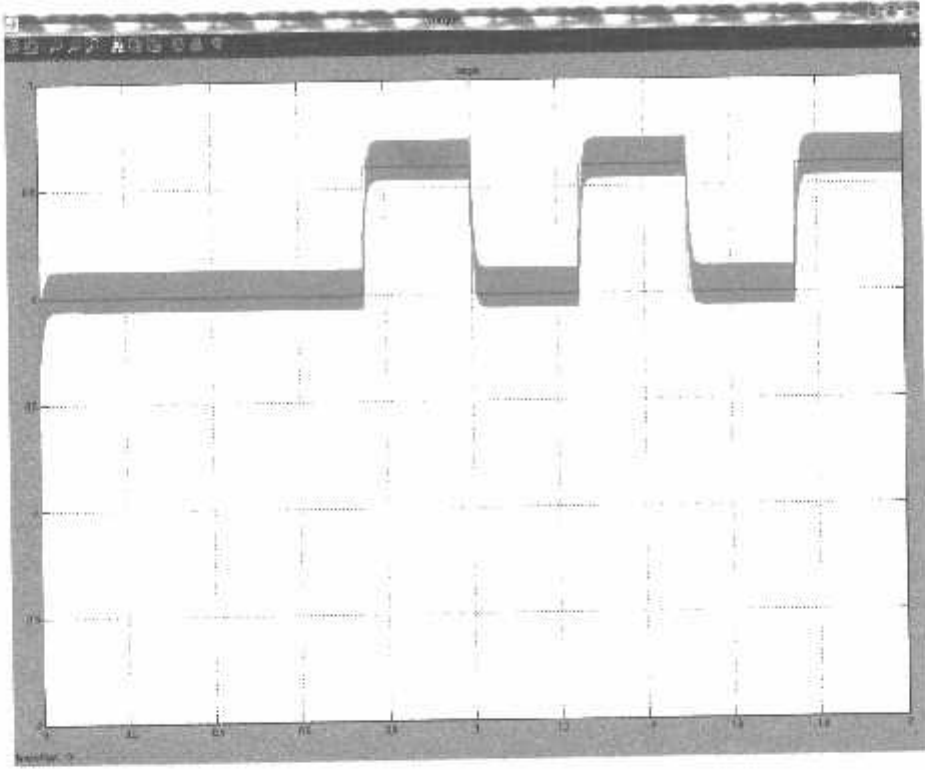
Gambar 4-22
Fluksi Stator dan Rotor
DTC Konvensional

Untuk gambar 4-21 fluks stator mencapai nilai 0.23 Wb, fluks rotor 0,21 Wb. Pada gambar 4-22 terlihat fluksi sator dan rotor pada DTC Konvensional memiliki ripple. Besarnya fluks tersebut mencapai 0.25 Wb, fluks rotor mencapai 0.24 Wb. Dari kedua hasil simulasi untuk terlihat bahwa fluksi stator dan rotor hampir memiliki nilai yang tetap walaupun terdapat perubahan torsi beban. Hal ini menunjukkan untuk pengendalian torsi dengan metode DTC, dengan menjaga konstan nilai fluks stator dan rotor maka torsi motor dapat mengikuti torsi beban sehingga pengontrolan ini menjadi lebih efektif

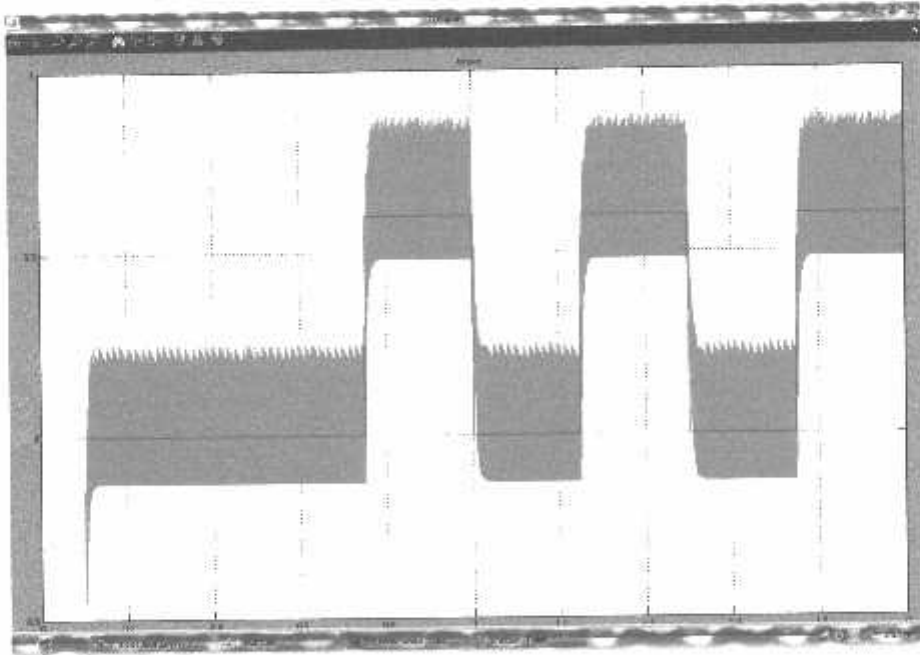
- Pada saat torsi beban : 0.6 Nm



Gambar 4-23
Torsi Beban Inputan

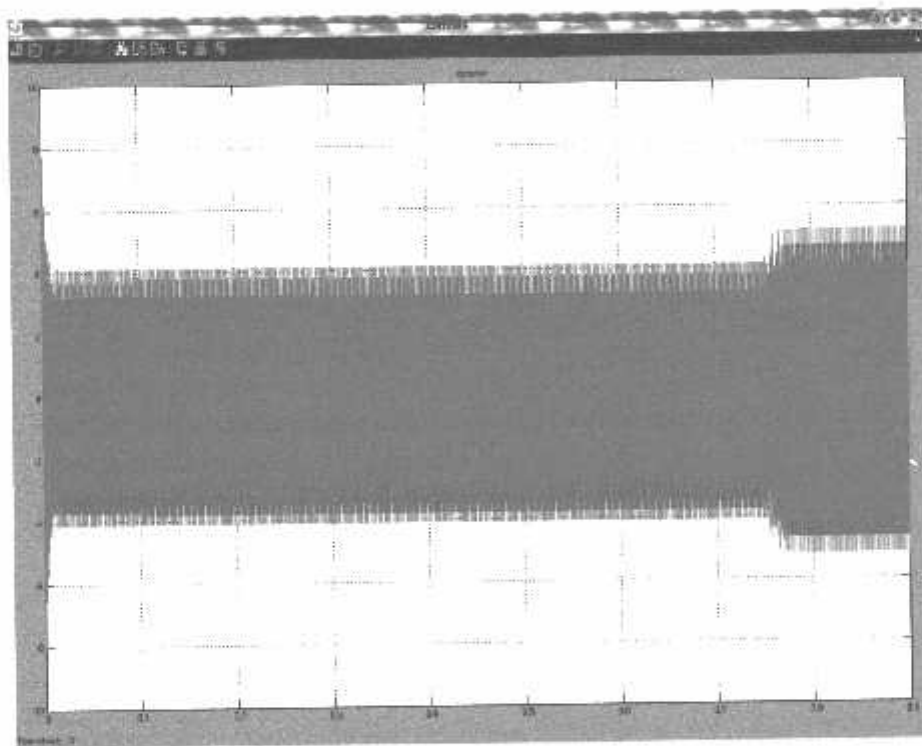


Gambar 4-24
DTC SVM

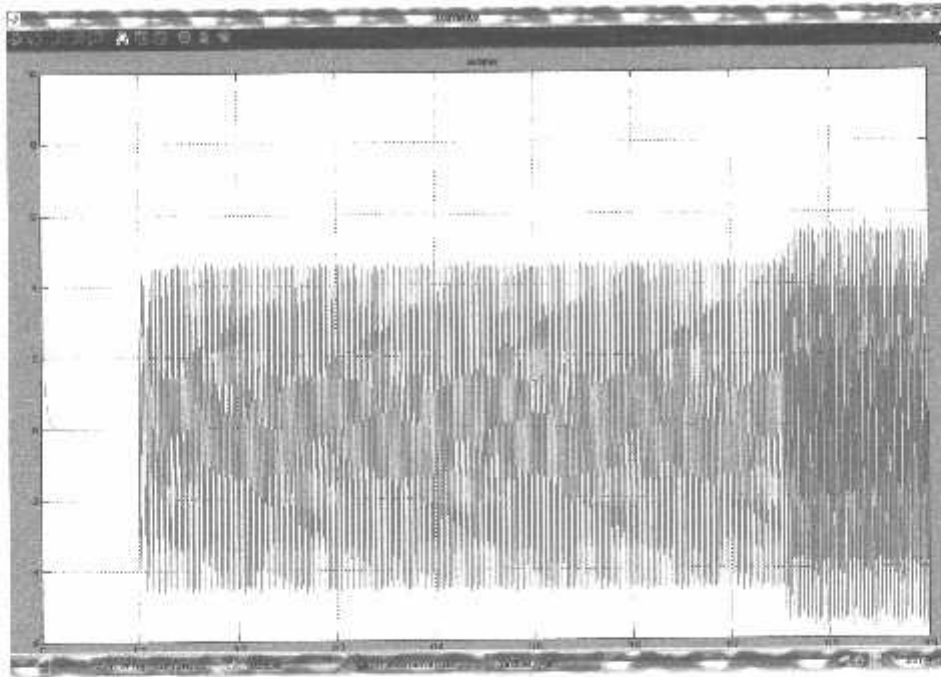


Gambar 4-25
DTC Konvensional

Setelah Simulink dijalankan dari gambar diatas maka pada DTC SVM memiliki ripple yang lebih sedikit jika dibandingkan dengan DTC konvensional dimana ripple torsi maksimum mencapai 0.82 Nm sedangkan untuk DTC SVM hanya mencapai nilai maksimum 0.71 Nm jika dilihat dari torsi beban nilainya adalah 0.6 Nm, dan dari bentuk gelombang pada DTC SVM memiliki bentuk gelombang yang lebih halus. Untuk respons torsi juga pada DTC-SVM memiliki respons torsi yang lebih cepat, dimana untuk DTC SVM memiliki respons dari $t=0.0$ s, sedangkan untuk DTC Konvensional respons dimulai dari 0.1 s.

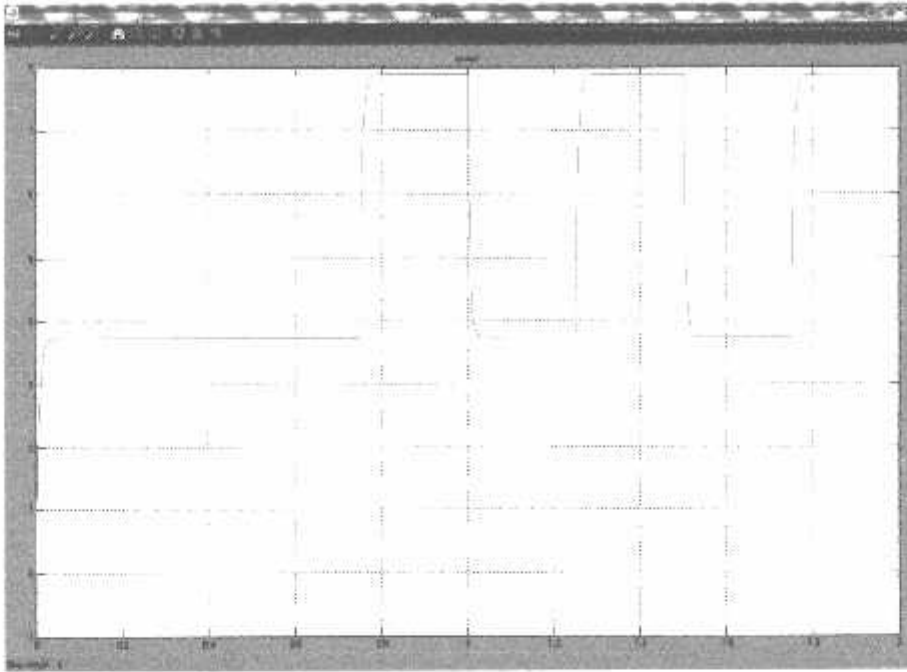


Gambar 4-26
Arus DTC SVM

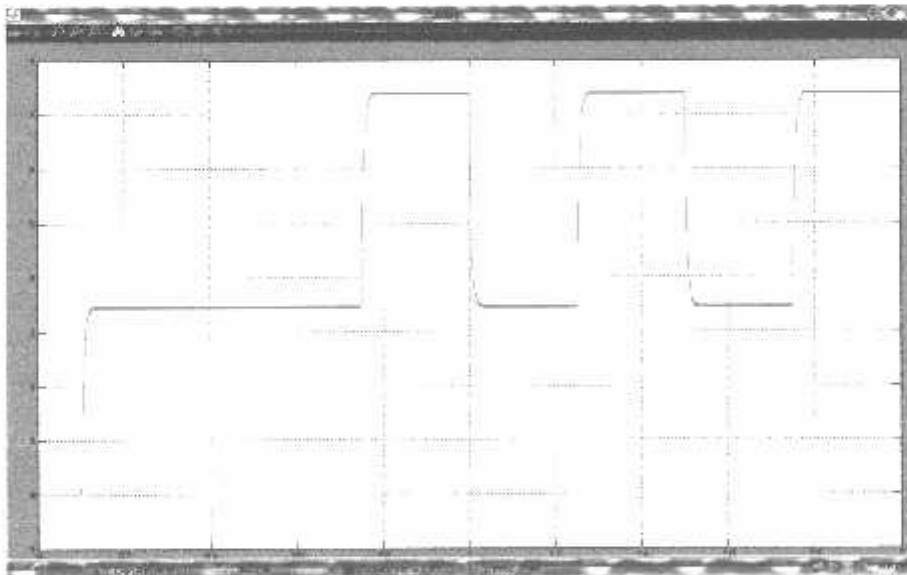


Gambar 4-27
Arus DTC Konvensional

DTC SVM pada gambar 4-26 memiliki ripple pada arus yang lebih sedikit jika dibandingkan dengan DTC konvensional Gambar 4-27 dimana ripple pada arus mencapai 5. Amp sedangkan untuk DTC SVM hanya mencapai 5.1, dan dari bentuk gelombang arus terlihat pada DTC SVM memiliki bentuk gelombang yang lebih halus. Jadi untuk besarnya arus dimiliki oleh DTC Konvensional, sedangkan untuk bentuk gelombang arus yang memiliki ripple paling kecil adalah DTC SVM.

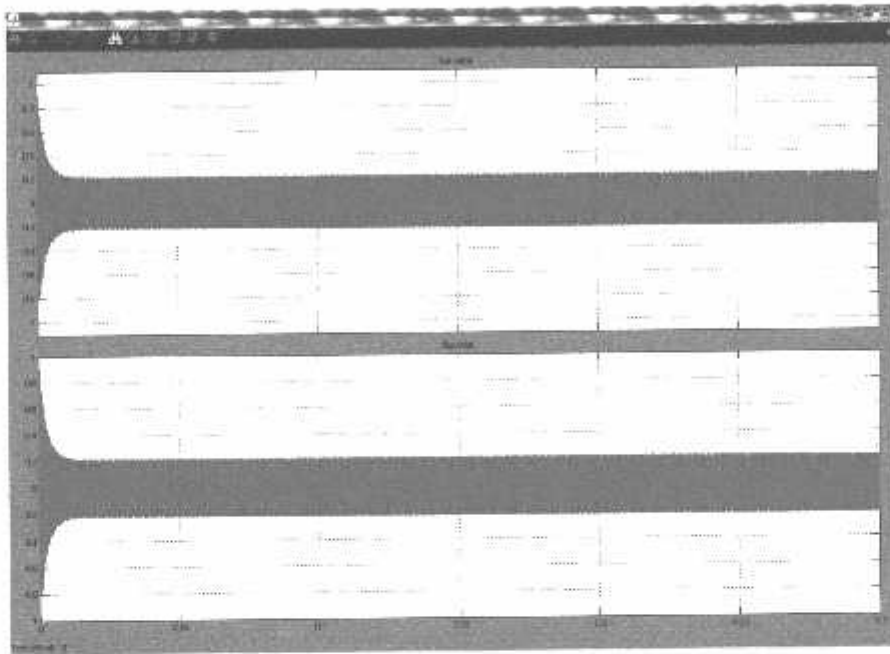


Gambar 4-28
Kecepatan Motor
DTC SVM

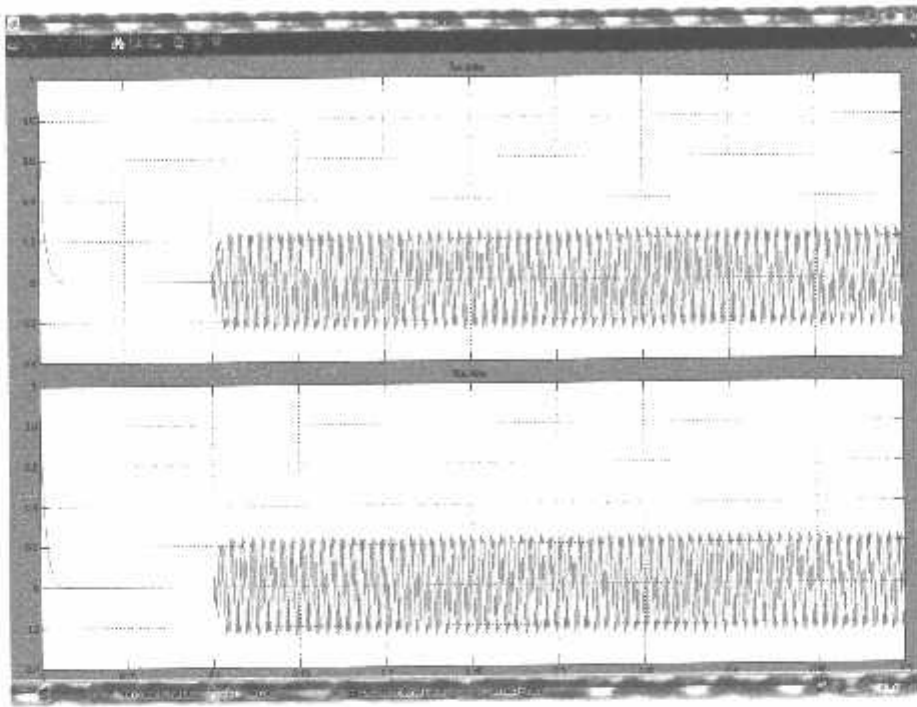


Gambar 4-29
Kecepatan Motor
DTC Konvensional

Setelah Simulink dijalankan dari gambar 4-28 diatas maka pada DTC SVM memiliki kecepatan yang lebih tinggi untuk jumlah variasi torsi beban yang sama yaitu mencapai 7.9 rad/sec sedangkan untuk DTC Konvensional gambar 4-29 Kecepatan hanya mencapai 7.4 rad/sec.



Gambar 4-30
Fluksi Stator dan Rotor
DTC SVM



Gambar 4-31
Fluksi Stator dan Rotor
DTC Konvensional

Untuk gambar 4-30 fluks stator mencapai nilai 0.23 Wb, fluks rotor 0.21 Wb. Pada gambar 4-31 terlihat fluksi sator dan rotor pada DTC Konvensional memiliki ripple. Besarnya fluks tersebut mencapai 0.25 Wb, fluks rotor mencapai 0.24 Wb. Dari kedua hasil simulasi untuk terlihat bahwa fluksi stator dan rotor hampir memiliki nilai yang tetap walaupun terdapat perubahan torsi beban. Hal ini menunjukkan untuk pengendalian torsi dengan metode DTC, dengan menjaga konstan nilai fluks stator dan rotor maka torsi motor dapat mengikuti torsi beban sehingga pengontrolan ini menjadi lebih efektif

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari percobaan dan analisa respons torsi dengan perbandingan antara *direct torque control* menggunakan *space vector modulation* dan *direct torque control* konvensional dari motor DE LORENZO DL 1021 rotor sangkar dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu :

1. Setelah Simulink dijalankan maka pada DTC SVM memiliki ripple yang lebih sedikit jika dibandingkan dengan DTC konvensional
 - Jika torsi beban 1 Nm maka ripple torsi maksimum mencapai 1,33 Nm sedangkan untuk DTC SVM hanya mencapai nilai maksimum 1,15 Nm,
 - Jika torsi beban 0.8 Nm maka ripple torsi maksimum mencapai 1,08 Nm sedangkan untuk DTC SVM hanya mencapai nilai maksimum 0.9 Nm,
 - Jika torsi beban 0.6 Nm maka ripple torsi maksimum mencapai 0.82 Nm sedangkan untuk DTC SVM hanya mencapai nilai maksimum 0.71 Nm,

Dari bentuk gelombang pada DTC SVM memiliki bentuk gelombang yang lebih halus. Untuk respons torsi juga pada DTC-SVM memiliki respons torsi yang lebih cepat, dimana untuk DTC SVM memiliki respons dari $t=0.0$ s, sedangkan untuk DTC Konvensional respons dimulai dari 0.1 s.

2. DTC SVM memiliki ripple pada arus yang lebih sedikit jika dibandingkan dengan DTC konvensional.
 - Torsi beban 1 Nm maka ripple pada arus DTC Konvensional mencapai 7.15 Amp sedangkan untuk DTC SVM hanya mencapai 6.53 Amp
 - Torsi beban 0.8 Nm maka ripple pada arus DTC Konvensional mencapai 6.15 Amp sedangkan untuk DTC SVM hanya mencapai 5.53 A
 - Torsi beban 0.6 Nm maka ripple pada arus mencapai 5.9 Amp sedangkan untuk DTC SVM hanya mencapai 5.1 Amp
3. Untuk kecepatan pada DTC SVM memiliki kecepatan yang lebih tinggi
 - Torsi beban 1 Nm kecepatan pada DTC SVM mencapai 11.1 rad/sec untuk DTC Konvensional hanya mencapai 10.46 rad/sec.
 - Torsi beban 0.8 Nm kecepatan pada DTC SVM mencapai 9.5 rad/sec untuk DTC Konvensional hanya mencapai 8.9 rad/sec.
 - Torsi beban 0.6 Nm kecepatan pada DTC SVM mencapai 7.9 rad/sec untuk DTC Konvensional hanya mencapai 7.4 rad/sec.
4. Untuk fluksi stator dan rotor hampir memiliki nilai yang tetap walaupun terdapat perubahan torsi beban. DTC SVM fluks stator mencapai nilai 0.23 Wb, fluks rotor 0,21 Wb. pada DTC Konvensional memiliki ripple. Besarnya fluks tersebut mencapai 0.25 Wb, fluks rotor mencapai 0.24 Wb. Hal ini menunjukkan untuk pengendalian torsi dengan metode DTC, dengan

menjaga konstan nilai fluks stator dan rotor maka torsi motor dapat mengikuti torsi beban sehingga pengontrolan ini menjadi lebih efektif

5.2. Saran

Setelah melakukan penyusunan skripsi ini kami mempunyai beberapa masukan untuk dikembangkan yaitu:

1. Untuk lebih mempermudah analisa dapat digunakan MATLAB dengan versi terbaru.
2. 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 discsuaikan dengan yang diinginkan.

LAMPIRAN



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

BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

1. **Nama** : DEDE MAHMUDIN
2. **NIM** : 02.12.065
3. **Jurusan** : Teknik Elektro S-1
4. **Konsentrasi** : Teknik Energi Listrik
5. **Judul Skripsi** : ANALISIS PENGGUNAN *DIRECT TORQUE CONTROL* MENGGUNAKAN *SPACE VECTOR MODULATION* PADA MOTOR INDUKSI 3 PHASA DENGAN *MATLAB SIMULINK* DI LABORATORIUM KONVERSI ENERGI ELEKTRIK ITN MALANG

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

Hari : Senin
Tanggal : 03 September 2007
Dengan Nilai : 75,35 (B⁺) *Buy*



Ir. Mochtar Asroni, MSME
Ketua

Panitia Ujian Skripsi

Ir. F. Yudi Limpraptono, MT
Sekretaris

Anggota Penguji

Ir. H. Choirul Saleh, MT
Penguji Pertama

Irrine Budi S, ST, MT
Penguji Kedua



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

PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI

Dari hasil ujian skripsi Jurusan Teknik Elektro jenjang strata satu (S-1) yang diselenggarakan pada :

Hari : Senin

Tanggal : 03 September 2007

Telah dilakukan perbaikan skripsi oleh :

1. Nama : DEDE MAHMUDIN
2. NIM : 02.12.065
3. Jurusan : Teknik Elektro
4. Konsentrasi : Teknik Energi Listrik S-1
5. Judul Skripsi : ANALISIS PENGGUNAN *DIRECT TORQUE CONTROL* MENGGUNAKAN *SPACE VECTOR MODULATION* PADA MOTOR INDUKSI 3 PHASA DENGAN *MATLAB SIMULINK* DI LABORATORIUM KONVERSI ENERGI ELEKTRIK 11N MALANG

Perbaikan meliputi :

No	Materi Perbaikan	Ket
1.	Karakteristik T-S ditambahkan dan dijelaskan	B
2.	Proses perhitungan diperbaiki, disesuaikan dengan hasil pengujian sebenarnya tanpa dibulatkan.	ib
3.	Notasi parameter harus konsisten tidak boleh diganti	B
4.	Nama gambar/table bold semuanya	ib

Anggota Penguji

Irrine Budi S, ST, MT
Penguji Kedua

Dosen Pembimbing

Ir. M. Abdul Hamid, MT
pembimbing Pertama

Ir. Eko Nurcahyo
Pembimbing Kedua



FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : Dede Mahmudin
Nim : 02.12.065
Masa Bimbingan : 19 Juli 2007 s/d 19 Januari 2008
Judul Skripsi : **ANALISIS PENGGUNAAN DIRECT TORQUE CONTROL MENGGUNAKAN SPACE VECTOR MODULATION PADA MOTOR INDUKSI 3 PHASA DENGAN MATLAB SIMULINK DI LABORATORIUM KONVERSI ENERGI ELEKTRIK ITN MALANG**

NO	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1.	3/8 '07	perbaiki Tujuan; batasan masalah Bab III & Bab IV	MF
2.	7/8 '07	ACC revisi	MF
3.	13/8 '07	ACC masalah Seminar	MF
4.	30/8 '07	ACC ujian skripsi	MF
5.			
6.			
7.			
8.			
9.			
10.			

Malang,
Dosen pembimbing

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

Form. S-4a



FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : Dede Mahmudin
Nim : 02.12.065
Masa Bimbingan : 19 Juli 2007 s/d 19 Januari 2008
Judul Skripsi : ANALISIS PENGGUNAAN *DIRECT TORQUE CONTROL* MENGGUNAKAN *SPACE VECTOR MODULATION* PADA MOTOR INDUKSI 3 PHASA DENGAN *MATLAB SIMULINK* DI LABORATORIUM KONVERSI ENERGI ELEKTRIK ITN MALANG

NO	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1.	26/07 '07	Revisi Bab I	
2.	27/07 '07	ACC BAB I	
3.	28/07 '07	Revisi BAB II	
4.	01/08 '07	ACC Bab II	
5.	02/08 '07	Revisi Bab III	
6.	03/08 '07	ACC Bab III	
7.	05/08 '07	Revisi Bab IV, V	
8.	07/08 '07	ACC Bab IV, V	
9.	16/08 '07	ACC Makalah Hasil	
10.	29/08 '07	ACC ujian skripsi	

Malang,
Dosen pembimbing

Ir. Eko Nurcahyo
NIP. Y. 1028700172

Form. S-4a



PERMOHONAN PERSETUJUAN SKRIPSI

Yang betanda tangan dibawah ini :

Nama : DEDE. M
 NIM : 02.12.065
 Semester : ~~8~~
 Fakultas : Teknologi Industri
 Jurusan : Teknik Elektro S-1
 Konsentrasi : Teknik Elektronika / T. Energi Listrik
 Alamat : Jl. Mulyorejo No. 3

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 diteliti kebenaran data tersebut diatas
 Recording Teknik Elektro


 Puri Handayani

Malang, .. 22 .. Maret .. 2007
 Pemohon


 Dede M

Disetujui
 Ketua Jurusan Teknik Elektro


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

Mengetahui
 Dosen Wali


 (.....)

Catatan :

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



1. IPK 593.5 / 135 = 2.91
2.
3. - MK Men - pro

prakt lengkap 22/3/07



LEMBAR PENGAJUAN JUDUL SKRIPSI JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1

Konsentrasi : Teknik Energi Listrik/Teknik Elektronika*)

1.	Nama Mahasiswa: <u>DEDE MAHMUDIN</u>	Nim: <u>0212069</u>
2.	Waktu Pengajuan	Tanggal:
		<u>20</u>
		Bulan:
		<u>06</u>
		Tahun:
		<u>2007</u>
Spesifikasi Judul (berilah tanda silang)**)		
3.	a. Sistem Tenaga Elektrik	e. Elektronika & Komponen
	<input checked="" type="checkbox"/> b. Energi & Konversi Energi	f. Elektronika Digital & Komputer
	c. Tegangan Tinggi & Pengukuran	g. Elektronika Komunikasi
	d. Sistem Kendali Industri	h. lainnya
4.	Konsultasikan judul sesuai materi bidang ilmu kepada Dosen*)	Ketua Jurusan
	<u>Ir. M. Abd. Hamid, MT fuf</u>	 <u>Ir. F. Yudi Limpraptono, MT</u> NIP. P. 1039500274
5.	Judul yang diajukan mahasiswa:	<u>ANALISIS PENGGUNAAN DIRECT TORQUE CONTROL MENGGUNAKAN SPACE VECTOR MODULATION PADA MOTOR INDUKSI 3 PHASA DI LAB KONVERSI ENERGI LISTRIK DENGAN MENGGUNAKAN MATLAB SIMULINK</u>
6.	Perubahan judul yang disetujui Dosen sesuai materi bidang ilmu	<u>ANALISIS PENGGUNAAN DIRECT TORQUE CONTROL MENGGUNAKAN SPACE VECTOR MODULATION PADA MOTOR INDUKSI 3 PHASA DENGAN MATLAB SIMULINK DI LABORATORIUM KONVERSI ENERGI LISTRIK ITN MALANG</u>
7.	Catatan:	
	<u>tujuan & batasan masalah di batalkan</u>	
	Persetujuan Judul skripsi yang dikonsultasikan kepada Dosen materi bidang ilmu	Disetujui Dosen <u>20-6-2007</u> 

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



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

Lampiran : Satu Lembar
Perihal : **Kesediaan Sebagai
Dosen Pembimbing Utama**

Kepada : Yth. Bapak / Ibu Ir. M. Abdul Hamid, MT
Dosen Institut Teknologi Nasional
MALANG

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Dede Mahmudin
Nim : 02 12 065
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Elektronika / Energi Listrik

Dengan ini mengajukan permohonan, kiranya Bapak/Ibu bersedia menjadi Dosen Pembimbing Utama, untuk penyusunan Skripsi dengan judul :
"ANALISIS PENGGUNAAN DIRECT TORQUE CONTROL MENGGUNAKAN SPACE VECTOR MODULATION PADA MOTOR INDUKSI 3 PHASA DENGAN MATLAB SIMULINK DI LABORATORIUM KONVERSI ENERGI ELEKTRIK ITN MALANG"

Seperti proposal terlampir.

Adapun Tugas tersebut sebagai salah satu syarat untuk menempuh Ujian Akhir Sarjana Teknik.

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

Malang, Juni 2007

Mengetahui,
Ketua Jurusan
Teknik Elektro S-1

Ir. F. Yudi Limapratono, MT
Nip. 131 991 182

Hormat Kami

Dede Mahmudin
NIM. 02 12 065

*) coret yang tidak perlu

Form. S - 3a



Malang, 26 Juni 2007

Lampiran : Satu Lembar
Perihal : **Kesediaan Sebagai
Dosen Pembimbing Pendamping**

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

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Dede Mahmudin
Nim : 02.12.065
Semester : X (Sepuluh)
Jurusan : Teknik Elektro
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik S-I

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

**"ANALISIS PENGGUNAAN *DIRECT TORQUE CONTROL*
MENGUNAKAN *SPACE VECTOR MODULATION* PADA MOTOR
INDUKSI 3 PHASA DENGAN MATLAB SIMULINK
DI LABORATORIUM KONVERSI ENERGI ELEKTRIK
ITN MALANG"**

Seperti proposal terlampir.

Adapun Tugas tersebut sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sjana Teknik pada jurusan Teknik Elektro.

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

Mengetahui,
Ketua Jurusan
Teknik Elektro

Ir. F. Yudi Lampraptono, M.I
Nip. Y. 1039500274

Malang, 26 Juni 2007
Pemohon,

Dede Mahmudin
Nim : 02.12.065



PERNYATAAN KESEDIAAN SEBAGAI DOSEN PEMBIMBING SKRIPSI

Sesuai dengan Permohonan dari Mahasiswa :

Nama : Dede Mahmudin
Nim : 02 12 065
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik

Dengan ini saya menyatakan **bersedia / tidak bersedia** *) Membimbing Skripsi dari Mahasiswa tersebut, dengan judul :

"ANALISIS PENGGUNAAN DIRECT TORQUE CONTROL MENGGUNAKAN SPACE VECTOR MODULATION PADA MOTOR INDUKSI 3 PHASA DENGAN MATLAB SIMULINK DI LABORATORIUM KONVERSI ENERGI ELEKTRIK ITN MALANG"

Demikian pernyataan ini kami buat agar dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Malang, Juni 2007
Yang Membuat Pernyataan,

Ir. M. Abdul Hamid, MT
NIP. 1018800188

Catatan :

Setelah disetujui agar formulir ini
Diserahkan mahasiswa/l yang bersangkutan
Kepada jurusan untuk diproses lebih lanjut.

*) Coret yang tidak perlu



PERNYATAAN KESEDIAAN SEBAGAI DOSEN PEMBIMBING SKRIPSI

Sesuai dengan Permohonan dari Mahasiswa :

Nama : Dede Mahmudin
Nim : 02 12 065
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik

Dengan ini saya menyatakan **bersedia / tidak bersedia** *) Membimbing Skripsi dari Mahasiswa tersebut, dengan judul :

"ANALISIS PENGGUNAAN DIRECT TORQUE CONTROL MENGGUNAKAN SPACE VECTOR MODULATION PADA MOTOR INDUKSI 3 PHASA DENGAN MATLAB SIMULINK DI LABORATORIUM KONVERSI ENERGI ELEKTRIK ITN MALANG"

Demikian pernyataan ini kami buat agar dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Malang, Juni 2007
Yang Membuat Pernyataan,

Ir. Eko Nurcahyo
NIP.Y. 1028700172



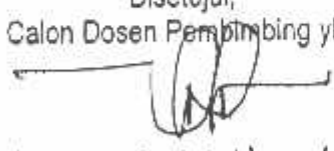
Catatan :

Setelah disetujui agar formulir ini
Diserahkan mahasiswa/I yang bersangkutan
Kepada jurusan untuk diproses lebih lanjut.

*) Coret yang tidak perlu

BERITA ACARA SEMINAR PROPOSAL SKRIPSI JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1

onsentrasi : Teknik Energi Listrik/Teknik Elektronika*)

1.	Nama Mahasiswa: <u>DEDE MAHMUDIN</u>	Nim: <u>02.12.065</u>
2.	Keterangan	Tanggal
	Pelaksanaan	<u>18-07-2007</u>
Waktu		
Tempat		
Ruahg:		
Spesifikasi Judul (berilah tanda silang)**)		
3.	<input checked="" type="checkbox"/> a. Sistem Tenaga Elektrik	<input type="checkbox"/> e. Elektronika & Komponen
	<input type="checkbox"/> b. Energi & Konversi Energi	<input type="checkbox"/> f. Elektronika Digital & Komputer
	<input type="checkbox"/> c. Tegangan Tinggi & Pengukuran	<input type="checkbox"/> g. Elektronika Komunikasi
	<input type="checkbox"/> d. Sistem Kendali Industri	<input type="checkbox"/> h. lainnya
4.	Judul Proposal yang diseminarkan Mahasiswa	<u>ANALISIS PENGGUNAAN DIRECT TORQUE CONTROL MENGGUNAKAN SPACE VECTOR MODULATION PADA MOTOR INDUKSI 3 PHASA DENGAN NATIAS SIMULIN & DI LABORATORIUM KONVERSI ENERGI ELEKTRIK ITN MALANG.</u>
5.	Perubahan Judul yang diusulkan oleh Kelompok Dosen Keahlian
6.	Catatan:
7.	Catatan:
Persetujuan Judul Skripsi		
Disetujui, Dosen Keahlian I		Disetujui, Dosen Keahlian II
.....		
Mengetahui, Ketua Jurusan		Disetujui, Calon Dosen Pembimbing ybs
		
<u>Ir. F. Yuci Limpraptono, MT</u> NIP. P. 1039500274		<u>Ir. M. Abdul Hamid, MT</u>

erhatian:

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



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

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

PT. BNI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG

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

Malang, 23 Juli 2007

Nomor : ITN-392/I.TA/2/2007
Lampiran : -
Perihal : **BIMBINGAN SKRIPSI**
Kepada : Yth. Sdr. **Ir. M. ABDUL HAMID, MT**

Dosen Pembimbing
Jurusan Teknik Elektro S-1
di
Malang

Dengan Hormat,
Sesuai dengan permohonan dan persetujuan dalam proposal Skripsi
untuk Mahasiswa:

Nama : DEDE MAHMUDIN
Nim : 0212065
Fakultas : Teknologi Industri
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Kosentrasi : Teknik Energi Listrik S-1

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

20 Juli 2007 s/d 20 Januari 2008

Sebagai satu syarat untuk menempuh Ujian Sarjana Teknik, Jurusan
Teknik Elektro-S1

Demikian atas perhatian serta kerjasamanya yang baik kami sampaikan
terima kasih.



Ketua Jurusan
Teknik Elektro S-1

[Signature]
Ir. F. Yudi Limpraptono, MT
NIP. Y. 1039500274

Tembusan Kepada Yth:

1. Mahasiswa Yang Bersangkutan
2. Arsip

Form. S4a



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

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

PT. BNI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG

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

Malang, 23 Juli 2007

Nomor : ITN-393/I.TA/2/2007
Lampiran : -
Perihal : **BIMBINGAN SKRIPSI**
Kepada : Yth. Sdr. Ir. **EKO NURCAHYO**

Dosen Pembimbing
Jurusan Teknik Elektro S-1
di
Malang

Dengan Hormat,
Sesuai dengan permohonan dan persetujuan dalam proposal Skripsi
untuk Mahasiswa:

Nama : DEDE MAHMUDIN
Nim : 0212065
Fakultas : Teknologi Industri
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik S-1

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

20 Juli 2007 s/d 20 Januari 2008

Sebagai satu syarat untuk menempuh Ujian Sarjana Teknik, Jurusan
Teknik Elektro-S1

Demikian atas perhatian serta kerjasama yang baik kami sampaikan
terima kasih.



Ketua Jurusan
Teknik Elektro S-1

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

Tembusan Kepada Yth:

1. Mahasiswa Yang Bersangkutan
2. Arsip

Form. S4a