

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



**STUDY TENTANG SISTEM PENGOPERASIAN MOTOR INDUKSI
PENGGERAK MESIN COOLING TOWER MERK MARLEY TYPE:
NCE-912 POWER : 55KW/380V/3 FASA/50 Hz KAPASITAS : 900
TON R DI GUDANG GARAM SKM UNIT V PT.GUDANG GARAM
Tbk KEDIRI**

SKRIPSI



Disusun Oleh :
ANDRI KURNIAWAN
02.12.103

MEI 2007

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO 21
PROGAM STUDI TEKNIK ENERGI LISTRIK

STUDI TENTANG SISTEM PENYERAPAN HANTAN HANTAN
KEMUDIAN MESIN COOLING TOWER BERKAPASITAS 1000
KW : 230V/3Ø/50 Hz KAPASITAS : 200
TON R 31 GUNUNG GARAM SKM UNIT V PT. GUNUNG GARAM
TAN KEDIRI

SKRIPSI

: 2000
MAMAMAMAM
201.12.03

2000

LEMBAR PERSETUJUAN

**STUDY TENTANG SISTEM PENGOPERASIAN MOTOR INDUKSI
PENGGERAK MESIN COOLING TOWER MERK MARLEY TYPE:
NCE-912 POWER : 55KW/380V/3 FASA/50 Hz KAPASITAS : 900
TON R DI GUDANG GARAM SKM UNIT V PT.GUDANG GARAM
Tbk KEDIRI**

SKRIPSI

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

**Disusun Oleh :
ANDRI KURNIAWAN
02.12.103**



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

**Ir. F. YUDI LAMPRAPTONO, MT
NIP.Y. 103 950 0274**

**Diperiksa dan disetujui,
Dosen Pembimbing**

**Ir. WIDODO PUDJI M, MT
NIP.Y. 102 870 0171**

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

ABSTRAK

STUDY TENTANG SISTEM PENGOPERASIAN MOTOR INDUKSI PENGGERAK MESIN COOLING TOWER MERK MARLEY TYPE: NCE-912 POWER : 55KW/380V/3 FASA/50 Hz KAPASITAS : 900 TON R DI GUDANG GARAM SKM UNIT V PT.GUDANG GARAM Tbk KEDIRI

**Andri Kurniawan
Widodo Pudji Mulyanto**

kata kunci : adaptif, motor induksi, estimasi torsi elektromagnetik, kontrol tanpa sensor(FFT), gaya penggerak kondisi operasi.

Suatu sistem kendali torsi elektromagnetik tanpa sensor dipakai untuk mengoperasikan motor induksi penggerak mesin cooling tower pada PT.Gudang Garam Tbk Kediri. Sistem tersebut memungkinkan pelacakan torsi secara cepat dan tepat untuk rentang kecepatan yang besar, yang didasarkan pada suatu pemantau fluksi-arus dengan penggeseran yang disesuaikan(adaptive sliding mode fluks-current observer) dan kontroler pengoperasian waktu diskret untuk mengendalikan torsi elektromagnetik.

Skripsi ini menganalisa estimasi torsi elektromagnetik dan identifikasi arus dari motor induksi merk brown group dengan bermacam-macam arus sebagai fungsi kondisi operasi Mesin Cooling(CT) Tower type : NCE-912 merk marley yang ditemui di Mesin AC(Air Conditioner) SKM(Sigaret Kretek Mesin) unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri.

Analisis menggunakan bahasa program komputer pada Matlab versi 7.0.4. ternyata dari hasil estimasi dengan metode program FFT(Fast Fourier Transform) dua dimensi didapatkan : kondisi pengoperasian torsi elektromagnetik maksimum pada setiap mesin CT(cooling tower) yang digerakkan motor induksi tiga fasa merk brown group terjadi pada saat awal start atau jam 6.00 WIB sedangkan, besarnya torsi elektromagnetik yang paling efisien : untuk hari senin tanggal 4 september 2006 sampai jumat tanggal 8 september 2006, untuk Mesin Cooling Tower (CT) I : 1056,0000 Wb.A, untuk Mesin Cooling Tower (CT) II : 1464,0000 Wb.A, dan untuk Mesin Cooling Tower (CT) III : 1392,0000 Wb.A.

KATA PENGANTAR

Dengan rahmat Allah SWT, dan mengucapkan syukur kehadiran-Nya atas karunia yang dilimpahkan kepada saya sehingga dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “STUDY TENTANG SISTEM PENGOPERASIAN MOTOR INDUKSI PENGGERAK MESIN COOLING TOWER MERK MARLEY TYPE: NCE-912 POWER : 55KW/380V/3 FASA/50 Hz KAPASITAS : 900 TON R DI GUDANG GARAM SKM UNIT V PT.GUDANG GARAM Tbk KEDIRI”.

Skripsi ini bertujuan untuk memenuhi kurikulum akademik yang harus ditempuh oleh setiap mahasiswa ITN Malang dalam menempuh sekaligus mengakhiri pendidikan pada jenjang S-1 pada Jurusan Teknik Elektro Konsentrasi Teknik Energi Listrik.

Saya menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, karena itu saran dan kritik membangun sangat saya harapkan.

Atas segala bimbingan, pengarahan dan bantuan yang diberikan, sehingga tersusun skripsi ini, maka penulis menyampaikan terima kasih kepada;

1. Bapak Prof.Dr. Ir. Abraham Lomi, MSME, selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang.
2. Bapak Ir. Mochtar Asroni, MSME, selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri.
3. Bapak Ir. F. Yudi Limpraptono, MT, selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1.
4. Bapak Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT, selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro S-1.
5. Bapak Ir. Widodo Pudji Mulyanto, MT, selaku Dosen Pembimbing.
6. Bapak Ir. Yunior Siahaan, MT, selaku Penguji Pertama Ujian Skripsi.

7. Bapak Ir.H. Almizan Abdullah, MSEE, selaku Penguji Kedua Ujian Skripsi.
8. Bapak Ugro, ST, selaku pembimbing di dalam pembuatan program analisis dan simulasi.
9. Bagian humas, kepala divisi teknik umum, wakil kepala bagian teknik perawatan, dan asisten kepala bagian teknik perawatan di PT.Gudang Garam Tbk Kediri atas segala dukungannya untuk menyelesaikan skripsi ini.
10. Ibu Yayuk Sri Rahayu dan Ayah Sudjoko tercinta atas bantuan dan doanya.
11. adikku(Dian, Doni, dan Anton) dan saudra keluargaku..... thak's very much atas segala perhatian dan dorongan semangatnya.
12. Teman-teman terima kasih atas diskusinya.

Akhirnya saya mengharapkan skripsi ini berguna dan bermanfaat bagi rekan mahasiswa khususnya Jurusan Teknik Elektro S-1 ITN Malang.

Malang, April 2007

Penyusun

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
ABSTRAK	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GRAFIK	xvi

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Pembahasan	2
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Metodologi Pembahasan	3
1.6. Kontribusi Penelitian	4
1.7. Sistematika Pembahasan	5

BAB II LANDASAN TEORI

2.1. Umum.....	7
2.2. Prinsip Kerja Motor Induksi	7
2.3. Jenis-Jenis Motor Induksi	9
2.4. Pengembangan Model-model Frekuensi Variabel	12

2.5. Pengembangan Kontrol Torsi Tanpa Sensor	19
A. Pengamatan Mode Sliding Adaptif	19
B. Kontrol Aliran Waktu Diskret-Lup Luar.....	22
C. Kontrol Arus-Lup Dalam	23
2.6. Spesifikasi Motor Induksi Tiga Fasa di SKM Unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri	25
2.7. Data Laporan Operasional Mesin Cooling Tower	26
2.7.1. Data Ampere Motor CT	26

**BAB III PEMROSESAN SINYAL DIGITAL MENGGUNAKAN
KOMPUTASI FAST FOURIER TRANSFORM**

3.1. Umum.....	27
3.2. Penjelasan Tentang Pemrosesan Data Oleh Matlab.....	27
3.3. Data Yang Dimasukkan Time Series Bukan Kontinu.....	28
3.4. Algoritma Transformasi Fourier Cepat.....	34
3.4.1. Desimasi Pada Waktu Algoritma FFT	34
3.4.2. Desimasi Pada Frekuensi Algoritma FFT	38
3.5. Komputasi DFT Dan IDFT Menggunakan Matlab.....	40

BAB IV ANALISIS DAN SIMULASI

4.1. Umum.....	42
4.2. Sistem Kontrol Adaptif	43
4.3. Prinsip Kontrol Vektor Flux	47
4.4. Penggunaan FFT Pada Matlab 7.0 Untuk Menghitung Torsi Elektromagnetik	51

4.5. Diagram Alir Proses Estimasi Perhitungan Torsi Elektromagnetik Dalam Program FFT Sebagai Fungsi Di Bidang Dua Dimensi Pada Matlab 7.0.....	52
4.6. Hasil Estimasi Simulasi dan Analisis Program FFT Dalam Matlab 7.0.....	54
4.6.1. Hasil Estimasi Torsi Elektromagnetik Dalam Program Simulasi FFT Sebagai Fungsi Di Bidang Dua Dimensi Pada Matlab 7.0.....	54
4.6.2. Hasil Analisis Estimasi Torsi Elektromagnetik Dalam Program FFT Sebagai Fungsi Di Bidang Dua Dimensi Pada Matlab 7.0	66

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan	83
5.2. Saran.....	87

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1a	Magnit Bergerak Melintang Suatu Batang-batang Penghantar..... .. 9	9
Gambar 2-1b	Batang-batang Penghantar Membengkokkan Ketika Batang- Batang Penghantar Ditanam Dalam Inti Besi Serta dijepit Gelang- Gelang Dari Bahan Penghantar Untuk Membentuk Suatu Sangkar Tupai	9
Gambar 2-2a	Alumunium Yang Ditanam Untuk Rotor Sangkar Tupai Yang Disatukan Dengan Kipas Pendingin	10
Gambar 2-2b	Langkah-Langkah Progresif Dipabrik Pembuatan Stator dan Laminasi Rotor Untuk Suatu Motor Induksi Rotor Sangkar. Pelat Baja Dipotong Ke Ukuran (1), Kosong (2), Ditanam Batang Penghantar (3), Kosong (4) Menanam Batang Penghantar (5)	10
Gambar 2-3a	Suatu Pandangan 5 Hp, 1730r/min Motor Induksi Rotor Belitan	11
Gambar 2-3b	Dekat-Atas Untuk Akhir Slip-Ring Pada Rotor.....	11
Gambar 2-4	Model Motor Induksi DiDalam Kerangka Referensi Stasioner(sumbu-q)	12
Gambar 2-5	L_m Sebagai Fungsi i_{ds}^e	15
Gambar 2-6	L_l Sebagai Fungsi I_s	16
Gambar 2-7	R_s Sebagai Suatu Fungsi T	17
Gambar 2-8	R_r Sebagai Fungsi Frekuensi Slip	18
Gambar 2-9	R_r Sebagai Suatu Fungsi i_{qs}^e	18

Gambar 2-10	Struktur Kontrol	19
Gambar 3-1	Pemrosesan waktu diskrit dari sinyal waktu kontinu	29
Gambar 3-2	Pengaruh yang terjadi pada domain frekuensi dari pencuplikan pada domain waktu; (a) spektrum sinyal asli; (b) spektrum fungsi pencuplikan; (c) spektrum sinyal hasil pencuplikan dengan $\omega_s > 2\omega_M$; (d) spektrum sinyal hasil pencuplikan dengan $\omega_s < 2\omega_M$	30
Gambar 3-3	Pencuplikan dengan urutan impuls periodik diikuti dengan konversi dari urutan waktu diskrit: (a) sistem keseluruhan; (b) $x_p(t)$ untuk dua kecepatan pencuplikan. Garis putus-putus menyatakan $x_c(t)$; (c) urutan keluaran untuk dua kecepatan pencuplikan yang berbeda	31
Gambar 3-4	Konversi urutan waktu diskrit menjadi sinyal waktu kontinu	32
Gambar 3-5	Keseluruhan sistem untuk pemfilteran sinyal waktu kontinu dengan menggunakan filter waktu diskrit	33
Gambar 3-6	Ilustrasi domain frekuensi dari sistem pada gambar 3-5; (a) spektrum waktu kontinu $X_c(j\omega)$; (b) spektrum setelah pencuplikan rentetan impuls; (c) spektrum urutan waktu diskrit $x_d[n]$; (d) $H_d(e^{j\Omega})$ dan $X_d(e^{j\Omega})$ yang dikalikan dengan bentuk $Y_d(e^{j\Omega})$; (e) spektrum yang dikalikan untuk membentuk $Y_p(j\omega)$; (f) spektrum yang dikalikan membentuk $Y_c(j\omega)$	33
Gambar 3-7a	Generasi Suatu Rangkaian Yang Berisi Bahkan- Contoh Masukan Indexed.....	35

Gambar 3-7b	Generasi Suatu Rangkaian Yang Berisi Aneh- Contoh Masukan Indexed	35
Gambar 3-8	Penafsiran Yang Struktural DFT Rencana Persamaan.....	36
Gambar 3-9	Penafsiran Keduanya Struktural-Langkah DFT Rencana persamaan.....	38
Gambar 3-10	IDFT Perhitungan Melalui DFT	40
Gambar 4-1(a)	Sistem Kontrol Acuan Model.....	44
Gambar 4-1(b)	Diagram Blok Yang Disederhanakan.....	44
Gambar 4-2	Penyajian Diagram Blok Sistem Kontrol Adaptif.....	46
Gambar 4-3	Seketika di dalam lilitan rotor dan stator suatu 2 kutub , 3 fasa Motor Induksi.....	48
Gambar 4-4	Posisi Seketika Rotor Dan Lilitan Stator	49
Gambar 4-5	Besar Seketika Dan Orientasi Di Dalam Ruang Gaya Gerak Magnet Stator.....	49
Gambar 4-6	Besar Seketika Dan Orientasi Di Dalam Ruang Gaya Gerak Magnet Rotor	50
Gambar 4-7	Flowchart Estimasi Perhitungan Torsi Elektromagnetik Dalam Program FFT sebagai Fungsi Di Bidang Dua Dimensi Pada Matlab 7.0	53
Gambar 4-8	Komputasi Estimasi Torsi Elektromagnetik Dalam Program Simulasi FFT Sebagai Fungsi Di Bidang Dua Dimensi Pada Matlab 7.0	54

Gambar 4-9	Komputasi Estimasi Torsi Elektromagnetik Dalam Program Simulasi FFT Sebagai Fungsi Di Bidang Dua Dimensi Pada Matlab 7.0	55
Gambar 4-10	Komputasi Estimasi Torsi Elektromagnetik Dalam Program Simulasi FFT Sebagai Fungsi Di Bidang Dua Dimensi Pada Matlab 7.0	56
Gambar 4-11	Komputasi Estimasi Torsi Elektromagnetik Dalam Program Simulasi FFT Sebagai Fungsi Di Bidang Dua Dimensi Pada Matlab 7.0	57
Gambar 4-12	Komputasi Estimasi Torsi Elektromagnetik Dalam Program Simulasi FFT Sebagai Fungsi Di Bidang Dua Dimensi Pada Matlab 7.0	58
Gambar 4-13	Komputasi Estimasi Torsi Elektromagnetik Dalam Program Simulasi FFT Sebagai Fungsi Di Bidang Dua Dimensi Pada Matlab 7.0	59
Gambar 4-14	Komputasi Estimasi Torsi Elektromagnetik Dalam Program Simulasi FFT Sebagai Fungsi Di Bidang Dua Dimensi Pada Matlab 7.0	60
Gambar 4-15	Komputasi Estimasi Torsi Elektromagnetik Dalam Program Simulasi FFT Sebagai Fungsi Di Bidang Dua Dimensi Pada Matlab 7.0	61
Gambar 4-16	Komputasi Estimasi Torsi Elektromagnetik Dalam Program Simulasi FFT Sebagai Fungsi Di Bidang Dua Dimensi Pada Matlab 7.0	62

Gambar 4-17	Komputasi Estimasi Torsi Elektromagnetik Dalam Program Simulasi FFT Sebagai Fungsi Di Bidang Dua Dimensi Pada Matlab 7.0	63
Gambar 4-18	Komputasi Estimasi Torsi Elektromagnetik Dalam Program Simulasi FFT Sebagai Fungsi Di Bidang Dua Dimensi Pada Matlab 7.0	64
Gambar 4-19	Komputasi Estimasi Torsi Elektromagnetik Dalam Program Simulasi FFT Sebagai Fungsi Di Bidang Dua Dimensi Pada Matlab 7.0	65

DAFTAR TABEL

Tabel 2-1	Nilai Parameter Motor Induksi	14
Tabel 2-2	Data Ampere Motor CT	26
Tabel 4-1	Hasil Analisis Estimasi Torsi Elektromagnetik Dalam Program FFT Sebagai Fungsi Di Bidang Dua Dimensi Pada Matlab 7.0	66
Tabel 4-2	Hasil Analisis Estimasi Torsi Elektromagnetik Dalam Program FFT Sebagai Fungsi Di Bidang Dua Dimensi Pada Matlab 7.0	67
Tabel 4-3	Hasil Analisis Estimasi Torsi Elektromagnetik Dalam Program FFT Sebagai Fungsi Di Bidang Dua Dimensi Pada Matlab 7.0	68
Tabel 4-4	Hasil Analisis Estimasi Torsi Elektromagnetik Dalam Program FFT Sebagai Fungsi Di Bidang Dua Dimensi Pada Matlab 7.0	69
Tabel 4-5	Hasil Analisis Estimasi Torsi Elektromagnetik Dalam Program FFT Sebagai Fungsi Di Bidang Dua Dimensi Pada Matlab 7.0	70
Tabel 4-6	Hasil Analisis Estimasi Torsi Elektromagnetik Dalam Program FFT Sebagai Fungsi Di Bidang Dua Dimensi Pada Matlab 7.0	71
Tabel 4-7	Hasil Analisis Estimasi Torsi Elektromagnetik Dalam Program FFT Sebagai Fungsi Di Bidang Dua Dimensi Pada Matlab 7.0	72
Tabel 4-8	Hasil Analisis Estimasi Torsi Elektromagnetik Dalam Program FFT Sebagai Fungsi Di Bidang Dua Dimensi Pada Matlab 7.0	73
Tabel 4-9	Hasil Analisis Estimasi Torsi Elektromagnetik Dalam Program FFT Sebagai Fungsi Di Bidang Dua Dimensi Pada Matlab 7.0	74
Tabel 4-10	Hasil Analisis Estimasi Torsi Elektromagnetik Dalam Program FFT Sebagai Fungsi Di Bidang Dua Dimensi Pada Matlab 7.0	75

Tabel 4-11	Hasil Analisis Estimasi Torsi Elektromagnetik Dalam Program FFT Sebagai Fungsi Di Bidang Dua Dimensi Pada Matlab 7.0	76
Tabel 4-12	Hasil Analisis Estimasi Torsi Elektromagnetik Dalam Program FFT Sebagai Fungsi Di Bidang Dua Dimensi Pada Matlab 7.0	77
Tabel 4-13	Hasil Analisis Estimasi Torsi Elektromagnetik Dalam Program FFT Sebagai Fungsi Di Bidang Dua Dimensi Pada Matlab 7.0	78
Tabel 4-14	Hasil Analisis Estimasi Torsi Elektromagnetik Dalam Program FFT Sebagai Fungsi Di Bidang Dua Dimensi Pada Matlab 7.0	79
Tabel 4-15	Hasil Analisis Estimasi Torsi Elektromagnetik Dalam Program FFT Sebagai Fungsi Di Bidang Dua Dimensi Pada Matlab 7.0	80
Tabel 4-16	Hasil Analisis Estimasi Torsi Elektromagnetik Dalam Program FFT Sebagai Fungsi Di Bidang Dua Dimensi Pada Matlab 7.0	81
Tabel 4-17	Hasil Analisis Estimasi Torsi Elektromagnetik Dalam Program FFT Sebagai Fungsi Di Bidang Dua Dimensi Pada Matlab 7.0	82

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4-1	Program simulasi Estimasi FFT Pada Matlab 7.0 Untuk menghitung Torsi Elektromagnetik	54
Grafik 4-2	Program simulasi Estimasi FFT Pada Matlab 7.0 Untuk menghitung Torsi Elektromagnetik	55
Grafik 4-3	Program simulasi Estimasi FFT Pada Matlab 7.0 Untuk menghitung Torsi Elektromagnetik	56
Grafik 4-4	Program simulasi Estimasi FFT Pada Matlab 7.0 Untuk menghitung Torsi Elektromagnetik	57
Grafik 4-5	Program simulasi Estimasi FFT Pada Matlab 7.0 Untuk menghitung Torsi Elektromagnetik	58
Grafik 4-6	Program simulasi Estimasi FFT Pada Matlab 7.0 Untuk menghitung Torsi Elektromagnetik	59
Grafik 4-7	Program simulasi Estimasi FFT Pada Matlab 7.0 Untuk menghitung Torsi Elektromagnetik	60
Grafik 4-8	Program simulasi Estimasi FFT Pada Matlab 7.0 Untuk menghitung Torsi Elektromagnetik	61
Grafik 4-9	Program simulasi Estimasi FFT Pada Matlab 7.0 Untuk menghitung Torsi Elektromagnetik	62
Grafik 4-10	Program simulasi Estimasi FFT Pada Matlab 7.0 Untuk menghitung Torsi Elektromagnetik	63
Grafik 4-11	Program simulasi Estimasi FFT Pada Matlab 7.0 Untuk menghitung Torsi Elektromagnetik	64

Grafik 4-12 Program simulasi Estimasi FFT Pada Matlab 7.0 Untuk menghitung

Torsi Elektromagnetik 65

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebersahajaan fasilitas produksi pada awal berdirinya perusahaan merupakan catatan penting bagi perusahaan, sebab optimalisasi pemanfaatan fasilitas produksi tersebut, pada kenyataan mampu meningkatkan potensi untuk meraih peluang usaha. Agar tetap mampu menangkap peluang bisnis yang ada, fasilitas produksi diperbaharui dari yang sederhana menjadi lebih modern. Pada tahun 1979, PT. Gudang garam Tbk Kediri mengembangkan satu lagi jenis produk yaitu Sigaret kretek mesin(SKM). pengembangan produk ini berarati juga pengembangan fasilitas produksi, yaitu penggunaan mesin-mesin berteknologi tinggi, baik untuk pengolahan bahan baku, pembuatan rokok, dan laboratorium.

Suatu sistem kontrol torsi elektromagnetik tanpa sensor untuk motor induksi tiga fasa digunakan. Sistem tersebut memungkinkan melacak torsi atas serangkaian kondisi-kondisi pengoperasian, yang terdiri atas kecepatan, beban, dan rentang flux yang luas. Pengamat flux kecepatan mode sliding yang adaptif dikembangkan dan suatu kaskade dari pengontrol mode sliding waktu diskret digunakan untuk mengontrol arus dan flux.

Dengan menggunakan metode estimasi torsi elektromagnetik least square linier dengan metode pemrograman fast fourier transform algorithm didalam program

simulasi Matlab 7.0 untuk mendeteksi secara teliti kecepatan rotor dan skema kontrol didasarkan pada model kondisi operasi mesin cooling tower merk Marley.

1.2 Perumusan Masalah

Pada skripsi ini permasalahan yang akan dibahas mengenai operasional motor induksi tiga fasa merk Brown Group dalam pengendalian identifikasi arus tanpa sensor untuk merubah torsi elektromagnetik pada mesin cooling tower merk Marley di Mesin AC SKM unit V PT. Gudang Garam Tbk Kediri, dengan perumusan sebagai berikut :

Bagaimana menggunakan kondisi operasional kontrol torsi elektromagnetik tanpa sensor dianalisis sensitivitas output terhadap masing-masing variabel pada berbagai perubahan waktu, ketergantungan-ketergantungan diantara arus-arus dan variabel-variabel motor induksi tiga fasa merk Brown Group yang menandai kondisi pengoperasian dapat diotomasi untuk mesin cooling tower merk Marley suatu pengendalian dalam industri.

berdasarkan permasalahan diatas maka penulis mengambil judul untuk skripsi ini

**“STUDY TENTANG SISTEM PENGOPERASIAN MOTOR INDUKSI
PENGGERAK MESIN COOLING TOWER MERK MARLEY TYPE: NCE-
912 POWER : 55KW/380V/3 FASA/50 Hz KAPASITAS : 900 TON R DI
GUDANG GARAM SKM UNIT V PT.GUDANG GARAM Tbk KEDIRI”**

1.3 Tujuan Pembahasan

Tujuan dari penulisan skripsi ini adalah untuk mengestimasi torsi elektromagnetik dan mengidentifikasi arus motor induksi tiga fasa merk Brown Group sebagai fungsi kondisi operasi mesin cooling tower merk Marley dengan metode

pemrograman fast fourier transform algorithm pada fungsi dua dimensi didalam program simulasi Matlab 7.0.

1.4 Batasan Masalah

Apabila ditinjau lebih jauh, permasalahan yang ada dalam pembahasan ini cukup luas dan kompleks. oleh karena itu, agar pembahasan lebih terarah dan mempunyai tujuan, maka perlu dilakukan pembatasan masalah sebagai berikut :

- Kondisi operasional mesin cooling tower 1 sampai 4 dilakukan dalam satu hari(24 jam dengan range tiap jam, kecuali hari sabtu hanya dioperasikan selama 16 jam) sebagai studi tentang sistem pengoperasian pada tanggal 1,2,4,5,6,7, dan 8 september 2006.
- Di hitung Torsi elektromagnetik perfasa setiap mesin cooling tower Merk Marley Type : NCE-912 1 sampai 3 Mesin yang dioperasikan, sesuai dengan laporan operasional Kondisi operasional mesin cooling tower Merk Marley Type : NCE-912 1 sampai 3 Mesin yang dioperasikan dilakukan dalam satu hari(24 jam dengan range tiap jam, kecuali hari sabtu hanya dioperasikan selama 16 jam) sebagai studi tentang sistem pengoperasian pada tanggal 1,2,4,5,6,7, dan 8 september 2006.

1.5 Metodologi Pembahasan

Metodologi yang dibahas dalam pembahasan skripsi ini dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

- Studi Literatur

Studi kepustakaan mengenai hal-hal yang berkaitan dengan pembahasan masalah.

➤ **Studi Lapangan**

Pengambilan data laporan operasional masing-masing motor induksi tiga fasa merk brown group untuk menggerakkan masing-masing mesin cooling tower merk Marley Type : NCE-912. antara lain :

Parameter masing-masing ampere motor CT tiga fasa yang diukur dalam perfasa merk Brown Group, frekuensi stator 50Hz, 1480 r/min, 55KW, 380V, $\cos \varphi = 0,87$.

- Melakukan perhitungan estimasi torsi elektromagnetik menggunakan suatu teknik optimisasi analisa korelasi mengisolasikan ketergantungan kondisi operasi arus motor induksi tiga fasa merk Brown Group untuk meggerakkan mesin cooling tower merk Marley dengan metode pemrograman fast fourier transform algorithm didalam program simulasi Matlab 7.0 yang tepat.

1.6 Kontribusi Penelitian

Dengan adanya analisa Torsi Elektromagnetik ini nantinya diharapkan metode pemrograman fast fourier transform algorithm didalam program simulasi Matlab 7.0 dapat memberikan alternatif dimana variabel arus input digunakan sebagai suatu parameter pengamatan Torsi Elektromagnetik.

1.7 SISTEMATIKA PEMBAHASAN

Pembahasan dalam Skripsi ini akan diuraikan dalam lima bab, yang penjabarannya adalah sebagai berikut :

Bab I : PENDAHULUAN

Membahas tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan, metodologi pembahasan, kontribusi Penelitian, dan sistematika pembahasan yang akan dipaparkan dalam laporan Skripsi ini.

Bab II : LANDASAN TEORI

Membahas berbagai macam teori yang mendukung dalam identifikasi dan estimasi parameter pada suatu model operasi motor induksi dengan bermacam-macam parameter sebagai fungsi dari kondisi operasi. serta, identifikasi spesifikasi motor induksi tiga fasa Merk Brown Group 50Hz, 1480 r/min, 55KW, 380V, $\cos\phi=0,87$, dan data laporan operasional mesin cooling towe Merk Marley Type : NCE-912 khususnya ampere motor CT di Mesin AC SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri.

Bab III : PEMROSESAN SINYAL DIGITAL MENGGUNAKAN KOMPUTASI FAST FOURIER TRANSFORM

Membahas tentang berbagai macam teori proses pada Algoritma pemrosesan sinyal digital digunakan dalam menganalisis Transformasi fourier waktu diskret khususnya program simulasi di dalam matlab 7.0 dengan menggunakan metode fast fourier transform.

Bab IV : ANALISIS DAN SIMULASI

Membahas tentang analisis dan simulasi estimasi program fast fourier transform(FFT) dalam bidang dua dimensi di dalam bahasa komputasi teknik menggunakan Matlab 7.0 terhadap sistem pengoperasian motor induksi merk Brown Group 50Hz, 1480 r/min, 55KW, 380V, $\cos\phi=0,87$, penggerak mesin cooling tower merk marley type : NCE-912 di Mesin AC SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri.

Bab V : PENUTUP

Merupakan bagian akhir dari laporan Skripsi yang terdiri dari kesimpulan dan saran.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Umum

motor induksi tiga fasa adalah motor paling sering ditemui pada industri. motor induksi adalah sederhana, tidak datar, harga murah, dan mudah untuk memelihara. motor induksi menjalankan kecepatan sangat utama tetap dari nol ke beban penuh. Kecepatan adalah bergantung frekuensi dan, sebagai konsekuensi, motor ini tidaklah dengan mudah menyesuaikan diri dengan kontrol kecepatan. bagaimanapun, frekuensi variabel didrive dengan elektronik digunakan semakin banyak untuk mengendalikan kecepatan pada pemasaran motor induksi.

kendali industri, di dalam pengertian paling luas, meliputi semua metode pencapaian kontrol dari suatu sistem listrik ketika berlaku untuk mesin, melibatkan starting, percepatan, putar-balik, turunnya kecepatan, dan pengereman suatu motor induksi, dan bebannya.

2.2 Prinsip Kerja Motor Induksi

operasi suatu 3 fasa motor induksi didasarkan aplikasi hukum faraday dan gaya lorentz pada sebuah konduktor.

Misalnya konduktor seri panjang l , yang ekstremisinya dirangkai pendek dengan dua batang A dan B (gambar 2-1a). Magnet permanen ditempatkan di atas tangga konduksi ini, bergerak cepat ke kanan pada kecepatan v , sehingga medan magnetisnya B melewati lintasan konduktor.

Rangkaian peristiwa berikut ini kemudian terjadi:

1. Tegangan $E = Blv$ diinduksi pada masing-masing konduktor sambil dipotong oleh flux (Hukum Faraday).
2. Tegangan yang diinduksi segera menghasilkan arus I , yang mengalir konduktor di bawah muka kutub, melalui ujung batang, dan kembali melalui konduktor yang lain.
3. Karena konduktor yang membawa arus terdapat pada medan magnetis dari magnet permanen, maka mengalami gaya mekanis (gaya Lorentz).
4. gaya ini selalu bekerja dengan arah untuk mendorong konduktor sepanjang dengan medan magnetis

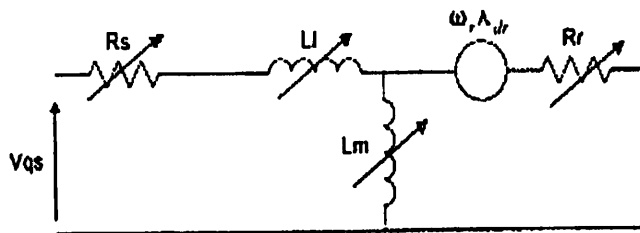
Jika tangga konduksi bebas untuk bergerak, maka akan mempercepat menuju ke kanan. Akan tetapi, ketika mengangkat kecepatan, konduktor akan berkurang dengan cepat dengan menggerakkan magnet, dengan hasil bahwa tegangan E yang diinduksi dan arus I akan hilang. Akibatnya, gaya yang bekerja pada konduktor juga akan menurun. Jika tangga bergerak pada kecepatan yang sama dengan medan magnetik, tegangan E yang diinduksi, arus I dan gaya mendorong tangga semua sepanjang akan menjadi nol.

Dalam suatu motor induksi tangga ditutup untuk membentuk squirrel-cage (gambar 2-1b) dan magnet yang bergerak diganti dengan medan yang berotasi. medan ini dihasilkan oleh arus tiga fasa yang mengalir dalam lilitan stator.

Resistor eksternal digunakan utamanya untuk saat start-up, di bawah kondisi menjalankan secara normal, ketiga sikat dirangkai pendek.

2.4 Pengembangan Model-Model Frekuensi Variabel

Gambar 2-4 ditunjukkan model motor induksi yang digunakan didalam penelitian ini. didalam kerangka referensi stasioner untuk sumbu-q(sumbu-d sama). model tersebut ekivalen terhadap model T yang umum dimana induktansi kebocoran dipisahkan dalam kebocoran stator dan kebocoran rotor.



Gambar 2-4
Model motor induksi didalam kerangka referensi stasioner(sumbu-q).

Sumber : Amuliu Bogdan Proca, Ali Keyhani, and John M.Miller, "Sensorless sliding – Mode Control of Induction Motors Using Operating Condition Dependent Models", IEEE Transaction on Energy Conversion, Vol.18, No.2, June 2003.

persamaan-persamaan dasar pada mesin induksi dapat diturunkan berikut ini :

$$\frac{d\lambda_{qr}}{dt} = n_p \omega_r \lambda_{dr} - \eta \lambda_{qr} + \eta L_m i_{qs} \dots \dots \dots (2.1)$$

$$\frac{d\lambda_{dr}}{dt} = -n_p \omega_r \lambda_{qr} - \eta \lambda_{dr} + \eta L_m i_{ds} \dots \dots \dots (2.2)$$

$$\frac{di_{qs}}{dt} = -\beta n_p \omega_r \lambda_{dr} + \eta \beta \lambda_{qr} - \gamma i_{qs} + \frac{1}{L_1} v_{qs} \dots \dots \dots (2.3)$$

$$\frac{di_{ds}}{dt} = \beta n_p \omega_r \lambda_{qr} + \eta \beta \lambda_{dr} - \gamma i_{ds} + \frac{1}{L_1} v_{ds} \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan :

i_{ds}, i_{qs}	arus didalam kerangka referensi stasioner
$\lambda_{dr}, \lambda_{qr}$	flux rotor didalam kerangka referensi stasioner
L_m, L_l	induktansi magnetis dan inductansi kebocoran
R_s, R_r	resistansi stator dan resistansi rotor
ω_r	kecepatan mekanik

Dengan konstanta yang di definisikan sebagai berikut :

$$\eta = \frac{R_r}{L_m}, \beta = \frac{1}{L_l}, \gamma = \frac{R_s + R_r}{L_l}$$

Torsi eletromagnetik dinyatakan dalam variabel keadaan adalah :

$$T_e = 3n_p (\lambda_{dr} i_{qs} - \lambda_{qr} i_{ds}) \dots \dots \dots (2.5)$$

Keterangan :

n_p	jumlah pasangan kutub
-------	-----------------------

Parameter-parameter motor diestimasi offline. motor dijalankan pada berbagai kondisi operasi dan uji gangguan kecil diterapkan. suatu sensor kecepatan digunakan. parameter-parameter tersebut lalu diestimasi. dengan menggunakan suatu teknik optimisasi yang dibatasi. analisis sensitivitas output terhadap parameter-parameter pada berbagai frekuensi slip, digunakan untuk eliminasi parameter yang menghasilkan sensitivitas rendah. kondisi-kondisi yang dicatat kecepataannya dibagian luar, mengubah parameter motor, melalui suatu analisis korelasi para pengamat mengisolasi ketergantungan kondisi operasi .

Tabel 2-1 ditunjukkan parameter motor pada kondisi yang dinilai :

Tabel 2-1
 Nilai Parameter Motor Induksi

R_s	0.39 Ω
L_l	0.006 Henry
L_m	0.066 Henry
R_r	0.22 Ω

Sumber : Amuliu Bogdan Proca, Ali Keyhani, and John M. Miller, "Sensorless sliding – Mode Control of Induction Motors Using Operating Condition Dependent Models", IEEE Transaction on Energy Conversion, Vol.18, No.2, June 2003.

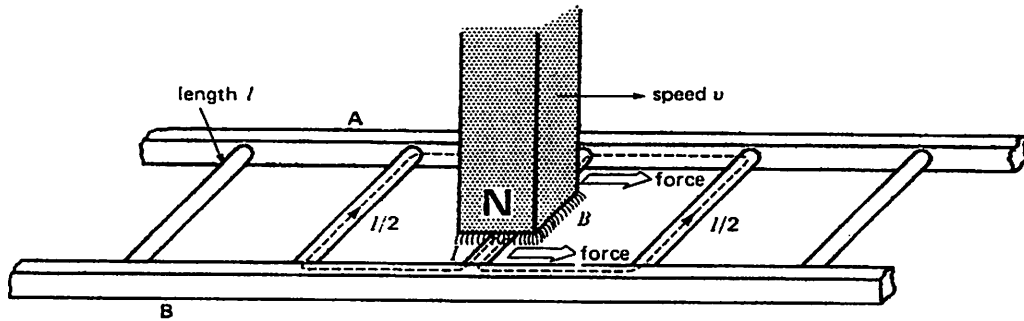
Suatu korelasi yang kuat teramati antara L_m dan i_{ds}^e (L_m jenuh dengan suatu kenaikan dalam i_{ds}^e). suatu polynomial urutan kedua digunakan untuk mewakili ketergantungan ditunjukkan pada gambar 2-5.

sebagai berikut :

$$L_m(i_{ds}^e) = k_1 \cdot i_{ds}^{e^2} + k_2 \cdot i_{ds}^e + k_3 \dots \dots \dots (2.6)$$

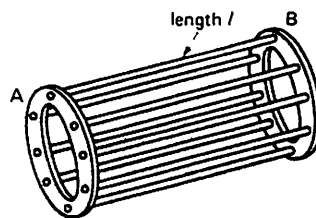
Keterangan :

i_{ds}^e, i_{qs}^e arus didalam kerangka referensi sinkron.



Gambar 2-1a
magnet bergerak melintang suatu lempeng besi

Sumber: Theodore Wildi, "Electrical Machines, Drive, and power systems", Laval University, edisi kelima, penerbit Prentice Hall, New Jersey, 2002.



Gambar 2-1b
lempeng besi membengkokkan ketika dirinya sendiri untuk membentuk suatu sangkar - tupai.

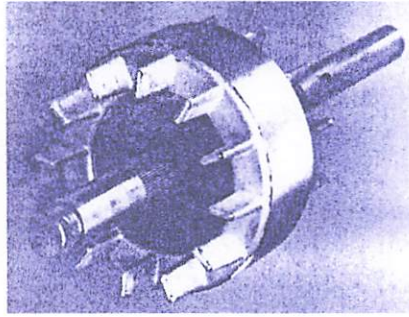
Sumber: Theodore Wildi, "Electrical Machines, Drive, and power systems", Laval University, edisi kelima, penerbit Prentice Hall, New Jersey, 2002.

2.3 Jenis-Jenis Motor Induksi

Dua Jenis lilitan rotor membangkitkan dua kelas motor utama: motor induksi rotor sangkar tupai dan motor induksi rotor belitan.

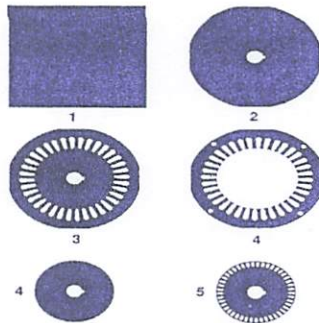
Rotor sangkar tupai tersusun dari batang tembaga, yang sedikit lebih panjang dari pada rotor, yang didorong ke dalam slot. Ujung yang berlawanan di las ke dua tembaga yang berujung gelang, sehingga semua batang dirangkai pendek bersama. Konstruksi keseluruhan (batang dan ujung gelang) nampak merupakan suatu rotor sangkar, yang merupakan asal nama tersebut. Dalam motor ukuran kecil dan sedang,

batang dan gelang ujung terbuat dari aluminium cetakan, yang dibentuk untuk membentuk blok integral (gambar 2-2a). Gambar 2-2b dan menunjukkan tahap-tahap progresif di pabrik motor induksi rotor sangkar tupai.



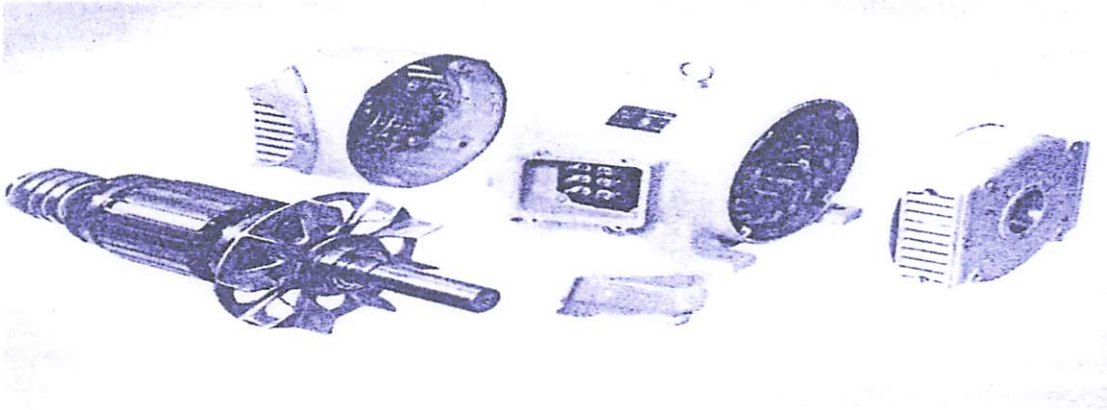
Gambar 2-2a
aluminium yang ditanam rotor sangkar tupai yang disatukan dengan kipas pendingin.

Sumber: Theodore Wildi, "Electrical Machines, Drive, and power systems", Laval University, edisi kelima, penerbit Prentice Hall, New Jersey, 2002.



Gambar 2-2b
Langkah-Langkah progresif di dalam pembuatan stator dan laminasi rotor. pelat baja dipotong ke ukuran (1), kosong (2), yang dihantam (3), kosong (4), dan menghantam (5).

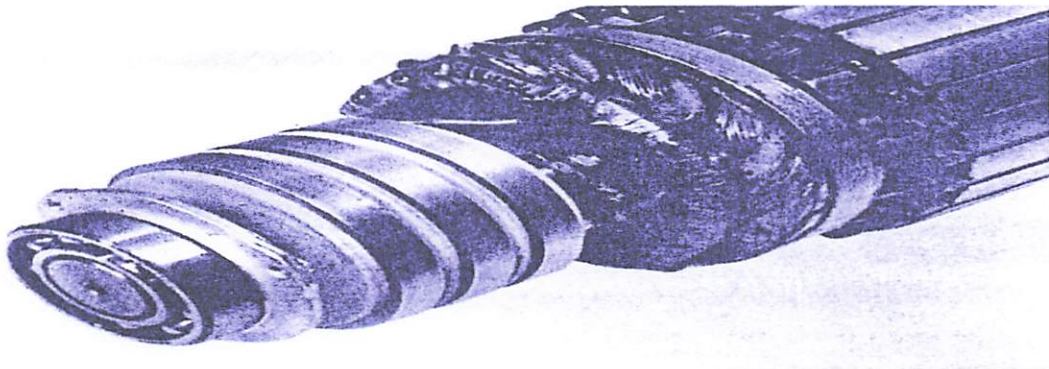
Sumber: Theodore Wildi, "Electrical Machines, Drive, and power systems", Laval University, edisi kelima, penerbit Prentice Hall, New Jersey, 2002.



Gambar 2-3a

Suatu pandangan 5 Hp, 1730 r/min motor induksi rotor belitan.

Sumber: Theodore Wildi, "Electrical Machines, Drive, and power systems", Laval University, edisi kelima, penerbit Prentice Hall, New Jersey, 2002.

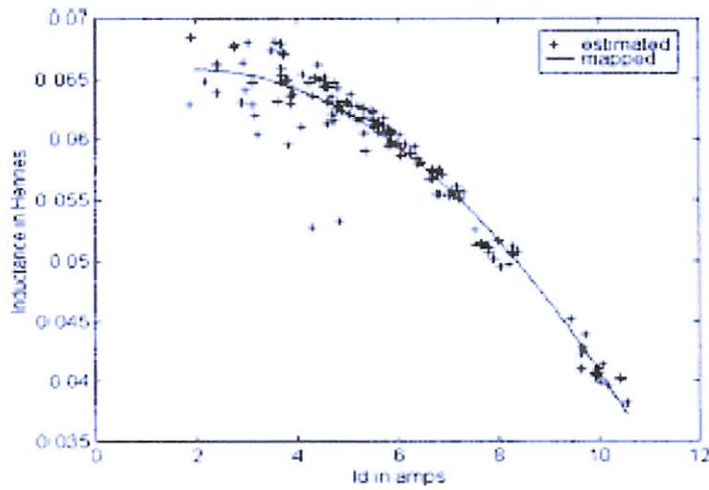


Gambar 2-3b

dekat - atas untuk akhir slip - ring pada rotor.

Sumber: Theodore Wildi, "Electrical Machines, Drive, and power systems", Laval University, edisi kelima, penerbit Prentice Hall, New Jersey, 2002.

rotor belitan memiliki lilitan tiga fasa, sama dengan yang ada pada stator. Lilitan didistribusikan secara seragam di dalam slot dan biasanya dihubungkan dalam 3 kawat Y . Terminal dihubungkan ke tiga slip ring, yang berputar dengan rotor (gambar 2-3a dan 2-3b). Slip-ring yang berputar dan dihubungkan stasioner sikat memungkinkan kita untuk menghubungkan resistor eksternal seri dengan lilitan rotor.



Gambar 2-5
 L_m sebagai fungsi i_{ds}^e

Sumber : Amuliu Bogdan Proca, Ali Keyhani, and John M. Miller, "Sensorless sliding – Mode Control of Induction Motors Using Operating Condition Dependent Models", IEEE Transaction on Energy Conversion, Vol.18, No.2, June 2003.

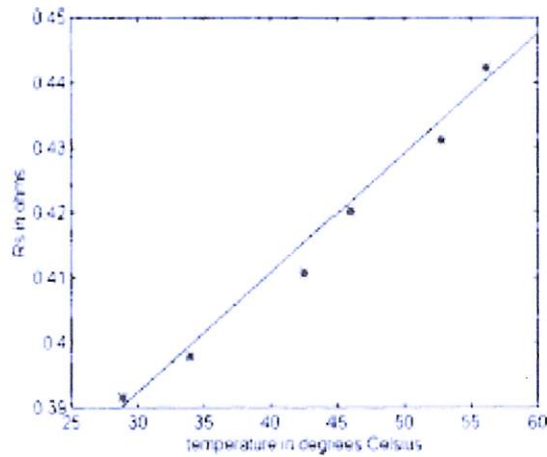
Suatu korelasi yang kuat teramati diantara L_1 dan I_s , L_1 jenuh dengan suatu kenaikan didalam I_s suatu perkiraan linier digunakan untuk mewakili ketergantungan ditunjukkan pada gambar 2-6.

sebagai berikut :

$$L_1(I_s) = k_4 \cdot I_s + k_5 \dots \dots \dots (2.7)$$

Keterangan :

$$I_s = \sqrt{i_{ds}^{e^2} + i_{qs}^{e^2}} \quad \text{arus stator.}$$



Gambar 2-7
 R_r sebagai suatu fungsi T

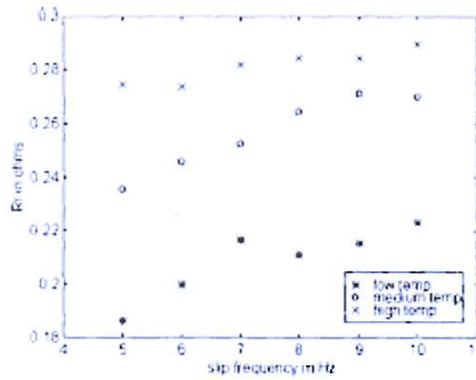
Sumber : Amuliu Bogdan Proca, Ali Keyhani, and John M.Miller, "Sensorless sliding – Mode Control of Induction Motors Using Operating Condition Dependent Models", IEEE Transaction on Energy Conversion, Vol.18, No.2, June 2003.

Resistansi rotor bervariasi sebagai suatu fungsi dari dua faktor : frekuensi slip (melalui pengaruh efek kulit) dan temperatur rotor karena temperatur rotor sulit diukur, temperatur stator justru yang diukur. ditunjukkan pada Gambar 2-8 ketergantungan resistansi rotor terhadap slip pada tiga tingkatan temperatur (diukur pada stator) untuk uji rotor yang dikunci (dihubung singkat). frekuensi slip tidak dapat diukur dalam sistem tanpa kecepatan. namun, frekuensi slip proporsional terhadap arus i_{qs}^e dan oleh karenanya korelasi antara R_r dan i_{qs}^e ada, ia diukur secara eksperimen dan ditunjukkan pada gambar 2-9 (temperatur stator bervariasi kira-kira 30° pada semua pengujian).

Pengamat menggunakan suatu perkiraan linier untuk ketergantungan resistansi rotor pada i_{qs}^e dan temperatur stator.

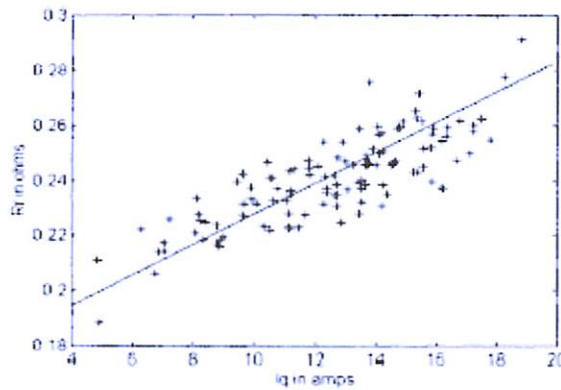
sebagai berikut :

$$R_r(i_{qs}^e) = k_8 \cdot i_{qs}^e + k_9 \cdot T + k_{10} \dots \dots \dots (2.9)$$



Gambar 2-8
R_r sebagai fungsi frekuensi slip

Sumber : Amuliu Bogdan Proca, Ali Keyhani, and John M.Miller, "Sensorless sliding – Mode Control of Induction Motors Using Operating Condition Dependent Models", IEEE Transaction on Energy Conversion, Vol.18, No.2, June 2003.

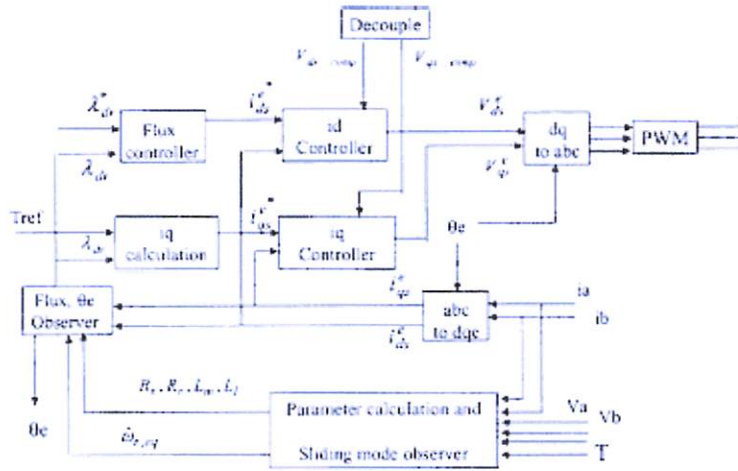


Gambar 2-9
R_r sebagai suatu fungsi i_{qs}^e .

Sumber : Amuliu Bogdan Proca, Ali Keyhani, and John M.Miller, "Sensorless sliding – Mode Control of Induction Motors Using Operating Condition Dependent Models", IEEE Transaction on Energy Conversion, Vol.18, No.2, June 2003.

2.5 Pengembangan Kontrol Torsi Tanpa Sensor

Suatu diagram blok yang disederhanakan dari diagram kontrol nampak dalam gambar 2-10.



Gambar 2-10
Struktur kontrol.

Sumber : Amuliu Bogdan Proca, Ali Keyhani, and John M. Miller, "Sensorless sliding – Mode Control of Induction Motors Using Operating Condition Dependent Models", IEEE Transaction on Energy Conversion, Vol.18, No.2, June 2003.

A. Pengamatan Mode Sliding Adaptif

Persamaan-persamaan pengamat mode sliding flux kecepatan didasarkan pada persamaan arus dan flux motor induksi.

sebagai berikut :

$$\frac{d \hat{i}_{qs}}{dt} = -\beta \hat{\omega}_r \hat{\lambda}_{dr} + \eta \beta \hat{\lambda}_{qr} - \gamma \hat{i}_{qs} + \frac{1}{L_1} v_{qs} \dots \dots \dots (2.10)$$

$$\frac{d \hat{i}_{ds}}{dt} = \beta \hat{\omega}_r \hat{\lambda}_{qr} + \eta \beta \hat{\lambda}_{dr} - \gamma \hat{i}_{ds} + \frac{1}{L_1} v_{ds} \dots \dots \dots (2.11)$$

$$\frac{d \hat{\lambda}_{qr}}{dt} = \hat{\omega}_r \hat{\lambda}_{dr} - \eta \hat{\lambda}_{qr} + \eta L_m \hat{i}_{qs} \dots\dots\dots(2.12)$$

$$\frac{d \hat{\lambda}_{dr}}{dt} = -\hat{\omega}_r \hat{\lambda}_{qr} - \eta \hat{\lambda}_{dr} + \eta L_m \hat{i}_{ds} \dots\dots\dots(2.13)$$

Keterangan :

v_{ds}, v_{qs} tegangan stator didalam kerangka referensi stasioner.
 $\hat{}$ estimasi

Kemudian permukaan sliding menjadi :

$$s = \left(\hat{i}_{qs} - i_{qs} \right) \hat{\lambda}_{dr} - \left(\hat{i}_{ds} - i_{ds} \right) \hat{\lambda}_{qr} \dots\dots\dots(2.14)$$

Keterangan :

$$s = \frac{\omega_s}{\omega_e} \qquad \text{slip}$$

dan kemudian :

$$\omega_r = \hat{\omega}_0 \text{sign}(s) \dots\dots\dots(2.15)$$

Keterangan :

ω_e frekuensi sinkron
 ω_s frekuensi slip.

dengan memilih suatu estimasi cukup besar $\hat{\omega}_0$, dapat ditunjukkan bahwa dapat dijalankan untuk nol suatu waktu terbatas, menyiratkan perkiraan arus ($\hat{i}_{ds}, \hat{i}_{qs}$) dan flux perkiraan ($\hat{\lambda}_{dr}, \hat{\lambda}_{qr}$) akan memusat kepada nilai-nilai riil pengamat di suatu waktu

terbatas $\hat{\omega}_r$ akan mengandung komponen-komponen dengan frekuensi tinggi dan suatu komponen frekuensi rendah. komponen dengan frekuensi rendah sama dengan kecepataannya. karena $\hat{\omega}_r$ adalah suatu fungsi switching, karena tidak dapat digunakan seperti diluar pengamat ((2.10)-(2.13). nilai yang diperlunak dari $\hat{\omega}_r$ dapat ditemukan dengan menggunakannya melalui filter yang dilewatkan rendah.

sebagai berikut :

$$\omega_{r,eq} = \frac{1}{1+s\tau} \hat{\omega}_r \dots\dots\dots(2.16)$$

Pemilihan pencapaian kecepatan (ω_0) memiliki dua batasan utama :

Hasilnya haruslah cukup besar untuk memastikan bahwa mode sliding adaptif dapat diperkuat. suatu hasil yang sangat besar bisa mengakibatkan ketidakstabilan dari pengamat terhadap integrasi waktu diskret, melalui simulasi pengamat menggunakan suatu fungsi linier untuk menyetel (tune) hasil pengamat mode sliding adaptif terhadap kecepatan ekuivalen.

sebagai berikut :

$$\omega_0 = \hat{\omega}_{r,eq} \cdot 0.3 + 60 \dots\dots\dots(2.17)$$

Keberadaan offset di dalam sinyal yang diukur dapat berpengaruh negatif pada estimasi kecepatan. suatu offset dc didalam tegangan input yang diukur “terlihat” hanya impedansi kecil (hanya seperti uji dc) dan menghasilkan suatu kesalahan arus yang diestimasiakan besar. ini, pada gilirannya menghasilkan suatu osilasi (perputaran) didalam kecepatan yang diestimasiakan. untuk mengkompensasikan offset tersebut

para pengamat menggunakan suatu estimator rata-rata dapat muncul kembali untuk tegangan dan arus yang diukur.

sebagai berikut :

$$V_{offset}(k+1) = V_{measured}(k) \cdot \frac{1}{N} + V_{offset}(k) \cdot \frac{N-1}{N} \dots\dots\dots(2.18)$$

dimana N adalah jumlah sampel untuk penghitungan rata-rata dan harus lebih besar dari pada jumlah sampel untuk satu periode paling panjang pada frekuensi input terendah. karena pada keadaan tetap sinyal-sinyal bersifat sinusoid, akar rata-rata adalah sama dengan offset pengukuran dan harus dikurangi dari pengukuran sebelum digunakan kedalam pengamat.

Disamping penggunaan estimator kecepatan flux untuk estimasi flux, pengamat menggunakan suatu urutan kedua.

sebagai berikut :

$$\frac{d\hat{\lambda}_{qr}}{dt} = \hat{\omega}_{r,eq} \hat{\lambda}_{dr} - \eta \hat{\lambda}_{qr} + \eta L_m i_{qs} \dots\dots\dots(2.19)$$

$$\frac{d\hat{\lambda}_{dr}}{dt} = -\hat{\omega}_{r,eq} \hat{\lambda}_{qr} - \eta \hat{\lambda}_{dr} + \eta L_m i_{ds} \dots\dots\dots(2.20)$$

pengamat tersebut menghasilkan estimasi flux yang benar sebagaimana nampak pada persamaan (2.1).

B. Kontrol Aliran Waktu Diskret-Lup Luar

Dinamika flux rotor didalam kerangka referensi sinkron bersifat linier dan hanya bergantung pada input arus – d. suatu pengontrol waktu diskret digunakan.

Persamaan pengontrol flux adalah :

$$i_{ds}^e(n) = \frac{\lambda_{dr}^e - a_{\lambda} i_{ds}^e(n)}{b_{\lambda}} \dots\dots\dots(2.21)$$

Keterangan :

* referensi

Dimana : $a_\lambda = e^{-\eta.TS2}$, $b_\lambda = 1 - \frac{a_\lambda}{\eta} . L_m$, $TS2 =$ waktu penyampelan dari

pengontrol flux.

Referensi flux dapat dibiarkan konstan atau dimodifikasi untuk menyelesaikan persyaratan tertentu (arus minimum, efisiensi maksimum, pelemahan medan). batas tegangan suplai tidak dilampaui. referensi arus-q dihitung dari persamaan torsi untuk memberikan pelacakan torsi yang cepat.

sebagai berikut :

$$i_{qs}^e = \frac{T_{ref}}{3n_p \cdot \lambda_{dr}^e} \dots\dots\dots(2.22)$$

C. Kontrol Arus-Lup Dalam

Dengan menuliskan kembali versi diskret dari persamaan-persamaan arus, pengamat memperoleh persamaan, sebagai berikut :

$$i_{qs}^e(n+1) = ai_{qs}^e(n) + bV_{qs_comp}(n) + bv_{qs}^e(n) \dots\dots\dots(2.23)$$

$$i_{ds}^e(n+1) = ai_{ds}^e(n) + bV_{ds_comp}(n) + bv_{ds}^e(n) \dots\dots\dots(2.24)$$

Dimana : $a = e^{-\gamma TS}$, $b = 1 - \frac{a}{\gamma} . \sigma . L_s$, $TS =$ waktu penyampelan.

Keterangan :

v_{ds}^e, v_{qs}^e tegangan stator didalam kerangka referensi sinkron.

$$v_{qs_comp} = -n_p \omega_r \lambda_r^e - \sigma L_s \omega_e i_{ds}^e \dots\dots\dots(2.25)$$

$$v_{qs_comp} = \sigma L_s (\omega_e i_{qs}^e + \eta \cdot \beta \cdot \lambda_r^e) \dots \dots \dots (2.26)$$

Keterangan :

λ_r rotor flux didalam kerangka referensi.

Sinyal-sinyal kontrol kemudian dapat dihitung sedemikian sehingga arus-arus mencapai referensi pengamat didalam periode penyampelan, sebagai berikut :

$$v_{qs}^e(n) = \frac{i_{qs}^e - a \cdot i_{qs}^e(n)}{b} - V_{qs_comp}(n) \dots \dots \dots (2.27)$$

$$v_{ds}^e(n) = \frac{i_{ds}^e - a \cdot i_{ds}^e(n)}{b} - V_{ds_comp}(n) \dots \dots \dots (2.28)$$

Karena nilai kontrol yang dihitung dapat melampaui kemungkinan-kemungkinan maksimal dari konverter (tegangan bus dc), suatu kontrol yang setara (ekivalen) digunakan. untuk sumbu d, kontrolnya adalah :

$$v_{ds_eq}^e(n) = \begin{cases} v_{ds}^e(n), & \text{if } v_{ds}^e(n) \leq U_{max} \\ U_{max} \cdot \text{sign}(v_{ds}^e(n)), & \text{if } v_{ds}^e(n) > U_{max} \end{cases} \dots \dots \dots (2.29)$$

Kontrol sumbu-q adalah sama. keunggulan jaringan beberapa kontrol adalah bahwa ia mempertahankan kinerja dinamis yang baik dari pengontrolan mode sliding waktu yang kontinyu sedang penghapusan meleset. akan menghasilkan suatu kesalahan pelacakan kondisi yang tetap ada (steady state). pengarang menambahkan suatu kerangka integrasi kesalahan yang kecil terhadap kontrol untuk mengkoreksi masalah sebagai berikut :

$$v_{ds_new}^e(n) = v_{ds_eq}^e(n) + k_1 (i_{ds}^e(n) - i_{ds}^e(n)) + e_{old}(n)$$

$$e_{old}(n) = k_1 [i_{ds}^e(n-1) - i_{ds}^e(n-1)] + e_{old}(n-1),$$

$$e_{old}(1) = 0 \dots \dots \dots (2.30)$$

2.6 Spesifikasi Motor Induksi Tiga Fasa di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk

Kediri

Adapun parameter motor induksi yang akan digunakan dalam Skripsi ini adalah sebagai berikut :

Adapun spesifikasi dari motor induksi yang digunakan adalah sebagai berikut :

Data motor induksi rotor sangkar yang dipergunakan berdasarkan *name plate* adalah sebagai berikut :

☺ Jenis Motor	: Motor induksi 3 fasa
	Merk BrownGroup
☺ Frekuensi	: 50 Hz
☺ Daya	: 55 kW
☺ Tegangan Nominal hubungan Δ	: 380 V
☺ Cos φ	: 0,87
☺ Hubungan Tiga Fasa Stator-Rotor	: Y – Δ
☺ Arus Nominal Hubungan Δ	: 103,3 A
☺ Putaran Stator (n_s)	: 1500 rpm
☺ Putaran Rotor (n_r)	: 1480 rpm
☺ Berat	: 381 Kg
☺ Jumlah Pasangan Kutub (n_p)	: 2

2.7 Data Laporan Operasional Mesin Cooling Tower

2.7.1 Data Ampere Motor CT

September 2006

Jam 6.00 WIB sampai Jam 5.00 WIB

Di Mesin AC SKM unit V PT. Gudang Garam Tbk Kediri

Tabel 2-2
Data Ampere Motor CT

Mesin	CT I (A)	CT II (A)	CT III (A)	CT IV (A)
Jumat tanggal 1	43	0	59	45
Sabtu tanggal 2	43	0	53	45
Minggu tanggal 3	0	0	0	0
Senin tanggal 4	44	61	58	0
Selasa tanggal 5	44	61	58	0
Rabu tanggal 6	44	61	58	0
Kamis tanggal 7	44	61	58	0
Jumat tanggal 8	44	61	58	0

Sumber : Laporan Operasional Mesin CT I – Mesin CT IV Di Mesin AC SKM unit V
PT. Gudang Garam Tbk Kediri.

BAB III

PEMROSESAN SINYAL DIGITAL MENGGUNAKAN KOMPUTASI FAST FOURIER TRANSFORM

3.1 Umum

Pada pertengahan tahun 1960-an sebuah algoritma diperkenalkan, sekarang dikenal sebagai Transformasi Fourier cepat, atau Fast Fourier Transform(FFT). Algoritma ini ditemukan secara terpisah oleh Cooley dan Tukey pada tahun 1965. Yang membuat penemuan modern ini begitu penting adalah bahwa FFT sangat sesuai untuk implementasi digital yang efisien, dan FFT ini mengurangi waktu yang diperlukan untuk menghitung transformasi menurut orde besarnya. Dengan perangkat ini, banyak ide yang sebelumnya tidak praktis untuk dilakukan memakai deret dan transformasi fourier waktu diskrit, tiba-tiba dapat dilakukan, dan akibatnya mempercepat laju perkembangan teknik-teknik analisis sinyal dan sistem waktu-diskrit.

3.2 Penjelasan Tentang Pemrosesan Data Oleh Matlab

$Y = \text{fft2}(X)$ mengembalikan transformasi terpisah fourier dua dimensi diskret (DFT) yang dihitung dengan algoritma FFT(Fast Fourier Transform). yang menyaingi suatu cepat fourier mengubah bentuk FFT algoritma. hasil Y sama ukuran dengan X. $Y = \text{fft2}(X, m, n)$ mematok X, dengan beberapa nol untuk menciptakan suatu matrik m-n sebelum melakukan transformasi. hasil adalah matrik m-n.

$\text{fft2}(X)$ secara sederhana dapat dihitung sebagai berikut :

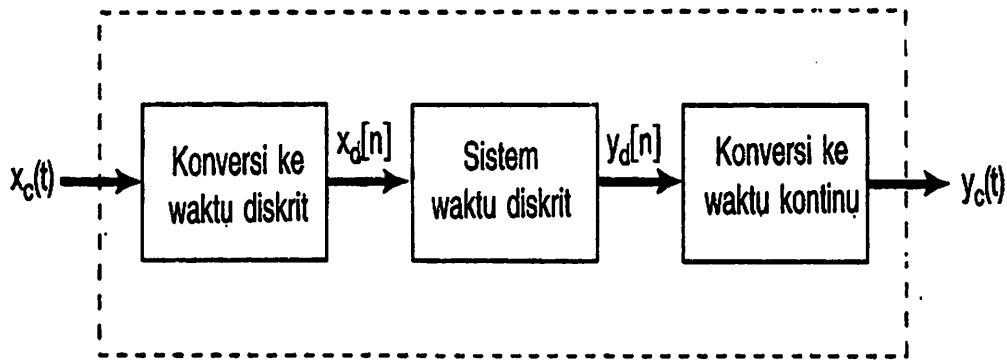
$\text{fft}(\text{fft}(X).')$

ini menghitung transformasi fourier waktu diskret satu dimensi dari tiap kolom X, kemudian tiap baris dari hasil. Waktu pelaksanaan untuk fft tergantung pada panjang transformasi cara ini paling cepat untuk persamaan pangkat. Hampir sama cepat untuk persamaan yang panjangnya hanya mempunyai faktor utama sedikit. secara khas beberapa kali lebih lambat untuk panjang yang adalah utama atau yang mempunyai faktor utama besar.

`fft2` masukan pendukung jenis data menggandakan dan tunggal. jika kamu panggil `fft2` dengan sintaksis, $y = \text{fft2}(X, \dots)$, keluaran y mempunyai data yang sama menetik seperti masukan X.

3.3 Data Yang Dimasukkan Time Series Bukan Kontinu

Pemrosesan waktu diskrit dari sinyal waktu kontinu. Perlu pula dipelajari tingkat pemrosesan pada gambar 3-1 dalam domain frekuensi. karena kita banyak meliatkan transformasi fourier untuk waktu kontinu dan diskrit, maka bagian ini hanya mempelajari variabelnya dengan notasi ω untuk menyatakan frekuensi pada waktu kontinu dan Ω pada waktu diskrit. sebagai contoh, transformasi fourier waktu kontinyu dari $x_c(t)$ dan $y_c(t)$ adalah $X_c(j\omega)$ dan $Y_c(j\omega)$, sedangkan transformasi fourier waktu diskrit dari $x_d[n]$ dan $y_d[n]$ adalah $X_d(e^{j\Omega})$ dan $Y_d(e^{j\Omega})$.



Gambar 3-1 Pemrosesan waktu diskrit dari sinyal waktu kontinu

Sumber: Allan V. Oppenheim, “ *Sinyal dan Sistem Jilid 2* ”, Massa Chusetts Institute of Technology, Edisi kedua, Penerbit Erlangga, Jakarta, 2001.

Pertama-tama, perlu diketahui bahwa $X_p(j\omega)$ merupakan transformasi fourier waktu kontinu dari $x_p(t)$, yang juga merupakan nilai cuplikan dari $x_c(t)$ dengan menerapkan transformasi fourier. karena

$$x_p(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} x_c(nT)\delta(t - nT) \dots\dots\dots(3.1)$$

dan karena transformasi dari $\delta(t - nT)$ adalah $e^{-j\omega nT}$, maka

$$X_p(j\omega) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} x_c(nT)e^{-j\omega nT} \dots\dots\dots(3.2)$$

kini perhatikan transformasi waktu diskrit dari $x_d[n]$, yaitu

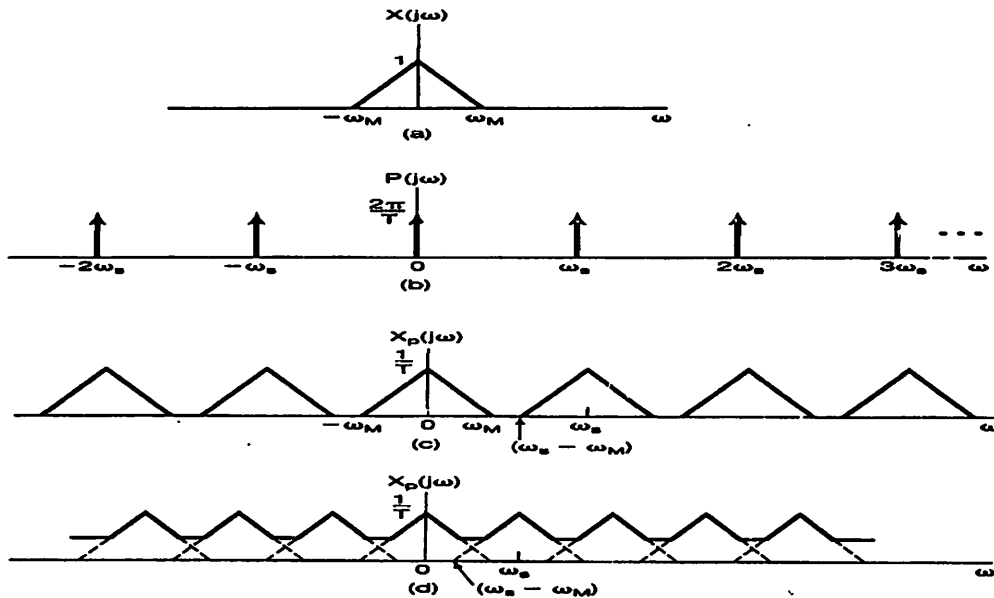
$$X_d(e^{j\Omega}) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} x_d[n]e^{-j\Omega n} \dots\dots\dots(3.3)$$

atau menggunakan persamaan

$$X_d(e^{j\Omega}) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} x_c(nT)e^{-j\Omega n} \dots\dots\dots(3.4)$$

Dengan membandingkan persamaan 7.18 dan 7.20 , diketahui bahwa $X_d(e^{j\Omega})$ dan $X_p(j\omega)$ memiliki hubungan

$$X_d(e^{j\omega}) = X_p(j\Omega/T)$$



Gambar 3-2 pengaruh yang terjadi pada domain frekuensi dari pencuplikan pada domain waktu; (a) spektrum sinyal asli; (b) spektrum fungsi pencuplikan; (c) spektrum sinyal hasil pencuplikan dengan $\omega_s > 2\omega_M$; (d) spektrum sinyal hasil pencuplikan dengan $\omega_s < 2\omega_M$.

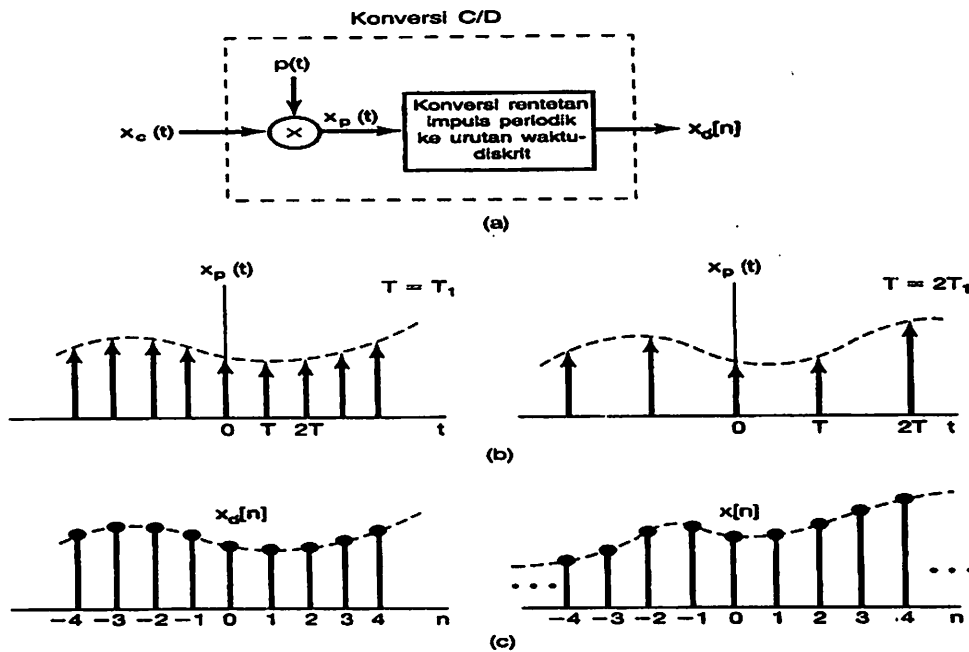
Sumber: Allan V. Oppenheim, "Sinyal dan Sistem Jilid 2", Massa Chusetts Institute of Technology, Edisi kedua, Penerbit Erlangga, Jakarta, 2001.

selanjutnya sebagaimana telah dikembangkan pada persamaan (7.6), dan diilustrasikan pada gambar 3-2,

$$X_p(j\omega) = \frac{1}{T} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} X_c(j(\omega - k\omega_s)) \dots \dots \dots (3.5)$$

akibatnya,

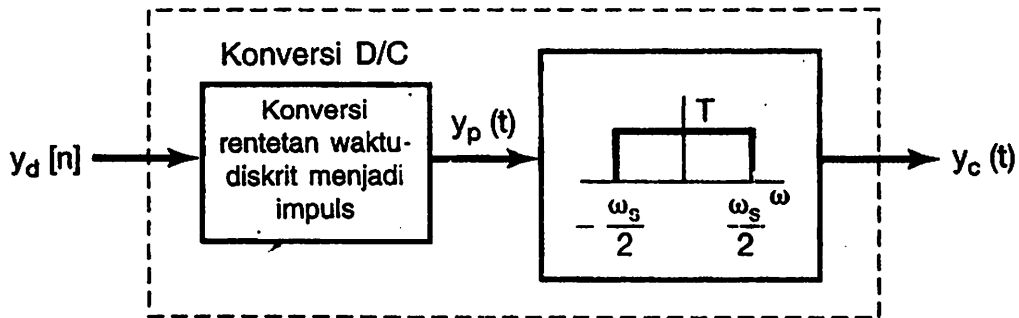
$$X_d(e^{j\Omega}) = \frac{1}{T} \sum X_c(j(\Omega - 2\pi k)/T) \dots \dots \dots (3.6)$$



Gambar 3-3 Pencuplikan dengan urutan impuls periodik diikuti dengan konversi dari urutan waktu diskrit: (a) sistem keseluruhan; (b) $x_p(t)$ untuk dua kecepatan pencuplikan. Garis putus-putus menyatakan $x_c(t)$; (c) urutan keluaran untuk dua kecepatan pencuplikan yang berbeda

Sumber: Allan V. Oppenheim, " *Sinyal dan Sistem Jilid 2* ", Massa Chusetts Institute of Technology, Edisi kedua, Penerbit Erlangga, Jakarta, 2001.

Dalam sistem keseluruhan pada gambar 3-1, setelah pemrosesan dengan sistem waktu diskrit, hasil urutannya akan dikonversikan kembali menjadi sinyal waktu kontinu. proses ini merupakan kebalikan langkah pada gambar 3-3. khususnya dari urutan $y_d[n]$, suatu rentetan impuls waktu kontinyu $y_p(t)$ dapat dibangkitkan. pembentukan kembali sinyal waktu kontinu $y_c(t)$ dari retetan impuls ini diselesaikan dengan pemfilteran lolos rendah sebagaimana diilustrasikan pada gambar 3-4.



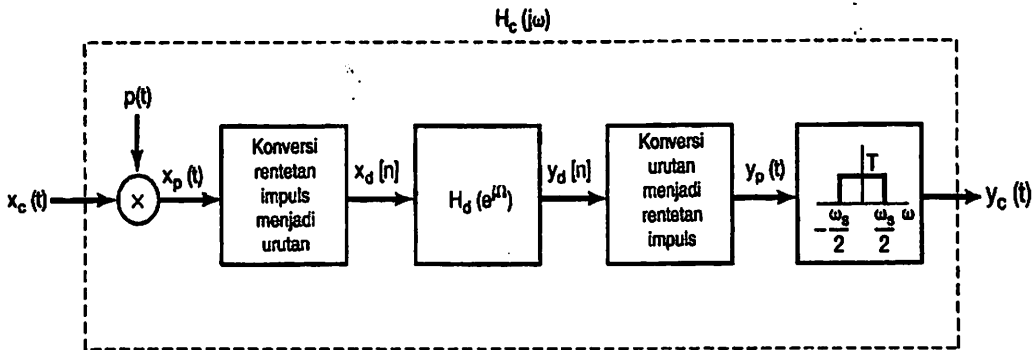
Gambar 3-4 Konversi urutan waktu diskrit menjadi sinyal waktu kontinu

Sumber: Allan V. Oppenheim, “ *Sinyal dan Sistem Jilid 2* ”, Massa Chusetts Institute of Technology, Edisi kedua, Penerbit Erlangga, Jakarta, 2001.

Sekarang perhatikan sistem secara keseluruhan pada gambar 3-1, yang ditunjukkan pada gambar 3-5. Jelaslah, jika sistem waktu diskrit merupakan suatu sistem identitas ($x_d[n] = y_d[n]$), maka dengan asumsi kondisi teorema pencuplikan dipenuhi, sistem keseluruhan akan merupakan suatu sistem identitas. karakteristik sistem secara keseluruhan dengan tanggapan frekuensi $H_d(e^{j\Omega})$ yang lebih umum mungkin dapat dimengerti dengan pengujian contoh representatif seperti diperlihatkan pada gambar 3-6. pada sisi kiri gambar diperlihatkan representasi spektrum $X_c(j\omega)$, $X_p(j\omega)$, dan $X_d(e^{j\Omega})$, di mana diasumsikan bahwa $\omega_M < \omega_s/2$, sehingga tidak terjadi aliasing. spektrum $Y_d(e^{j\Omega})$ berkait dengan keluaran filter waktu diskrit yang merupakan perkalian $X_d(e^{j\Omega})$ dan $H_d(e^{j\Omega})$, dan hal ini diilustrasikan pada gambar 3-6 (d) dengan penumpukan gambar $X_d(e^{j\Omega})$ dan $H_d(e^{j\Omega})$. transformasi dari $Y_c(j\omega)$ berkait dengan penggunaan penskalaan frekuensi dan pemfilteran lolos rendah, yang hasilnya, dalam spektrum, ditunjukkan pada gambar 3-6 (e) dan (f). karena $Y_d(e^{j\omega})$ merupakan perkalian dari dua spektrum ditumpuk seperti pada gambar 3-6 (d),

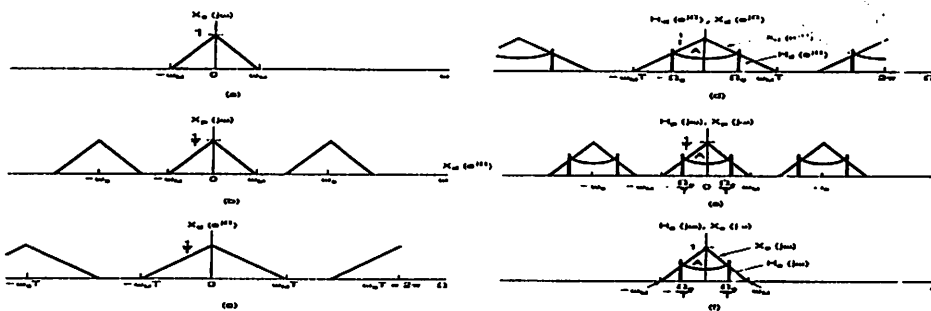
dengan penskalaan frekuensi dan pemfilteran rendah diterapkan pada keduanya. pada waktu membandingkan gambar 3-6 (a) dan (f), kita akan melihat bahwa

$$Y_c(j\omega) = X_c(j\omega)H_d(e^{j\omega T}) \dots\dots\dots(3.7)$$



Gambar 3-5 Keseluruhan sistem untuk pemfilteran sinyal waktu kontinu dengan menggunakan filter waktu diskrit

Sumber: Allan V. Oppenheim, “ *Sinyal dan Sistem Jilid 2* ”, Massa Chusetts Institute of Technology, Edisi kedua, Penerbit Erlangga, Jakarta, 2001.



Gambar 3-6 Ilustrasi domain frekuensi dari sistem pada gambar 3-5; (a) spektrum waktu kontinu $X_c(j\omega)$; (b) spektrum setelah pencuplikan rentetan impuls; (c) spektrum urutan waktu diskrit $x_d[n]$; (d) $H_d(e^{j\Omega})$ dan $X_d(e^{j\Omega})$ yang dikalikan dengan bentuk $Y_d(e^{j\Omega})$; (e) spektrum yang dikalikan untuk inembentuk $Y_p(j\omega)$; (f) spektrum yang dikalikan membentuk $Y_c(j\omega)$

Sumber: Allan V. Oppenheim, “ *Sinyal dan Sistem Jilid 2* ”, Massa Chusetts Institute of Technology, Edisi kedua, Penerbit Erlangga, Jakarta, 2001.

3.4 Algoritma Transformasi Fourier Cepat

Ide dasar dibalik algoritma cepat untuk komputasi diskrit fourier transform (DFT), pada umumnya disebut algoritma fast fourier transform (FFT), adalah untuk menguraikan komputasi DFT titik- N ke dalam komputasi DFT ukuran lebih rendah dan mengambil keuntungan periodisitas dan simetri jumlah W_N^{kn} kompleks.

3.4.1 Desimasi Pada Waktu Algoritma FFT

Perhatikan rangkaian $x[n]$ dari panjang N yang dianggap menjadi power 2. Dengan menggunakan penguraian $x[n]$ polyphase dua-band kita dapat menyatakan transform- z $X(z)$ sebagai berikut :

$$X(z) = X_0(z^2) + z^{-1} X_1(z^2) \dots \dots \dots (3.8)$$

dimana :

$$X_0(z) = \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x_0[n] z^{-n} = \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x[2n] z^{-n} \dots \dots \dots (3.9)$$

$$X_1(z) = \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x_1[n] z^{-n} = \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x[2n+1] z^{-n} \dots \dots \dots (3.10)$$

Dengan demikian, $X_0[z]$ adalah transform- z dari rangkaian panjang $(N/2)$, $x_0[n] = x[2n]$ yang dibentuk dari $x[n]$, sementara $X_1(z)$ adalah transform- z dari rangkaian panjang $N/2$, $x_1[n] = x[2n+1]$ yang dibentuk dari sampel indek ganjil $x[n]$.

Mengevaluasi $X(z)$ pada putaran unit pada titik jarak N , $z = W_N^{-k}$, kita sampai pada DFT titik N dari $x[n]$ diberikan oleh :

$$X[k] = X_0 \left\langle \left\langle k \right\rangle_{N/2} \right\rangle + W_N^k X_1 \left\langle \left\langle k \right\rangle_{N/2} \right\rangle, 0 \leq k \leq N-1 \dots \dots \dots (3.11)$$

dimana :

$X_0[k]$ dan $X_1[k]$ adalah DFT titik ($N/2$) dari rangkaian panjang ($N/2$), $x_0[n]$

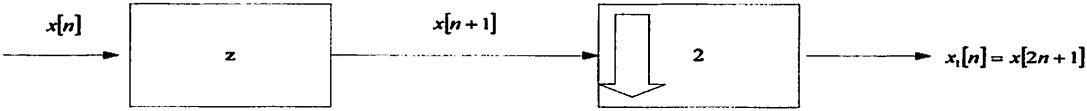
dan $x_1[n]$, berturut-turut, yaitu :

$$\begin{aligned}
 X_0[k] &= \sum_{r=0}^{\frac{N}{2}-1} x_0[r] W_{N/2}^{rk} \\
 &= \sum_{r=0}^{\frac{N}{2}-1} x_0[2r] W_{N/2}^{rk}, 0 \leq k \leq \frac{N}{2}-1 \dots\dots\dots(3.12a)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_1[k] &= \sum_{r=0}^{\frac{N}{2}-1} x_1[r] W_{N/2}^{rk} \\
 &= \sum_{r=0}^{\frac{N}{2}-1} x_0[2r+1] W_{N/2}^{rk}, 0 \leq k \leq \frac{N}{2}-1 \dots\dots\dots(3.12b)
 \end{aligned}$$



(a)

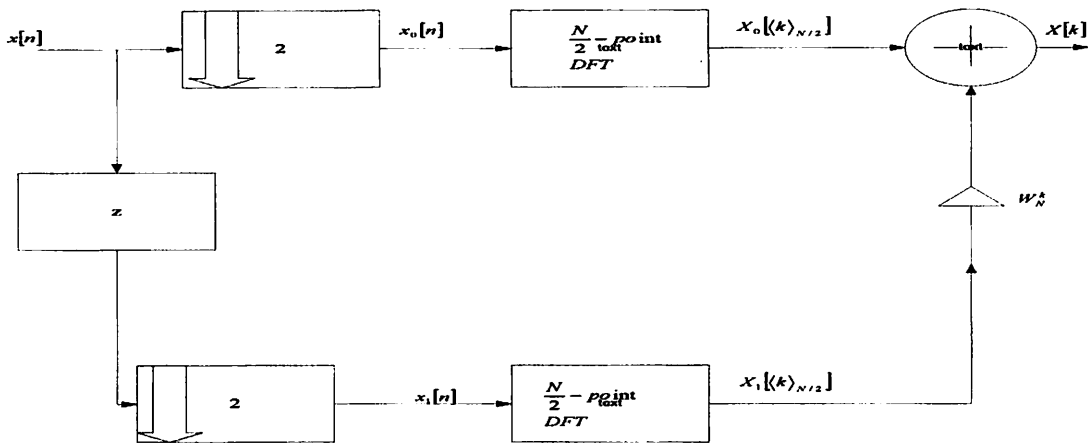


(b)

Gambar 3-7

(a) generasi suatu rangkaian yang berisi bahkan- contoh masukan indexed, dan
 (b) generasi suatu rangkaian yang berisi aneh- contoh masukan indexed.

Sumber: Sanjit K. Mitra, "Digital Signal Processing", University of California, edisi kedua, penerbit McGraw-Hill, New York, 2002.



Gambar 3-8
Penafsiran yang struktural DFT rencana persamaan

Sumber: Sanjit K. Mitra, "Digital Signal Processing", University of California, edisi kedua, penerbit McGraw-Hill, New York, 2002.

Ini bersifat perintah pada titik ini untuk menguji interpretasi diagram blok skema komputasi DFT yang dimodifikasi dari persamaan (3.11) yang menghitung DFT titik N pada rangkaian panjang N asli $x[n]$ dengan membentuk jumlah beban dua titik $(N/2)$ DFT dari dua sub rangkaian panjang $(N/2)$ yang dibentuk dari sampel-sampel indek genap $x_0[n] = x[2n]$ dan sampel-sampel indek ganjil $x_1[n] = x[2n+1]$. Untuk mengembangkan dua sub rangkaian $x_0[n]$ dan $x_1[n]$ dari $x[n]$. jika input $x[n]$ ke faktor-2 sampel-menurun adalah rangkaian panjang N yang ditentukan untuk $0 \leq n \leq N-1$, keluaran $x_0[n]$ adalah panjang rangkaian yang didefinisikan $(N/2)$ untuk $0 \leq n \leq (N/2)-1$ dan tersusun dari sampel indek genap dari $x[n]$, yaitu,

$x_0[n] = x[2n]$, seperti yang ditunjukkan dalam gambar 3-7(a). Untuk membangkitkan sub rangkaian $x_1[n]$ yang tersusun dari sampel indek ganjil $x[n]$, yaitu, $x_1[n] = x[2n+1]$, $0 \leq n \leq (N/2)-1$, kita perlu melewati $x[n+1]$ melalui sampler

turun faktor 2. Rangkaian $x[n+1]$ dapat dikembangkan dari rangkaian $x[n]$ dengan alat operasi lanjut. Proses ini digambarkan dalam gambar 3-7(b).

Kita dapat meneruskan proses di atas dengan menyatakan dua DFT titik ($N/2$), $X_0[k]$ dan $X_1[k]$, sebagai kombinasi berat dua DFT titik ($N/4$) dengan asumsi $N/2$ adalah genap. Misalnya, kita dapat menyatakan $X_0[k]$ sebagai berikut :

$$X_0[k] = X_{00}[\langle k \rangle_{N/4}] + W_{N/2}^k X_{01}[\langle k \rangle_{N/4}], 0 \leq k \leq \frac{N}{2} - 1 \dots\dots\dots(3.13)$$

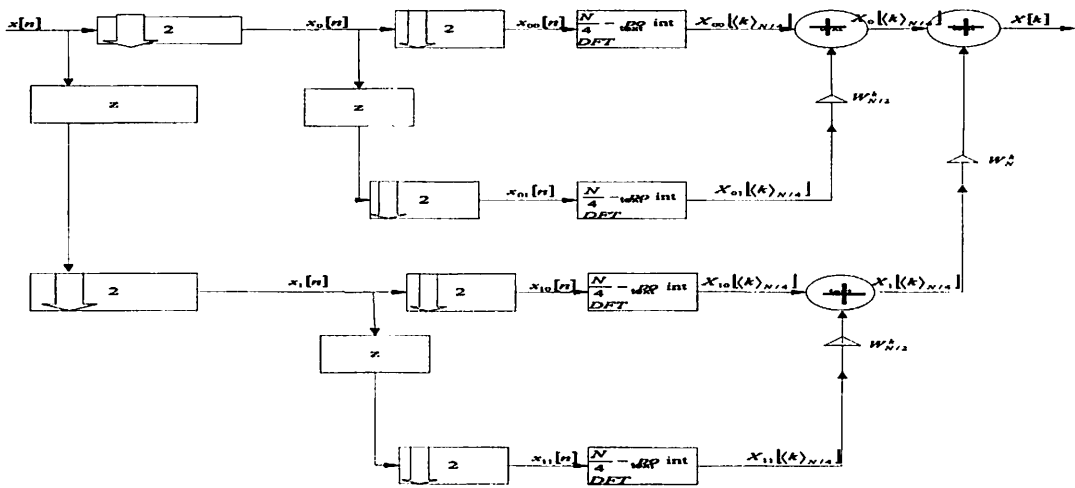
dimana $X_{00}[k]$ dan $X_{01}[k]$ adalah DFT titik ($N/4$) dari rangkaian panjang ($N/4$), $x_{00}[n]$, dan $x_{01}[n]$, dibangkitkan dari sampel genap dan ganjil $x_0[n]$, berturut-turut. Demikian pula, kita dapat menyatakan $X_1[k]$ sebagai berikut :

$$X_1[k] = X_{10}[\langle k \rangle_{N/4}] + W_{N/2}^k X_{11}[\langle k \rangle_{N/4}], 0 \leq k \leq \frac{N}{2} - 1 \dots\dots\dots(3.14)$$

dimana $X_{10}[k]$ dan $X_{11}[k]$ adalah DFT titik ($N/4$) dari rangkaian panjang ($N/4$), $x_{10}[n]$ dan $x_{11}[n]$, dibangkitkan dari sampel genap dan ganjil dari $x_1[n]$, berturut-turut.

Mengganti persamaan (3.13) dan (3.11) dan menggunakan identitas $W_{N/2}^k = W_N^{2k}$. Kita kemudian sampai pada penguraian komputasi DFT titik N dua tahap tentang empat DFT titik ($N/4$), seperti yang ditunjukkan oleh diagram blok dari gambar 3-9. DFT titik ($N/4$) adalah DFT titik 2 dan tidak diuraikan lagi. DFT titik 2, $X_{00}[k]$, $X_{01}[k]$, $X_{10}[k]$, dan $X_{11}[k]$, dapat dihitung dengan mudah. Misalnya, untuk komputasi $X_{00}[k]$ pernyataan yang tetap adalah :

$$X_{00}[k] = \sum_{n=0}^1 x_{00}[n] W_2^{nk} = x[0] + W_2^k x[4], k = 0,1 \dots\dots\dots(3.15)$$



Gambar 3-9
Penafsiran keduanya struktural- langkah DFT rencana persamaan.

Sumber: Sanjit K. Mitra, "Digital Signal Processing", University of California, edisi kedua, penerbit McGraw-Hill, New York, 2002.

3.4.2 Desimasi Pada Frekuensi Algoritma FFT

Ide dasar di balik algoritma FFT desimasi didalam waktu adalah untuk menguraikan rangkaian $x[n]$ titik $- N$ ke dalam sub rangkaian kumpulan yang lebih kecil dan kemudian membentuk penguraian berat DFT sub rangkaian ini. Ide yang sama dapat diterapkan ke rangkaian $X[k]$ DFT titik $- N$ untuk menguraikan ke dalam kumpulan sub rangkaian lebih kecil. Untuk menggambarkan perbedaan dasar antara dua skema dekomposisi di atas, kita mengembangkan tahap pertama algoritma DIT FFT untuk kasus ini ketika N adalah power 2. Kita pertama menyatakan transform $- z$, $X(z)$ dari $x[n]$ sebagai berikut :

$$X(z) = X_0(z) + z^{-N/2} X_1(z), \dots \dots \dots (3.19)$$

dimana :

$$X_0(z) = \sum_{n=0}^{(N/2)-1} x[n] z^{-n}, X_1(z) = \sum_{n=0}^{(N/2)-1} x\left[\frac{N}{2} + n\right] z^{-n} \dots \dots \dots (3.20)$$

mengevaluasi $X(z)$ pada putaran unit pada $z = W_N^{-k}$. kita mendapatkan dari persamaan (3.19) dan (3.20) :

$$X[k] = \sum_{n=0}^{(N/2)-1} x[n] W_N^{nk} + W_N^{(N/2)k} \sum_{n=0}^{(N/2)-1} x\left[\frac{N}{2} + n\right] W_N^{nk} \dots\dots\dots(3.21)$$

persamaan di atas dapat ditulis kembali :

$$X[k] = \sum_{n=0}^{(N/2)-1} \left(x[n] + (-1)^k x\left[\frac{N}{2} + n\right] \right) W_N^{nk} \dots\dots\dots(3.22)$$

dimana kita menggunakan identitas $W_N^{(N/2)k} = (-1)^k$. dua bentuk persamaan (3.22) yang berbeda diperoleh tergantung pada apakah k adalah genap atau ganjil:

$$\begin{aligned} X[2l] &= \sum_{n=0}^{(N/2)-1} \left(x[n] + x\left[\frac{N}{2} + n\right] \right) W_N^{2nl} \\ &= \sum_{n=0}^{(N/2)-1} \left(x[n] + x\left[\frac{N}{2} + n\right] \right) W_{N/2}^{nl}, 0 \leq l \leq \frac{N}{2} - 1 \dots\dots\dots(3.23a) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X[2l+1] &= \sum_{n=0}^{(N/2)-1} \left(x[n] - x\left[\frac{N}{2} + n\right] \right) W_N^{n(2l+1)} \\ &= \sum_{n=0}^{(N/2)-1} \left(x[n] - x\left[\frac{N}{2} + n\right] \right) W_N^n W_{N/2}^{nl}, 0 \leq l \leq \frac{N}{2} - 1 \dots\dots\dots(3.23b) \end{aligned}$$

Dua ungkapan di atas menunjukkan DFT titik $\frac{N}{2}$ dari dua rangkaian titik $\frac{N}{2}$ berikut

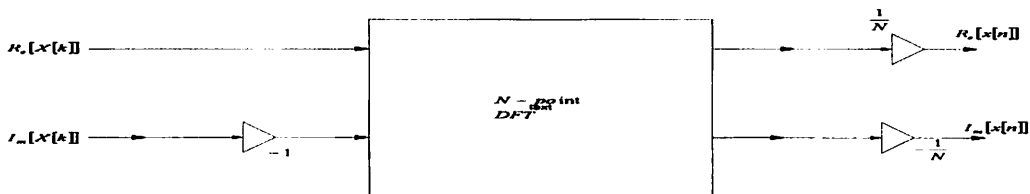
berturut-turut :

$$\begin{aligned} x_0[n] &= \left(x[n] + x\left[\frac{N}{2} + n\right] \right) \\ x_1[n] &= \left(x[n] - x\left[\frac{N}{2} + n\right] \right) W_N^n, 0 \leq n \leq \frac{N}{2} - 1 \dots\dots\dots(3.24) \end{aligned}$$

Grafik aliran tahap pertama dari skema komputasi yang ditentukan di atas oleh persamaan (3.23a) dan (3.23b). Seperti yang dapat dilihat dari gambar ini, di sini sampel input adalah dalam susunan rangkaian, sementara sampel DFT output nampak dalam bentuk desimasi dengan sampel yang di-indek genap yang nampak sebagai output dari satu DFT titik ($N/2$) dan sampel-sampel yang di-indek ganjil nampak sebagai output dari DFT titik ($N/2$) yang lain.

3.5 Komputasi DFT Dan IDFT Menggunakan Matlab

Fungsi yang berikut adalah tercakup di matlab menjadi satu untuk perhitungan DFT dan IDFT :



Gambar 3-10
IDFT perhitungan melalui DFT.

Sumber: Sanjit K. Mitra, "Digital Signal Processing", University of California, edisi kedua, penerbit McGraw-Hill, New York, 2002.

Matlab menggunakan suatu radix-2 algoritma kecepatan tinggi ketika panjangnya urutan x atau X adalah suatu tenaga 2. Lebih dari itu, radix-2 fft program telah dioptimalkan secara rinci untuk menghitung DFT suatu urutan masukan riil lebih cepat dari DFT suatu urutan kompleks. jika panjangnya urutan bukanlah suatu tenaga 2, mempekerjakan suatu mixed-radix FFT algoritma dan pada umumnya memerlukan banyak waktu suatu banyak lebih panjang untuk menghitung DFT atau IDFT suatu urutan panjangnya N tidak suatu tenaga 2 dibanding mereka yang suatu urutan suatu tenaga tentang- 2 panjangnya yang adalah kecil untuk N .

Karena garis vektor di Matlab adalah indexed dari 1 untuk N sebagai ganti 0 untuk $N-1$, DFT dan IDFT menghitung di atas pembuatan fungsi Matlab menggunakan ungkapan :

$$X[k] = \sum_{n=1}^N x[n] W_N^{(n-1)(k-1)}, 1 \leq k \leq N \dots \dots \dots (3.25)$$

$$x[n] = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N X[k] W_N^{-(n-1)(k-1)}, 1 \leq n \leq N \dots \dots \dots (3.26)$$

BAB IV

ANALISIS DAN SIMULASI

4.1 Umum

Kontrol elektronik dari motor DC memungkinkan kita untuk mendapatkan efisiensi yang tinggi pada semua torsi dan kecepatan. Kontrol empat kuadran penuh adalah memungkinkan untuk memenuhi standar industri kecepatan tinggi yang tepat. Hal yang sama berlaku untuk kontrol elektronik motor AC. Dengan demikian kita menemukan bahwa motor induksi rotor sangkar dan motor induksi rotor belitan, begitu pula motor sinkron, mempunyai kontrol elektronik. Sedangkan mesin dikontrol oleh berbagai tegangan dan frekuensi. Sekarang, kita bisa bertanya, jika mesin melakukan pekerjaan yang luar biasa, mengapa kita menggunakan mesin AC? Ada beberapa alasan :

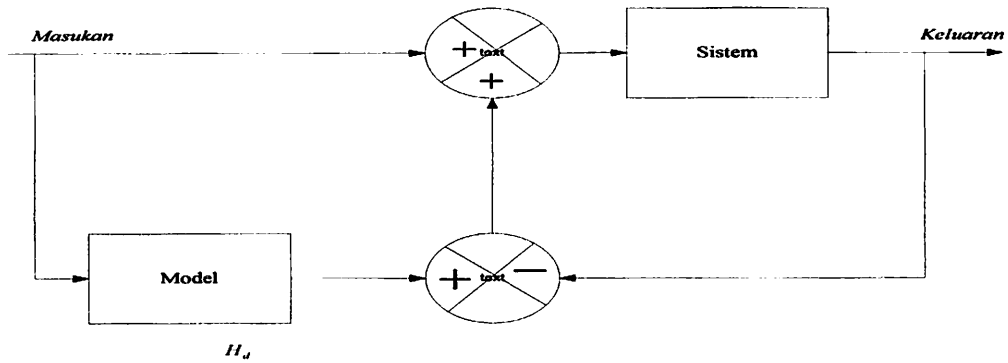
1. Mesin AC tidak memiliki komutator dan sikat, akibatnya, memerlukan sedikit perawatan.
2. Mesin AC harganya ringan (dan beratnya ringan) dari pada mesin DC
3. Mesin AC lebih keras dan bekerja lebih baik dalam lingkungan yang tidak menentu.
4. Mesin AC dapat bekerja dengan tegangan yang jauh lebih tinggi, sampai 25 KV. sedangkan, Mesin DC terbatas sampai 1000 V.
5. Mesin AC dapat dibangun dengan ukuran yang jauh lebih besar sampai 50.000 KW. sedangkan, Mesin DC terbatas sampai sekitar 2000 KW.

6. Mesin AC dapat bekerja pada kecepatan sampai 100.000 r/menit, sedangkan Mesin DC yang besar terbatas sekitar 2000 r/menit

4.2 Sistem Kontrol Adaptif

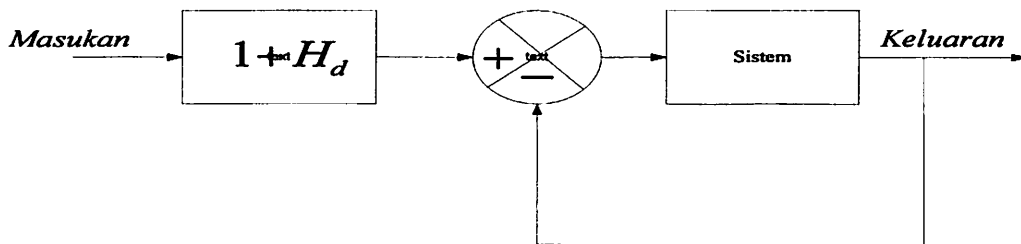
Sistem kontrol adaptif adalah sistem kontrol yang secara kontinyu dan otomatis mengukur karakteristik dinamik (seperti fungsi alih) sistem, membandingkan dengan karakteristik dinamik yang kita inginkan, dan menggunakan selisihnya untuk mengubah parameter sistem yang dapat diatur (biasanya karakteristik pengontrol) atau membangkitkan sinyal penggerak yang dengan demikian kinerja optimalnya dapat dipertahankan tanpa menghiraukan perubahan lingkungannya, atau berupa sistem kontrol yang secara kontinyu mengukur kinerja dirinya sesuai dengan indeks kinerja yang diberikan, dan jika diperlukan, memodifikasi parameter sistem untuk menjaga kinerja optimal tanpa menghiraukan perubahan lingkungannya.

Contoh lain sistem yang kelihatannya adalah sistem adaptif tetapi sebenarnya tidak ditempatkan di bidang sistem kontrol acuan model. Beberapa sistem seperti ini (seperti yang kita tinjau) hanya menggunakan selisih antara respon model dan respon sistem sebagai sinyal masukan ke sistem, sebagaimana diperlihatkan dalam gambar 4-1(a). Sistem ini tidak bisa dipastikan sebagai sistem yang adaptif karena manipulasi diagram blok, dalam kasus ini, akan menyederhanakan konfigurasinya menjadi seperti gambar 4-1(b), yang hanya merupakan loop umpan balik dasar dengan prefilter. (Perhatikan bahwa beberapa pengarang mengenal sistem ini dengan tipe kontrol adaptasi model. Model ini dapat berupa model fisik atau sistem yang disimulasikan dengan komputer. Model tadi tidak memiliki parameter yang berubah).



Gambar 4-1(a)
Sistem kontrol acuan model

Sumber: Ogata, Katsuhito, “ *Teknik Kontrol Otomatik Jilid 2* ”, University Of Minnesota, Edisi kedua, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1997.



Gambar 4-1(b)
Diagram blok yang disederhanakan

Sumber: Ogata, Katsuhito, “ *Teknik Kontrol Otomatik Jilid 2* ”, University Of Minnesota, Edisi kedua, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1997.

Indeks Kinerja. Kontrol adaptif yang sangat mendasar yang mengilhami dasar pemikiran diatas adalah bahwa terdapat kondisi kerja atau kinerja sistem yang lebih baik dari setiap kontrol tipe lainnya. jadi kita perlu mendefinisikan unsur-unsur yang akan menentukan kerja optimal. pada sistem kontrol adaptif, kinerja didefinisikan dalam bentuk indeks kinerja yang harus kita putuskan setelah menetapkan tujuan dan/ atau sasaran kita mengenai sistem kontrol itu. sasaran ini sejalan dengan sistem yang akan kita aplikasikan, tetapi secara umum dapat kita katakan bahwa sasaran optimisasi(pengoptimalan) adalah meminimumkan biaya operasi, atau memaksimumkan keuntungan(laba).

Beberapa karakteristik umum yang biasanya ingin dipertimbangkan adalah faktor-faktor berikut :

1. Keandalan
2. Selektifitas
3. Keterpakaian(Manfaat penggunaan)

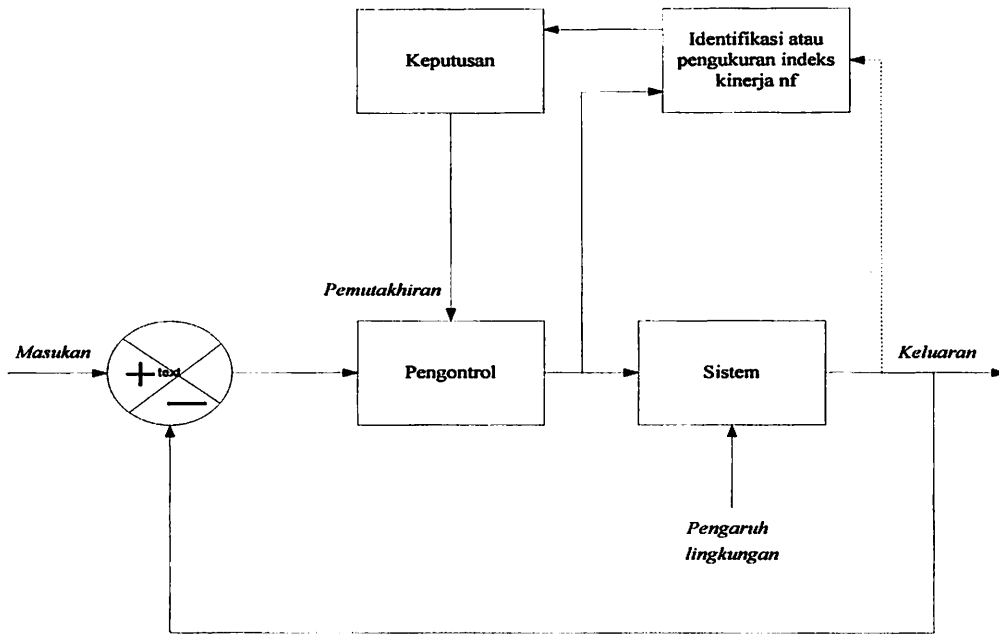
Perhatikan bahwa pada umumnya, semua indeks kinerja yang dapat dihitung secara matematis(seperti indeks kinerja kuadratik) mempunyai satu “kekurangseriusan” yang umum, meskipun indeks kinerjanya akan menentukan biaya operasi sistem dalam bentuk kesalahan dan energi, tetapi tidak memberikan informasi tentang karakteristik respon transient sistem. jadi, sistem yang didisain untuk bekerja secara optimal harus ditinjau dari sudut pandang “keuntungan” maksimum bisa jadi mempunyai karakteristik respon- transient yang tidak diinginkan atau bahkan tidak stabil. oleh sebab itu, untuk menjamin karakteristik yang andal (baik), kita memerlukan kriteria kedua yang berkaitan dengan karakteristik respon agar dapat merangsang minat dalam memilih unsur-unsur pembiayaan.

Pengontrol adaptif. Pengontrol adaptif terdiri atas tiga fungsi berikut :

1. Mengidentifikasi karakteristik dinamik sistem.
2. Pengambilan keputusan yang didasarkan pada identifikasi sistem.
3. Memutakhirkan atau aktuasi (memberikan sinyal penggerak) yang didasarkan pada keputusan yang telah dibuat.

Diagram blok yang menyajikan sistem kontrol adaptif diperlihatkan dari gambar 4-2. pada sistem ini, sistem didefinisikan dan indeks kinerjanya diukur secara periodik atau berkesinambungan. sekali anda menyelesaikan proses ini, indeks kinerja dibandingkan dengan indeks kinerja optimal dan hasilnya anda gunakan untuk

mengambil keputusan memutakhirkan sinyal penggerak. karena sistem diidentifikasi dalam sistem itu sendiri, maka penyesuaian parameternya merupakan operasi loop tertutup. perhatikan bahwa dalam adaptasi loop tertutup seperti itu, mungkin akan timbul pertanyaan mengenai kestabilan sistem.



Gambar 4-2
Penyajian diagram blok sistem kontrol adaptif.

Sumber: Ogata, Katsuhito, “ *Teknik Kontrol Otomatik Jilid 2* ”, University Of Minnesota, Edisi kedua, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1997.

Identifikasi karakteristik dinamika sistem. Karakteristik dinamika sistem harus diukur dan diidentifikasi atau paling tidak, acap diulang-ulang. ini harus anda lakukan tanpa mengganggu operasi normal sistem tersebut. Untuk mengidentifikasi dinamika sistem, anda harus menguji dan menganalisis hasilnya. (untuk sistem kontrol, ini memerlukan pemberian sinyal kontrol dan menganalisis respon sistem). Anda dapat melakukan identifikasi dengan menggunakan data operasi normal sistem atau menggunakan sinyal uji, seperti sinusoidal salah satu amplitudo kecil atau sinyal stokastik amplitudo kecil tertentu. Dalam praktik, anda tidak mungkin memberikan

sinyal masukan tangga atau impuls secara langsung.(kecuali untuk beberapa kasus, sistem akan tetap bekerja normal selama pengujian, sehingga sinyal uji yang ditumpangkan pada masukan tidak mengganggu keluaran normal; kemudian masukan normal dan kebisingan sistem tidak boleh mengganggu atau mengaburkan pengujian). Masukan normal dapat berfungsi sebagai sinyal uji yang ideal karena tidak menimbulkan kesukaran akibat keluaran yang tidak diinginkan atau masukan yang kurang jelas. akan tetapi, identifikasi dengan masukan normal hanya mungkin jika karakteristik sinyalnya memenuhi syarat(lebar-pita frekuensi, amplitudo, dan sebagainya) untuk identifikasi yang sempurna.

adalah penting untuk memperhatikan bahwa semua sistem adaptif memerlukan identifikasi dengan jelas. sejauh ini, beberapa sistem telah diidentifikasi sedemikian rupa sehingga pengukuran indeks kinerja dapat menunjukkan parameter pengontrol yang harus diubah. yaitu, sistem yang dikenal dengan baik sehingga indeks kinerjanya akan menyempurnakan identifikasi.

Pengambilan keputusan berdasarkan identifikasi sistem. Disini keputusan dimaksudkan sebagai langkah yang dibuat berdasarkan karakteristik sistem yang telah diidentifikasi dan indeks kinerja yang telah dihitung.

Sekali sistemnya diidentifikasi, kemudian hasilnya dibandingkan dengan karakteristik optimal (atau kinerja optimal), maka anda harus mengambil keputusan bagaimana parameter yang dapat diatur ini (karakteristik pengontrol) harus diubah untuk mempertahankan kinerja optimal. keputusannya diambil oleh komputer anda.

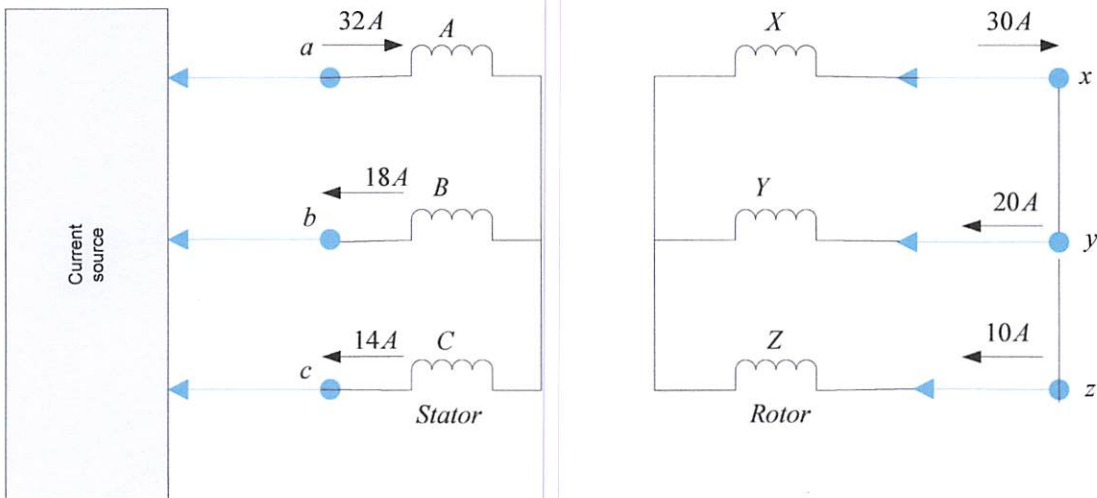
4.3 Prinsip Kontrol Flux Vektor

Ketika motor induksi berjalan pada keadaan tetap(steady state), kita dapat menggunakan salah satu dari tiga fasa sebagai model untuk semua. tegangan dan arus

fase respektif memiliki bentuk gelombang sinusoidal yang frekuensinya konstan, semua dipisahkan dengan baik oleh sudut fasa 120^0 .

Menjamin situasi ini sangat mengecewakan bila motor diminta untuk perubahan torsi dengan cepat, atau jika dengan tiba-tiba harus merubah kecepatan. Bila drive respon tinggi dilakukan terhadap gangguan, atau ketika harus mengikuti perubahan perintah yang cepat, tegangan dan arus tidak lagi sinusoidal, dan sudut fasa kehilangan arti.

Di bawah kondisi khusus ini, arus dan tegangan di semua tiga fasa harus dipertimbangkan baik untuk stator dan rotor.



sudut mekanik antara rotor dan stator = 20^0

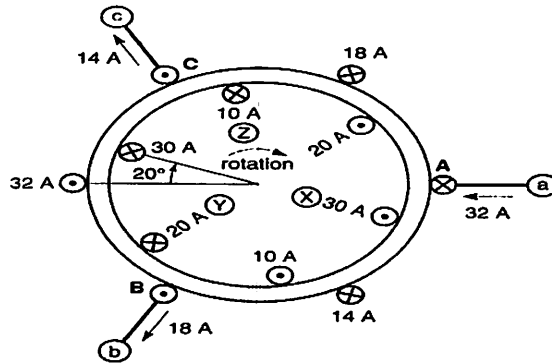
Gambar 4-3

Seketika di dalam lilitan rotor dan stator suatu 2 kutub , 3 fasa motor induksi.

Sumber: Theodore Wildi, "Electrical Machines, Drive, and power systems", Laval University, edisi kelima , penerbit Prentice Hall, New Jersey, 2002.

Gambar 4-3 adalah diagram skematis dari dua kutub, motor tiga fasa. Misal arus cepat yang mengalir pada lilitan stator dan rotor ditunjukkan. Arus stator dibangkitkan oleh sumber arus yang sesuai, yang mengembangkan baik besarnya maupun tingkat perubahan yang cepat. Magnitude seketika menyebabkan tegangan kecepatan pada

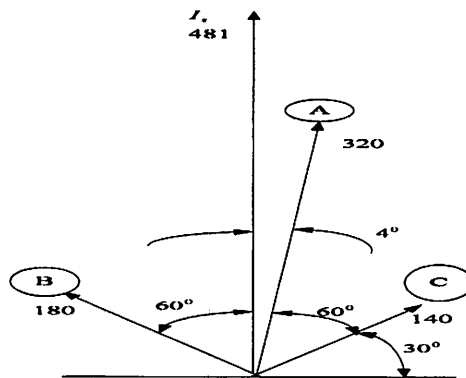
lilitan rotor yang proporsional dengan kecepatan rotasi. Jumlah tegangan kecepatan dan tegangan induksi meningkatkan arus rotor. Penundaan ini adalah karena induktansi lilitan rotor. Akibatnya, waktu L_2 / R_2 konstan dari rotor (per fasa) berperan penting di dalam merespon drive dengan kinerja tinggi.



Gambar 4-4
Posisi seketika rotor dan lilitan stator.

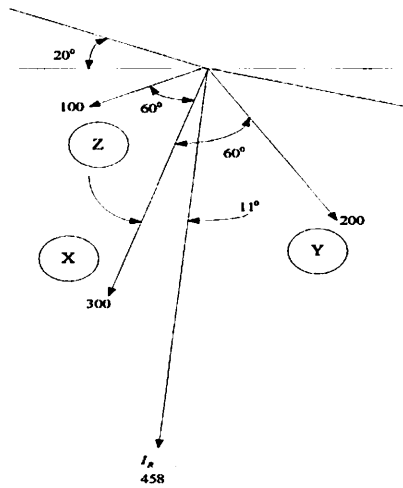
Sumber: Theodore Wildi, "Electrical Machines, Drive, and power systems", Laval University, edisi kelima, penerbit Prentice Hall, New Jersey, 2002.

Sumber arus dirancang untuk menghasilkan perubahan cepat pada arus rotor yang dipilih dengan memodifikasi baik besar maupun tingkat perubahan arus stator khusus.



Gambar 4-5
besar seketika dan orientasi di dalam ruang gaya gerak magnet stator.

Sumber: Theodore Wildi, "Electrical Machines, Drive, and power systems", Laval University, edisi kelima, penerbit Prentice Hall, New Jersey, 2002.



Gambar 4-6

besar seketika dan orientasi di dalam ruang gaya gerak magnet rotor.

.Sumber: Theodore Wildi, "Electrical Machines, Drive, and power systems ", Laval University, edisi kelima , penerbit Prentice Hall, New Jersey, 2002.

Di dalam menjelaskan prinsip drive vektor, jauh lebih mudah untuk menggunakan contoh numerik. Dengan demikian besar dan arah arus seketika ditunjukkan secara skematis dalam gambar 4-4. Lokasi fisik lilitan stator A, B, C dan posisi seketika lilitan rotor X, Y, Z ditunjukkan dalam gambar 4-4.

Arus pada ketiga kumparan stator ini menghasilkan gaya gerak magnet yang diorientasikan pada sudut kanan ke bidang kumparan individual. Dengan demikian, denganmelakukan kaidah tangan kanan, fasa A menghasilkan gaya gerak magnet $32A \times 10 \text{ putaran} = 320A$, yang diarahkan secara vertikal ke atas (gambar 4-5). Begitu pula, fasa B menghasilkan mmf $18A \times 10 \text{ putaran} = 180A$, diarahkan ke kiri pada sudut 60° dari vertikal.

Sebaliknya, fasa C menghasilkan gaya gerak magnet $14A \times 10 \text{ putaran} = 140A$, miring ke kanan pada 60° dari vertikal.

Jumlah vektor gaya gerak magnet ini memberikan stator resultan mmf I_s dari $481A$, miring pada 4° ke vertikal. gaya gerak magnet tunggal ini menunjukkan dampak kombinasi semua tiga fasa. Ini seolah-olah semua stator diganti pada momen khusus ini dengan kumparan 10 putaran tunggal yang membawa arus $481A$. Bidang kumparan samaran ini dimiringkan pada 4° ke horizontal.

Arus respektif menghasilkan mmf $300A, 200A, dan 100A$, yang diorientasikan pada 60° untuk masing-masing yang lain. Akan tetapi, pada hitungan posisi rotor relatif ke stator, seluruh kelompok mmf dipindah dengan 20° (gambar 4-6).

4.4 Penggunaan FFT Pada Matlab 7.0 Untuk Menghitung Torsi Elektromagnetik

Rumus Torsi Elektromagnetik diekpresikan sebagai variabel keadaan adalah :

$$T_e = 3n_p (\lambda_{dr} i_{qs} - \lambda_{qr} i_{ds})$$

untuk analisa perfasa, maka:

$$T_e = n_p (\lambda_{dr} i_{qs} - \lambda_{qr} i_{ds})$$

jika, ditulis dalam program algoritma FFT simulasi matlab 7.0 didapatkan :

Fungsi $X = \text{fft}(x)$ transformasi berpasangan diberikan untuk vektor pada panjang N_{data} oleh:

$$X(k) = \omega_{N_2} \left\{ \sum_{j=1}^{N_{data}} x(j) \omega_{N_1}^{(j-1)(k-1)} \right\}$$

Dimana :

$$\omega_{N_1} = e^{(-2\pi)j/N}$$

dimana :

$$N = N_{data}$$

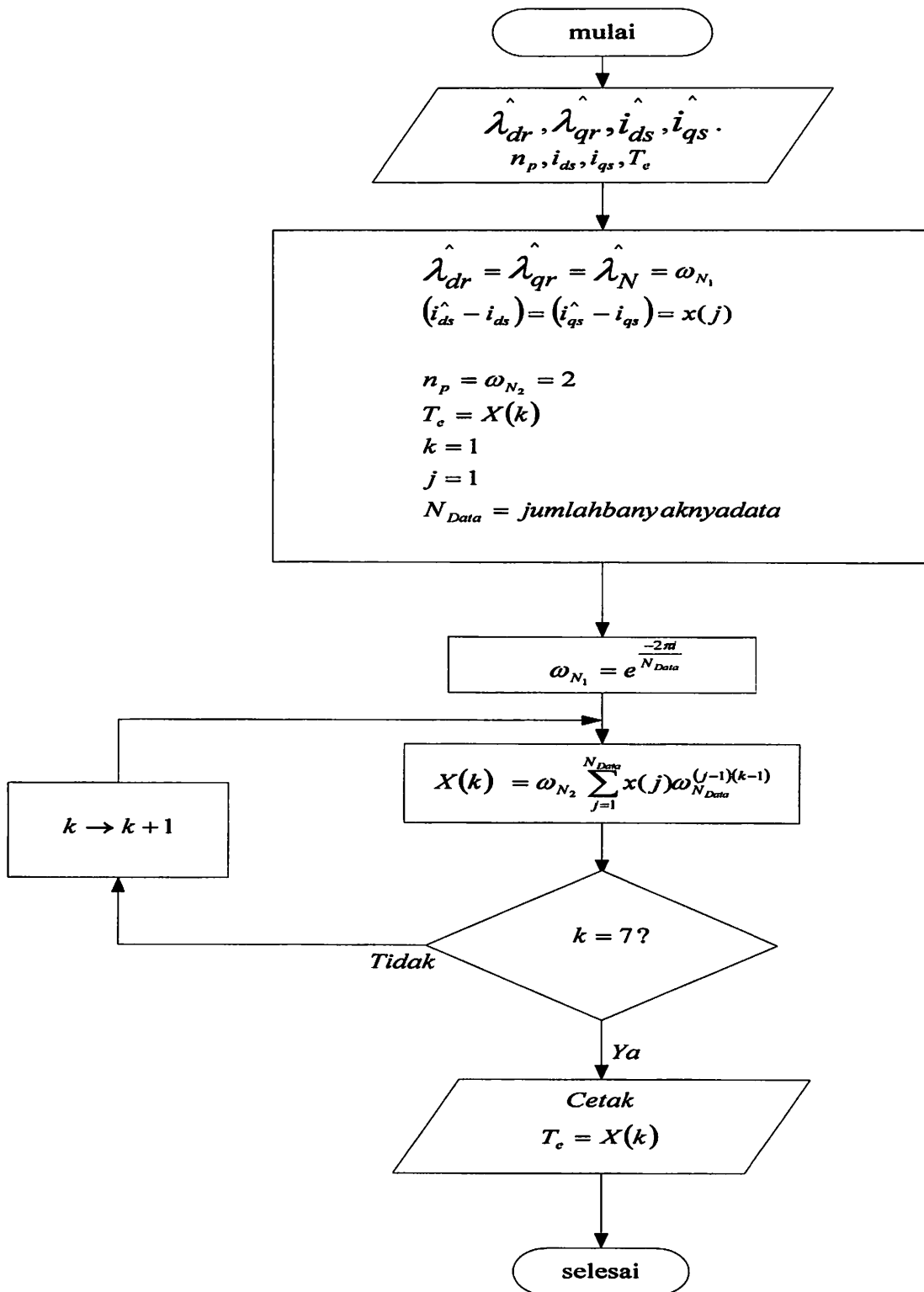
$x(j)$ = arus estimasi didalam kerangka referensi stasioner
(ampere motor CT dari data diatas)

ω_{N_1} = flux estimasi didalam kerangka referensi stasioner

$\omega_{N_2} = n_p = \text{jumlah pasangan kutub} = 2.$

4.5 Diagram Alir Proses Estimasi Perhitungan Torsi Elektromagnetik Dalam Program FFT Sebagai Fungsi Di Bidang Dua Dimensi Pada Matlab 7.0

1. Baca data parameter estimasi pada kondisi operasi.
2. Beri nilai data indeks variabel persamaan.
3. Melakukan estimasi perhitungan Torsi Elektromagnetik menggunakan metode Program FFT sebagai fungsi di bidang dua dimensi pada matlab 7.0.
4. Hasil dari estimasi proses perhitungan Torsi Elektromagnetik dalam program FFT sebagai fungsi di bidang dua dimensi pada matlab 7.0 setiap mesin CT setiap hari, dan apabila nilai data masih mesin CT I hari jumat 1 September 2006, maka estimasi proses perhitungan Torsi Elektromagnetik dalam program FFT sebagai fungsi di bidang dua dimensi pada matlab 7.0 akan dilanjutkan berikutnya.
5. Jika estimasi proses perhitungan Torsi Elektromagnetik dalam program FFT sebagai fungsi di bidang dua dimensi pada matlab 7.0 telah sampai pada mesin CT IV hari Jumat 8 september 2006, maka dilanjutkan kelangkah 6.
6. Cetak hasil dari estimasi proses perhitungan Torsi Elektromagnetik dalam program FFT sebagai fungsi di bidang dua dimensi pada matlab 7.0 bentuk tabel .



Gambar 4-7
Flowchart Estimasi Perhitungan Torsi Elektromagnetik Dalam Program FFT
Sebagai Fungsi Di Bidang Dua Dimensi Pada Matlab 7.0

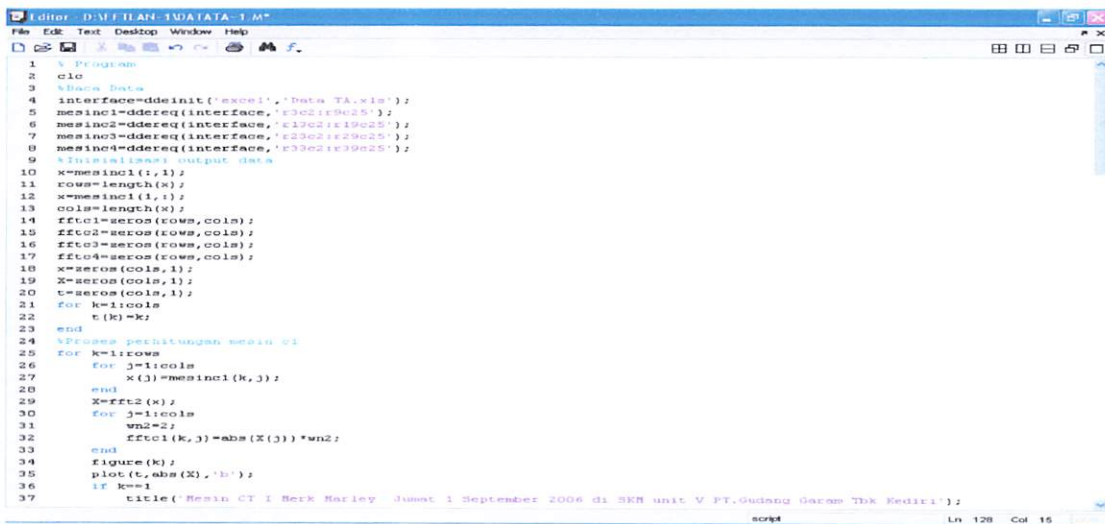
4.6 Hasil Estimasi Simulasi Dan Analisis Program FFT Dalam Matlab 7.0

4.6.1 Hasil Estimasi Torsi Elektromagnetik Dalam Program Simulasi FFT Sebagai Fungsi Di Bidang Dua Dimensi Pada Matlab 7.0

Mesin CT I

Hari jumat 1 September 2006

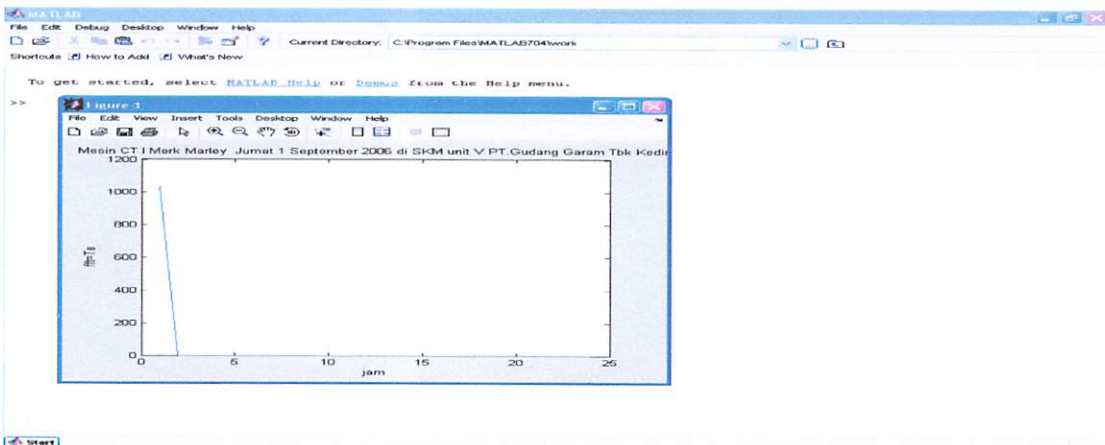
Di Mesin AC SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri



```
1 % Program
2 clc
3 %Data Data
4 interface=ddereq('mesin1','Data TA.xls');
5 mesin1=ddereq(interface,'e30e2:e39e25');
6 mesin2=ddereq(interface,'e130e2:e19e25');
7 mesin3=ddereq(interface,'e230e2:e29e25');
8 mesin4=ddereq(interface,'e330e2:e39e25');
9 %Initialisasi output data
10 x=mesin1(:,1);
11 rows=length(x);
12 x=mesin1(1,1);
13 cols=length(x);
14 fftc1=zeros(rows,cols);
15 fftc2=zeros(rows,cols);
16 fftc3=zeros(rows,cols);
17 fftc4=zeros(rows,cols);
18 x=zeros(cols,1);
19 X=zeros(cols,1);
20 t=zeros(cols,1);
21 for k=1:cols
22     t(k)=k;
23 end
24 %Perhitungan perhitungan mesin 01
25 for k=1:rows
26     for j=1:cols
27         x(j)=mesin1(k,j);
28     end
29     X=fft2(x);
30     for j=1:cols
31         wn2=2;
32         fftc1(k,j)=abs(X(j))*wn2;
33     end
34     figure(k);
35     plot(t,abs(X),'b');
36     if k==1
37         title('Mesin CT I Merk Marley Jumat 1 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
```

Gambar 4-8

Komputasi Estimasi Torsi Elektromagnetik Dalam Program Simulasi FFT Sebagai Fungsi Di Bidang Dua Dimensi Pada Matlab 7.0



Grafik 4-1

Program Simulasi Estimasi FFT Pada Matlab 7.0 Untuk Menghitung Torsi Elektromagnetik

Mesin CT I

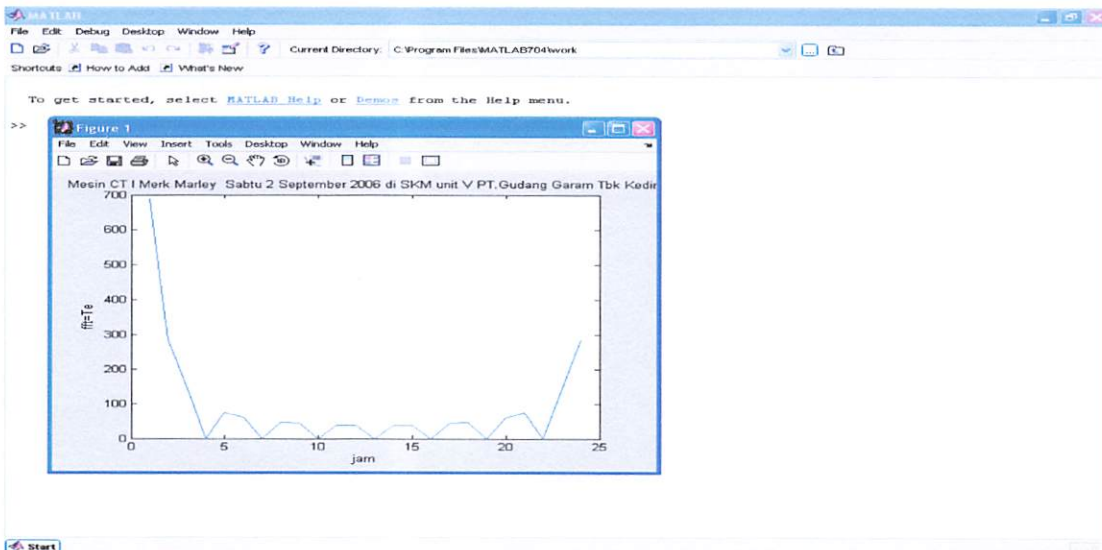
Hari Sabtu 2 September 2006

Di Mesin AC SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri

```
Editor - D:\FT II\AN-TM\DATA-1.M*
File Edit Text Desktop Window Help
4 interface=ddinit('excel','Data TA.xls');
5 mesin1=ddereq(interface,'e3e2:r9e25');
6 mesin2=ddereq(interface,'e13e2:r19e25');
7 mesin3=ddereq(interface,'e23e2:r29e25');
8 mesin4=ddereq(interface,'e33e2:r39e25');
9 %Tipe1:mesin output data
10 x=mesin1(t,1);
11 rows=length(x);
12 k=mesin1(1,1);
13 cols=length(x);
14 fftc1=zeros(rows,cols);
15 fftc2=zeros(rows,cols);
16 fftc3=zeros(rows,cols);
17 fftc4=zeros(rows,cols);
18 x=zeros(cols,1);
19 X=zeros(cols,1);
20 t=zeros(cols,1);
21 for k=1:cols
22     t(k)=k;
23 end
24 %Proses perhitungan mesin c1
25 for k=1:rows
26     for j=1:cols
27         x(j)=mesin1(k,j);
28     end
29     X=fft2(x);
30     for j=1:cols
31         wn2=2;
32         fftc1(k,j)=abs(X(j))*wn2;
33     end
34     figure(k);
35     plot(t,abs(X),'b');
36     if k==1
37         title('Mesin CT I Merk Marley Jumat 1 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
38     elseif k==2
39         title('Mesin CT I Merk Marley Sabtu 2 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
40     elseif k==3
script Ln 128 Col 15
```

Gambar 4-9

Komputasi Estimasi Torsi Elektromagnetik Dalam Program Simulasi FFT Sebagai Fungsi Di Bidang Dua Dimensi Pada Matlab 7.0



Grafik 4-2

Program Simulasi Estimasi FFT Pada Matlab 7.0 Untuk Menghitung Torsi Elektromagnetik

Mesin CT I

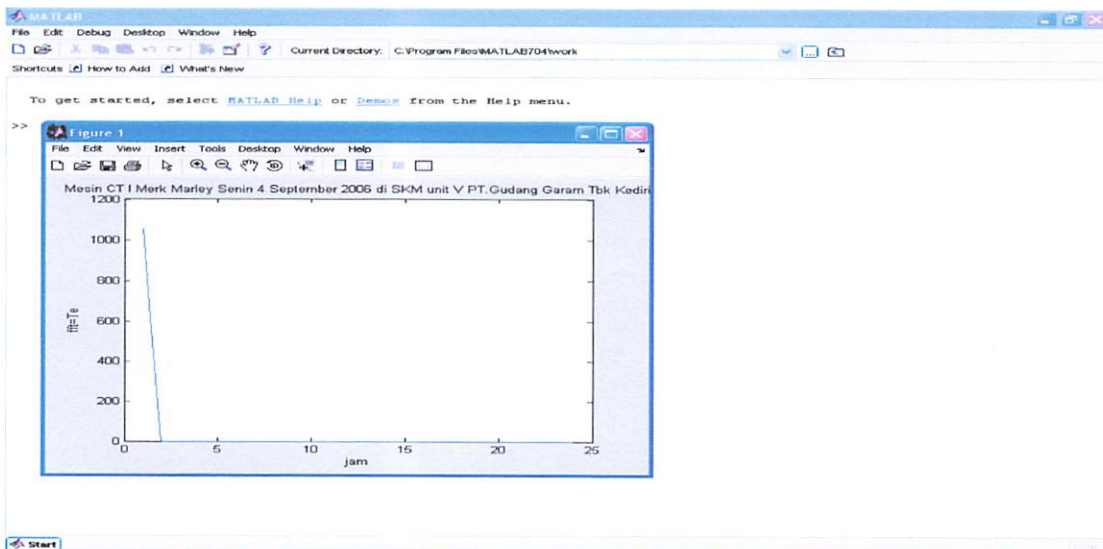
Hari Senin 4 September 2006 - Jumat 8 September 2006

Di Mesin AC SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri

```
Editor - D:\FFTLAN-1\DATA-1.M*
File Edit Text Desktop Window Help
19 X=zeros(cols,1);
20 t=zeros(cols,1);
21 for k=1:cols
22     t(k)=k;
23 end
24 %Proses perhitungan mesin c1
25 for k=1:rows
26     for j=1:cols
27         x(j)=mesin1(k,j);
28     end
29     X=fft2(x);
30     for j=1:cols
31         wn2=2;
32         fftc1(k,j)=abs(X(j)) *wn2;
33     end
34     figure(k);
35     plot(t,abs(X),'b');
36     if k==1
37         title('Mesin CT I Merk Marley Jumat 1 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
38     elseif k==2
39         title('Mesin CT I Merk Marley Sabtu 2 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
40     elseif k==3
41         title('Mesin CT I Merk Marley Senin 4 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
42     elseif k==4
43         title('Mesin CT I Merk Marley Selasa 5 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
44     elseif k==5
45         title('Mesin CT I Merk Marley Rabu 6 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
46     elseif k==6
47         title('Mesin CT I Merk Marley Kamis 7 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
48     elseif k==7
49         title('Mesin CT I Merk Marley Jumat 8 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
50     end
51     xlabel('jam');
52     ylabel('fft=Te');
53 end
54 cek=ddepoke(interface,'r3c27:e9c50',fftc1);
55 %Proses perhitungan mesin c2
script Ln 128 Col 15
```

Gambar 4-10

Komputasi Estimasi Torsi Elektromagnetik Dalam Program Simulasi FFT Sebagai Fungsi Di Bidang Dua Dimensi Pada Matlab 7.0



Grafik 4-3

Program Simulasi Estimasi FFT Pada Matlab 7.0 Untuk Menghitung Torsi Elektromagnetik

Mesin CT II

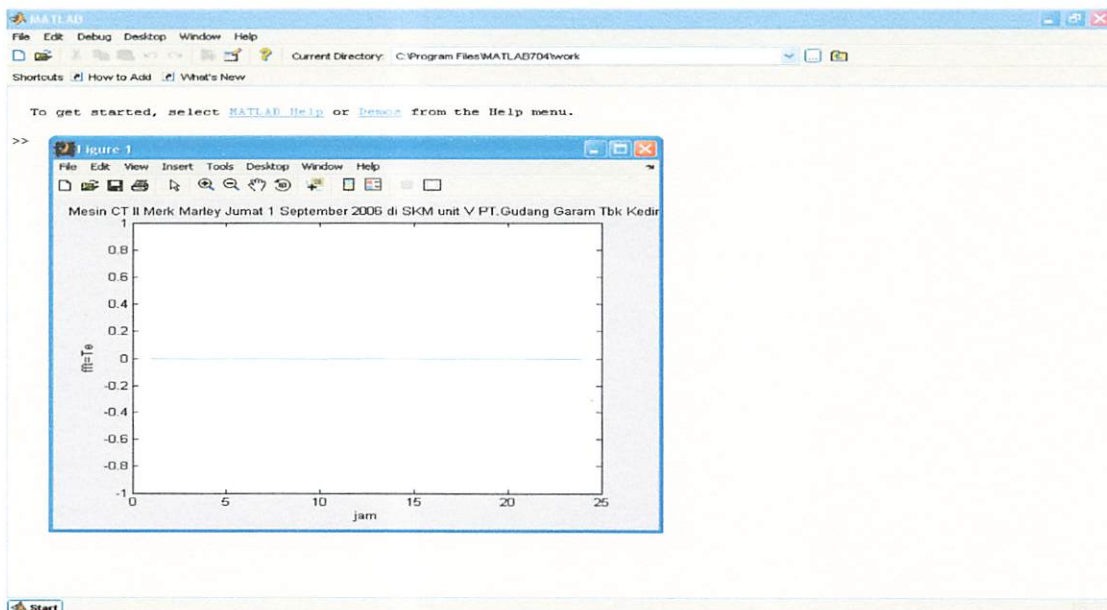
Hari Jumat 1 September 2006

Di Mesin AC SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri

```
Editor D:\MFTIAN-JUWATA-1.M*
File Edit Text Desktop Window Help
55 %Proses perhitungan mesin c2
56 for k=1:rows
57     for j=1:cols
58         x(j)=mesinc2(k,j);
59     end
60     X=fft2(x);
61     for j=1:cols
62         wn2=2;
63         zftc2(k,j)=abs(X(j))*wn2;
64     end
65     figure(7+k);
66     xlabel('jam');
67     ylabel('ZFT=Ts');
68     plot(t,abs(X),'b');
69     if k==1
70         title('Mesin CT II Merk Harley Jumat 1 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
71     elseif k==2
72         title('Mesin CT II Merk Harley Sabtu 2 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
73     elseif k==3
74         title('Mesin CT II Merk Harley Senin 4 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
75     elseif k==4
76         title('Mesin CT II Merk Harley Selasa 5 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
77     elseif k==5
78         title('Mesin CT II Merk Harley Rabu 6 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
79     elseif k==6
80         title('Mesin CT II Merk Harley Kamis 7 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
81     elseif k==7
82         title('Mesin CT II Merk Harley Jumat 8 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
83     end
84     xlabel('jam');
85     ylabel('ZFT=Ts');
86 end
87 cek=ddepoke(interface,'t13c27i19c50',fft2);
88 %Proses perhitungan mesin c3
89 for k=1:rows
90     for j=1:cols
91         x(j)=mesinc3(k,j);
```

Gambar 4-11

Komputasi Estimasi Torsi Elektromagnetik Dalam Program Simulasi FFT Sebagai Fungsi Di Bidang Dua Dimensi Pada Matlab 7.0



Grafik 4-4

Program Simulasi Estimasi FFT Pada Matlab 7.0 Untuk Menghitung Torsi Elektromagnetik

Mesin CT II

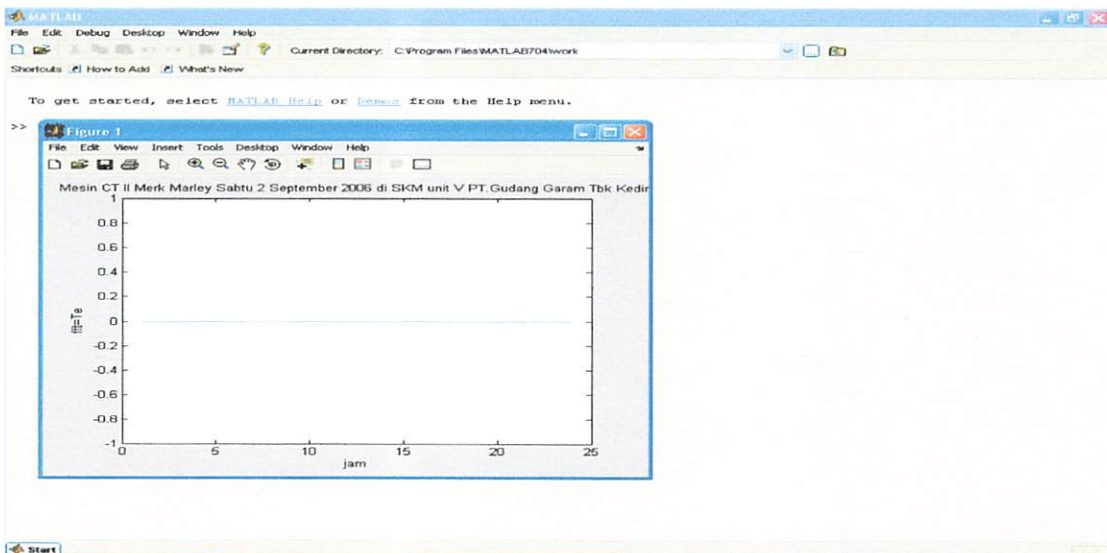
Hari Sabtu 2 September 2006

Di Mesin AC SKM unit V PT. Gudang Garam Tbk Kediri

```
Editor: DATAAN-IMAJATA-1.M*
File Edit Text Desktop Window Help
55 %Proses perhitungan mesin c2
56 for k=1:rows
57     for j=1:cols
58         x(j)=mesinc2(k,j);
59     end
60     X=fft2(x);
61     for j=1:cols
62         wn2=2;
63         fftc2(k,j)=abs(X(j))*wn2;
64     end
65     figure(7+k);
66     xlabel('jam');
67     ylabel('fft=fft');
68     plot(t,abs(X),'r');
69     if k==1
70         title('Mesin CT II Merk Marley Jumat 1 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
71     elseif k==2
72         title('Mesin CT II Merk Marley Sabtu 2 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
73     elseif k==3
74         title('Mesin CT II Merk Marley Senin 4 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
75     elseif k==4
76         title('Mesin CT II Merk Marley Selasa 5 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
77     elseif k==5
78         title('Mesin CT II Merk Marley Rabu 6 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
79     elseif k==6
80         title('Mesin CT II Merk Marley Kamis 7 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
81     elseif k==7
82         title('Mesin CT II Merk Marley Jumat 8 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
83     end
84     xlabel('jam');
85     ylabel('fft=fft');
86 end
87 cek=ddpoka(interface,'s13e27:s19e50',fftc2);
88 %Proses perhitungan mesin c3
89 for k=1:rows
90     for j=1:cols
91         x(j)=mesinc3(k,j);
```

Gambar 4-12

Komputasi Estimasi Torsi Elektromagnetik Dalam Program Simulasi FFT Sebagai Fungsi Di Bidang Dua Dimensi Pada Matlab 7.0



Grafik 4-5

Program Simulasi Estimasi FFT Pada Matlab 7.0 Untuk Menghitung Torsi Elektromagnetik

Mesin CT II

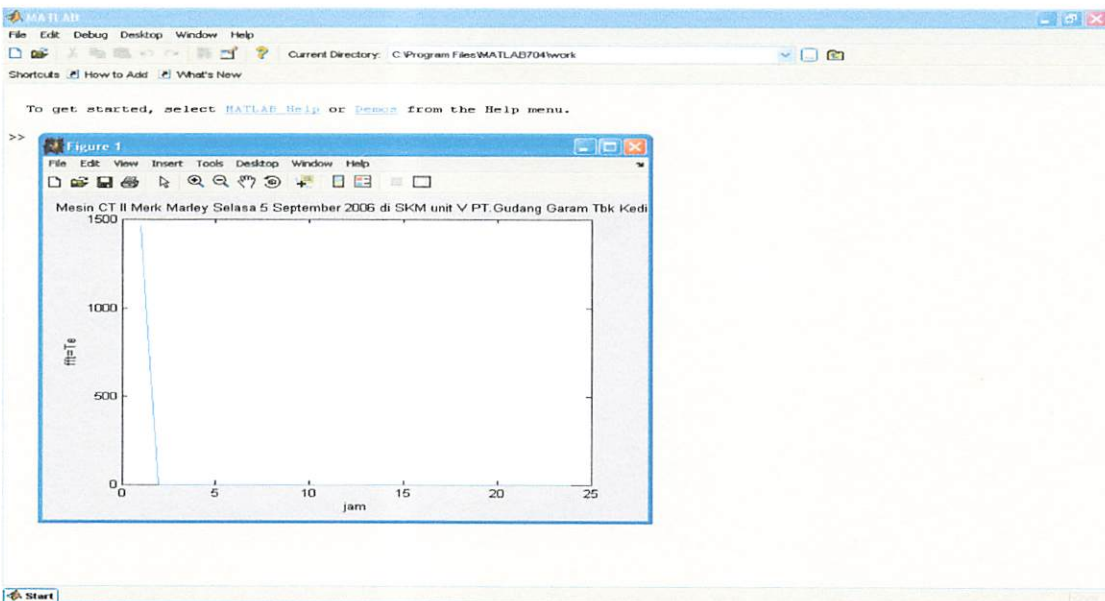
Hari Senin 4 September 2006 - Jumat 8 September 2006

Di Mesin AC SKM unit V PT. Gudang Garam Tbk Kediri

```
Editor: D:\FFI\AN-1\DATA\A-1.M*
File Edit Text Desktop Window Help
55 %Proses perhitungan mesin c2
56 for k=1:rows
57     for j=1:cols
58         x(j)=mesinc2(k,j);
59     end
60     X=fft2(x);
61     for j=1:cols
62         wn2=2;
63         fftc2(k,j)=abs(X(j))*wn2;
64     end
65     figure(7+k);
66     xlabel('jam');
67     ylabel('fft=Te');
68     plot(t,abs(X),'b');
69     if k==1
70         title('Mesin CT II Merk Harley Jumat 1 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
71     elseif k==2
72         title('Mesin CT II Merk Harley Sabtu 2 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
73     elseif k==3
74         title('Mesin CT II Merk Harley Senin 4 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
75     elseif k==4
76         title('Mesin CT II Merk Harley Selasa 5 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
77     elseif k==5
78         title('Mesin CT II Merk Harley Rabu 6 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
79     elseif k==6
80         title('Mesin CT II Merk Harley Kamis 7 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
81     elseif k==7
82         title('Mesin CT II Merk Harley Jumat 8 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
83     end
84     xlabel('jam');
85     ylabel('fft=Te');
86 end
87 cek=dddepoke(interface,'r15c27:r19c50',fftc2);
88 %Proses perhitungan mesin c3
89 for k=1:rows
90     for j=1:cols
91         x(j)=mesinc3(k,j);
```

Gambar 4-13

Komputasi Estimasi Torsi Elektromagnetik Dalam Program Simulasi FFT Sebagai Fungsi Di Bidang Dua Dimensi Pada Matlab 7.0



Grafik 4-6

Program Simulasi Estimasi FFT Pada Matlab 7.0 Untuk Menghitung Torsi Elektromagnetik

Mesin CT III

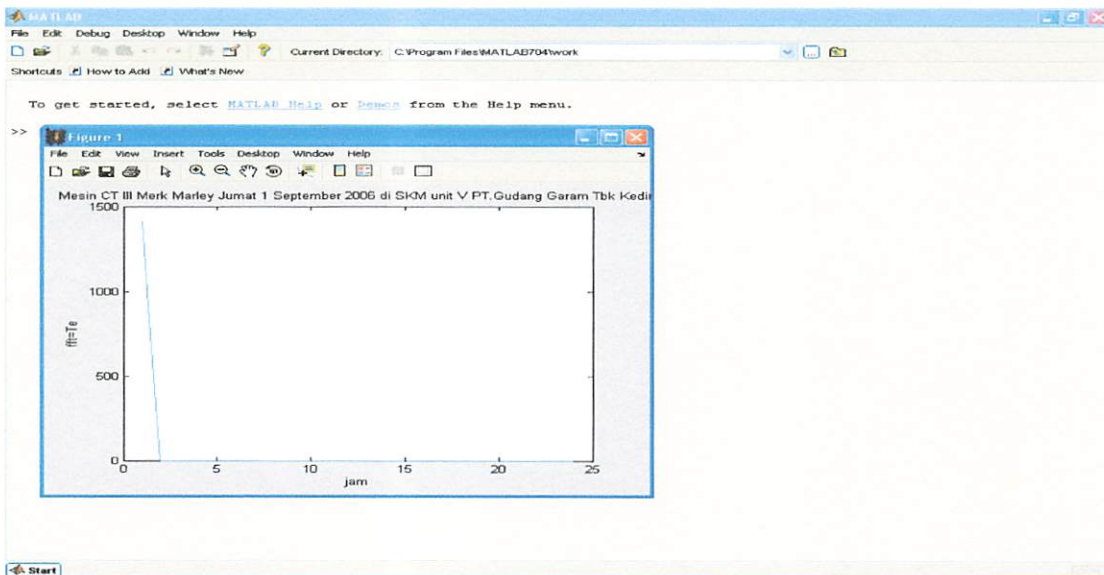
Hari Jumat 1 September 2006

Di Mesin AC SKM unit V PT. Gudang Garam Tbk Kediri

```
Editor: D:\FF\ILAN-INDATAJA-1.M*
File Edit Text Desktop Window Help
%Process perhitungan mesin e3
09 for k=1:rows
10     for j=1:cols
11         x(j)=mesinc3(k,j);
12     end
13     Z=fft2(x);
14     for j=1:cols
15         wn2=2;
16         ifft3(k,j)=abs(Z(j))*wn2;
17     end
18     figure(14+k);
19     xlabel('jam');
20     ylabel('fft=Te');
21     plot(t,abs(X),'b');
22     is k=1
23     title('Mesin CT III Merk Marley Jumat 1 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
24     elseif k=2
25     title('Mesin CT III Merk Marley Sabtu 2 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
26     elseif k=3
27     title('Mesin CT III Merk Marley Senin 4 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
28     elseif k=4
29     title('Mesin CT III Merk Marley Selasa 5 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
30     elseif k=5
31     title('Mesin CT III Merk Marley Rabu 6 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
32     elseif k=6
33     title('Mesin CT III Merk Marley Kamis 7 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
34     elseif k=7
35     title('Mesin CT III Merk Marley Jumat 8 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
36     end
37     xlabel('jam');
38     ylabel('fft=Te');
39 end
40 cek=ddesktop('interface','c23c271e29e50',ifft3);
41 %Process perhitungan mesin e4
42 for k=1:rows
43     for j=1:cols
44         x(1)=mesinc4(k,1);
45     end
46 end
```

Gambar 4-14

Komputasi Estimasi Torsi Elektromagnetik Dalam Program Simulasi FFT Sebagai Fungsi Di Bidang Dua Dimensi Pada Matlab 7.0



Grafik 4-7

Program Simulasi Estimasi FFT Pada Matlab 7.0 Untuk Menghitung Torsi Elektromagnetik

Mesin CT III

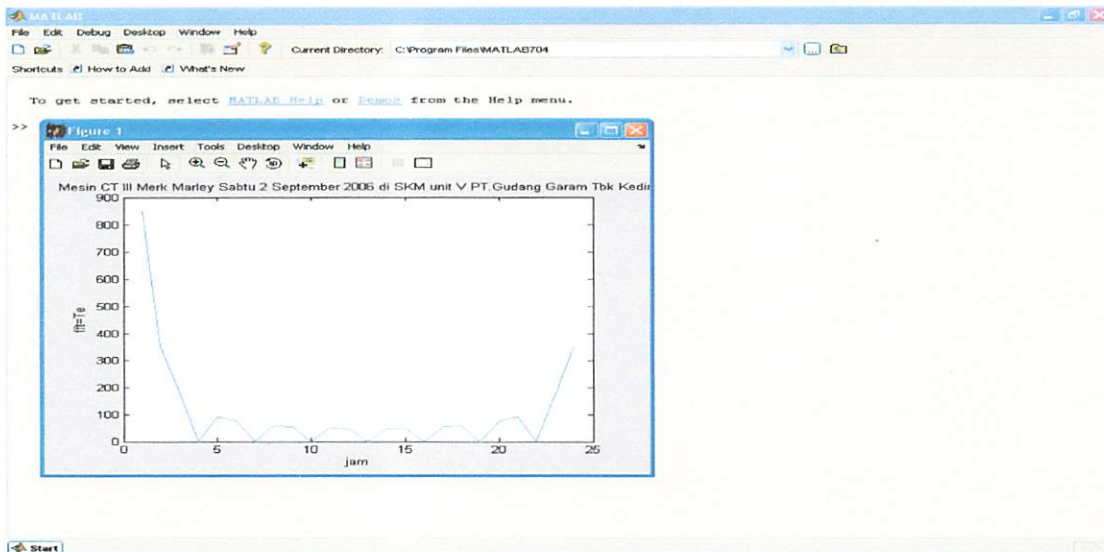
Hari Sabtu 2 September 2006

Di Mesin AC SKM unit V PT. Gudang Garam Tbk Kediri

```
Editor: D:\FFTIAN-1\DATA\A1-1.M*
File Edit Text Desktop Window Help
%LEAKAGE% (K) = 100 * (1 - cos(2 * pi * K * t)) / (2 * pi * K * t)
88 %Proses perhitungan mesin e3
89 for k=1:rows
90     for j=1:cols
91         x(j)=mesinc3(k,j);
92     end
93     X=fft2(x);
94     for j=1:cols
95         wn2=2;
96         fftc3(k,j)=abs(X(j))*wn2;
97     end
98     figure(14+k);
99     xlabel('jam');
100    ylabel('fft=Te');
101    plot(t,abs(X),'b');
102    if k==1
103        title('Mesin CT III Merk Marley Jumat 1 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
104    elseif k==2
105        title('Mesin CT III Merk Marley Sabtu 2 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
106    elseif k==3
107        title('Mesin CT III Merk Marley Senin 4 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
108    elseif k==4
109        title('Mesin CT III Merk Marley Selasa 5 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
110    elseif k==5
111        title('Mesin CT III Merk Marley Rabu 6 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
112    elseif k==6
113        title('Mesin CT III Merk Marley Kamis 7 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
114    elseif k==7
115        title('Mesin CT III Merk Marley Jumat 8 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
116    end
117    xlabel('jam');
118    ylabel('fft=Te');
119 end
120 dekddepoke('interface','r23c27:r29c50',fftc3);
121 %Proses perhitungan mesin e4
122 for k=1:rows
123     for j=1:cols
124         x(j)=mesinc4(k,j);
```

Gambar 4-15

Komputasi Estimasi Torsi Elektromagnetik Dalam Program Simulasi FFT Sebagai Fungsi Di Bidang Dua Dimensi Pada Matlab 7.0



Grafik 4-8

Program Simulasi Estimasi FFT Pada Matlab 7.0 Untuk Menghitung Torsi Elektromagnetik

Mesin CT III

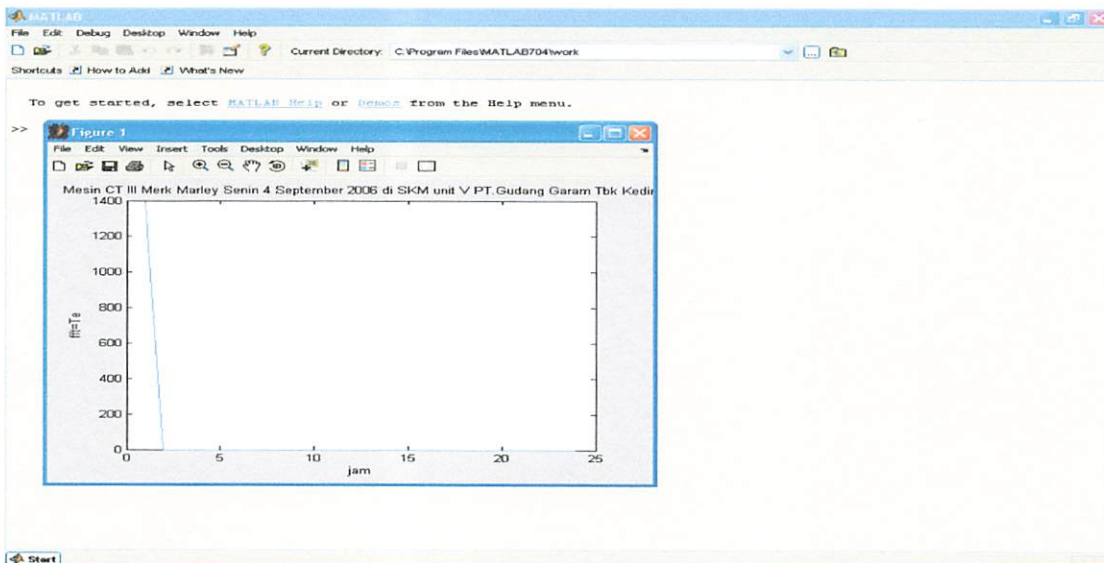
Hari Senin 4 September 2006 - Jumat 8 September 2006

Di Mesin AC SKM unit V PT. Gudang Garam Tbk Kediri

```
Editor D:\FFLIAN-1\DATA-1.M*
File Edit Text Desktop Window Help
%Proses perhitungan mesin c3
88 for k=1:rows
89     for j=1:cols
90         x(j)=mesinc3(k,j);
91     end
92     X=fft2(x);
93     for j=1:cols
94         wn2=2;
95         ifftc3(k,j)=abs(X(j))*wn2;
96     end
97     figure(14+k);
98     xlabel('jam');
99     ylabel('fft=Te');
100     plot(t,abs(X),'b');
101     if k==1
102         title('Mesin CT III Merk Marley Jumat 1 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
103     elseif k==2
104         title('Mesin CT III Merk Marley Sabtu 2 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
105     elseif k==3
106         title('Mesin CT III Merk Marley Senin 4 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
107     elseif k==4
108         title('Mesin CT III Merk Marley Selasa 5 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
109     elseif k==5
110         title('Mesin CT III Merk Marley Rabu 6 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
111     elseif k==6
112         title('Mesin CT III Merk Marley Kamis 7 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
113     elseif k==7
114         title('Mesin CT III Merk Marley Jumat 8 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
115     end
116     xlabel('jam');
117     ylabel('fft=Te');
118 end
119 cek=ddepoke(interface,'c23e27:c29e50',ifftc3);
120 %Proses perhitungan mesin c4
121 for k=1:rows
122     for j=1:cols
123         x(j)=mesinc4(k,j);
124     end
125     X=fft2(x);
126     for j=1:cols
127         ifftc4(k,j)=abs(X(j))*wn2;
128     end
129     figure(15+k);
130     xlabel('jam');
131     ylabel('fft=Te');
132     plot(t,abs(X),'b');
133     if k==1
134         title('Mesin CT III Merk Marley Sabtu 3 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
135     elseif k==2
136         title('Mesin CT III Merk Marley Minggu 4 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
137     elseif k==3
138         title('Mesin CT III Merk Marley Senin 4 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
139     elseif k==4
140         title('Mesin CT III Merk Marley Selasa 5 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
141     elseif k==5
142         title('Mesin CT III Merk Marley Rabu 6 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
143     elseif k==6
144         title('Mesin CT III Merk Marley Kamis 7 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
145     elseif k==7
146         title('Mesin CT III Merk Marley Jumat 8 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
147     end
148     xlabel('jam');
149     ylabel('fft=Te');
150 end
151 end
script Ln 128 Col 15
```

Gambar 4-16

Komputasi Estimasi Torsi Elektromagnetik Dalam Program Simulasi FFT Sebagai Fungsi Di Bidang Dua Dimensi Pada Matlab 7.0



Grafik 4-9

Program Simulasi Estimasi FFT Pada Matlab 7.0 Untuk Menghitung Torsi Elektromagnetik

Mesin CT IV

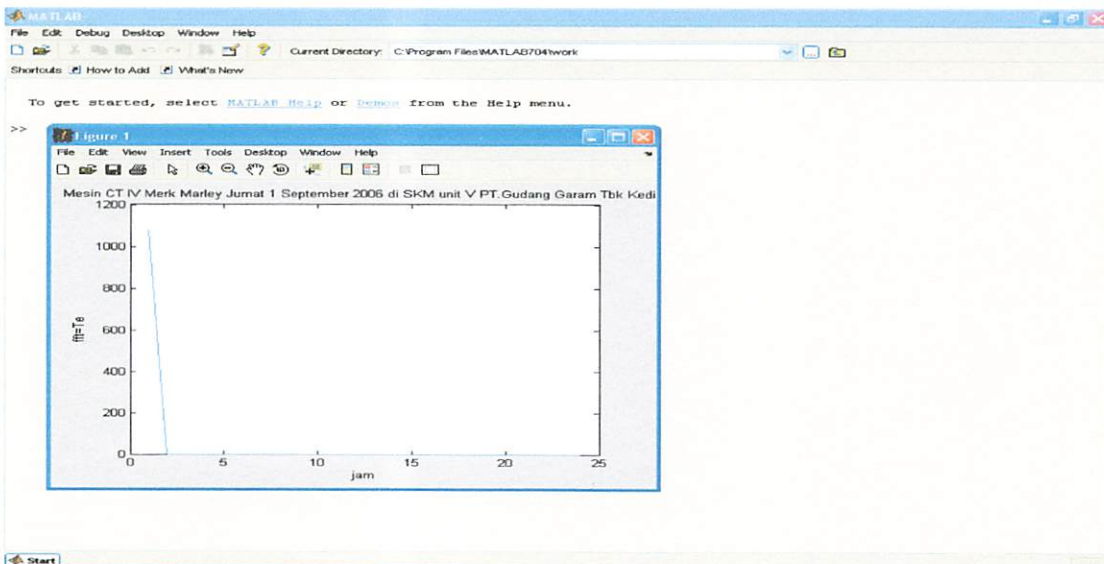
Hari Jumat 1 September 2006

Di Mesin AC SKM unit V PT. Gudang Garam Tbk Kediri

```
Editor - D:\FF\ILAN-TMATA-1.M*
File Edit Text Desktop Window Help
-----
116     end
117     xlabel('jam');
118     ylabel('fft=Te');
119     end
120     cek=ddepoke(interface,'r33e27;r329e50',fft3);
121     %Proses perhitungan mesin c4
122     for k=1:rows
123         for j=1:cols
124             X(j)=mesine4(k,j);
125         end
126         X=fft2(X);
127         for j=1:cols
128             wn2=2|           fftc4(k,j)=abs(X(j))*wn2;
129         end
130         figure(21+k);
131         xlabel('jam');
132         ylabel('fft=Te');
133         plot(t,abs(X),'b');
134         if k==1
135             title('Mesin CT IV Merk Marley Jumat 1 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
136         elseif k==2
137             title('Mesin CT IV Merk Marley Sabtu 2 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
138         elseif k==3
139             title('Mesin CT IV Merk Marley Senin 4 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
140         elseif k==4
141             title('Mesin CT IV Merk Marley Selasa 5 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
142         elseif k==5
143             title('Mesin CT IV Merk Marley Rabu 6 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
144         elseif k==6
145             title('Mesin CT IV Merk Marley Kamis 7 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
146         elseif k==7
147             title('Mesin CT IV Merk Marley Jumat 8 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
148         end
149         xlabel('jam');
150         ylabel('fft=Te');
151     end
152     cek=ddepoke(interface,'r33e27;r33e50',fft4);
script Ln 128 Col 15
```

Gambar 4-17

Komputasi Estimasi Torsi Elektromagnetik Dalam Program Simulasi FFT Sebagai Fungsi Di Bidang Dua Dimensi Pada Matlab 7.0



Grafik 4-10

Program Simulasi Estimasi FFT Pada Matlab 7.0 Untuk Menghitung Torsi Elektromagnetik

Mesin CT IV

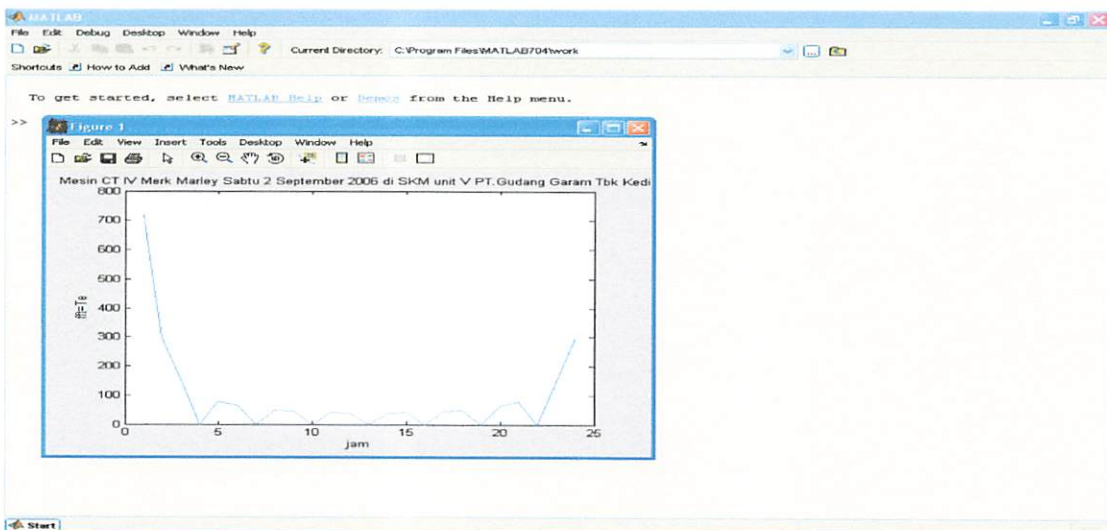
Hari Sabtu 2 September 2006

Di Mesin AC SKM unit V PT. Gudang Garam Tbk Kediri

```
Editor: D:\FFTLAN-1\DATA1-1.M*
File Edit Text Desktop Window Help
116 end
117 xlabel('jam');
118 ylabel('fft=Te');
119 end
120 cek=ddpoke(interface,'r33e27;r20e50',fft3);
121 %Proses perhitungan mesin c4
122 for k=1:rows
123     for j=1:cols
124         x(j)=mesinc4(k,j);
125     end
126     X=fft2(x);
127     for j=1:cols
128         wn2=2;          fftc4(k,j)=abs(X(j))*wn2;
129     end
130     figure(21+k);
131     xlabel('jam');
132     ylabel('fft=Te');
133     plot(t,abs(X),'b');
134     if k==1
135         title('Mesin CT IV Merk Marley Jumat 1 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
136     elseif k==2
137         title('Mesin CT IV Merk Marley Sabtu 2 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
138     elseif k==3
139         title('Mesin CT IV Merk Marley Senin 4 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
140     elseif k==4
141         title('Mesin CT IV Merk Marley Selasa 5 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
142     elseif k==5
143         title('Mesin CT IV Merk Marley Rabu 6 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
144     elseif k==6
145         title('Mesin CT IV Merk Marley Kamis 7 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
146     elseif k==7
147         title('Mesin CT IV Merk Marley Jumat 8 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
148     end
149     xlabel('jam');
150     ylabel('fft=Te');
151 end
152 cek=ddpoke(interface,'r33e27;r39e50',fftc4);
script Ln 128 Col 15
```

Gambar 4-18

Komputasi Estimasi Torsi Elektromagnetik Dalam Program Simulasi FFT Sebagai Fungsi Di Bidang Dua Dimensi Pada Matlab 7.0



Grafik 4-11

Program Simulasi Estimasi FFT Pada Matlab 7.0 Untuk Menghitung Torsi Elektromagnetik

Mesin CT IV

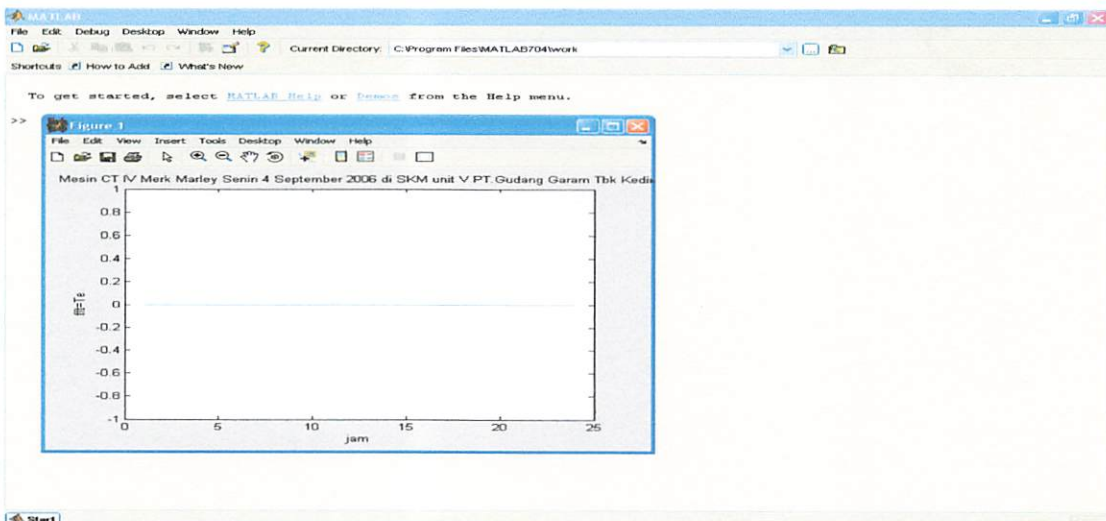
Hari Senin 4 September 2006 - Jumat 8 September 2006

Di Mesin AC SKM unit V PT. Gudang Garam Tbk Kediri

```
Editor: D:\FTFLAN-1\DATA1-1.M*
File Edit Text Desktop Window Help
116 end
117 xlabel('jam');
118 ylabel('Izt=Te');
119 end
120 cek=ddepoke(interface,'r23e27;r29e50',iftc3);
121 %Proses perhitungan mesin e4
122 for k=1:rows
123     for j=1:cols
124         x(j)=mesine4(k,j);
125     end
126     X=fft2(X);
127     for j=1:cols
128         wn2=2;          iftc4(k,j)=abs(X(j))*wn2;
129     end
130     figure(21+k);
131     xlabel('jam');
132     ylabel('Izt=Te');
133     plot(t,abs(X),'b');
134     if k==1
135         title('Mesin CT IV Merk Marley Jumat 1 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
136     elseif k==2
137         title('Mesin CT IV Merk Marley Sabtu 2 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
138     elseif k==3
139         title('Mesin CT IV Merk Marley Senin 4 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
140     elseif k==4
141         title('Mesin CT IV Merk Marley Selasa 5 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
142     elseif k==5
143         title('Mesin CT IV Merk Marley Rabu 6 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
144     elseif k==6
145         title('Mesin CT IV Merk Marley Kamis 7 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
146     elseif k==7
147         title('Mesin CT IV Merk Marley Jumat 8 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
148     end
149     xlabel('jam');
150     ylabel('Izt=Te');
151 end
152 cek=ddepoke(interface,'r33e27;r39e50',iftc4);
script Ln 128 Col 15
```

Gambar 4-19

Komputasi Estimasi Torsi Elektromagnetik Dalam Program Simulasi FFT Sebagai Fungsi Di Bidang Dua Dimensi Pada Matlab 7.0



Grafik 4-12

Program Simulasi Estimasi FFT Pada Matlab 7.0 Untuk Menghitung Torsi Elektromagnetik

**4.6.2 Hasil Analisis Estimasi Torsi Elektromagnetik Dalam Program FFT
Sebagai Fungsi Di Bidang Dua Dimensi Pada Matlab 7.0**

September 2006

Jam 6.00 WIB

Di Mesin AC SKM unit V PT. Gudang Garam Tbk Kediri

Tabel 4-1

Hasil Analisis Estimasi Torsi Elektromagnetik Dalam Program FFT Sebagai Fungsi
Di Bidang Dua Dimensi Pada Matlab 7.0

Mesin	CT I (Wb.A)	CT II (Wb.A)	CT III (Wb.A)	CT IV (Wb.A)
Jumat tanggal 1	2064,0000	0	283.,0000	2160,0000
Sabtu tanggal 2	1376,0000	0	1696,0000	1440,0000
Senin tanggal 4	2112,0000	2928,0000	2784,0000	0
Selasa tanggal 5	2112,0000	2928,0000	2784,0000	0
Rabu tanggal 6	2112,0000	2928,0000	2784,0000	0
Kamis tanggal 7	2112,0000	2928,0000	2784,0000	0
Jumat tanggal 8	2112,0000	2928,0000	2784,0000	0

September 2006

Jam 7.00 WIB

Di Mesin AC SKM unit V PT. Gudang Garam Tbk Kediri

Tabel 4-2

Hasil Analisis Estimasi Torsi Elektromagnetik Dalam Program FFT Sebagai Fungsi Di Bidang Dua Dimensi Pada Matlab 7.0

Mesin	CT I (Wb.A)	CT II (Wb.A)	CT III (Wb.A)	CT IV (Wb.A)
Jumat tanggal 1	0	0	0	0
Sabtu tanggal 2	570,5995	0	703,2971	597,1390
Senin tanggal 4	0	0	0	0
Selasa tanggal 5	0	0	0	0
Rabu tanggal 6	0	0	0	0
Kamis tanggal 7	0	0	0	0
Jumat tanggal 8	0	0	0	0

September 2006

Jam 8.00 WIB

Di Mesin AC SKM unit V PT. Gudang Garam Tbk Kediri

Tabel 4-3

Hasil Analisis Estimasi Torsi Elektromagnetik Dalam Program FFT Sebagai Fungsi Di Bidang Dua Dimensi Pada Matlab 7.0

Mesin	CT I (Wb.A)	CT II (Wb.A)	CT III (Wb.A)	CT IV (Wb.A)
Jumat tanggal 1	0	0	0	0
Sabtu tanggal 2	287,7616	0	354,6829	301,1459
Senin tanggal 4	0	0	0	0
Selasa tanggal 5	0	0	0	0
Rabu tanggal 6	0	0	0	0
Kamis tanggal 7	0	0	0	0
Jumat tanggal 8	0	0	0	0

September 2006

Jam 10.00 WIB

Di Mesin AC SKM unit V PT. Gudang Garam Tbk Kediri

Tabel 4-4

Hasil Analisis Estimasi Torsi Elektromagnetik Dalam Program FFT Sebagai Fungsi Di Bidang Dua Dimensi Pada Matlab 7.0

Mesin	CT I (Wb.A)	CT II (Wb.A)	CT III (Wb.A)	CT IV (Wb.A)
Jumat tanggal 1	0	0	0	0
Sabtu tanggal 2	148,9564	0	183,5974	155,8846
Senin tanggal 4	0	0	0	0
Selasa tanggal 5	0	0	0	0
Rabu tanggal 6	0	0	0	0
Kamis tanggal 7	0	0	0	0
Jumat tanggal 8	0	0	0	0

September 2006

Jam 11.00 WIB

Di Mesin AC SKM unit V PT. Gudang Garam Tbk Kediri

Tabel 4-5

Hasil Analisis Estimasi Torsi Elektromagnetik Dalam Program FFT Sebagai Fungsi Di Bidang Dua Dimensi Pada Matlab 7.0

Mesin	CT I (Wb.A)	CT II (Wb.A)	CT III (Wb.A)	CT IV (Wb.A)
Jumat tanggal 1	0	0	0	0
Sabtu tanggal 2	122,3438	0	150,7958	128,0342
Senin tanggal 4	0	0	0	0
Selasa tanggal 5	0	0	0	0
Rabu tanggal 6	0	0	0	0
Kamis tanggal 7	0	0	0	0
Jumat tanggal 8	0	0	0	0

September 2006

Jam 13.00 WIB

Di Mesin AC SKM unit V PT. Gudang Garam Tbk Kediri

Tabel 4-6

Hasil Analisis Estimasi Torsi Elektromagnetik Dalam Program FFT Sebagai Fungsi Di Bidang Dua Dimensi Pada Matlab 7.0

Mesin	CT I (Wb.A)	CT II (Wb.A)	CT III (Wb.A)	CT IV (Wb.A)
Jumat tanggal 1	0	0	0	0
Sabtu tanggal 2	93,8777	0	93,8777	98,2441
Senin tanggal 4	0	0	0	0
Selasa tanggal 5	0	0	0	0
Rabu tanggal 6	0	0	0	0
Kamis tanggal 7	0	0	0	0
Jumat tanggal 8	0	0	0	0

September 2006

Jam 14.00 WIB

Di Mesin AC SKM unit V PT. Gudang Garam Tbk Kediri

Tabel 4-7

Hasil Analisis Estimasi Torsi Elektromagnetik Dalam Program FFT Sebagai Fungsi Di Bidang Dua Dimensi Pada Matlab 7.0

Mesin	CT I (Wb.A)	CT II (Wb.A)	CT III (Wb.A)	CT IV (Wb.A)
Jumat tanggal 1	0	0	0	0
Sabtu tanggal 2	86,0000	0	86,0000	90,0000
Senin tanggal 4	0	0	0	0
Selasa tanggal 5	0	0	0	0
Rabu tanggal 6	0	0	0	0
Kamis tanggal 7	0	0	0	0
Jumat tanggal 8	0	0	0	0

September 2006

Jam 16.00 WIB

Di Mesin AC SKM unit V PT. Gudang Garam Tbk Kediri

Tabel 4-8

Hasil Analisis Estimasi Torsi Elektromagnetik Dalam Program FFT Sebagai Fungsi Di Bidang Dua Dimensi Pada Matlab 7.0

Mesin	CT I (Wb.A)	CT II (Wb.A)	CT III (Wb.A)	CT IV (Wb.A)
Jumat tanggal 1	0	0	0	0
Sabtu tanggal 2	77,1055	0	95,0370	80,6918
Senin tanggal 4	0	0	0	0
Selasa tanggal 5	0	0	0	0
Rabu tanggal 6	0	0	0	0
Kamis tanggal 7	0	0	0	0
Jumat tanggal 8	0	0	0	0

September 2006

Jam 17.00 WIB

Di Mesin AC SKM unit V PT. Gudang Garam Tbk Kediri

Tabel 4-9

Hasil Analisis Estimasi Torsi Elektromagnetik Dalam Program FFT Sebagai Fungsi Di Bidang Dua Dimensi Pada Matlab 7.0

Mesin	CT I (Wb.A)	CT II (Wb.A)	CT III (Wb.A)	CT IV (Wb.A)
Jumat tanggal 1	0	0	0	0
Sabtu tanggal 2	75,1209	0	92,5908	78,6148
Senin tanggal 4	0	0	0	0
Selasa tanggal 5	0	0	0	0
Rabu tanggal 6	0	0	0	0
Kamis tanggal 7	0	0	0	0
Jumat tanggal 8	0	0	0	0

September 2006

Jam 19.00 WIB

Di Mesin AC SKM unit V PT. Gudang Garam Tbk Kediri

Tabel 4-10

Hasil Analisis Estimasi Torsi Elektromagnetik Dalam Program FFT Sebagai Fungsi Di Bidang Dua Dimensi Pada Matlab 7.0

Mesin	CT I (Wb.A)	CT II (Wb.A)	CT III (Wb.A)	CT IV (Wb.A)
Jumat tanggal 1	0	0	0	0
Sabtu tanggal 2	75,1209	0	92,5908	78,6148
Senin tanggal 4	0	0	0	0
Selasa tanggal 5	0	0	0	0
Rabu tanggal 6	0	0	0	0
Kamis tanggal 7	0	0	0	0
Jumat tanggal 8	0	0	0	0

September 2006

Jam 20.00 WIB

Di Mesin AC SKM unit V PT. Gudang Garam Tbk Kediri

Tabel 4-11

Hasil Analisis Estimasi Torsi Elektromagnetik Dalam Program FFT Sebagai Fungsi Di Bidang Dua Dimensi Pada Matlab 7.0

Mesin	CT I (Wb.A)	CT II (Wb.A)	CT III (Wb.A)	CT IV (Wb.A)
Jumat tanggal 1	0	0	0	0
Sabtu tanggal 2	77,1055	0	95,0370	80,6918
Senin tanggal 4	0	0	0	0
Selasa tanggal 5	0	0	0	0
Rabu tanggal 6	0	0	0	0
Kamis tanggal 7	0	0	0	0
Jumat tanggal 8	0	0	0	0

September 2006

Jam 22.00 WIB

Di Mesin AC SKM unit V PT. Gudang Garam Tbk Kediri

Tabel 4-12

Hasil Analisis Estimasi Torsi Elektromagnetik Dalam Program FFT Sebagai Fungsi Di Bidang Dua Dimensi Pada Matlab 7.0

Mesin	CT I (Wb.A)	CT II (Wb.A)	CT III (Wb.A)	CT IV (Wb.A)
Jumat tanggal 1	0	0	0	0
Sabtu tanggal 2	86,0000	0	106,0000	90,0000
Senin tanggal 4	0	0	0	0
Selasa tanggal 5	0	0	0	0
Rabu tanggal 6	0	0	0	0
Kamis tanggal 7	0	0	0	0
Jumat tanggal 8	0	0	0	0

September 2006

Jam 23.00 WIB

Di Mesin AC SKM unit V PT. Gudang Garam Tbk Kediri

Tabel 4-13

Hasil Analisis Estimasi Torsi Elektromagnetik Dalam Program FFT Sebagai Fungsi Di Bidang Dua Dimensi Pada Matlab 7.0

Mesin	CT I (Wb.A)	CT II (Wb.A)	CT III (Wb.A)	CT IV (Wb.A)
Jumat tanggal 1	0	0	0	0
Sabtu tanggal 2	93,8777	0	115,7097	98,2441
Senin tanggal 4	0	0	0	0
Selasa tanggal 5	0	0	0	0
Rabu tanggal 6	0	0	0	0
Kamis tanggal 7	0	0	0	0
Jumat tanggal 8	0	0	0	0

September 2006

Jam 1.00 WIB

Di Mesin AC SKM unit V PT. Gudang Garam Tbk Kediri

Tabel 4-14

Hasil Analisis Estimasi Torsi Elektromagnetik Dalam Program FFT Sebagai Fungsi Di Bidang Dua Dimensi Pada Matlab 7.0

Mesin	CT I (Wb.A)	CT II (Wb.A)	CT III (Wb.A)	CT IV (Wb.A)
Jumat tanggal 1	0	0	0	0
Sabtu tanggal 2	122,3438	0	150,7958	128,0342
Senin tanggal 4	0	0	0	0
Selasa tanggal 5	0	0	0	0
Rabu tanggal 6	0	0	0	0
Kamis tanggal 7	0	0	0	0
Jumat tanggal 8	0	0	0	0

September 2006

Jam 2.00 WIB

Di Mesin AC SKM unit V PT. Gudang Garam Tbk Kediri

Tabel 4-15

Hasil Analisis Estimasi Torsi Elektromagnetik Dalam Program FFT Sebagai Fungsi Di Bidang Dua Dimensi Pada Matlab 7.0

Mesin	CT I (Wb.A)	CT II (Wb.A)	CT III (Wb.A)	CT IV (Wb.A)
Jumat tanggal 1	0	0	0	0
Sabtu tanggal 2	148,9564	0	183,5974	155,8846
Senin tanggal 4	0	0	0	0
Selasa tanggal 5	0	0	0	0
Rabu tanggal 6	0	0	0	0
Kamis tanggal 7	0	0	0	0
Jumat tanggal 8	0	0	0	0

September 2006

Jam 4.00 WIB

Di Mesin AC SKM unit V PT. Gudang Garam Tbk Kediri

Tabel 4-16

Hasil Analisis Estimasi Torsi Elektromagnetik Dalam Program FFT Sebagai Fungsi Di Bidang Dua Dimensi Pada Matlab 7.0

Mesin	CT I (Wb.A)	CT II (Wb.A)	CT III (Wb.A)	CT IV (Wb.A)
Jumat tanggal 1	0	0	0	0
Sabtu tanggal 2	287,7616	0	354,6829	301,1459
Senin tanggal 4	0	0	0	0
Selasa tanggal 5	0	0	0	0
Rabu tanggal 6	0	0	0	0
Kamis tanggal 7	0	0	0	0
Jumat tanggal 8	0	0	0	0

September 2006

Jam 5.00 WIB

Di Mesin AC SKM unit V PT. Gudang Garam Tbk Kediri

Tabel 4-17

Hasil Analisis Estimasi Torsi Elektromagnetik Dalam Program FFT Sebagai Fungsi Di Bidang Dua Dimensi Pada Matlab 7.0

Mesin	CT I (Wb.A)	CT II (Wb.A)	CT III (Wb.A)	CT IV (Wb.A)
Jumat tanggal 1	0	0	0	0
Sabtu tanggal 2	570,5995	0	703,2971	597,1390
Senin tanggal 4	0	0	0	0
Selasa tanggal 5	0	0	0	0
Rabu tanggal 6	0	0	0	0
Kamis tanggal 7	0	0	0	0
Jumat tanggal 8	0	0	0	0

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Dari identifikasi pada sistem pengoperasian motor induksi tiga fasa , merk Brown Group penggerak Mesin Cooling Tower merk Marley Type : NCE-912 didapatkan karakteristik kondisi operasi sebagai berikut :

Dari data setiap Mesin CT tanggal 1,2,4,5,6,7, dan 8 September 2006 motor CT penggerak Mesin Cooling Tower merk Marley Type : NCE-912. karakteristik kondisi operasi tergantung diantara arus dan variabel dari data identifikasi motor induksi : tiga fasa, 55 KW, 380 V, 50 Hz merk Brown Group dalam range 24 jam, kecuali hari sabtu dioperasikan dalam 16 jam. dapat diuraikan dibawah ini :

- Hari Jumat 1 September 2006, menghidupkan tiga motor induksi : tiga fasa, 55 KW, 380 V, 50 Hz merk Brown Group untuk menggerakkan tiga Mesin Cooling Tower merk Marley Type : NCE-912 dengan masing-masing ampere motor CT yang dioperasikan :

Ampere motor CT I : 43 Ampere.

Ampere motor CT II : 59 Ampere.

Ampere motor CT IV : 45 Ampere.

- Hari Sabtu 2 September 2006, menghidupkan tiga motor induksi : tiga fasa, 55 KW, 380 V, 50 Hz merk Brown Group untuk menggerakkan tiga Mesin Cooling Tower merk Marley Type : NCE-912 dengan masing-masing ampere motor CT yang dioperasikan :

Ampere motor CT I : 43 Ampere.

Ampere motor CT II : 53 Ampere.

Ampere motor CT IV : 45 Ampere.

- Hari Senin 4 September 2006 sampai dengan jumat 8 September 2006, menghidupkan tiga motor induksi : tiga fasa 55 KW, 380 V, 50 Hz merk Brown Group untuk menggerakkan tiga Mesin Cooling Tower merk Marley Type : NCE-912 dengan masing-masing ampere motor CT yang dioperasikan :

Ampere motor CT I : 44 Ampere.

Ampere motor CT II : 61 Ampere.

Ampere motor CT III : 58 Ampere.

2. Dari hasil estimasi program simulasi FFT algoritma sebagai fungsi dibidang dua dimensi dalam Matlab 7.0 pada sistem pengoperasian motor induksi tiga fasa, merk Brown Group penggerak Mesin Cooling Tower merk Marley Type : NCE-912 didapatkan karakteristik kondisi operasi sebagai berikut :

Terjadi iterasi numerik dari pergeseran nilai estimasi torsi elektromagnetik sebelumnya, jangka waktu diskret dan dipetakannya, serta hasilnya sebagai berikut :

- Pada hari jumat 1 september 2006, setiap mesin CT I, CT III, dan CT IV. hasil estimasi Torsi Elektromagnetik puncak maksimum mesin CT I terletak pada sumbu $x(\text{absis}) = \text{jam } 6.00 \text{ WIB}$, sedangkan sumbu $y(\text{ordinat}) = 1032,0000 \text{ Wb.A}$, sedangkan hasil estimasi Torsi Elektromagnetik puncak maksimum mesin CT III terletak pada sumbu $x(\text{absis}) = \text{jam } 6.00 \text{ WIB}$, sedangkan sumbu $y(\text{ordinat}) = 1416,0000 \text{ Wb.A}$, sedangkan hasil estimasi Torsi Elektromagnetik puncak maksimum mesin CT IV terletak pada sumbu $x(\text{absis}) = \text{jam } 6.00 \text{ WIB}$, sedangkan sumbu $y(\text{ordinat}) = 1080,0000 \text{ Wb.A}$, ternyata mesin CT III mempunyai nilai torsi elektromagnetik puncak termaksimum. ini berarti, Pada hari jumat 1 september 2006 jam 6.00 WIB, mesin CT III memikul beban terbesar untuk memutar AC(Air Conditioner) sebagai awal keperluan proses produksi.
- Pada hari sabtu 2 september 2006, setiap mesin CT I, CT III, dan CT IV. hasil estimasi Torsi Elektromagnetik puncak maksimum mesin CT I terletak pada sumbu $x(\text{absis}) = \text{jam } 6.00 \text{ WIB}$, sedangkan sumbu $y(\text{ordinat}) = 688,000 \text{ Wb.A}$, sedangkan hasil estimasi Torsi Elektromagnetik puncak maksimum mesin CT III terletak pada sumbu $x(\text{absis}) = \text{jam } 6.00 \text{ WIB}$, sedangkan sumbu $y(\text{ordinat}) = 848,0000 \text{ Wb.A}$, sedangkan hasil estimasi Torsi Elektromagnetik puncak maksimum mesin CT IV terletak pada sumbu $x(\text{absis}) = \text{jam } 6.00 \text{ WIB}$, sedangkan sumbu $y(\text{ordinat}) = 720,0000 \text{ Wb.A}$, ternyata mesin CT III mempunyai nilai torsi elektromagnetik puncak termaksimum. ini berarti, Pada hari sabtu 2 september 2006 jam 6.00 WIB, mesin CT III memikul beban

terbesar untuk memutar AC(Air Conditioner) sebagai awal keperluan proses produksi.

- Pada hari senin 4 september 2006 sampai dengan Jumat 8 september 2006, setiap mesin CT I, CT II, dan CT III. hasil estimasi Torsi Elektromagnetik puncak maksimum mesin CT I terletak pada sumbu $x(\text{absis}) = \text{jam } 6.00 \text{ WIB}$, sedangkan sumbu $y(\text{ordinat}) = 1056,0000 \text{ Wb.A}$, sedangkan hasil estimasi Torsi Elektromagnetik puncak maksimum mesin CT II terletak pada sumbu $x(\text{absis}) = \text{jam } 6.00 \text{ WIB}$, sedangkan sumbu $y(\text{ordinat}) = 1464,0000 \text{ Wb.A}$, sedangkan hasil estimasi Torsi Elektromagnetik puncak maksimum mesin CT III terletak pada sumbu $x(\text{absis}) = \text{jam } 6.00 \text{ WIB}$, sedangkan sumbu $y(\text{ordinat}) = 1392,0000 \text{ Wb.A}$, ternyata mesin CT II mempunyai nilai torsi elektromagnetik puncak termaksimum. ini berarti, Pada hari senin 4 september 2006 sampai dengan Jumat 8 september 2006 jam 6.00 WIB, mesin CT II memikul beban terbesar untuk memutar AC(Air Conditioner) sebagai awal keperluan proses produksi.

5.2 Saran-saran

Ada beberapa hal yang bisa jadi bahan pertimbangan masukan bagi operator pengoperasi motor induksi : tiga fasa, 50Hz, 55KW, 380V, merk Brown Group penggerak Mesin Cooling Tower merk Marley Type : NCE-912 di PT.Gudang Garam Tbk Kediri, diantaranya sebagai berikut :

- Dengan diketahuinya torsi elektromagnetik dari setiap mesin-mesin AC(Air Conditioner) sesuai dengan pada setting industri saat ini di SKM(Sigaret Kretek Mesin) unit V PT.Gudang Garam, Tbk Kediri, maka dikemudian hari bila diperlukan perubahan setting industri, hal itu dapat dilakukan dengan mempertimbangkan pembagian torsi elektomagnetik diantara mesin-mesin yang paling optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Laporan Tahunan manajemen perusahaan, "*Sepintas Kilas PT.Gudang Garam Tbk – Kediri*," Humas PT. Gudang Garam, September 2006.
- [2] Amuliu Bogdan Proca, Ali Keyhani, and John M.Miller, "*Sensorless sliding – Mode Control of Induction Motors Using Operating Condition Dependent Models*", IEEE Transaction on Energy Conversion, Vol.18 NO.2, June 2003.
- [3] Sanjit K. Mitra, "*Digital Signal Processing*", University of California, edisi kedua, penerbit McGraw-Hill, New York, 2002.
- [4] Theodore Wildi, "*Electrical Machines, Drive, and power systems*", Laval University, edisi kelima , penerbit Prentice Hall, New Jersey, 2002.
- [5] Ogata, Katsuhito., "*Teknik Kontrol Automatik Jilid 2* ", University Of Minnesota, Edisi kedua, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1997.
- [6] Allan V. Openheim, "*Sinyal dan Sistem Jilid 2* ", Massa Chusetts Institute of Technology, Edisi kedua, Penerbit Erlangga, Jakarta, 2001.



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

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

BNI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG

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

Nomor : ITN-1943/I.TA/2/06
Lampiran : -
Perihal : **BIMBINGAN SKRIPSI**
Kepada : Yth. Sdr. Ir. **WIDODO PUDJI M, MT**

Malang, 07 Des. 2006

Dosen Pembimbing
Jurusan T. Elektro S-1
di

Malang

Dengan hormat
Sesuai dengan permohonan dan persetujuan dalam proposal skripsi untuk mahasiswa :

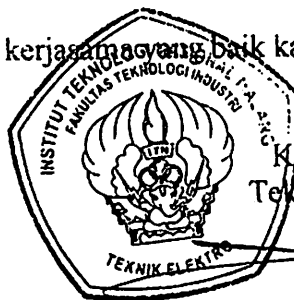
Nama : ANDRI KURNIAWAN
Nim : 0212103
Fakultas : Teknologi Industri
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : T. Energi Listrik

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

04 Des. 2006 s/d 04 Juni 2007

Sebagai satu syarat untuk menempuh Ujian Sarjana Teknik,
Jurusan Teknik Elektro S-1

Demikian atas perhatian serta kerjasamanya 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 S-4a



P T. PERUSAHAAN ROKOK *gap*
Gudang Garam Tbk.

KEDIRI-INDONESIA

Kediri, 28 Agustus 2006

Nomor : E0028/GG-14.Ac/VIII-2006
Lampiran : -
Perihal : **Penerimaan Penelitian**

Kepada Yth :

Bapak Ir. Mochtar Asroni, MSME
Dekan Fakultas Teknologi Industri
Jurusan Teknik Elektro-Institut Teknologi Nasional Malang
Jl. Sigura-gura No. 2
MALANG 65145

Dengan hormat,

Menanggapi surat Bapak No. : ITN- 1885 /III.TA/2/06 tanggal 25 Juli 2006, perihal Permohonan Ijin Penelitian untuk **Sdr. Andri Kurniawan** mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri – Institut Teknologi Nasional Malang, bersama ini diberitahukan bahwa pada prinsipnya kami dapat menyetujuinya.

Sehubungan dengan hal tersebut diatas, mohon agar mahasiswa yang bersangkutan datang di kantor kami untuk melakukan riset pada jam kerja dan apabila skripsi tersebut sudah selesai disusun, kami mohon mahasiswa yang bersangkutan menyerahkan **1 (satu)** eksemplar kepada kami.

Demikian atas perhatiannya disampaikan terima kasih.

Hormat kami,
Bagian Humas


PT. GUDANG GARAM Tbk.
Bagian HUMAS,


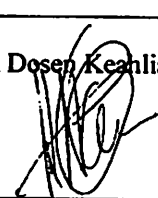
 **VIDYA RAHAYU BOEDIYANTI**
Wakil Kepala

Tembusan:

1. Yth. Direktur SDM dan Pelayanan Umum
2. Yth. Kadiv. Pelayanan Umum
3. Yth. Kadiv. Teknik Umum
4. Yth. Sdr. Andri Kurniawan
5. Arsip



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

1.	Nama Mahasiswa : ANDRI KURNIAWAN	Nim : 02.12.103		
2.	Waktu Pengajuan :	Tanggal 31	Bulan OKTOBER	Tahun 2006
3.	Spesifikasi Judul *)			
	a. Sistem Tenaga Elektrik b. Mesin-Mesin Elektrik & Eida c. Sistem Pemb.Energi Elektrik	① Sistem Kendali Industri e. Teknik Tegangan Tinggi f. Lainnya		
4.	Konsultasikan judul sesuai materi bidang ilmu kepada Kelompok Dosen Keahlian **)	Ketua Jurusan,  Ir. F. Yudi Limpraptono, MT Nip. Y. 1039500274		
5.	Judul yang diajukan mahasiswa	HASIL STUDY BANDING SISTEM PENGOPERASIAN MOTOR INDUKSI BERFUNGSI UNTUK MENGERAKKAN MESIN COOLING TOWER MERK MARLEY TYPE : NCE - 912 POWER : 55 KW / 380 V / 3 FASA / 50 Hz KAPASITAS : 900 TON R DI GUDANG GARAM SKM UNIT V PT. GUDANG GARAM Tbk KEDIRI		
6.	Perubahan Judul yang Diusulkan oleh Kelompok Dosen Keahlian	STUDY TENTANG SISTEM PENGOPERASIAN MOTOR INDUKSI PENGGERAK MESIN COOLING TOWER MERK MARLEY TYPE : NCE - 912 POWER : 55 KW / 380 V / 3 FASA / 50 Hz KAPASITAS : 900 TON R DI GUDANG GARAM SKM UNIT V PT. GUDANG GARAM Tbk KEDIRI		
7.	<i>Catatan :</i>			
8.	Persetujuan Judul Skripsi yang dikonsultasikan kepada Kelompok Dosen Keahlian	Disetujui, Kelompok Dosen Keahlian  Tanggal : 31-10-2006		

Perhatian :

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



Lampiran : 1 (satu) berkas

Pembimbing Skripsi

Kepada : Yth. Bapak Ir. Widodo Pudji Mulyanto, MT.

Dosen Institut Teknologi Nasional

MALANG

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : ANDRI KURNIAWAN

Nim : 02.12.103

Jurusan : Teknik Elektro (S-1)

Konsentrasi : Teknik Energi Listrik

Dengan ini mengajukan permohonan, kiranya Bapak bersedia menjadi Dosen Pembimbing Utama / Pendamping dari 1 atau 2 dosen pembimbing *), untuk penyusunan Skripsi dengan judul (proposal terlampir) :

**“STUDY TENTANG SISTEM PENGOPERASIAN MOTOR INDUKSI
PENGGERAK MESIN COOLING TOWER MERK MARLEY
TYPE : NCE – 912 POWER : 55 KW / 380 V / 3 FASA / 50 Hz
KAPASITAS : 900 TON R
DI GUDANG GARAM SKM UNIT V
PT. GUDANG GARAM Tbk KEDIRI”**

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, 31 Oktober 2006

Hormat kami,

**Ketua
Jurusan Teknik Elektro (S-1)**


Ir. F. Yudi Limpraptono, MT
Nip. 103 950 0274


ANDRI KURNIAWAN
NIM 02.12.103

Form S-3a



PERNYATAAN KESEDIAAN DALAM PEMBIMBINGAN SKRIPSI

Sesuai permohonan dari mahasiswa :

Nama : ANDRI KURNIAWAN
Nim : 02.12.103
Semester : IX (SEMBILAN)
Jurusan : Teknik Elektro (S-1)
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik

Dengan ini Menyatakan bersedia Membimbing Skripsi dari mahasiswa tersebut, dengan judul :

**"STUDY TENTANG SISTEM PENGOPERASIAN MOTOR INDUKSI
PENGGERAK MESIN COOLING TOWER MERK MARLEY
TYPE : NCE – 912 POWER : 55 KW / 380 V / 3 FASA / 50 Hz
KAPASITAS : 900 TON R
DI GUDANG GARAM SKM UNIT V
PT. GUDANG GARAM Tbk KEDIRI"**

Demikian surat pernyataan ini kami buat agar dipergunakan seperlunya.

Catatan :

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

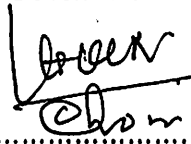

Malang, 31 Oktober 2006

Kami yang Membuat pernyataan

Ir Widodo Pudi Mulyanto . MT
Nip.Y. 1028700171

BERITA ACARA SEMINAR PROPOSAL SKRIPSI JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1

Konsentrasi : Teknik Energi Listrik/Teknik Elektronika*)



1.	Nama Mahasiswa: <u>ANDRI KURNIAWAN</u>	Nim: <u>02.12.103</u>		
2.	Keterangan	Tanggal	Waktu	Tempat
	Pelaksanaan	<u>4-12-2006</u>		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		
	<input checked="" type="checkbox"/> Sistem Kendali Industri	h. lainnya		
4.	Judul Proposal yang diseminarkan Mahasiswa	<u>STUDY TENTANG SISTEM PENGOPERASIAN MOTOR INDUKSI</u> <u>PENGESKAK MESIN COOLING TOWER MERK MARLEY TYPE: HCE 912 POWER:</u> <u>55KW/380V/3FASA/50HZ KAPASITAS: 300TCH R DI GUDANG GARAM</u> <u>SKM UNIT V PT. GUDANG GARAM TBK KEDIRI</u>		
5.	Perubahan Judul yang diusulkan oleh Kelompok Dosen Keahlian		
6.	Catatan:			
	Catatan:			
	Persetujuan Judul Skripsi			
7.	Disetujui, Dosen Keahlian I 	Disetujui, Dosen Keahlian II		
	Mengetahui, Ketua Jurusan. <u>Ir. F. Yudi Limpraptono, MT</u> NIP. P. 1039500274	Disetujui, Calon Dosen Pembimbing ybs  <u>Ir. Widada Rudi MULYANTO, MT</u>		

Perhatian:

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

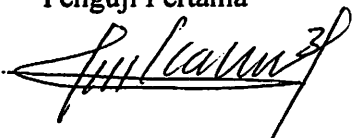
FORMULIR PERBAIKAN SKRIPSI

Nama : Andri Kurniawan
NIM : 02.12.103
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
Judul Skripsi : STUDY TENTANG SISTEM PENGOPERASIAN MOTOR INDUKSI
PENGGERAK MESIN COOLING TOWER MERK MARLEY TYPE:
NCE-912 POWER : 55KW/380V/3 FASA/50 Hz KAPASITAS : 900
TON R DI GUDANG GARAM SKM UNIT V PT.GUDANG GARAM
Tbk KEDIRI

No	Uraian	Paraf
1	Tujuan dari Skripsi dirubah	
2	Bagian-bagian yang tidak ^{selesai} selesai supaya dikurangi/ditiadakan	

Disetujui

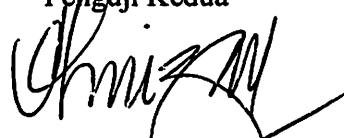
Penguji Pertama



(Ir. Yunion Siahaan)

NIP. Y1028900202

Penguji Kedua

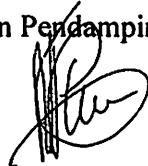


(Ir. H. Almizan Abdullah MSEE)

NIP. Y1039000208

Mengetahui

Dosen Pendamping



(Ir. Widodo Pudji Mulyanto, MT)

NIP. Y1028700171



FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : ANDRI KURNIAWAN
Nim : 02.12.103
Masa Bimbingan : 04 Desember 2006 s/d 04 Juni 2007
Judul Skripsi : STUDY TENTANG SISTEM PENGOPERASIAN MOTOR INDUKSI
PENGGERAK MESIN COOLING TOWER MERK MARLEY TYPE : NCE -
912 POWER : 55 KW / 380V / 3 FASA / 50 Hz KAPASITAS : 900 TON R
DI GUDANG GARAM SKM UNIT V PT. GUDANG GARAM Tbk KEDIRI

No.	Tanggal	Uraian	Parap Pembimbing
1.	8-02-2007	Mengajukan Skripsi ke dosen pembimbing antara lain : Bab I, Bab II, Bab IV, dan Bab V	
2.	8-02-2007	Mengajukan skripsi ke dosen pembimbing antara lain: Bab III	
3.	17-02-2007	Mengajukan Revisi Daftar Isi skripsi yang dilengkapi dengan nomor halaman dengan ditulis tangan pakai pensil ke dosen pembimbing	
4.	21-02-2007	Mengajukan Revisi Bab V (kesimpulan) skripsi, dimana kesimpulan tidak membutuhkan penjabaran rumus lagi cukup hasil nya saja, rumus-rumus akhirnya di pindahkan Bab IV ke dosen pembimbing	
5.	24-02-2007	Mengajukan makalah seminar hasil skripsi ke dosen pembimbing	
6.	24-02-2007	ACC Seminar Hasil Skripsi	
7.	17-03-2007	ACC ujian komprehensif	
8.	08-05-2007	ACC Formulir Perbaikan Skripsi	
9.			
10.			

Malang
Dosen Pembimbing

Ir. Widodo Pudi Mulyanto, MT
Nip. 1028700171

Form.S-4b



BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

Nama : Andri Kurniawan
Nim : 02.12.103
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
Judul Skripsi : STUDY TENTANG SISTEM PENGOPERASIAN MOTOR
INDUKSI PENGGERAK MESIN COOLING TOWER MERK
MARLEY TYPE: NCE-912 POWER: 55KW/380V/3FASA
/50 Hz KAPASITAS: 900 TON R DI GUDANG GARAM
SKM UNIT V PT.GUDANG GARAM Tbk KEDIRI

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

Hari : Kamis
Tanggal : 22 Maret 2007
Dengan Nilai : 71,25(B+) *By*



Ir. Mochtar Asroni, MSME
Ketua

Panitia Ujian Skripsi

Ir. F. Yudi Limpraptono, MT
Sekretaris

Anggota Penguji

Ir. Yunior Siahaan
Penguji Pertama

Ir.H.Almizan Abdullah, MSEE
Penguji Kedua

Sensorless Sliding-Mode Control of Induction Motors Using Operating Condition Dependent Models

Amuliu Bogdan Proca, *Student Member, IEEE*, Ali Keyhani, *Fellow, IEEE*, and John M. Miller, *Fellow, IEEE*

Abstract—A sensorless torque control system for induction motors is developed. The system allows for fast and precise torque tracking over a wide range of speed. The paper also presents the identification and parameter estimation of an induction motor model with parameters varying as functions of the operating conditions encountered in hybrid electric vehicles applications. An adaptive sliding mode speed-flux observer is developed and a cascade of discrete time sliding mode controllers is used for flux and current control. Simulation and experimental results prove the validity of the approach.

Index Terms—Adaptive, induction motor, modeling, parameter estimation, sensorless control, sliding mode.

I. NOMENCLATURE

v_s, v_{qs}	Stator voltage in stationary reference frame.
v_s^e, v_{qs}^e	Stator voltage in synchronous reference frame.
i_s, i_{qs}	Currents in stationary reference frame.
i_s^e, i_{qs}^e	Currents in synchronous reference frame.
$i_s = \sqrt{i_{ds}^2 + i_{qs}^2}$	Stator current.
λ_r, λ_{qr}	Rotor fluxes in stationary reference frame.
$\lambda_r^e, \lambda_{qr}^e$	Rotor flux in synchronous reference frame.
p	Number of poles pairs.
ω_s, ω_r	Synchronous frequency and mechanical speed.
$s = \omega_s - n_p \omega_r$	Slip frequency (rotor current frequency).
$s = \omega_n / \omega_e$	Slip.
m, L_l	Magnetizing and leakage inductance.
R_s, R_r	Stator, rotor resistance.
T_e	Electromagnetic torque.
T_s	Stator temperature.
$\hat{\cdot}$	Estimated, reference values.

II. INTRODUCTION

In high performance applications, the induction motor is controlled through field orientation techniques that require knowledge of the rotor speed. Since speed sensors decrease the

reliability of a drive system (and increase its price), a common trend in motor control is to use an observer to estimate speed.

There are five major speed estimation techniques in literature. Direct calculation methods [2]–[4] use motor equations to directly compute speed and are therefore prone to numerical errors and steady state errors. MRA observers [5]–[8] define two models (usually stator and rotor) that yield the same output (flux, back-emf, reactive power, etc). One model is speed independent while the other model contains speed terms. The output error is driven to zero by the speed estimate. An extended Kalman filter (EKF) method is proposed in [9] for rotor speed identification. The authors append a fifth state (speed) to the motor equations and use an EKF to observe it. Signal injection methods [10]–[14] use high frequency signals and motor saliency to accurately detect speed over wide ranges. Sliding mode observers [1], [15]–[18] use the estimated speed to correct a flux-current observer; the correction is based on a sliding mode surface that combines the current error with flux estimation. All known speed estimators depend on the induction motor model. Accurate knowledge of the model parameter is critical for speed estimation especially in the low speed range.

Considerable research has been done for induction motor parameter estimation [19]. Offline methods [20]–[22] target the estimation of all motor parameters with high accuracy. Self-commissioning methods [23], [24] focus on algorithms that can be implemented directly on the motor controller and ran as an initialization routine. Offline testing is not needed. They usually yield less precise results than offline methods. Online parameter estimation [25], [26] usually focuses on one or two parameters only (rotor or stator resistance); its main purpose is the tracking of the parameters that change while the motor is operating. There is relatively little research conducted in modeling the induction machine as a function of operating conditions [20].

The goal of this research is the development of a sensorless torque control system for hybrid electric vehicle applications. Due to the dependency of the control system to parameter knowledge, modeling and parameter estimation over a wide range of operating conditions of induction motors is also developed. The parameters of the motor are mapped to the operating conditions and are continuously updated while the motor is operating.

III. HEV REQUIREMENTS FOR SENSORLESS OPERATION

The propulsion system of a hybrid electric vehicle (HEV) comprises both an internal combustion engine (ICE) and an electric motor (EM) [28]. The most common type of HEV is the parallel type, in which the both ICE and EM are directly

Manuscript received March 13, 2001; revised February 7, 2002. This work was supported in part by the National Science Foundation under Grant S9722844 and in part by the Ford Motor Company and the Ohio State University Electromechanical and Mechatronics Laboratory. A. B. Proca and A. Keyhani are with Department of Electrical Engineering, Ohio State University, Columbus, OH 43210 USA. J. M. Miller is with Ford Motor Company, Detroit, MI 48126 USA. Digital Object Identifier 10.1109/TEC.2003.811717

connected to the wheels. This structure presents a relative advantage in control over other induction motor applications, such as servos. The advantage is that the induction motor will virtually operate only at speeds above the idle speed of the ICE (currently 300–600 r/min). The only situation in which the IM will need to operate at lower speed will be the transient from zero (stalled) to idle speed. Since it is desired that HEV-s operation continues even with sensor failure, it is important that sensorless control algorithms be developed (without the addition of extra hardware). All known speed sensorless techniques are sensitive to variation of parameters. The induction motor parameters vary with the operating conditions, as is the case with all electric motors. Furthermore, for a propulsion application, the operating conditions will vary continuously. Speed (and input frequency) will change with driving cycles, traffic conditions, etc. Temperature is influenced by loading but also by ambient, etc. and can have variations as high as from 100°C. Operating flux levels will change with loading demands in order to obtain maximum energy efficiency. The parameters of the induction motor model will change as the motor changes operating conditions, and these changes need to be accounted for in control.

IV. DEVELOPMENT OF VARIABLE FREQUENCY MODELS

Fig. 1 shows the induction motor model used in this research in a stationary reference frame for q -axis (d -axis are similar). As stated in [19], the model is equivalent (without any loss of information) to the more common T -model in which the leakage inductance is separated in stator and rotor leakage.

The following basic equations of induction machine can be derived:

$$\frac{d\lambda_{qr}}{dt} = n_p \omega_r \lambda_{dr} - \eta \lambda_{qr} + \eta L_m i_{qs} \quad (1)$$

$$\frac{d\lambda_{dr}}{dt} = -n_p \omega_r \lambda_{qr} - \eta \lambda_{dr} + \eta L_m i_{ds} \quad (2)$$

$$\frac{di_{qs}}{dt} = -\beta n_p \omega_r \lambda_{dr} + \eta \beta \lambda_{qr} - \gamma i_{qs} + \frac{1}{L_l} v_{qs} \quad (3)$$

$$\frac{di_{ds}}{dt} = \beta n_p \omega_r \lambda_{qr} + \eta \beta \lambda_{dr} - \gamma i_{ds} + \frac{1}{L_l} v_{ds} \quad (4)$$

with constants defined as follows:

$$\eta \equiv \frac{R_r}{L_m}, \quad \beta \equiv \frac{1}{L_l}, \quad \gamma \equiv \frac{R_s + R_r}{L_l}.$$

The electromagnetic torque expressed in terms of the state variables is

$$T_e = 3n_p (\lambda_{dr} i_{qs} - \lambda_{qr} i_{ds}). \quad (5)$$

The motor parameters were estimated offline. The motor was run at various operating conditions and small disturbance tests were applied. A speed sensor was used. The parameters were then estimated using a constrained optimization technique. Sensitivity analysis of the output to the parameters at different slip frequencies was employed to eliminate the parameters that yield low sensitivity. Outside rated conditions, the motor parameters change. Through a correlation analysis the authors isolated the

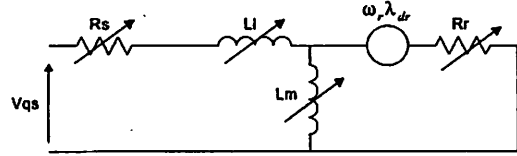


Fig. 1. Induction motor model in stationary reference frame (q -axis).

TABLE I
INDUCTION MOTOR RATED PARAMETERS

R_s	0.39 Ω
L_l	0.006 Henry
L_m	0.066 Henry
R_r	0.22 Ω

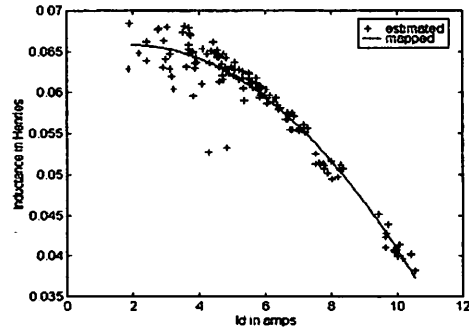


Fig. 2. L_m as function of i_{ds}^2 .

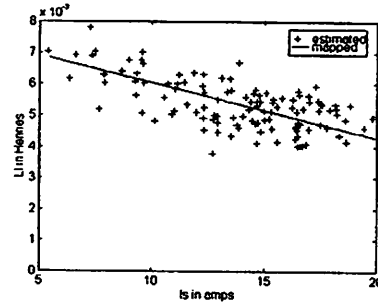


Fig. 3. L_l as function of I_s .

parameter-operating condition dependency. Table I shows the motor parameters at rated conditions:

A strong correlation was observed between L_m and i_{ds}^2 (L_m saturates with an increase in i_{ds}^2). A second order polynomial was used to represent the dependency (shown in Fig. 2)

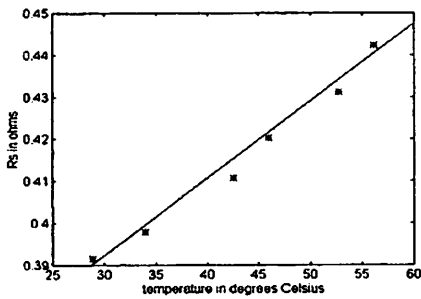
$$L_m(i_{ds}^2) = k_1 \cdot i_{ds}^2 + k_2 \cdot i_{ds}^2 + k_3. \quad (6)$$

A strong correlation was also observed between L_l and I_s . L_l saturates with an increase in I_s . A linear approximation was used to represent the dependency (shown in Fig. 3)

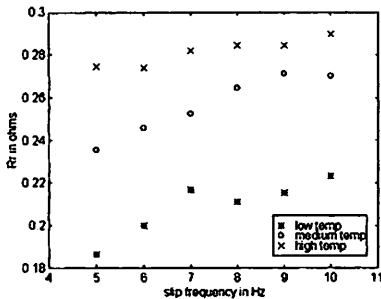
$$L_l(I_s) = k_4 \cdot I_s + k_5. \quad (7)$$

The stator resistance was observed to be varying as a function of stator temperature. A linear approximation was used to represent the dependency (shown in Fig. 4)

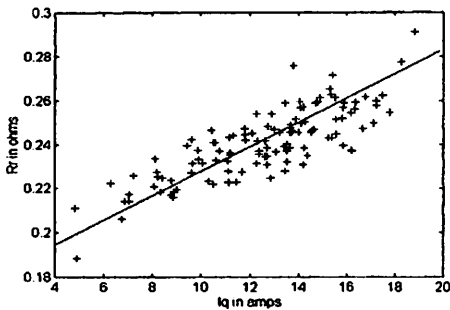
$$R_s(T) = k_6 \cdot T + k_7. \quad (8)$$



R_s as a function of T .



R_r as a function of slip frequency.



R_r as a function of i_{qs}^c .

rotor resistance varies as a function of two factors: slip frequency (through skin effect) and rotor temperature. Since rotor temperature is hardly measurable, the stator temperature was used instead. Fig. 5 shows the dependency of rotor resistance to temperature at 3 temperature levels (measured on the stator) for locked rotor tests. Slip frequency is not measurable in a speed sensorless system. However, slip frequency is proportional to the i_{qs}^c component and therefore a correlation between R_r and i_{qs}^c exists; this is measured experimentally and is shown in Fig. 6. (stator temperature varied approximately 30 °C throughout the tests). The authors used a linear approximation for the rotor resistance dependency on i_{qs}^c and stator temperature

$$R_r(i_{qs}^c) = k_8 \cdot i_{qs}^c + k_9 \cdot T + k_{10}. \quad (9)$$

Although more complicated (and more accurate) mappings can be derived, their implementation was impossible due to the time constraints of the DSP used for controlling the motor. The rotor resistance model is prone to errors due to the fact that stator temperature is used instead of rotor temperature and due to the nature of modeling (linear). However, due to the intrinsic robustness of the sliding mode observer, the effect of these errors

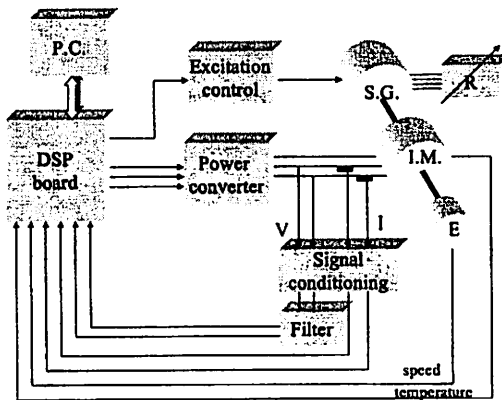


Fig. 7. Experimental setup.

on the speed estimation are relatively small at most operating conditions except for the low speed/high load region. The effects of rotor resistance estimation errors on speed estimation are shown in Section VII.

V. EXPERIMENTAL SETUP

The experimental setup used in this research is shown in Fig. 7. The induction motor (I.M.) is three-phase, four-pole, 5-Hp, 1750-r/min 220-V squirrel cage. The synchronous generator (S.G.) is two phase, two pole, 5 Hp 440 V and is used as a load. The 5-kW variable resistor box (R) loads the synchronous generator. A variable DC power supply controls the excitation of the synchronous generator. The motor is driven by a 400-V/30-A power converter capable of switching at 20 kHz. A dual processor (TMS320C31 Master and TMS320P14 Slave) DSP board used both for control and data acquisition. A 1024 pulse/revolution incremental optical encoder is used for speed measurement. The PWM cycle is 240 μ s and the data acquisition sampling time is 60 μ s. In order to avoid aliasing, the measured voltage is passed through a low pass filter prior to being acquired. The synchronous generator can be controlled simultaneously with the motor using the DSP board through the excitation voltage.

VI. SENSORLESS TORQUE CONTROL DEVELOPMENT

A simplified block diagram of the control diagram is shown in Fig. 8.

A. Adaptive Sliding Mode Observer

The speed-flux sliding mode observer equations are based on the induction motor current and flux equations

$$\frac{d\hat{i}_{qs}}{dt} = -\beta\hat{\omega}_r\hat{\lambda}_{dr} + \eta\beta\hat{\lambda}_{qr} - \gamma\hat{i}_{qs} + \frac{1}{L_l}v_{qs} \quad (10)$$

$$\frac{d\hat{i}_{ds}}{dt} = \beta\hat{\omega}_r\hat{\lambda}_{qr} + \eta\beta\hat{\lambda}_{dr} - \gamma\hat{i}_{ds} + \frac{1}{L_l}v_{ds} \quad (11)$$

$$\frac{d\hat{\lambda}_{qr}}{dt} = \hat{\omega}_r\hat{\lambda}_{dr} - \eta\hat{\lambda}_{qr} + \eta L_m\hat{i}_{qs} \quad (12)$$

$$\frac{d\hat{\lambda}_{dr}}{dt} = -\hat{\omega}_r\hat{\lambda}_{qr} - \eta\hat{\lambda}_{dr} + \eta L_m\hat{i}_{ds}. \quad (13)$$

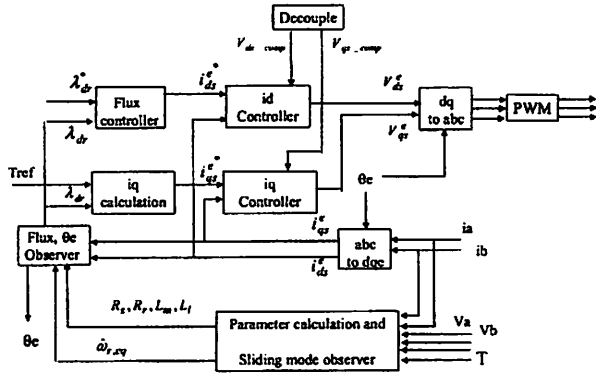


Fig. 8. Control structure.

Let a sliding surface be

$$s = (\hat{i}_{qs} - i_{qs})\hat{\lambda}_{dr} - (\hat{i}_{ds} - i_{ds})\hat{\lambda}_{qr} \quad (14)$$

and let

$$\hat{\omega}_r = \omega_0 \text{sign}(s). \quad (15)$$

By choosing a large enough $\hat{\omega}_0$, it can be shown that s can be driven to zero in a finite time [1], implying the current estimates ($\hat{i}_{ds}, \hat{i}_{qs}$) and flux estimates $\hat{\lambda}_{dr}, \hat{\lambda}_{qr}$ will converge to their real values in a finite time. $\hat{\omega}_r$ will contain high frequency components (due to its switching nature) and a low frequency component. The low frequency component is equal to the speed. The proof of convergence [1] will not be presented in this paper due to its length. Since $\hat{\omega}_r$ is a switching function, it cannot be used directly outside the observer ((10)–(13)). The smoothed value of $\hat{\omega}_r$ can be found by passing it through a low-pass filter

$$\hat{\omega}_{r,eq} = \frac{1}{1 + s \cdot \tau} \hat{\omega}_r. \quad (16)$$

The selection of the speed gain (ω_0) has two major constraints: the gain has to be large enough to insure that sliding mode can be enforced; a very large gain can yield to instability of the observer to discrete time integration. Through simulations, the authors used a linear function to tune the gain of the sliding mode observer to the equivalent speed

$$\omega_0 = \hat{\omega}_{r,eq} \cdot 0.3 + 60. \quad (17)$$

The presence of offsets in the measured signals can negatively influence the speed estimation. A dc offset in the measured input voltage “sees” only small impedance (just like in a dc test) and yields a large estimated current error. This, in turn, yields an oscillation in the estimated speed. In order to compensate the offsets, the authors used a recursive average value estimator for the measured voltages and currents

$$V_{\text{offset}}(k+1) = V_{\text{measured}}(k) \cdot \frac{1}{N} + V_{\text{offset}}(k) \cdot \frac{N-1}{N} \quad (18)$$

where N is the number of samples for averaging and should be larger than the number of samples for one period at lowest input frequency. Since at steady state the signals are sinusoidal, the mean average is equal to the measurement offset and must be

subtracted from the measurements prior to using into the observer.

The sliding mode observer structure allows for the simultaneous observation of rotor fluxes. However, due to the limited sampling frequency, the numerical integration of the fourth order observer equations yields errors on flux observation, although the observer produces correct speed estimates. The integration error increases with supply frequency. Instead of using the flux-speed estimator for flux estimates, the authors used a second order observer

$$\frac{d\hat{\lambda}_{qr}}{dt} = \hat{\omega}_{r,eq} \hat{\lambda}_{dr} - \eta \hat{\lambda}_{qr} + \eta L_m i_{qs} \quad (19)$$

$$\frac{d\hat{\lambda}_{dr}}{dt} = -\hat{\omega}_{r,eq} \hat{\lambda}_{qr} - \eta \hat{\lambda}_{dr} + \eta L_m i_{ds}. \quad (20)$$

This observer produces correct flux estimates as shown in [1].

B. Alternative Speed Estimation for Speed Below 20 r/min

The sliding mode observer with parameters mapped to the operating conditions cannot correctly estimate speeds below 20 r/min (in simulation the estimator works down to approximately 1 r/min). There are two main causes to this problem. First, the speed component in the observer equations becomes very small compared to the other terms in the equations and any parameter mismatch or measurement error will yield large speed estimation errors. Second, in order to maintain a flux level below saturation, at low frequency the amplitude of supply voltage is very small (below 5 V for speed below 20 r/min). Since voltage transducers are designed for approximately 100 times this value, there is considerable amount of noise and measurement error. The authors used instead of the sliding mode speed observer an input frequency observer. The observer is based on a least square estimator. Let a sample of the d axis current (stationary reference) at instant n be

$$\begin{aligned} i_{ds}(n) &= I_s \sin(\omega t + \varphi) \\ &= I_s \sin(\omega(t - TS) + \varphi + \omega \cdot TS) \\ &= i_{ds}(n-1) \cos(\omega \cdot TS) + i_{qs}(n-1) \\ &\quad \times \sin(\omega \cdot TS). \end{aligned} \quad (21)$$

Assuming that the input frequency does not change considerably over the estimation process (approximately 6 ms), the i_{ds} current can be written as

$$y_n = h_n \cdot \theta_n \quad (22)$$

where $y_n = i_{ds}(n)$, $h_n = [i_{ds}(n-1) \ i_{qs}(n-1)]$, $\theta_n = [\theta_n(1) \ \theta_n(2)] = [\cos(\omega TS) \ \sin(\omega TS)]$, and TS is the sampling time. The estimation process recursively calculates the parameter vector θ_n over 100 samples. The procedure can be summarized as

1) Initialize

$$P_1^{-1} = h_1' \cdot h_1. \quad (23)$$

2) Recursively estimate θ_{n+1} using least squares

$$P_n^{-1} = P_{n-1}^{-1} + h_n' \cdot h_n, \quad k_{w,n} = P_n \cdot h_n' \quad (24)$$

$$\theta_{n+1} = \theta_n + k_{w,n} \cdot (y_n - h_n \cdot \theta_n). \quad (25)$$

3) After 500 samples, calculate

$$\hat{\omega} = \frac{1}{TS} \sin^{-1} \left(\frac{\theta_n(2)}{\sqrt{\theta_n^2(2) + \theta_n^2(1)}} \right). \quad (26)$$

The frequency of the output is continuously monitored. When it falls below 1 Hz, the output of the sliding mode observer is not used anymore, and instead the supply frequency is used. Although perfect field orientation cannot be achieved (because slip frequency is neglected), the motor performed relatively well even at very low speed (below 20 r/min).

Discrete Time Flux Control—Outer Loop

The rotor flux dynamics in synchronous reference frame are linear and only dependent on the d -current input. A discrete time controller is used. The flux controller equation is

$$i_{ds}^e(n) = \frac{\lambda_{dr}^e - a_\lambda \cdot i_{ds}^e(n)}{b_\lambda} \quad (27)$$

where $a_\lambda = e^{-\gamma \cdot TS^2}$, $b_\lambda = 1 - a_\lambda / \eta \cdot L_m$, TS —sampling time of the flux controller.

The flux reference can either be left constant or modified to accomplish certain requirements (minimum current, maximum efficiency, field weakening). For speeds above rated, it is necessary to weaken the flux so that the supply voltage limits are not exceeded. The q -current reference is calculated from the torque equation to provide fast torque tracking

$$i_{qs}^e = \frac{T_{ref}}{3n_p \cdot \lambda_{dr}^e}. \quad (28)$$

C. Current Control—Inner Loop

By rewriting the discrete version of the current equations one obtains

$$i_{qs}^e(n+1) = a i_{qs}^e(n) + b V_{qs_comp}(n) + b v_{qs}^e(n) \quad (29)$$

$$i_{ds}^e(n+1) = a i_{ds}^e(n) + b V_{ds_comp}(n) + b v_{ds}^e(n) \quad (30)$$

where $a = e^{-\gamma \cdot TS}$, $b = 1 - a / \gamma \cdot \sigma \cdot L_s$, TS —sampling time

$$v_{qs_comp} = -n_p \omega_r \lambda_r^e - \sigma L_s \omega_e i_{ds}^e \quad (31)$$

$$v_{ds_comp} = \sigma L_s (\omega_e i_{qs}^e + \eta \cdot \beta \cdot \lambda_r^e). \quad (32)$$

The control signals can then be calculated so that the currents reach their references in one sampling period

$$v_{qs}^e(n) = \frac{i_{qs}^e - a \cdot i_{qs}^e(n)}{b} - V_{qs_comp}(n) \quad (33)$$

$$v_{ds}^e(n) = \frac{i_{ds}^e - a \cdot i_{ds}^e(n)}{b} - V_{ds_comp}(n). \quad (34)$$

Since the calculated value of the control may exceed the maximum possibilities of the converter (dc bus voltage), an equivalent control was used. For the d -axis, the control is

$$v_{ds_eq}^e(n) = \begin{cases} v_{ds}^e(n), & \text{if } v_{ds}^e(n) \leq U_{max} \\ U_{max} \cdot \text{sign}(v_{ds}^e(n)), & \text{if } v_{ds}^e(n) > U_{max}. \end{cases} \quad (35)$$

The q -axis control is similar. The net advantage of such control is that it preserves the good dynamic performance of the con-

TABLE II
SPEED ESTIMATION ERRORS (%) AS FUNCTION OF R_r ERROR

Speed, Load(i_{qs}^e)	$\Delta R_r = -75\%$	$\Delta R_r = -50\%$	$\Delta R_r = -50\%$	$\Delta R_r = 75\%$	$\Delta R_r = 100\%$
100 rpm, 0.3 A	1.27	1.35	-1.01	-1.24	-1.56
100 rpm, 10 A	26.21	17.26	-17.95	-26.22	-35.64
100 rpm, 17 A	44.21	29.73	-30.21	-45.85	-60.25
500 rpm, 0.3 A	0.63	0.38	-0.41	-0.57	-0.69
500 rpm, 10 A	5.34	3.46	-3.75	-5.52	-7.38
500 rpm, 17 A	10.02	6.31	-6.62	-9.16	-12.13
1000 rpm, 0.3 A	0.49	0.41	-0.45	-0.53	-0.66
1000 rpm, 10 A	3.81	1.79	-1.86	-2.81	-3.75
1000 rpm, 17 A	4.82	3.17	-2.93	-4.43	-6.11

tinuous time sliding mode control while eliminating chattering. However, since the control does not have an error correcting term (like a PI controller has), any parameter mismatch, delay, quantization error, etc. will result in a steady state tracking error. The authors added a small error integrating term to the control to correct the problem

$$\begin{aligned} v_{ds_new}^e(n) &= v_{ds_eq}^e(n) + k_i \cdot (i_{ds}^e(n) - i_{ds}^e(n)) + e_{old}(n) \\ e_{old}(n) &= k_i [i_{ds}^e(n-1) - i_{ds}^e(n-1)] + e_{old}(n-1), \\ e_{old}(1) &= 0. \end{aligned} \quad (36)$$

VII. SIMULATIONS AND EXPERIMENTAL RESULTS

A. Simulations

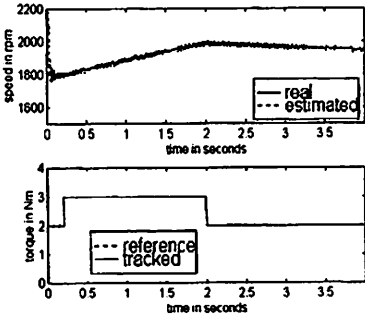
The effect of rotor resistance errors on speed estimation was analyzed since this parameter is prone to more inaccuracy than others. Errors up to 100% in rotor resistance values were considered. The analysis was conducted at three speed levels for which three loading levels (represented by i_{qs}^e) were considered. The results are shown in Table II. It can be seen that except for the low speed and high load range, errors in rotor resistance values have little impact on speed estimation.

The control scheme presented in Section VI was simulated using Simulink. For operation of the motor above 20 r/min, the control scheme performed very well. The following graphs show different simulation tests performed at various speeds. The bottom graph shows the torque reference tracking. Figs. 9 and 10 show that good tracking can be obtained in the entire range (except below 20 r/min). Fig. 11 shows a test performed at very low speed (below 20 r/min).

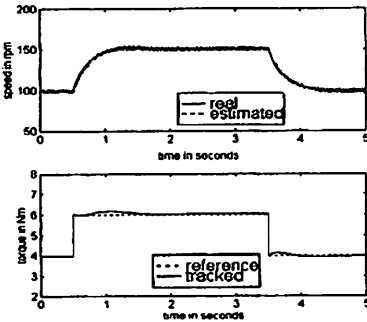
It can be observed that in the regions where speed fell below the threshold, speed estimates are constant for larger periods of time. This is due to the intrinsic delay of the least-square observer. Also, some oscillation can be seen around 20 r/min as the controller moves between sliding mode and least-square estimation of speed.

B. Experimental Results

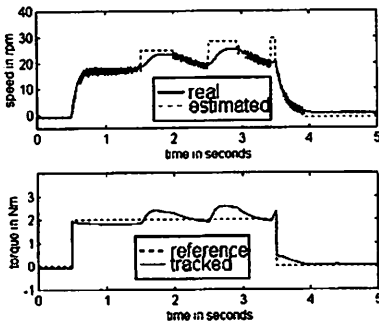
1) *Flux-Speed Convergence*: The authors tested the speed-flux observer at various operating conditions. One test consisted in disturbing the initial conditions (currents and fluxes were made equal to zero at 1 s) and then observing if the observer recovers and converges (dotted line, Fig. 12). For comparison, the



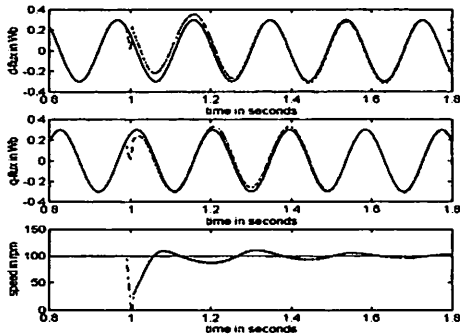
g. 9. Torque tracking in the 1500–2400-r/min range.



g. 10. Torque tracking in the 20–500-r/min range.



g. 11. Torque tracking in the 0–20-r/min range.



g. 12. Flux-speed observation with initial condition disturbance at 0 r/min.

ux estimates from the second order flux observer (with speed easurements) were used (solid line). Both speed and flux converge in a short time. Due to the limited space of this paper, only e test is shown.

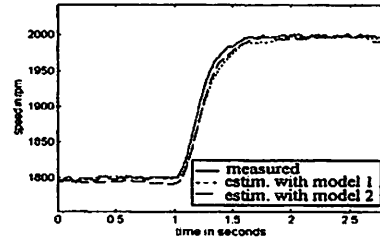


Fig. 13. Estimated speed in the 1500–2400-r/min range at medium flux, light load.

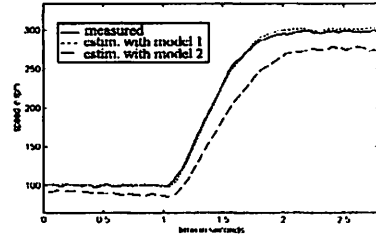


Fig. 14. Estimated speed in the 100–300-r/min range, at low flux, high load.

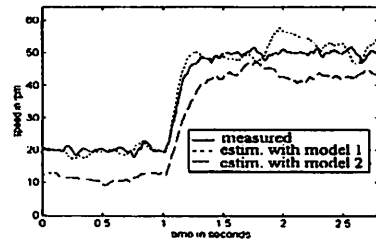


Fig. 15. Estimated speed in the 20–50-r/min range at high flux, low load.

2) Influence of Parameter Variation on Speed Estimation: The authors tested the sliding mode speed observer using rated parameters and varying (model-based) parameters. The flux and load levels were varied within their bounds. It was observed that except at rated conditions, the speed estimates for the model with rated (fixed) parameters exhibited considerable more error than for the model with varying parameters. It is a well-known fact that the temperature under the hood of vehicle can be as high as 80 °C. However, in the lab test, the temperature variation was relatively low (30 °C) during the lab tests; for in vehicle applications, larger temperature variation should be expected that will result in a larger difference in errors between the variable frequency models (model 1) and the rated parameter model (model 2). Figs. 13–15 present results of the tests (measured and observed speed). In order to quantify the observer performance, the mean and the rms error between measured and estimated speed was recursively calculated. The estimation errors for all speed ranges (maximal values) are summarized in Table III for the model with constant parameters and in Table IV for the proposed model. The mean, maximal, and standard deviation of the error are calculated at steady state. All relative values are in respect to the measured speed. As reported for other speed estimators, the relative value of the mean error decreases with a speed increase. While the

TABLE III
ESTIMATION ERROR FOR MODEL WITH RATED PARAMETERS

Speed (rpm)	Mean Error		Standard deviation		Maximal Error	
	Abs (rpm)	Relative (%)	Abs (rpm)	Relative (%)	Abs (rpm)	Relative (%)
20	7.73	38.63	3.19	15.97	10.27	51.34
50	6.90	13.80	2.18	4.35	9.31	18.61
100	9.52	9.52	1.45	1.45	12.60	12.60
200	25.57	12.79	7.99	4.00	39.37	19.68
500	21.50	4.30	6.81	1.36	33.63	6.73
1000	20.23	2.02	6.52	0.65	29.01	2.90
1200	16.96	1.41	1.80	0.15	19.72	1.64
1800	7.89	0.44	3.25	0.18	17.21	0.96
2000	11.76	0.59	3.64	0.18	18.45	0.92
2400	11.92	0.50	3.71	0.15	17.45	0.73

TABLE IV
ESTIMATION ERROR FOR PROPOSED MODEL

Speed (rpm)	Mean Error		Standard deviation		Maximal Error	
	Abs (rpm)	Relative (%)	Abs (rpm)	Relative (%)	Abs (rpm)	Relative (%)
0.5	1.91	382.00	1.82	364.00	4.1	820.00
5	3.64	72.80	2.49	49.80	8.96	179.20
10	3.24	32.40	1.38	13.80	3.97	39.70
15	3.14	20.93	1.01	6.73	4.78	31.87
20	2.36	11.78	2.69	13.47	6.03	30.14
50	4.03	8.07	2.27	4.55	6.11	12.22
100	8.23	8.23	3.26	3.26	13.75	13.75
200	7.16	3.58	5.96	2.98	13.44	6.72
500	6.82	1.36	4.42	0.88	12.50	2.50
1000	6.53	0.65	3.40	0.34	15.03	1.50
1200	8.15	0.68	2.62	0.22	10.66	0.89
1800	7.73	0.43	3.62	0.20	18.32	1.02
2000	9.70	0.48	3.71	0.19	19.10	0.96
2400	10.20	0.43	4.51	0.19	21.32	0.89

relative mean error at speed above 1000 r/min is small for both models, considerable difference can be observed below this speed. For speed below 20 r/min, both models performed poorly, justifying the use of a non-model-based speed estimator. Results for this range are in Table IV).

3) *Control Above 20 r/min:* For operation of the motor above 20 r/min, the control scheme performed very well. Figs. 16 and 17 show tests performed at low speed. The top graph shows the measured (dotted line) versus estimated speed (solid line). The bottom graph shows the torque reference tracking. The observed torque is calculated using an observer at uses speed measurements. It can be seen that good tracking can be obtained in the entire range (except below 20 r/min).

4) *Control Below 20 r/min:* To qualify the situations in which the speed falls below the 20-r/min limit and which can produce large speed estimation errors, the authors used the frequency of the supply voltage as a measurement of speed. When it falls below 1 Hz, the output of the sliding mode observer is not used anymore, and instead the supply frequency is used. Fig. 18 shows an example of a test. Although speed observation is relatively poor, the system can still track torque. Furthermore, the very low speed operation of the induction motor is relatively rare in propulsion system for automotive application so the overall performance of the motor-controller system will not be affected considerably.

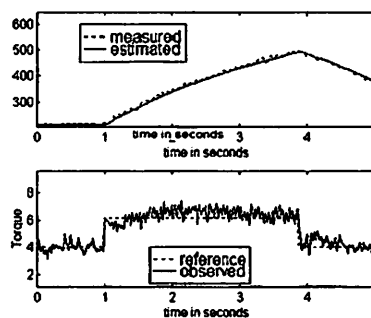


Fig. 16. Torque tracking in the 20–500-r/min range.

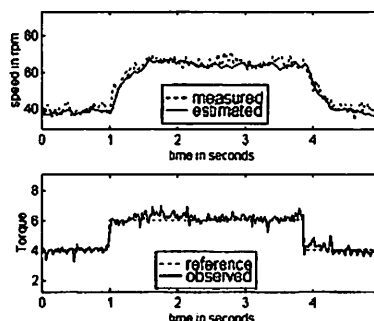


Fig. 17. Torque tracking in the 40–80-r/min range.

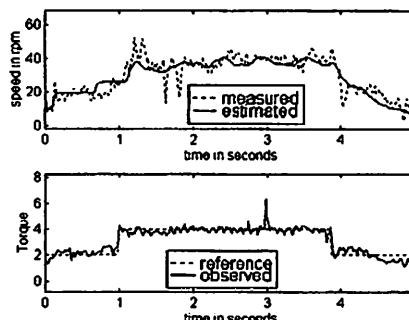


Fig. 18. Torque control in the 0–50-r/min range.

VIII. CONCLUSION

A sensorless torque control system for induction motors is developed in this research. The system allows for fast and precise torque tracking over a wide range of speed, from 20 to 2400 r/min. Both the speed observer and the control scheme are model based. The authors modeled the induction motor over a wide range of operating conditions, consisting of wide speed, load and flux ranges. By employing a sensitivity analysis of the output to each variable at various slip frequencies, the parameters that yielded low sensitivity were eliminated. Through a correlation study, the dependencies between parameters and the variables characterizing operating conditions were isolated. The parameters were then mapped to these variables. Although the procedure was developed offline, both parameter estimation and mapping to operating conditions can be automated for an industrial setting.

The speed estimator is an adaptive sliding mode observer. Gain adaptation of the observer is needed to stabilize the observer when integration errors are present. The design and implementation issues of the observer were analyzed (gain adap-

tion, offset cancellation, etc). The observer can accurately observe speed down to approximately 20 r/min. Below this level, due to the low levels of voltage (1% of full scale) and to possible parameter mismatches, the speed observations are inaccurate. The authors proposed an alternative method in which the input frequency is used as an observation of speed. The control algorithm is field oriented using discrete time sliding mode controllers for current and flux tracking. The discrete time sliding mode controller combines the fast response of any sliding mode controller while eliminating the chattering characteristic to continuous time sliding mode controllers. The controller was shown to perform very well except for the very low speed ranges. This poor performance at very low speed is due to the inaccurate speed observations at those speeds. However, the motor is able to respond with a speed increase when an increased torque command is received.

Also, once the very low speed range is passed, the high performance control resumes. This low speed behavior is acceptable for HEV applications, when motor speed falls below stall speed (of IC engine) only at start-up and shut down.

REFERENCES

- [1] V. Utkin, J. Guldner, and J. Shi, *Sliding Mode Control in Electromechanical Systems*. New York: Taylor & Francis, 1999.
- [2] T. Ohtani, N. Takada, and K. Tanaka, "Vector control of induction motor without shaft encoder," *IEEE Trans. Ind. Applicat.*, vol. 28, pp. 157–164, Jan./Feb. 1992.
- [3] K. Akatsu and A. Kawamura, "Sensorless very low-speed and zero-speed estimations with online rotor resistance estimation of induction motor without signal injection," *IEEE Trans. Ind. Applicat.*, vol. 36, pp. 764–771, May/June 2000.
- [4] E. G. Strangas, H. K. Khalil, B. A. Oliwi, L. Laubinger, and J. M. Miller, "Robust torque controller for induction motors without rotor position sensor: Analysis and experimental results," *IEEE Trans. Energy Conversion*, vol. 14, pp. 1448–1456, Dec. 1999.
- [5] C. Schauder, "Adaptive speed identification for vector control of induction motors without rotational transducers," *IEEE Trans. Ind. Applicat.*, vol. 28, pp. 1054–1061, Sept./Oct. 1992.
- [6] F. Z. Peng and T. Fukao, "Robust identification for speed-sensorless vector control of induction motors," *IEEE Trans. Ind. Applicat.*, vol. 30, pp. 1234–1240, Sept./Oct. 1994.
- [7] J. Maes, J. Jchudi, and A. Melkebeck, "Speed-sensorless direct torque control of induction motors using an adaptive flux observer," *IEEE Trans. Ind. Applicat.*, vol. 36, pp. 778–785, May/June 2000.
- [8] L. Zhen and L. Xu, "Sensorless field orientation control of induction machines based on a mutual MRAS scheme," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 45, pp. 824–831, Oct. 1998.
- [9] Y.-R. Kim, S.-K. Sul, and M.-H. Park, "Speed sensorless vector control of induction motor using extended kalman filter," *IEEE Trans. Ind. Applicat.*, vol. 30, pp. 1225–1233, Sept./Oct. 1994.
- [10] P. L. Jansen and R. D. Lorenz, "Transducerless position and velocity estimation in induction and salient AC machines," *IEEE Trans. Ind. Applicat.*, vol. 31, pp. 240–247, Mar./Apr. 1995.
- [11] D. Hurst, T. G. Habetler, G. Griva, F. Profumo, and P. L. Jansen, "Self-tuning closed-loop flux observer for sensorless torque control of standard induction machines," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 12, pp. 807–815, Sept. 1997.
- [12] H. Miyashita, Y. Fujita, and Ohmori, "Speed sensorless instantaneous vector control with identification of secondary resistance," in *Proc. Conf. Rec. IEEE-IAS Annu. Meeting*, 1991, pp. E130–E135.
- [13] J. Jiang and J. Holtz, "High dynamic speed sensorless ac drive with on-line model parameter tuning for steady-state accuracy," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 44, pp. 240–246, Apr. 1997.
- [14] B. H. Kenny and R. D. Lorenz, "Stator and rotor flux based deadbeat direct torque control of induction machines," in *Proc. Conf. Rec. 2001 IEEE 36th IAS Annu. Meeting*, vol. 1, pp. 133–9.
- [15] M. Tursini, R. Petrella, and F. Parasiliti, "Adaptive sliding-mode observer for speed-sensorless control of induction motors," *IEEE Trans. Ind. Applicat.*, vol. 36, pp. 1380–1387, Sept./Oct. 2000.
- [16] F. J. Lin, R. J. Wai, and P. C. Lin, "Robust speed sensorless induction motor drive," *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.*, vol. 35, pp. 566–578, Apr. 1999.
- [17] Z. Yan, C. Jin, and V. I. Utkin, "Sensorless sliding mode control of induction motors," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 47, pp. 1286–1297, Dec. 2000.
- [18] A. Derdiyok, H. Rehman, M. K. Guvenc, N. Inanc, and L. Xu, "A robust sliding mode observer for speed estimation of induction machine," in *Proc. Appl. Power Electron. Conf.*, vol. 1, 2001, pp. 413–418.
- [19] G. R. Slemon, "Modeling of induction machines for electric drives," *IEEE Trans. Ind. Applicat.*, vol. 25, pp. 1126–1131, Nov./Dec. 1989.
- [20] S. I. Moon, A. Keyhani, and S. Pillutla, "Nonlinear neural-network modeling of an induction machine," *IEEE Trans. Contr. Syst. Technol.*, vol. 7, pp. 203–211, Mar. 1999.
- [21] P. Pillay, R. Nolan, and T. Haque, "Application of genetic algorithms to motor parameter determination for transient torque calculations," *IEEE Trans. Ind. Applicat.*, vol. 33, pp. 1273–1282, Sept./Oct. 1997.
- [22] J. Stephan, M. Bodson, and J. Chiasson, "Real-time estimation of the parameters and fluxes of induction motors," *IEEE Trans. Ind. Applicat.*, vol. 30, pp. 746–759, May/June 1994.
- [23] X. Xu and D. W. Novotny, "Implementation of direct stator flux orientation control on a versatile DSP based system," *IEEE Trans. Ind. Applicat.*, vol. 27, pp. 694–700, July/Aug. 1991.
- [24] C. Wang, D. W. Novotny, and T. A. Lipo, "An automated rotor time constant measurement system for indirect field-oriented drives," *IEEE Trans. Ind. Applicat.*, vol. 24, pp. 151–159, Jan./Feb. 1988.
- [25] S. Wade, M. W. Dunnigan, and B. W. Williams, "New method of rotor resistance estimation for vector-controlled induction machines," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 44, pp. 247–257, Apr. 1997.
- [26] R. Marino, S. Peresada, and P. Tomei, "On-line stator and rotor resistance estimation for induction motors," *IEEE Trans. Contr. Syst. Technol.*, vol. 8, pp. 570–579, May 2000.
- [27] H. A. Toliyat, M. S. Arefeen, K. M. Rahman, and D. Figoli, "Rotor time constant updating scheme for a rotor flux-oriented induction motor drive," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 14, pp. 850–857, Sept. 1999.
- [28] M. Ehsani, K. M. Rahman, and H. A. Toliyat, "Propulsion system design of electric and hybrid vehicles," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 44, pp. 19–27, Feb. 1997.

Amuliu Bogdan Proca (S'96) received the M.S.E.E. and Ph.D. degrees in electrical engineering from the Ohio State University, Columbus, OH, in 1997 and 2001, respectively.

He is currently working for Solidstate Controls Inc., Columbus, OH. Mr. Proca's research interests are in the areas of induction machine control, modeling, parameter estimation, and design.

Alli Keyhani (F'98) received the Ph.D. degree from Purdue University, West Lafayette, IN, in 1975.

Currently, he is a Professor of Electrical Engineering at the Ohio State University, Columbus, OH. From 1967 to 1969, he worked for Hewlett-Packard Co., Palo Alto, CA, on the computer-aided design of electronic transformers.

His research interest is in control and modeling, parameter estimation, failure detection of electric machines, transformers, and drive systems.

John M. Miller (F'99) received the Ph.D. degree from Michigan State University, East Lansing, MI, in 1983.

He was a member of the technical staff at Texas Instruments, Dallas, TX, from 1976 to 1980. He joined Ford Motor Company Research Laboratory in 1983 to work on electric vehicle programs and vehicle electrical system simulation. His interests range from the development of novel electromechanical components to the advancement of 42-V electrical distribution system for vehicles. He became an Adjunct Professor of Electrical Engineering at Michigan State University in 1998. He is the holder of 27 U.S. patents and has authored 37 publications on automotive electrical and electronic systems.

Dr. Miller was awarded Most Outstanding Paper Award at Convergence, the International Congress on Transportation Electronics, in 1998. He received best automotive paper award from IEEE Vehicular Technology Society in 1999. In 2000, Dr. Miller was awarded the IEEE Third Millennium Medal for his contributions to IEEE and Southeastern Michigan Section where he holds the office of Vice Chair. He is a member of the MIT/Industry Consortium on Advanced Automotive Electrical and Electronic Systems and Components, a past member of the steering committee, and of the Ford-MIT Alliance on 42-V architecture.

rogram

ca Data

```

ace=dddeinit('excel','Data TA.xls');
nc1=ddereq(interface,'r3c2:r10c25');
nc2=ddereq(interface,'r14c2:r21c25');
nc3=ddereq(interface,'r25c2:r32c25');
nc4=ddereq(interface,'r36c2:r43c25');

```

ialisasi output data

```

sinc1(:,1);
=length(x);
sinc1(1,:);
=length(x);
=zeros(rows,cols);
=zeros(rows,cols);
=zeros(rows,cols);
=zeros(rows,cols);
ros(cols,1);
ros(cols,1);
ros(cols,1);
=1:cols
)=k;

```

ses perhitungan mesin c1

```

=1:rows
j=1:cols
x(j)=mesinc1(k,j);
d
fft2(x);
j=1:cols
wn2=2;
fftc1(k,j)=abs(X(j))*wn2;
d
ure(k);
ot(t,abs(X),'b');
==1
title('Mesin CT I Merk Marley Jumat 1 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
eif k==2
title('Mesin CT I Merk Marley Sabtu 2 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
eif k==3
title('Mesin CT I Merk Marley Minggu 3 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
eif k==4
title('Mesin CT I Merk Marley Senin 4 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
eif k==5
title('Mesin CT I Merk Marley Selasa 5 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
eif k==6
title('Mesin CT I Merk Marley Rabu 6 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
eif k==7
title('Mesin CT I Merk Marley Kamis 7 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
eif k==8
title('Mesin CT I Merk Marley jumat 8 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
d
bel('jam');
bel('fft=Te');

```

```

ddepoke(interface,'r3c27:r10c50',fftc1);

```

ses perhitungan mesin c2

```

=1:rows
j=1:cols
x(j)=mesinc2(k,j);
d
fft2(x);
j=1:cols
wn2=2;

```



```

fft2(k,j)=abs(X(j))*wn2;
d
ure(8+k);
abel('jam');
abel('fft=Te');
ot(t,abs(X),'b');
<==1
title('Mesin CT II Merk Marley Jumat 1 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
seif k==2
title('Mesin CT II Merk Marley Sabtu 2 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
seif k==3
title('Mesin CT II Merk Marley Minggu 3 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
seif k==4
title('Mesin CT II Merk Marley Senin 4 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
seif k==5
title('Mesin CT II Merk Marley Selasa 5 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
seif k==6
title('Mesin CT II Merk Marley Rabu 6 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
seif k==7
title('Mesin CT II Merk Marley Kamis 7 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
seif k==8
title('Mesin CT II Merk Marley jumat 8 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
d
abel('jam');
abel('fft=Te');

ddepoke(interface,'r14c27:r21c50',fft2);
ses perhitungan mesin c3
=1:rows
j=1:cols
x(j)=mesinc3(k,j);
d
fft2(x);
j=1:cols
wn2=2;
fft3(k,j)=abs(X(j))*wn2;
d
ure(16+k);
abel('jam');
abel('fft=Te');
ot(t,abs(X),'b');
==1
title('Mesin CT III Merk Marley Jumat 1 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
eif k==2
title('Mesin CT III Merk Marley Sabtu 2 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
eif k==3
title('Mesin CT III Merk Marley Minggu 3 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
eif k==4
title('Mesin CT III Merk Marley Senin 4 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
eif k==5
title('Mesin CT III Merk Marley Selasa 5 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
eif k==6
title('Mesin CT III Merk Marley Rabu 6 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
eif k==7
title('Mesin CT III Merk Marley Kamis 7 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
eif k==8
title('Mesin CT III Merk Marley jumat 8 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
d
abel('jam');
abel('fft=Te');

ddepoke(interface,'r25c27:r32c50',fft3);
ses perhitungan mesin c4
=1:rows

```

```
j=1:cols
x(j)=mesinc4(k,j);
d
fft2(x);
j=1:cols
wn2=2;
fftc4(k,j)=abs(X(j))*wn2;
d
ure(24+k);
label('jam');
label('fft=Te');
plot(t,abs(X),'b');
c==1
title('Mesin CT IV Merk Marley Jumat 1 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
seif k==2
title('Mesin CT IV Merk Marley Sabtu 2 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
seif k==3
title('Mesin CT IV Merk Marley Minggu 3 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
seif k==4
title('Mesin CT IV Merk Marley Senin 4 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
seif k==5
title('Mesin CT IV Merk Marley Selasa 5 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
seif k==6
title('Mesin CT IV Merk Marley Rabu 6 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
seif k==7
title('Mesin CT IV Merk Marley Kamis 7 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
seif k==8
title('Mesin CT IV Merk Marley jumat 8 September 2006 di SKM unit V PT.Gudang Garam Tbk Kediri');
d
label('jam');
label('fft=Te');
ddepoke(interface,'r36c27:r43c50',fftc4);
```

MESIN CT1												
Jam	6	7	8	9	10	11	12	13				
Jumat	43	43	43	43	43	43	43	43				
Sabtu	43	43	43	43	43	43	43	43				
Minggu	0	0	0	0	0	0	0	0				
Senin	44	44	44	44	44	44	44	44				
Selasa	44	44	44	44	44	44	44	44				
Rabu	44	44	44	44	44	44	44	44				
Kamis	44	44	44	44	44	44	44	44				
Jumat	44	44	44	44	44	44	44	44				

MESIN CT2												
Jam	6	7	8	9	10	11	12	13				
Jumat	0	0	0	0	0	0	0	0				
Sabtu	0	0	0	0	0	0	0	0				
Minggu	0	0	0	0	0	0	0	0				
Senin	61	61	61	61	61	61	61	61				
Selasa	61	61	61	61	61	61	61	61				
Rabu	61	61	61	61	61	61	61	61				
Kamis	61	61	61	61	61	61	61	61				
Jumat	61	61	61	61	61	61	61	61				

MESIN CT3												
Jam	6	7	8	9	10	11	12	13				
Jumat	59	59	59	59	59	59	59	59				
Sabtu	53	53	53	53	53	53	53	53				
Minggu	0	0	0	0	0	0	0	0				
Senin	58	58	58	58	58	58	58	58				
Selasa	58	58	58	58	58	58	58	58				
Rabu	58	58	58	58	58	58	58	58				
Kamis	58	58	58	58	58	58	58	58				
Jumat	58	58	58	58	58	58	58	58				

MESIN CT4												
Jam	6	7	8	9	10	11	12	13				
Jumat	45	45	45	45	45	45	45	45				
Sabtu	45	45	45	45	45	45	45	45				
Minggu	0	0	0	0	0	0	0	0				
Senin	0	0	0	0	0	0	0	0				
Selasa	0	0	0	0	0	0	0	0				
Rabu	0	0	0	0	0	0	0	0				
Kamis	0	0	0	0	0	0	0	0				
Jumat	0	0	0	0	0	0	0	0				

