

SKRIPSI

**ANALISA EFFECT HARMONISA DARI PENGGUNAAN SCR
(SILICON CONTROLLED RECTIFIER) SEBAGAI
PENGENDALI MOTOR DC MENGGUNAKAN SOFTWARE
MATLAB/SIMULINK DI LABORATORIUM KONVERSI
ENERGI ELEKTRIK ITN MALANG**



**Disusun oleh :
RIAN MAWARDI DAULAY
NIM. 03.12.055**



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

SEPTEMBER 2010

1972

ANALISA SISTEM KONTROL MOTOR DC
SISTEM KONTROL MOTOR DC
SISTEM KONTROL MOTOR DC
SISTEM KONTROL MOTOR DC
SISTEM KONTROL MOTOR DC

1972

1-2 SISTEM KONTROL MOTOR DC
SISTEM KONTROL MOTOR DC
SISTEM KONTROL MOTOR DC
SISTEM KONTROL MOTOR DC

1972

LEMBAR PERSETUJUAN

ANALISA EFFECT HARMONISA DARI PENGGUNAAN SCR (*SILICON CONTROLLED RECTIFIER*) SEBAGAI PENGENDALI MOTOR DC MENGGUNAKAN *SOFTWARE* MATLAB/SIMULINK DI LABORATORIUM KONVERSI ENERGI ELEKTRIK ITN MALANG

SKRIPSI

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

**Disusun Oleh :
RIAN MAWARDI DAULAY
03.12.055**

Malang, September 2010

Diperiksa dan disetujui,

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1



(Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT)

NIP.Y. 1018800189

Dosen Pembimbing I

(Ir. M. Abdul Hamid, MT)

NIP.Y. 1018800188

Dosen Pembimbing II

(Ir. Eko Nurcahyo)

NIP.Y. 1028700172

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



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

**BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

Nama : Rian Mawardi Daulay
NIM : 03.12.055
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
Judul Skripsi : Analisis *Effect* Harmonisa Dari Penggunaan SCR (*Silicon Controlled Rectifier*) Sebagai Pengendali Motor DC Menggunakan *Software* MATLAB/SIMULINK Di Laboratorium Konversi Energi Elektrik ITN Malang
Pertahankan di hadapan majelis penguji Skripsi jenjang Strata satu (S-1) pada :
Hari : Jum'at
Tanggal : 20 Agustus 2010
Rendahan Nilai : 78,7 (B+) *BU*

**PANITIA UJIAN SKRIPSI
Ketua Majelis Penguji**


Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT
NIP. Y. 101 88 00189

ANGGOTA PENGUJI

Penguji I



(Bambang Prio Hartono, ST, MT)
NIP.Y.102 840 0082

Penguji II



(Ir. Choirul Saleh, MT)
NIP.Y.101 880 0190

ANALISA EFFECT HARMONISA DARI PENGGUNAAN SCR (*SILICON CONTROLLED RECTIFIER*) SEBAGAI PENGENDALI MOTOR DC MENGGUNAKAN *SOFTWARE* MATLAB/SIMULINK DI LABORATORIUM KONVERSI ENERGI ELEKTRIK ITN MALANG

Rian Mawardi Daulay, 03.12.055

Teknik Elektro Energi Listrik S-1

Institut Teknologi Nasional Malang

E-mail : rian_coy2003@yahoo.com

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

Dosen Pembimbing II : Ir. Eko Nurcahyo

ABSTRAK

Motor listrik merupakan sebuah perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Motor DC yang biasa dilakukan adalah dengan menggunakan SCR (*Silicon Controlled Rectifier*). Dalam setiap perubahan sudut pemicuan SCR dapat menyebabkan timbulnya Harmonisa, hal ini dapat menyebabkan pengaruh yang tidak diinginkan, antara lain peralatan menjadi panas interfensi sinyal (seperti *noise* yang terjadi pada saluran telepon) dan dapat menyebabkan *overvoltage*.

Pada penelitian ini membahas *effect* harmonisa dari penggunaan SCR (*Silicon Controlled Rectifier*) sebagai pengendali Motor DC melalui pengaturan tegangan, kita dapat mengetahui pengaruh *effect* harmonisa terhadap unjuk kerja Motor DC itu sendiri.

Dari hasil simulasi dan eksperimen yang dilakukan dapat ditarik suatu kesimpulan umum bahwa penggunaan SCR pada setiap sudut pemicuan untuk mengendalikan kecepatan Motor DC dapat menimbulkan distorsi harmonisa sebesar 0.3 %, hal ini disebabkan karena kecepatan motor berbanding langsung dengan tegangan yang diberikan pada jangkar. Matlab *Simulink* merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk pemodelan dan simulasi.

Kata Kunci : Harmonisa, Motor DC, SCR (*Silicon Controlled Rectifier*), Matlab Simulink

KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan berkat-NYA sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik, yang diajukan sebagai syarat untuk menyelesaikan studi di Fakultas Teknologi Industri Jurusan Teknik Elektro Kosentrasi Energi Listrik, Institut Teknologi Nasional Malang.

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

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Abraham Lomi, MSEE. selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang.
2. Bapak Ir. H. Sidik Noertjahjono, selaku dekan Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Nasional Malang.
3. Bapak Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT, selaku ketua jurusan Teknik Elektro S-1.
4. Bapak Ir. M. Abdul Hamid, MT, selaku dosen pembimbing utama
5. Bapak Ir. Eko Nurcahyo, selaku dosen pembimbing pendamping
6. Kedua orang tua serta saudara-saudara kami untuk doa dan dukungannya selama ini
7. Semua pihak yang telah membantu selama penulisan skripsi ini yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa isi skripsi ini kemungkinan masih jauh dari sempurna. Untuk itu penulis sangat mengharapkan saran dan kritik yang membangun dalam penulisan-penulisan selanjutnya.

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

Malang, September 2010

Penulis

DAFTAR ISI

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

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Pembahasan	3
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Metodologi Penelitian	4
1.6. Relevansi	5

BAB II LANDASAN TEORI

2.1. Umum	6
2.2. Prinsip Kerja Motor DC.....	8
2.3. Rangkaian Ekuivalen Motor DC	11
2.4. Jenis-Jenis Motor DC.....	12

2.5. Motor DC Penguatan Terpisah.....	14
2.6. Pengaturan Kecepatan Motor DC.....	16
2.7. Pengaturan Tegangan Jangkar.....	16
2.8. Teori Dasar Harmonisa.....	18
2.8.1. Analisis Deret Fourier.....	19
2.8.2. Sumber-sumber Harmonisa.....	21
2.8.3. Pengaruh Harmonisa Pada Motor.....	22
2.8.4. Standar Harmonisa.....	23
2.8.5. Indeks Harmonisa.....	24
2.8.6. Total Harmonic Distortion (THD).....	24
2.9. Spesifikasi Motor DC.....	25

**BAB III PEMODELAN SCR (*Silicon Controlled Rectifier*) DAN
MOTOR DC**

3.1. SCR (<i>Silicon Controlled Rectifier</i>).....	26
3.2. Matlab Simulink.....	30
3.3. Pemodelan SCR (<i>Silicon Controlled Rectifier</i>) dan Motor DC.....	32
3.4. Alogaritma Pemrograman.....	38
3.4.1. Alogaritma Pemecahan Masalah secara umum.....	38
3.5. Flowchart Pemecahan Masalah secara umum.....	39
3.5.1. Eksperimen.....	39
3.5.2. Simulasi.....	40

BAB IV EKSPERIMEN, SIMULASI DAN HASILNYA

4.1. Pengujian Parameter Motor DC.....	41
4.1.1. Alat-alat Yang Digunakan Dalam Pengujian	41
4.1.2. Data Hasil Pengujian Motor DC.....	42
4.1.3. Menentukan Sudut Penyalaan Pada Rangkaian SCR Untuk Pengendalian Motor DC.....	42
4.2. Eksperimen.....	46
4.2.1. Hasil Eksperimen.....	48
4.2.2. Analisa Hasil Eksperimen.....	50
4.3. Simulasi Motor DC, SCR dan THD Harmonisa Pada <i>Software</i> Matlab <i>Simulink</i>	51
4.3.1. Tampilan Pengujian Parameter Motor DC dan Program Listing THD Harmonisa.....	51
4.3.2. Pemodelan Sistem.....	53
4.4. Hasil Simulasi.....	54
4.4.1. Untuk Kondisi Torsi Beban nol dan Vac=190 V.....	54
4.4.2. Untuk Kondisi Torsi Beban disetting pada 0.5 Nm dan Vac=190 V.....	78
4.5. Analisa Hasil Eksperimen	85
4.5.1. Analisa Hasil Simulasi Pada Torsi Beban nol, dan Tegangan Inputan AC=190 Volt.....	85

4.5.2. Analisa Hasil Simulasi Pada Torsi Beban disetting pada 0.5 Nm, dan Tegangan Inputan AC=190 Volt (Khusus Simulasi).....	87
4.6. Perbandingan Hasil Simulasi dan Eksperimen.....	89
4.6.1. Analisa Hasil Perbandingan Simulasi dan Eksperimen	90

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan	92
5.2. Saran	94

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel 2-1	<i>Voltage Distortion Limits</i>	23
Tabel 2-2	Standar Untuk Arus Harmonisa	24
Tabel 4-1	Data Hasil Pengujian Parameter Motor DC	42
Tabel 4-2	Data Hasil Eksperimen Pengujian SCR Sebagai Pengendali Motor DC.....	48
Tabel 4-3	Data Hasil Eksperimen Pengukuran THD Harmonisa Pada Sudut Pemicuan (α°) = 0° SCR Sebagai Pengendali Motor DC.....	48
Tabel 4-4	Data Hasil Eksperimen Pengukuran THD Harmonisa Pada Sudut Pemicuan (α°) = 30° SCR Sebagai Pengendali Motor DC.....	49
Tabel 4-5	Data Hasil Eksperimen Pengukuran THD Harmonisa Pada Sudut Pemicuan (α°) = 60° SCR Sebagai Pengendali Motor DC	49
Tabel 4-6	Data Hasil Eksperimen Pengukuran THD Harmonisa Pada Sudut Pemicuan (α°) = 90° SCR Sebagai Pengendali Motor DC	50
Tabel 4-7	Hasil Simulasi Pada Torsi Beban nol	84
Tabel 4-8	Hasil Simulasi Pada Torsi Beban disetting pada 0.5 N.m (Khusus Simulasi).....	84
Tabel 4-9	Data Hasil Perbandingan Simulasi dan Eksperimen SCR Sebagai Pengendali Motor DC	89
Tabel 4-10	Data Hasil Perbandingan Simulasi dan Eksperimen THD Harmonisa Arus dan Tegangan SCR Sebagai Pengendali Motor DC.....	89

Tabel 4-11 Data Hasil Perbandingan Simulasi Antara Torsi Beban disetting Pada 0.5 Nm dan Simulasi Torsi Beban nol SCR Sebagai Pengendali Motor DC	89
Tabel 4-12 Data Hasil Perbandingan Simulasi Antara Torsi Beban disetting Pada 0.5 Nm dan Simulasi Torsi Beban nol, THD Harmonisa Arus dan Tegangan SCR Sebagai Pengendali Motor DC	90
Tabel 4-13 Data Hasil Perbandingan Rata-rata Simulasi dan Eksperimen THD Harmonisa Arus dan Tegangan SCR Sebagai Pengendali Motor DC	93

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1	Motor DC	7
Gambar 2-2	Konstruksi Motor DC	7
Gambar 2-3	Interaksi antara Medan Magnet dan Penghantaryang dialiri Arus	8
Gambar 2-4	Rangkaian Ekvivalen Motor DC	11
Gambar 2-5	Rangkaian jenis Motor DC penguatan terpisah.....	13
Gambar 2-6	Rangkaian jenis Motor DC penguatan sendiri	13
Gambar 2-7	Diagram skematik jangkar magnet terkontrol Motor DC.....	17
Gambar 3-1	Simbol dan Karakteristik SCR	26
Gambar 3-2	Bias Maju SCR pada Siklus Setengah gelombang	28
Gambar 3-3	SCR <i>Phase Controll</i>	28
Gambar 3-4	Rangkaian Pengendali SCR pada Motor DC	29
Gambar 3-5	<i>Simulink Library</i> pada Matlab 7.0	30
Gambar 3-6	Contoh Penggunaan Simulink	31
Gambar 3-7	Contoh Tampilan <i>M-Files</i>	32
Gambar 3-8	(a). Contoh tampilan blok <i>Function 1</i>	33
Gambar 3-8	(b). Blok parameter <i>function 1, function</i> pemicuan sudut SCR... 33	
Gambar 3-9	(a). Contoh tampilan blok <i>Function 2</i>	34
Gambar 3-9	(b). Blok parameter <i>function 1, function</i> pemicuan sudut SCR... 34	
Gambar 3-10	Contoh blok Motor DC pada Matlab Simulink	35
Gambar 3-11	Contoh blok parameter Motor DC pada Matlab Simulink.....	35

Gambar 3-12 Tampilan <i>M-Files</i> Parameter THD Harmonisa SCR Sebagai Pengendali Motor DC	36
Gambar 3-13 Blok Simulink <i>Effect</i> Harmonisa SCR sebagai pengendali Motor DC.....	37
Gambar 4-1 Rangkaian Eksperimen Pengujian <i>Effect</i> Harmonisa Dari SCR Sebagai Pengendali Motor DC	46
Gambar 4-2 Hasil Eksperimen Gelombang Vdc Pada Sudut Pemicuan SCR ($\alpha^0 = 0^0$)	46
Gambar 4-3 Hasil Eksperimen Gelombang Vdc Pada Sudut Pemicuan SCR ($\alpha^0 = 30^0$)	47
Gambar 4-4 Hasil Eksperimen Gelombang Vdc Pada Sudut Pemicuan SCR ($\alpha^0 = 45^0$)	47
Gambar 4-5 Hasil Eksperimen Gelombang Vdc Pada Sudut Pemicuan SCR ($\alpha^0 = 60^0$)	47
Gambar 4-6 <i>Block</i> Parameter Motor DC.....	51
Gambar 4-7 Tampilan <i>M-files</i> Program <i>Listing</i> Parameter THD Harmonisa..	52
Gambar 4-8 Model <i>Block</i> Simulink <i>Effect</i> Harmonisa Dari SCR Sebagai Pengendali Motor DC	53
Gambar 4-9 Model <i>Block</i> Simulink Untuk Kondisi Sudut Pemicuan SCR ($\alpha^0 = 0^0$) Dengan Torsi Beban Nol.....	54
Gambar 4-10 Hasil Simulasi Vac pada sudut pemicuan SCR ($\alpha^0 = 0^0$) Dengan kondisi Torsi Beban nol	55

Gambar 4-11 Hasil Simulasi Vdc pada sudut pemicuan SCR (α^0) = 0^0 dengan kondisi Torsi Beban nol.....	56
Gambar 4-12 Hasil Simulasi Idc pada sudut pemicuan SCR (α^0) = 0^0 dengan kondisi Torsi Beban nol.....	57
Gambar 4-13 Hasil Simulasi THD Harmonisa Tegangan Pada Sudut Pemicuan SCR (α^0) = 0^0	58
Gambar 4-14 Hasil Simulasi THD Harmonisa Arus Pada Sudut Pemicuan SCR (α^0) = 0^0	59
Gambar 4-15 Block Simulink Untuk Kondisi Sudut Pemicuan SCR (α^0) = 30^0 Dengan Torsi Beban nol.....	60
Gambar 4-16 Hasil Simulasi Vdc Pada Sudut Pemicuan SCR (α^0) = 30^0 Dengan Torsi Beban nol.....	61
Gambar 4-17 Hasil Simulasi Idc Pada Sudut Pemicuan SCR (α^0) = 30^0 Dengan Torsi Beban nol.....	63
Gambar 4-18 Hasil Simulasi THD Harmonisa Tegangan pada sudut pemicuan SCR (α^0) = 30^0 dengan kondisi Torsi Beban nol.....	64
Gambar 4-19 Hasil Simulasi THD Harmonisa Arus pada sudut pemicuan SCR (α^0) = 30^0 dengan kondisi Torsi Beban nol.....	65
Gambar 4-20 Block Simulink Untuk Kondisi Sudut Pemicuan SCR (α^0) = 45^0 Dengan Torsi Beban nol	66
Gambar 4-21 Hasil Simulasi Vdc pada sudut pemicuan SCR (α^0) = 45^0 dengan kondisi Torsi Beban nol.....	67

Gambar 4-22 Hasil Simulasi Idc pada sudut pemicuan SCR (α^0) = 45 ⁰ dengan kondisi Torsi Beban nol.....	69
Gambar 4-23 Hasil Simulasi THD Harmonisa Tegangan pada sudut pemicuan SCR (α^0) = 45 ⁰ dengan kondisi Torsi Beban nol.....	70
Gambar 4-24 Hasil Simulasi THD Harmonisa Arus pada sudut pemicuan SCR (α^0) = 45 ⁰ dengan kondisi Torsi Beban nol.....	71
Gambar 4-25 Block Simulink Untuk Kondisi Sudut Pemicuan SCR (α^0) = 60 ⁰ Dengan Torsi Beban nol.....	72
Gambar 4-26 Hasil Simulasi Vdc pada sudut pemicuan SCR (α^0) = 60 ⁰ Dengan Kondisi Torsi Beban nol	73
Gambar 4-27 Hasil Simulasi Idc pada sudut pemicuan SCR (α^0) = 60 ⁰ Dengan Kondisi Torsi Beban nol.....	75
Gambar 4-28 Hasil Simulasi THD Harmonisa Tegangan Pada Sudut Pemicuan SCR (α^0) = 60 ⁰ Pada Kondisi Torsi Beban nol.....	76
Gambar 4-29 Hasil Simulasi THD Harmonisa Arus Pada Sudut Pemicuan SCR (α^0) = 60 ⁰ Pada Kondisi Torsi Beban nol	77
Gambar 4-30 Block <i>Simulink</i> Untuk Kondisi Sudut Pemicuan SCR (α^0) = 0 ⁰ Dengan Torsi Beban di <i>setting</i> Pada 0.5 N.m.....	78
Gambar 4-31 Hasil Simulasi Vac Pada Sudut Pemicuan SCR (α^0) = 0 ⁰ Dengan Kondisi Torsi Beban di <i>setting</i> Pada 0.5 N.m	79
Gambar 4-32 Hasil Simulasi Vdc Pada Sudut Pemicuan SCR (α^0) = 0 ⁰ Dengan Kondisi Torsi Beban di <i>setting</i> Pada 0.5 N.m	80

Gambar 4-33 Hasil Simulasi Idc Pada Sudut Pemicuan SCR (α^0) = 0⁰ Dengan Kondisi Torsi Beban di *setting* Pada 0.5 N.m 81

Gambar 4-34 Hasil Simulasi THD Harmonisa Tegangan Pada Sudut Pemicuan SCR (α^0) = 0⁰ Pada Kondisi Torsi Beban Di *setting* Pada 0.5 N.m 82

Gambar 4-35 Hasil Simulasi THD Harmonisa Arus Pada Sudut Pemicuan SCR (α^0) = 0⁰ Pada Kondisi Torsi Beban Di *setting* Pada 0.5 N.m 81

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Motor listrik merupakan sebuah perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini digunakan untuk misalnya, memutar *impeller* pompa, fan atau blower, menggerakkan kompresor, mengangkat bahan, dll. Motor listrik digunakan juga di rumah (*mixer*, bor listrik, fan angin) dan di industri. Motor listrik kadangkala disebut “kuda kerja”-nya industri sebab diperkirakan bahwa motor-motor menggunakan sekitar 70% beban listrik total di industri. ^[1]

Motor DC digunakan pada penggunaan khusus dimana diperlukan penyalan *torque* yang tinggi atau percepatan yang tetap untuk kisaran kecepatan yang luas. Keuntungan utama Motor DC adalah sebagai pengendali kecepatan, yang tidak mempengaruhi kualitas pasokan daya. Penggunaan motor arus searah sudah sangat dikenal secara luas. Keuntungan-keuntungan yang menonjol akan penggunaan motor-motor arus searah tersebut timbul dengan penunjukan karakteristik operasinya. Motor DC secara luas dipergunakan dalam berbagai macam penerapan yang memerlukan putaran yang dapat diatur dan beberapa penerapannya digunakan pada industri kecil, industri kertas dan lain-lain.

Sistem kendali memegang peranan yang sangat penting dalam perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Sistem proses pengontrolan

secara luas digunakan pada industri yang menggunakan mesin yang bekerja bersama-sama untuk melakukan suatu operasi tertentu. Sekarang ini *converter* elektronika daya banyak digunakan dikalangan luas, Salah satunya adalah SCR (*Silicon Controlled Rectifier*)^[7]. Pengendalian Motor DC sangat diperlukan apabila motor tersebut akan digunakan pada kecepatan yang diinginkan. Salah satu cara pengendalian Motor DC yang biasa dilakukan adalah dengan menggunakan SCR (*Silicon Controlled Rectifier*). Dalam setiap perubahan sudut pemicuan SCR dapat menyebabkan timbulnya Harmonisa, hal ini dapat menyebabkan pengaruh yang tidak diinginkan, antara lain peralatan menjadi panas interfensi sinyal (seperti *noise* yang terjadi pada saluran telepon) dan dapat menyebabkan *overvoltage*.^[7]

Simulasi komputer sering dipilih untuk mempelajari kinerja peralihan dan kendali atau untuk mencoba rancangan-rancangan konseptual. Simulasi dapat sangat membantu pemahaman terhadap tingkah laku dinamik dan interaksinya yang sering kali tidak nampak dalam teori yang dibaca untuk dilanjutkan pada sistem yang nyata dalam bentuk percobaan.

Dengan menggunakan bantuan *software* MATLAB versi 7.0 kita dapat menganalisa *Effect* Harmonisa Dari Penggunaan SCR (*Silicon Controlled Rectifier*) Sebagai pengendali Motor DC dengan membentuk blok-blok *transfer function* dari persamaan matematika motor DC yang telah diketahui.^[6]

1.2. Rumusan Masalah

1. Bagaimana menganalisa *Effect* Harmonisa dari Penggunaan SCR (*Sillicon Controlled Rectifier*) sebagai pengendali Motor DC dengan bantuan *software* MATLAB 7.0.
2. Bagaimana membentuk blok-blok *Transfer Function* sehingga perubahan Arus, Tegangan, Kecepatan dan THD Harmonisa dapat diketahui.

1.3. Tujuan Pembahasan

Tujuan pembahasan skripsi ini adalah Menganalisa Effect Harmonisa dari penggunaan SCR (*Silicon Controlled Rectifier*) Sebagai Pengendali Motor DC dengan menggunakan *software* MATLAB *Simulink*.

1.4. Batasan Masalah

Agar pembahasan dalam skripsi akan lebih terarah sesuai dengan tujuan dan judul yang ada, maka permasalahan dibatasi oleh beberapa hal sebagai berikut :

- a. Analisis dilakukan pada :
 - Motor DC Shunt DE LORENZO/DL1022, 1,1 kW.
 - Tegangan nominal jangkar (V_a) : 220 V,
 - Arus nominal jangkar (I_a) : 6,5 A ,
 - Tegangan nominal medan (V_f) : 190 V,
 - Putaran (N) : 3000 rpm.
- b. Analisa Menggunakan Simulink yang dibentuk menggunakan *transfer function* dari persamaan matematika.

- c. Sistem kontrol yang digunakan adalah sistem kontrol SCR
- d. Pembahasan lebih ditekankan pada *Effect* Harmonisa pengendalian SCR pada Motor DC terhadap perubahan tegangan, arus, kecepatan dan THD harmonisa.
- e. Pembahasan lebih kepada Motor DC penguatan terpisah.
- f. Tidak membahas Pemasangan Filter Harmonisa Untuk Meminimalisir harmonisa yang ditimbulkan oleh SCR sebagai pengendali Motor DC
- g. Hanya membandingkan antara antara hasil Eksperimen yang dilakukan dengan hasil Simulasi menggunakan *Software* Matlab Simulink di Lab. Konversi Energi Elektrik ITN Malang.
- h. Tidak membahas sistem proteksi motor.

1.5. Metodologi Penelitian

Dalam melaksanakan penulisan skripsi ini metodologi penelitian yang dilakukan sebagai berikut:

- a. Studi literatur

Pengumpulan bahan yang berkaitan dengan Harmonisa, SCR dan Motor DC serta penurunan rumus – rumus yang digunakan dalam skripsi ini.

- b. Pengumpulan Data

Melakukan percobaan dan pengambilan data dari THD Harmonisa, SCR dan Motor DC yang akan dianalisa.

- c. Melakukan analisa dari data untuk parameter-parameter yang akan digunakan.
- d. Melakukan simulasi dari data yang ada ke dalam blok *Simulink* dengan bantuan *Software* MATLAB versi 7.0
- e. Menganalisa hasil Simulasi
- f. Menarik Kesimpulan.

1.6. Relevansi

Dengan adanya analisa *Effect* Harmonisa dari penggunaan SCR (*silicon controlled rectifier*) sebagai pengendali Motor DC melalui pengaturan tegangan kita dapat mengetahui pengaruh unjuk kerja Motor DC serta kita dapat menentukan kapan Motor DC tersebut memerlukan pengaturan tegangan atau tidak. Selain itu kita juga akan mengetahui dampak apa saja yang timbul pada unjuk kerja dari Motor DC.

BAB II

LANDASAN TEORI

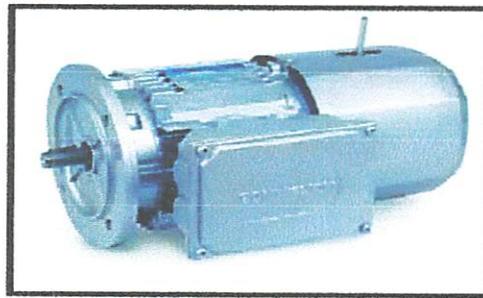
2.1. Umum^[3]

Motor DC adalah elektromagnetis yang mengubah daya listrik menjadi daya mekanis dengan arus searah sebagai suplai energi listriknya. Motor DC terdiri dari dua bagian dasar yaitu *stator* dan *rotor*. Stator merupakan bagian dari Motor DC yang tidak bergerak sedangkan rotor merupakan bagian yang bergerak. Pada stator terdapat belitan yang dinamakan belitan medan karena berfungsi menghasilkan medan magnet, sedangkan pada rotor terdapat belitan yang dinamakan belitan jangkar karena berfungsi membawa arus beban. Pada poros rotor terdapat komutator dan sikat, komutator bergerak bersamaan dengan poros rotor sedangkan sikat tidak bergerak tetapi menyentuh komutator. Komutator merupakan selinder yang terbuat dari beberapa segmen tembaga yang terisolasi satu sama lain, dan sikat terbuat dari bahan karbon. Komutator dan sikat bersamaan berfungsi sebagai penyearah. *Gambar 2.2* merupakan gambar konstruksi Motor DC.

Penggunaan Motor arus searah sudah sangat dikenal secara luas. Keuntungan-keuntungan yang menonjol akan penggunaan motor-motor arus searah tersebut timbul dengan menunjukkan karakteristik operasinya. Motor DC secara luas dipergunakan dalam berbagai macam penerapan yang memerlukan

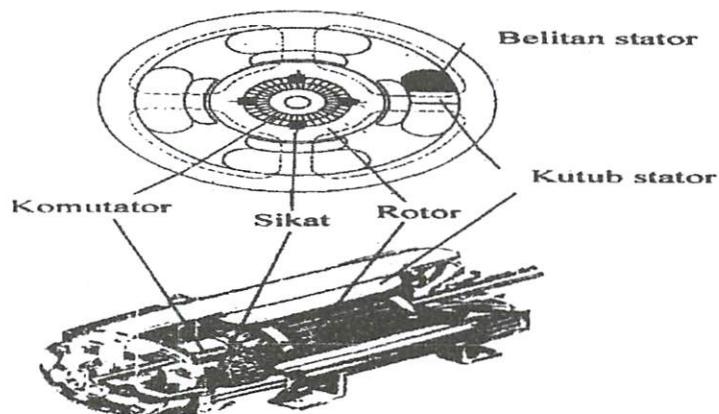
putaran yang dapat diatur dengan beberapa penerapannya digunakan pada industri tekstil, industri kertas dan lain-lain.

Motor DC terutama Motor DC penguatan terpisah mempunyai keunggulan-keunggulan tersendiri, yang mana Motor DC penguatan terpisah ini mempunyai kecepatan yang hampir konstan pada tegangan jepit yang konstan meskipun terjadi perubahan beban.



Gambar 2.1. Motor DC^[6]

Sumber: www.NEETS.com

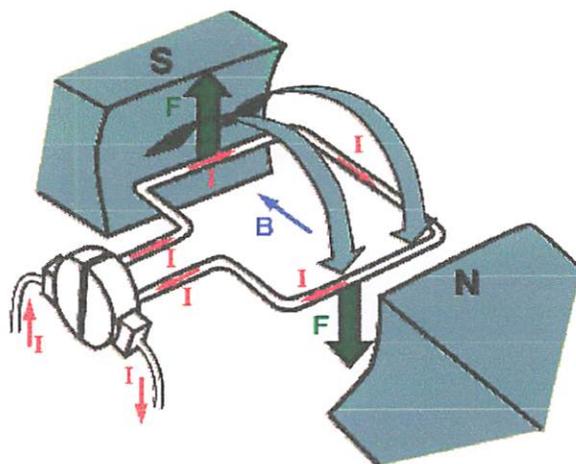


Gambar 2.2. Konstruksi Motor DC^[6]

Sumber: www.NEETS.com

2.2. Prinsip Kerja Motor DC^[7]

Prinsip kerja motor DC berdasarkan pada penghantar yang dialiri arus ditempatkan dalam suatu medan magnet sehingga penghantar tersebut akan mengalami gaya. Gaya menimbulkan torsi sehingga menghasilkan putaran. Penghantar yang berputar akan menimbulkan tegangan AC sehingga diubah menjadi tegangan DC oleh komutator dan sikat.



Gambar 2.3 Interaksi Antara Medan Magnet Dan Penghantar Yang Dialiri Arus

Sumber: www.Hyperphysics.com

Gaya yang dihasilkan sebesar: (Cathey, 2001:50)

$$F = B.I.l \dots \dots \dots (2-1)$$

Gaya itu menimbulkan torsi sebesar:

$$T = F.r \dots \dots \dots (2-2)$$

$$T = B.I.l.r$$

Dengan:

$F = \text{Gaya (N)}$.

$B = \text{Rapat fluks (T)}$.

$I = \text{Arus yang mengalir pada penghantar (A)}$.

$l = \text{Panjang penghantar (m)}$.

$r = \text{Jari-jari inti jangkar (m)}$.

$T = \text{Teorsi (Nm)}$.

Jangkar memiliki jumlah penghantar dan cabang paralel penghantar sehingga dari persamaan (2-10 dan (2-2) didapatkan:

$$T = \frac{Z}{a} B \cdot I_a \cdot l \cdot f \dots \dots \dots (2-3)$$

Dengan:

$Z = \text{Jumlah penghantar jangkar}$.

$a = \text{Jumlah cabang paralel penghantar jangkar yang berada diantara sikat}$.

$I_a = \text{Arus jangkar (A)}$.

Rapat fluks yang dihasilkan sebesar:

$$B = \frac{\phi \cdot p}{2\pi \cdot r \cdot l} \dots \dots \dots (2-4)$$

Jika persamaan (2-4) diberikan persamaan (2-3) didapatkan:

$$T = \frac{z}{a} B \cdot I_a \cdot l \cdot r = \frac{z}{a} \frac{\phi \cdot p}{2\pi \cdot r \cdot l} B \cdot I_a \cdot l \cdot r$$

Maka didapatkan nilai T sebesar:

$$T = \frac{P \cdot Z}{2\pi \cdot a} \phi \cdot I_a \dots \dots \dots (2-5)$$

Dimana telah diketahui bahwa besarnya nilai pada motor DC sebagai berikut:

$$K = K \cdot \phi \cdot I_a \dots \dots \dots (2-6)$$

Dengan:

P = Jumlah kutub stator.

ϕ = Fluks tiap kutub stator (Wb).

K = Konstanta mesin.

Putaran jangkar yang berada dalam medan magnet akan menghasilkan gaya gerak listrik lawan sebesar:

$$E_a = K \cdot \phi \cdot \omega_m \dots \dots \dots (2-7)$$

Daya yang dihasilkan sebesar:

$$P = E_a \cdot I_a \dots \dots \dots (2-8)$$

Dari persamaan (2-7) dan (2-8):

$$P = K \cdot \phi \cdot I_a \cdot \omega_m \dots \dots \dots (2-9)$$

$$P = T \cdot \omega_m \dots \dots \dots (2-10)$$

Dengan:

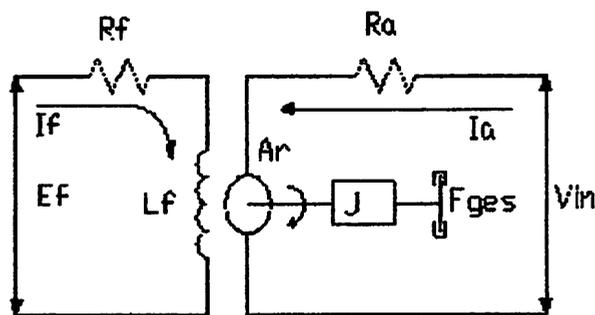
E_a = Gaya gerak listrik lawan (V).

P = Daya (W).

ω_m = Putaran (rad/s).

2.3. Rangkaian Ekuivalen Motor DC^[5]

Motor DC berdasarkan jenis penguatannya terbagi menjadi 2 yaitu: Motor DC pengutan terpisah dan Motor DC pengutan sendiri. Pengutan pada Motor DC diberikan oleh belitan medan sehingga jenis penguatan Motor DC berdasarkan pada cara pemberian catu tegangan pada belitan medan akan menimbulkan medan magnet.



Gambar 2.4. Rangkaian Ekuivalen Motor DC
Sumber: Cathei, 2001: 242

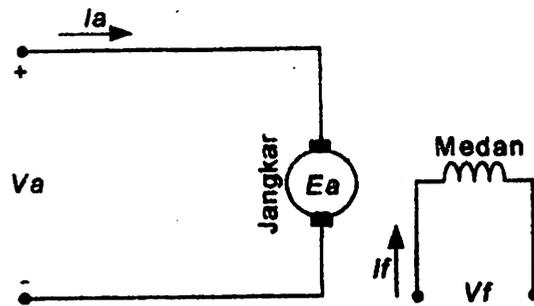
Dimana:

- R_f : Resistansi belitan medan (Ohm)
- E_f : Tegangan catu medan (volt)
- I_f : Arus medan (Amp)
- A_r : Tegangan armature (volt)
- J : Momen inersia ($\text{Kg} \cdot \text{det}^2$)
- F_{ges} : Koefisien gesek ($\text{N} \cdot \text{m} / \text{rad} / \text{det}$)
- R_a : Resistansi armature (Ohm)
- V_{in} : Tegangan input motor DC (Volt)

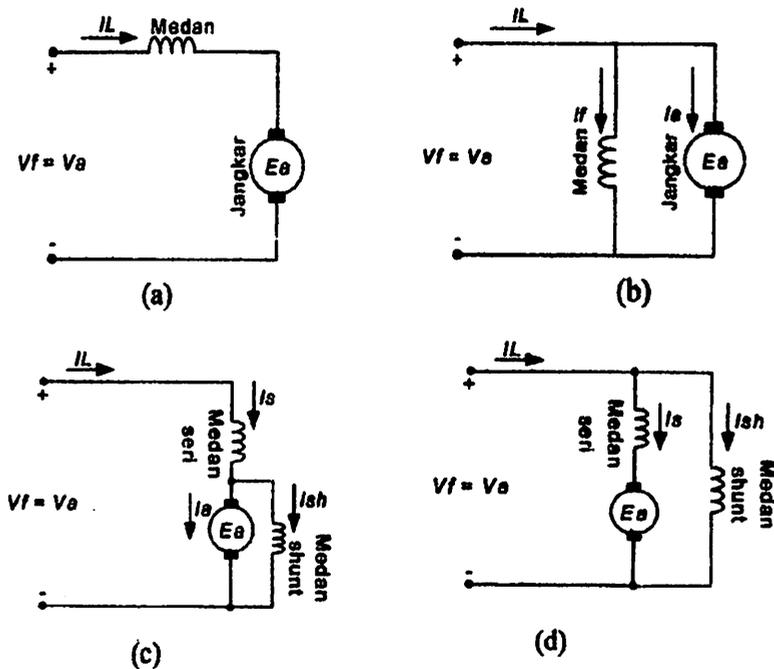
2.4. Jenis-Jenis Motor DC^[6]

Motor DC berdasarkan jenis penguatannya terdiri menjadi 2 yaitu: Motor DC penguatan terpisah dan Motor DC penguatan sendiri. Penguatan pada Motor DC diberikan oleh belitan medan sehingga jenis penguatan Motor DC berdasarkan pada cara pemberian catu tegangan pada belitan medan yang akan menimbulkan medan magnet.

Motor DC penguatan terpisah dicatu oleh dua sumber tegangan terpisah pada belitan medan dan belitan jangkarnya. Motor DC penguatan sendiri berdasarkan cara menghubungkan belitan medan dan belitan jangkarnya terbagi menjadi tiga yaitu Motor DC *shunt*, seri dan kompon. Motor DC *shunt* belitan medan dan belitan jangkarnya dihubungkan paralel, Motor DC seri belitan medan dan belitan jangkar dihubungkan seri, sedangkan Motor DC kompon merupakan penggabungan dari Motor DC *shunt* dan Motor DC *seri* yang terbagi menjadi dua macam yaitu: kompon panjang dan kompon pendek seperti pada *gambar 2.4*. Motor DC penguatan terpisah dibandingkan Motor DC penguatan sendiri memiliki kelebihan dalam pengaturan tegangan sememnya yaitu pengaturan tegangan jangkar dan pengaturan tegangan medan sehingga memiliki jangkauan pengaturan yang lebih luas.



Gambar 2.5. Rangkaian jenis motor penguatan terpisah
Sumber: Cathei, 2001: 242



Gambar 2.6. Rangkaian jenis Motor DC penguatan sendiri (a) Seri. (b) Shunt.
(c) Kompon Pendek. (d) Kompon Panjang
Sumber: Cathei, 2001: 242

Untuk selanjutnya di sini hanya akan di tinjau Motor DC penguatan terpisah.

2.5. Motor DC Penguatan Terpisah^[2]

Rangkaian Motor DC penguatan terpisah seperti pada *gambar 2.3.* terdiri atas belitan medan dan belitan jangkar yang modelnya dapat diwakili oleh unsur-unsur resistansi dan induktansi. Berdasarkan rangkaian tersebut didapatkan persamaan: (Slemon, 1992:146)

$$V_f = R_f \cdot I_f + L_f \frac{dI_f}{dt} \dots\dots\dots (2-11)$$

$$V_a = E_a + I_a \cdot R_a + L_a \frac{dI_a}{dt} \dots\dots\dots (2-12)$$

Jika persamaan (2-7) diberikan ke persamaan (2-12) didapatkan :

$$V_a + K \cdot \phi \cdot \omega_m + I_a \cdot R_a + L_a \frac{dI_a}{dt} \dots\dots\dots (2-13)$$

Berdasarkan persamaan (2-6) untuk model mekanis Motor DC penguatan terpisah adalah : $T = J \frac{d\omega}{dt} + B \cdot \omega + T_w \dots\dots\dots (2-14)$

dengan :

V_f = Tegangan medan (V)

L_f = Induktansi belitan medan (H)

R_f = Resistansi belitan medan (Ω)

I_f = Arus medan (A)

V_a = Tegangan Jangkar (V)

L_a = Induktansi belitan jangkar (H)

R_a = Resistansi belitan jangkar (Ω)

I_a = Arus jangkar (A)

J = Momen inersia (kg.m^2)

B = Koefisien gesekan motor $\{\text{Nm}/(\text{rad/s})\}$

T_w = Torsi beban (Nm)

Untuk operasi Motor dalam keadaan mantap pada persamaan (2-11), (2-12), (2-13), dan (2-14) turunan terhadap waktunya adalah nol sehingga persamaannya berturut-turut menjadi :

$$V_f = R_f \cdot I_f \dots \dots \dots (2-15)$$

$$V_a = E_a + I_a \cdot R_a \dots \dots \dots (2-16)$$

$$V_a = K \cdot \phi \cdot \omega_m + I_a \cdot R_a \dots \dots \dots (2-17)$$

$$T = B \cdot \omega + T_w \dots \dots \dots (2-18)$$

Untuk menghitung kinerja dari Motor DC maka digunakan keempat persamaan di atas, yang terdiri atas tiga persamaan sistem listrik pada jangkar dan medan yaitu : persamaan (2-15), (2-16), (2-17) dan satu persamaan sistem mekanik pada poros rotor yaitu persamaan (2-18).

Berdasarkan persamaan (2-17) didapatkan hubungan antara torsi dan kecepatan Motor DC penguatan terpisah sebagai berikut :

$$\omega = \frac{V_a - I_a \cdot R_a}{(K \cdot \phi)} \dots \dots \dots (2-19)$$

2.6. Pengaturan Kecepatan Motor DC^[1]

Motor DC merupakan mesin penggerak yang banyak digunakan karena memiliki kelebihan pada pengaturan kecepatannya. Pada umumnya pengaturan kecepatan Motor DC penguatan terpisah dan Motor DC penguatan sendiri hampir sama. Pengaturan kecepatan pada Motor DC penguatan terpisah lebih luas dibandingkan pengaturan kecepatan pada Motor DC penguatan sendiri dikarenakan Motor DC penguatan terpisah dicatu oleh dua sumber.

Untuk selanjutnya di sini hanya akan ditinjau pengaturan kecepatan Motor DC penguatan terpisah.

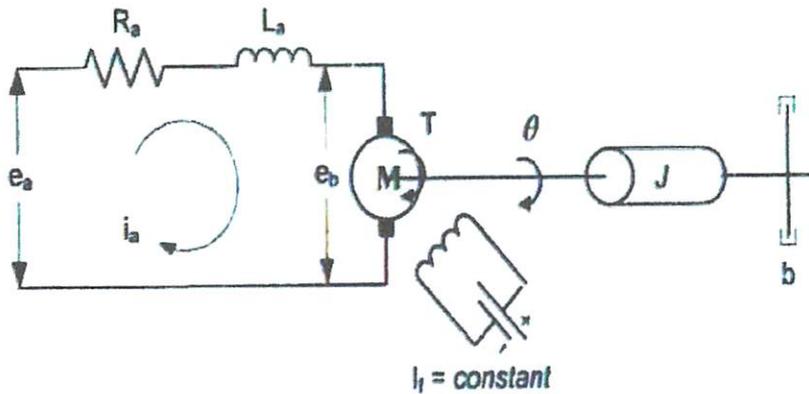
Kecepatan Motor DC penguatan terpisah dapat diatur sesuai persamaan (2-19) dengan menggunakan tiga metode yaitu :

- Pengaturan fluksi/medan
- Pengaturan resistansi jangkar
- Pengaturan tegangan jangkar

Untuk selanjutnya disini hanya akan ditinjau Motor DC penguatan terpisah dengan pengaturan jangkar.

2.7. Pengaturan Tegangan Jangkar^[5]

Pada metode ini resistansi jangkar dan sisi medannya dijaga konstan sehingga pengaturan hanya dilakukan pada tegangan jangkarnya. Pengaturan kecepatan dilakukan dan dengan mengatur tegangan jangkar seperti pada *Gambar 2-5*.



Gambar 2.7. Diagram Skematik Jangkar-Magnet Terkontrol Motor DC
 Sumber : Ogata, 1996 : 130

Dimana :

- R_a = Tahanan Kumparan Jangkar (Ohm)
- L_a = Induktansi Kumparan Jangkar (Henry)
- E_a = Tegangan yang dikenakan pada Jangkar (Volt)
- e_b = Gaya gerak listrik (ggl) lawan Motor (Volt)
- I_a = Arus kumparan Jangkar (Ampere)
- i_f = Arus Medan (Ampere)
- θ = Perpindahan sudut dari poros Motor (radian)
- T = Torsi yang diberikan oleh Motor (radian)
- J = Momen Inersia ekivalen dari Motor dan beban pada poros
 (Kg.m²)
- b = koefisien gesek (Nm/rad/det)

2.8 Teori Dasar Harmonisa^[8]

Pada sistem tenaga listrik AC ideal, energi listrik disalurkan dalam frekuensi tunggal yaitu (50 Hz di Indonesia) yang konstan dan dengan bentuk gelombang yang sinusoidal. Tetapi dengan perkembangan beban listrik yang semakin besar dan kompleks, terutama penggunaan beban-beban non-linear dapat menimbulkan harmonisa yang berakibat terjadinya perubahan pada bentuk gelombangnya.

Harmonisa adalah gangguan yang terjadi pada sistem distribusi tenaga listrik akibat terjadinya distorsi gelombang arus dan tegangan. Pada dasarnya, harmonisa adalah gejala pembentukan gelombang-gelombang dengan frekuensi berbeda yang merupakan perkalian bilangan bulat dengan frekuensi dasarnya.

Misalnya, frekuensi dasar suatu sistem tenaga listrik adalah 50 Hz, maka harmonisa keduanya adalah gelombang dengan frekuensi sebesar 100 Hz, harmonisa ketiga adalah gelombang dengan frekuensi sebesar 150 Hz dan seterusnya. Hal ini disebut frekuensi harmonik yang timbul pada bentuk gelombang aslinya

Kebanyakan beban yang mengandung konverter (*static converter*). dapat menyebabkan cacat gelombang (*deforming loads*) selain itu pengaruh harmonisa pada motor-motor listrik pada umumnya dapat menyebabkan antara lain Rugi-rugi arus bocor, Rugi-rugi tembaga dan besi serta beda fasa.

2.8.1 Analisis Deret Fourier^[7]

Teori *Fourier Series* (deret Fourier) pertama kali diperkenalkan oleh ahli fisika dan matematika Joseph Fourier. Teori ini membuktikan bahwa suatu fungsi periodik dalam jangka waktu tertentu dapat direpresentasikan dengan penjumlahan komponen harmonisa dan kelanjutan orde yang lebih tinggi pada frekuensinya yang merupakan kelipatan dari komponen dasarnya.

Menurut metode Fourier, suatu fungsi dapat diuraikan menjadi fungsi-fungsi sinusoidal dengan frekuensi, amplitudo, dan sudut fasa tertentu jika memenuhi syarat – syarat :

- a. Merupakan fungsi periodik.

$$x(t) = x(t + T), \quad T = \text{periode.}$$

- b. Merupakan fungsi kontinu atau fungsi tak kontinu dengan jumlah ketidakkontinyuan yang tertentu selama satu periode.
- c. Dalam suatu periode T, fungsi harus mempunyai harga maksimum atau minimum yang jumlahnya tertentu.
- d. Dalam suatu periode T, fungsi harus mempunyai harga rata-rata tertentu.

Apabila syarat-syarat di atas terpenuhi, maka fungsi $x(t)$ dapat diuraikan menjadi deret Fourier yang bentuknya :

$$f(\omega t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos \omega n t + b_n \sin \omega n t) \dots\dots\dots (2.1)$$

dengan :

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_0^T f(\omega t) d(\omega t) \dots\dots\dots(2.2)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(\omega t) \cos(n\omega t) d(\omega t) \dots\dots\dots(2.3)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(\omega t) \sin(n\omega t) d(\omega t) \dots\dots\dots(2.4)$$

Penyederhanaan analisis Fourier dapat dilakukan dengan menggunakan sifat

– sifat khusus sebagai berikut :

- a. Bila luas siklus positif dan negatif dalam satu periode sama maka $a_0 = 0$.
- b. Bila $f(\omega t) = -f(\omega t + \pi)$ atau fungsi mempunyai simetri setengah gelombang maka tidak akan muncul harmonisa orde genap.
- c. Bila fungsi merupakan fungsi genap, biasanya simetri terhadap sumbu y, $f(\omega t) = f(\omega t)$, maka $b_n = 0$.
- d. Bila fungsi merupakan fungsi ganjil, $-f(\omega t) = f(-\omega t)$, maka $a_n = 0$.

Dengan analisis Fourier pada bentuk gelombang arus yang diserap oleh komponen atau beban penyebab harmonisa, maka dapat ditentukan komponen – komponen harmonisa yang dibangkitkan.

2.8.2 Sumber-Sumber Harmonisa^[7]

Konverter

Kebanyakan beban yang menimbulkan cacat gelombang (*deforming loads*) adalah beban-beban yang mengandung konverter (*static converter*). Beberapa contoh yang umum antara lain :

- a. Lampu *flourescent*, dimmer.
- b. Komputer.
- c. Perangkat elektronik untuk rumah tangga (TV, *microwave*, pemanas).
- d. *Variable speed drive* (VSD).
- e. *Charger* baterai.
- f. *Uninterruptible Power Supply* (UPS).

Tanur Busur Listrik (*Electric Arc Furnace*)^[7]

Tanur busur listrik berfungsi untuk melebur biji besi dalam industri logam. Tanur busur listrik adalah elemen beban yang tidak linier dan inilah yang menyebabkan timbulnya arus harmonisa yang cukup besar pada jaringan yang terhubung dengan tanur busur listrik.

Penggunaan tanur busur listrik sering kali menimbulkan gangguan terhadap jaringan. Gangguan tersebut antara lain :

- a. Distorsi harmonisa.
- b. Kedip tegangan (*flicker*).
- c. Goncangan frekuensi.

d. Ketidakseimbangan tegangan.

Busur listrik yang terjadi selama tanur busur listrik beroperasi hampir selalu tidak dalam keadaan stabil. Hal ini disebabkan oleh pengaruh perubahan elektroda, interaksi gaya elektromagnetik busur dan pengaruh riak permukaan biji yang telah melebur.

2.8.3 Pengaruh Harmonisa Pada Motor^[8]

Harmonisa pada tegangan dan arus memberikan tambahan kerugian energi kumparan stator, rotor, dan juga pada inti besi rotor maupun statornya. Macam-macam pengaruh harmonisa pada motor yang muncul adalah:

- *Rugi-rugi arus bocor*

Kerugian atau *losses* arus bocor yang di alami pada kumparan stator dan rotor jauh lebih besar dibanding yang disebabkan *eddy current* dan *skin effect*. Hal ini disebabkan oleh arus harmonisa memperbesar arus bocor yang telah terjadi di stator dan rotor. Stator difungsikan untuk menginduksi tegangan dan rotor menimbulkan arus pada slot-slotnya.

- *Rugi-rugi besi dan tembaga*

Fluks yang timbul dari penginduksian tegangan dan stator yang kemudian timbul arus yang ada di slot-slot rotor dapat menimbulkan gerak relatif putar. Perubahan fluks yang terjadi pada rotor dan stator akan menimbulkan frekuensi harmonisa yang tinggi yang akan menghasilkan rugi-rugi besi dan tembaga pada stator dan rotor tersebut.

2.8.4 Standar Harmonisa^[7]

Standar harmonisa yang digunakan adalah standar IEEE 519. Ada dua kriteria yang digunakan untuk mengevaluasi distorsi harmonisa. Yang pertama adalah batasan harmonisa arus, dan yang kedua adalah batasan harmonisa tegangan. Untuk standard harmonisa arus, ditentukan oleh rasio ISC/IL.

% VTHD adalah persentase jumlah total tegangan yang terdistorsi oleh harmonisa terhadap frekuensi fundamentalnya, dan % ITHD adalah persentase jumlah total arus yang terdistorsi oleh harmonisa terhadap frekuensi fundamentalnya.

Untuk tegangan, standard harmonisanya ditentukan oleh tegangan sistem yang dipakai seperti pada Tabel 2.1. Dalam tabel tersebut, tegangan yang dipakai adalah antara 120 V sampai 69 kV. Untuk tegangan 69 kV sampai dengan 161 kV dipakai standar limitasi untuk sistem subtransmisi.

Tabel 2.1 Voltage Distortion Limits^[7]

Voltage at PCC	Individual voltage Distortion (%)	Total Voltage Distortion THD (%)
69 kV and below	3,0	5,0
69 kV – 161 kV	1,5	1,5
161 kV	1,0	2,5

Sedangkan untuk arus, standard harmonisanya ditentukan oleh *Max short circuit current* dan *Max load current* seperti pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Standar untuk arus harmonisa^[7]

I_{sc}/I_L	orde harmonisa dalam % terhadap I_L				
	<11	$11 \leq h \leq 17$	$17 \leq h \leq 23$	$23 \leq h \leq 35$	$35 \leq h$
$<20^*$	5.0	2.0	1.5	0.6	0.3
$20 < 50$	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5
$50 < 100$	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7
$100 < 1000$	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4

dimana:

I_{sc} = Max short circuit current at PCC (Point of Common Coupling)

I_L = Maxload current (Fundamental Frequency) at FCC

Tabel 2.2 memuat standar limitasi untuk distorsi arus. Rasio I_{sc}/I_L adalah arus hubung singkat pada Point of Common Coupling terhadap arus beban nominal pada frekuensi fundamental.

2.4.5. Indeks Harmonisa

Dalam analisa harmonisa terdapat beberapa indeks yang penting untuk menggambarkan efek dan harmonisa pada komponen sistem tenaga.

2.4.6. Total Harmonic Distortion (THD)^[7]

Pendefinisian rasio nilai rms komponen harmonisa ke nilai rms komponen dasar biasanya dinyatakan dalam bentuk persen. Indeks ini digunakan untuk mengukur deviasi bentuk gelombang periodik yang mengandung harmonisa dari gelombang sinus sempurna. Pada saat terjadi gelombang sinus sempurna, nilai THD adalah nol.

Indeks yang umum digunakan adalah:

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^N V_n^2}}{V_1} \dots\dots\dots(2.5)$$

dimana:

V_n = komponen harmonisa

V_1 = komponen fundamental

k = komponen harmonisa maksimum yang diamati

2.9. Spesifikasi Motor DC

Adapun Parameter Motor DC dan spesifikasi dari Motor DC yang digunakan dalam skripsi ini adalah sebagai berikut :

Data Motor DC penguatan terpisah yang dipergunakan berdasarkan *name plate* adalah sebagai berikut:

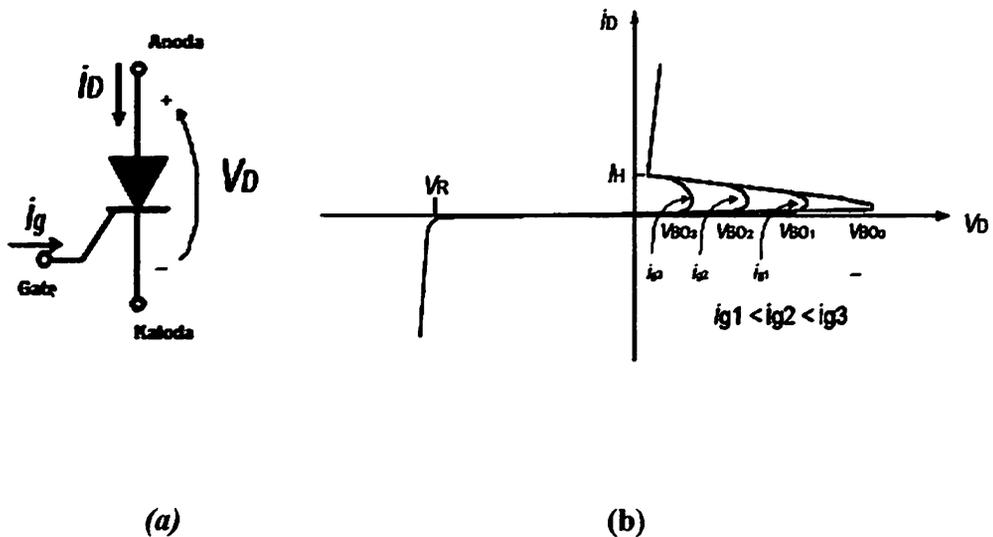
- Jenis Motor : Motor DC *Shunt*
- Daya : 1,1 kW
- Tegangan Nominal Jangkar : 220 V
- Arus Nominal Jangkar : 6,5 A
- Tegangan Nominal Medan : 190 V
- Arus Nominal Medan : 0,38 A
- Putaran : 3000 rpm

BAB III

PEMODELAN SCR (*Silicon Controlled Rectifier*), DAN MOTOR DC

3.1. SCR (*Silicon controlled rectifier*)^[7]

SCR (*Silicon Controlled Rectifier*) adalah salah satu tipe thyristor dan merupakan komponen elektronika daya yang digunakan sebagai penyearah yang dapat dikontrol. Prinsip kerja dari SCR sama dengan dioda, tetapi bedanya pada SCR ketika SCR dibias maju arus tidak dapat mengalir jika pada gerbang (*Gate*) tidak dipicu atau ditrigger. Pengaturan besarnya arus yang masuk pada gate dengan mengatur sudut penyalan (*firing*) SCR berupa besarnya sudut α . Besarnya sudut sulut (α) akan mempengaruhi besarnya arus yang mengalir dari anoda ke katoda.

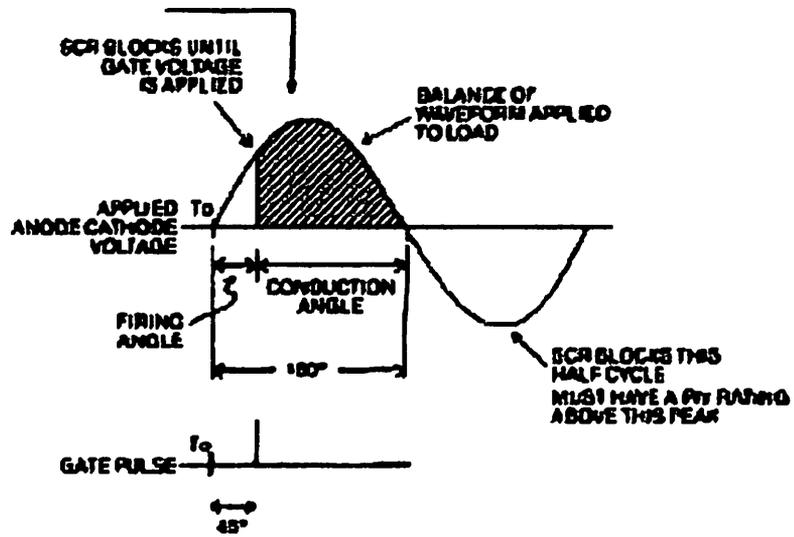


Gambar 3.1

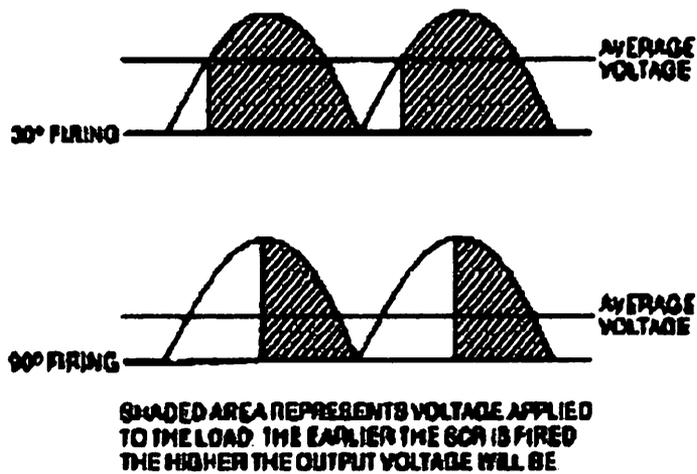
(a) Simbol SCR, (b) Karakteristik Penyalan SCR
Pada gambar Karakteristik Penyalan SCR tertera tegangan *breakover*

V_{bo} , yang jika tegangan *forward* SCR mencapai titik ini, maka SCR akan *ON*. Lebih penting lagi adalah arus I_g yang dapat menyebabkan tegangan V_{bo} turun menjadi lebih kecil. Pada gambar ditunjukkan beberapa arus I_g dan korelasinya terhadap tegangan *breakover*. Pada data *sheet* SCR, arus *trigger gate* ini sering ditulis dengan notasi I_{GT} (*gate trigger current*). Pada gambar ada ditunjukkan juga arus I_h yaitu arus *holding* yang mempertahankan SCR tetap *ON*. Jadi agar SCR tetap *ON* maka arus *forward* dari anoda menuju katoda harus berada di atas parameter ini. Sejauh ini yang dikemukakan adalah bagaimana membuat SCR menjadi *ON*. Pada kenyataannya, sekali SCR mencapai keadaan *ON* maka selamanya akan *ON*, walaupun tegangan *gate* dilepas atau di *short* ke katoda. Satu-satunya cara untuk membuat SCR menjadi *OFF* adalah dengan membuat arus anoda-katoda turun dibawah arus I_h (*holding current*). Pada gambar Karakteristik Penyalaan SCR, jika arus *forward* berada dibawah titik I_h , maka SCR kembali pada keadaan *OFF*.

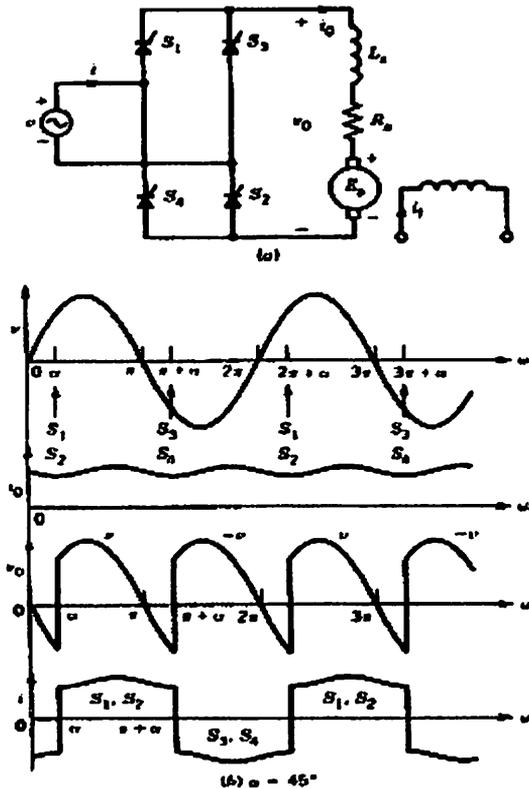
Thyristor tipe SCR biasanya beroperasi pada frekuensi jala-jala yang proses pemadamannya dengan komutasi alamiah (*natural-commutation*) *turn-on time* t_q berkisar dalam orde 50 hingga 100 mikro detik. Cocok digunakan pada aplikasi-aplikasi konverter dengan kecepatan *switching* rendah yang biasanya dikenal sebagai konverter thyristor. Tipikal tegangan induksi (*on-state*) V_T bervariasi antara 1,15 volt untuk komponen 600 volt hingga 2,5 untuk komponen 4000 volt.



Gambar 3.2. Bias maju SCR pada siklus setengah gelombang



Gambar 3.3. SCR Phasa Controll



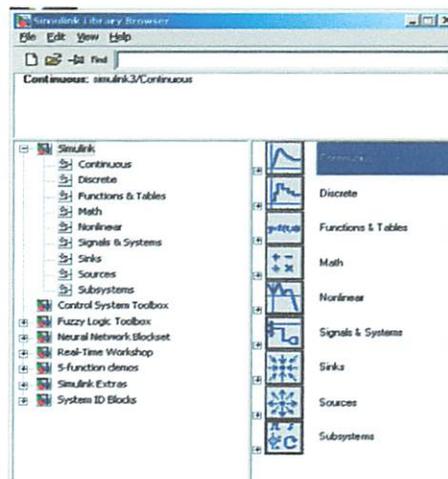
Gambar 3.4

(a) Rangkaian Pengendali SCR Pada Motor DC, (b) Out-put gelombang penuh Rangkaian Pengendali SCR Pada Motor DC pada sudut pemicuan $\alpha = 45^\circ$

Gambar 3.4 menggambarkan metode pengendalian Motor DC dengan penyearah SCR gelombang penuh. Kecepatan motor berbanding langsung dengan tegangan yang diberikan pada jangkar. SCR adalah elemen pengatur daya utama rangkaian. Input AC diberikan langsung pada SCR sebab SCR akan menyearahkan (mengubah menjadi arus searah) dan juga mengontrol tegangan. Penyearah jembatan digunakan untuk mengubah arus bolak-balik menjadi arus searah yang diperlukan untuk rangkaian medan kerja.

3.2 Matlab Simulink^[6]

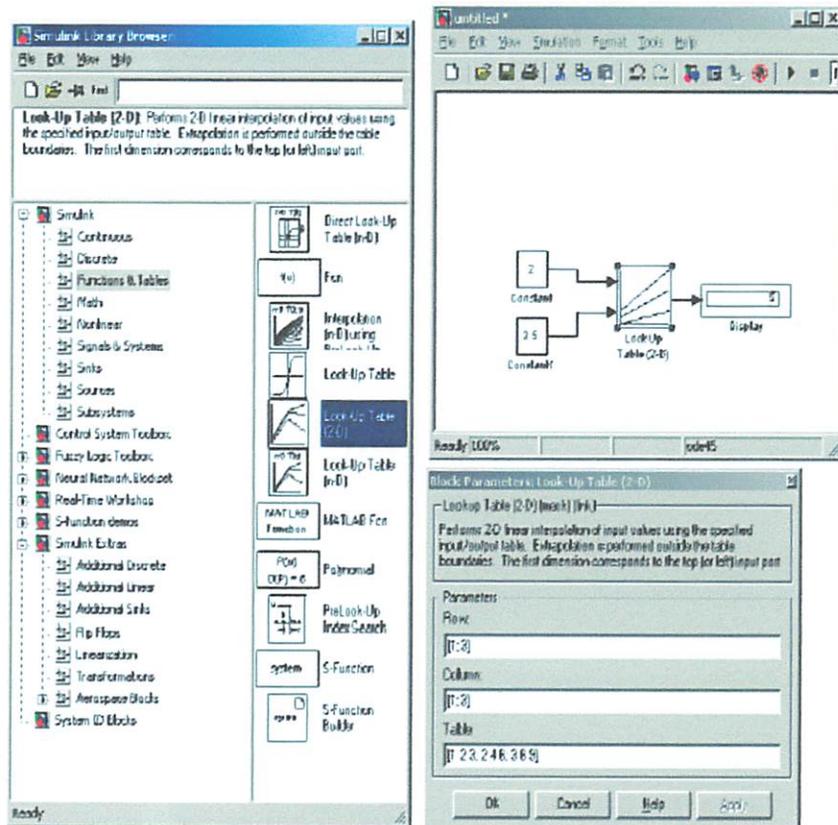
MATLAB merupakan suatu *software* yang sangat baik digunakan untuk menganalisa berbagai kebutuhan dalam bidang teknik. Didalam matlab terdapat dua bagian penting yaitu M-files yang berfungsi untuk menuliskan listing programnya dan Simulink yang digunakan untuk melakukan simulasi. Dengan menggunakan Simulink yang merupakan kesatuan dalam program tersebut kita dapat melakukan suatu pemodelan sistem kontrol atau suatu plant yang akan diatur. Hal itu dapat didesain dengan menggunakan blok-blok yang telah tersedia serta settingan parameter-parameter akan menjadi lebih mudah. Blok-blok simulink dapat juga dibentuk dari persamaan matematika dengan menggunakan blok *transfer function* sehingga kita dapat menuliskan persamaan dalam blok tersebut sesuai dengan parameter yang akan kita cari.



Gambar 3.5
Simulink Library Pada MATLAB 7.0

Dalam simulink tersebut terdapat beberapa blok yang dapat digunakan untuk pemodelan control atau analisa dalam dunia *electric*. Sebagai contoh penggunaan Blok *Fuction* dan *Tables*. Misalnya kita mempunyai soal $2 * 2.5 = 5$

maka kita dapat menggunakan blok look up table (2-D) seperti dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 3.6
Contoh Penggunaan Simulink

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

```

C:\Burak\My Papers\Accepted\IEMDC 2003\PARAM.M
File Edit View Text Debug Breakpoints Web Window Help
Stack Base
4 % initialization
5
6 Rx=.39; %rotor resistance
7 Rs=.19; %stator resistance
8 Lls=.21e-3; %stator inductance
9 Llr=.6e-3; %rotor inductance
10 Lm=4e-3; %magnetizing inductance
11 fb=100; %base frequency
12 p=4; %number of poles
13 J=0.0226; %moment of inertia
14
15 Lr=Llr+Lm;
16 Tr=Lr/Rr;
17
18 % impedance and angular speed calculations
19
20 wb=2*pi*fb; %base speed
21 Xls=wb*Lls; %stator impedance
22 Xlr=wb*Llr; %rotor impedance
23 Xa=wb*Lm; %magnetizing impedance
24 Xstar=1/(1/Xls+1/Xa+1/Xlr);
script Ln 24 Col 29

```

Gambar 3.7

Contoh Tampilan M-Files

Dalam skripsi ini digunakan MATLAB versi 7.0 dengan membentuk blok-blok simulink dengan menggunakan persamaan – persamaan Motor DC dan rangkaian kontrol SCR berdasarkan pada parameter pengujian yang dilakukan.

3.3. Pemodelan SCR (*Silicon controlled rectifier*) dan Motor DC^[2]

Secara umum pengendalian Motor DC menggunakan SCR dapat dilihat pada gambar 3.4 diatas. Pada Matlab simulink, untuk modelkan SCR telah disediakan blok SCR pada library, tinggal menginputkan parameter yang di butuhkan sesuai dengan hasil pengujian yang sudah dilakukan. Khusus pemodelan SCR untuk mengendalikan Motor DC dilakukan dengan blok

transfer function yang mana *function 1* merupakan fungsi inputan dalam pemecutan sudut SCR (α^0) dan *function 2* merupakan fungsi output dalam membentuk gelombang hasil pemecutan sudut SCR (α^0) didapatkan dari :

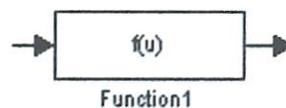
$$V_{dc} = \frac{2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} V_m \sin \omega t . d(\omega t) = \frac{2V_m}{2\pi} [-\cos \omega t]_{\alpha}^{\pi+\alpha}$$

$$= \frac{2V_m}{\pi} (1 + \cos \alpha)$$

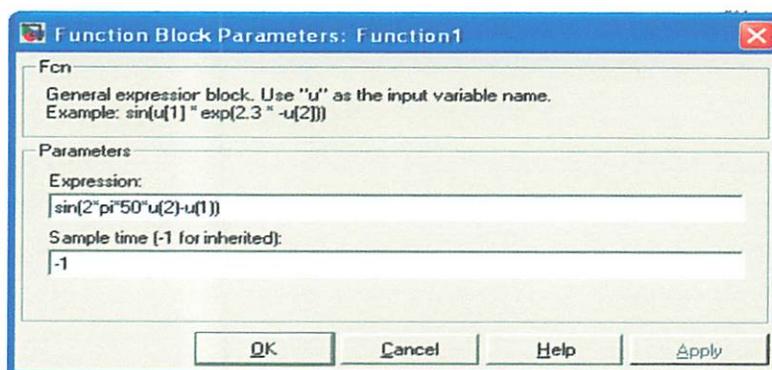
$$V_{rms} = \left[\frac{2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} V_m^2 \sin^2 \omega t . d(\omega t) \right]^{1/2} = \left[\frac{V_m^2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} (1 - \cos 2\omega t) . d(\omega t) \right]^{1/2}$$

$$V_{rms} = \frac{V_m}{2} \sqrt{1 - \frac{\alpha \sin(2\alpha)}{2\pi}}$$

dan diambil $V(\omega t) = V_m . \sin(\omega t)$ yang merupakan tegangan pada puncak gelombang penuh, yang diubah kedalam *transfer function* menjadi $\sin(2\pi \omega t)$



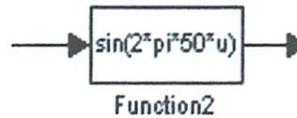
(a)



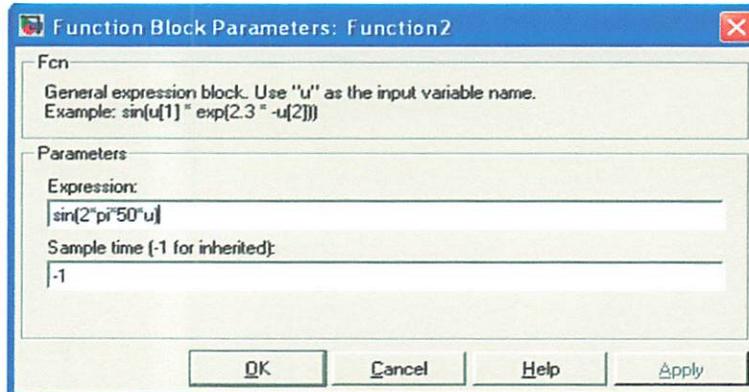
(b)

Gambar 3.8

(a) Contoh Tampilan blok function1, (b) blok parameter function 1 function inputan pemecutan sudut SCR (α^0)



(a)

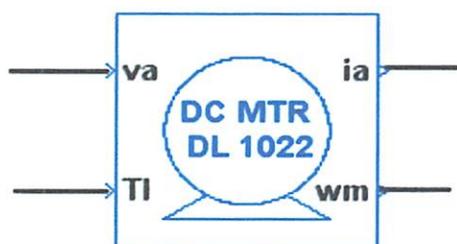


(b)

Gambar 3.9

(a) Contoh Tampilan blok function 2, (b) blok parameter function 2
function outputan pemicuan sudut SCR (α^0)

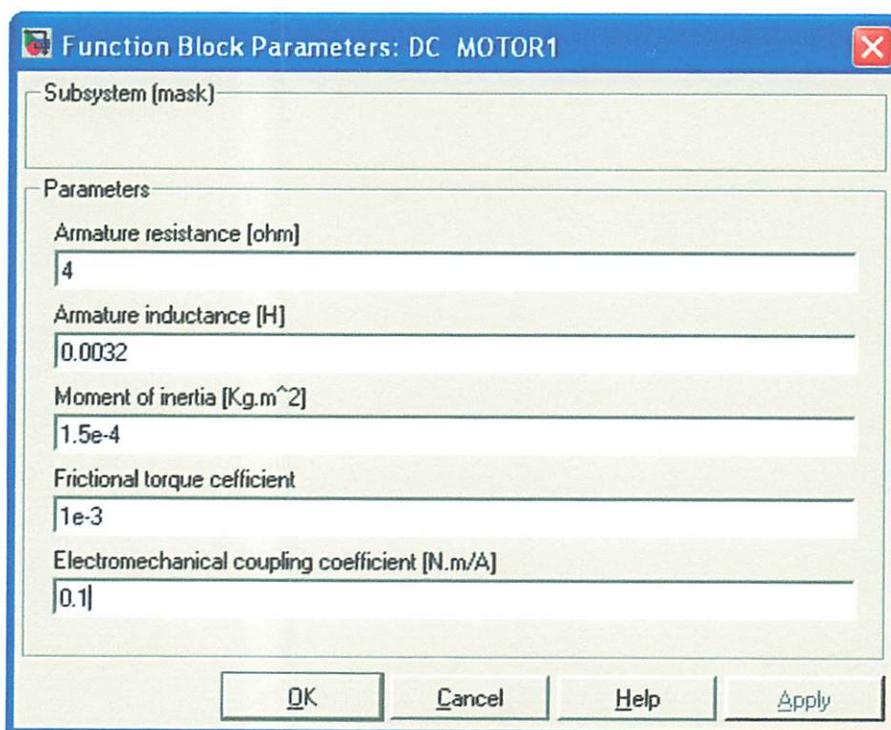
Untuk pemodelan Motor DC, didalam library Matlab simulink sudah tersedia blok Motor DC, tinggal menginputkan parameter yang di butuhkan sesuai dengan hasil pengujian yang sudah dilakukan. Dalam pemodelan khusus Motor DC pada Matlab Simulink tidak digunakan persamaan DQ seperti pemodelan pada Motor Induksi, tetapi menggunakan persamaan biasa Motor DC. Serta untuk *effect* Harmonisa yang ditimbulkan oleh SCR sebagai pengendali Motor DC digunakan persamaan *Deret Fourier* (Pers. 2-1 sampai Pers. 2-5). yang di *transfer function* dan diketik berupa program listing menggunakan M-files yang terdapat pada *Software* Matlab.



Gambar 3.10

Contoh Blok Motor DC Pada Matlab Simulink

Data-data parameter Motor DC yang didapat dari hasil pengujian yang sudah dilakukan kemudian dimasukkan kedalam blok parameter Motor DC seperti gambar contoh blok parameter Motor DC dibawah ini.



Gambar 3.11

Contoh Blok Parameter Motor DC Pada Matlab Simulink

```

1 % Program Untuk Menghitung Plot Gambar Tingkat Harmonisa
2 clc,close all
3 disp(date)
4 t = t - t(1);
5 L=length(t);
6 h=20;
7 T=t(L);
8 fo=round(1/T);
9 disp(fo)
10 nu=0;
11 %
12 for w=1:size(f,2);
13     nu=nu+1;
14     disp([' Function No. ' num2str(nu)]);
15     disp('_____')
16     disp(' order dr | Amplitudo |')
17     disp(' harmonisa | |')
18     disp('_____')
19
20     g=f(:,w);
21
22     co=1/T*trapez(t,g)+eps;
23     fprintf('%8.0f%13.4f\n',0,co)
24     C=[];
25     rms2 = co^2;
26     for k=1:h;
27         q=g.*exp(-j)*2*pi/T*t*k;
28         ck= 2/T*abs(trapez(t,q));
29         pk=angle(trapez(t,q))*180/pi;
30         C=[C ck];
31         fprintf('%8.0f%13.4f\n',k,ck)
32         rms2 = rms2+ck^2/2;
33     end
34     %%% Plots
35     order=(1:h+1)-1; mag=[co C]';
36     figure('Position',[225 70 760 555],'Name','Fourier analysis');

```

```

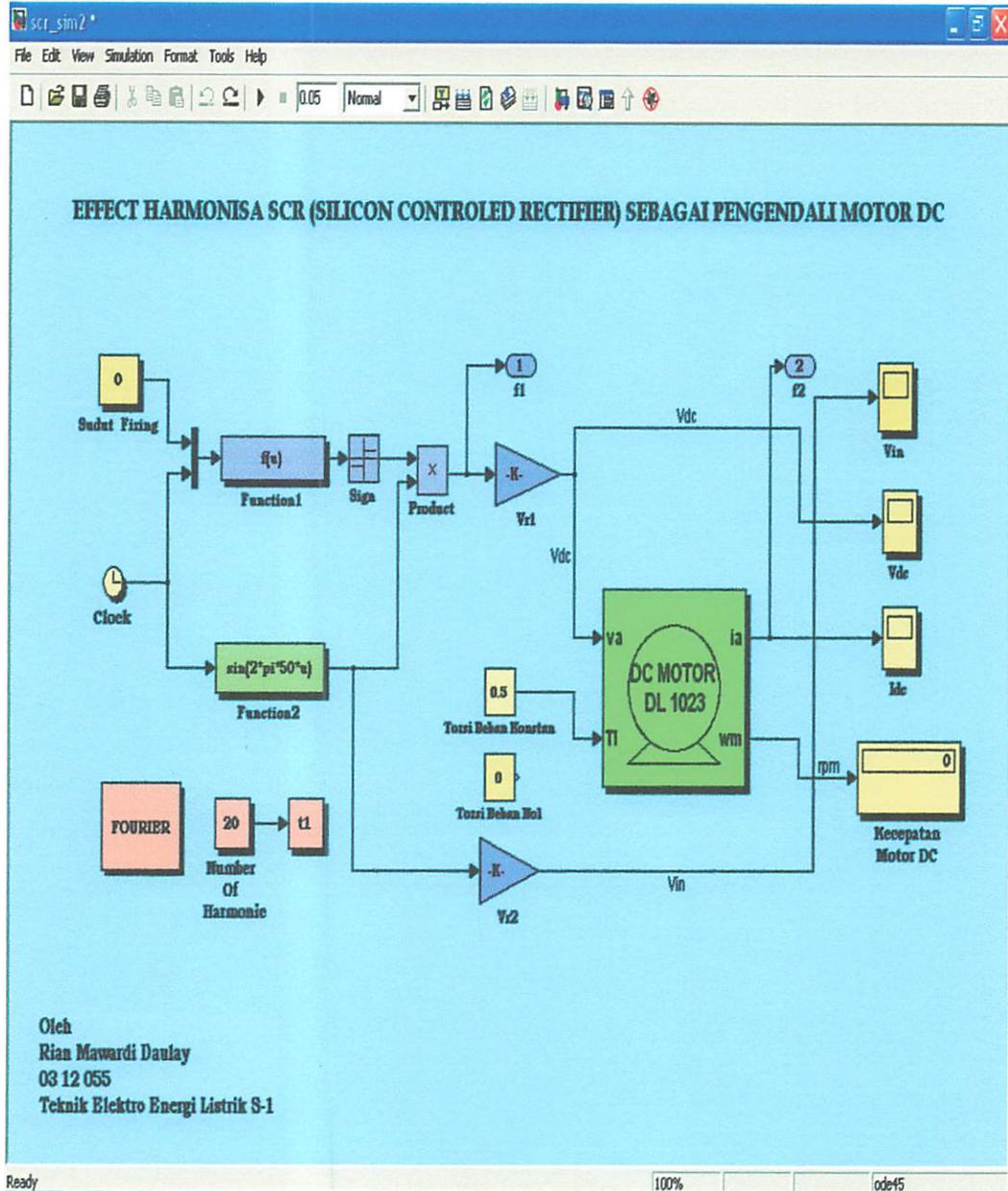
8 fo=round(1/T);
9 disp(fo)
10 nu=0;
11 %
12 for w=1:size(f,2);
13     nu=nu+1;
14     disp([' Function No. ' num2str(nu)]);
15     disp('_____')
16     disp(' order dr | Amplitudo |')
17     disp(' harmonisa | |')
18     disp('_____')
19
20     g=f(:,w);
21
22     co=1/T*trapez(t,g)+eps;
23     fprintf('%8.0f%13.4f\n',0,co)
24     C=[];
25     rms2 = co^2;
26     for k=1:h;
27         q=g.*exp(-j)*2*pi/T*t*k;
28         ck= 2/T*abs(trapez(t,q));
29         pk=angle(trapez(t,q))*180/pi;
30         C=[C ck];
31         fprintf('%8.0f%13.4f\n',k,ck)
32         rms2 = rms2+ck^2/2;
33     end
34     %%% Plots
35     order=(1:h+1)-1; mag=[co C]';
36     figure('Position',[225 70 760 555],'Name','Fourier analysis');
37     subplot(1,1,1),plot([0 0],[0 g(1)],'t',t,g,'t',[T T],[g(L) 0],'t',[T 0],[0 0],'k','linewidth',2)
38     xlabel('TIME [s]');ylabel('SIGNAL');
39     subplot(1,1,1),stem(order,mag,'-ob')
40     xlabel('Tingkat Harmonisa'); ylabel('Amplitudo');
41     title('Komponen Fourier');grid
42 end
43

```

Gambar 3.12
Tampilan M-Files Parameter THD Harmonisa SCR Sebagai Pengendali Motor
DC

Secara lengkap Blok simulink *Effect Harmonisa SCR (Silicon Controlled Rectifier)* Sebagai pengendali Motor DC dapat dilihat pada gambar

Di bawah ini ;



Gambar 3.13

Model Block Simulink *Effect Harmonisa SCR (Silicon Controlled Rectifier)* Sebagai Pengendali Motor DC

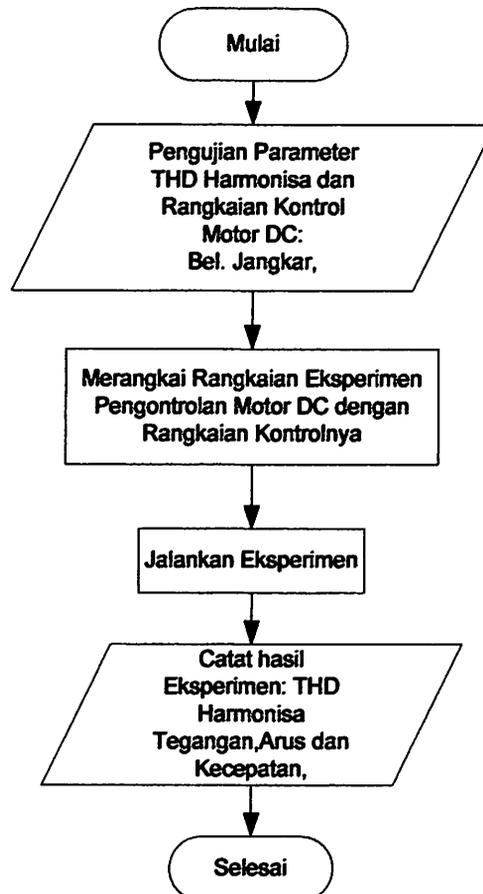
3.4. Algoritma Pemrograman

3.4.1. Algoritma Pemecahan Masalah Secara Umum.

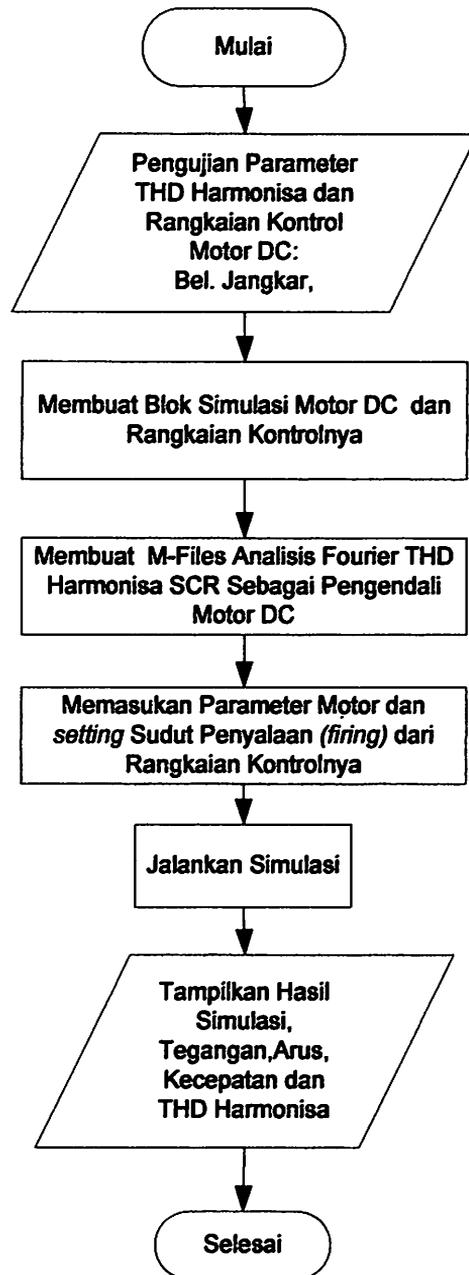
1. Pengujian Parameter THD Harmonisa dan Rangkaian Kontrol Motor DC.
2. Membentuk Blok *Simulink* Motor DC dan Sub. *System* Rangkaian Kontrolnya berdasarkan *Transfer Function*.
3. Membuat M-Files Listing Program *Analisis Fourier* THD Harmonisa SCR sebagai pengendali Motor DC.
4. Memasukan Parameter Motor dan setting sudut penyalaan (*firing*) dari Rangkaian Kontrolnya.
5. Menjalankan simulasi Motor DC dengan Parameter Motor dan *setting* sudut penyalaan (*firing*) dari rangkaian kontrol yang sudah dimasukan.
5. Menampilkan Hasil Simulasi.
6. Pengecekan dengan Eksperimen.

3.5. Flowchart Pemecahan Masalah Secara Umum.

3.5.1 Eksperimen



3.5.2. Simulasi



BAB IV

EKSPERIMEN, SIMULASI DAN HASILNYA

Untuk menentukan parameter dari Motor DC yang akan dianalisa maka dapat dilakukan dengan mengambil parameter Motor DC dengan melakukan pengujian.

4.1. Pengujian Parameter Motor DC ^[5]

Pengujian untuk mencari parameter Motor DC dalam hal ini Motor DC Shunt Penguatan terpisah dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Elektrik ITN Malang.

4.1.1. Alat-Alat Yang Dipergunakan Dalam Pengujian.

1. Motor DC SHUNT DE LORENZO/DL 1023

Data papan (*Name-Plate*)

TEGANGAN JANGKAR (V_s)	: 220 VOLT
ARUS JANGKAR (I_s)	: 6.5 AMPERE
FREKUENSI	: 50 HZ
DAYA	: 1.1 KW
PUTARAN	: 3000 RPM
TEGANGAN MEDAN (V_f)	: 190 VOLT
ARUS MEDAN (I_f)	: 0.38 A

2. Voltmeter DE LORENZO DL 1031
3. Amperemeter DE LORENZO DL 1031
4. Wattmeter DE LORENZO DL 1031
5. Tachometer DE LORENZO 2026
6. DC Supply DE LORENZO 1013 M2
7. AC Voltage Regulator dan DC Supply DE LORENZO 1031 M2

8. Rangkaian SCR DE LORENZO 2605

9. Clamp Meter

4.1.2 Data Hasil Pengujian Motor DC

Dari hasil pengujian Motor DC yang dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Elektrik ITN Malang didapatkan hasil pengujian parameter Motor DC sebagai berikut :

Tabel 4-1
Data Hasil Pengujian Parameter Motor DC

VA (V)	IA (A)	RA (Ω)	LA (H)	RF (Ω)	LF (H)	N (RPM)
60	0.49	4.0	0,0032	422	3,3	628

Momen Inersia : 0.00015 Kg.m²

4.1.3 Menentukan Sudut Penyalaan Pada Rangkaian SCR Untuk Pengendalian Motor DC.

Dalam menentukan Sudut Penyalaan Pada rangkaian SCR untuk pengendalian Motor DC di gunakan Persamaan :

$$\alpha = 180^\circ \left(1 - \frac{U_c}{10} \right)$$

dimana :

U_c = Tegangan dc pada pulse generator (Volt)

Sudut α° = Sudut Pemicuan ($^\circ$)

0 U_c = 10 Vdc

Amplitudo = 1, Periode = 0,01 per sec, yang didapatkan dari :

$$T = 1/f/2$$

Nilai 2 didapatkan dari pembagian 360° di bagi 180° , karena setiap SCR mengendalikan sudut sebesar 180° .

Untuk menentukan besarnya U_c dalam pengaturan sudut pemicuan SCR (α°) untuk mengendalikan Motor DC guna mendapatkan hasil pengujian seperti pada tabel 4-2 dibawah dilakukan perhitungan sebagai berikut :

- Untuk Sudut Pemicuan (α°) = 30°

$$30^{\circ} = 180^{\circ} \left(1 - \frac{U_c}{10} \right)$$

$$30^{\circ} = 180^{\circ} \left(\frac{10}{10} - \frac{U_c}{10} \right)$$

$$30^{\circ} = 180^{\circ} = \frac{10 - U_c}{10}$$

$$10 \cdot 30^{\circ} = 1800 - (180^{\circ} U_c)$$

$$300 = 1800 - (180^{\circ} U_c)$$

$$180^{\circ} U_c = 1800 - 300$$

$$180^{\circ} U_c = 1500$$

$$U_c = \frac{1500}{180} = 8,33 \text{ Volt dc}$$

Pembuktian :

$$\alpha = 180^{\circ} \left(1 - \frac{8,33}{10} \right)$$

$$\alpha = 180^{\circ} (1 - 0,833)$$

$$180^{\circ} \cdot 0,167 = 30,06^{\circ}$$

- Untuk Sudut Pemicuan (α°) = 45°

$$45^{\circ} = 180^{\circ} \left(1 - \frac{U_c}{10} \right)$$

$$45^{\circ} = 180^{\circ} \left(\frac{10}{10} - \frac{U_c}{10} \right)$$

$$10 \cdot 45^{\circ} = 1800 - (180^{\circ} U_c)$$

$$180^{\circ} U_c = 1800 - 450$$

$$180^{\circ} U_c = 1350$$

$$U_c = \frac{1350}{180} = 7,5 \text{ Volt dc}$$

Pembuktian :

$$\alpha = 180^{\circ} \left(1 - \frac{7,5}{10} \right)$$

$$180^{\circ} = (1 - 0,75)$$

$$= 180^{\circ} \cdot 0,25 = 45^{\circ}$$

- Untuk Sudut Pemicuan (α°) = 60°

$$60^{\circ} = 180^{\circ} \left(1 - \frac{U_c}{10} \right)$$

$$60^{\circ} = 180^{\circ} \left(\frac{10}{10} - \frac{U_c}{10} \right)$$

$$10 \cdot 60^{\circ} = 1800 - (180^{\circ} U_c)$$

$$180^{\circ} U_c = 1800 - 600$$

$$180^{\circ} U_c = 1200$$

$$U_c = \frac{1200}{180} = 6,66 \text{ Volt dc}$$

Pembuktian :

$$\alpha = 180^{\circ} \left(1 - \frac{6,66}{10} \right)$$

$$180^{\circ} = (1 - 0,66)$$

$$= 180^{\circ} \cdot 0,33 = 60^{\circ}$$

- Untuk Sudut Pemicuan (α°) = 90°

$$90^{\circ} = 180^{\circ} \left(1 - \frac{U_c}{10} \right)$$

$$90^{\circ} = 180^{\circ} \left(\frac{10}{10} - \frac{U_c}{10} \right)$$

$$10 \cdot 90^{\circ} = 1800 - (180^{\circ} U_c)$$

$$180^{\circ} U_c = 1800 - 900$$

$$180^{\circ} U_c = 900$$

$$U_c = \frac{900}{180} = 5 \text{ Volt dc}$$

Pembuktian :

$$\alpha = 180^{\circ} \left(1 - \frac{5}{10} \right)$$

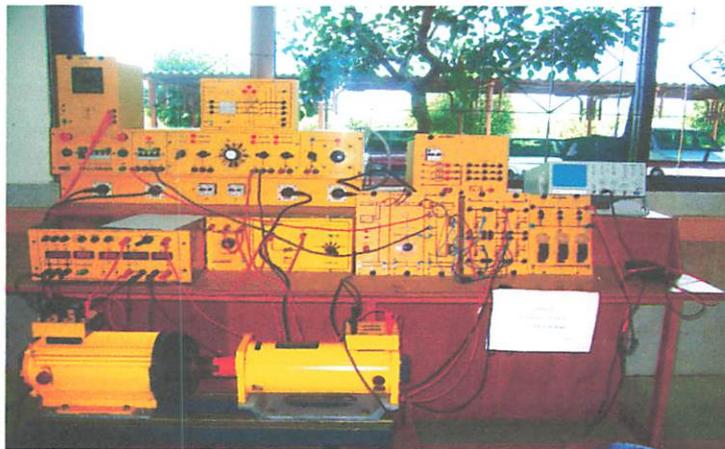
$$180^{\circ} = (1 - 0,5)$$

$$= 180^{\circ} \cdot 0,5 = 90^{\circ}$$

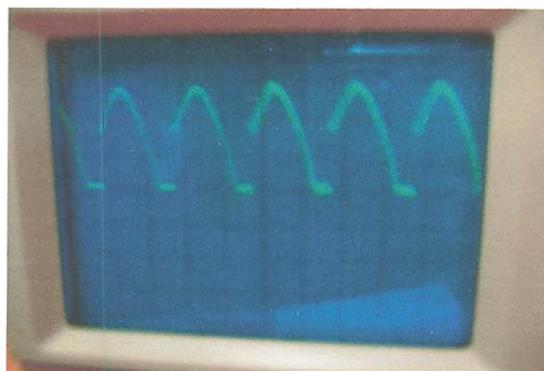
Setelah tegangan dc pada pulse generator (U_c) untuk pengaturan besarnya sudut pemicuan pada SCR diketahui, maka dilakukanlah eksperimen pengujian *Effect* Harmonisa dari SCR sebagai pengendali Motor DC di Laboratorium Konversi Energi Elektrik ITN Malang.

4.2. Eksperimen

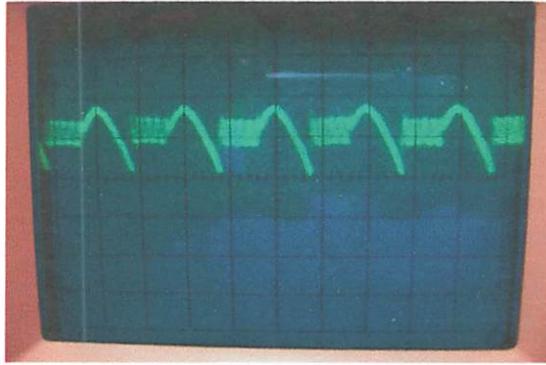
Berikut ini merupakan gambar rangkaian pengujian yang menggunakan peralatan pada point 4.1.1 diatas, sedangkan motor dc merupakan objek yang akan dikontrol atau yang dikendalikan yang langsung disambungkan ke terminal output dari SCR dimana akan dilakukannya pengukuran dari THD Harmonisa untuk menentukan dan melihat *Effect* (pengaruhnya) terhadap unjuk kerja dari Motor DC itu sendiri.



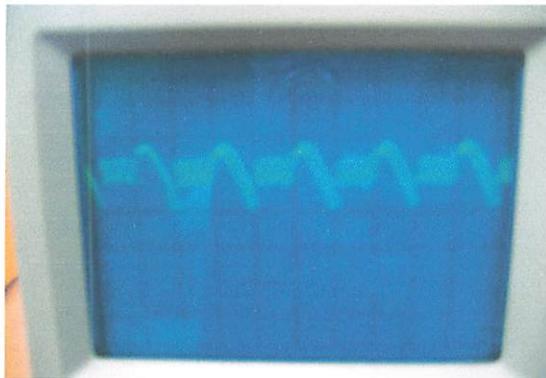
Gambar 4.1.
Rangkaian Eksperimen Pengujian Effect Harmonisa dari SCR (Silicon Controlled Rectifier) Sebagai Pengendali Motor DC



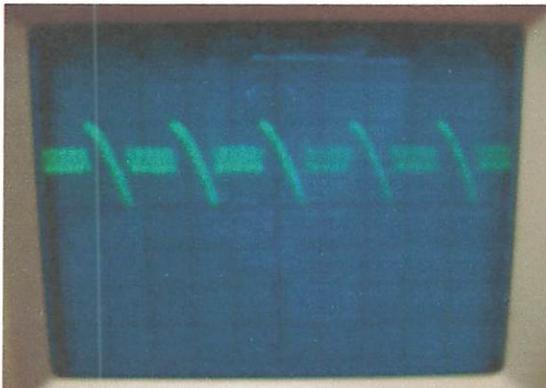
Gambar 4.2. Hasil Eksperimen Gelombang V_{dc}
Pada sudut pemicuan SCR (α^0) = 0^0



*Gambar 4.3. Hasil Eksperimen Gelombang Vdc
Pada sudut pemicuan SCR (α^0) = 30^0*



*Gambar 4.4. Hasil Eksperimen Gelombang Vdc
Pada sudut pemicuan SCR (α^0) = 45^0*



*Gambar 4.5. Hasil Eksperimen Gelombang Vdc
Pada sudut pemicuan SCR (α^0) = 60^0*

4.2.1 Hasil Eksperimen

Berdasarkan tegangan dc pada pulse generator (U_c) untuk pengaturan besarnya sudut pemicuan pada SCR yang telah diketahui pada point 4.1.3 diatas, maka dilakukanlah eksperimen pengujian *Effect* Harmonisa dari SCR sebagai pengendali Motor DC di Laboratorium Konversi Energi Elektrik ITN Malang.

Tabel 4-2
Data Hasil Eksperimen Pengujian SCR Sebagai Pengendali Motor DC

NO	SUDUT FIRING (α^0)	VAC (V)	VDC (V)	IDC (A)	N (RPM)
1	0^0	190	188	0.64	3490
2	30^0	190	170	0.57	3339
3	45^0	190	161	0.43	3088
4	60^0	190	153	0.33	2887

Dari tabel diatas dapat dianalisa :

- Semakin kecil sudut pemicuan pada SCR, tegangan dc semakin besar (153 Volt – 188 Volt) dan sebaliknya semakin besar sudut pemicuan tegangan dc semakin kecil (188 Volt – 153 Volt).

Tabel 4-3
Data Hasil Eksperimen Pengukuran THD Harmonisa Pada Sudut Pemicuan (α^0) = 0^0 SCR Sebagai Pengendali Motor DC

Orde H	Arus		Tegangan	
	A	(%)	V	(%)
0	0.64	2	188	0.5
1	0.64	0.6	188	
2	0.64	0.3	188	
3	0.64	0.2	188	
4	0.64	0.2	188	

5	0.64	0.2	188	0.4
	0.64		188	
10	0.64		188	0.08
	0.64		188	
15	0.64		188	0.03
	0.64		188	
20	0.64		188	0.02
THD	4.01 (%)		3.4 (%)	

Dari tabel diatas dapat dianalisa :

- THD Harmonisa Tegangan dan Arus, semakin besar sudut pemucuan THD Harmonisa yang dihasilkan relatif semakin kecil (3.4 % - 4.01 %).

Tabel 4-4
Data Hasil Eksperimen Pengukuran THD Harmonisa Pada Sudut Pemucuan
(α^0) = 30⁰ SCR Sebagai Pengendali Motor DC

Orde H	Arus		Tegangan	
	A	(%)	V	(%)
0	0.57	1.81	170	0.4
1	0.57	0.62	170	
2	0.57	0.30	170	
3	0.57	0.24	170	
4	0.57	0.02	170	
5	0.57	0.1	170	0.4
	0.57		170	
10	0.57		170	0.2
	0.57		170	
15	0.57		170	0.1
	0.57		170	
20	0.57		170	0.07
THD	3.6 (%)		2.9 (%)	

Dari tabel diatas dapat dianalisa :

- THD Harmonisa Tegangan dan Arus, semakin besar sudut pemucuan THD Harmonisa yang dihasilkan relatif semakin kecil (2.9 % - 3.6 %).

Tabel 4-5
Data Hasil Eksperimen Pengukuran THD Harmonisa Pada Sudut Pemucuan
(α^0) = 45⁰ SCR Sebagai Pengendali Motor DC

Orde H	Arus		Tegangan	
	A	(%)	V	(%)
0	0.43	1.5	161	0.4
1	0.43	0.44	161	
2	0.43	0.22	161	
3	0.43	0.15	161	
4	0.43	0.11	161	
5	0.43	0.1	161	0.67
	0.43		161	
10	0.43		161	0.23
	0.43		161	
15	0.43		161	0.15
	0.43		161	
20	0.43		161	0.11
THD	3.2 (%)		2.7 (%)	

Dari tabel diatas dapat dianalisa :

- THD Harmonisa Tegangan dan Arus, semakin besar sudut pemucuan

THD Harmonisa yang dihasilkan relatif semakin kecil (2.7 % - 3.2 %).

Tabel 4-6

Data Hasil Eksperimen Pengukuran THD Harmonisa Pada Sudut Pemucuan
($\alpha^0 = 60^0$ SCR Sebagai Pengendali Motor DC

Orde H	Arus		Tegangan	
	A	(%)	V	(%)
0	0.33	1.26	153	0.3
1	0.33	0.31	153	
2	0.33	0.15	153	
3	0.33	0.1	153	
4	0.33	0.06	153	
5	0.33	0.16	153	0.66
	0.33		153	
10	0.33		153	0.2
	0.33		153	
15	0.33		153	0.18
	0.33		153	
20	0.33		153	0.12
THD	2.8 (%)		2.12 (%)	

Dari tabel diatas dapat dianalisa :

- THD Harmonisa Tegangan dan Arus, semakin besar sudut pemecuan THD Harmonisa yang dihasilkan relatif semakin kecil (2.12 % - 2.8 %).

4.2.2 Analisa Hasil Eksperimen

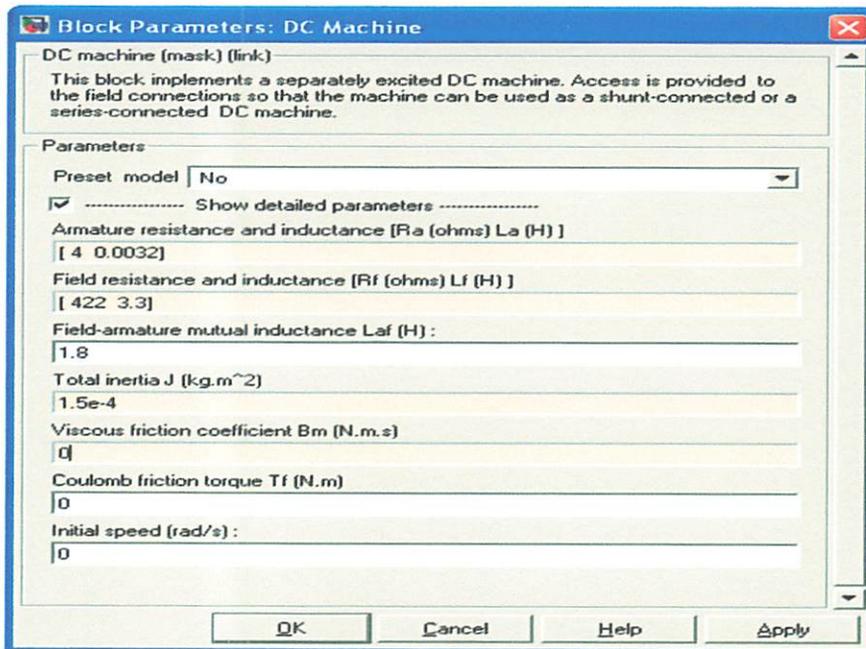
- Semakin kecil sudut pemecuan pada SCR, tegangan dc semakin besar (153 Volt – 188 Volt) dan sebaliknya semakin besar sudut pemecuan tegangan dc semakin kecil (188 Volt – 153 Volt). Demikian halnya dengan THD Harmonisa tegangan, semakin besar sudut pemecuan THD Harmonisa yang dihasilkan relatif semakin kecil (3.4 % - 2.1 %).
- Semakin kecil sudut pemecuan pada SCR, kecepatan motor dc semakin besar (2887 rpm – 3490 rpm) dan sebaliknya semakin besar sudut pemecuan kecepatan motor dc semakin kecil (3490 Volt – 2887 Volt).
Arus di semua sudut pemecuan SCR (α^0) relatif kecil (0.33 Ampere - 0.64 Ampere) Demikian halnya dengan THD Harmonisa Arus, Semakin besar sudut pemecuan THD Harmonisa yang dihasilkan relatif semakin kecil (4.01 % - 2.8 %)

4.3. Simulasi Motor DC, SCR dan THD Harmonisa Pada *Software* Matlab *Simulink*.

4.3.1. Tampilan Pengujian Parameter Motor DC dan Program Listing THD Harmonisa.

Berdasarkan Kapasitas Motor DC shunt penguatan terpisah yang terdapat pada *name plate* Motor DC serta hasil pengujiannya parameter Motor

DC shunt penguatan terpisah dan THD Harmonisa pada setiap sudut pemicuan SCR Sebagai Pengendali Motor DC, maka dibuat blok tampilan parameter Motor DC dan Program Listing THD Harmonisa pada *software* Matlab 7.0. sebagai berikut :



Gambar 4.6 . Block Parameter Motor DC

```

1 % Program Untuk Menghitung Plot Gambar Tingkat Harmonisa
2 clc,close all
3 disp(date)
4 t = t - t(1);
5 L=length(t);
6 h=20;
7 T=t(L);
8 fo=round(1/T);
9 disp(fo)
10 nu=0;
11 %
12 for w=1:size(f,2);
13     nu=nu+1;
14     disp([' Function No. ' num2str(nu)]);
15     disp('_____');
16     disp(' order dr | Amplitudo |');
17     disp(' harmonisa | |');
18     disp('_____ |');
19
20     q=f(t,w);
21
22     co=1/T*traps(t,g)+eps;
23     fprintf('%8.0f\13.4f\n',0,co)
24     C=[];
25     rms2 = co^2;
26     for k=1:h;
27         q=q.*exp(-j*2*pi/T*t*k);
28         ck= 2/T*abs(traps(t,q));
29         pk=angle(traps(t,q))*180/pi;
30         C=[C ck];
31         fprintf('%8.0f\13.4f\n',k,ck)
32         rms2 = rms2+ck^2/2;
33     end
34     %% Plots
35     order=(1:h)-1; msg=[co C];
36     figure('Position',[225 70 760 555],'Name','Fourier analysis');

```

```

8 fo=round(1/T);
9 disp(fo)
10 nu=0;
11 %
12 for w=1:size(f,2);
13     nu=nu+1;
14     disp([' Function No. ' num2str(nu)]);
15     disp('_____');
16     disp(' order dr | Amplitudo |');
17     disp(' harmonisa | |');
18     disp('_____ |');
19
20     q=f(t,w);
21
22     co=1/T*traps(t,g)+eps;
23     fprintf('%8.0f\13.4f\n',0,co)
24     C=[];
25     rms2 = co^2;
26     for k=1:h;
27         q=q.*exp(-j*2*pi/T*t*k);
28         ck= 2/T*abs(traps(t,q));
29         pk=angle(traps(t,q))*180/pi;
30         C=[C ck];
31         fprintf('%8.0f\13.4f\n',k,ck)
32         rms2 = rms2+ck^2/2;
33     end
34     %% Plots
35     order=(1:h)-1; msg=[co C];
36     figure('Position',[225 70 760 555],'Name','Fourier analysis');
37     subplot(1,1,1),plot([0 0],[0 0],c,'t,g','r',[T T],[g(L) 0],r',[0 0],[0 0],k','linewidth',2)
38     xlabel('TIME [s]'); ylabel('SIGNAL');
39     subplot(1,1,1),stem(order,msg,'-ob');
40     xlabel('Tingkat Harmonisa'); ylabel('Amplitudo');
41     title('Komponen Fourier'); grid
42 end
43

```

Gambar 4.7. Tampilan M-Files Program Listing Parameter THD Harmonisa

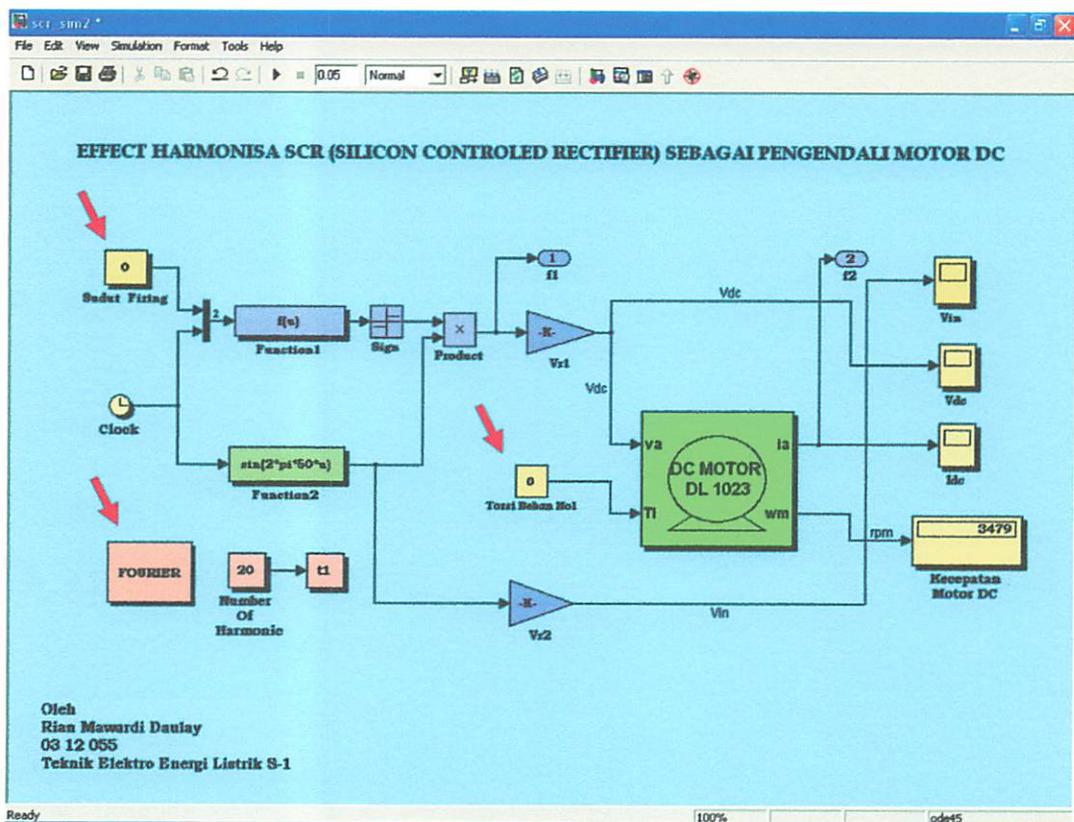
Pada gambar 4.8 diatas terlihat bahwa digunakan MATLAB versi 7.0 dengan membentuk blok-blok simulink dengan menggunakan persamaan – persamaan

Pada gambar 4.8 diatas terlihat bahwa sudut pemucuan SCR masih dalam keadaan normal dan belum disetting, torsi beban. Tegangan AC yang di inputkan ke rangkaian SCR akan disearahkan sesuai dengan besarnya sudut pemucuan pada SCR.

4.4 Hasil Simulasi.

4.4.1 Untuk Kondisi Torsi beban nol dan $V_{ac} = 190\text{ V}$

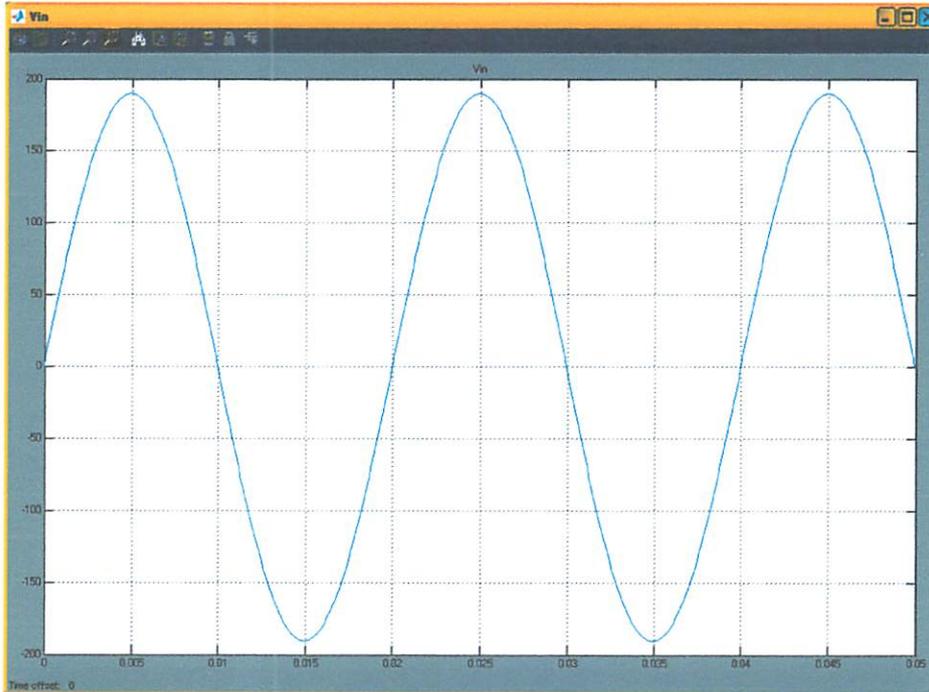
- ❖ Untuk Sudut Pemucuan SCR ($\alpha^0 = 0^0$)



Gambar 4.9. Block Simulink Untuk Kondisi Sudut Pemucuan SCR ($\alpha^0 = 0^0$) Dengan Torsi Beban Nol

Pada gambar 4.10 diatas terlihat bahwa sudut pemucuan SCR disetting pada ($\alpha^0 = 0^0$) dan torsi beban nol. Tegangan AC yang di inputkan ke rangkaian SCR akan disearahkan penuh tanpa terjadi pemotongan gelombang DC.

1. Hasil Simulasi Vac pada sudut pemicuan SCR ($\alpha^0 = 0^0$) dengan kondisi torsi beban nol dimana, Vac = 190 Volt



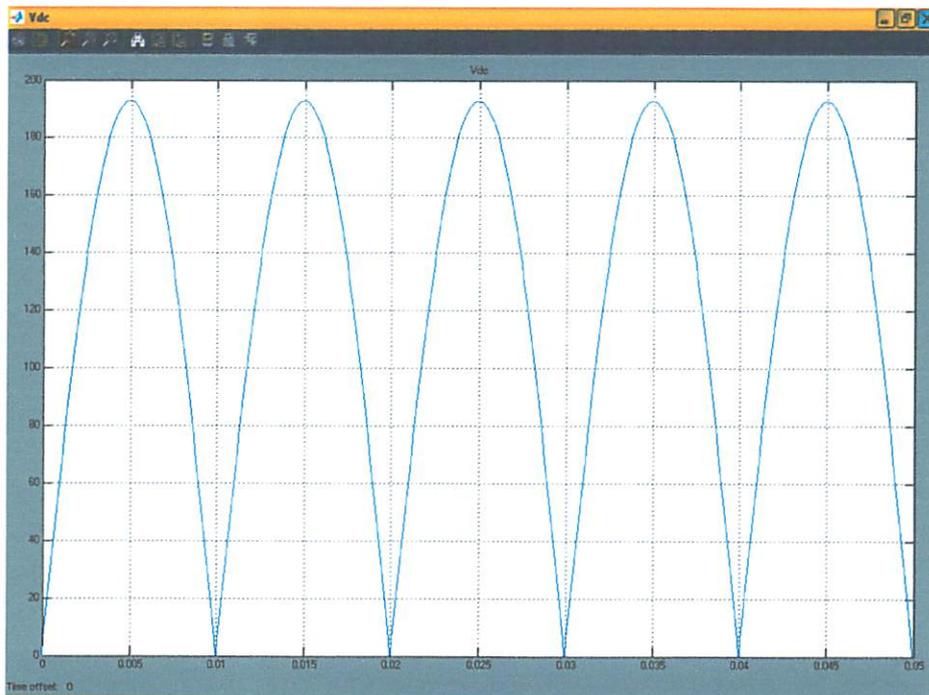
Gambar 4.10. Hasil Simulasi Vac pada sudut pemicuan SCR ($\alpha^0 = 0^0$) dengan kondisi torsi beban nol

Gambar 4.11 adalah bentuk gelombang tegangan input AC dari hasil simulasi menggunakan MATLAB 7.0. dimana besar tegangan input AC adalah 190 Volt. Pada $t = 0$ sampai $t = 0.05$ sec. Serta terlihat juga bahwa 1 periode (T) = 0,02 second. Sehingga sesuai dengan persamaan $f = \frac{1}{T}$ maka frekuensi = 50 HZ.

Hasil simulasi gelombang tegangan input AC menggunakan MATLAB Simulink 7.0 untuk sudut pemicuan SCR ($\alpha^0 = 30^0$), ($\alpha^0 = 45^0$) dan ($\alpha^0 = 60^0$) dengan torsi beban nol, sama dengan hasil simulasi gelombang tegangan

input AC untuk sudut pemicuan SCR (α^0) = 0^0 karena tegangan yang inputkan pada SCR untuk pengendalian motor DC adalah 190 Volt.

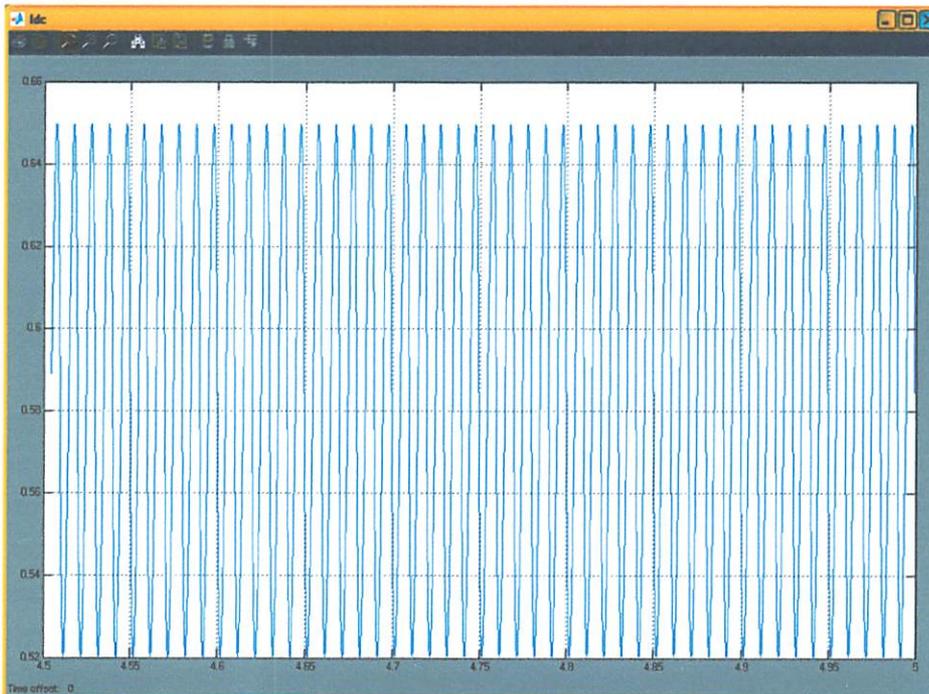
2. Hasil Simulasi Vdc pada sudut pemicuan SCR (α^0) = 0^0 dengan kondisi torsi beban nol dimana, Vac = 190 Volt



Gambar 4.11. Hasil Simulasi Vdc pada sudut pemicuan SCR (α^0) = 0^0 dengan kondisi torsi beban nol

Gambar 4.12 adalah bentuk gelombang tegangan output DC dari hasil simulasi menggunakan MATLAB 7.0. dimana pada gambar gelombang tidak terjadi suatu pemotongan gelombang. dari $t = 0$ sampai $t = 0.05$ sec. karena sudut pemicuan = 0^0 dimana besar tegangan DC dari hasil simulasi adalah 190 Volt.

3. Hasil Simulasi I_{dc} pada sudut pemucuan SCR ($\alpha^0 = 0^0$) dengan kondisi torsi beban nol dimana, $V_{ac} = 190$ Volt

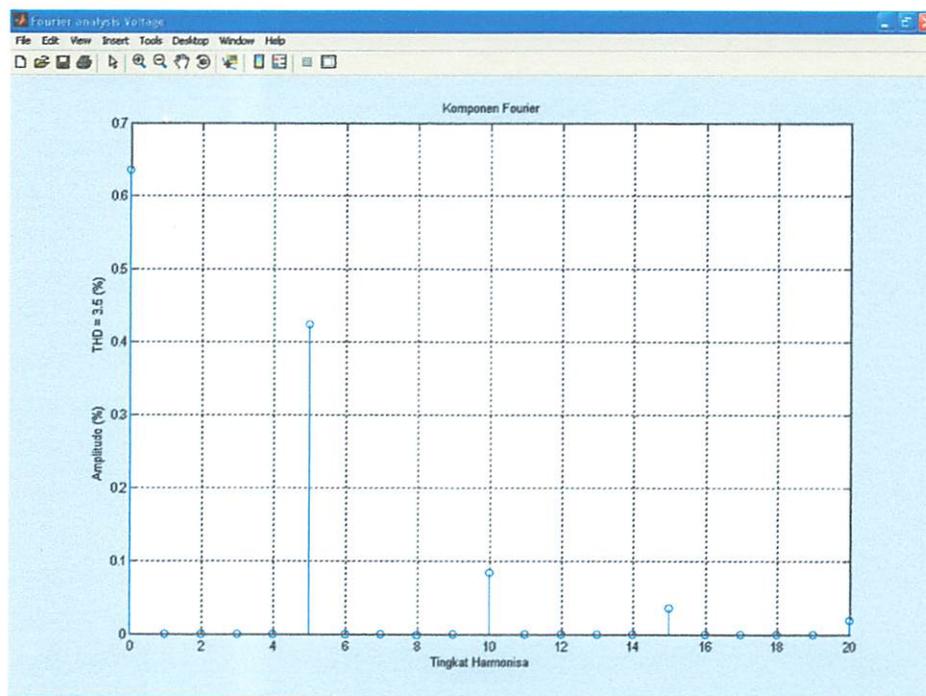


Gambar 4.12. Hasil Simulasi I_{dc} pada sudut pemucuan SCR ($\alpha^0 = 0^0$) dengan kondisi torsi beban nol

Gambar 4.13 adalah bentuk gelombang arus dc dari hasil simulasi menggunakan MATLAB 7.0. dimana pada hasil simulasi terlihat bahwa pada $t = 0$ sampai $t = 5$ sec, besar arus dc adalah 0.65 Ampere.

4. Hasil Simulasi THD Harmonisa Tegangan pada sudut pemicuan SCR

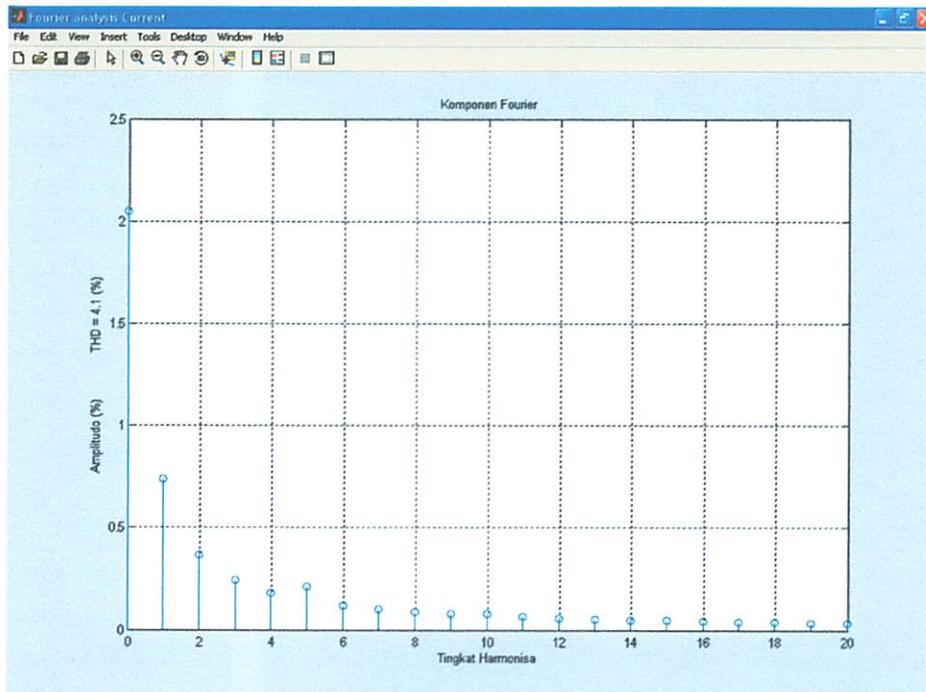
$(\alpha^0) = 0^0$ dengan kondisi torsi beban nol dimana, $V_{ac} = 190$ Volt



Gambar 4.13. Hasil Simulasi THD Harmonisa Tegangan pada sudut pemicuan SCR $(\alpha^0) = 0^0$ pada kondisi Torsi beban nol

Gambar 4.14 adalah bentuk gelombang hasil Simulasi THD Harmonisa Tegangan menggunakan MATLAB 7.0. dimana pada hasil simulasi terlihat bahwa pada Tingkatan Harmonisa = 0 amplitudo gelombang = 0.6366 % karena merupakan komponen frekuensi fundamental dari gelombang periodik. Sedangkan untuk Orde 5 amplitudo gelombang = 0.4 % , Orde 10 = 0.08 % , Orde 15 = 0.04 % dan Orde 20 = 0.02 % . dengan THD Harmonisa = 3.5 %.

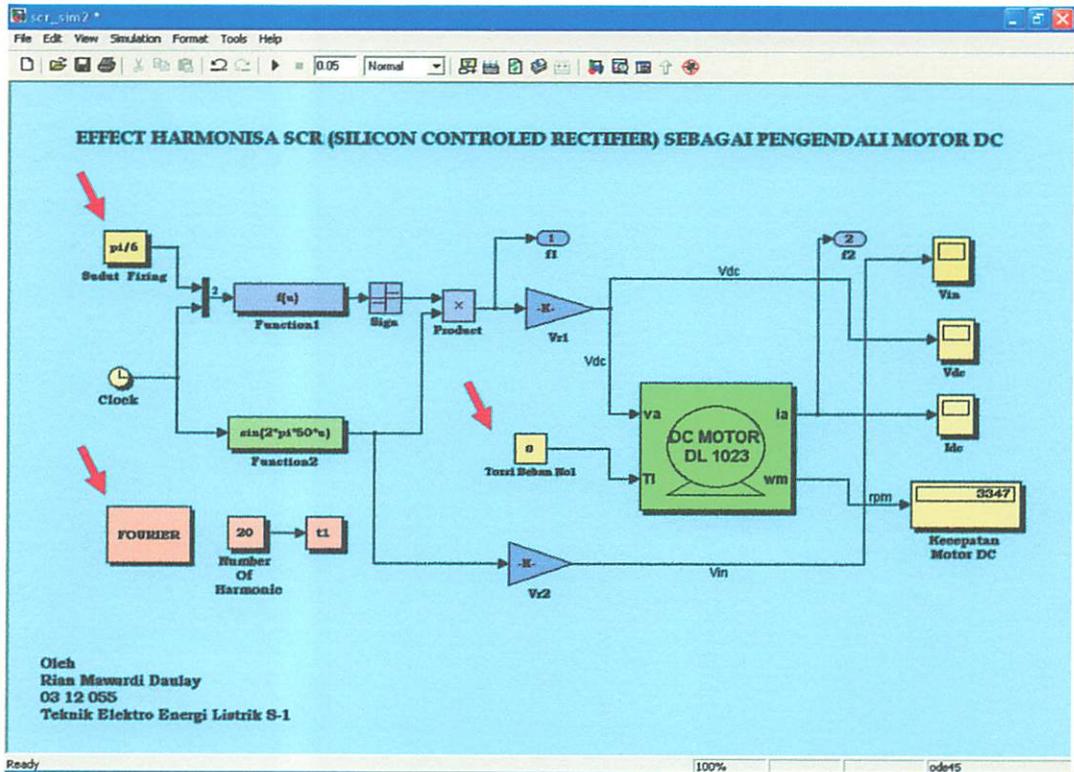
5. Hasil Simulasi THD Harmonisa Arus pada sudut pemucuan SCR (α^0) = 0^0 dengan kondisi torsi beban nol dimana, $V_{ac} = 190$ Volt



Gambar 4.14. Hasil Simulasi THD Harmonisa Arus pada sudut pemucuan SCR (α^0) = 0^0 pada kondisi Torsi beban nol

Gambar 4.15 adalah bentuk gelombang hasil Simulasi THD Harmonisa arus menggunakan MATLAB 7.0. dimana pada hasil simulasi terlihat bahwa pada Tingkatan Harmonisa = 0 amplitudo gelombang = 2.1 % karena merupakan komponen frekuensi fundamental dari gelombang periodik. Sedangkan untuk Orde1 amplitudo gelombang = 0.7 % , Orde 2 = 0.4 % , Orde 3 = 0.3 % dan Orde 5 = 0.3 % dengan THD Harmonisa = 4.1 %.

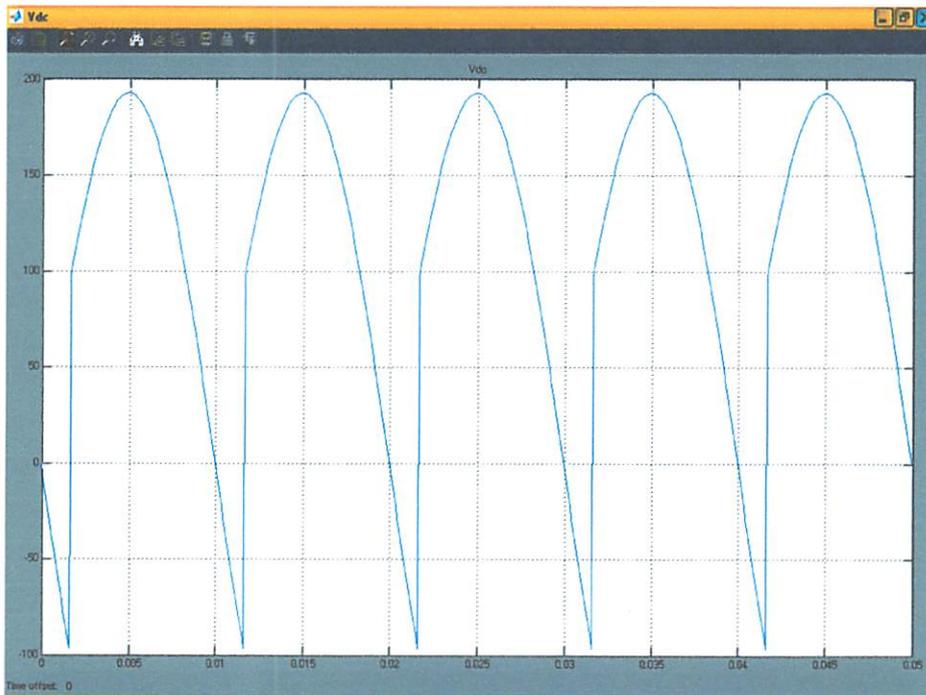
❖ Untuk Sudut Pemicuan SCR (α^0) = 30^0



Gambar 4.15. Block Simulink Untuk Kondisi Sudut Pemicuan SCR (α^0) = 30^0 Dengan Torsi Beban Nol

Pada gambar 4.16 diatas terlihat bahwa sudut pemicuan SCR disetting pada (α^0) = 30^0 dan torsi beban nol. Tegangan AC yang di inputkan ke rangkaian SCR akan disarahkan sesuai dengan besarnya sudut pemicuan pada SCR.

1. Hasil Simulasi Vdc pada sudut pemucuan SCR (α^0) = 30^0 dengan kondisi torsi beban nol dimana, Vac = 190 Volt



Gambar 4.16. Hasil Simulasi Vdc pada sudut pemucuan SCR (α^0) = 30^0 dengan kondisi torsi beban nol

Pada gambar 4.17 adalah bentuk gelombang tegangan dc dari hasil simulasi menggunakan MATLAB 7.0. dari gambar hasil simulasi terlihat bahwa pada bentuk gelombang tegangan output dc terjadi pemotongan gelombang sebesar 30^0 pada $t = 0$ sampai $t = 0.002$ sec. Sebesar 100 Volt disebabkan karena sudut pemucuan SCR disetting sebesar 30^0 .

Besarnya rata-rata tegangan dc (Vrms) untuk sudut pemucuan SCR (α^0) = 30^0 dapat di hitung dengan persamaan :

$$\begin{aligned}
 V_{rms} &= \left[\frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} V_m^2 \sin^2 \omega t \cdot d(\omega t) \right] = \left[\frac{V_m}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} (1 - \cos 2\omega t) d(\omega t) \right] \\
 &= V_m \cdot \sqrt{\frac{1}{2} - \frac{\alpha}{2\pi} + \frac{\sin(2\alpha)}{4\pi}}
 \end{aligned}$$

$$= \frac{V_m}{\sqrt{2}} = V_{ac}$$

$$V_m = \sqrt{2} \cdot V_{ac}$$

Dimana :

V_m = Puncak tegangan inputan

π = 180° ($\frac{1}{2}$ gelombang penuh)

α = Sudut pemecuan SCR (α°) = 30°

Maka V_{rms} untuk sudut pemecuan SCR (α°) = 30° adalah :

$$V_m = \sqrt{2} \cdot V_{ac}$$

$$V_m = \sqrt{2} \cdot 190 = 268.7 \text{ Volt}$$

$$V_{rms} = V_m \cdot \sqrt{\frac{1}{2} - \frac{\alpha}{2\pi} + \frac{\sin(2\alpha)}{4\pi}}$$

$$V_{rms} = V_m \cdot \sqrt{\frac{1}{2} - \frac{\alpha}{2\pi} + \frac{\sin(2\alpha)}{4\pi}}$$

$$= 268.7 \cdot \sqrt{\frac{1}{2} - \frac{30^\circ}{2 \cdot 180^\circ} + \frac{\sin(2 \cdot 30^\circ)}{4 \cdot 180^\circ}}$$

$$= 268.7 \cdot \sqrt{\frac{1}{2} - \frac{30^\circ}{360^\circ} + \frac{0.866}{720}}$$

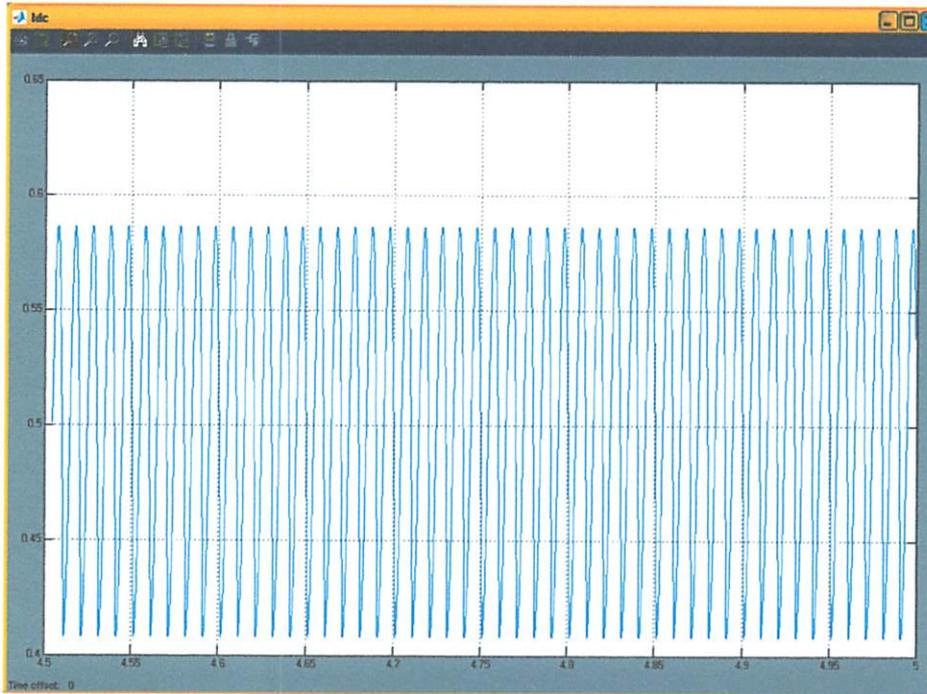
$$= 268.7 \cdot \sqrt{\frac{1}{2} - 0.0833 + 0.0012}$$

$$= 268.7 \cdot \sqrt{0.4179}$$

$$= 268.7 \times 0.6465$$

$$= 173.7 \text{ Volt}$$

2. Hasil Simulasi I_{dc} pada sudut pemuncian SCR (α^0) = 30^0 dengan kondisi torsi beban nol dimana, $V_{ac} = 190$ Volt



Gambar 4.17. Hasil Simulasi I_{dc} pada sudut pemuncian SCR (α^0) = 30^0 dengan kondisi torsi beban nol

Gambar 4.18 adalah bentuk gelombang arus dc hasil simulasi menggunakan MATLAB 7.0. dimana pada hasil simulasi terlihat bahwa pada $t = 0$ sampai $t = 5$ sec, besar arus dc adalah 0.59 Ampere.

Besarnya arus rata-rata dc (I_{rms}) untuk sudut pemuncian SCR (α^0) = 30^0 dapat di hitung dengan persamaan :

$$I_{rms} = \left[\frac{2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} I_a^2 \cdot d(\omega t) \right] = I_a \left(1 - \frac{\alpha}{2\pi} \right)$$

Dimana :

I_a = Arus pada gelombang puncak

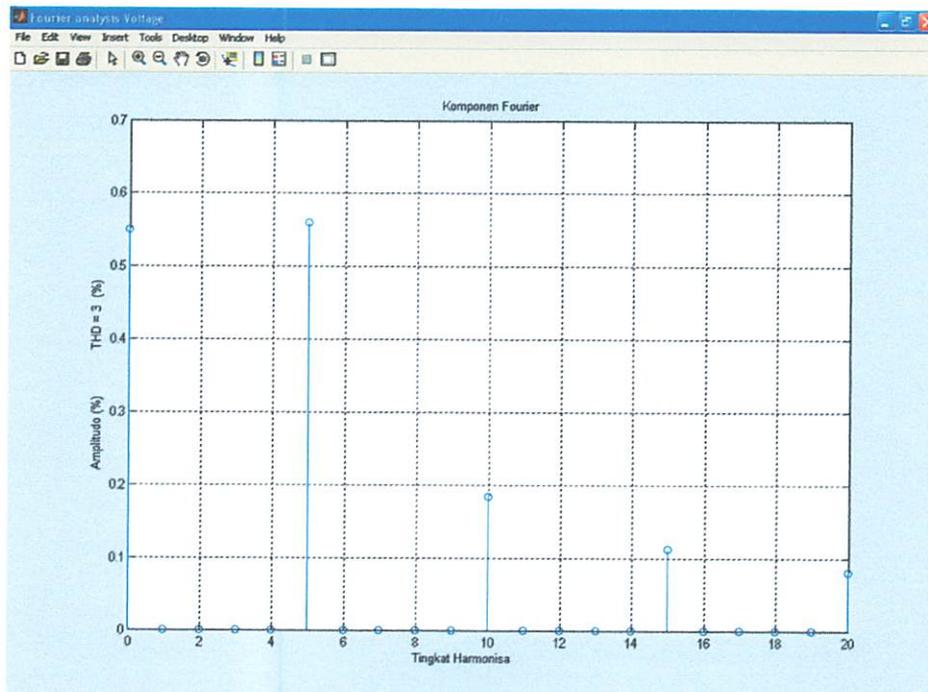
π = 180^0 ($\frac{1}{2}$ gelombang penuh)

α = Sudut pemicuan SCR (α^0) = 30^0

Maka besarnya arus rata-rata dc (I_{rms}) untuk sudut pemicuan SCR (α^0) = 30^0 :

$$\begin{aligned} I_{rms} &= \left[\frac{2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} I_a^2 \cdot d(\omega t) \right] = I_a \left(1 - \frac{\alpha}{2\pi} \right) \\ &= 0.59 \left(1 - \frac{30^0}{2.180^0} \right) \\ &= 0.54 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

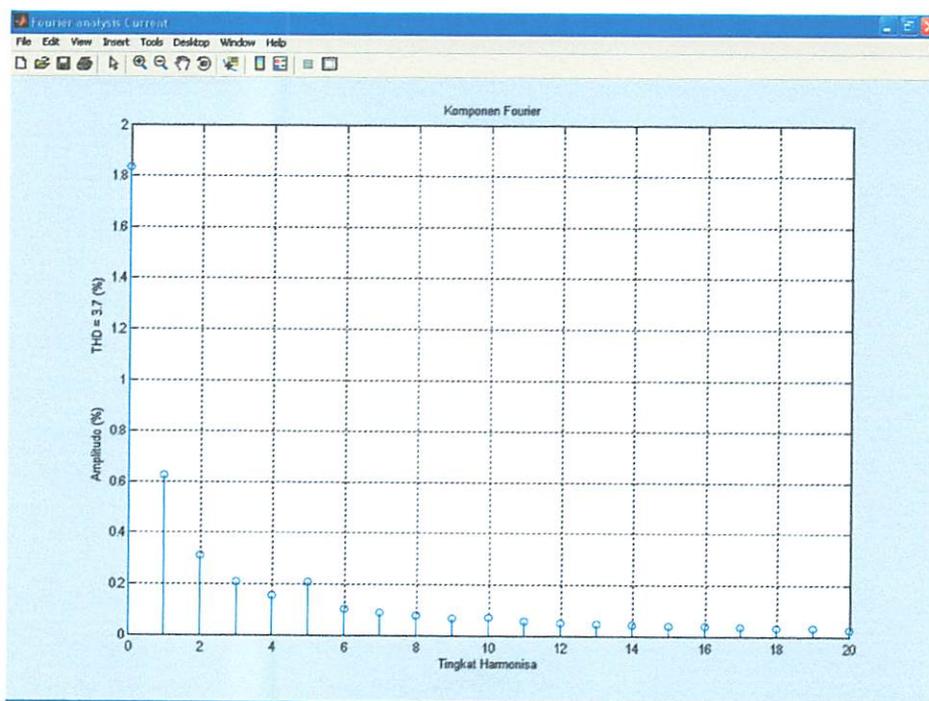
3. Hasil Simulasi THD Harmonisa Tegangan pada sudut pemicuan SCR (α^0) = 30^0 dengan kondisi torsi beban nol dimana, $V_{ac} = 190$ Volt



Gambar 4.18. Hasil Simulasi THD Harmonisa Tegangan pada sudut pemicuan SCR (α^0) = 30^0 pada kondisi Torsi beban nol

Gambar 4.19 adalah bentuk gelombang hasil Simulasi THD Harmonisa Tegangan menggunakan MATLAB 7.0. dimana pada hasil simulasi terlihat bahwa pada Tingkatan Harmonisa = 0 amplitudo gelombang = 0.55 % karena merupakan komponen frekuensi fundamental dari gelombang periodik. Sedangkan untuk Orde 5 amplitudo gelombang = 0.56 % , Orde 10 = 0.18 % , Orde 15 = 0.11 % dan Orde 20 = 0.08 % . dengan THD Harmonisa = 3 %.

4. Hasil Simulasi THD Harmonisa Arus pada sudut pemucuan SCR (α^0) = 30^0 dengan kondisi torsi beban nol dimana, Vac = 190 Volt.

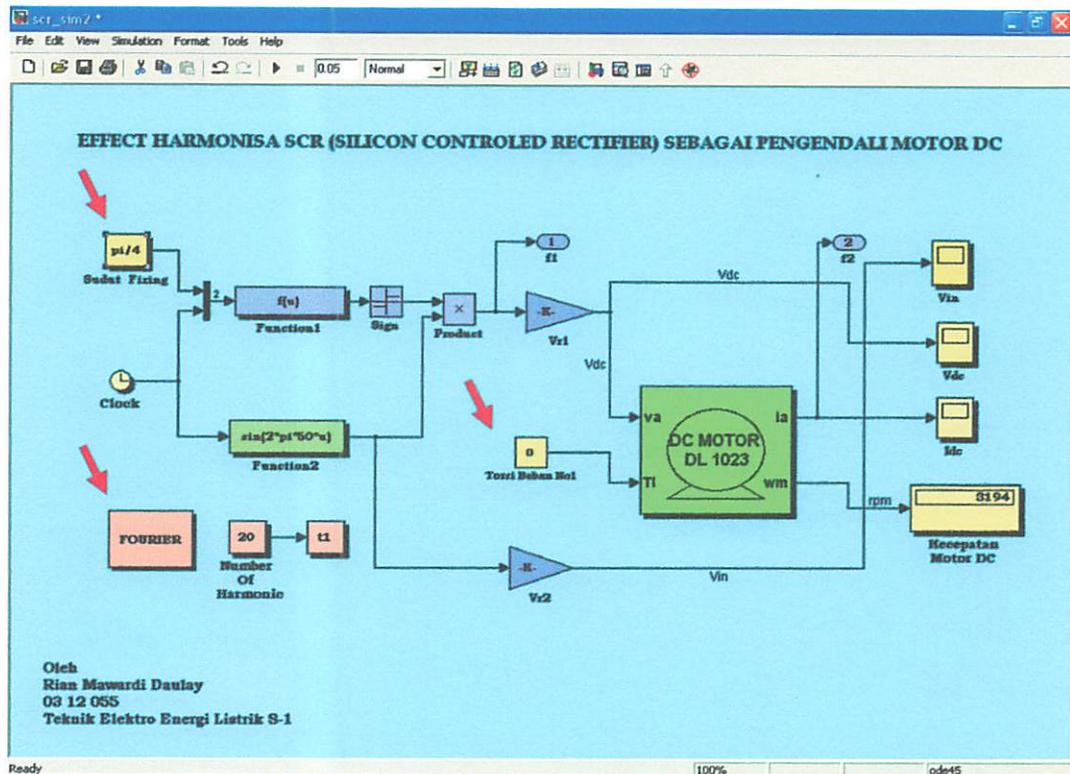


Gambar 4.19. Hasil Simulasi THD Harmonisa Arus pada sudut pemucuan SCR (α^0) = 30^0 pada kondisi Torsi beban nol

Gambar 4.20 adalah bentuk gelombang hasil Simulasi THD Harmonisa arus menggunakan MATLAB 7.0. dimana pada hasil simulasi terlihat bahwa pada Tingkatan Harmonisa = 0 amplitudo gelombang = 1.83 % karena merupakan komponen frekuensi fundamental dari gelombang periodik. Sedangkan untuk

Orde1 amplitudo gelombang = 0.63 % , Orde 2 = 0.31 % , Orde 3 = 0.25 %
dan Orde 5 = 0.2 % dengan THD Harmonisa = 3.7 %.

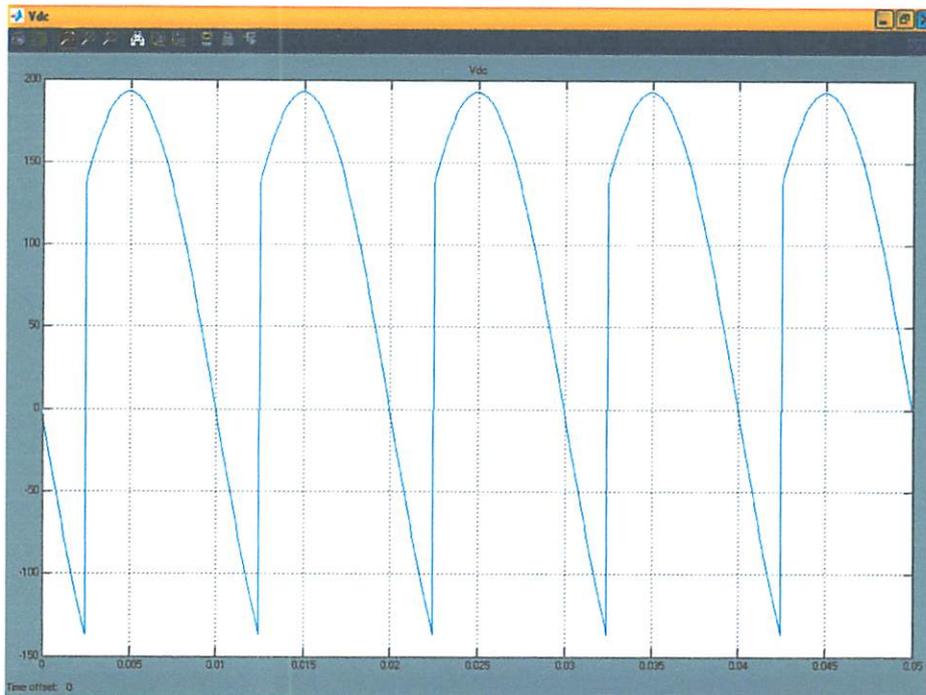
❖ Untuk Sudut Pemucuan SCR (α^0) = 45^0



Gambar 4.20. Block Simulink Untuk Kondisi Sudut Pemucuan SCR (α^0) = 45^0
Dengan Torsi Beban Nol

Pada gambar 4.21 diatas terlihat bahwa sudut pemucuan SCR disetting pada (α^0) = 45^0 dan torsi beban nol. Tegangan AC yang di inputkan ke rangkaian SCR akan disearahkan sesuai dengan besarnya sudut pemucuan pada SCR.

1. Hasil Simulasi Vdc pada sudut pemicuan SCR (α^0) = 45^0 dengan kondisi torsi beban nol dimana, Vac = 190 Volt



Gambar 4.21. Hasil Simulasi Vdc pada sudut pemicuan SCR (α^0) = 45^0 dengan kondisi torsi beban nol

Pada gambar 4.24 adalah bentuk gelombang tegangan dc dari hasil simulasi menggunakan MATLAB 7.0. dari gambar hasil simulasi terlihat bahwa pada bentuk gelombang tegangan output dc terjadi pemotongan gelombang sebesar 45^0 pada $t = 0$ sampai $t = 0.003$ sec. Sebesar 140 Volt disebabkan karena sudut pemicuan SCR disetting sebesar 45^0 .

Besarnya rata-rata tegangan dc (V_{rms}) untuk sudut pemicuan SCR (α^0) = 45^0 dapat di hitung dengan persamaan :

$$V_{rms} = \left[\frac{1}{2\pi} \int_x^{\pi} V_m^2 \sin^2 \omega t. d(\omega t) \right] = \left[\frac{V_m}{2\pi} \int_x^{\pi} (1 - \cos 2\omega t) d(\omega t) \right]$$

$$= V_m \sqrt{\frac{1}{2} - \frac{\alpha}{2\pi} + \frac{\sin(2\alpha)}{4\pi}}$$

$$= \frac{V_m}{\sqrt{2}} = V_{ac}$$

$$V_m = \sqrt{2} \cdot V_{ac}$$

Dimana :

V_m = Puncak tegangan inputan

π = 180° ($\frac{1}{2}$ gelombang penuh)

α = Sudut pemicuan SCR (α°) = 45°

Maka V_{rms} untuk sudut pemicuan SCR (α°) = 45° adalah :

$$V_m = \sqrt{2} \cdot V_{ac}$$

$$V_m = \sqrt{2} \cdot 190 = 268.7 \text{ Volt}$$

$$V_{rms} = V_m \sqrt{\frac{1}{2} - \frac{\alpha}{2\pi} + \frac{\sin(2\alpha)}{4\pi}}$$

$$= 268.7 \sqrt{\frac{1}{2} - \frac{45^\circ}{2 \cdot 180^\circ} + \frac{\sin(2 \cdot 45^\circ)}{4 \cdot 180^\circ}}$$

$$= 268.7 \sqrt{\frac{1}{2} - \frac{45^\circ}{360^\circ} + \frac{1}{720}}$$

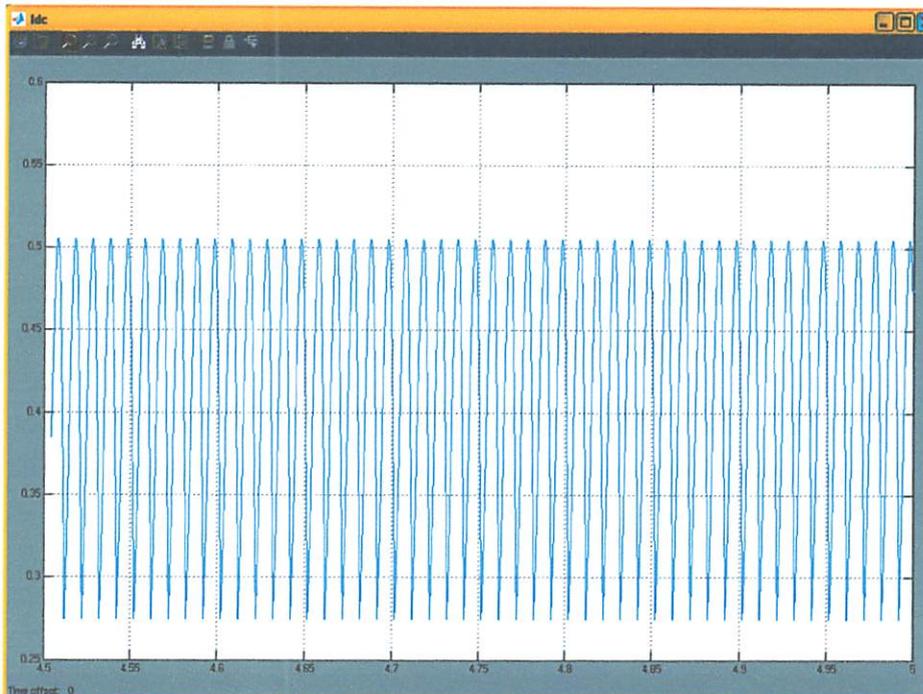
$$= 268.7 \sqrt{\frac{1}{2} - 0.125 + 0.0014}$$

$$= 268.7 \sqrt{0.3764}$$

$$= 268.7 \times 0.6135$$

$$= 164.9 \text{ Volt}$$

2. Hasil Simulasi I_{dc} pada sudut pemicuan SCR (α^0) = 45^0 dengan kondisi torsi beban nol dimana, $V_{ac} = 190$ Volt



Gambar 4.22. Hasil Simulasi I_{dc} pada sudut pemicuan SCR (α^0) = 45^0 dengan kondisi torsi beban nol

Gambar 4.25 adalah bentuk gelombang arus dc hasil simulasi menggunakan MATLAB 7.0. dimana pada hasil simulasi terlihat bahwa pada $t = 0$ sampai $t = 5$ sec, besar arus dc adalah 0.51 Ampere.

Besarnya arus rata-rata dc (I_{rms}) untuk sudut pemicuan SCR (α^0) = 45^0 dapat di hitung dengan persamaan :

$$I_{rms} = \left[\frac{2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} I_a^2 d(\omega t) \right] = I_a \left(1 - \frac{\alpha}{2\pi} \right)$$

Dimana :

I_a = Arus pada gelombang puncak

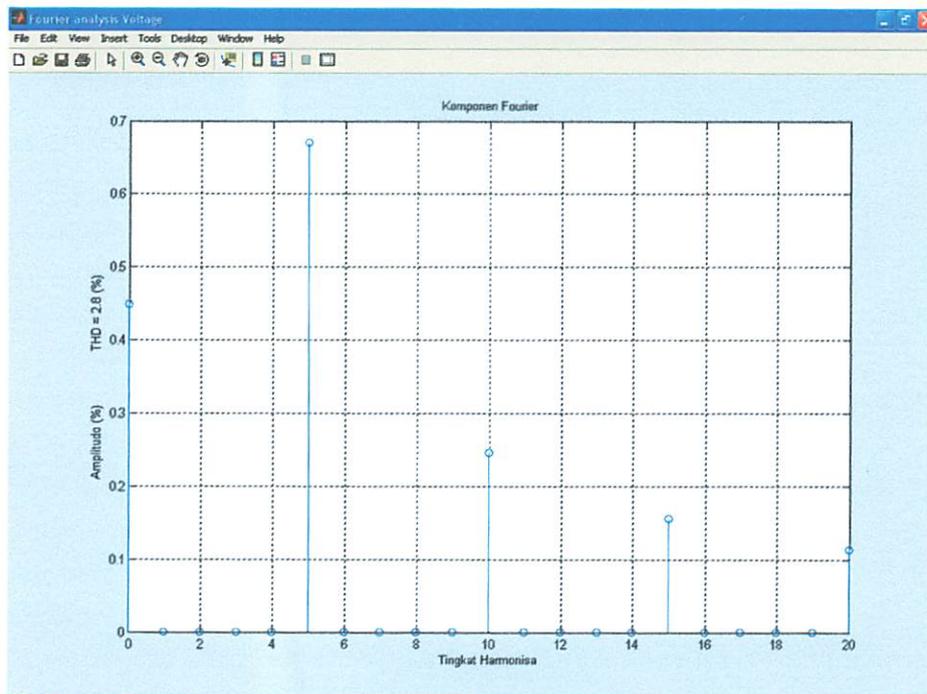
π = 180^0 ($\frac{1}{2}$ gelombang penuh)

α = Sudut pemecuan SCR (α^0) = 45^0

Maka besarnya arus rata-rata dc (I_{rms}) untuk sudut pemecuan SCR (α^0) = 45^0 :

$$\begin{aligned} I_{rms} &= \left[\frac{2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} I_a^2 \cdot d(\omega t) \right] = I_a \left(1 - \frac{\alpha}{2\pi} \right) \\ &= 0.51 \left(1 - \frac{45^0}{2.180^0} \right) \\ &= 0.46 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

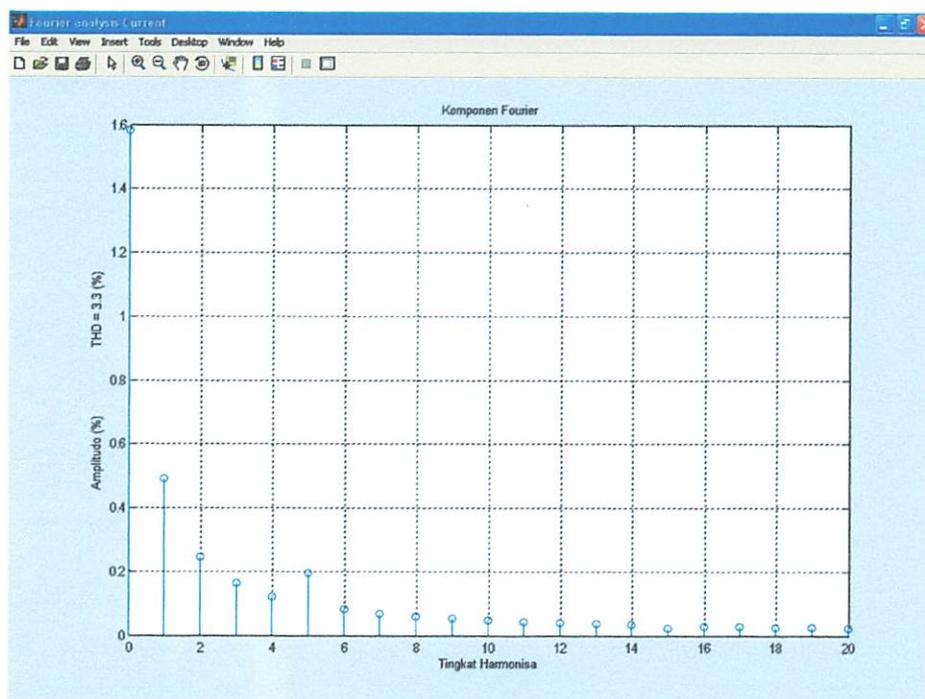
3. Hasil Simulasi THD Harmonisa Tegangan pada sudut pemecuan SCR (α^0) = 45^0 dengan kondisi torsi beban nol dimana, $V_{ac} = 190$ Volt



Gambar 4.23. Hasil Simulasi THD Harmonisa Tegangan pada sudut pemecuan SCR (α^0) = 45^0 pada kondisi Torsi beban nol

Gambar 4.26 adalah bentuk gelombang hasil Simulasi THD Harmonisa Tegangan menggunakan MATLAB 7.0. dimana pada hasil simulasi terlihat bahwa pada Tingkatan Harmonisa = 0 amplitudo gelombang = 0.45 % karena merupakan komponen frekuensi fundamental dari gelombang periodik. Sedangkan untuk Orde 5 amplitudo gelombang = 0.68 % , Orde 10 = 0.25 % , Orde 15 = 0.16 % dan Orde 20 = 0.12 % . dengan THD Harmonisa = 2.8 %.

4. Hasil Simulasi THD Harmonisa Arus pada sudut pemucuan SCR (α^0) = 45^0 dengan kondisi torsi beban nol dimana, Vac = 190 Volt

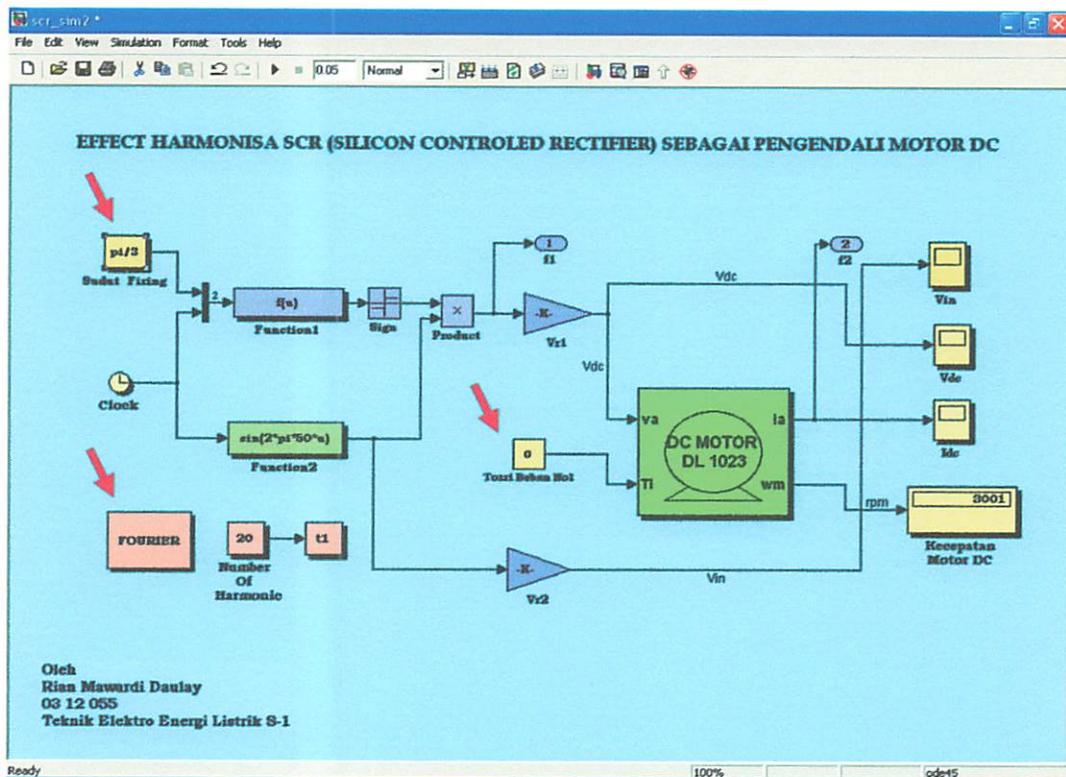


Gambar 4.24. Hasil Simulasi THD Harmonisa Arus pada sudut pemucuan SCR (α^0) = 45^0 pada kondisi Torsi beban nol

Gambar 4.27 adalah bentuk gelombang hasil Simulasi THD Harmonisa arus menggunakan MATLAB 7.0. dimana pada hasil simulasi terlihat bahwa pada Tingkatan Harmonisa = 0 amplitudo gelombang = 1.6 % karena merupakan

komponen frekuensi fundamental dari gelombang periodik. Sedangkan untuk Orde 1 amplitudo gelombang = 0.45 % , Orde 2 = 0.24 % , Orde 3 = 0.16 % dan Orde 5 = 0.2 % dengan THD Harmonisa = 3.3 %.

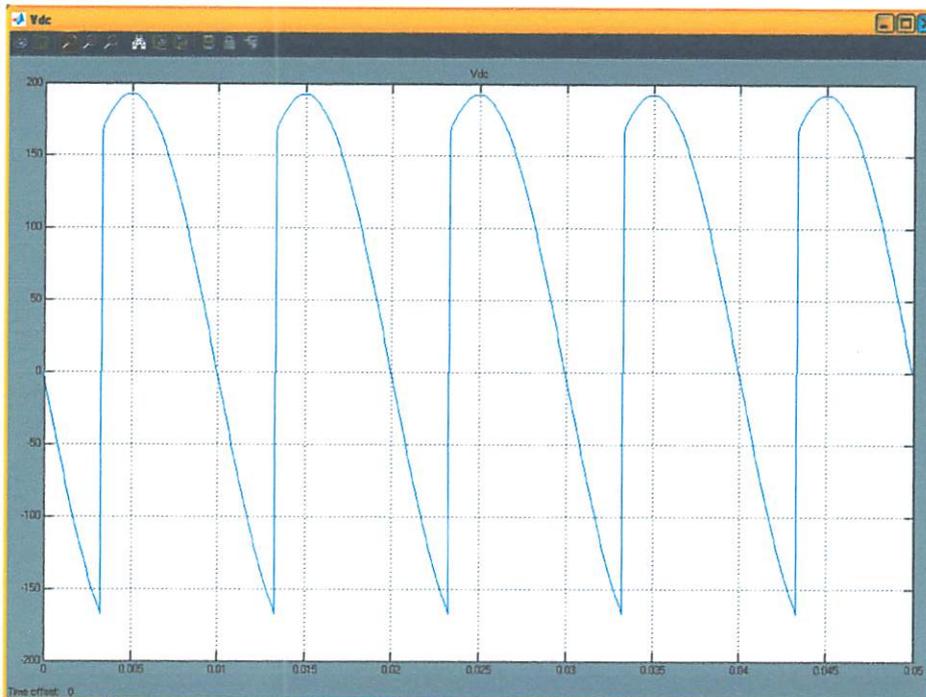
❖ Untuk Sudut Pemicuan SCR (α^0) = 60^0



Gambar 4.25 Block Simulink Untuk Kondisi Sudut Pemicuan SCR (α^0) = 60^0 Dengan Torsi Beban Nol

Pada gambar 4.27 diatas terlihat bahwa sudut pemicuan SCR disetting pada (α^0) = 60^0 dan torsi beban nol. Tegangan AC yang di inputkan ke rangkaian SCR akan disearahkan sesuai dengan besarnya sudut pemicuan pada SCR.

1. Hasil Simulasi Vdc pada sudut pemicuan SCR ($\alpha^0 = 60^0$) dengan kondisi torsi beban nol dimana, Vac = 190 Volt



Gambar 4.26. Hasil Simulasi Vdc pada sudut pemicuan SCR ($\alpha^0 = 60^0$) dengan kondisi torsi beban nol

Pada gambar 4.28 adalah bentuk gelombang tegangan dc dari hasil simulasi menggunakan MATLAB 7.0. dari gambar hasil simulasi terlihat bahwa pada bentuk gelombang tegangan output dc terjadi pemotongan gelombang sebesar 60^0 pada $t = 0$ sampai $t = 0.003$ sec. Sebesar 170 Volt disebabkan karena sudut pemicuan SCR disetting sebesar 60^0 .

Besarnya rata-rata tegangan dc (V_{rms}) untuk sudut pemicuan SCR ($\alpha^0 = 60^0$) dapat di hitung dengan persamaan :

$$V_{rms} = \left[\frac{1}{2\pi} \int_x^{\pi} V_m^2 \sin^2 \omega t \cdot d(\omega t) \right] = \left[\frac{V_m}{2\pi} \int_x^{\pi} (1 - \cos 2\omega t) d(\omega t) \right]$$

$$= V_m \cdot \sqrt{\frac{1}{2} - \frac{\alpha}{2\pi} + \frac{\sin(2\alpha)}{4\pi}}$$

$$= \frac{V_m}{\sqrt{2}} = V_{ac}$$

$$V_m = \sqrt{2} \cdot V_{ac}$$

Dimana :

V_m = Puncak tegangan inputan

π = 180^0 ($\frac{1}{2}$ gelombang penuh)

α = Sudut pemecuan SCR (α^0) = 60^0

Maka V_{rms} untuk sudut pemecuan SCR (α^0) = 60^0 adalah :

$$V_m = \sqrt{2} \cdot V_{ac}$$

$$V_m = \sqrt{2} \cdot 190 = 268.7 \text{ Volt}$$

$$V_{rms} = V_m \cdot \sqrt{\frac{1}{2} - \frac{\alpha}{2\pi} + \frac{\sin(2\alpha)}{4\pi}}$$

$$= 268.7 \cdot \sqrt{\frac{1}{2} - \frac{60^0}{2 \cdot 180^0} + \frac{\sin(2 \cdot 60^0)}{4 \cdot 180^0}}$$

$$= 268.7 \cdot \sqrt{\frac{1}{2} - \frac{60^0}{360^0} + \frac{0.866}{720}}$$

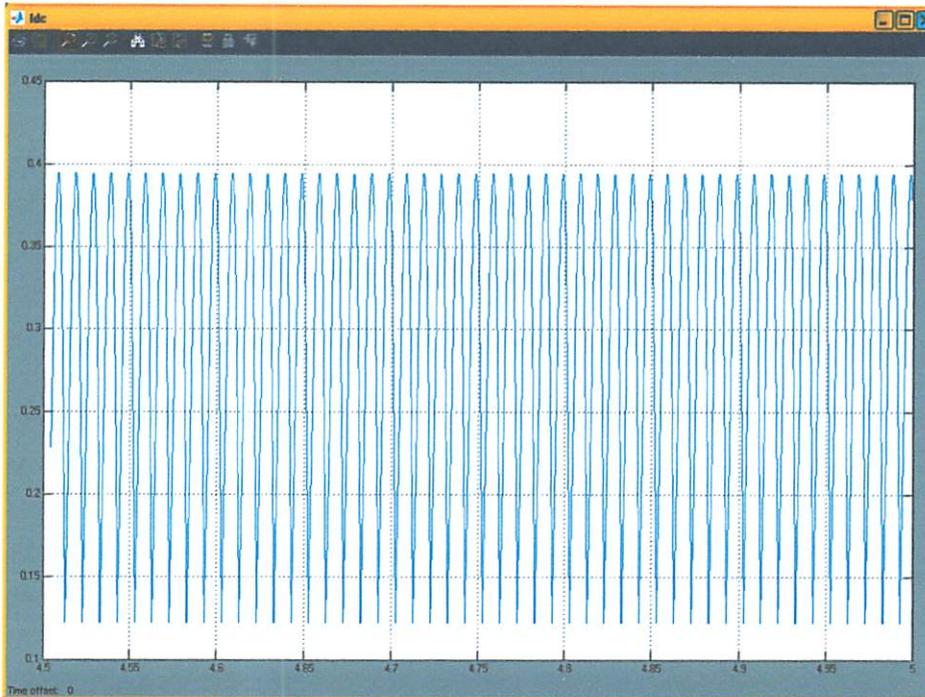
$$= 268.7 \cdot \sqrt{\frac{1}{2} - 0.166 + 0.0012}$$

$$= 268.7 \cdot \sqrt{0.3321}$$

$$= 268.7 \times 0.5763$$

$$= 155.4 \text{ Volt}$$

2. Hasil Simulasi I_{dc} pada sudut pemicuan SCR (α^0) = 60^0 dengan kondisi torsi beban nol dimana, $V_{ac} = 190$ Volt



Gambar 4.27. Hasil Simulasi I_{dc} pada sudut pemicuan SCR (α^0) = 60^0 dengan kondisi torsi beban nol

Gambar 4.29 adalah bentuk gelombang arus dc hasil simulasi menggunakan MATLAB 7.0. dimana pada hasil simulasi terlihat bahwa pada $t = 0$ sampai $t = 5$ sec, besar arus dc adalah 0.39 Ampere.

Besarnya arus rata-rata dc (I_{rms}) untuk sudut pemicuan SCR (α^0) = 60^0 dapat di hitung dengan persamaan :

$$I_{rms} = \left[\frac{2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} I_a^2 \cdot d(\omega t) \right] = I_a \left(1 - \frac{\alpha}{2\pi} \right)$$

Dimana :

I_a = Arus pada gelombang puncak

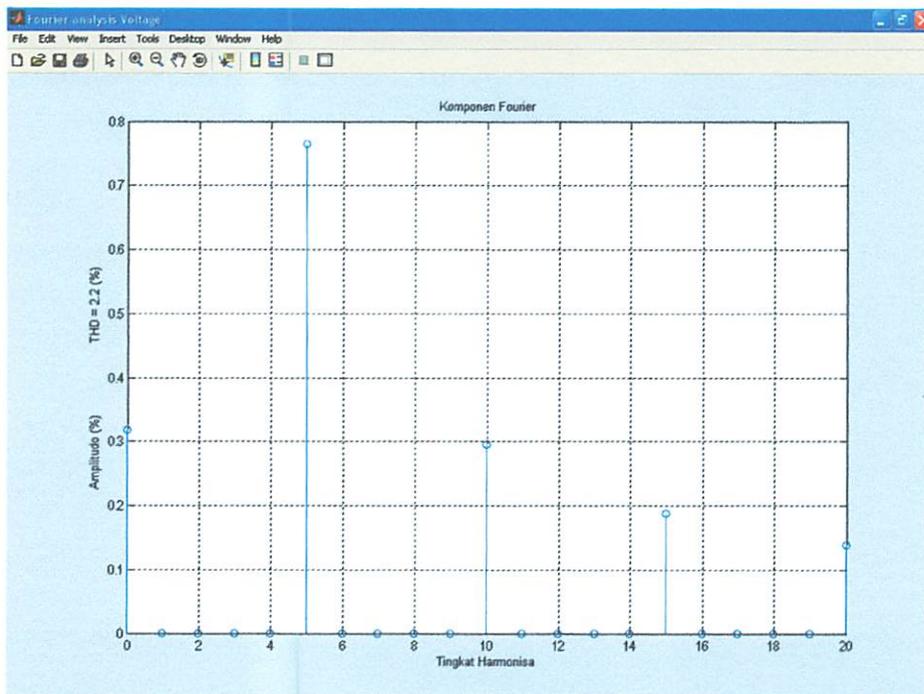
π = 180^0 ($\frac{1}{2}$ gelombang penuh)

α = Sudut pemicuan SCR (α^0) = 60^0

Maka besarnya arus rata-rata dc (I_{rms}) untuk sudut pemicuan SCR (α^0) = 60^0 :

$$\begin{aligned} I_{rms} &= \left[\frac{2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} I_a^2 \cdot d(\omega t) \right] = I_a \left(1 - \frac{\alpha}{2\pi} \right) \\ &= 0.39 \left(1 - \frac{60^0}{2.180^0} \right) \\ &= 0.33 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

3. Hasil Simulasi THD Harmonisa Tegangan pada sudut pemicuan SCR (α^0) = 60^0 dengan kondisi torsi beban nol dimana, $V_{ac} = 190$ Volt

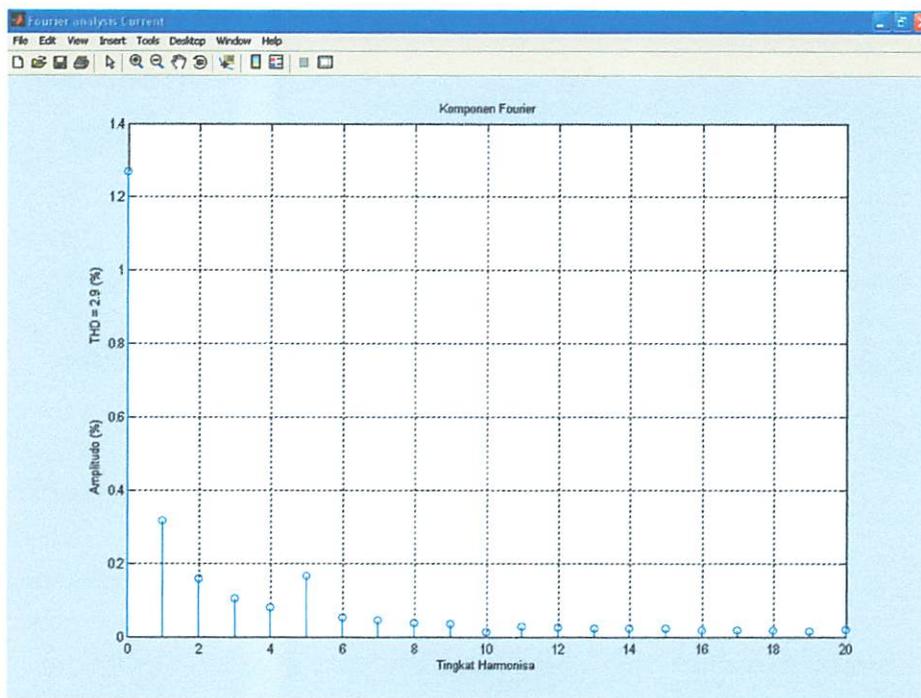


Gambar 4.28. Hasil Simulasi THD Harmonisa Tegangan pada sudut pemicuan SCR (α^0) = 60^0 pada kondisi Torsi beban nol

Gambar 4.30 adalah bentuk gelombang hasil Simulasi THD Harmonisa Tegangan menggunakan MATLAB 7.0. dimana pada hasil simulasi terlihat

bahwa pada Tingkat Harmonisa = 0 amplitudo gelombang = 0.32 % karena merupakan komponen frekuensi fundamental dari gelombang periodik. Sedangkan untuk Orde 5 amplitudo gelombang = 0.77 % , Orde 10 = 0.3 % , Orde 15 = 0.19 % dan Orde 20 = 0.14 % . dengan THD Harmonisa = 2.2 %.

4. Hasil Simulasi THD Harmonisa Arus pada sudut pemucuan SCR (α^0) = 60^0 dengan kondisi torsi beban nol dimana, Vac = 190 Volt

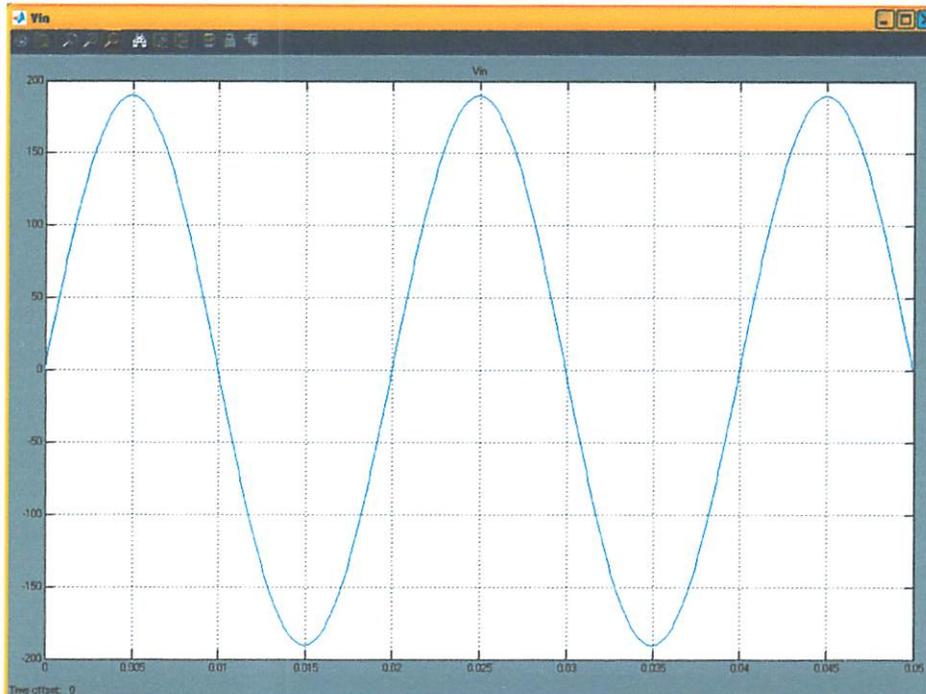


Gambar 4.29. Hasil Simulasi THD Harmonisa Arus pada sudut pemucuan SCR (α^0) = 60^0 pada kondisi Torsi beban nol

Gambar 4.31 adalah bentuk gelombang hasil Simulasi THD Harmonisa arus menggunakan MATLAB 7.0. dimana pada hasil simulasi terlihat bahwa pada Tingkat Harmonisa = 0 amplitudo gelombang = 1.27 % karena merupakan komponen frekuensi fundamental dari gelombang periodik. Sedangkan untuk Orde1 amplitudo gelombang = 0.32 % , Orde 2 = 0.16 % , Orde 3 = 0.10 % dan Orde 5 = 0.17 % dengan THD Harmonisa = 2.9 %.

inputkan ke rangkaian SCR akan disearahkan penuh tanpa terjadi pemotongan gelombang DC.

1. Hasil Simulasi V_{ac} pada sudut pemicuan SCR (α^0) = 0^0 dengan kondisi torsi beban disetting pada 0.5 N.m dimana, V_{ac} = 190 Volt



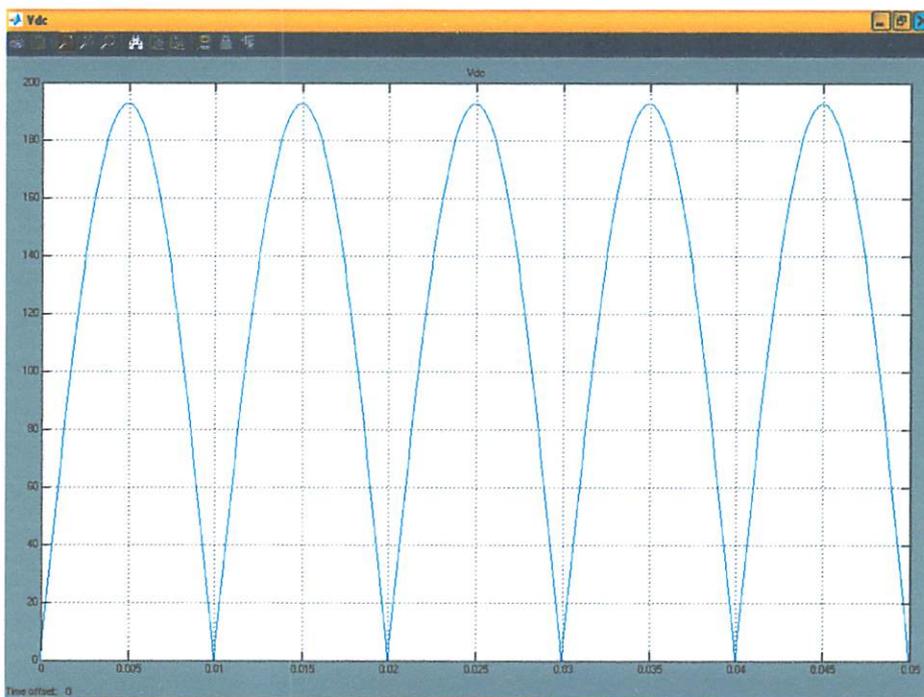
Gambar 4.31. Hasil Simulasi V_{ac} pada sudut pemicuan SCR (α^0) = 0^0 dengan kondisi torsi beban di setting pada 0.5 N.m

Gambar 4.33 adalah bentuk gelombang tegangan input AC dari hasil simulasi menggunakan MATLAB 7.0. dimana besar tegangan input AC adalah 190 Volt. Pada $t = 0$ sampai $t = 0.05$ sec. Serta terlihat juga bahwa 1 periode (T) = 0,02 second. Sehingga sesuai dengan persamaan $f = \frac{1}{T}$ maka frekuensi = 50 HZ.

Hasil simulasi gelombang tegangan input AC menggunakan MATLAB Simulink 7.0 untuk sudut pemicuan SCR (α^0) = 30^0 , (α^0) = 45^0 dan (α^0) =

60° dengan torsi beban disetting pada 0.5 nm, sama dengan hasil simulasi gelombang tegangan input AC untuk sudut pemucuan SCR ($\alpha^0 = 0^0$) karena tegangan yang inputkan pada SCR untuk pengendalian motor DC adalah 190 Volt.

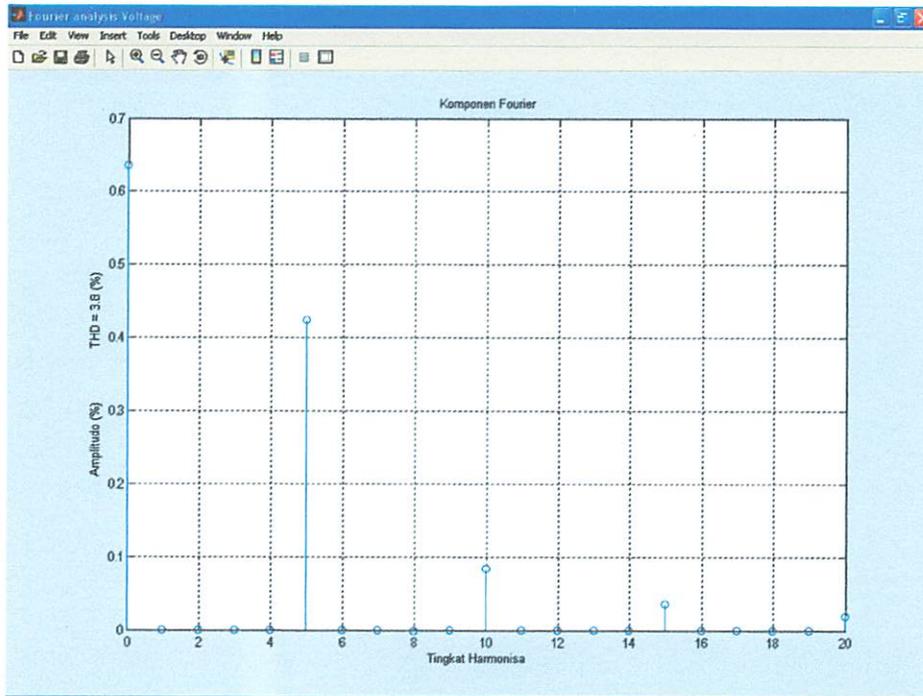
2. Hasil Simulasi Vdc pada sudut pemucuan SCR ($\alpha^0 = 0^0$) dengan kondisi torsi beban disetting pada 0.5 N.m dimana, Vac = 190 Volt



Gambar 4.32. Hasil Simulasi Vdc pada sudut pemucuan SCR ($\alpha^0 = 0^0$) dengan kondisi torsi beban di setting pada 0.5 N.m

Gambar 4.34 adalah bentuk gelombang tegangan output DC dari hasil simulasi menggunakan MATLAB 7.0. dimana pada gambar gelombang tidak terjadi suatu pemotongan gelombang. dari $t = 0$ sampai $t = 0.05$ sec. dimana besar tegangan dc dari hasil simulasi adalah 190 Volt, karena sudut pemucuan $= 0^0$.

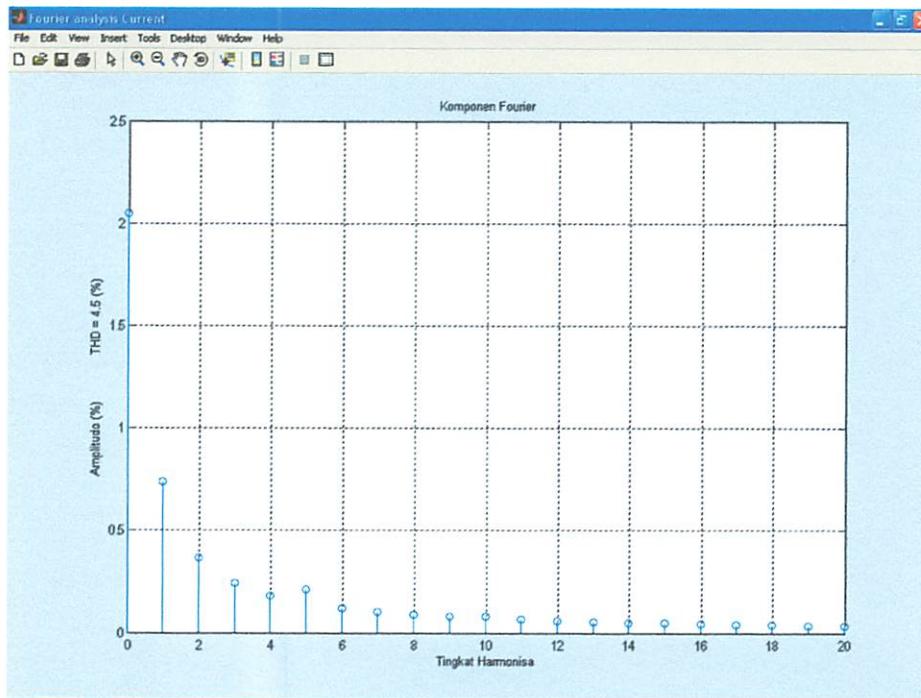
4. Hasil Simulasi THD Harmonisa Tegangan pada sudut pemuncian SCR ($\alpha^0 = 0^0$) dengan kondisi torsi beban disetting pada 0.5 Nm dimana, $V_{ac} = 190$ Volt



Gambar 4.34. Hasil Simulasi THD Harmonisa Tegangan pada sudut pemuncian SCR ($\alpha^0 = 0^0$) pada kondisi Torsi beban disetting pada 0.5 Nm

Gambar 4.36 adalah bentuk gelombang hasil Simulasi THD Harmonisa Tegangan menggunakan MATLAB 7.0. dimana pada hasil simulasi terlihat bahwa pada Tingkatan Harmonisa = 0 amplitudo gelombang = 0.66 % karena merupakan komponen frekuensi fundamental dari gelombang periodik. Sedangkan untuk Orde 5 amplitudo gelombang = 0.45 % , Orde 10 = 0.087 % , Orde 15 = 0.038 % dan Orde 20 = 0.05 % . dengan THD = 3.8 %.

5. Hasil Simulasi THD Harmonisa Arus pada sudut pemucuan SCR (α^0) = 0^0 dengan kondisi torsi beban dissting pada 0.5 Nm dimana, $V_{ac} = 190$ Volt



Gambar 4.35. Hasil Simulasi THD Harmonisa Arus pada sudut pemucuan SCR (α^0) = 0^0 pada kondisi Torsi beban disetting pada 0.5 Nm

Gambar 4.37 adalah bentuk gelombang hasil Simulasi THD Harmonisa arus menggunakan MATLAB 7.0. dimana pada hasil simulasi terlihat bahwa pada Tingkatan Harmonisa = 0 amplitudo gelombang = 2.3 % karena merupakan komponen frekuensi fundamental dari gelombang periodik. Sedangkan untuk Orde 1 amplitudo gelombang = 0.9 % , Orde 2 = 0.6 % , Orde 3 = 0.4 % dan Orde 5 = 0.5 % dengan THD = 4.5 %.

Karena Hasil Simulasi kondisi Torsi beban disetting pada 0.5 Nm hanya sebagai pembanding (khusus simulasi) maka untuk sudut pemucuan SCR

$(\alpha^0) = 30^0$, $(\alpha^0) = 45^0$ dan $(\alpha^0) = 60^0$ Hasil simulasi Vdc, Idc, THD Harmonisa Tegangan dan Arus dapat dilihat selengkapnya pada Tabel 4-8 dibawah ini :

Tabel 4-7
Hasil Simulasi Pada Torsi Beban nol

NO	SUDUT FIRING (α^0)	VAC (V)	VDC (V)	IDC (A)	N (RPM)	THD HARMONISA (%)	
						Arus	Teg.
1	0^0	190	190	0.65	3479	4.1	3.5
2	30^0	190	173.7	0.59	3347	3.7	3
3	45^0	190	164.9	0.44	3194	3.3	2.8
4	60^0	190	155.4	0.33	3001	2.9	2.2

Dari tabel diatas dapat dianalisa :

- Semakin kecil sudut pemicuan pada SCR, tegangan dc semakin besar, arus dc Semakin Besar , kecepatan semakin kecil, THD Harmonisa Tegangan dan Arus juga relative besar.

Tabel 4-8
Hasil Simulasi Pada Torsi Beban disetting pada 0.5 N.m
(Khusus Simulasi)

NO	SUDUT FIRING (α^0)	VAC (V)	VDC (V)	IDC (A)	N (RPM)	THD HARMONISA (%)	
						Arus	Teg.
1	0^0	190	190	0.89	3328	4.5	3.8
2	30^0	190	173.7	0.76	3195	3.9	3.2
3	45^0	190	164.9	0.65	3045	3.5	3
4	60^0	190	155.4	0.53	2850	3.1	2.5

Dari tabel diatas dapat dianalisa :

- Semakin kecil sudut pemicuan pada SCR, tegangan dc semakin besar, arus dc Semakin Besar , kecepatan semakin besar, THD Harmonisa Tegangan dan Arus juga relative besar.

Analisa Hasil Simulasi

4.5.1 Analisa Hasil Simulasi Pada Torsi Beban nol, dan Tegangan

Inputan AC = 190 Volt

1. Hasil Simulasi pada sudut pemicuan SCR (α^0) = 0^0

Semakin kecil sudut pemicuan pada SCR, tegangan dc semakin besar, arus dc Semakin Besar , kecepatan semakin besar, THD Harmonisa Tegangan dan Arus juga relative besar.

- Ⓜ Pada sudut pemicuan SCR (α^0) = 0^0 besarnya tegangan dc yang dihasilkan adalah 190 Volt
- Ⓜ Besarnya arus dc yang dihasilkan adalah 0.65 Ampere
- Ⓜ Besarnya kecepatan motor dc yang dihasilkan adalah 3479 rpm
- Ⓜ Besarnya THD Tegangan yang dihasilkan adalah 3.5 %
- Ⓜ Besarnya THD Arus yang dihasilkan adalah 4.1 %

2. Hasil simulasi pada sudut pemicuan SCR (α^0) = 30^0

Semakin besar sudut pemicuan pada SCR, tegangan dc semakin kecil, arus dc Semakin kecil, kecepatan semakin kecil. THD Harmonisa Tegangan dan Arus juga relative kecil.

- Ⓜ Pada sudut pemicuan SCR (α^0) = 30^0 besarnya tegangan dc yang dihasilkan adalah 173.7 Volt
- Ⓜ Besarnya arus dc yang dihasilkan adalah 0.59 Ampere
- Ⓜ Besarnya kecepatan motor dc yang dihasilkan adalah 3347 rpm
- Ⓜ Besarnya THD Tegangan yang dihasilkan adalah 3 %
- Ⓜ Besarnya THD Arus yang dihasilkan adalah 3.7 %

3. Hasil simulasi pada sudut pemuncian SCR (α^0) = 45^0

Semakin besar sudut pemuncian pada SCR, tegangan dc semakin kecil, arus dc semakin kecil, kecepatan semakin kecil. THD Harmonisa Tegangan dan Arus juga relative kecil.

- Ⓜ Pada sudut pemuncian SCR (α^0) = 45^0 besarnya tegangan dc yang dihasilkan adalah 164.9 Volt
- Ⓜ Besarnya arus dc yang dihasilkan adalah 0.44 Ampere
- Ⓜ Besarnya kecepatan motor dc yang dihasilkan adalah 3194 rpm
- Ⓜ Besarnya THD Tegangan yang dihasilkan adalah 2.8 %
- Ⓜ Besarnya THD Arus yang dihasilkan adalah 3.3 %

4. Hasil simulasi pada sudut pemuncian SCR (α^0) = 60^0

Semakin besar sudut pemuncian pada SCR, tegangan dc semakin kecil, arus dc Semakin kecil, kecepatan semakin kecil. THD Harmonisa Tegangan dan Arus juga relative kecil.

- Ⓜ Pada sudut pemuncian SCR (α^0) = 60^0 besarnya tegangan dc yang dihasilkan adalah 155.4 Volt
- Ⓜ Besarnya arus dc yang dihasilkan adalah 0.33 Ampere
- Ⓜ Besarnya kecepatan motor dc yang dihasilkan adalah 3001 rpm
- Ⓜ Besarnya THD Tegangan yang dihasilkan adalah 2.2 %
- Ⓜ Besarnya THD Arus yang dihasilkan adalah 2.9 %

4.5.2 Analisa Hasil Simulasi Pada Torsi Beban disetting pada 0.5 Nm, dan Tegangan Inputan AC = 190 Volt (Khusus Simulasi)

1. Hasil Simulasi pada sudut pemincuan SCR (α^0) = 0^0

Semakin kecil sudut pemincuan pada SCR, tegangan dc semakin besar, arus dc Semakin Besar , kecepatan semakin besar, THD Harmonisa Tegangan dan Arus juga relative besar.

- Ⓜ Pada sudut pemincuan SCR (α^0) = 0^0 besarnya tegangan dc yang dihasilkan adalah 190 Volt
- Ⓜ Besarnya arus dc yang dihasilkan adalah 0.89 Ampere
- Ⓜ Besarnya kecepatan motor dc yang dihasilkan adalah 3328 rpm
- Ⓜ Besarnya THD Tegangan yang dihasilkan adalah 3.8 %
- Ⓜ Besarnya THD Arus yang dihasilkan adalah 4.5 %

2. Hasil simulasi pada sudut pemincuan SCR (α^0) = 30^0

Semakin besar sudut pemincuan pada SCR, tegangan dc semakin kecil, arus dc Semakin kecil, kecepatan semakin kecil. THD Harmonisa Tegangan dan Arus juga relative kecil.

- Ⓜ Pada sudut pemincuan SCR (α^0) = 30^0 besarnya tegangan dc yang dihasilkan adalah 173.7 Volt
- Ⓜ Besarnya arus dc yang dihasilkan adalah 0.76 Ampere
- Ⓜ Besarnya kecepatan motor dc yang dihasilkan adalah 3195 rpm
- Ⓜ Besarnya THD Tegangan yang dihasilkan adalah 3.2 %
- Ⓜ Besarnya THD Arus yang dihasilkan adalah 3.9 %

3. Hasil simulasi pada sudut pemecuan SCR (α^0) = 45^0

Semakin besar sudut pemecuan pada SCR, tegangan dc semakin kecil, arus dc Semakin kecil, kecepatan semakin kecil. THD Harmonisa Tegangan dan Arus juga relative kecil.

- Ⓜ Pada sudut pemecuan SCR (α^0) = 45^0 besarnya tegangan dc yang dihasilkan adalah 164.9 Volt
- Ⓜ Besarnya arus dc yang dihasilkan adalah 0.65 Ampere
- Ⓜ Besarnya kecepatan motor dc yang dihasilkan adalah 3045 rpm
- Ⓜ Besarnya THD Tegangan yang dihasilkan adalah 3 %
- Ⓜ Besarnya THD Arus yang dihasilkan adalah 3.5 %

4. Hasil simulasi pada sudut pemecuan SCR (α^0) = 60^0

Semakin besar sudut pemecuan pada SCR, tegangan dc semakin kecil, arus dc Semakin kecil, kecepatan semakin kecil. THD Harmonisa Tegangan dan Arus juga relative kecil.

- Ⓜ Pada sudut pemecuan SCR (α^0) = 60^0 besarnya tegangan dc yang dihasilkan adalah 155.4 Volt
- Ⓜ Besarnya arus dc yang dihasilkan adalah 0.53 Ampere
- Ⓜ Besarnya kecepatan motor dc yang dihasilkan adalah 2850 rpm
- Ⓜ Besarnya THD Tegangan yang dihasilkan adalah 2.5 %
- Ⓜ Besarnya THD Arus yang dihasilkan adalah 3.1 %

4.6 Perbandingan Hasil Simulasi dan Eksperimen

Tabel 4-9
Data Hasil Perbandingan Simulasi dan Eksperimen
SCR Sebagai Pengendali Motor DC

SUDUT FIRING (α^0)	VDC (VOLT)		IDC (AMPERE)		N (RPM)		
	Sim / Eks	Sim	Eks	Sim	Eks	Sim	Eks
0^0		190	188	0.65	0.64	3479	3477
30^0		173.7	170	0.59	0.57	3347	3339
45^0		164.9	161	0.44	0.43	3194	3088
60^0		155.4	153	0.33	0.33	3001	2887

Dari tabel diatas dapat dianalisa :

- Tegangan out-put dc, arus dc, dan kecepatan motor dc dengan menggunakan SCR sebagai pengendali cukup baik dikarenakan pada SCR terdapat gerbang (*gate*) yang berfungsi untuk mengatur besarnya arus yang mengalir dari anoda ke katoda dengan mengatur besarnya sudut pemicuan (α^0) pada SCR.

Tabel 4-10
Data Hasil Perbandingan Simulasi dan Eksperimen
THD Harmonisa Arus dan Tegangan SCR Sebagai Pengendali Motor DC

SUDUT FIRING (α^0)	THD HARMONISA (%)			
	Arus		Tegangan	
Sim / Eks	Sim	Eks	Sim	Eks
0^0	4.1	4.01	3.5	3.4
30^0	3.7	3.6	3	2.9
45^0	3.3	3.2	2.7	2.6
60^0	2.9	2.8	2.12	2.1

Dari tabel diatas dapat dianalisa :

- Semakin kecil sudut pemicuan pada SCR, tegangan dc semakin besar, arus dc Semakin Besar, THD Harmonisa Tegangan dan Arus juga relative besar.

Tabel 4-11

Data Hasil Perbandingan Simulasi antara Torsi beban disetting pada 0.5 Nm dan Simulasi Torsi beban nol SCR Sebagai Pengendali Motor DC

SUDUT FIRING (α^0)	VDC (VOLT)		IDC (AMPERE)		N (RPM)	
	$T_b=0.5$	$T_b=0$	$T_b=0.5$	$T_b=0$	$T_b=0.5$	$T_b=0$
0^0	190	190	0.89	0.65	3328	3479
30^0	173.7	173.7	0.76	0.59	3195	3347
45^0	164.9	164.9	0.65	0.44	3043	3194
60^0	155.4	155.4	0.53	0.33	2850	3001

Dari tabel diatas dapat dianalisa :

- Semakin kecil sudut pemicuan pada SCR, tegangan dc semakin besar, arus dc Semakin Besar , kecepatan semakin besar.

Tabel 4-12

Data Hasil Perbandingan Hasil Simulasi antara Torsi beban disetting pada 0.5 Nm dan Simulasi Torsi beban nol, THD Harmonisa Arus dan Tegangan SCR Sebagai Pengendali Motor DC

SUDUT FIRING (α^0)	THD HARMONISA (%)			
	Arus		Tegangan	
$T_b=0.5 / T_b=0$	$T_b=0.5$	$T_b=0$	$T_b=0.5$	$T_b=0$
0^0	4.5	4.1	3.8	3.5
30^0	3.9	3.7	3.2	3
45^0	3.5	3.3	3	2.8
60^0	3.1	2.9	2.5	2.2

Dari tabel diatas dapat dianalisa :

- Semakin kecil sudut pemicuan pada SCR, tegangan dc semakin besar, arus dc Semakin Besar , kecepatan semakin besar, THD Harmonisa Tegangan dan Arus juga relative besar.

4.6.1 Analisa Hasil Perbandingan Simulasi dan Eksperimen

1) Untuk Tegangan dc

- Tegangan dc Untuk Sudut Pemicuan SCR (α^0) = 0^0

*) Nilai Error Simulasi

$$\left| \frac{190 - 188}{190} \right| \times 100\% = 1.05 \%$$

- Tegangan dc Untuk Sudut Pemicuan SCR (α^0) = 30^0

$$\left| \frac{173.7 - 170}{173.7} \right| \times 100\% = 2.1 \%$$

- Tegangan dc Untuk Sudut Pemicuan SCR (α^0) = 45^0

$$\left| \frac{164.9 - 161}{164.9} \right| \times 100\% = 2.4 \%$$

- Tegangan dc Untuk Sudut Pemicuan SCR (α^0) = 60^0

$$\left| \frac{155.4 - 153}{155.4} \right| \times 100\% = 1.5 \%$$

Rata – rata nilai error simulasi adalah 1.8 %

2) Untuk Arus dc

- Arus dc Untuk Sudut Pemicuan SCR (α^0) = 0^0

*) Nilai Error Simulasi

$$\left| \frac{0.65 - 0.64}{0.65} \right| \times 100\% = 1.5 \%$$

- Arus dc Untuk Sudut Pemicuan SCR (α^0) = 30^0

$$\left| \frac{0.59 - 0.57}{0.59} \right| \times 100\% = 3.4 \%$$

- Arus dc Untuk Sudut Pemicuan SCR (α^0) = 45^0

$$\left| \frac{0.44 - 0.43}{0.44} \right| \times 100\% = 2.3 \%$$

- Arus dc Untuk Sudut Pemicuan SCR (α^0) = 60^0

$$\left| \frac{0.33 - 0.33}{0.33} \right| \times 100\% = 0 \%$$

Rata – rata nilai error simulasi adalah 1.8 %

3) Untuk Kecepatan Motor dc

- Kecepatan Motor dc Untuk Sudut Pemicuan SCR (α^0) = 0^0

*) Nilai Error Simulasi

$$\left| \frac{3479 - 3477}{3479} \right| \times 100\% = 0.1 \%$$

- Kecepatan Motor dc Untuk Sudut Pemicuan SCR (α^0) = 30^0

$$\left| \frac{3347 - 3339}{3347} \right| \times 100\% = 0.2 \%$$

- Kecepatan Motor dc Untuk Sudut Pemicuan SCR (α^0) = 45^0

$$\left| \frac{3194 - 3088}{3194} \right| \times 100\% = 3.3 \%$$

- Kecepatan Motor dc Untuk Sudut Pemicuan SCR (α^0) = 60^0

$$\left| \frac{3001 - 2887}{3001} \right| \times 100\% = 3.8 \%$$

Rata – rata nilai error simulasi adalah 1.9 %

4) Untuk THD Harmonisa Tegangan

- THD Harmonisa Tegangan Untuk Sudut Pemicuan SCR (α^0) = 0^0

$$\left| \frac{3.5 - 3.4}{3.5} \right| \times 100\% = 2.9 \%$$

- THD Harmonisa Tegangan Untuk Sudut Pemicuan SCR (α^0) = 30^0

$$\left| \frac{3 - 2.9}{3} \right| \times 100\% = 3.3 \%$$

- THD Harmonisa Tegangan Untuk Sudut Pemicuan SCR (α^0) = 45^0

$$\left| \frac{2.7 - 2.6}{2.7} \right| \times 100\% = 3.7 \%$$

- THD Harmonisa Tegangan Untuk Sudut Pemicuan SCR (α^0) = 60^0

$$\left| \frac{2.12 - 2.1}{2.12} \right| \times 100\% = 0.9 \%$$

Rata – rata nilai error simulasi adalah 1.9 %

5) Untuk THD Harmonisa Arus

- THD Harmonisa Arus Untuk Sudut Pemicuan SCR (α^0) = 0^0

$$\left| \frac{4.1 - 4.01}{4.1} \right| \times 100\% = 2.2 \%$$

- THD Harmonisa Arus Untuk Sudut Pemicuan SCR (α^0) = 30^0

$$\left| \frac{3.7 - 3.6}{3.7} \right| \times 100\% = 2.7 \%$$

- THD Harmonisa Arus Untuk Sudut Pemicuan SCR (α^0) = 45^0

$$\left| \frac{3.3 - 3.2}{3.3} \right| \times 100\% = 3\%$$

- THD Harmonisa Arus Untuk Sudut Pemicuan SCR (α^0) = 60^0

$$\left| \frac{2.9 - 2.8}{2.9} \right| \times 100\% = 3.4\%$$

Rata – rata nilai error simulasi adalah 2.8 %

Tabel 4-13
Data Hasil Perbandingan Rata – Rata Simulasi dan Eksperimen
THD Harmonisa Arus dan Tegangan SCR Sebagai Pengendali Motor DC

SUDUT FIRING (α^0)	THD HARMONISA (%)			
	Arus		Tegangan	
Sim / Eks	Sim	Eks	Sim	Eks
0^0	4.1	4.01	3.5	3.4
30^0	3.7	3.6	3	2.9
45^0	3.3	3.2	2.7	2.6
60^0	2.9	2.8	2.12	2.1
Rata-Rata	3.5	3.4	2.83	2.8

Dari paparan diatas tegangan out-put dc, arus dc, dan kecepatan motor dc dengan menggunakan SCR sebagai pengendali cukup baik dikarenakan pada SCR terdapat gerbang (*gate*) yang berfungsi untuk mengatur besarnya arus yang mengalir dari anoda ke katoda dengan mengatur besarnya sudut pemicuan (α^0) pada SCR. Serta terlihat juga bahwa dengan menggunakan SCR pada tegangan input ac yang konstan pada 190 Volt, kita dapat mengatur besar kecilnya tegangan, arus dan kecepatan motor dc sesuai dengan yang diinginkan.

Tetapi berdasarkan hasil Eksperimen dan Simulasi yang dilakukan SCR sebagai pengendali Kecepatan Motor DC belum sepenuhnya dapat dikatakan baik, karena pada setiap sudut pemicuan (*Trigger*) dari SCR masih terdapat Distorsi Harmonisa dengan rata-rata THD Harmonisa arus Sebesar 3.4 % (pada Eksperimen) Serta rata-rata THD Harmonisa Tegangan sebesar 2.8 %.(pada Eksperimen) Hal ini disebabkan karena kecepatan motor berbanding langsung dengan tegangan yang diberikan pada kumparan jangkar.dan SCR adalah elemen pengatur daya utama pada rangkaian. Hal ini yang menyebabkan Kebanyakan beban yang mengandung konverter (*static converter*) dapat menyebabkan cacat gelombang (*deforming loads*). Oleh karena itu dibutuhkan penambahan filter harmonisa pada setiap sudut pemicuan yang terdapat pada SCR sehingga Kualitas Tegangan yang di hasilkan lebih halus (*smooth*) serta *Total Distorsi Hamonic* yang terjadi juga dapat di perbaiki.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil simulasi dan eksperimen yang dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Perbedaan nilai rata-rata Simulasi dan Eksperimen :
 - Perbedaan nilai rata – rata pada Tegangan dc adalah 1.77 %
 - Perbedaan nilai rata – rata pada Arus dc adalah 1.44 %
 - Perbedaan nilai rata – rata pada Kecepatan motor dc adalah 2.3 %
 - Perbedaan nilai rata-rata THD Arus dan Tegangan adalah 1.9 % dan 2.8 %
2. Dari hasil simulasi dan eksperimen yang dilakukan dapat ditarik suatu kesimpulan umum bahwa penggunaan SCR pada setiap sudut pemicuan untuk mengendalikan Kecepatan Motor DC dapat menimbulkan distorsi harmonisa sebesar 0.3 % hal ini disebabkan karena Kecepatan motor berbanding langsung dengan tegangan yang diberikan pada jangkar. dan SCR adalah elemen pengatur daya utama rangkaian. Hal ini yang menyebabkan Kebanyakan beban yang mengandung konverter (*static converter*). dapat menyebabkan cacat gelombang (*deforming loads*).

5.2 Saran

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

1. Untuk lebih mempermudah analisa dapat digunakan MATLAB dengan versi terbaru.
2. Penggunaan PC untuk pengontrolan kecepatan motor merupakan sesuatu yang menarik untuk dikaji pada waktu mendatang mengingat fasilitas tersebut sudah tersedia pada alat yang kami gunakan.
3. Agar validasi data lebih akurat, penginputan parameter dalam pembuatan program simulasi hendaknya lebih diteliti.
4. Untuk lebih bermanfaat lagi rangkaian ini dapat diaplikasikan pada industri-industri yang banyak menggunakan motor dc dalam menjalankan proses produksi dalam hal ini dapat menghasilkan pengaturan kecepatan motor dc yang diinginkan. Sehingga dapat meningkatkan kualitas hasil produksi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. E. Fitzgerald, Charles Kingsley, Jr., Stephen D. Umans," Electric Machinery", McGraw-Hill International. 2002. fourth edition.
- [2] Burak Ozpineci Leon M. Tobert, Simulink Implementation of Induction Machine Model – A modular Approach, IEEE Transacton on Power Electronics 2003,728-734 .
- [3] R.Krishan.Electric Motor Drives Modeling, Analysis and Control. Prentice hall International Inc. 1998.
- [4] Zuhail." Dasar Teknik Tenaga Listrik" Penerbit ITB Bandung.
- [5] Achyanto,Djoko, " Mesin – mesin Listrik (Edisi keempat) ", Jakarta, Erlangga.1992.
- [6] Thomas W. Dwi Hartanto dan Y.W. Agung Prasetyo .2003. Analisis Dan Desain Sistem Kontrol Dengan MATLAB. Penerbit ANDI.Yogyakarta
- [7].P.D. Ziogas, Y.G. Kang and V.R. Stefanovic: "Rectifier Inverter Frequency Changers with Suppressed DC Link Components," IEEE-IAS Trans. Vol. IA-22, No. 6, Nov./Dec. 1986, pp. 1027-1036.
- [8]. Ir.Soeprapto,MT. 2004. Diktat Kuliah Elektronika Daya Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

LAMPIRAN



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

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

PT. BNI (PERSERO) MALANG
 BANK NIAGA MALANG

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

PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI

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

Hari : Selasa
 Tanggal : 20 Agustus 2010

Telah dilakukan perbaikan skripsi oleh :

1. Nama : RIAN MAWARDI DAULAY
2. NIM : 03.120.55
3. Jurusan : Teknik Elektro
4. Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
5. Judul Skripsi : "ANALISIS EFFECT HARMONISA DARI PENGGUNAAN SCR (*SILICON CONTROLLED RECTIFIER*) SEBAGAI PENGENDALI MOTOR DC MENGGUNAKAN *SOFTWARE* MATLAB/SIMULINK DI LABORATORIUM KONVERSI ENERGI ELEKTRIK ITN MALANG"

Perbaikan meliputi :

No	Materi Perbaikan	Ket.
1.	Absrak di sempurnakan	
2.	Pustaka tidak ada untuk semua BAB	
3.	Untuk BAB IV, gambar dan tabel di beri penjelasan dan di bahas	
4.	Kesimpulan dibetulkan	

Anggota Penguji

Penguji pertama

(Ir. Choirul Saleh, MT)
 NIP.Y.101 880 0190

Penguji kedua

(Bambang Prio Hartono, ST, MT)
 NIP.Y.102 840 0082

Dosen Pembimbing I

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

Dosen Pembimbing II

(Ir. Eko Nurcahyo)
 NIP.Y. 1028700172



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

Formulir Perbaikan Ujian Skripsi

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

NAMA : Kian Hawardi
NIM : 0312055
Perbaikan meliputi :

~~1~~ Abstrak disempurnakan

~~2~~ Rujukan tidak ada di semua BAB.

~~3~~ U/ BAB IV gambar dan tabel
diberi penjelasan dan dibahas.

— Perincian dibetulkan

Malang, 20 - 8 - 2010


(_____)



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

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

PT. BNI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG

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

FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : Rian Mawardi Daulay
Nim : 03.12.055
Masa Bimbingan : 30 Januari 2010 s/d 30 Juli 2010
Judul Skripsi : **Analisis Effect Harmonisa Dari Penggunaan SCR (*Silicon Controlled Rectifier*)
Sebagai Pengendali Motor DC Menggunakan *Software Matlab Simulink* di
Laboratorium Konversi Energi Elektrik ITN Malang**

NO	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1.	22/07/2010	Pengujian parameter THD Harmonisa di perjelas	
2.	26/07/2010	Data hasil eksperimen di pelajari lagi	
3.	31/07/2010	Kesimpulannya di pelajari lagi	
4.	02/08/2010	Bab I,II Acc	
5.	05/08/2010	Bab III,IV,V Acc	
6.	13/08/2010	Acc maju seminar hasil	
7.	18/08/2010	Revisi kesimpulan	
8.	19/08/21010	Acc maju ujian skripsi	
9.			
10.			

Malang, 2010
Dosen Pembimbing

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



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

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

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

PT. BNI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG

FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : Rian Mawardi Daulay
Nim : 03.12.055
Masa Bimbingan : 30 Januari 2010 s/d 30 Juli 2010
Judul Skripsi : **Analisis Effect Harmonisa Dari Penggunaan SCR (*Silicon Controlled Rectifier*)
Sebagai Pengendali Motor DC Menggunakan *Software Matlab Simulink* di
Laboratorium Konversi Energi Elektrik ITN Malang**

NO	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1.	23/07/2010	Batasan masalah di perbaiki	
2.	27/07/2010	Flowchartnya di perjelas lagi	
3.	02/08/2010	Makalah hasilnya di kurangi halamannya	
4.	03/08/2010	Bab I,II,III Acc	
5.	05/08/2010	Bab IV,V Acc	
6.	13/08/2010	Acc maju seminar hasil	
7.	18/08/2010	Revisi kesimpulan	
8.	19/08/21010	Acc maju ujian skripsi	
9.			
10.			

Malang, 2010
Dosen Pembimbing **II**

(Ir. Eko Nurcahyo)
NIP. Y. 1028700172



SURAT PERMOHONAN

Dengan Hormat,

Yang bertandatangan sebagai pemohon, saya mahasiswa dengan Identitas sebagai berikut :

Nama : **RIAN MAWARDI DAULAY**
Nim : 03.12.055
Jurusan : Teknik Elektro/Teknik Energi Listrik S-1
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri
Keperluan : Pengujian Parameter motor Induksi
Waktu : 11 Juni 2010

Mengajukan permohonan peminjaman dan penggunaan alat untuk keperluan sebagaimana yang tercantum diatas.

Daftar Peralatan Yang Dipinjam

No	Kode Alat	Nama Alat	Trade Mark
1	DL1023	Motor DC SHUNT	DELORENZO
2	DL1031	Voltmeter	DELORENZO
3	DL1031	Amperemeter	DELORENZO
4	DL1031	Wattmeter	DELORENZO
5	DL2026	Tachometer	DELORENZO
6	1013M2	DC Supply	DELORENZO
7	1013M2	AC Voltage Regulator dan DC Supply	DELORENZO
8	2605	Rangkaian SCR	DELORENZO
9		Clamp Meter	

Catatan : 1. Apabila terjadi kerusakan pada alat yang digunakan saya sanggup mengganti.
2. Bersedia mematuhi segala peraturan yang berlaku di Lab. Konversi Energi Elektrik

Demikian surat permohonan ini saya buat dengan sebenarnya dan dapat dipertanggung jawabkan, Terima Kasih.

Asisten Pendamping



Jack
Nim. 05.12.010

Ka. Lab. Konversi Energi Elektrik

Pemohon

Rian mawardi daulay
NIM 03.12.055

Ir. H. Abdul Hamid, MT
NIP . 101 880 00188

Pengaruh Harmonik pada Transformator Distribusi

[Home](#)
[Halaman Muka](#)
[Sajian Utama](#)
[Komputer](#)
[Komunikasi](#)
[Elektronika](#)

Prinsip Dasar

Harmonik adalah gangguan yang terjadi pada sistem distribusi tenaga listrik akibat terjadinya distorsi gelombang arus dan tegangan. Pada dasarnya, harmonik adalah gejala pembentukan gelombang-gelombang dengan frekuensi berbeda yang merupakan perkalian bilangan bulat dengan frekuensi dasarnya. Hal ini disebut frekuensi harmonik yang timbul pada bentuk gelombang aslinya sedangkan bilangan bulat pengali frekuensi dasar disebut angka urutan harmonik. Misalnya, frekuensi dasar suatu sistem tenaga listrik adalah 50 Hz, maka harmonik keduanya adalah gelombang dengan frekuensi sebesar 100 Hz, harmonik ketiga adalah gelombang dengan frekuensi sebesar 150 Hz dan seterusnya. Gelombang-gelombang ini kemudian menumpang pada gelombang murni/aslinya sehingga terbentuk gelombang cacat yang merupakan jumlah antara gelombang murni sesaat dengan gelombang harmoniknya.

Sumber Harmonik pada Sistem Distribusi

Dalam sistem tenaga listrik dikenal dua jenis beban yaitu beban linier dan beban non linier. Beban linier adalah beban yang memberikan bentuk gelombang keluaran yang linier artinya arus yang mengalir sebanding dengan impedansi dan perubahan tegangan. Sedangkan beban non linier adalah bentuk gelombang keluarannya tidak sebanding dengan tegangan dalam setiap setengah siklus sehingga bentuk gelombang arus maupun tegangan keluarannya tidak sama dengan gelombang masukannya (mengalami distorsi). Beban non linier yang umumnya merupakan peralatan elektronik yang didalamnya banyak terdapat komponen semi konduktor, dalam proses kerjanya berlaku sebagai saklar yang bekerja pada setiap siklus gelombang dari sumber tegangan. Proses kerja ini akan menghasilkan gangguan atau distorsi gelombang arus yang tidak sinusoidal. Bentuk gelombang ini tidak menentu dan dapat berubah menurut pengaturan pada parameter komponen semi konduktor dalam peralatan elektronik. Perubahan bentuk gelombang ini tidak terkait dengan sumber tegangannya.

Beberapa peralatan yang dapat menyebabkan timbulnya harmonik antara lain komputer, printer, lampu fluorescent yang menggunakan elektronik ballast, kendali kecepatan motor, motor induksi, batere charger, proses elektroplating, dll. Peralatan ini dirancang untuk menggunakan arus listrik secara hemat dan efisien karena arus listrik hanya dapat melalui komponen semi konduktornya selama periode pengaturan yang telah ditentukan. Namun disisi lain hal ini akan menyebabkan gelombang mengalami gangguan gelombang arus dan tegangan yang pada akhirnya akan kembali ke bagian lain sistem tenaga listrik. Penomena ini akan menimbulkan gangguan beban tidak linier satu phase. Hal di atas banyak terjadi pada distribusi yang memasok pada areal

perkantoran/komersial. Sedangkan pada areal perindustrian gangguan yang terjadi adalah beban non linier tiga phase yang disebabkan oleh motor listrik, kontrol kecepatan motor, batere charger, electroplating, dapur busur listrik, dll.

Pengaruh Harmonik pada Komponen Sistem Distribusi

Setiap komponensistem distribusi dapat dipengaruhi oleh harmonik walaupun dengan akibat yang berbeda. Namun demikian komponen tersebut akan mengalami penurunan kinerja dan bahkan akan mengalami kerusakan. Salah satu dampak yang umum dari gangguan harmonik adalah panas lebih pada kawat netral dan transformator sebagai akibat timbulnya harmonik ketiga yang dibangkitkan oleh peralatan listrik satu phase. Pada keadaan normal, arus beban setiap phase dari beban linier yang seimbang pada frekuensi dasarnya akan saling mengurangi sehingga arus netralnya menjadi nol. Sebaliknya beban tidak linier satu phase akan menimbulkan harmonik kelipatan tiga ganjil yang disebut triplen harmonik (harmonik ke-3, ke-9, ke-15 dan seterusnya) yang sering disebut zero sequence harmonik (lihat Tabel 1). Harmonik ini tidak menghilangkan arus netral tetapi dapat menghasilkan arus netral yang lebih tinggi dari arus phase.

Tabel 1. Polaritas dari Komponen Harmonik

Harmonik	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Frekuensi (Hz)	50	100	150	200	250	300	350	400	450
Urutan	+	-	0	+	-	0	+	-	0

Harmonik pertama urutan polaritasnya adalah positif, harmonik kedua urutan polaritasnya adalah negatif dan harmonik ketiga urutan polaritasnya adalah nol, harmonik keempat adalah positif (berulang berurutan sampai seterusnya).

Tabel 2. Akibat dari Polaritas dari Komponen Harmonik

Urutan	Pengaruh pada Motor	Pengaruh pada sistem distribusi
Positif	Menimbulkan medan magnet putar arah majau (forward)	w Panas
Negatif	Menimbulkan medan magnet putar arah mundur (reverse)	w Panas w Arah putaran motor berubah
Nol	Tidak ada	w Panas w Menimbulkan/menambah arus pada kawat netral

Akibat yang dapat ditimbulkan oleh urutan polaritas komponen harmonik (lihat Tabel 2) antara lain tingginya arus netral pada sistem 3 phase 4 kawat (sisi sekunder transformator) karena arus urutan nol (zero sequence) dan arus ini akan terinduksi ke sisi primer transformator dan akan berputar pada sisi primer transformator yang biasanya memiliki belitan delta (D). Hal ini akibat pada kawat netral tidak memiliki peralatan pemutus arus untuk proteksi tegangan atau arus lebih. Pengaruh harmonik pada transformator sering tanpa disadari dan diantisipasi keberadaannya sampai terjadi gangguan yang penyebabnya tidak jelas. Hal ini dapat juga terjadi bila perubahan konfigurasi atau jenis beban yang dipasang. Transformator dan peralatan induksi lainnya, selalu terpengaruh oleh harmonik karena trafo itu sendiri dirancang sesuai

dengan frekuensi kerjanya. selain itu transformator juga merupakan media utama antara pembangkit dengan beban. Frekuensi harmonik yang lebih tinggi dari frekuensi kerjanya akan mengakibatkan penurunan efisiensi atau terjadi kerugian daya. Selain itu, ada beberapa akibat yang dapat ditimbulkan oleh adanya harmonik dalam sistem tenaga listrik, antara lain:

1. Timbulnya getaran mekanis pada panel listrik yang merupakan getaran resonansi mekanis akibat harmonik arus frekuensi tinggi,
2. Harmonik dapat menimbulkan tambahan torsi pada kWh meter jenis elektromekanis yang menggunakan piringan induksi berputar. Sebagai akibatnya, putaran piringan akan lebih cepat atau terjadi kesalahan ukur kWh meter karena piringan induksi tersebut dirancang hanya untuk beroperasi pada frekuensi dasar,
3. Interferensi frekuensi pada sistem telekomunikasi karena biasanya kabel untuk keperluan telekomunikasi ditempatkan berdekatan dengan kawat netral. Triplen harmonik pada kawat netral dapat memberikan induksi harmonik yang mengganggu sistem telekomunikasi,
4. Pemutusan beban. Pemutus beban dapat bekerja dibawah arus pengenalnya atau mungkin tidak bekerja pada arus pengenal. Pemutus beban yang dapat terhindar dari gangguan harmonik pada umumnya adalah pemutus beban yang mempunyai respon terhadap arus rms sebenarnya (true-rms current) atau kenaikan temperatur karena arus lebih.

Identifikasi Harmonik

Untuk mengidentifikasi kehadiran harmonik pada sistem distribusi, dapat diketahui melalui langkah-langkah sebagai berikut:

Identifikasi Jenis Beban

Jenis beban yang dipasok, misalnya peralatan apa yang dipakai oleh konsumen. Bila banyaknya peralatan yang mempunyai komponen utama terbuat dari bahan semikonduktor seperti komputer dan alat bantu, pengatur kecepatan motor, atau peralatan lain yang menggunakan arus searah maka dapat diperkirakan masalah harmonik ada diintalasi konsumen tersebut.

Pemeriksaan Transformator Untuk transformator yang memasok beban non linier apakah ada kenaikan temperaturnya tidak normal. Arus sekunder transformator baik phase maupun netral perlu dilihat. Bandingkan arus netralnya dengan arus phase pada keadaan beban tidak seimbang. Apabila arus netralnya lebih besar maka dapat diperkirakan adanya trilen harmonik dan kemungkinan turunnya kinerja transformator.

Pemeriksaan Tegangan Netral Tanah

Terjadinya arus lebih pada kawat netral (untuk sistem 3 phase dan 4 kawat) dapat diketahui dengan melihat tegangan netral-tanah pada keadaan berbeban. Apabila tegangan yang terukur lebih besar dari 2 Volt maka terdapat indikasi adanya masalah harmonik pada beban tersebut. Apabila indikasi-indikasi adanya harmonik telah diketahui maka perlu dilakukan langkah-langkah untuk mengatasi masalah

gangguan harmonik antara lain dengan mengetahui harmonik untuk menentukan harmonik-harmonik yang dominan dan sumber utamanya.

Usaha-usaha Untuk Mengurangi Harmonik

Ada beberapa cara yang dapat dilakukan untuk mengurangi pengaruh harmonik pada sistem distribusi antara lain:

Memperbesar Kawat Netral

Setiap sistem distribusi biasanya memakai sistem 3 phase empat kawat, yaitu 3 kawat untuk ketiga phase dan 1 kawat lagi untuk netral. Apabila beban yang dipasang non linier sehingga pengaruh harmonik lebih dominan maka untuk mengatasi panas lebih pada kawat netral akibat pengaruh harmonik sebaiknya ukuran kawat netral diperbesar dari ukuran standarnya. Begitu juga pada panel-panel listrik disarankan kawat netral untuk sistem pentanahannya diperbesar dari ukuran standarnya.

Menurunkan Kapasitas Transformator

Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk mengurangi pengaruh harmonik pada sistem distribusi adalah dengan mengurangi kapasitas suplai daya transformator (derating transformator). Dalam menentukan besarnya pengurangan kapasitas transformator ada metode sederhana yang dapat dipergunakan yaitu dengan memakai persamaan sebagai berikut:

$$\text{KVA baru} = \text{THDF} \times \text{KVA pengenalan} \dots\dots\dots \text{persamaan (1)}$$

di mana THDF adalah Transformator Harmonic Derating Factor,

$$\begin{aligned} \text{THDF} &= [1,414 \times (\text{arus phase rms}) / (\text{arus puncak phase sesaat})] \times 100\% \\ &= [(1,414 \times 1/3 \times (I_r + I_s + I_t)_{\text{rms}}) / 1/3 \times (I_r + I_s + I_t)_{\text{puncak}}] \times 100\% \end{aligned}$$

Usaha Penanganan Lebih Lanjut

Untuk instalasi konsumen yang memerlukan kualitas listrik yang lebih baik dan handal, untuk mengurangi pengaruh harmonik maka pada transformator distribusi atau panel kontrol utama perlu dipasang peralatan proteksi, yaitu antara lain filter harmonik (harmonic filter), reaktor blok (bloking reactor) atau bank kapasitor (capacitor bank).

Hasil Pengujian

Pengujian dilakukan terhadap 20 buah transformator distribusi milik PLN Cabang Bekasi yang mewakili beberapa jenis konsumen. Waktu pengujian dilakukan pada siang hari antara pukul 10.00 - 15.00 wib. Data hasil pengukuran variabel yang dapat diukur antara lain:

- Besaran arus rms sebenarnya (true-rms current) dan arus puncak (peak-current);
- Besaran rms dan puncak untuk arus, tegangan dan daya;

- Besarnya harga THD rms, tegangan, arus dan daya harmonik pada setiap phase sampai pada harmonik ke-31;
- Besarnya arus netral;
- Beban puncak;
- Beda phase;
- Beban puncak;
- Beda phase;
- Power faktor;
- Komponen DC pada setiap phase;
- Crest factor; dan
- K faktor.

Dari variable atau besaran listrik yang diperoleh dari pengukuran dapat diperoleh nilai THDF dan kapasitas baru transformator dengan menggunakan persamaan (1) di atas, maka dapat dihitung KVA baru. Data hasil pengukuran lapangan disajikan pada [Tabel 3](#).

Oleh:

Ir. Nanan Tribuana, Staf Seksi Keamana Instalasi Ketenagalistrikan, Ditjen LPE

Ir. Wanhar, Staf Balai Pengujian Listrik dan Pengembangan Energi, Ditjen LPE

Artikel lain:

- [Cogeneration Pembangkit Listrik yang Ideal](#)

| [Sajian Utama](#) |

| [KOMPUTER](#) || [KOMUNIKASI](#) || [ELEKTRONIKA](#) |

*Please send comments, suggestions, and criticisms about **ELEKTRO INDONESIA**.*

[Click here to send me email.](#)

| [Halaman Muka](#) |

© 1996-1999 ELEKTRO *Online*.

All Rights Reserved.

INDUCTION MOTOR* PARAMETERS EXTRACTION

Sinisa Jurkovic

INTRODUCTION

The parameters of equivalent circuit of Induction Machines are crucial when considering advanced control techniques (i.e. Vector Control). Accidentally these are also uncertain parameters when the machine is released from production. The most common ways, to manually determine induction motor parameters, are to test motor under no-load and locked rotor conditions.

FIRST NO-LOAD TEST

The no-load test, like the open circuit test on a transformer, gives information about exciting current and rotational losses. The test is performed by applying balanced rated voltage on the stator windings at the rated frequency. The small power provided to the machine is due to core losses, friction and winding losses. Machine will rotate at almost a synchronous speed, which makes slip nearly zero. This test is represented with an equivalent circuit in Figure 1.

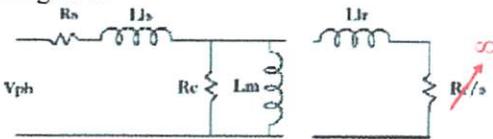


Figure 1. Equivalent Circuit for No-Load Test

Values measured during this test are current and it's angle with respect to know voltage. From this we can calculate total power supplied to the machine. Measured values are shown in Table 1.

No Load Motor Test	
V_{ll}	208 V
I_0	1.5 A
I_{0max}	1.7 A
f_s	60 Hz
P	49 W

Table 1. Values measured during no-load test.

Assuming that R_c is much bigger than R_s and X_{lr} we can calculate R_c and L_m from the equivalent circuit. The formulas and complete calculations are shown below.

$$\cos(\varphi_0) = \frac{P_{ph}}{V_{ph} I_0} = \frac{49}{121.4 \cdot 1.5} = 0.09$$

$$\varphi_0 = 84.8^\circ$$

$$I_m = I_0 \sin(\varphi_0) = 1.5 \sin(84.8^\circ) = 1.485 \text{ A}$$

$$I_c = I_0 \cos(\varphi_0) = 1.5 \cos(84.8^\circ) = 0.135 \text{ A}$$

$$L_m = \frac{V_{ph}}{2\pi f_s I_m} = \frac{121.4}{2\pi \cdot 60 \cdot 1.485} = 0.23 \text{ H}$$

$$R_c = \frac{V_{ph}}{I_c} = \frac{121.4}{0.135} = 900 \Omega$$

LOCKED ROTOR TEST

The locked rotor test, like short circuit test on a transformer, provides the information about leakage impedances and rotor resistance. Rotor is at the stand still, while low voltage is applied to stator windings to circulate rated current. Measure the voltage and power to the phase. Since there is no rotation slip, $s=1$ which gives us following equivalent circuit.

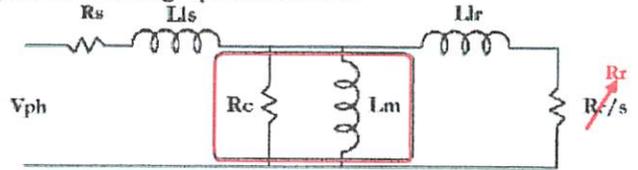


Figure 2. Equivalent Circuit for Locked Rotor Test

Note that R_r is much less than R_c so that part of the circuit is ignored. Values measured during the locked rotor test are shown in Table 2.

Locked Rotor Test	
V	90 V
I_{rated}	6.1 A
$I_{measured}$	6.1 A
f_s	60 Hz
P	724 W

Table 2. Values Measured during Locked Rotor Test

Assuming known R_s and values in the Table 2, we can calculate L_{ls} , L_{lr} and R_r , ss shown below.

$$\cos(\phi_{sc}) = \frac{P_{ph}}{V_{ph} I_{sc}} = \frac{724 / 3}{90 \cdot 6.1} = 0.44$$

$$\phi_{sc} = 64^\circ$$

$$Z_{sc} = \frac{V_{ph}}{I_{sc}} = \frac{90}{6.1} = 14.8 \Omega$$

$$R_r = Z_{sc} \cos(\phi_{sc}) - R_s = 14.8 \cdot 0.44 - 2.3 = 4.2 \Omega$$

$$X_{eq} = Z_{sc} \sin(\phi_{sc}) = 14.8 \cdot \sin(64^\circ) = 13.3 \Omega$$

$$X_{eq} = X_{ls} + X_{lr}$$

$$X_{ls} = X_{lr} = 6.7 \Omega$$

$$L_{ls} = L_{lr} = 17.5 \text{ mH}$$

EXPERIMENT REMARKS

The parameters extracted from the Induction Machine are reasonable when compared with similar examples, however they do raise the question of how confident can one be in them? To answer this question another set of tests is performed on the same machine.

NO-LOAD TEST

Performing a no-load test under same conditions, but this time a rotor is rotated at the synchronous speed with DC machine and rated voltage and frequency is applied. This test should yield more accurate results, since the slip is now exactly zero (i.e. rotating at the synchronous speed). Following the exact same formulas to calculate the parameters we obtain results shown below.

Parameter	First No-Load Test	Second No-Load Test	Percent Error **
Im [A]	1.485	1.345	10.409
Ic [A]	0.135	0.113	19.469
Rc [Ohms]	900.000	2010.000	55.224
Lm [H]	0.230	0.323	28.793
pf	0.090	0.084	7.143

Table 3. No-Load Tests Comparison

RESULTS VALIDATION

For the validation of the results we calculate the torque under rated conditions and compare it with torque specifications provided by the manufacturer of the machine.

Rated torque is 11.2 Nm as provided by the machine manufacturer.

Given the rated voltage of 208 V line-to-line and rated speed of 1725 RPM using the following formula we can calculate the torque under rated conditions. Note that this is 2 pole machine.

$$T = 3 \frac{P}{2} \left(\frac{V_s}{\omega_s} \right)^2 \frac{1}{R_r} \omega_r$$

where ω_r is the frequency of the currents induced in the rotor, and ω_s is the frequency of stator voltage. This calculation yields a torque of 11.2 Nm.

Alternatively torque can be calculated from the equivalent circuit in Figure 3. using the following formula.

$$T = 3 \frac{P}{2} \left(\frac{P_g}{\omega_s} \right)$$

P_g is power in the air gap of the machine. As the circuit indicates part of this power is converted to mechanical part, while the other part represents the losses in the rotor resistance.

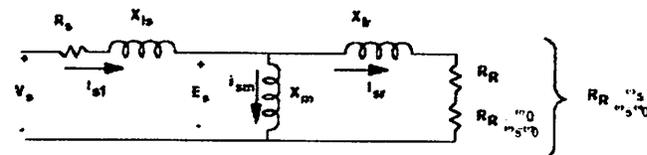


Figure 3. Induction Machine Equivalent Circuit

Solving the circuit at rated conditions we obtain the following: $P_g = 678W$ which gives us the torque of $T=10.6$ Nm. This gives us a error 10% between the manufacturer's specified rated torque and calculate torque based on the parameters extracted.

This error is minimal and acceptable which validates the accuracy of test results.

CONCLUSION

We assume that the second test provided us with more accurate results; therefore the percent error is expressed with respect to those results. The percent error between the two tests is reasonable for each parameter with the exception of core equivalent resistance R_c . It is however still safe to say that we can be fairly confident in the results of either test (looking from the control point of view) since the R_c does not play a role in implementing a control for the machine. R_c is more important when it comes to estimating the efficiency of the machine, in which case results of the second case would be more credible.

In addition to this a second locked rotor test was performed, where we used lower frequency (15 Hz)*** to circulate the rated current. This test returned results that were almost identical to the results of the first test, so comparison of the two is omitted.

NOTES

* 2HP 4 Pole Induction Machine, 1725 RPM, 208/230V-460V, 6.2/5.8A-2.9A.

** The error is calculated with respect to second no-load test.

*** Lower frequency is used to circulate the rated current. IEEE recommends a frequency of $\frac{1}{4}$ of the rated when performing the locked rotor test. [2]. This method will generally yield more accurate results in case of larger machines (20 HP and up), while for the smaller machines using the rated frequency is satisfactory.

REFERENCES

- [1]. R. Krishnan, *Electric Motor Drives Modeling, Analysis, and Control*, Prentice Hall 2001
- [2]. P. C. Sen, *Principles of Electric Machines & Power Electronics*, Wiley 1999
- [3]. W. Leonhard, *Control of Electrical Drives*, Springer 2001
- [4]. E.G. Strangas, *Notes for an Introductory Course On Electrical Machines and Drive*, MSU