

# SKRIPSI

## **ANALISIS DAN PEMBUATAN *HARMONIC FILTER* PADA MOTOR INDUKSI 3 FASA YANG MENGGUNAKAN THYRISTOR ANTI-PARALEL DI LABORATORIUM KONVERSI ENERGI ELEKTRIK ITN MALANG**



**Disusun oleh :  
YURI FIRMANSYAH  
NIM 02.12.059**

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

**APRIL 2008**

1950

THE NATIONAL BUREAU OF STANDARDS  
WASHINGTON, D. C. 20540  
FEDERAL BUREAU OF INVESTIGATION  
U. S. DEPARTMENT OF JUSTICE  
COMMUNICATIONS SECTION

RECEIVED  
FEDERAL BUREAU OF INVESTIGATION  
U. S. DEPARTMENT OF JUSTICE  
COMMUNICATIONS SECTION

1950  
NATIONAL BUREAU OF STANDARDS  
WASHINGTON, D. C. 20540

1-4  
COMMUNICATIONS SECTION  
FEDERAL BUREAU OF INVESTIGATION  
U. S. DEPARTMENT OF JUSTICE  
COMMUNICATIONS SECTION

1950

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**ANALISIS DAN PEMBUATAN HARMONIC FILTER PADA MOTOR  
INDUKSI 3 FASA YANG MENGGUNAKAN THYRISTOR  
ANTI-PARALEL DI LABORATORIUM KONVERSI ENERGI  
ELEKTRIK ITN MALANG**

**SKRIPSI**

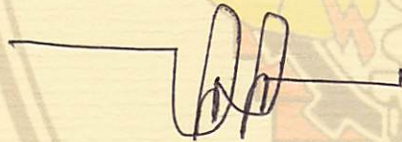
*Disusun dan Diajukan Untuk Melengkapi dan  
Memenuhi Syarat-Syarat Guna Mencapai Gelar Sarjana Teknik*

**Disusun Oleh :  
YURI FIRMANSYAH  
02.12.059**

**Diperiksa dan disetujui,**

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**



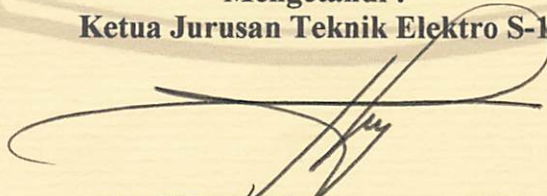
**(Ir. M. Abdul Hamid, MT)**

**(Bambang Prio Hartono, ST.MT)**

**NIP.Y. 101 880 0188**

**NIP. Y. 102 840 0082**

**Mengetahui :  
Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1**



**( Ir. F.Yudi Limpraptono, MT )**

**NIP.Y. 1039500274**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1  
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
MARET 2008**

## ABSTRAK

### ANALISIS DAN PEMBUATAN HARMONIC FILTER PADA MOTOR INDUKSI 3 FASA YANG MENGGUNAKAN THYRISTOR ANTI-PARALEL DI LABORATORIUM KONVERSI ENERGI ELEKTRIK ITN MALANG

Yuri Firmansyah  
M .Abdul Hamid  
Bambang Prio Hartono

Secara umum, tenaga listrik didistribusikan dalam sistem tegangan sinusoidal 3 fasa. Seiring dengan semakin meluasnya penggunaan beban-beban non-linier, gelombang arus maupun tegangan sinusoidal tersebut dapat terdistorsi dan bentuknya menjadi cacat. Kebanyakan beban yang menimbulkan cacat gelombang (*deforming loads*) adalah beban-beban yang mengandung konverter (*static converter*)<sup>[5]</sup>.

Pengendalian motor induksi 3 fasa dengan menggunakan pengendali thyristor anti paralel ini salah satunya yang dapat menimbulkan suatu harmonisa yang akan berdampak cacat pada gelombang tegangan dan arus.

Pembuatan serta Pemasangan *harmonic filter* disini dapat membantu untuk mengurangi harmonisa yang timbul pada sistem. *Total Harmonic Distortion* yang timbul pada fasa Ir, Is dan It pada saat sebelum dipasang harmonic filter mencapai 6,8 %, 8,5%,7,3% dan setelah dipasang harmonic filter jenis *single tuned filter* *Total Harmonic Distortion* turun menjadi 4,9 %, 4,7%, 4,4% dan nilai ini sudah sesuai standarisasi  $\leq 5\%$ .

**Kata kunci** : *thyristor anti-paralel, motor induksi, matlab simulink, Harmonic Filter.*

## **KATA PENGANTAR**

Dengan memanjatkan puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat dan karunia-Nya, sehingga penyusun dapat menyelesaikan Skripsi ini tepat pada waktunya. Skripsi ini disusun untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar sarjana teknik elektro di Institut Teknologi Nasional Malang.

Penyusun menyadari bahwa penyusun Skripsi ini mungkin masih jauh dari kesempurnaan, sehingga sangat diharapkan adanya saran dan masukan yang bersifat membangun dari semua pihak untuk membantu penyelesaian penyusunan Skripsi ini. Dalam penyusunan laporan Skripsi ini, penulis tak lupa mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Abraham Lomi, MSEE, selaku Rektor ITN Malang.
2. Bapak Ir. F. Yudi Limpraptono, MT, selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1.
3. Bapak Ir.M. Abdul Hamid, MT, selaku Dosen Pembimbing I.
4. Bapak Bambang Prio Hartono, ST.MT, selaku Dosen Pembimbing II.
4. Orang Tua yang tercinta yang selalu memberikan semangat, motivasi serta do'a.
5. Teman-temanku yang telah memberikan bantuan, motivasi dan do'a.
5. Semua pihak yang telah membantu terselesainya Skripsi ini.

Akhirnya penulis mengharapkan skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak, khususnya pada jurusan Teknik Elektro konsentrasi Teknik Energi Listrik.

Malang, Maret 2008

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PERSETUJUAN.....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>ii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>iv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>ix</b>
<b>BAB I : PENDAHULUAN</b>	
1. Latar Belakang.....	1
2. Rumusan Masalah.....	2
3. Tujuan Pembahasan.....	2
4. Batasan Masalah .....	3
5. Metodologi Penelitian.....	4
6. Sistematika Penulisan.....	4
7. Relevansi .....	5
<b>BAB II : TEORI DASAR HARMONISA</b>	
2.1. Prinsip Dasar Harmonisa .....	6
2.2. Analisis Fourier.....	8
2.3. Sumber Harmonisa .....	10
2.3.1. Konverter .....	10
2.3.2. Tanur Busur Listrik ( <i>Electric Arc Furnace</i> ).....	10
2.3.3. Transformator .....	11
2.3.4. Mesin-Mesin Berputar .....	11

2.4. Pengaruh Harmonisa.....	12
2.4.1. Pengaruh Harmonisa Pada Komponen Peralatan Listrik.	12
2.4.2. Pengaruh Harmonisa Pada Motor .....	13
2.4.3. Pengaruh Harmonisa Pada Sistem Tegangan .....	15
2.5. Standar Harmonisa.....	16
2.6. Indeks Harmonisa .....	17
2.6.1. <i>Total Harmonic Distortion</i> .....	17

### **BAB III : FILTER HARMONISA DAN PEMECAHAN MASALAH**

3.1. Filter Harmonisa .....	18
3.2. Tipe Filter .....	18
3.3. Jenis-Jenis Filter Pasif .....	19
3.3.1. <i>Single Tuned Filter</i> .....	22
3.3.2. <i>Double Tuned Filter</i> .....	23
3.3.3. <i>High Pass Filter</i> .....	25
3.4. Analisis Pemecahan Masalah.....	27
3.5. Flowchart Pemecahan Masalah .....	29

### **BAB IV : ANALISIS PARAMETER DAN HASIL SIMULASI**

4.1. Pengendali Thyristor Anti-Paralel .....	30
4.1.1. Alat-AlatYang Digunakan.....	30
4.1.2. Pengujian Arus Searah DC ( <i>DC Test</i> ) .....	31
4.1.3. Pengujian Tanpa Beban ( <i>No Load Test</i> ).....	32
4.1.4. Pengujian Rotor Tertahan ( <i>Blocked Rotor Test</i> ).....	33
4.2. Analisa Parameter Motor Induksi .....	34

4.3. Simulasi Dan Analisa.....	37
4.3.1. Blok Simulasi Pengendali Thyristor Anti-Paralel Sebelum Di Filter.....	37
4.3.1.1. Tampilan Hasil Simulasi Dan Analisa.....	38
4.3.1.2. Data Pengukuran Harmonisa Pada Rangkaian Thyristor Anti-Paralel Sebelum Di Filter .....	40
4.3.2. Blok Simulasi Pengendali Thyristor Anti-Paralel Sesudah Di Filter .....	43
4.3.2.1. Analisa Parameter Filter .....	44
4.3.2.2. Tampilan Hasil Simulasi Dan Analisa.....	48
4.3.2.3. Data Pengukuran Harmonisa Pada Rangkaian Thyristor Anti-Paralel Sesudah Di Filter .....	50
 <b>BAB V : PENUTUP</b>	
5.1. Kesimpulan.....	53
5.2. Saran .....	53
 <b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>54</b>
 <b>LAMPIRAN</b>	



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Bentuk Gelombang Frekuensi Dasar .....	7
Gambar 2.2	Bentuk Gelombang Frekuensi Dasar Dan Frekuensi Harmonisa .....	7
Gambar 2.3	Bentuk Gelombang Resultan Dari Frekuensi Dasar Dan Frekuensi Harmonisanya .....	8
Gambar 2.4	Rangkaian Distribusi Yang Sederhana .....	15
Gambar 3.1	Pemasangan Filter Harmonisa .....	18
Gambar 3.2	Jenis-Jenis filter Pasif Yang Umum.....	20
Gambar 3.3	Rangkaian Filter Penalaan Tunggal.....	23
Gambar 3.4	Rangkaian Filter Penalaan Ganda .....	24
Gambar 3.5	<i>High Pass Filter</i> .....	26
Gambar 3.6	Rangkaian <i>Single Tuned Filter</i> .....	27
Gambar 3.7	Flowchart Pemecahan Masalah.....	29
Gambar 4.1	Rangkaian Pengendali Thyristor Anti-Paralel .....	30
Gambar 4.2	Rangkaian Pengujian Arus.....	31
Gambar 4.3	Rangkaian Pengujian Tanpa Beban .....	32
Gambar 4.4	Rangkaian Pengujian Rotor Tertahan .....	33
Gambar 4.5	Blok Simulasi Rangkaian Pengendali Thyristor Anti-Paralel Sebelum Di Filter .....	37
Gambar 4.6	Bentuk Gelombang Tegangan Terhadap Waktu.....	38
Gambar 4.7	Bentuk Gelombang Arus Terhadap Waktu.....	39
Gambar 4.8	Bentuk Gelombang THD Terhadap Waktu .....	39
Gambar 4.9	Rangkaian Pengendali Thyristor Anti-Paralel Sebelum Di	

Filter.....	40
<b>Gambar 4.10 Blok Simulasi Rangkaian Pengendali Thyristor Anti-Paralel</b>	
Sebelum Di Filter.....	43
<b>Gambar 4.11 Rangkaian Filter Penalaan Tunggal.....</b>	<b>44</b>
<b>Gambar 4.12 Blok Parameter Filter.....</b>	<b>47</b>
<b>Gambar 4.13 Bentuk Gelombang Tegangan Terhadap Waktu.....</b>	<b>48</b>
<b>Gambar 4.14 Bentuk Gelombang Arus Terhadap Waktu.....</b>	<b>49</b>
<b>Gambar 4.15 Bentuk Gelombang THD Terhadap Waktu.....</b>	<b>50</b>
<b>Gambar 4.16 Rangkaian Pengendali Thyristor Anti-Paralel Sesudah Di</b>	
<b>Filter .....</b>	<b>50</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	<i>Voltage Distortion Limits</i> .....	16
Tabel 2.2	Standar Untuk Arus Harmonisa.....	16
Tabel 4.1	Data Hasil Pengujian Arus Searah .....	32
Tabel 4.2	Data Hasil Pengujian Beban Nol.....	33
Tabel 4.3	Data Hasil Pengujian Motor Rotor Tertahan.....	33
Tabel 4.4	Hasil Perhitungan Pengujian Parameter Motor Induksi 3 Fasa.....	36
Tabel 4-5	Hasil Pengukuran Arus Harmonisa Pada Rangkaian Pengendali Thyristor Anti-Paralel Sebelum Di filter .....	41
Tabel 4.6	Hasil Pengukuran Tegangan Harmonisa Pada Rangkaian Pengendali Thyristor Anti-Paralel Sebelum Di Filter .....	42
Tabel 4.7	Hasil Pengukuran Arus Harmonisa Pada Rangkaian Pengendali Thyristor Anti-Paralel Sesudah Di Filter .....	51
Tabel 4.8	Hasil Pengukuran Tegangan Harmonisa Pada Rangkaian Pengendali Thyristor Anti-Paralel Sesudah Di Filter .....	52

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1. Latar Belakang

Secara umum, tenaga listrik didistribusikan dalam sistem tegangan sinusoidal 3 fasa. Seiring dengan semakin meluasnya penggunaan beban-beban non-linier, gelombang arus maupun tegangan sinusoidal tersebut dapat terdistorsi dan bentuknya menjadi cacat. Kebanyakan beban yang menimbulkan cacat gelombang (*deforming loads*) adalah beban-beban yang mengandung konverter (*static converter*)<sup>[5]</sup>.

Sistem pengatur kecepatan motor induksi yang merupakan salah satu sumber utama harmonisa. Dalam hal ini pengatur kecepatan dengan mengatur tegangan terminal motor. Pengaturan tegangan tersebut dapat dilakukan dengan menambahkan sepasang thyristor anti-paralel pada setiap fasenya, Maka dalam setiap perubahan sudut sulut thyristor anti-paralel menyebabkan Harmonisa dalam sistem tenaga listrik serta dapat menimbulkan pengaruh yang tidak diinginkan. Pengaruh tersebut antara lain: peralatan menjadi panas, *life time* peralatan menjadi berkurang, bahkan dapat menyebabkan peralatan menjadi rusak, interferensi sinyal (seperti *noise* yang terjadi pada saluran telepon) dan dapat menyebabkan *over voltage*.

Dengan menggunakan bantuan software MATLAB versi 7.0 kita dapat menganalisa harmonic filter yang dibutuhkan sebagai unjuk kerja pada motor induksi 3 fasa menggunakan thyristor anti-paralel dan menginputkan parameter-parameter yang dibutuhkan.

## 2. Rumusan Masalah

Dengan latar belakang diatas maka permasalahan yang timbul adalah :

1. Bagaimana cara membuat rangkaian pengendali thyristor anti-paralel pada motor induksi 3 fasa.
2. Bagaimana cara mengukur Total Harmonic Distortion pada sistem yang menyebabkan timbulnya rugi-rugi yang mengakibatkan turunnya faktor daya pada sistem, sehingga sangat berpengaruh pada kualitas daya yang ada dalam sistem.
3. Bagaimana cara menentukan nilai dari harmonic filter, dalam hal ini kita menggunakan tuned filter.
4. Bagaimana cara membuat blok-blok rangkaian simulasi di dalam MATLAB.
5. Seberapa besar dampak dari pemasangan *harmonic filter* dapat meminimalisasi harmonisa.
6. Bagaimana hasil perbandingan antara sebelum dan sesudah dipasang harmonic filter.

## 3. Tujuan Pembahasan

Tujuan pembahasan skripsi ini adalah untuk mengetahui seberapa besar harmonisa yang di hasilkan oleh rangkaian pengendali motor induksi 3 fasa yang menggunakan pengendali thyristor anti-paralel pada sistem dan seberapa besar harmonisa tersebut dapat diminimalisir dengan cara pemasangan *Harmonic Filter* hingga dapat memenuhi ketentuan *THD (Total Harmonic Distortion)*  $\leq 5 \%$ . Dengan menggunakan

software Matlab 7.0 dapat dibandingkan secara simulasi antara pengendali thyristor anti-paralel yang sebelum dan sesudah dipasang harmonic filter.

#### **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 induksi tiga fasa jenis rotor sangkar DE LORENZO/DL 1021, 1,1 kW, 220/380( $\Delta$  /Y) Volt, 4,3/2,5( $\Delta$  /Y) Ampere, Cos  $\phi$  0,83, 50 Hz, 2830 rpm, 2 kutub.
- b. Pembahasan ditekankan pada analisis dengan nilai pendekatan yang ada dipasaran dari komponen harmonic filter yang digunakan untuk meminimalisasi harmonisa pada rangkaian thyristor anti-paralel untuk pengendali motor induksi 3 fasa jenis rotor sangkar.
- c. Pengujian pada sudut penyulutan yang sudah ditentukan yaitu saat motor dalam keadaan mantap.
- d. Pengukuran nilai LC berdasarkan alat ukur LCR meter Model ELC-132A dan Clamp On Power Hitester Model 3286-20, untuk menentukan nilai orde tiap harmonisa.
- e. Simulasi menggunakan software Matlab 7.0
- f. Tidak membahas sistem proteksi motor.

## 5. Metodologi Penelitian

Dalam melaksanakan penulisan skripsi ini metodologi yang digunakan adalah sebagai berikut :

a. Studi Literature

Pengumpulan bahan yang berkaitan dengan harmonic filter serta penurunan rumus-rumus yang digunakan dalam skripsi ini.

b. Pengumpulan Data

Melakukan percobaan dan pengambilan data dari pengukuran yang dilakukan.

c. Melakukan eksperimen dan pengambilan data dari motor induksi yang akan di analisa melalui percobaan dengan metode pengujian arus searah (*DC Test*), Pengujian rotor tertahan (*Block Rotor Test*) dan pengujian tanpa beban (*No Load Test*).

d. Menganalisa hasil pengukuran dan mensimulasikannya dengan menggunakan software Matlab Simulink 7.0.

e. Menampilkan hasil percobaan serta simulasi sebelum dan sesudah dipasang *harmonic filter*.

f. Menarik kesimpulan.

## 6. Sistematika Penulisan

Sistematika dari pembahasan di dalam skripsi ini adalah sebagai berikut :

### BABI : PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang, tujuan, perumusan masalah, batasan masalah, metode penelitian yang digunakan, serta sistematika penulisan.

## **BAB II : TEORI DASAR HARMONISA**

Disini akan dibahas masalah prinsip dasar harmonisa dan analisis fourier serta komponen-komponen yang menyebabkan timbulnya harmonisa serta pengaruh dari harmonisa.

## **BAB III : FILTER HARMONISA DAN PEMECAHAN MASALAH**

Pada bab ini akan dibahas masalah jenis-jenis filter harmonisa serta analisis pembuatan filter harmonisa dan algoritma pemecahan masalah.

## **BAB IV : ANALISIS PARAMETER DAN HASIL SIMULASI**

Pada bab ini berisi data pengukuran dari rangkaian pengendali thyristor dan analisa hasil percobaan serta simulasi dari Matlab Simulink 7.

## **BAB V : PENUTUP**

Merupakan bab terakhir yang memuat intisari dari hasil pembahasan, yang berisikan kesimpulan dan saran yang dapat digunakan sebagai pertimbangan untuk pengembangan penulisan selanjutnya.

### **7. Relevansi**

Dengan adanya analisis untuk penentuan besar nilai kompensasi filter harmonisa pada pengendali motor induksi menggunakan pengendali thyristor anti-paralel ini diharapkan total harmonisa yang di timbulkan dari pemakaian pengendali thyristor anti-paralel ini dapat di minimalisasi sesuai dengan ketentuan sebesar  $\leq 5\%$ .



## **BAB II**

### **TEORI DASAR HARMONISA**

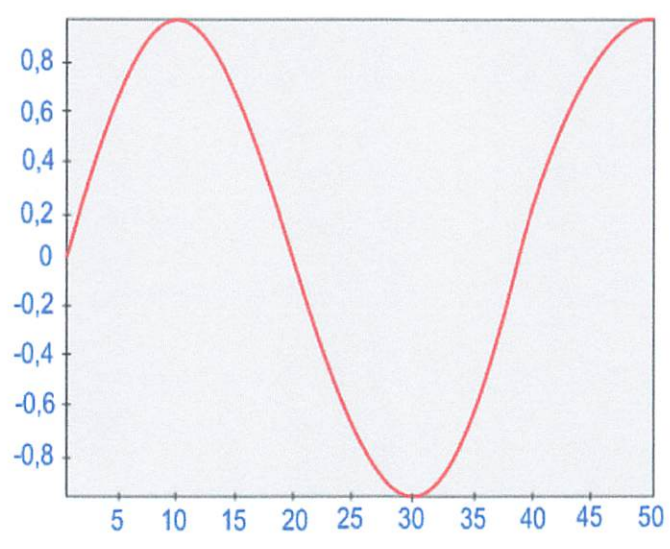
#### **2.1. Prinsip Dasar Harmonisa <sup>[5]</sup>**

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

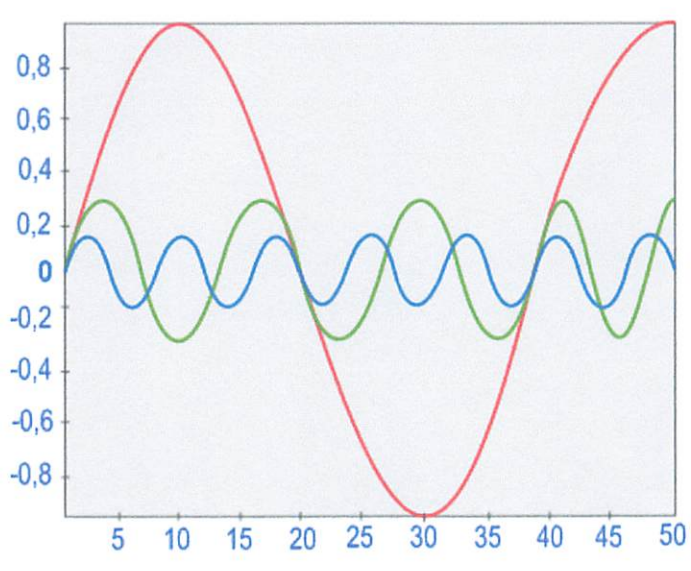
Harmonisa adalah gangguan yang terjadi pada sistem distribusi tenaga listrik akibat terjadinya distorsi gelombang arus dan tegangan. Pada dasarnya, harmonisa adalah gejala pembentukan gelombang-gelombang dengan frekuensi berbeda yang merupakan perkalian bilangan bulat dengan frekuensi dasarnya.

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.

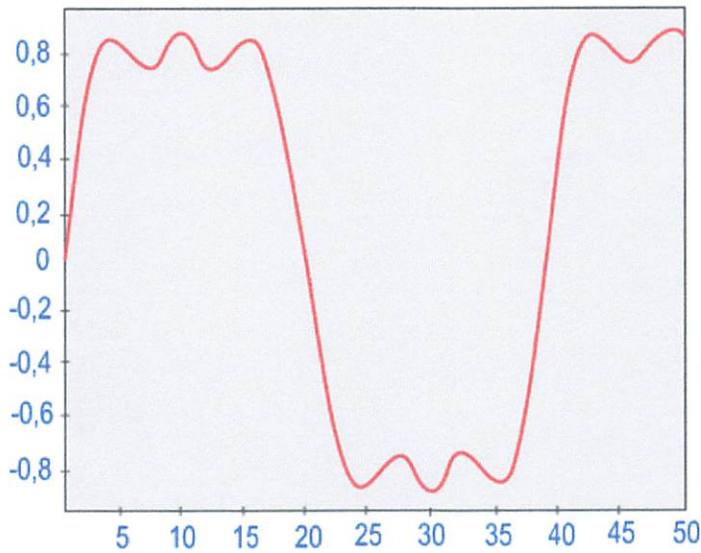
Hal ini disebut frekuensi harmonik yang timbul pada bentuk gelombang aslinya seperti pada Gambar 2.1 sedangkan bilangan bulat pengali frekuensi dasar disebut angka urutan harmonik. Gelombang-gelombang ini kemudian menumpang pada gelombang aslinya seperti pada Gambar 2.2 sehingga terbentuk gelombang cacat yang merupakan jumlah resultan antara gelombang murni sesaat dengan gelombang harmonisanya seperti tampak pada Gambar 2.3.



**Gambar 2.1**  
**Bentuk Gelombang Frekuensi Dasar**



**Gambar 2.2**  
**Bentuk Gelombang Frekuensi Dasar Dan Frekuensi Harmonisa**



**Gambar 2.3**  
**Bentuk Gelombang Resultan dari Frekuensi Dasar dan Harmonisnya**

## 2.2. Analisis Fourier<sup>[2]</sup>

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 ketidak-kontinyuan 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 :

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

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.

## **2.3. Sumber Harmonisa<sup>[5]</sup>**

### **2.3.1. 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).

### **2.3.2. Tanur Busur Listrik (*Electric Arc Furnace*)**

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.

### 2.3.3. Transformator

*Saturable devices*, seperti transformator dan peralatan elektromagnetik lainnya dengan inti besi (*steel*), termasuk juga motor-motor (mesin-mesin berputar) juga termasuk sumber harmonisa. Harmonisa dibangkitkan oleh karakteristik magnetisasi besi yang non-linier.

Distorsi bentuk gelombang terutama disebabkan oleh harmonisa ketiga. Untuk menjaga tegangan suplai agar berbentuk sinusoidal diperlukan jalur khusus untuk arus harmonisa ketiga dan biasanya didapat dengan menggunakan belitan hubungan delta. Untuk alasan ekonomis, transformator biasanya dirancang dengan memakai bahan inti yang memiliki sifat-sifat magnetis yang baik.

### 2.3.4. Mesin-Mesin Berputar

Generator sinkron dan motor induksi secara umum menghasilkan sejumlah harmonisa. Pada generator sinkron, harmonisa disebabkan oleh kejenuhan dan distribusi fluks yang tidak sinusoidal. Sehingga terbangkit emf yang tidak sinusoidal yang akan menghasilkan arus harmonisa bila dibebani.

## 2.4. Pengaruh Harmonisa <sup>[1]</sup>

### 2.4.1. Pengaruh Harmonisa Pada Komponen Peralatan Listrik

Harmonisa yang lebih banyak disebabkan karena adanya beban yang non linier ini membuat gangguan yang cukup besar kepada peralatan distribusi listrik. Beberapa komponen yang terpengaruhi oleh harmonisa, antara lain:

- *Konduktor*

Konduktor merupakan media yang dipakai untuk mentransferkan energi listrik. Arus harmonisa dapat menyebabkan rugi-rugi pada kawat penghantar bertambah. Hal ini dikarenakan pada konduktor terdapat impedansi hambatan, yang meningkatkan arus. Arus harmonisa yang mengalir tersebutlah yang menyebabkan panas. Panas tersebut semakin lama akan mengurangi daya hantarnya. Sehingga pada akhirnya dapat meningkatkan rugi-rugi daya dan menurunkan efisiensi.

- *Transformer*

Pada transformer, yang mengalami kerugian daya adalah pada kumparan primer, kumparan sekundernya dan inti besi (*ferromagnetic losses*). Telah diketahui bahwa arus harmonisa menambah kerugian daya pada penghantar yang berbentuk panas. Pada transformator berlaku sistem penginduksian, dimana bila arus berharmonisa mengalir, maka fluks magnetik pada kumparan transformatornya akan menghasilkan rugi-rugi histerisis dan Eddy Current. Rugi histerisis besarnya proporsional dengan harga frekuensinya dan rugi Eddy Current-nya proporsional dengan kuadrat frekuensinya. Gabungan dari rugi-rugi tembaga dan inti besi akan menyebabkan transformator menjadi *overheating*. Dan pada akhirnya panas tersebut akan

menurunkan kekuatan isolasi. Pada transformator yang digunakan oleh PLN hubungan primer sekundernya menggunakan delta-star, karena memiliki keuntungan dapat mencegah harmonisa pada hubungan deltanya (primer) masuk pada hubungan star (sekunder). Sehingga harmonisa tidak sampai masuk ke jaringan sekunder pada trafo tersebut.

- *Circuit breaker*

Pada circuit breaker konvensional menggunakan panas untuk membuat kawat didalam circuit breaker tersebut menjadi panas dan pada akhirnya akan putus. Arus harmonisa yang melewati circuit breaker tersebut masih dapat diamankan oleh circuit breaker yang konvensional ini. Hal ini dikarenakan panas yang terjadi karena arus harmonisa tersebut sama dengan panas yang timbul pada peralatan yang diproteksi tersebut. Namun sebagai sarana penyediaan koordinasi pengamanan yang lebih baik, telah dikembangkan peralatan circuit breaker yang lebih baik. Dimana circuit breaker tersebut dioperasikan secara elektronik sehingga mampu mendeteksi level arus yang secara otomatis akan memutus arus apabila arus rms terlalu tinggi.

#### 2.4.2. Pengaruh Harmonisa Pada Motor<sup>[1]</sup>

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*

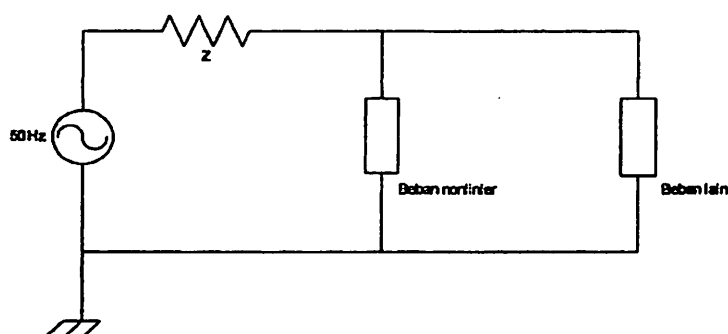
Fluks yang timbul dari penginduksian tegangan dan stator yang kemudian timbul arus yang ada di slot-slot rotor dapat menimbulkan gerak relatif putar. Perubahan fluks yang terjadi pada rotor dan stator akan menimbulkan frekuensi harmonisa yang tinggi yang akan menghasilkan rugi-rugi besi dan tembaga pada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

- *Beda fasa*

Selain itu, motor induksi yang biasa disebut dengan motor asinkron merupakan motor yang kecepatan putarnya tidak sesuai atau tidak sama dengan medan putar dan stator. Melihat kenyataan ini, maka akan timbul beda fasa antara tegangan dan arus. Karena motor induksi ini termasuk beban induktif maka arus yang mengalir tertinggal dengan tegangannya. Apabila sumber yang menyuplai motor mengandung harmonisa maka beda fasa yang terjadi pada motor induksi ini menjadi lebih besar.

### 2.4.3. Pengaruh Harmonisa Pada Sistem Tegangan <sup>[5]</sup>

Peralatan yang diterapkan pada sistem tenaga listrik, seperti contoh yang dapat dilihat pada Gambar di bawah ini:



**Gambar 2.4**  
**Rangkaian distribusi yang sederhana**

Sebuah suplai energi listrik yang disalurkan ke beberapa beban yang terhubung paralel melalui kawat penghantar (*Transmission Lines*) yang mengandung impedansi sebesar  $Z$ . Apabila ada arus harmonisa yang melalui impedansi  $Z$  dan sumber, akan menimbulkan tegangan harmonisa yang besar, amplitudo tegangannya akan semakin meningkat disertai juga dengan peningkatan frekuensinya. Karena terdapat impedansi hambatan saluran, maka terdapat selisih tegangan yang dapat secara signifikan terdistorsi oleh beban, bisa berasal dari beban nonlinier yang terbagi kecil-kecil. Dimana arus akan timbul pada saat tegangan suplai mencapai titik maksimum saja. Hal ini akan menyebabkan turunnya tegangan yang melewati impedansi  $Z$  dan akan menjadi lebih besar pula apabila tegangan pada sumber mencapai titik maksimum. Sehingga tegangan yang dikirimkan pada akhirnya akan menjadi turun.

## 2.5. Standar Harmonisa<sup>[2]</sup>

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<sup>[7]</sup>**

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<sup>[7]</sup>**

$I_{sc}/I_L$	orde harmonisa dalam % terhadap $I_L$				
	<11	11≤h≤17	17≤h≤23	23≤h≤35	35≤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.

## 2.6. Indeks Harmonisa

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

### 2.6.1. Total Harmonic Distortion (THD) <sup>(7)</sup>

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:

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

dimana:

$V_n$  = komponen harmonisa

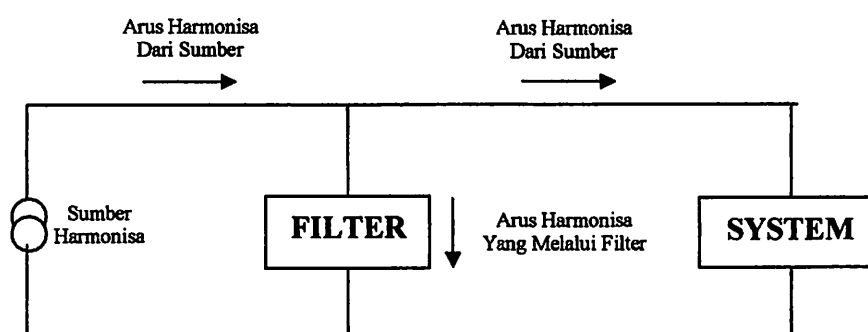
$V_1$  = komponen fundamental

$k$  = komponen harmonisa maksimum yang diamati

## BAB III FILTER HARMONISA DAN PEMECAHAN MASALAH

### 3.1. Filter Harmonisa<sup>[5]</sup>

Tujuan dari pemasangan filter harmonisa adalah untuk mereduksi amplitudo frekuensi tertentu dari sebuah tegangan dan arus. Dengan penambahan filter harmonisa pada suatu sistem tenaga listrik yang mengandung sumber-sumber harmonisa maka penyebaran arus harmonisa ke seluruh jaringan dapat ditekan sekecil mungkin. Selain itu filter harmonisa pada frekuensi dasar dapat mengkompensasi daya reaktif dan digunakan untuk memperbaiki faktor daya.



**Gambar 3.1**  
**Pemasangan Filter Harmonisa**

### 3.2. Tipe Filter<sup>[5]</sup>

Ada dua tipe dasar dari filter aktif yaitu tipe paralel dan seri. Filter aktif ini dapat bekerja untuk mengeliminasi timbulnya harmonisa dalam suatu sistem tenaga listrik 3 fasa, baik dengan kawat netral maupun tidak. Filter aktif ini bekerja dengan cara mengkompensasi arus harmonisa yang timbul pada sistem tenaga yang diakibatkan oleh penggunaan beban-beban non linier. Selain dapat mengeliminasi harmonisa yang timbul,

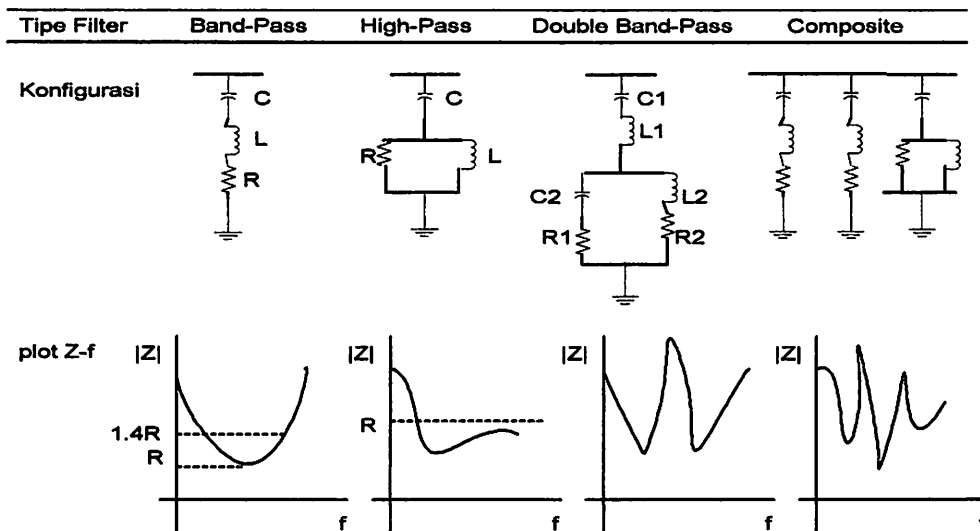
filter aktif ini juga dapat memperbaiki faktor daya dalam suatu sistem tenaga listrik. Saat ini, filter aktif paralel sudah banyak dikembangkan untuk memperbaiki kualitas sistem tenaga listrik.

Filter pasif merupakan metode penyelesaian yang efektif dan ekonomis untuk masalah harmonisa. Filter pasif sebagian besar didisain untuk memberikan bagian khusus untuk mengalihkan arus harmonisa yang tidak diinginkan dalam sistem tenaga. Ada dua macam filter pasif yaitu filter pasif seri dan filter pasif paralel. Filter pasif seri memiliki karakteristik sebagai resonansi paralel dan merupakan tipe filter yang bersifat sebagai penghalang, yang memiliki impedansi tinggi pada frekuensi tertentu. Sebagai contohnya adalah penggunaan komponen penghalus atau perata gelombang pada peralatan elektronika daya. Sedangkan filter pasif paralel memiliki karakteristik sebagai resonansi seri dan merupakan filter yang bertipe *trap* yang memiliki impedansi yang rendah pada frekuensi tertentu.

### 3.3. Jenis-Jenis Filter Pasif<sup>[5]</sup>

Gambar 3.2 memperlihatkan beberapa jenis filter pasif yang umum beserta konfigurasi dan plot impedansinya. Secara umum filter pasif dapat dibedakan dalam tiga jenis :

1. *Single-Tuned / Band Pass Filter* (filter penalaan tunggal)
2. *Double-Tuned / Double Band Pass Filter* (filter penalaan ganda)
3. *High Pass Filter Type*



**Gambar 3.2. Jenis-jenis filter pasif yang umum.**

Plot impedansi dari sebuah *high-pass* filter orde dua (orde satu terdiri dari resistor seri dan kapasitor) memperlihatkan bahwa impedansi minimum *passband* filter ini lebih tinggi daripada sebuah *single-tuned* filter. Sebuah *high-pass* filter akan menarik sejumlah komponen harmonisa dengan frekuensi di atas frekuensi *notch*-nya. Hal ini menyebabkan rating yang tinggi pada frekuensi fundamentalnya dan rugi-rugi energi yang besar pada resistornya. Filter jenis ini biasanya digunakan untuk harmonisa orde tinggi.

*Composite* filter terdiri dari dua *bandpass* filter dan sebuah *high-pass* filter untuk frekuensi tinggi. Konfigurasi ini biasanya digunakan untuk beban tanur busur listrik (*arc-furnace*).

Dengan mengetahui tegangan fundamental dan harmonisa pada busbar, maka rating arus dan tegangan kapasitor, induktor dan resistor dapat ditentukan. Selain itu juga daya reaktif dan aktif serta rugi-ruginya dapat ditentukan pula.

Untuk mencegah kerusakan komponen-komponen ini, rating dari komponen harus didasarkan kepada beberapa kondisi yang ada yaitu tegangan fundamental tertinggi, keberadaan frekuensi tertinggi serta arus harmonisa dari sumber-sumber lain dan dari resonansi yang mungkin terjadi antara filter dan sistem ac.

Kapasitor tersusun dari unit standar yang dihubungkan seri atau paralel untuk memperoleh rating tegangan dan KVA yang diinginkan. Hal-hal pokok dari kapasitor adalah :

- a. Koefisien suhu dari komponen kapasitor.
- b. Daya reaktif per unit volume.
- c. Rugi-rugi daya.
- d. Reliability.
- e. Harga.

Koefisien suhu yang sangat rendah dari kapasitor lebih diharapkan untuk menala filter dalam orde penalaan supaya dapat dihindari penalaan ulang karena perubahan kapasitansi oleh perubahan suhu di sekeliling atau oleh pemanasan sendiri oleh kapasitor tersebut.

Kapasitor mendapatkan daya reaktif yang besar per unit volume dengan cara memiliki losses yang rendah dan dengan dioperasikan pada tegangan tinggi. Untuk alasan ini maka operasi yang lama pada tegangan lebih harus dihindari untuk mencegah terjadinya kerusakan dielektrik akibat panas. Rating daya reaktif kapasitor adalah penjumlahan daya reaktif pada masing-masing frekuensi yang diinginkan.

Induktor yang digunakan dalam rangkaian filter dirancang mampu menahan selubung frekuensi tinggi diantara efek kulit dan rugi-rugi histerisis harus dimasukkan



dalam perhitungan rugi-rugi daya. Begitu juga efek dari level fluks dari inti besi, yaitu penalaan ulang yang disebabkan oleh magnetisasi yang tidak linier sehingga harus dipertimbangkan. Komponen induktor pada filter lebih baik dirancang dengan inti non magnetic. Rating induktor terutama tergantung pada arus rms maksimum dan pada level isolasi yang dibutuhkan agar tahan terhadap surja hubung. Umumnya R dan L ditempatkan di bagian bawah dari filter.

### 3.3.1. Single-Tuned Filter<sup>[4]</sup>

Filter dengan penalaan tunggal ditala pada salah satu orde harmonisa (biasanya pada orde harmonisa rendah). Filter ini terdiri dari rangkaian seri kapasitor, reaktor dan resistor (RLC). Impedansi dari rangkaian *Single-Tuned Filter* dinyatakan dalam persamaan :

$$Z(\omega) = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) \dots\dots\dots(3.1)$$

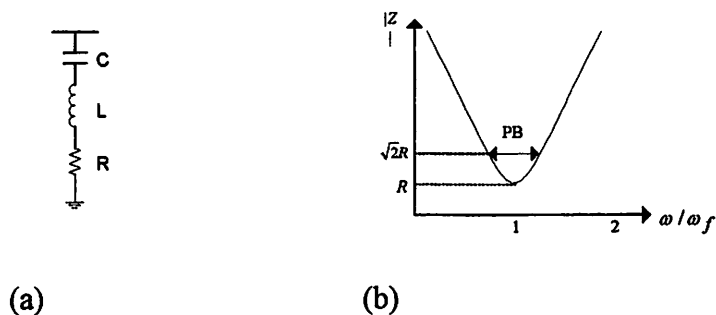
Rangkaian filter ini mempunyai impedansi yang rendah pada frekuensi resonansinya. Sebuah shunt filter dikatakan ditala pada sebuah frekuensi jika pada frekuensi tersebut reaktansi induktif dan kapasitifnya sama dengan nol.

Kualitas sebuah filter (Q) menentukan ketajaman penalaan (*tuning*). Filter dengan Q tinggi ditala secara tajam pada suatu frekuensi harmonisa (contohnya ke-5). Filter dengan Q yang rendah biasanya bernilai 0.5 sampai 5 dan memiliki impedansi yang rendah pada jangkauan frekuensi yang lebar.

Faktor kualitas (Q) didefinisikan sebagai perbandingan antara induktansi (atau kapasitansi) pada saat resonansi dengan resistansi.

$$Q = \frac{X_0}{R} \dots\dots\dots(3.2)$$

dengan  $X_0 = nX_L = \frac{X_C}{n}$ , pada keadaan resonansi.



**Gambar 3.3.**  
**(a) Rangkaian Filter Penalaan Tunggal**  
**(b) Grafik Impedansi Filter Terhadap Frekuensi**

Seperti ditunjukkan pada Gambar 3.6, *passband* (PB) filter didefinisikan sebagai batas frekuensi filter sama dengan resistansinya, yaitu sudut impedansinya sebesar 45° dan impedansi sama dengan √2R. Hubungan Q dan PB dinyatakan sebagai :

$$Q = \frac{\omega_0}{PB} \dots\dots\dots(3.3)$$

Dengan ω<sub>0</sub> adalah frekuensi sudut penalaan dalam rad/sec.

**3.3.2. Double-Tuned Filter<sup>[5]</sup>**

Sebuah impedansi ekuivalen dari dua buah filter penalaan tunggal ditunjukkan pada Gambar 3.4.a) yang memiliki frekuensi resonansi yang berdekatan dalam prakteknya sama dengan konfigurasi sebuah filter penalaan ganda yang ditunjukkan pada Gambar 3.4.b). Hubungan antara kedua rangkaian filter ini adalah sebagai berikut :

$$C_1 = C_a + C_b \dots\dots\dots(3.4)$$

$$C_2 = \frac{C_a C_b (C_a + C_b) (L_a + L_b)^2}{(L_a C_a - L_b C_b)^2} \dots\dots\dots(3.5)$$

$$L_1 = \frac{L_a L_b}{L_a + L_b} \dots\dots\dots(3.6)$$

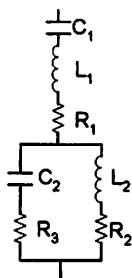
$$L_2 = \frac{(L_a C_a - L_b C_b)^2}{(C_a + C_b)^2 (L_a + L_b)^2} \dots\dots\dots(3.7)$$

$$R_2 = R_a \left[ \frac{a^2(a - X^2)}{(a + aX^2)^2(1 + X^2)} \right] + R_b \left[ \frac{a - X^2}{(1 + aX^2)^2(1 + X^2)} \right] \dots\dots\dots(3.8)$$

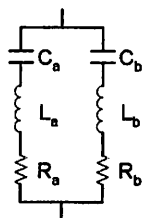
$$+ R_1 \left[ \frac{(1 - X^2)^2(1 - aX^2)}{(1 + X^2)^2(1 + aX^2)} \right]$$

Dengan

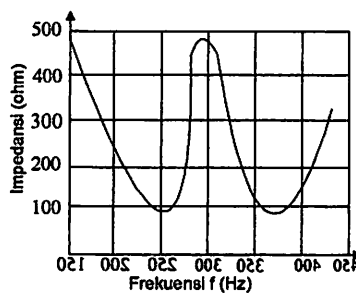
$$a = \frac{C_a}{C_b} \text{ dan } X = \sqrt{\frac{L_b C_b}{L_a C_a}}, \dots\dots\dots(3.9)$$



(a)



(b)



(c)

**Gambar 3.4. Rangkaian Filter Penalaan Ganda**  
**(a) Transformasi dari dua buah filter penalaan tunggal**  
**(b) Filter penalaan tunggal**  
**(c) Filter penalaan ganda yang ditala pada orde lima dan tujuh**

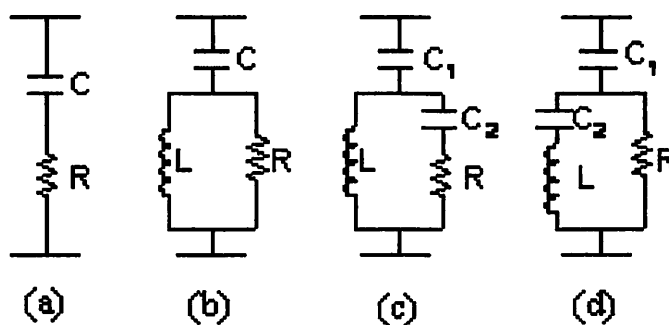
### 3.3.3. High Pass Filter<sup>[5]</sup>

Sebuah high pass filter memiliki beberapa kelebihan antara lain :

- a. High pass filter tidak terlalu peka terhadap perubahan suhu, perubahan frekuensi, toleransi komponen dari pabrik dan rugi-rugi dari kapasitor.
- b. Membuat impedansi yang rendah untuk spektrum frekuensi harmonisa yang lebar tanpa memerlukan sub-sub parallel cabang filter.
- c. Penggunaan filter penalaan sering mengakibatkan resonansi parallel antara filter dengan admitansi dari sistem pada frekuensi orde harmonisa dibawah penalaan filter yang lebih rendah. Dalam hal ini penggunaan satu atau lebih high pass filter menjadi alternatif yang dapat diterima.

Selain itu kelemahan dari high pass filter adalah :

- a. Dengan level filter yang sama perancangan high pass filter untuk VA rating yang besar (VA rating pada frekuensi fundamentalnya) akan mengalami kesulitan. Padahal dalam hal ini unjuk kerja yang baik dari suatu peralatan filter termasuk didalamnya adalah masalah koreksi faktor daya.
- b. Pada high pass filter rugi-rugi resistor dan reaktansi secara umum adalah besar. Ada empat jenis dari high pass filter seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.5. yaitu high pass filter orde satu, orde dua, orde tiga dan jenis high pass filter tipe-C.



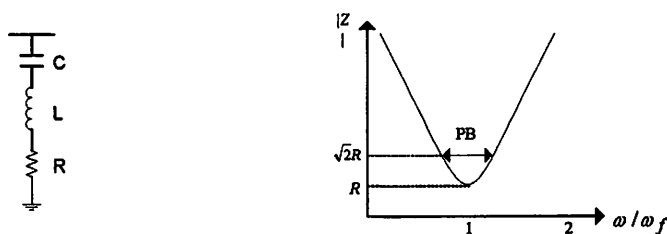
Gambar 3.5. High Pass filter

(a) Orde satu (b) Orde dua (c) Orde tiga (d) Type C

- a. Filter orde satu tidak biasa digunakan, jenis ini akan memerlukan kapasitor yang besar dan akan terjadi kerugian daya pada frekuensi dasarnya.
- b. Filter orde dua memberi unjuk kerja yang baik tetapi memiliki rugi-rugi yang lebih besar dibandingkan dengan high pass filter orde tiga.
- c. Filter orde tiga mempunyai keunggulan dibanding high pass filter orde dua yaitu mampu mereduksi rugi-rugi pada frekuensi dasar yang disebabkan oleh naiknya impedansi pada frekuensi tersebut. Hal ini karena kehadiran  $C_2$  dan lagi disini rating dari  $C_2$ .
- d. Unjuk kerja dari filter jenis C adalah modifikasi dari filter orde dua dan filter orde tiga. Kelebihan high pass filter jenis C adalah mampu mereduksi rugi-rugi pada frekuensi dasar ketika  $C_2$  dan L ditala seri dibawah frekuensi ini. Filter jenis C lebih mudah terpengaruh pada penyimpangan (deviasi) frekuensi dasar.

### 3.4. Analisis Pemecahan Masalah

1. Mulai
2. Lakukan pengukuran pada rangkaian pengendali motor induksi 3 fasa yang menggunakan thyristor anti-paralel dengan sudut penyulutan yang sudah ditentukan.
3. Dari hasil pengukuran didapatkan hasil *total harmonic distortion* diatas 5 % dan nilai orde harmonisa terbesar terdapat pada orde ke 5.
4. Analisis filter di penalaan orde ke 5 dengan nilai frekuensi 250 Hz.
5. Filter yang digunakan jenis Single Tuned, dengan rumusan :



**Gambar 3.6**  
**Rangkaian Single Tuned Filter**

Dengan persamaan rumusan *tuned filter* adalah

$$Z_f = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = 2\pi fnL - \frac{1}{2\pi fnC}$$

Dimana:  $Z_f$  = impedansi filter

$X_L$  = Reaktansi induktif

$X_C$  = Reaktansi kapasitif

$fn$  = Pada orde ke 5 x  $f_1$

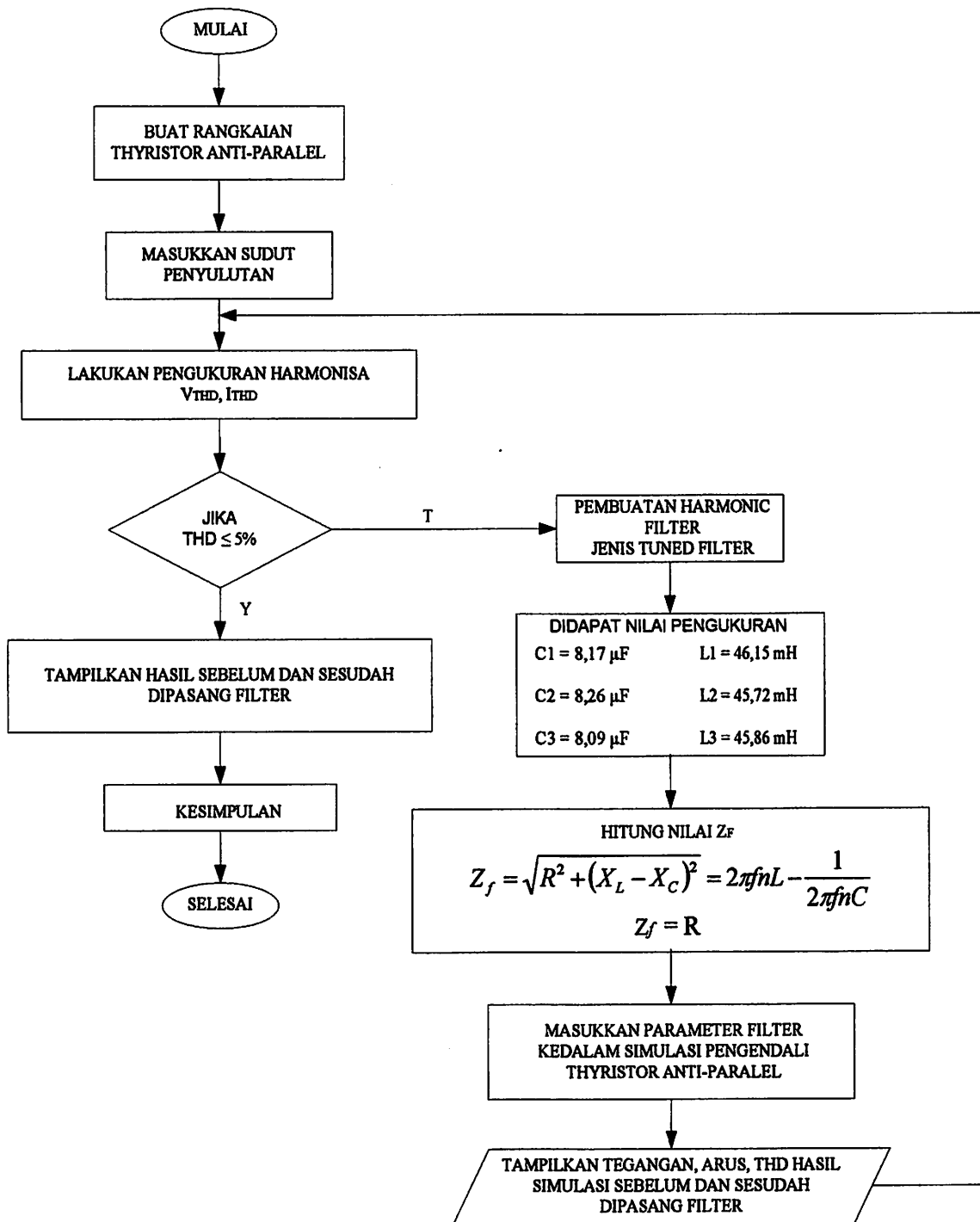
$f_1$  = Frekuensi fundamental

Dalam resonansi ( dimana terjadi  $X_L = X_C$  ), maka : Nilai besar  $Z_f = R$

$$\text{Faktor kualitas, } Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

6. Dari analisis diatas dapat disimulasikan untuk melihat perubahan gelombang tegangan dan arus serta harmonisa sebelum dan sesudah dipasang filter dengan nilai parameter dari hasil perhitungan.
7. Setelah di lakukan pemasangan filter pada rangkaian pengendali thyristor anti-paralel pada motor induksi 3 fasa, lakukan pengukuran.
8. Cek apakah THD lebih besar dari batas yang telah ditentukan.
9. Apabila “Ya” dilakukan pemasangan *Harmonic Filter* lagi.
10. Apabila “Tidak” dilakukan cetak hasil.
11. Selesai

3.5. Flowchart Pemecahan Masalah



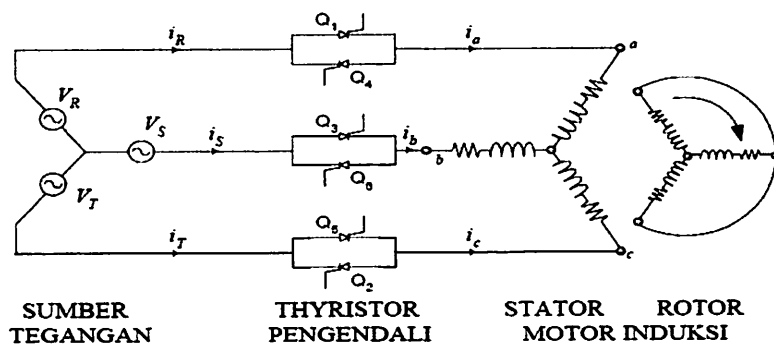
Gambar 3.7  
Flowchart Pemecahan Masalah



## BAB IV ANALISIS PARAMETER DAN HASIL SIMULASI

### 4.1. Pengendali Thyristor Anti-Paralel<sup>[6]</sup>

Dimana dalam percobaan kendali motor induksi 3 fasa menggunakan pengendali thyristor anti-paralel terdapat kandungan harmonisa yang melebihi ketentuan sebesar 5%. Sebab itu perlu dilakukan pengukuran serta analisa untuk pembuatan filter harmonisa, sebelum dilakukan pengujian.



**Gambar 4.1<sup>[6]</sup>**  
**Rangkaian Pengendali Thyristor Anti-Paralel**

#### 4.1.1. Alat – alat yang digunakan

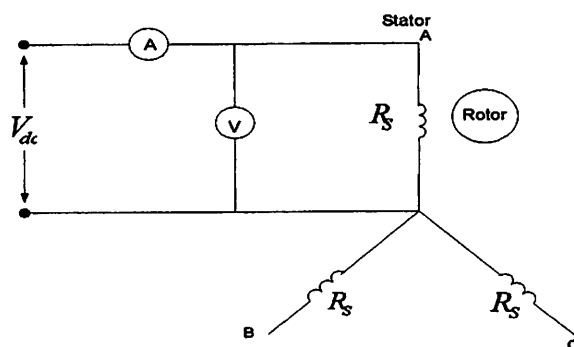
a. Motor Induksi 3 Fasa DE LORENZO / DL 1021

Data papan ( *Name-Plate* ) :

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

- b. Clamp On Power Hitester Type 3286-20 Merk HIOKI
- c. LCR Meter Type ELC-132A Merk ESCORT
- d. MultiMeter Digital Type DT9205A Merk EXCEL
- e. Auto Transformator 3 fasa, 3 KVA
- f. AC Power Supply DE LORENZO DL 1009
- g. DC Power Supply DE LORENZO DL 2613
- h. Voltage Reference Generator DE LORENZO DL 2614
- i. Six Pulse Control Unit DE LORENZO DL 2617
- j. SCR DE LORENZO DL 2604
- k. SCR Stack DE LORENZO DL 2605
- l. Inductive DE LORENZO DL 10040L
- m. Capacitive DE LORENZO DL 1017C
- n. Turet DE LORENZO DL 1013M2

#### 4.1.2 Pengujian Arus Searah (*DC Test*)



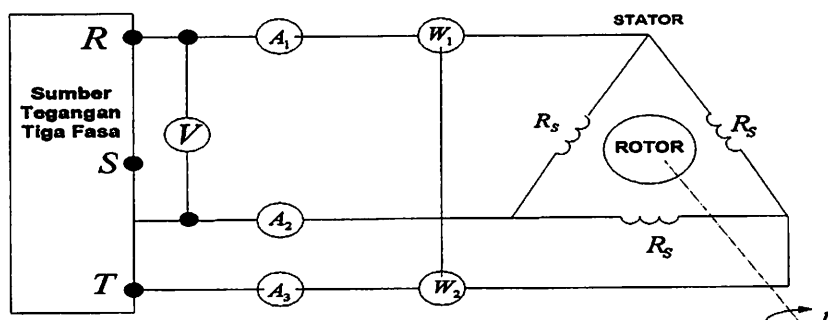
**Gambar 4.2**  
Rangkaian pengujian arus searah

Dari hasil pengujian Arus searah ( *dc test* ) didapatkan data hasil pengukuran sesuai tabel dibawah ini.

**Tabel 4.1**  
**Data Hasil Pengujian Arus Searah**

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

#### 4.1.3 Pengujian Tanpa Beban (*No Load Test*)



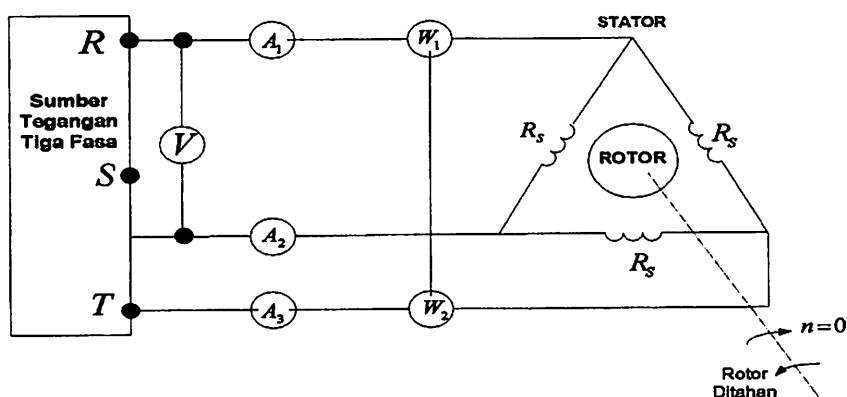
**Gambar 4.3**  
**Rangkaian pengujian tanpa beban**

Dari hasil pengujian tanpa beban didapatkan data hasil pengukuran sesuai tabel dibawah ini.

**Tabel 4.2**  
**Data Hasil Pengujian Beban Nol**

$I_{\text{motor}}$ (Ampere)			$P_{3 \text{ Phasa}}$ (WATT)	$V_{L-L}$ (Volt)	Frekuensi (Hz)
a	b	c			
0.59	0.68	0.59	90	220	50

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



**Gambar 4.4**  
**Rangkaian pengujian rotor tertahan**

Dari hasil pengujian rotor tertahan (*Blocked Rotor Test*) didapatkan data hasil pengukuran sesuai tabel dibawah ini.

**Tabel 4.3**  
**Data Hasil Pengujian Motor Rotor Tertahan**

$I_{\text{motor}}$ (Ampere)			$P_{3 \text{ Phasa}}$ (WATT)	$V_{L-L}$ (Volt)
a	b	c		
2.5	2.5	2.5	230	78

## 4.2 Analisa Parameter Motor Induksi

Dari pengujian arus searah besarnya resistansi stator adalah:

Dengan menggunakan persamaan:

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

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

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

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

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

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

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

### B. Dari pengujian Tanpa Beban (No-load Test)

$$I_{tb} = \frac{I_{ta} + I_{tb} + I_{tc}}{3}$$

$$I_{tb} = \frac{0.59 + 0.68 + 0.59}{3} = 0.62 A$$

$$Z_{tb} = \frac{V}{\sqrt{3} I_{tb}} = \frac{220}{\sqrt{3} \times 0.62} = 205 \Omega$$

$$R_{tb} = \frac{P_{(3\phi)}}{3 I_{tb}^2} = \frac{90}{3 \cdot (0.62^2)} = 78 \Omega$$

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

$$= \sqrt{205^2 - 78^2} = 189.58 \Omega$$

### C. Dari Rotor tertahan (Blocked Rotor Test)

$$I_{br} = \frac{I_{bra} + I_{brb} + I_{brc}}{3}$$

$$I_{br} = \frac{2.5 + 2.5 + 2.5}{3} = 2.5A$$

$$Z_{br} = \frac{V}{\sqrt{3}I_{br}} = \frac{78}{\sqrt{3} \times 2.5} = 18.01\Omega$$

$$R_{r1} = \frac{P_{(3\phi)}}{3I_{r1}^2} = \frac{230}{3 \cdot (2.5^2)} = 12.267\Omega$$

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

$$= \sqrt{18.01^2 - 12.267^2} = 13.08\Omega$$

$$X_{r1} = X_s + X'_r$$

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

$$X_s = X'_r = \frac{1}{2} X_{r1} = \frac{1}{2} \cdot 13.08 = 6.54\Omega$$

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

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

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

$$= 189.58 - 6.54$$

$$= 183.04 \Omega$$

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

$$R = R_{r1} - R_s$$

$$= 12.267 - 5.49$$

$$= 6.78$$

$$X_{rr} = X'_r + X_m$$

$$X_{rr} = 6.54 + 183.04 = 189.58\Omega$$

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

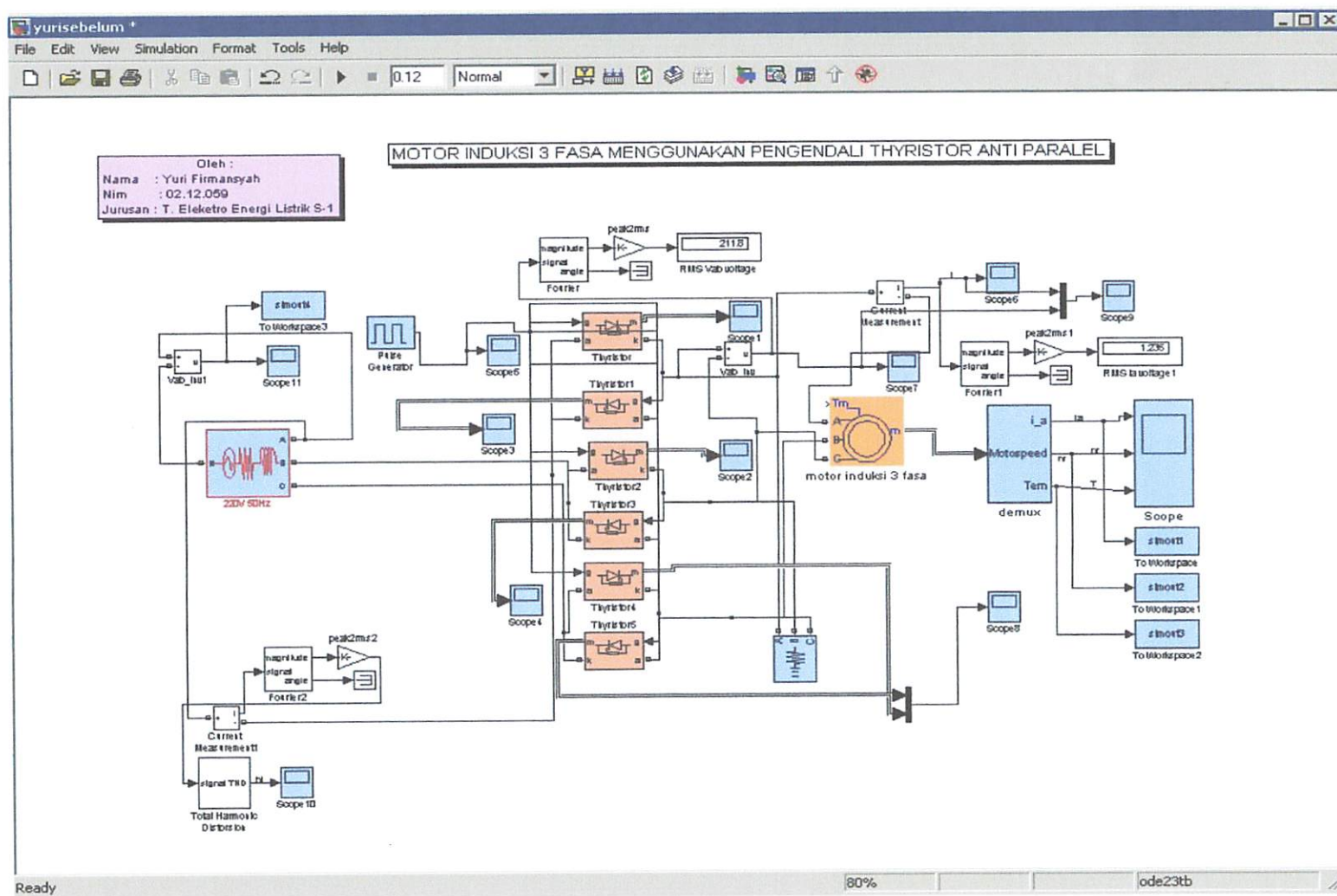
$$= 6.78 \cdot \left( \frac{189.58}{183.04} \right)^2 = 7.02\Omega$$

**Tabel 4-4**  
**Hasil Perhitungan Pengujian Parameter Motor Induksi Tiga Phasa**

rs	rr	xls	xlr	xm
5.49	7.02	6.54	6.54	183.04

### 4.3. SIMULASI DAN ANALISA

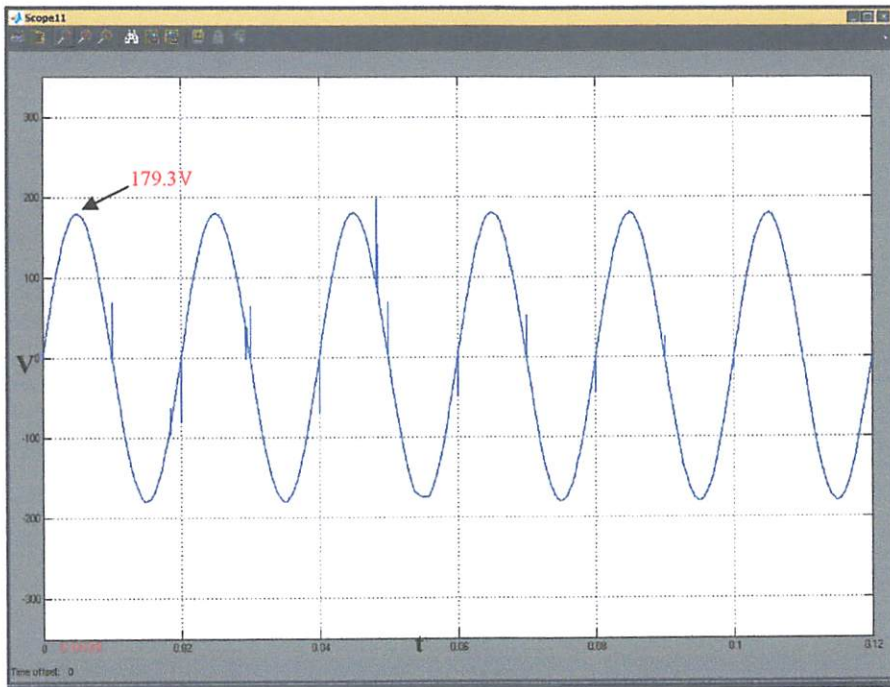
#### 4.3.1. Blok Simulasi Pengendali Thyristor Anti-Paralel Sebelum Di Filter



Gambar 4.5  
Blok Simulasi Rangkaian Pengendali Thyristor Anti Paralel Sebelum di Filter

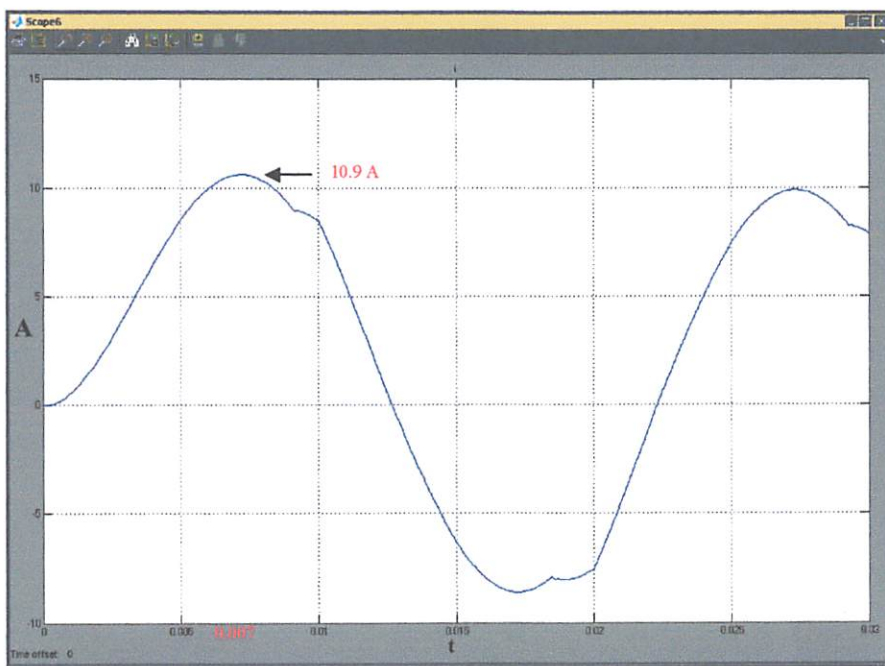


### 4.3.1.1. Tampilan Hasil Simulasi dan Analisa



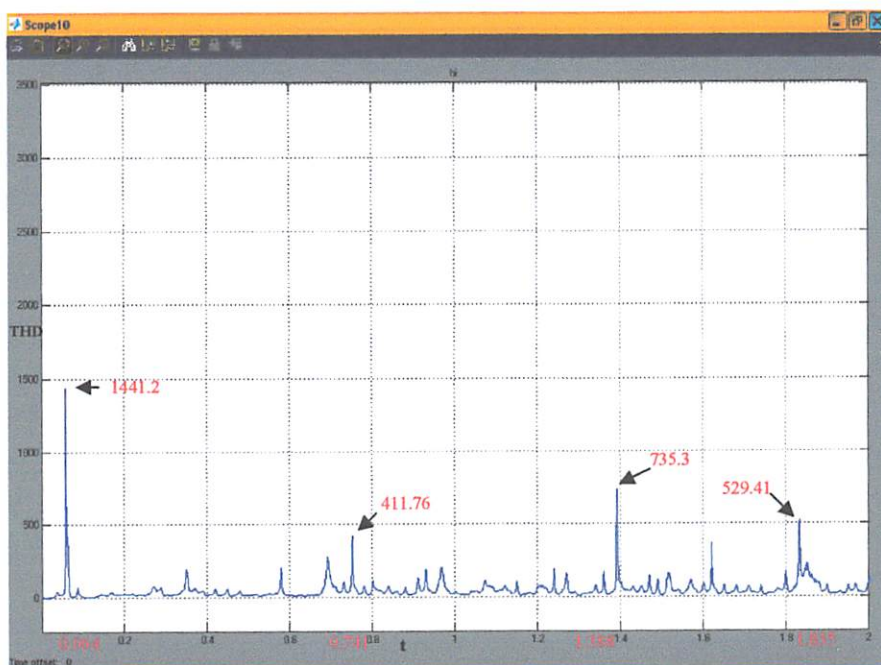
**Gambar 4.6**  
**Bentuk Gelombang Tegangan Terhadap Waktu**

Pada penggunaan rangkaian thyristor anti-paralel bentuk gelombang sebelum di filter seperti tampak pada gambar diatas dengan data Gelombang :  $V_{L-N} = 179.3$  Volt pada  $t = 0.0038$  detik, dimana  $t_0 = 0$  detik dengan  $V = 0$  Volt.



**Gambar 4.7**  
**Bentuk Gelombang Arus Terhadap Waktu**

Dari data Gambar 4.7 dapat dilihat besar nilai arus pada waktu,  $t = 0.007$  detik dengan nilai arus puncak sebesar 10.9 A.



**Gambar 4.8**  
**Bentuk Gelombang THD Terhadap Waktu**

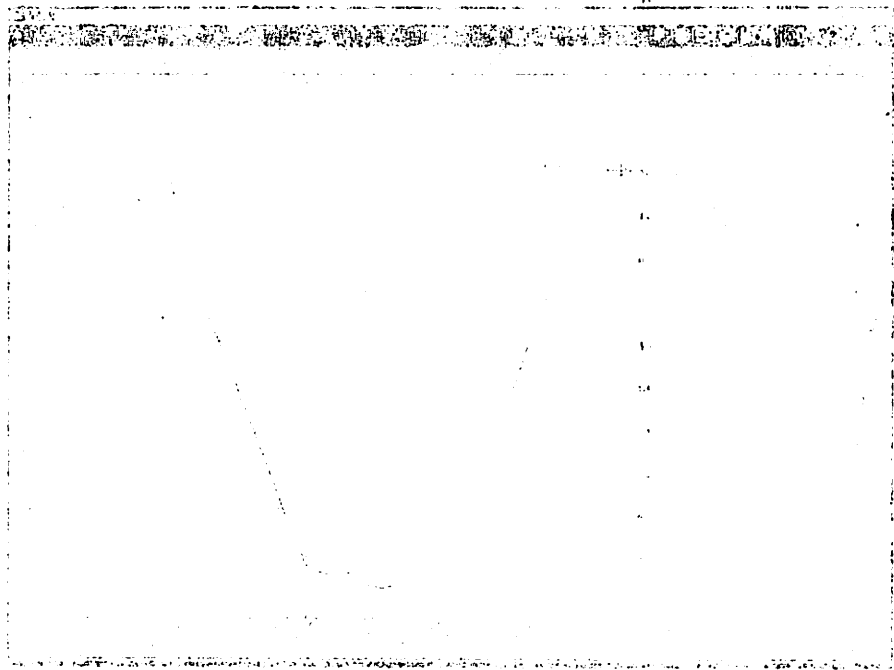


Figure 1  
 Graph of temperature vs. time for a cooling process

The following information is provided for the cooling process shown in Figure 1:

At the start of the cooling process, the temperature is 100°C.

The cooling process is completed at time 10.

The minimum temperature reached during the cooling process is 20°C.

The cooling process is linear.

The cooling process is reversible.

The cooling process is isobaric.

The cooling process is isochoric.

The cooling process is isothermal.

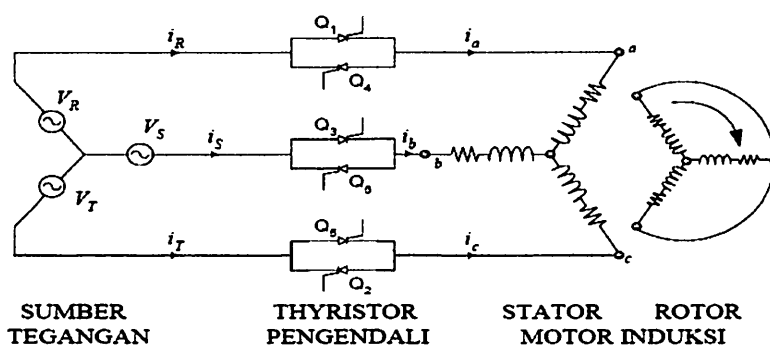
The cooling process is adiabatic.

The cooling process is diabatic.

Figure 2  
 Graph of temperature vs. time for a heating process

Dari data gambar 4.8 dapat dilihat besar nilai-nilai dari THD terhadap waktu sebesar pada,  $t_1 = 0.064$  s dengan  $THD_1 = 1441.2$ ,  $t_2 = 0.741$  s dengan  $THD_2 = 411.74$ ,  $t_3 = 1.388$  s dengan  $THD_3 = 735.3$ ,  $t_4 = 1.835$  s dengan  $THD_4 = 529.41$ .

#### 4.3.1.2. Data Pengukuran Harmonisa Pada Rangkaian Pengendali Thyristor Anti-Paralel Sebelum Di Filter.



**Gambar 4.9<sup>[6]</sup>**  
**Rangkaian Pengendali Thyristor Anti-Paralel Sebelum Di Filter**

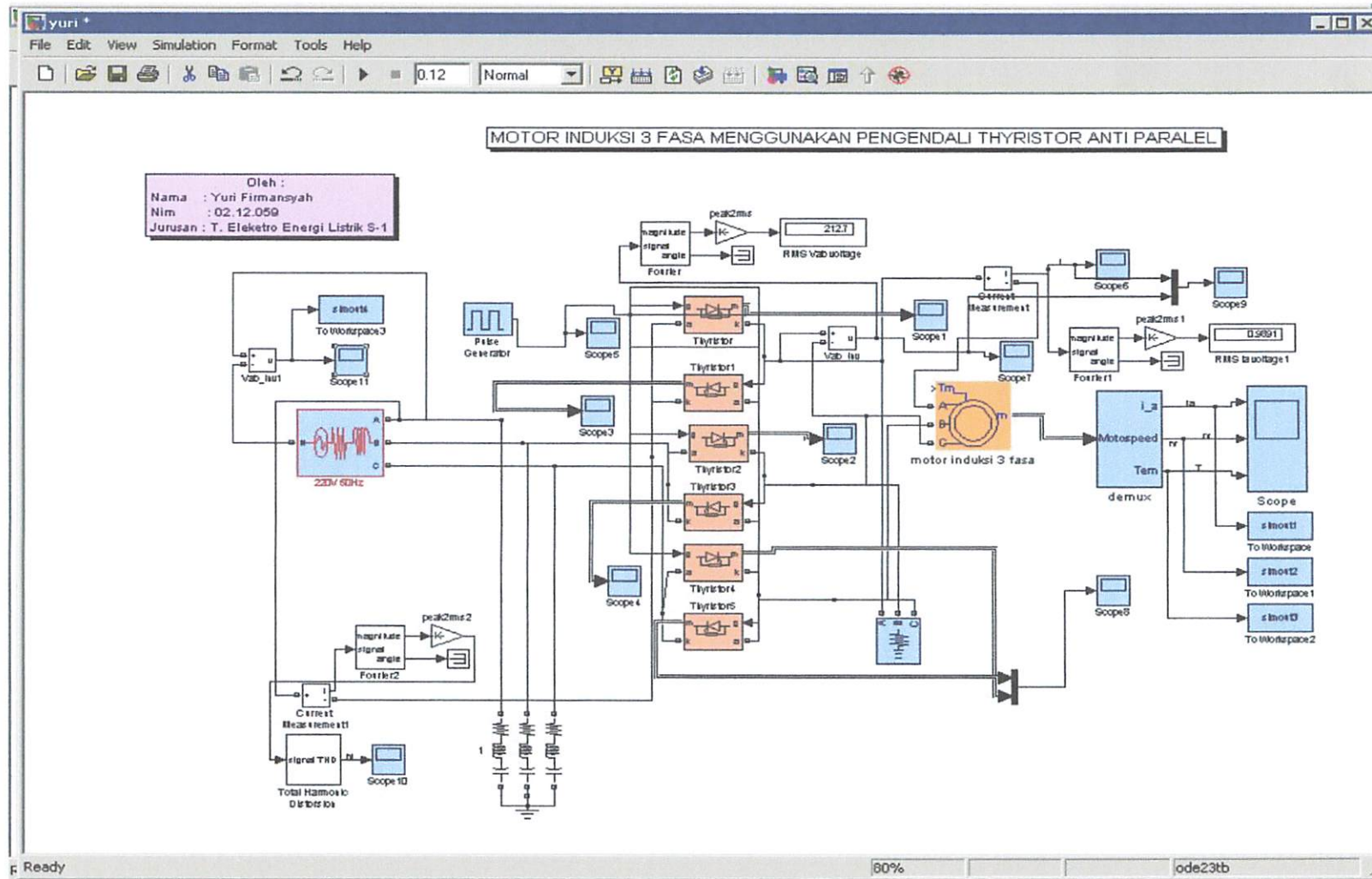
Pada  $V_{dc} = 7.5$  Volt

**Tabel 4.5**  
**Hasil Pengukuran Arus Harmonisa Pada Rangkaian Pengendali Thyristor Anti-Paralel Sebelum Di Filter**

ARUS						
Orde H	R		S		T	
	A	%	A	%	A	%
1	0.63	100	0.58	100	0.56	100
2	0.01	1.8	0.01	2.5	0.01	2.3
3	0.02	3.3	0.02	4.1	0.02	3.3
4	0	0.4	0	1.3	0	0.5
5	0.03	5.5	0.04	6.8	0.03	5.8
6	0	0.2	0	0	0	0.6
7	0	1.1	0	0.7	0	1.4
8	0	0.2	0	0.4	0	0.6
9	0	0.2	0	0.3	0	0
10	0	0.2	0	0.2	0	0.3
11	0	0.3	0	0.5	0	0.6
12	0	0.2	0	0.3	0	0.3
13	0	0.3	0	0.3	0	0.4
14	0	0	0	0.1	0	0.3
15	0	0.1	0	0.2	0	0.1
16	0	0	0	0.2	0	0.3
17	0	0.1	0	0.3	0	0.4
18	0	0.1	0	0	0	0.2
19	0	0.1	0	0.1	0	0.3
20	0	0	0	0.1	0	0.2
THD	6.8%		8.5%		7.3%	

**Tabel 4.6**  
**Pengukuran Tegangan Harmonisa Pada Rangkaian Pengendali Thyristor Anti-Paralel Sebelum Di Filter**

TEGANGAN		
Orde H	R,S,T	
	V	%
1	216.8	100
2	0.8	0.4
3	0.9	0.4
4	0.2	0.1
5	5.1	2.4
6	0.3	0.1
7	0.6	0.3
8	0.3	0.1
9	0.3	0.2
10	0.2	0
11	0	0
12	0.2	0
13	0.1	0
14	0	0
15	0.1	0
16	0.2	0
17	0.3	0.1
18	0	0
19	0.1	0
20	0	0
THD	2.5%	

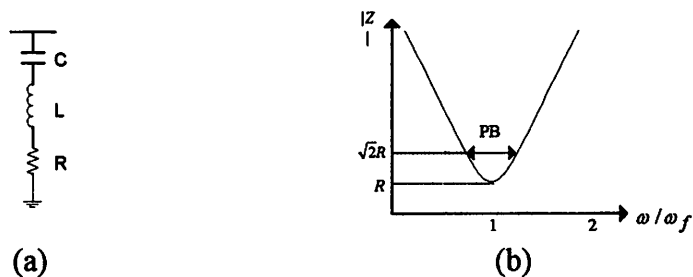


Gambar 4.10  
Blok Simulasi Rangkaian Pengendali Thyristor Anti Paralel Sesudah di Filter

Dimana pada rangkaian pengendali thyristor anti-paralel pada data pengukuran sebelum di filter, nilai orde harmonisa terbesar terdapat pada orde ke 5. dalam masalah ini tentukan jenis filter yang akan di pakai serta analisis parameter komponen harmonisa agar bisa disimulasikan terlebih dahulu.

#### 4.3.2.1. Analisa Parameter Filter

Dengan data yang ada, maka ditentukan jenis filter yang di pakai adalah jenis tuned filter. Yaitu terdiri dari rangkaian R,L,C dengan data dibawah ini :



**Gambar 4.11**

- (a) Rangkaian filter penalaan tunggal  
 (b) Grafik impedansi filter terhadap frekuensi

Dimana diketahui :  $C1 = 8,17 \mu\text{F}$  ,  $L1 = 46,15 \text{ mH}$

$C2 = 8,26 \mu\text{F}$  ,  $L2 = 45,72 \text{ mH}$

$C3 = 8,09 \mu\text{F}$  ,  $L3 = 45,86 \text{ mH}$

Dengan persamaan rumusan *tuned filter* adalah

$$Z_f = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = 2\pi f n L - \frac{1}{2\pi f n C}$$



Dimana:  $Z_f$  = impedansi filter

$X_L$  = Reaktansi induktif

$X_c$  = Reaktansi kapasitif

$f_n$  = Pada orde ke 5 x  $f_1$

$f_1$  = Frekuensi fundamental

Dalam resonansi ( dimana terjadi  $X_L = X_c$  ), maka :

❖ Pada fasa R dengan nilai :  $C_1 = 8,17 \mu\text{F}$  ,  $L_1 = 46,15 \text{ mH}$

$$\begin{aligned} \text{➤ } X_L &= 2 \cdot \pi \cdot f_n \cdot L = 2 \cdot 3,14 \cdot 250 \cdot 46,15 \cdot 10^{-3} \\ &= 72,46 \Omega \end{aligned}$$

$$\text{➤ } X_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_n \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 250 \cdot 8,17 \cdot 10^{-6}} = 77,94 \Omega$$

$$\begin{aligned} Z_f &= X_L - X_c = 72,94 - 77,94 \\ &= - 5,48 \Omega \end{aligned}$$

Nilai besar  $Z_f = R = 5,48 \Omega$  ( minimum )

$$\begin{aligned} \text{Faktor kualitas, } Q &= \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} \\ &= \frac{1}{5,48} \sqrt{\frac{46,15 \cdot 10^{-3}}{8,17 \cdot 10^{-6}}} = 13,68 \end{aligned}$$

❖ Pada fasa S dengan nilai :  $C_2 = 8,26 \mu\text{F}$  ,  $L_2 = 45,72 \text{ mH}$

$$\begin{aligned} \text{➤ } X_L &= 2 \cdot \pi \cdot f_n \cdot L = 2 \cdot 3,14 \cdot 250 \cdot 45,72 \cdot 10^{-3} \\ &= 71,78 \Omega \end{aligned}$$

$$\text{➤ } X_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_n \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 250 \cdot 8,26 \cdot 10^{-6}} = 77,1 \Omega$$

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1. Kesimpulan**

Dari analisis penentuan harmonic filter jenis tuned filter pada pengendali motor induksi 3 fasa menggunakan pengendali thyristor anti-paralel ditarik suatu kesimpulan. Untuk percobaan dalam pemakaian tanpa filter didapatkan nilai Total Harmonic Distortion pada arus  $I_r, I_s, I_t$  sebesar 6.8%, 8.5%, 7.3% setelah sesudah dipasang filter Total Distortion pada arus  $I_r, I_s, I_t$  sebesar 4.9%, 4.7%, 4.4%. Serta dari bentuk gelombang tegangan dapat diperbaiki sebesar 0.41% yang semula sebelum dipasang filter nilai dari Total Harmonic Distortion sebesar 2.5% dan setelah dipasang filter menjadi 1.69%. Maka dari pemasangan harmonic tuned filter ini didapat nilai total harmonisa yang sudah sesuai standart 5 %.

#### **5.2. Saran**

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

1. Pembuatan filter harmonisa pada dasarnya tidak hanya menggunakan tuned filter yang termasuk dari jenis filter pasif dapat juga menggunakan jenis aktif filter yang lebih efektif untuk meminimalisasi harmonisa.
2. Sebelum melakukan pengujian sebaiknya disimulasikan terlebih dahulu sebelum melakukan pengujian, simulasi dapat menggunakan software MATLAB 7.0.

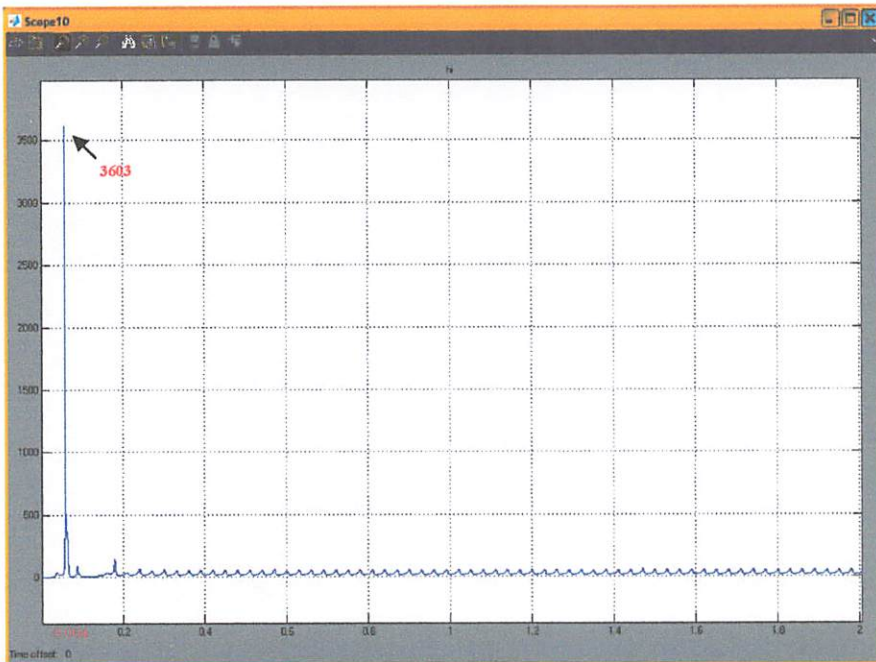
**Tabel 4.8**  
**Pengukuran Tegangan Harmonisa Pada Rangkaian Pengendali Thyristor Anti-Paralel Sesudah Di Filter**

TEGANGAN		
Orde H	R,S,T	
	V	%
1	209.1	100
2	0.4	0.2
3	0.9	0.4
4	0	0
5	3.0	1.4
6	0.2	0
7	1.0	0.5
8	0	0
9	0	0
10	0	0
11	0.3	0.2
12	0	0
13	0.2	0
14	0	0
15	0.1	0
16	0	0
17	0.2	0.1
18	0	0
19	0.1	0
20	0	0
THD	1.6%	

Pada  $V_{dc} = 7.5$  Volt

**Tabel 4.7**  
**Hasil Pengukuran Arus Harmonisa Pada Rangkaian Pengendali Thyristor Anti-Paralel Sesudah Di Filter**

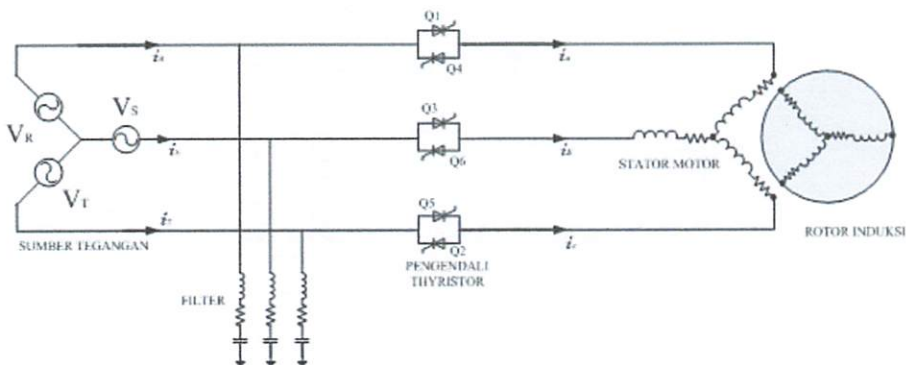
Orde H	ARUS					
	R		S		T	
	A	%	A	%	A	%
1	0.63	100	0.57	100	0.53	100
2	0	1.5	0	0.7	0.01	2.0
3	0.01	2.2	0	1.0	0.01	2.0
4	0	0.6	0	1.3	0	0.2
5	0.03	4.0	0.02	4.0	0.02	3.2
6	0	0.2	0	0.5	0	0.2
7	0	0.7	0	1.0	0	0.2
8	0	0.2	0	0.4	0	0.2
9	0	0.3	0	0.7	0	0.4
10	0	0	0	0.4	0	0.2
11	0	0.2	0	0.5	0	0.3
12	0	0	0	0.3	0	0
13	0	0.2	0	0.3	0	0.1
14	0	0	0	0.3	0	0
15	0	0.1	0	0.4	0	0.2
16	0	0.1	0	0.2	0	0
17	0	0.2	0	0.2	0	0.1
18	0	0	0	0.1	0	0.1
19	0	0.1	0	0.2	0	0.2
20	0	0	0	0.2	0	0.1
THD	4.9%		4.7%		4.4%	



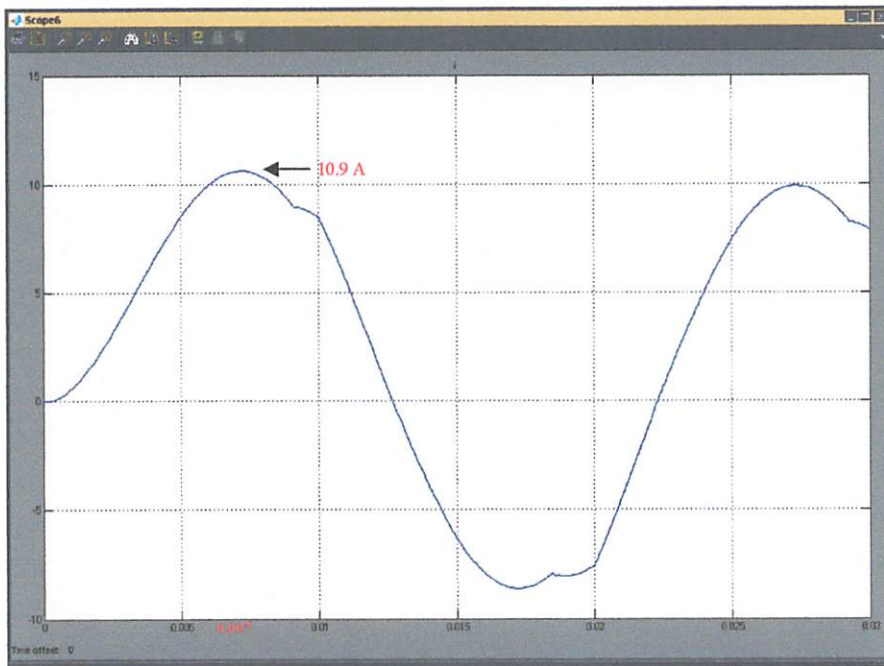
**Gambar 4.15**  
**Bentuk Gelombang THD Terhadap Waktu**

Dari data Gambar 4.15 dapat dilihat besar nilai-nilai dari THD terhadap waktu sebesar pada,  $t_1 = 0.064$  s dengan  $THD_1 = 3603$ ,  $t_2 = 0.741$  s dengan  $THD_2 = 50$ ,  $t_3 = 1.388$  s dengan  $THD_3 = 50$ ,  $t_4 = 1.835$  s dengan  $THD_4 = 50$ .

#### 4.3.2.3. Data Pengukuran Harmonisa Pada Rangkaian Pengendali Thyristor Anti-Paralel Sesudah Di Filter.



**Gambar 4.16**  
**Rangkaian Pengendali Thyristor Anti-Paralel Sesudah Di Filter**



**Gambar 4.14**  
**Bentuk Gelombang Arus Terhadap Waktu**

Dari data Gambar 4.14 dapat dilihat besar nilai arus pada waktu,  $t = 0.007$  detik dengan nilai arus puncak sebesar 10.9 A.

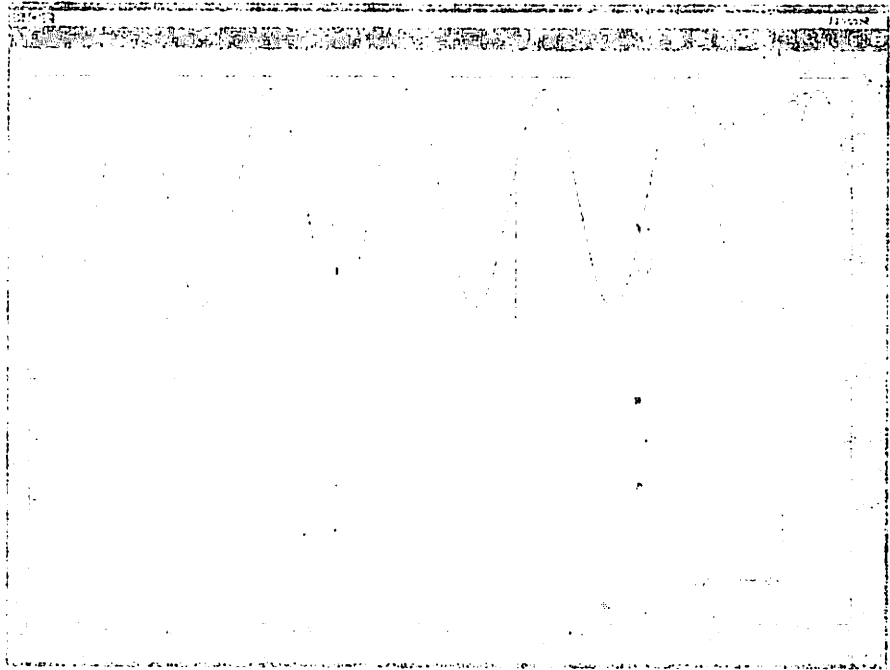
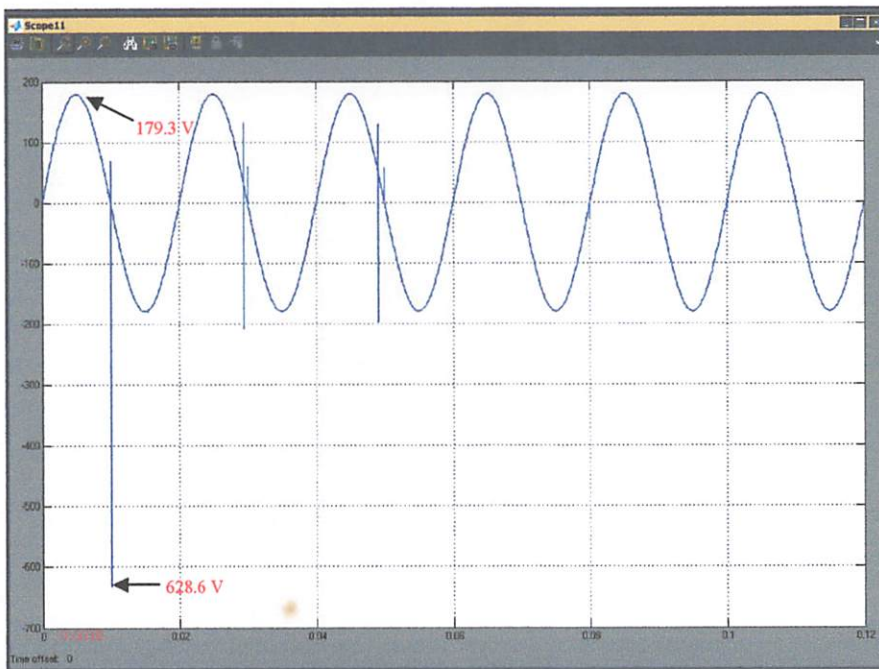


Figure 1  
 A time series plot showing a clear periodic pattern.

The data in Figure 1 show a clear periodic pattern. The x-axis represents time, and the y-axis represents the magnitude of the variable. The graph shows several peaks and troughs, suggesting a seasonal or cyclical component. The data points are connected by a solid line, and there are some individual points plotted without lines.

#### 4.3.2.2. Tampilan Hasil Simulasi dan Analisa



**Gambar 4.13**  
**Bentuk Gelombang Tegangan Terhadap Waktu**

Pada penggunaan rangkaian thyristor anti-paralel bentuk gelombang sesudah di filter seperti tampak pada Gambar 4.13 dengan data Gelombang :  $V_{L-N} = 179.3$  Volt pada  $t = 0.0038$  detik, dimana  $t_0 = 0$  detik dengan  $V = 0$  Volt.



**Block Parameters: 1**

Series RLC Branch (mask) (link)  
Implements a series RLC branch.

Parameters

Resistance (Ohms):  
5.48

Inductance (H):  
46.15e-3

Capacitance (F):  
8.17e-6

Set the initial capacitor voltage  
Capacitor initial voltage (V):  
0

Set the initial inductor current  
Inductor initial current (A):  
0

Measurements: None

OK Cancel Help Apply

**Gambar 4.12**  
**Blok Parameter Filter**

$$Z_f = X_L - X_C = 71,78 - 77,1$$

$$= - 5,32 \Omega$$

Nilai besar  $Z_f = R = 5,32 \Omega$  ( minimum )

$$\text{Faktor kualitas, } Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

$$= \frac{1}{5,32} \sqrt{\frac{45,72 \cdot 10^{-3}}{8,26 \cdot 10^{-6}}} = 13,9$$

❖ Pada fasa T dengan nilai :  $C_3 = 8,09 \mu\text{F}$  ,  $L_3 = 45,86 \text{ mH}$

$$\triangleright X_L = 2 \cdot \pi \cdot f_n \cdot L = 2 \cdot 3,14 \cdot 250 \cdot 45,72 \cdot 10^{-3}$$

$$= 72 \Omega$$

$$\triangleright X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_n \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 250 \cdot 8,09 \cdot 10^{-6}} = 78,74 \Omega$$

$$Z_f = X_L - X_C = 72 - 78,74$$

$$= - 6,74 \Omega$$

Nilai besar  $Z_f = R = 6,74 \Omega$  ( minimum )

$$\text{Faktor kualitas, } Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

$$= \frac{1}{6,74} \sqrt{\frac{45,86 \cdot 10^{-3}}{8,09 \cdot 10^{-6}}} = 11,14$$

Untuk nilai parameter filter dapat langsung di simulasikan dengan memasukkan data perhitungan diatas kedalam blok simulasi di bawah :

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Jusmin Sutanto, Hernadi Buhro, "*Implikasi Harmonisa dalam Sistem Tenaga Listrik dan Alternatif Solusinya*" Dept. Teknik Energi Politeknik Negeri Bandung.
- [2] *Fundamentals of Power Electronics "Chapter 15: Power and Harmonics in Nonsinusoidal Systems"*.
- [3] Theodore Wildi, "*Electrical Machines, Drives, And Power System Fifth Edition*". Laval University.
- [4] S.Wasito, "*Vademekum Elektronika Edisi Kedua*" PT. Gramedia Pustaka Utama Jakarta, 2001.
- [5] Veronita.Elis, "*Analisa Harmonisa Dengan Pemasangan Harmonic Filter Dengan Menggunakan Software Etap Power Station Pada Sistem Kelistrikan di PG. Kebon Agung Malang*". Institut Teknologi Nasional Malang.
- [6] Supari<sup>1</sup>, Bambang Sutopo<sup>2</sup>, *Analisis Unjuk Kerja Motor Induksi Dengan Pengendali Thyristor Anti-Paralel*". Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.
- [7] Roger C. Dugan, Mark F.McGranaghan, Suryo Santoso, H. Wayne Beaty "*Electrica Power System Quality Second Edition*", McGraw-Hill.



# LAMPIRAN

Puji syukur kuucapkan Alhamdulillah, Terima Kasih Ya ALLAH dengan Rahmat Dan Berkahmu Aku akhirnya LULUS

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

Maafkan aku atas semua kesalahan-kesalahan dan ketidakjujuranku pada diriku

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

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

✦ Ayah, terima kasih atas kepercayaan yang telah diberikan padaku maaf kalo aku lama baru lulus hehehe..... jangan lupa jaga kesehatan ya!

✦ Ibum, maafin aku selama ini yang terlalu banyak merepotkan tapi aku sayang sama ibue terima kasih karena selama ini slalu sayang ama aku, sing sabar...

Thank's juga buat :

✦ Yang tercinta dan tersayang Adelia\_Qoe 'thank's banget atas semua dukungannya yang telah engkau berikan kepadaku, maafkan jika tyak bisa memberikan perhatian penuh..."

✦ Bapak Ir. M. Abubakar Hamid Sebagai Ka. Lab. Konversi Energi Elektrik ITN Malang. Yang telah banyak memberi bimbingan dan arahan.

✦ Bpk Bambang Priyo Priyo Martono, ST, MT. Sorry saya jarang kga bertemu sama Bapak karena kesibukan saya tapi terimakasih atas kesabaran Bapak serta masukannya.

✦ Bpk. Ir. Yusuf Isma'il Makhoda, terimakasih atas dispensasi waktu yang telah diberikan kepada saya dan husen.

✦ Thanks juga buat Teman-teman Qoe angkatan 2002,2003. M. Fauz yang selalu memberi dukungan dalam pengerjaan skripsikoe... Atas bantuannya makasih bgt friend.....!!!

✦ Kru Lab. Konversi Energi Elektrik ITN Malang.

✦ Thanks buat teman lamaku fadli shalad, mustafa kamal yang banyak memberi masukan...

✦ Buat Para Penggemar berat koe... Dicki, Ansoq, Pitoyo, Erik, Affan, Bolot, Jepret serta para bidadari hani, dina, etek, weni buat semua temankoe salam One Piece....



**BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

1. **Nama** : Yuri Firmansyah
2. **NIM** : 02.12.059
3. **Jurusan** : Teknik Elektro S-1
4. **Konsentrasi** : Teknik Energi Listrik
5. **Judul Skripsi** : ANALISIS DAN PEMBUATAN *HARMONIC FILTER* PADA MOTOR INDUKSI 3 FASA YANG MENGGUNAKAN THYRISTOR ANTI-PARALEL DI LABORATORIUM KONVERSI ENERGI ELEKTRIK ITN MALANG

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

**Hari** : Rabu  
**Tanggal** : 19 Maret 2008  
**Dengan Nilai** : 82 ( A ) *Yuf*



Ir. Mochtar Asroni, MSME  
Ketua

**Panitia Ujian Skripsi**

Ir. F. Yudi Limpraptono, MT  
Sekretaris

**Anggota Penguji**

Ir. Yusuf (Ismail Nakhoda, MT)  
Penguji Pertama

Irrine Budi S, ST, MT  
Penguji Kedua



## PERMOHONAN PERSETUJUAN SKRIPSI

Yang betanda tangan dibawah ini :

Nama : Yuri Fumansyah  
 NIM : 0212053  
 Semester : 10  
 Fakultas : Teknologi Industri  
 Jurusan : Teknik Elektro S-1  
 Konsentrasi : Teknik Elektronika/T. Energi Listrik  
 Alamat :

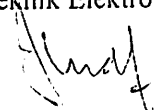
Dengan ini kami mengajukan permohonan untuk mendapatkan persetujuan untuk membuat *SKRIPSI Tingkat Sarjana*. Untuk melengkapi permohonan tersebut, bersama kami lampirkan persyaratan-persyaratan yang harus dipenuhi.

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

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

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

Telah diteliti kebenaran data tersebut diatas  
 Recording Teknik Elektro

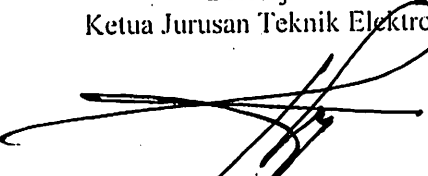
  
 (..... Mr. Handayani.....)

Malang, .....200

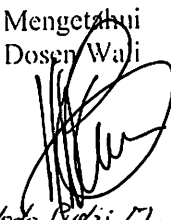
Pemohon

  
 (..... Yuri Fumansyah.....)

Disetujui  
 Ketua Jurusan Teknik Elektro

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

Mengetahui  
 Dosen Wali

  
 (..... Ir. Widada Kudoji, MT, MT.....)

Catatan :

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

1. 10x 391.5 / 1.83 .....
2. 138 .....
3. 10x 101 / 11/67 .....






P. 5012015 2010

## LEMBAR PENGAJUAN JUDUL SKRIPSI JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1

Konsentrasi : Teknik Energi Listrik/Teknik Elektronika\*)

1.	Nama Mahasiswa: <i>Yuzi Firmansyah</i>	Nim: <i>02.12.019</i>
2.	Waktu Pengajuan	Tanggal: <i>01</i> Bulan: <i>10</i> Tahun: <i>2007</i>
3.	Spesifikasi Judul (berilah tanda silang)**)	
	a. Sistem Tenaga Elektrik	e. Elektronika & Komponen
	b. Energi & Konversi Energi	f. Elektronika Digital & Komputer
	c. Tegangan Tinggi & Pengukuran	g. Elektronika Komunikasi
	d. Sistem Kendali Industri	h. lainnya .....
4.	Konsultasikan judul sesuai materi bidang ilmu kepada Dosen*)  <i>Ir. M. Abd. Hamid, MT</i>	Ketua Jurusan  <i>Ir. F. Yudi Limpraptono, MT</i> NIP. P. 1039500274
5.	Judul yang diajukan mahasiswa:	<i>Analisa Harmonic Filter untuk Inverter Merek Space Vector Modulation Dengan Beban Materi induktif menggunakan Matlab Simulink</i>
6.	Perubahan judul yang disetujui Dosen sesuai materi bidang ilmu	<i>Analisis Dan Pembuatan Harmonic Filter Pada Materi Luduksi 3 Fasa menggunakan Pc kendali Thyristor Anti-Paralel Di Lab. Konversi ITN matang.</i>
7.	Catatan: ..... ..... .....	Disetujui Dosen <i>30-11-2007</i>  
	Persetujuan Judul skripsi yang dikonsultasikan kepada Dosen materi bidang ilmu	

**Perhatian:**

1. Formulir pengajuan ini harap dikembalikan kepada jurusan paling lambat satu minggu setelah disetujui kelompok dosen keahlian dengan dilampirkan proposal skripsi beserta persyaratan skripsi sesuai form S-1
2. Keterangan: \*) Coret yang tidak perlu  
\*\*) dilingkari a, b, c, .....atau g sesuai bidang keahlian



**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**  
Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No.2  
Kampus II : Jl. Raya Karanglo Km.2

Lampiran : 1 (satu) berkas  
**Pembimbing Skripsi**

Kepada : Yth. Bapak **Bambang Prio Hartono, ST. MT**  
Dosen Institut Teknologi Nasional  
**MALANG**

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Yuri Firmansyah  
Nim : 02.12.059  
Jurusan : Teknik Elektro S-1  
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik

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


**“ANALISIS DAN PEMBUATAN *HARMONIC FILTER* PADA MOTOR INDUKSI 3 FASA MENGGUNAKAN PENGENDALI THYRISTOR ANTI-PARALEL DI LABORATORIUM KONVERSI ENERGI LISTRIK ITN MALANG”**


Adapun tugas tersebut sebagai salah satu syarat untuk menempuh Ujian Akhir Sarjana Teknik.  
Demikian permohonan kami dan atas kesediaan Bapak kami ucapkan terima kasih.

Malang, 14 Desember 2007

Ketua  
Jurusan Teknik Elektro S-1

Hormat kami,

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

  
Yuri Firmansyah

\*) coret yang tidak perlu



## **PERNYATAAN KESEDIAAN DALAM PEMBIMBINGAN SKRIPSI**

Sesuai permohonan dari mahasiswa :

Nama : Yuri Firmansyah  
Nim : 02.12.059  
Semester : XI (sebelas)  
Jurusan : Teknik Elektro S-1  
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik

Dengan ini menyatakan bersedia / tidak bersedia \*) membimbing Skripsi dari mahasiswa tersebut, dengan judul :

**“ANALISIS DAN PEMBUATAN *HARMONIC FILTER* PADA MOTOR  
INDUKSI 3 FASA MENGGUNAKAN PENGENDALI THYRISTOR  
ANTI-PARALEL DI LABORATORIUM KONVERSI ENERGI LISTRIK  
ITN MALANG”**

Demikian surat Pernyataan ini kami buat agar dapat dipergunakan seperlunya.

Malang, 14 Desember 2007

**Kami Yang Membuat Pernyataan,**

**Ir. Abdul Hamid, MT**  
**NIP. Y. 1018700015**

**Catatan**

Setelah disetujui agar formulir ini  
Diserahkan mahasiswa yang bersangkutan  
Kepada Jurusan untuk diproses lebih lanjut  
\*)coret yang tidak perlu



## PERNYATAAN KESEDIAAN DALAM PEMBIMBINGAN SKRIPSI

Sesuai permohonan dari mahasiswa :

Nama : Yuri Firmansyah  
Nim : 02.12.059  
Semester : XI (sebelas)  
Jurusan : Teknik Elektro S-1  
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik

Dengan ini menyatakan bersedia / tidak bersedia \*) membimbing Skripsi dari mahasiswa tersebut, dengan judul :

**“ANALISIS DAN PEMBUATAN *HARMONIC FILTER* PADA MOTOR INDUKSI 3 FASA MENGGUNAKAN PENGENDALI THYRISTOR ANTI-PARALEL DI LABORATORIUM KONVERSI ENERGI LISTRIK ITN MALANG”**

Demikian surat Pernyataan ini kami buat agar dapat dipergunakan seperlunya.

Malang, 14 Desember 2007

**Kami Yang Membuat Pernyataan,**

**Bambang Prio Hartono, ST.MT**  
NIP. Y. 1028400082

Catatan

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

\*)coret yang tidak perlu



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

Konsentrasi : Teknik Energi Listrik/Teknik-Elektronika\*)

1.	Nama Mahasiswa: <u>Yuri Firmansyah</u>	Nim: <u>02.12.0759</u>
2.	Keterangan	Tanggal
	Pelaksanaan	<u>12-02-2008</u>
Tempat		
Ruang:		
Spesifikasi Judul (berilah tanda silang)**)		
3.	a. Sistem Tenaga Elektrik	e. Elektronika & Komponen
	<input checked="" type="checkbox"/> b. Energi & Konversl Energi	f. Elektronika Digital & Komputer
	c. Tegangan Tinggi & Pengukuran	g. Elektronika Komunikasi
	d. Sistem Kendali Industri	h. lainnya .....
4.	Judul Proposal yang diseminarkan Mahasiswa	<u>Analisis dan Pembuatan Harmonis Filter Pada Motor Induksi 3 fasa menggunakan Thyristor Anti Paralel di laboratorium Konversi Energi Listrik ITN Malang</u>
5.	Perubahan Judul yang diusulkan oleh Kelompok Dosen Keahlian	<u>Analisis dan Pembuatan Harmonik Filter pada Motor Induksi 3 fasa yg menggunakan Thyristor Anti Paralel - -</u>
6.	Catatan: .....	
Persetujuan Judul Skripsi		
7.	Disetujui, Dosen Keahlian I	Disetujui, Dosen Keahlian II
	Mengetahui, Ketua Jurusan.	Disetujui, Calon Dosen Pembimbing ybs
<u>Ir. F. Yudi Limpraptono, MT</u> NIP. P. 1039500274		<u>Ir. Abdul Hamid, MT</u> NIP. Y. 101 88 09 188

Perhatian:

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



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

Konsentrasi : Teknik Energi Listrik/Teknik Elektronika\*)

1.	Nama Mahasiswa: <i>Yuri Firmansyah</i>	Nim: <i>02.12.059</i>
2.	Keterangan	Tanggal
	Pelaksanaan	<i>12-2-2008</i>
Waktu		
Tempat		
Ruahg:		
Spesifikasi Judul (berilah tanda silang)**)		
3.	a. Sistem Tenaga Elektrik	e. Elektronika & Komponen
	<input checked="" type="checkbox"/> b. Energi & Konversi Energi	f. Elektronika Digital & Komputer
	c. Tegangan Tinggi & Pengukuran	g. Elektronika Komunikasi
	d. Sistem Kendali Industri	h. lainnya .....
4.	Judul Proposal yang diseminarkan Mahasiswa	<i>Analisa dan Pembuatan harmonis Filter pada motor 3 fasa 500 W menggunakan thyristor Anti Paralel di Laboratorium Konversi Energi Elektrik ITN Malang</i>
5.	Perubahan Judul yang diusulkan oleh Kelompok Dosen Keahlian	<i>Analisa dan Pembuatan harmonis Filter pada Motor Indukan 3 fasa yg menggunakan thyristor Anti Paralel - -</i>
6.	Catatan: .....	
7.	Catatan: .....	
	Persetujuan Judul Skripsi	
	Disetujui, Dosen Keahlian I	Disetujui, Dosen Keahlian II
	Mengetahui, Ketua Jurusan.	Disetujui, Calon Dosen Pembimbing ybs
	<i>Ir. F. Yudi Limpraptono, MT NIP. P. 1039500274</i>	<i>Bambang Prio Hartono, ST, MT NIP. Y. 122 89 0100 82</i>

Perhatian:

1. Keterangan: \*) Coret yang tidak perlu

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



## FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : Yuri Firmansyah  
Nim : 02.12.059  
Masa Bimbingan : 13 Pebruari s/d 13 Agustus 2008  
Judul Skripsi : ANALISIS DAN PEMBUATAN *HARMONIC FILTER* PADA MOTOR  
INDUKSI 3 FASA YANG MENGGUNAKAN THYRISTOR ANTI-  
PARALEL DI LABORATORIUM KONVERSI ENERGI ELEKTRIK  
ITN MALANG

NO	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1.	14 Feb2008	Revisi Bab I	
2.	16 Feb 2008	Penyempurnaan Bab I	
3.	19 Feb 2008	Revisi Bab II dan Bab III	
4.	25 Feb 2008	Penyempurnaan Bab II dan Bab III	
5.	27 Feb 2008	Revisi Flowchart Pemecahan Masalah	
6.	29 Feb 2008	Revisi Bab IV	
7.	3 Maret 2008	Penyempurnaan Bab IV	
8.	5 Maret 2008	Penyempurnaan Bab IV dan Bab V	
9.	8 Maret 2008	ACC Makalah Seminar Hasil	
10.	17 Maret 2008	ACC Makalah Skripsi	

Malang, Maret 2008  
Dosen Pembimbing

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



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL  
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, maka perlu adanya perbaikan skripsi untuk mahasiswa :

NAMA : Yuri F  
N I M : 02-12-059  
Perbaikan meliputi :

- abstrak disesuaikan
- kesimpulan perbaikan Dgn hiasan
- penulisan pustaka & perbaikan.
- gbr boleh diambil kerany jeda
- penulisan judul tabel & gbr di atas bold.
- cek kelengkapan nomor hrs dari 0 until  $t=0$

Malang, 19 Maret 2008

  
( Imine Rnd S, ST, MT





## PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI

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

Hari : Rabu  
Tanggal : 19 Maret 2008  
Telah dilakukan perbaikan skripsi oleh :

1. Nama : Yuri Firmansyah
2. NIM : 02.12.059
3. Jurusan : Teknik Elektro S-1
4. Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
5. Judul Skripsi : ANALISIS DAN PEMBUATAN *HARMONIC FILTER* PADA MOTOR INDUKSI 3 FASA YANG MENGGUNAKAN THYRISTOR ANTI-PARALEL DI LABORATORIUM KONVERSI ENERGI ELEKTRIK ITN MALANG

Perbaikan meliputi :

No	Materi Perbaikan	Ket
1.	Abstrak disempurnakan	
2.	Kesimpulan disesuaikan dengan tujuan	
3.	Penulisan pustaka diperbaiki	
4.	Gambar blok simulasi diperjelas	
5.	Penulisan judul table dan gambar dicetak bold	
6.	Keluaran sumber T=0	

Anggota Penguji

Irrine Budi S, ST,MT  
Penguji Kedua

Dosen Pembimbing I

Ir. M. Abdul Hamid, MT

Dosen Pembimbing II

Bambang Prio Hartono, ST, MT



## SURAT PERMOHONAN

Dengan Hormat,

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

Nama : Yuri Firmansyah  
Nim : 02.12.059  
Jurusan : Teknik Elektro Energi Listrik S1  
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri  
Keperluan : Pengambilan Data  
Waktu : Tgl 23 s/d 13 Maret 2008

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

### Daftar Peralatan Yang Dipinjam

NO	KODE ALAT	NAMA ALAT	TRADE MARK
1	DL 1021	Motor Induksi 3 Fasa, 1.1 Kw	DE LORENZO
2	DL 2613	DC Power Supply	DE LORENZO
3	DL 2614	Voltage Reference Generator	DE LORENZO
4	DL 2617	SCR	DE LORENZO
5	DL 2604	Six Pulse Control Unit	DE LORENZO
6	DL 2605	STACK	DE LORENZO
7	DL 10040L	Inductive	DE LORENZO
8	DL 1017C	Capacitive	DE LORENZO
9	DL 1013M2	Turet	DE LORENZO
10	DL 1009	AC Power Supply	DE LORENZO
11	3286-20	Clamp On Meter	HIOKI
12	ELC-132A	LCR Meter	ESCORT
13	DT9205A	MultiMeter	EXCEL
14	PL 1179	Autotrafo 3 Fasa	-

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

Husen Sufianto  
Nim. 02.12.010

Ka. Lab. Konversi Energi Elektrik

Ir. M. Abdul Hamid, MT  
Nip . 101 880 00188

Pemohon

Yuri Firmansyah  
Nim . 02.12.059

**LEMBAR DATA HASIL PENGUKURAN  
DI LABORATORIUM KONVERSI ENERGI ELEKTRIK ITN MALANG**

Pada  $V_{dc} = 7.5$  Volt

Tabel 4.1  
Hasil Pengukuran Arus Harmonisa Pada Rangkaian Pengendali Thyristor Anti-Paralel  
Sebelum Di Filter

ARUS						
Orde H	R		S		T	
	A	%	A	%	A	%
1	0.63	100	0.58	100	0.56	100
2	0.01	1.8	0.01	2.5	0.01	2.3
3	0.02	3.3	0.02	4.1	0.02	3.3
4	0	0.4	0	1.3	0	0.5
5	0.03	5.5	0.04	6.8	0.03	5.8
6	0	0.2	0	0	0	0.6
7	0	1.1	0	0.7	0	1.4
8	0	0.2	0	0.4	0	0.6
9	0	0.2	0	0.3	0	0
10	0	0.2	0	0.2	0	0.3
11	0	0.3	0	0.5	0	0.6
12	0	0.2	0	0.3	0	0.3
13	0	0.3	0	0.3	0	0.4
14	0	0	0	0.1	0	0.3
15	0	0.1	0	0.2	0	0.1
16	0	0	0	0.2	0	0.3
17	0	0.1	0	0.3	0	0.4
18	0	0.1	0	0	0	0.2
19	0	0.1	0	0.1	0	0.3
20	0	0	0	0.1	0	0.2
<b>THD</b>	<b>6.8%</b>		<b>8.5%</b>		<b>7.3%</b>	

**LEMBAR DATA HASIL PENGUKURAN  
DI LABORATORIUM KONVERSI ENERGI ELEKTRIK ITN MALANG**

Tabel 4.2  
Pengukuran Tegangan Harmonisa Pada Rangkaian Pengendali Thyristor Anti-Paralel  
Sebelum Di Filter

TEGANGAN		
Orde H	R,S,T	
	V	%
1	216.8	100
2	0.8	0.4
3	0.9	0.4
4	0.2	0.1
5	5.1	2.4
6	0.3	0.1
7	0.6	0.3
8	0.3	0.1
9	0.3	0.2
10	0.2	0
11	0	0
12	0.2	0
13	0.1	0
14	0	0
15	0.1	0
16	0.2	0
17	0.3	0.1
18	0	0
19	0.1	0
20	0	0
THD	2.5%	

**LEMBAR DATA HASIL PENGUKURAN  
DI LABORATORIUM KONVERSI ENERGI ELEKTRIK ITN MALANG**

Pada Vdc = 7.5 Volt

Tabel 4.3  
Hasil Pengukuran Arus Harmonisa Pada Rangkaian Pengendali Thyristor Anti-Paralel Sesudah Di Filter

ARUS						
Orde H	R		S		T	
	A	%	A	%	A	%
1	0.63	100	0.57	100	0.53	100
2	0	1.5	0	0.7	0.01	2.0
3	0.01	2.2	0	1.0	0.01	2.0
4	0	0.6	0	1.3	0	0.2
5	0.03	4.0	0.02	4.0	0.02	3.2
6	0	0.2	0	0.5	0	0.2
7	0	0.7	0	1.0	0	0.2
8	0	0.2	0	0.4	0	0.2
9	0	0.3	0	0.7	0	0.4
10	0	0	0	0.4	0	0.2
11	0	0.2	0	0.5	0	0.3
12	0	0	0	0.3	0	0
13	0	0.2	0	0.3	0	0.1
14	0	0	0	0.3	0	0
15	0	0.1	0	0.4	0	0.2
16	0	0.1	0	0.2	0	0
17	0	0.2	0	0.2	0	0.1
18	0	0	0	0.1	0	0.1
19	0	0.1	0	0.2	0	0.2
20	0	0	0	0.2	0	0.1
THD	4.9%		4.7%		4.4%	

# LEMBAR DATA HASIL PENGUKURAN DI LABORATORIUM KONVERSI ENERGI ELEKTRIK ITN MALANG

Tabel 4.4

Pengukuran Tegangan Harmonisa Pada Rangkaian Pengendali Thyristor Anti-Paralel Sesudah Di Filter

TEGANGAN		
Orde H	R,S,T	
	V	%
1	209.1	100
2	0.4	0.2
3	0.9	0.4
4	0	0
5	3.0	1.4
6	0.2	0
7	1.0	0.5
8	0	0
9	0	0
10	0	0
11	0.3	0.2
12	0	0
13	0.2	0
14	0	0
15	0.1	0
16	0	0
17	0.2	0.1
18	0	0
19	0.1	0
20	0	0
THD	1.6%	

Asisten Pendamping



Husen Sufianto  
Nim. 02.12.010

Ka. Lab. Konversi Energi Elektrik



Ir. M. Abdul Hamid, MT  
Nip . 101 880 00188

Pemohon



Yuri Firmansyah  
Nim . 02.12.059

# LEMBAR DATA HASIL PENGUJIAN DI LABORATORIUM KONVERSI ENERGI ELEKTRIK ITN MALANG

## 1. Pengujian DC Test

Tabel  
Data Hasil Pengujian Arus Searah

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

## 2. Pengujian Tanpa Beban (*No Load Test*)

Tabel  
Data Hasil Pengujian Beban Nol

$I_{\text{motor}}$ (Ampere)			$P_{3 \text{ Fasa}}$ (WATT)	$V_{L-L}$ (Volt)	Frekuensi (Hz)
a	b	c			
0.59	0.68	0.59	90	220	50

## 3. Pengujian Rotor Tertahan (*Blocked Rotor Test*)

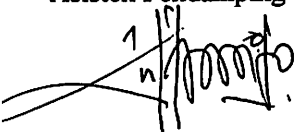
Tabel  
Data Hasil Pengujian Motor Rotor Tertahan

$I_{\text{motor}}$ (Ampere)			$P_{3 \text{ Fasa}}$ (WATT)	$V_{L-L}$ (Volt)
a	b	c		
2.5	2.5	2.5	230	78

## 4. Pengukuran Parameter SCR Stack


Symbol	value	Unit
C	10	nf
R	1000	$\Omega$

Asisten Pendamping



Husen Sufianto  
Nim. 02.12.010

Ka. Lab. Konversi Energi Elektrik



Ir. M. Abdul Hamid, MT  
Nip. 101 880 00188

Pemohon



Yuri Firmansyah  
Nim. 02.12.059