

**ANALISA PEMASANGAN *SHUNT ACTIVE POWER FILTER*  
UNTUK MEREDUKSI HARMONISA DAN MEMPERBAIKI  
FAKTOR DAYA MENGGUNAKAN *SOFTWARE PSCAD/EMTDC*  
*POWER SYSTEM SIMULATION* DI PT.BUDI TEXINDO PRAKARSA  
SERANG-BANTEN**

**SKRIPSI**



*Disusun Oleh :*

**YOHANES ADIWIJAYA HAMAT  
NIM : 0512 . 009**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1 KONSENTRASI ENERGI  
LISTRIK FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
2011**

---

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**ANALISA PEMASANGAN SHUNT ACTIVE POWER FILTER  
UNTUK MEREDUKSI HARMONISA DAN MEMPERBAIKI  
FAKTOR DAYA MENGGUNAKAN SOFTWARE PSCAD/EMTDC  
POWER SYSTEM SIMULATION DI PT.BUDI TEXINDO PRAKARSA  
SERANG-BANTEN**

**SKRIPSI**

Disusun dan diajukan untuk melengkapi dan memenuhi persyaratan guna mencapai gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh:  
**YOHANES ADIWIJAYA HAMAT**  
NIM. 05.12.009




Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1

  
**Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT**  
NIP. Y. 1018800189

Diperiksa dan Disetujui,  
Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

  
**Awan Uji Krismanto, ST. MT**  
NIP. 198003012005011002

  
**Ir. Choirul Saleh, MT**  
NIP. Y. 1018800190

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1  
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
2011**

## ABSTRAK

# ANALISA PEMASANGAN *SHUNT ACTIVE POWER FILTER* UNTUK MEREDUKSI HARMONISA DAN MEMPERBAIKI FAKTOR DAYA MENGGUNAKAN *PSCAD POWER SIMULATION* DI PT. BUDI TEXINDO PRAKARSA SERANG

Yohanes Adiwijaya Hamat, NIM 0512009

Dosen Pembimbing : Awan Uji Krismanto ST, MT dan Ir. Choirul Saleh, MT

*Harmonisa dapat menyebabkan meningkatnya rugi-rugi energi, overheating, dan faktor daya yang rendah. Filter harmonisa adalah salah satu solusi untuk masalah tersebut. Untuk memenuhi kebutuhan atas permasalahan harmonisa dan kualitas faktor daya yang dihadapi oleh PT. Budi texindo Prakarasa Serang Banten, sebuah industri dengan sistem jaringan 20 kV, maka dipasang dan disimulasikan sebuah filter active shunt untuk memperbaiki arus harmonisa dan factor daya. Pada penelitian ini flter yang digunakan adalah filter active shunt. Pemodelan sistem menggunakan software PSCAD/EMTDC pada bus-bus yang dipilih. Dengan menggunakan Shunt Active Filter maka THD arus maupun faktor daya dapat diperbaiki. Dari simulasi tersebut didapatkan bahwa total harmonic distortion (THD) untuk arus mengalami penurunan yang cukup signifikan dari 17.81% menjadi 4.41%. Untuk faktor daya ( $\cos \phi$ ) mengalami kenaikan dari 0.89 menjadi 0.98.*

**Kata Kunci :** *Harmonisa, Filter harmonisa, Faktor Daya.*



## KATA PENGANTAR

Puji Syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala limpahan berkat dan rahmat-Nya sehingga penelitian berjudul *Analisa Pemasangan Shunt Active Power Filter Untuk Mereduksi Harmonisa Dan Memperbaiki Faktor Daya Di PT.Budi Texindo Prakarsa Serang-Banten dengan Software PSCAD Power System Simulation* dapat terselesaikan.

Penelitian ini dibuat untuk memenuhi salah satu syarat dalam memperoleh gelar sarjana teknik. Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kami sampaikan pada:

1. Bapak Ir. Soeparno Djiwo, MT selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang.
2. Bapak Ir. Sidik Noertjahjono, MT selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri ITN Malang.
3. Bapak Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1.
4. Bapak Awan Uji Krismanto, ST, MT selaku Dosen Pembimbing I.
5. Bapak Ir. Choirul Saleh, MT selaku Dosen Pembimbing II.
6. Karyawan PT. Budi Texindo Prakarsa Serang-Banten.
7. Rekan-rekan Asisten Laboratorium Analisis Sistem Tenaga Teknik Elektro ITN Malang.
8. Semua pihak yang telah membantu dalam penulisan dan penyusunan penelitian ini.

Penyusun telah berusaha menampilkan penelitian ini dalam kondisi yang terbaik dan setepat mungkin, namun karena keterbatasan dan kelemahan yang ada, pasti terbuka kemungkinan kesalahan. Untuk itu penyusun berharap masukan positif dari semua pihak untuk perbaikan penelitian ini.

Malang, Agustus 2011

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PERSETUJUAN</b> .....	i
<b>ABSTRAK</b> .....	ii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	iii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xi
<b>DAFTAR GRAFIK</b> .....	x
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	1
1.3. Tujuan Pembahasan .....	2
1.4. Batasan Masalah .....	2
1.5. Metode Penelitian.....	2
<b>BAB II TEORI DASAR HARMONISA</b>	
2.1. Pengertian Harmonisa .....	3
2.2. Sumber-sumber Harmonisa.....	5
2.2.1. Konverter .....	5
2.2.2. Tanur Busur Listrik .....	5
2.2.3. Transformator.....	5
2.2.4. Mesin-mesin Putar .....	6
2.2.5. Pengaruh Harmonisa Pada Komponen Listrik.....	6
2.2.6. Pengaruh Harmonisa Pada Motor .....	7
2.2.7. Pengaruh Harmonisa Pada Faktor Daya .....	8
2.2.8. Pengaruh Harmonisa Pada Sistem Telekomunikasi.....	9
2.2.9. Pengaruh Harmonisa Pada Sistem tegangan.....	10
2.3. Standar Harmonisa .....	10
2.4. Indeks Harmonisa.....	11
2.4.1. <i>Total Harmonic Distortion</i> (THD) .....	11
2.5. Resonansi.....	12

2.6. Filter Harmonisa .....	12
2.6.1. Tipe Filter .....	13
2.6.2. Jenis-jenis <i>Filter Pasive</i> .....	14
2.6.3. <i>Single-Tuned Filter</i> .....	16
2.6.4. <i>Double-Tuned Filter</i> .....	17
2.6.5. <i>High Pass Filter</i> .....	18
2.7. Penentuan Orde Harmonisa.....	20

### **BAB III PERBAIKAN HARMONISA DAN FAKTOR DAYA**

#### **MENGGUNAKAN *SHUNT ACTIVE POWER FILTER***

3.1. <i>Software PSCAD/EMTDC Power Simulation</i> .....	24
3.2. Memulai <i>PSCAD/EMTDC Power Simulation</i> .....	25
3.3. Input Data Dalam <i>PSCAD</i> .....	27
3.3.1. Input Data Transformator dan Induction Machine .....	27
3.4. Input Data simple Aktif Filter .....	28
3.5. Sistem Pengendali PWM Sinusoida .....	29
3.5.1. PWM Sinusoida .....	29
3.5.2. Aksi Kontrol PWM Sinusoida Terhadap <i>SAPF</i> .....	30
3.6. Aksi Kontrol Proposional Integral (PI) .....	30
3.6.1. Umum.....	30
3.6.2. Prinsip-prinsip Pengedali Proses.....	32
3.6.3. Prinsip Kerja Pengendali.....	32
3.6.4. Pengedali Proposional ( <i>Proposional Controller</i> ) .....	33
3.6.5. Pengendali Integral ( <i>Integral Controller</i> ).....	35
3.6.6. Pengendali Proposional Integral (PID) .....	36
3.7. Deskripsi Umum Filter Aktif shunt.....	37
3.8. <i>Flowchart</i> Hasil Simulasi.....	39

### **BAB IV HASIL DAN ANALISA HASIL**

4.1. KeadaAN Awal PT.Budi Texindo Prakarsa Serang .....	40
4.2. <i>Single Line</i> Sistem Pabrik .....	41
4.3. Solusi Perbaikan Dengan <i>Software PSCAD</i> .....	42
4.4. Data Pengukuran Pada PT.Budi Texindo Prakarsa.....	42
4.5. Simulasi Sebelum dan Sesudah Pemasangan <i>SAPF</i> .....	43

4.5.1. <i>Single Line</i> Dalam <i>PSCAD</i> .....	43
4.5.2. Bentuk Gelombang Arus Dalam Simulasi .....	45
4.5.3. Bentuk Spectrum Harmonisa Dalam Simulasi.....	46
4.5.4. Bentuk Faktor Daya Dalam Simulasi.....	47
4.6. Tabel Sebelum dan Sesudah Pemasangan <i>SAPF</i> .....	48
<b>BAB V PENUTUP</b>	
5.1 Kesimpulan .....	49
5.2 Saran .....	49
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	50

## DAFTAR GAMBAR

2.1. Bentuk Gelombang Frekuensi Dasar .....	3
2.2. Bentuk Gelombang Frekuensi Dasar dan Frekuensi Harmonisa .....	4
2.3. Bentuk Gelombang Dari Frekuensi Dasar dan Frekuensi Harmonisanya .....	4
2.4 Perbandingan Sinyal Listrik Sinusoidal Terhadap Sinyal Listrik Berharmonisa .....	8
2.5. Rangkaian Distribusi Yang Sederhana .....	10
2.6. Pemasangan Filter Harmonisa.....	13
2.7. Bentuk Fisik <i>Harmonic Filter Active</i> .....	13
2.8. Bentuk Fisik <i>Harmonic Filter Passive</i> .....	14
2.9. Jenis-jenis Filter Pasif Yang Umum .....	15
2.10. (a).Rangkaian Filter Penalaan Tunggal,(b).Grafik Impedansi Filter Terhadap Frekuensi .....	17
2.11. Rangkaian Filter Penalaan Ganda,(a).Transformasi Dari Dua Buah Filter Penalaaan Tunggal,(b).Filter Penalaan Tunggal, (c).Filter Penalaan Ganda Yang Ditala Pada Orde Lima dan Tujuh .....	18
2.12 High Pass Filter,(a).Orde Satu,(b).Orde Dua,(c).Orde Tiga, (d).Type C .....	19
2.13 Rangkaian Ekuivalen Jaringan Sistem Tenaga Listrik .....	20
2.14 Rangkaian Pengganti Untuk $n>1$ .....	21
2.15. Elemen Tak Linear Sebagai Sumber Arus harmonisa .....	21
3.1. Tampilan Utama <i>Software PSCAD</i> .....	25
3.2. Tampilan Master Library .....	26
3.3. Tampilan Transformator dan Induction Machine .....	26
3.4. Tampilan Input Data Transformator .....	27
3.5. Tampilan Input Data Induction Machine .....	27
3.6. Tampilan Konfigurasi Filter Aktif Shunt.....	28
3.7. Tampilan Variable Speed Drive.....	38



3.8.	Tampilan <i>Single Line</i> PT.Budi Texindo Prakarsa Serang Dalam <i>PSCAD</i> .....	29
3.9.	Gambar Kontroler dan Diagram Kotaknya.....	33
3.10.	Gambar Diagram Blok Kontroler Proposional.....	34
3.11.	Gambar Respon Sebuah Pengendali Proosional.....	34
3.12.	Gambar Diagram Blok Kontroler Integral.....	36
3.13.	Gambar Diagram Kotak Pengedali PI.....	36
3.14.	Hubungan Input-Output Pengedali PI Dalam Fungsi Waktu.....	37
3.15.	Gambar Konfigurasi Dasar Filter Atif Shunt.....	37
3.16.	<i>Flowchart</i> Perbaikan Harmonisa Dengan <i>PSCAD</i> .....	39
4.1.	<i>Single Line</i> PT.Budi Texindo Prakarsa Scrang.....	41
4.2.	<i>Single Line</i> Sebelum Pemasangan <i>SAPF</i> Dalam <i>PSCAD</i> .....	43
4.3.	<i>Single Line</i> Setelah Pemasangan <i>SAPF</i> Dalam <i>PSCAD</i> .....	44
4.4.	Bentuk Spectrum Harmonisa Sebelum Pemasangan <i>SAPF</i> .....	46
4.5.	Bentuk Spectrum Harmonisa Setelah Pemasangan <i>SAPF</i> .....	46

## DAFTAR TABEL

2.1. Voltage Distortion Limits .....	11
2.2 Standart Untuk Arus Harmonisa .....	11
2.3. Orde Harmonisa Berdasarkan Urutan .....	23
4.1. Data Sumber Pada PT.Budi Texindo Prakarsa Serang .....	40
4.2. Data Pengukuran Pada PT.Budi Texindo Prakarsa Serang.....	42
4.3. Data Hasil Simulasi Sebelum dan Sesudah Pemasangan <i>SAPF</i>	48
4.4. Data Hasil Perhitungan Faktor Daya.....	48

## DAFTAR GRAFIK

4.1. Bentuk Gelombang Arus Yang Mengandung Komponen Harmonisa .....	45
4.2. Bentuk Gelombang Arus Yang Sinusoida .....	45
4.3. Grafik Faktor Daya Sebelum Pemasangan <i>SAPF</i> .....	47
4.4. Grafik Faktor Daya Sesudah Pemasangan <i>SAPF</i> .....	47

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1. Latar Belakang

Dalam sistem tenaga listrik dikenal dua jenis beban yaitu *beban linear* dan *beban non linear*. *Beban linear* adalah beban yang memberi bentuk gelombang keluaran yang *linear* artinya arus yang mengalir sebanding dengan impedansi dan perubahan tegangan sedangkan *beban non linear* adalah bentuk gelombang keluarannya tidak sebanding dengan tegangan dalam setiap setengah siklus sehingga bentuk gelombang keluaran arus maupun tegangan keluarannya tidak sama dengan gelombang masukannya (mengalami distorsi). Beban *non linear* yang umumnya peralatan elektronik yang didalamnya banyak terdapat peralatan semi konduktor seperti komputer, printer, lampu *fluorescent* yang menggunakan *elektronik ballast*, kendali kecepatan motor, motor induksi dan lain-lain.

Peralatan-peralatan tersebut dapat menyebabkan timbulnya harmonisa, harmonisa mengakibatkan peningkatan rugi-rugi pada sistem transmisi, pemanasan pada motor dan mesin-mesin elektrik serta kegagalan pada operasi peralatan yang sensitive terhadap perubahan arus dan tegangan. Untuk meningkatkan kualitas daya pada sistem maka harmonisa dapat di batasi dengan pemasangan *Shunt Active Power filter*. Dengan pemasangan *Shunt Active Power Filter* pada sistem kelistrikan PT. Budi Texindo Prakarsa Serang diharapkan harmonisa pada sistem dapat direduksi seminimal mungkin sesuai standarisasi dari IEEE Std. 519-1992 yaitu  $\leq 5\%$ .

## 1.2. Rumusan Masalah

Harmonisa mengakibatkan peningkatan rugi-rugi pada system transmisi, pemanasan pada motor dan mesin-mesin elektrik serta kegagalan operasi pada peralatan yang sensitive terhadap perubahan arus dan tegangan. Dari permasalahan di atas maka makalah ini berjudul:

**ANALISA PEMASANGAN *SHUNT ACTIVE POWER FILTER* UNTUK  
MEREDUKSI HARMONISA DAN MEMPERBAIKI FAKTOR DAYA  
MENGUNAKAN *SOFTWARE PSCAD/EMTDC POWER SIMULATION*  
DI PT.BUDI TEXINDO PRAKARSA SERANG**

### 1.3. Tujuan Pembahasan

Berdasarkan permasalahan yang dikemukakan di atas maka skripsi ini bertujuan untuk menganalisa harmonisa yang di hasilkan oleh sistem yang dapat diminimalisir dengan cara pemasangan *Shunt Active Power Filter* menggunakan *software PSCAD/EMTDC Power Simulation*.

### 1.4. Batasan Masalah

Agar permasalahan yang dibahas tidak terlalu luas, maka ruang lingkup pembahasan adalah sebagai berikut:

- a. Perhitungan dan simulasi dilakukan dengan *software PSCAD/EMTDC Power Simulation*
- b. Studi dilakukan pada PT. Budi Texindo Prakarsa Serang
- c. Analisa menentukan letak *Shunt Active Power Filter* menggunakan *software PSCAD/EMTDC Power Simulation*
- d. Analisa di lakukan hanya membahas tentang Harmonisa Arus
- e. Analisa tidak membahas masalah ekonomi.

### 1.5. Metodologi Penelitian

Metode yang digunakan dalam penyelesaian ini adalah:

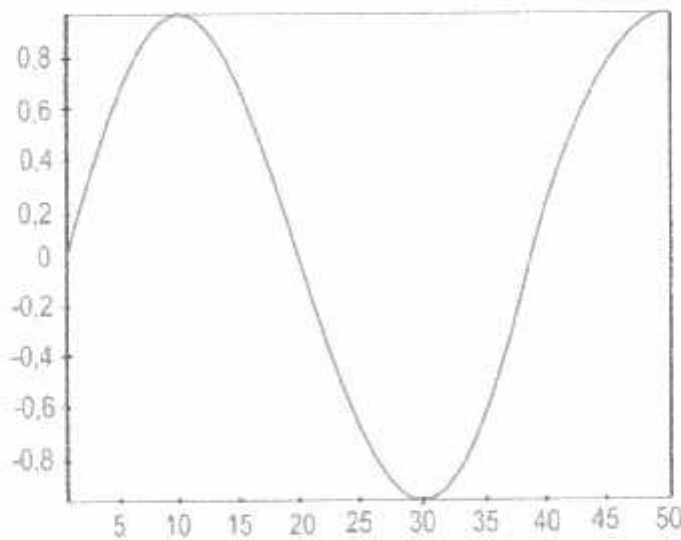
1. Studi literature, yaitu kajian pustaka untuk mempelajari teori-teori yang terkait melalui literature yang ada, yang berhubungan dengan permasalahan. Studi literature ini meliputi hal-hal sebagai berikut:
    - Studi tentang harmonisa (definisi, sumber, pengaruh dan standar)
    - Studi tentang *Shunt Active power Filter*
  2. Pengumpulan data, data-data yang diperlukan antara lain:
    - *Single line* PT. Budi Texindo Prakarsa Serang
    - Pembebanan pada PT. Budi Texindo Prakarsa Serang
  3. Menganalisa data-data yang telah dikumpulkan lalu membandingkan harmonisa sebelum pemasangan *Shunt Active Power Filter* dan sesudah pemasangan.
  4. Menarik kesimpulan.
-

## BAB II TEORI DASAR HARMONISA

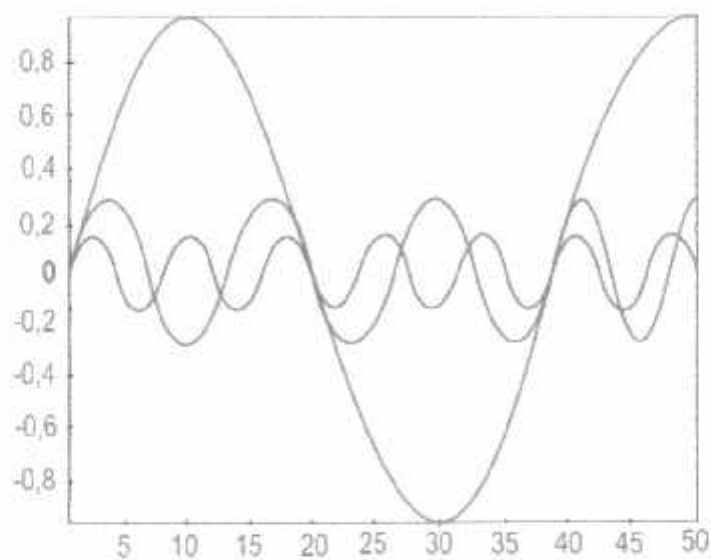
### 2.1. Pengertian Harmonisa<sup>[3]</sup>

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.

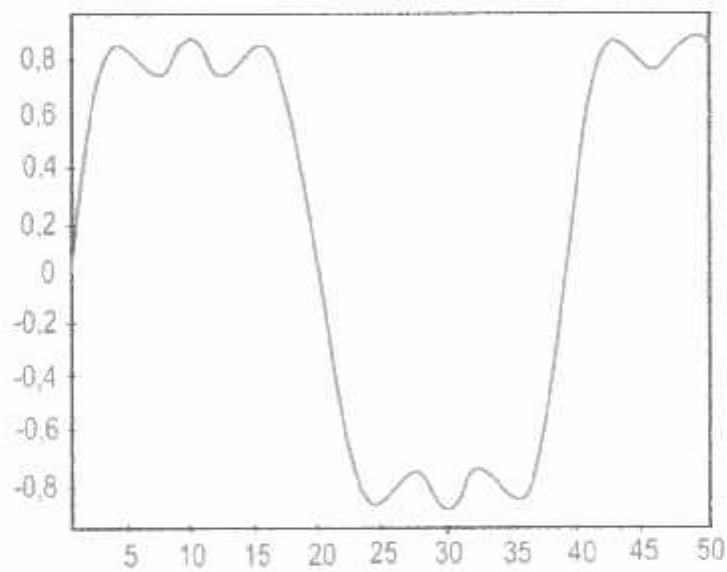
Hal ini disebut frekuensi harmonik yang timbul pada bentuk gelombang aslinya seperti pada gambar 2.1 sedangkan bilangan bulat pengali frekuensi dasar disebut angka urutan harmonik. Misalnya, frekuensi dasar suatu sistem tenaga listrik adalah 50 Hz, maka harmonik keduanya adalah gelombang dengan frekuensi sebesar 100 Hz, harmonik ketiga adalah gelombang dengan frekuensi sebesar 150 Hz dan seterusnya. Gelombang-gelombang ini kemudian menumpang pada gelombang 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<sup>[3]</sup>**



**Gambar 2.2.**  
**Bentuk Gelombang Frekuensi Dasar Dan Frekuensi Harmonisa<sup>[3]</sup>**



**Gambar 2.3.**  
**Bentuk Gelombang Resultan Dari Frekuensi Dasar dan Harmonisanya<sup>[3]</sup>**

## 2.2. Sumber Harmonisa<sup>[3]</sup>

### 2.2.1. 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).

### 2.2.2. Tanur Busur Listrik (*Electric Arc Furnace*)<sup>[3]</sup>

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.

### 2.2.3. 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.

#### 2.2.4. 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.

#### 2.2.5. 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.

#### 2.2.6. Pengaruh Harmonisa Pada Motor <sup>[7]</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.

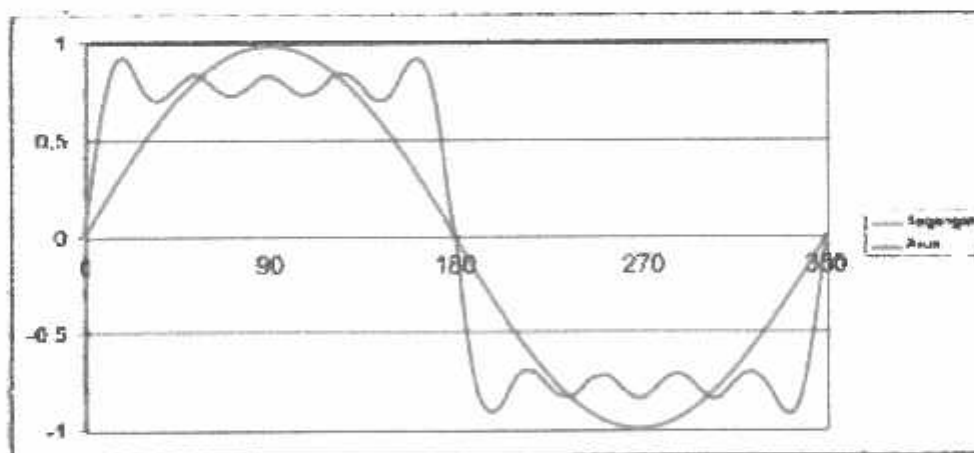
- *Beda fasa*

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.

### 2.2.7. Pengaruh Harmonisa Pada Faktor Daya<sup>[3]</sup>

Arus harmonisa membuat peningkatan total arus rmsnya. Dan karena mempengaruhi harga arus total rmsnya, maka secara otomatis juga akan mempengaruhi faktor dayanya juga. Hal ini dikarenakan daya total dengan daya nyata itu terdapat selisih sudut antara tegangan dan arusnya. Pada daya total tidak terjadi pergeseran sudut antara tegangan dan arusnya. Tetapi untuk daya nyata, terdapat beda sudut yang dibuat oleh tegangan dan arus.

Misalkan ada beban yang menyebabkan bentuk gelombang arusnya tidak sinusoidal yang seperti terlihat pada gambar 2.4, tetapi untuk tegangannya masih berbentuk sinusoidal dan tidak terdapat beda fasa.



Gambar 2.4.

### Perbandingan Sinyal Listrik Sinusoidal Terhadap Sinyal Listrik Berharmonisa<sup>[3]</sup>

Maka bentuk faktor daya (*power factor*) tegangan dengan arus dapat dicari dengan rumus :

$$Fp, total = \frac{P}{V_{rms} \times I_{rms}} \dots\dots\dots(2.1)$$

$$= \frac{P}{V_{rms} \times I_{rms} \sqrt{1 + \left(\frac{THD.f}{100\%}\right)^2}} \dots\dots\dots(2.2)$$

$$= \frac{P}{V_{rms} \times I_{rms}} \times \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{THD.f}{100\%}\right)^2}} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dari persamaan 3.4, faktor daya total dapat dibedakan menjadi 2 komponen. Komponen pertama yang disebut dengan “Pergeseran Faktor Daya” (disp) dan yang kedua disebut dengan “Distorsi Faktor Daya” (dist).

$$Fp, disp = \frac{P}{V_{rms} \times I_{rms}} \dots\dots\dots(2.4)$$

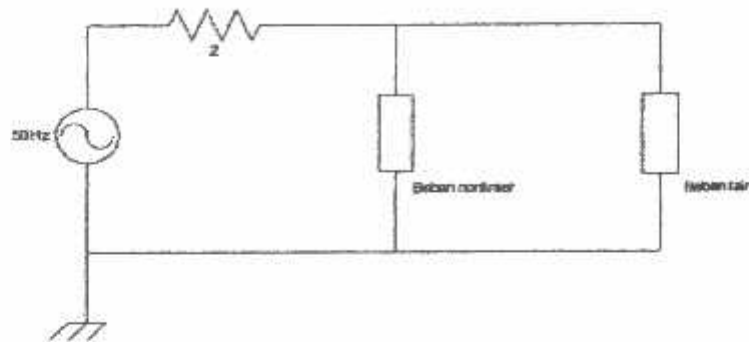
$$Fp, dist = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{THD.f}{100\%}\right)^2}} \dots\dots\dots(2.5)$$

### 2.2.8. Pengaruh Harmonisa Pada Sistem Telekomunikasi

Dalam beberapa tahun ini ditemukan bahwa harmonisa pada sistem tenaga listrik mampu mengganggu sistem telekomunikasi, karena pada pemasangan kabel listrik yang kebanyakan ditanam didalam tanah selalu bersebelahan dengan kabel telekomunikasi. Arus listrik yang mengalir di dalam konduktor selalu menginduksikan medan elektromagnetik. Dan apabila arus yang dihantarkan mengandung harmonisa maka akan terjadi noise pada saluran telepon atau data transmisi komunikasi gagal terkirim. Hukum Farraday menjelaskan bahwa tegangan yang menginduksi disekeliling kawat konduktor sesuai dengan perubahan fluks magnetik. Jadi perubahan harga frekuensi tinggi yang cepat akan membuat tingkat harmonisanya menjadi lebih tinggi pula dan juga harga tegangan harmonisanya semakin tinggi.

### 2.2.9. Pengaruh Harmonisa Pada Sistem Tegangan<sup>[3]</sup>

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



Gambar 2.5.<sup>[5]</sup>  
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.

### 2.3. Standar Harmonisa<sup>[3]</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 3.1.

**Tabel 2.1.**  
**Voltage Distortion Limits**

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**

$I_{sc}/I_L$	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

#### 2.4. Indeks Harmonisa<sup>[3]</sup>

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

##### 2.4.1. Total Harmonic Distortion (THD)

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:

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^k V_n^2}}{V_1} \dots\dots\dots(2.6)$$

dimana:

$V_n$  = komponen harmonisa

$V_1$  = komponen fundamental

$k$  = komponen harmonisa maksimum yang diamati

## 2.5. Resonansi

Dengan mengasumsikan beban nonlinier sebagai masuknya arus harmonisa, maka harmonisa tegangan pada setiap bus di sistem tenaga dapat diperoleh dengan memecahkan matrik atau persamaan admitansi berikut untuk semua kasus harmonisa.

$$V_h = Z_h \cdot I_h \dots\dots\dots(2.7)$$

Atau

$$I_h = Y_h \cdot V_h \dots\dots\dots(2.8)$$

dimana

$V_h$  : adalah tegangan harmonisa ke-h pada setiap bus harus ditentukan.

$Z_h$  : adalah matrik impedansi harmonisa sistem,

$I_h$  : adalah representasi arus harmonisa beban pada bus yang terhubung, dan

$Y_h$  : adalah matrik admitansi harmonisa sistem.

Pada persamaan 3.8,  $Z_h$  dapat diperoleh dengan menggunakan algoritma Z-bus untuk setiap harmonisa.  $Z_h$  dapat pula diperoleh dari invers  $Y_h$  dalam persamaan 2.9. Impedansi harmonisa memainkan peranan penting dalam sistem distribusi tenaga listrik khususnya ketika resonansi terjadi dalam sistem.

## 2.6. Filter Harmonisa

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

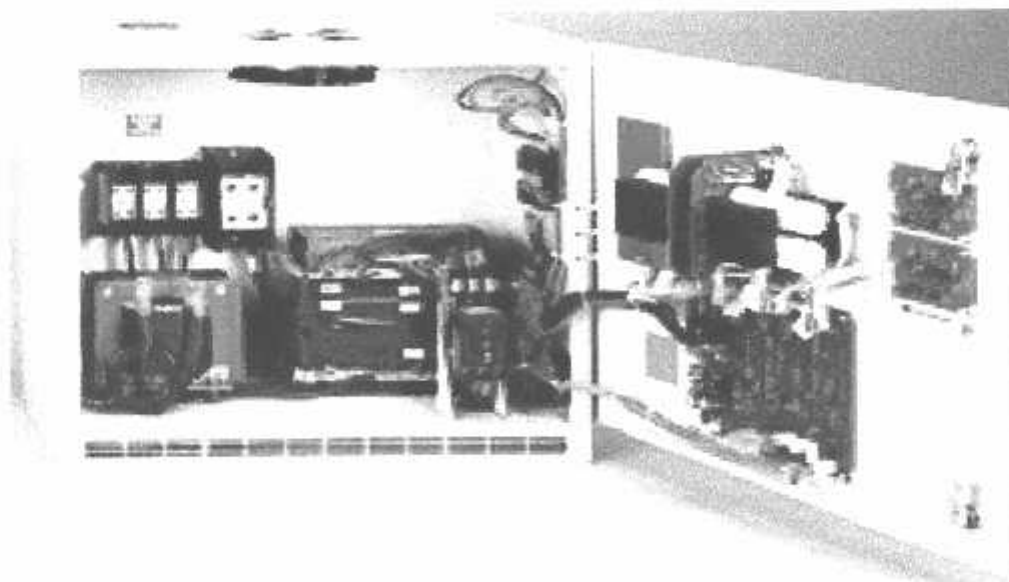
itu filter harmonisa pada frekuensi dasar dapat mengkompensasi daya reaktif dan digunakan untuk memperbaiki faktor daya.



**Gambar 2.6.**  
**Pemasangan Filter Harmonisa**

### 2.6.1. Tipe Filter<sup>[3]</sup>

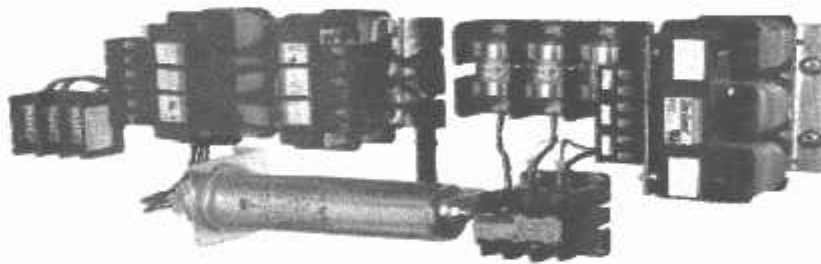
Ada dua tipe dasar dari filter yaitu aktif dan pasif. Filter aktif ini dapat bekerja untuk mengeliminasi timbulnya harmonisa dalam suatu sistem tenaga listrik 3 fasa, baik dengan kawat netral maupun tidak. Filter aktif ini bekerja dengan cara mengkompensasi arus harmonisa yang timbul pada sistem tenaga 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. Berikut ini memperlihatkan bentuk fisik dari *Harmonic Filter Active*.



**Gambar 2.7.**  
**Bentuk Fisik *Harmonic Filter Active***



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.

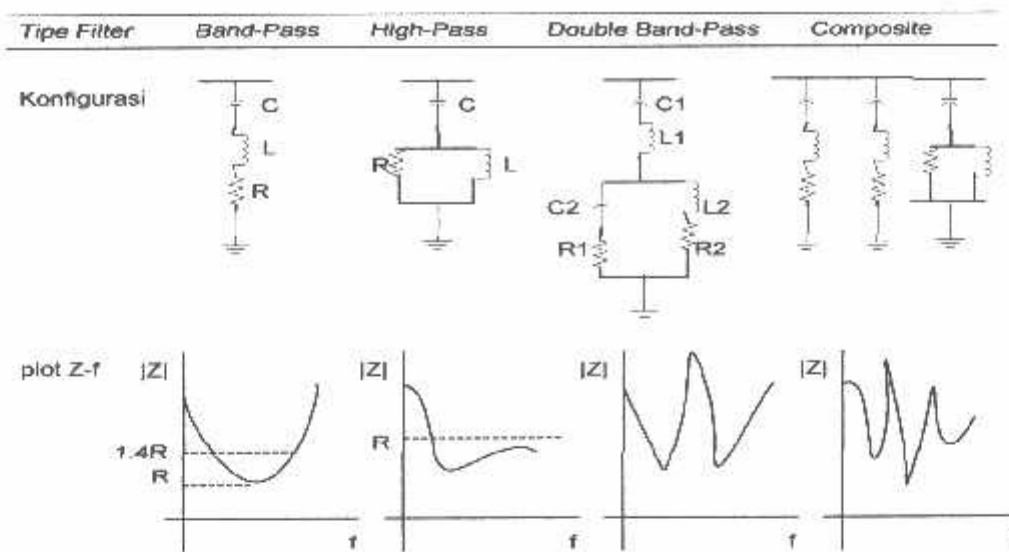


**Gambar 2.8.**  
**Bentuk Fisik *Harmonic Filter Pasive***

### **2.6.2. Jenis-Jenis Filter Pasif**

Gambar 2.8 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 2.9.

### 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.

### 2.6.3. Single-Tuned Filter

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 :

$$Z(\omega) = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) \dots\dots\dots(2.9)$$

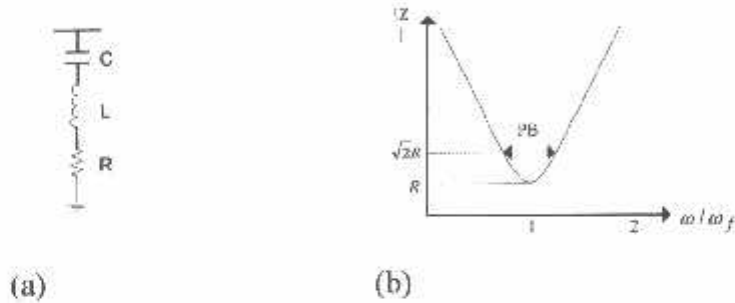
Rangkaian filter ini mempunyai impedansi yang rendah pada frekuensi resonansinya. Sebuah shunt filter dikatakan ditala pada sebuah frekuensi jika pada frekuensi tersebut reaktansi induktif dan kapasitifnya sama dengan nol.

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.

$$Q = \frac{X_0}{R} \dots\dots\dots(2.10)$$

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



**Gambar 2.10.**  
**(a)Rangkaian Filter Penalaan Tunggal (b) Grafik Impedansi Filter Terhadap Frekuensi**

Seperti ditunjukkan pada Gambar 2.9, *passband* (PB) filter didefinisikan sebagai batas frekuensi filter sama dengan resistansinya, yaitu sudut impedansinya sebesar  $45^\circ$  dan impedansi sama dengan  $\sqrt{2}R$ . Hubungan  $Q$  dan PB dinyatakan sebagai :

$$Q = \frac{\omega_0}{PB} \dots\dots\dots(2.11)$$

dengan  $\omega_0$  adalah frekuensi sudut penalaan dalam rad/sec.

**2.6.4. Double-Tuned Filter**

Sebuah impedansi ekuivalen dari dua buah filter penalaan tunggal ditunjukkan pada Gambar 2.10.a) yang memiliki frekuensi resonansi yang berdekatan dalam prakteknya sama dengan konfigurasi sebuah filter penalaan ganda yang ditunjukkan pada Gambar 3.8. (b). Hubungan antara kedua rangkaian filter ini adalah sebagai berikut :

$$C_s = C_a + C_b \dots\dots\dots(2.12)$$

$$C_2 = \frac{C_a C_b (C_a + C_b) (L_a + L_b)^2}{(L_a C_a - L_b C_b)^2} \dots\dots\dots(2.13)$$

$$L_1 = \frac{L_a L_b}{L_a + L_b} \dots\dots\dots(2.14)$$

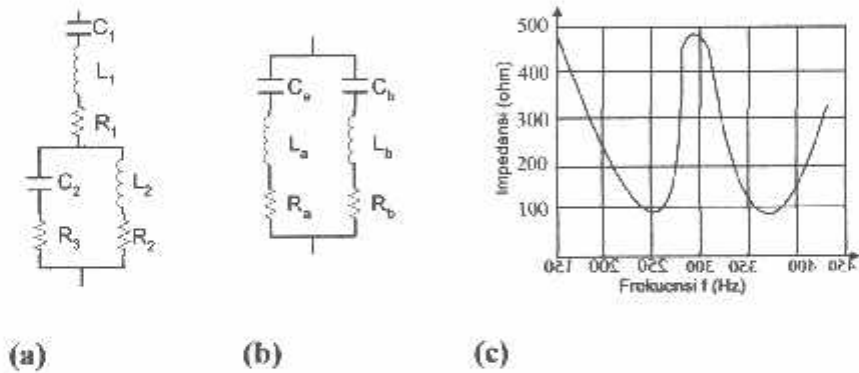
$$L_2 = \frac{(L_a C_a - L_b C_b)^2}{(C_a + C_b)^2 (L_a + L_b)^2} \dots\dots\dots(2.55)$$

$$R_2 = R_a \left[ \frac{a^2 (a - X^2)}{(a + aX^2)^2 (1 + X^2)} \right] + R_b \left[ \frac{a - X^2}{(1 + aX^2)^2 (1 + X^2)} \right] \dots\dots\dots(2.16)$$

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

dengan

$$a = \frac{C_a}{C_b} \text{ dan } X = \sqrt{\frac{L_b C_b}{L_a C_a}}$$



**Gambar 2.11.**  
**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

**2.6.5. High Pass Filter**

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

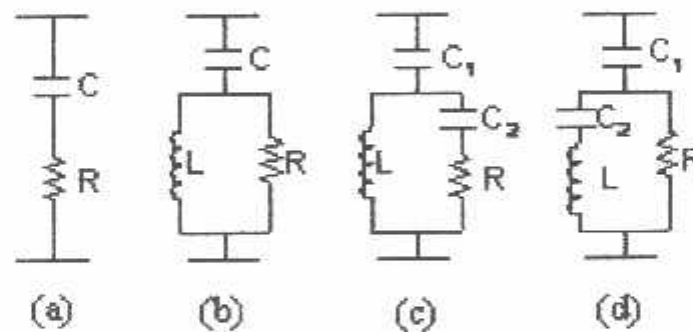
tanpa memerlukan sub-sub parallel cabang filter.

- 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 3.10. yaitu high pass filter orde satu, orde dua, orde tiga dan jenis high pass filter tipe-C.



**Gambar 2.12.**  
**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.

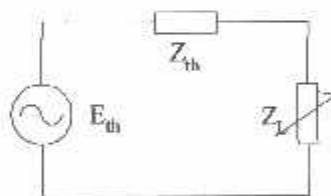
## 2.7. Penentuan Orde Harmonisa

Jika suatu beban menarik arus dari sumber, dalam satu periode, arus tersebut terdiri atas dua bentuk gelombang yang sama, tetapi besarnya positif untuk setengah periode dan negatif untuk setengah periode selanjutnya. Oleh karena itu, dalam kasus seperti ini harmonisa orde genap tidak akan muncul.

Harmonisa yang timbul pada sistem tenaga listrik dapat dijelaskan sebagai berikut. Misalkan suatu sistem tenaga listrik seperti dalam Gambar 2.13. merupakan rangkaian pengganti Thevenin dari suatu jaringan sistem tenaga listrik ac.  $E_{th}$  adalah sumber tegangan yang hanya menghasilkan tegangan sinusoidal,  $Z_{th}$  adalah beban linier dan  $Z_L$  adalah elemen tak linier. Beban  $Z_L$  akan menyerap arus yang mengandung komponen-komponen harmonisa.

Misalkan :

$$E_{th} = E_m \sin n(\omega t) \dots\dots\dots(2.17)$$



**Gambar 2.13.**  
**Rangkaian Ekuivalen Jaringan Sistem Tenaga Listrik**

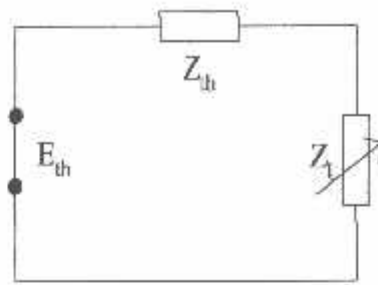
Arus yang diserap oleh komponen tak linier adalah :

$$i(t) = \sum_{n=1}^{\infty} I_n \sin(\omega_n t + \phi_n) \dots\dots\dots(2.18)$$

Karena  $E_{th}$  tidak mengandung komponen harmonisa, maka untuk  $n > 1$  harga  $E_{th} = 0$  dan arus :

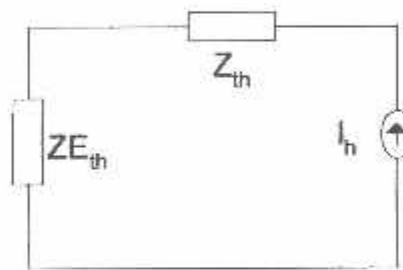
$$i(t) = \sum_{n=2}^{\infty} I_n \sin(\omega_n t + \phi_n) \dots\dots\dots(2.19)$$

sehingga rangkaian penggantinya adalah sebagai berikut :



**Gambar 2.14.**  
**Rangkaian Pengganti Untuk  $n > 1$**

Untuk kondisi ini, dapat disimpulkan bahwa  $i(t)$  tetap ada meskipun  $E_{th}=0$ . Karena nilai  $i(t)$  tetap, maka pada kondisi ini elemen  $Z_L$  dapat dipandang sebagai sumber arus dan generator dipandang sebagai sebuah impedansi  $E_{th}$ .



**Gambar 2.15.**  
**Elemen Tak Linier Sebagai Sumber Arus Harmonisa**

Misalkan :

$$i_n(t) = -i(t)$$

$$= - \sum_{n=2}^{\infty} I_n \sin(\omega_n t + \phi_n) \dots\dots\dots(2.20)$$

jika  $\theta_n = \phi_n + \pi$  maka :

$$i_n(t) = I_n \sin(\omega_n t - \theta_n) \dots\dots\dots(2.21)$$

Rangkaian pengganti dapat dilihat pada gambar 2.15. di atas.

Pada sistem tiga fasa seimbang, arus terdistorsi pada tiap fasanya akan mempunyai bentuk gelombang yang sama, sehingga dapat dianggap bahwa arus pada tiap fasa merupakan fungsi ganjil, agar analisisnya sederhana.

$$I_R(t) = I_1 \sin \omega t + I_3 \sin 3\omega t + I_5 \sin 5\omega t + \dots \dots\dots(2.22)$$



Sama seperti persamaan di atas, arus pada fasa S tertinggal sebesar  $1/3$  periode terhadap arus fasa R dan fasa T tertinggal  $2/3$  periode dari fasa R.

$$I_S(t) = I_R\left(t - \frac{T}{3}\right) \dots\dots\dots(3.23)$$

$$I_T(t) = I_R\left(t - 2\frac{T}{3}\right) \dots\dots\dots(2.24)$$

Dalam persamaan penjumlahan harmonisa :

$$I_R(t) = \sum_{n=1}^{\infty} I_n \sin(\omega_n t) \dots\dots\dots(2.25)$$

$$I_S(t) = \sum_{n=1}^{\infty} I_n \sin\left(\omega_n t - \frac{2\pi n}{3}\right) \dots\dots\dots(2.26)$$

dengan :

$$\frac{2\pi n}{3} = \begin{cases} \frac{2\pi}{3}, n = 1, 4, 7, 10, 13, \dots \\ -\frac{2\pi}{3}, n = 2, 5, 8, 11, 14, \dots \\ 0, n = 3, 6, 9, 12, 15, \dots \end{cases} \dots\dots\dots(2.27)$$

Apabila masing-masing komponen harmonisa ditransformasikan ke dalam komponen-komponen urutan nol, positif dan negatif :

$$I_n^{(0,1,2)} = A^{(-1)} I_n^{(a,b,c)} \dots\dots\dots(2.28)$$

dengan :

$$A^{(-1)} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.29)$$

$I_n^{(a,b,c)}$  = komponen arus harmonisa ke-n pada fasa a,b,c

Sehingga dapat diperoleh suatu tabel urutan harmonisa:

**Tabel 2.3.**  
**Orde Harmonisa Berdasarkan Urutan**

Harmonisa	Urutan
1,4,7,10,13,.....,3n+1	Positif
2,5,8,11,.....,3n-1	Negatif
3,6,9,12,15,.....,3n	Nol

Dengan demikian dalam analisis harmonisa dapat diambil analogi dari teori komponen simetri, yaitu masing - masing komponen harmonisa ditransformasikan kedalam komponen-komponen urutan nol , positif, negatif.

Dengan mengamati tabel 2.3, kita dapatkan bahwa semua komponen harmonisa kelipatan tiga merupakan urutan nol. Bentuk urutan fasa yang sederhana tersebut tidaklah diperuntukkan untuk sistem yang tidak seimbang, karena harmonisa tiap orde mengandung tiga urutan yang berbeda. Hal itu membutuhkan analisis yang lebih kompleks.

**BAB III**  
**PERBAIKAN HARMONISA DAN FAKTOR DAYA**  
**MENGGUNAKAN *SHUNT ACTIVE POWER FILTER***

**3.1. *Software PSCAD/EMTDC V 4.2 Power Simulation***

PSCAD (*Power System CAD*) adalah *graphical user interface* yang sangat baik dan fleksibel. PSCAD memungkinkan pengguna menggambar mengkonstruksi sebuah rangkaian, menjalankan sebuah simulasi, analisa hasil dan manajemen data terintegrasi secara lengkap. Penggambaran, pengontrolan dan pengukuran juga tersedia, jadi pengguna dapat mengubah parameter sistem, menjalankan simulasi dan melihat hasil secara langsung.

Dibawah ini adalah model umum yang terdapat di dalam studi sistem menggunakan PSCAD/EMTDC:

- *Resistors, inductors, capacitors*
- *Mutually coupled windings, such as transformers*
- *Frequency dependent transmission lines and cables (including the most accurate time domain line model in the world)*
- *Current and voltage sources*
- *Switches and breakers*
- *Protection and relaying*
- *Diodes, thyristors, GTOs, IGBTs*
- *Analog and digital control functions*
- *AC and DC machines, exciters, governors, stabilizers and inertial models*
- *Meters and measuring functions*
- *Generic DC and AC controls*
- *HVDC, SVC, and other FACTS controllers*
- *Wind source, turbines and governor*

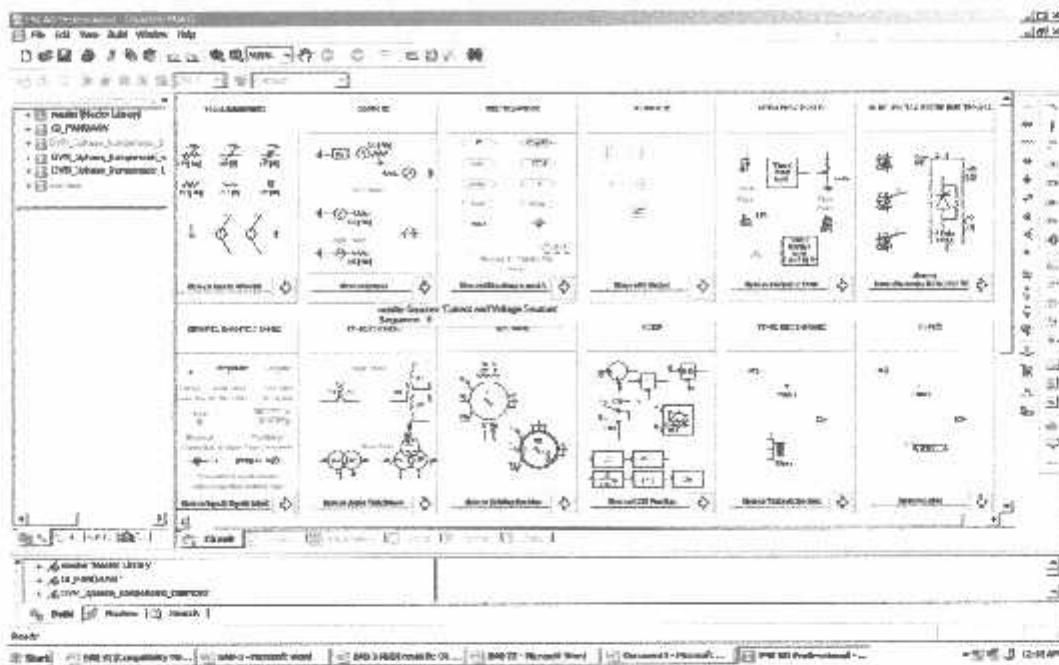
### 3.2. Memulai *PSCAD/EMTDC Power Simulation*

Tampilan Utama *PSCAD Power Simulation* adalah sebagai berikut :



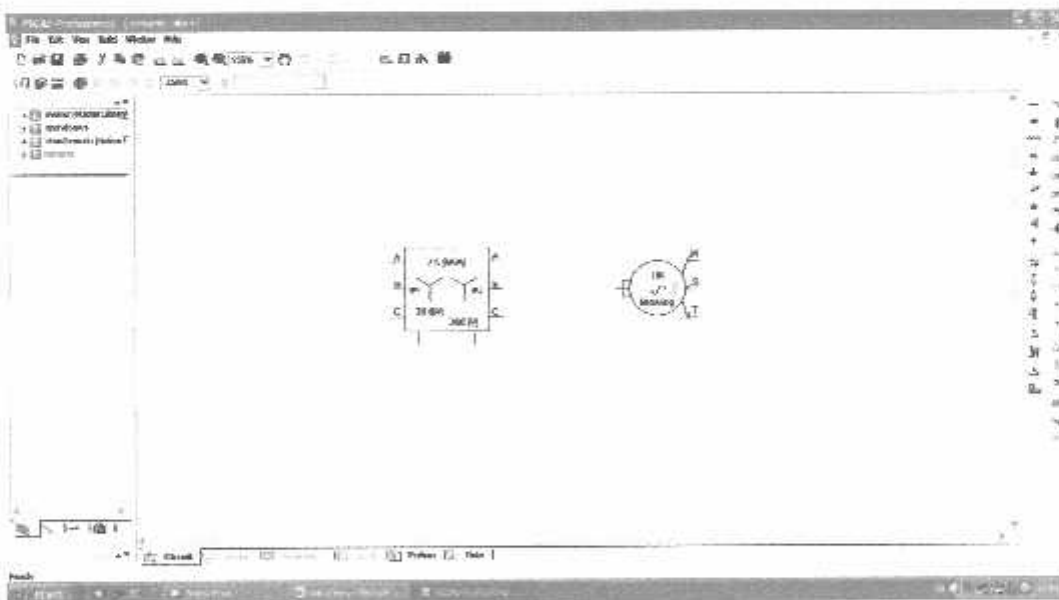
**Gambar 3.1.**  
**Tampilan utama *Software PSCAD/EMTDC Power Simulation***

- Untuk memulai membuat *single line* baru maka kita klik: File > New > case. Setelah melakukan prosedur di atas secara *default* PSCAD akan memberi nama *file* baru yang kita buat dengan nama "noname". Kemudian kita klik nama *file*-nya maka akan muncul tampilan seperti Gambar 3.2.
- Semua komponen yang akan digunakan dalam menggambar *single line* terdapat di dalam *Master Library* seperti pada tampilan di bawah ini. Untuk menggunakan *right klik on the component > copy* dan kemudian *paste* pada modul.



**Gambar 3.2.**  
**Tampilan Master Library**

- *Double klik file* baru yang sudah dibuat, maka akan muncul tampilan seperti di bawah ini, komponen-komponen dirangkai dalam modul ini.



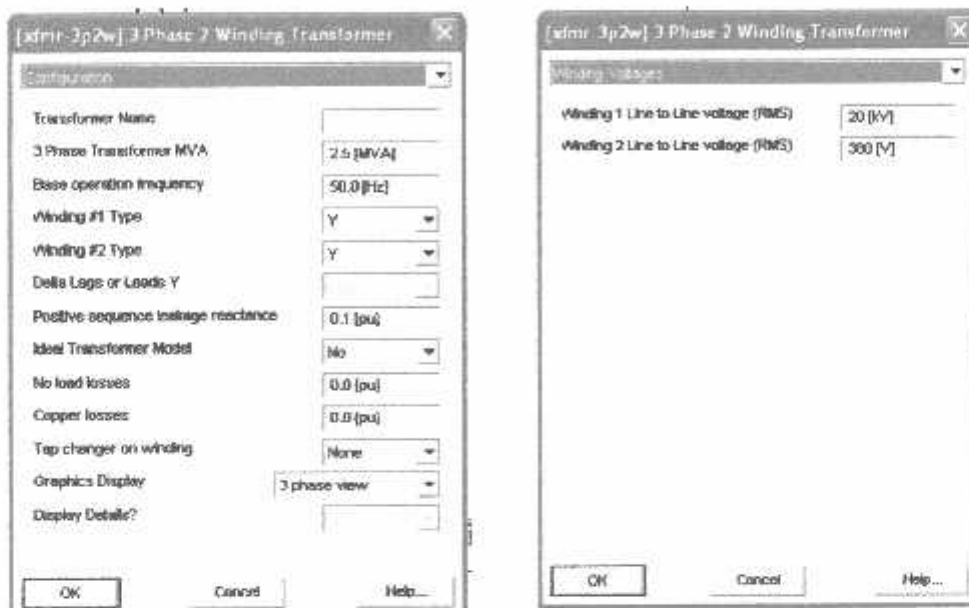
**Gambar 3.3.**  
**Tampilan Trafo dan Mesin**

- Setelah mendesain sistem seperti yang dibutuhkan, maka dapat kita lihat tampilan single line dalam modul utama sebagai berikut.

### 3.3. Input Data Dalam PSCAD/EMTDC Power Simulation

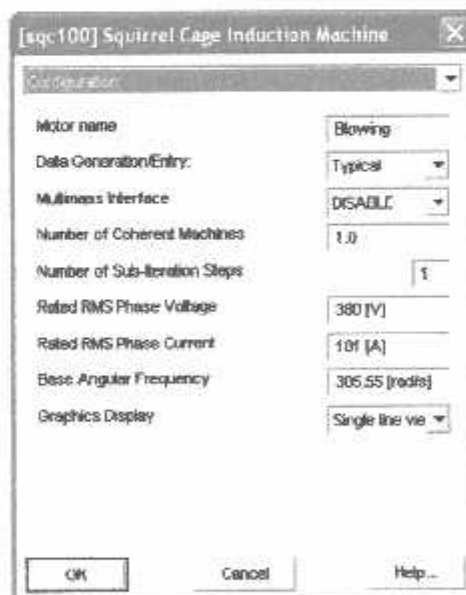
#### 3.3.1. Input Data Transormator dan Squirrel Cage Induction Machine

##### 1. Data Transformator



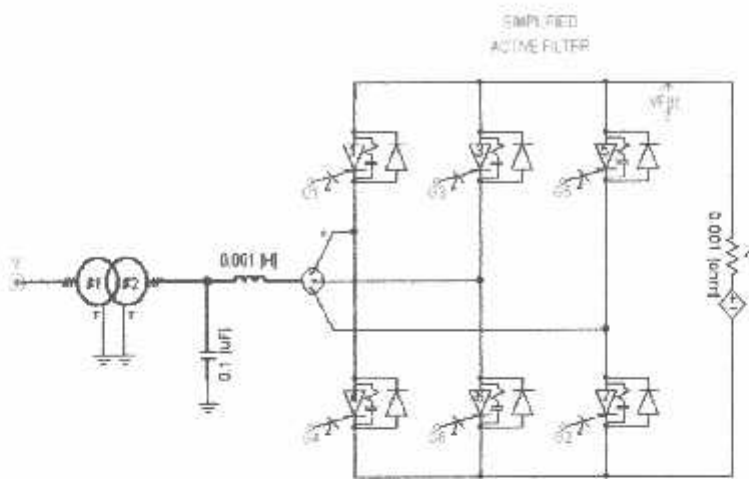
Gambar 3.4.  
Tampilan Input Data Transformator

##### 2. Data Squirrel Cage Induction Machine

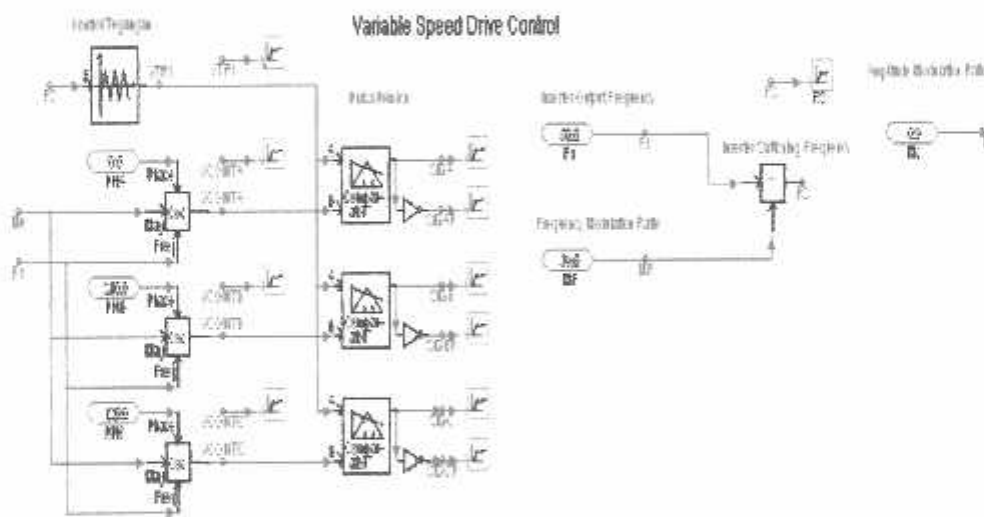


Gambar 3.5.  
Tampilan Input Data Machine

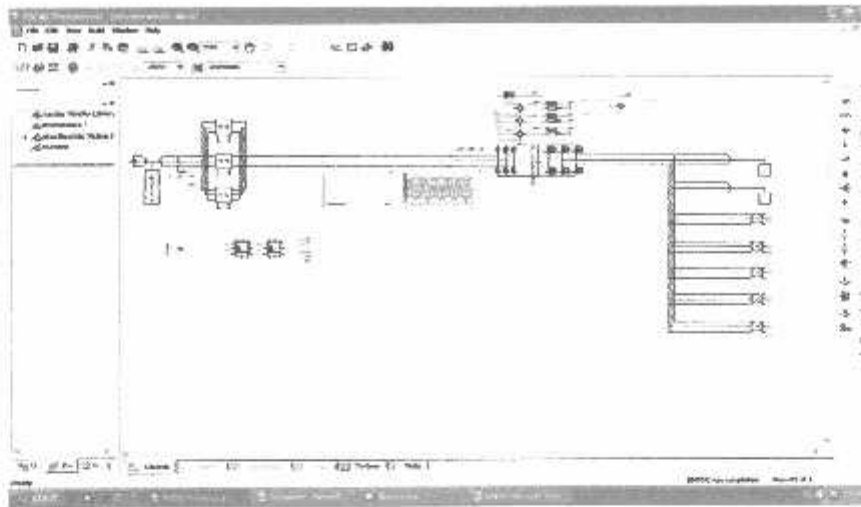
**3.4. Input Data Simple Active Filter dan Variable Speed Drive Control**



**Gambar 3.6.**  
**Konfigurasi Filter Aktif Shunt**



**Gambar 3.7.**  
**Variable Speed Drive Control**



**Gambar 3.8.**  
**Tampilan *Single Line* PT.Budi Texindo Prakarsa Serang**  
**Dalam PSCAD**

### 3.5. Sistem Pengendalian PWM Sinusoida<sup>[8]</sup>

#### 3.5.1. PWM Sinusoida

Gelombang sinusoidal pada tiga VSC dikendalikan dengan teknik PWM. Rencana Kendali berdasar PWM berkenaan dengan *SAPF* diterangkan pada bagian ini. Tujuan rencana kendali adalah untuk memelihara *magnitude* tegangan konstan suatu beban sensitif. Sistem kendali mengukur tegangan rms di titik beban tidak dibutuhkan pengukuran daya reaktif. Strategi penyakelaran VSC adalah didasarkan pada suatu teknik PWM sinusoidal, yang sederhana dan memberikan respon yang baik. Metode PWM menawarkan suatu pilihan yang lebih fleksibel. Suatu sinyal error diperoleh dengan membandingkan tegangan acuan dengan tegangan rms pengukuran di titik beban. pengontrol PI memproses sinyal error dan menghasilkan sudut penundaan yang diperlukan ( $\delta$ ) untuk membawa kesalahan itu menjadi nol. Dalam generator PWM, kendali sinyal sinusoidal adalah *phase-modulated* dengan cara sudut  $\delta$ . Sinyal yang diatur dibandingkan dengan suatu sinyal bersegi tiga (*carrier*) dalam rangka menghasilkan sinyal penyakelaran untuk PIC. Parameter utama dalam rencana sinusoidal PWM adalah index sinyal amplitudo modulasi ( $m_a$ ) pada sinyal  $V_{control}$ , dan sinyal segi tiga pada index modulasi frekuensi ( $m_f$ ). Index Amplitudo  $M_a$  dipertahankan tetap pada 1 pu, dalam hal memperoleh komponen dasar tagangan tinggi pada pengontrol keluaran. frekwensi *Switching* ditetapkan pada 350 Hz, dan kasus pengujian dilakukan pada jaringan yang stabil. Sudut modulasi diterapkan pada pembangkit sinyal PWM pada fasa A. untuk fasa B dan C dengan pergeseran berturut-turut  $120^\circ$  dan  $240^\circ$ .



Penerapan pengendalian sangat sederhana dengan menggunakan sinyal tegangan sebagai variabel umpan balik dalam perencanaan pengontrolan. Kecepatan respon dan efektifitas perencanaan pengontrolan ditunjukkan dalam hasil simulasi.

### 3.5.2. Aksi Kontrol *PWM* Sinusoida Terhadap *SAPF*<sup>[1]</sup>

Prinsip dari *SAPF* adalah menerima dan memproses sinyal error dari sumber. Hasilnya kemudian dimasukkan ke *PWM Voltage Source Converter* tiga fasa pada rangkaian utama. Dari hasil perhitungan arus referensi yang dihasilkan sinyal error antara tegangan beban dengan tegangan referensi. Jadi sinyal referensi ini kemudian dimodulasikan dengan sinyal *carrier* (*triangular wave*) yang berupa sinyal gigi geraji (*saw tooth*). Sinyal error ini berbentuk sinusoidal yang dimodulasikan sinyal gigi geraji sebagai sinyal *carrier*. *Output* dari *PWM* di atas digunakan untuk mentrigger rangkaian switching yang terdiri atas 6 IGBT tiap fasa dari 2 IGBT.

## 3.6. Aksi Kontrol Proporsional Integral (PI)

### 3.6.1. Umum

Kontrol otomatis telah memegang peranan yang sangat penting dalam perkembangan ilmu dan teknologi. Disamping banyak diperlukan pada pesawat ruang angkasa, peluru kendali, sistem pengemudi pesawat dan sebagainya. Kontrol otomatis telah menjadi bagian penting dan terpadu dari proses-proses dalam pabrik dan industri modern. Misalnya, kontrol otomatis telah memegang peranan yang sangat penting dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Disamping banyak diperlukan pada pesawat ruang angkasa, peluru kendali, sistem pengemudi pesawat, dan sebagainya. Kontrol otomatis telah menjadi bagian yang sangat penting dan terpadu dari proses - proses dalam pabrik dan industri modern. Misalnya, kontrol otomatis sangat diperlukan di dalam dunia industri seperti pengontrolan tekanan, suhu, kelembaban, viskositas, dan arus dalam industri proses.

Karena kemajuan dalam teori dan praktek kontrol otomatis memberikan kemudahan dalam mendapatkan performansi dari sistem dinamik, mempertinggi kualitas dan menurunkan biaya produksi, mempertinggi laju produksi, meniadakan pekerjaan-pekerjaan rutin dan membosankan yang harus dilakukan oleh manusia, dan sebagainya.

Sejarah perkembangan. Hasil karya pertama yang sangat penting dalam kontrol otomatis adalah governor sentrifugal untuk pengontrolan kecepatan mesin uap yang

dibuat oleh *James Watt* pada abad ke delapan belas. Hasil karya lainnya yang penting pada tahap awal perkembangan teori kontrol dibuat oleh *Minorsky*, *Hazen*, *Nyquiste*, dan sebagainya. Pada tahun 1922, *Minorsky* membuat kontroler otomatis untuk mengendalikan pengemudian kapal dan menunjukkan cara menentukan kestabilan dari persamaan differensial yang melukiskan sistem. Pada tahun 1932 *Nyquis* mengembangkan suatu prosedur yang relatif sederhana untuk menentukan kestabilan sistem loop tertutup pada basis sistem loop terbuka terhadap masukan tunak (*steady state*) sinusoida. Pada tahun 1934 *Hazen*, yang memperkenalkan istilah servomekanis untuk sistem kontrol posisi, membahas desain servomekanis relay yang mampu mengikuti dengan baik masukan yang berubah. Selama dasawarsa 1940-an, metode respon frekuensi memungkinkan para insinyur untuk mendesain sistem kontrol linier berumpan balik yang memenuhi persyaratan kinerja. Metode respon frekuensi dan tempat kedudukan akar, yang merupakan inti teori kontrol fisik, akan membawa sistem yang stabil dan memenuhi seperangkat persyaratan kinerja yang hampir seimbang.

Hampir semua proses dalam industri membutuhkan peralatan – peralatan otomatis untuk mengendalikan parameter – parameter prosesnya. Otomatisasi tidak saja diperlukan demi operasi, keamanan, ekonomi maupun mutu produk, tetapi lebih merupakan kebutuhan pokok. Kelak akan dipelajari alat tidak mungkin menjalankan suatu proses industri tanpa bantuan sistem pengendali. Contohnya adalah pengendalian penggilingan minyak. Proses disuatu penggilingan minyak tidak mungkin dapat dijalankan tanpa bantuan fungsi sistem dari pengendalian.

Ada banyak parameter yang baru dikendalikan di dalam suatu proses. Diantaranya yang paling umum adalah tekanan (*pressure*) didalam sebuah *vassel* atau pipa, aliran (*flow*) didalam pipa, suhu temperatur di unit proses seperti *heat exchanger*, atau permukaan zat cair (*level*) disebuah tangki. Ada beberapa parameter lain diluar keempat parameter diatas yang cukup penting dan perlu dikendalikan karena kebutuhan spesifik proses, diantaranya : PH di industri petrokimia, *water cut (w&w)* diladang minyak mentah, warna produksi suatu fasilitas pencairan gas (NGL) dan sebagainya.

Gabungan serta kerja alat-alat pengendalian otomatis inilah dinamai sistem pengendalian proses (proses contoh sistem). Sedangkan semua peralatan yang menjalankan sistem pengendali disebut instrumentasi pengendalian proses (*Process Control Instrumentation*).

---

Kedua hal ilmu tersebut berhubungan satu dengan yang lain, dimana keduanya mempunyai hakikat yang berbeda. Pembahasan tentang ilmu proses kontrol sistem lebih dipusatkan pada kerja sistem, sering kali diperlukan penjelasan melalui alat kerja.

### 3.6.2. Prinsip-Prinsip Pengendalian Proses

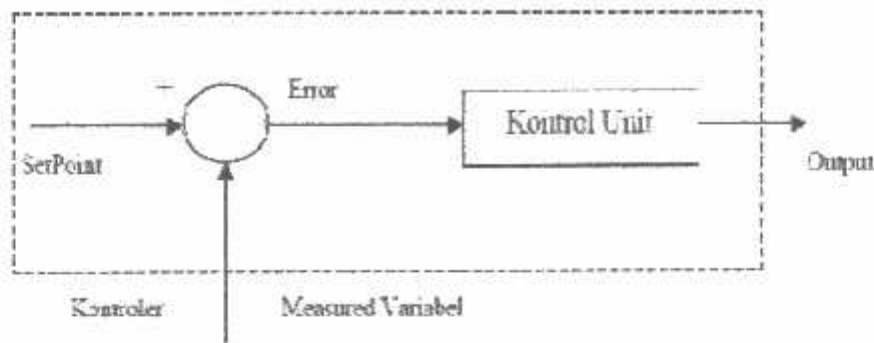
Dalam pengendali proses, operator mengerjakan empat langkah sebagai berikut: *Mengukur, Membandingkan, Menghitung dan Mengoreksi*. Keempat langkah yang dilakukan operator itu, seluruhnya dapat dikerjakan oleh instrumentasi. Manusia kemudian sama sekali tidak menentukan keempat langkah tadi. Operator hanya perlu menentukan besarnya *set point*, dan semuanya akan dikerjakan secara otomatis oleh instrument. Sistem pengendali semacam inilah yang disebut sistem pengendali otomatis (*automatic control system*). Keempat tahap pengendaliannya, sepenuhnya dilakukan oleh instrumentasi. Mata rantai pengendalinya kemudian disebut mata rantai tertutup, dan sistemnya juga disebut sistem pengendalian tertutup atau *sistem closed loop*.

### 3.6.3. Prinsip Kerja Pengendali

Ada tiga jenis pengendali kontinyu, yaitu pengendali proposional di singkat P, pengendali integral di singkat I, dan pengendali diferensial di singkat D. Karena kelebihan dan kekurangan ketiga pengendali itu, mereka seringkali dipakai dalam bentuk kombinasi, yaitu P+I disingkat PI, P+D disingkat PD, dan P+I+D disingkat PID. Ketiga jenis pengendali ini memberikan respon yang berbeda-beda. Pada dasarnya, tugas sebuah pengendali kontinyu terbagi dalam dua tahap, yaitu membandingkan dan menghitung.

Pembandingan itu sendiri dilakukan dengan mengurangi besarnya *set point* dengan besaran *measurement variabel*, yang hasilnya adalah besaran yang disebut *error*. Karena *set point* bisa lebih besar atau lebih kecil dari *measurement variable*, nilai *error* bisa positif dan bisa juga negatif. Jadi *error* adalah input unit kontrol dan *manipulated variable* adalah output unit kontrol. Besarnya *manipulated variable* dihitung berdasarkan *error* dan *transfer function* unit kontrol. Bentuk *transfer function* dari unit kontrol terhitung pada “mode” yang ada dikontroler.

---

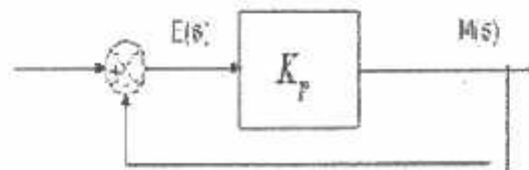


**Gambar 3.9.**  
**Kontroler Dan Diagram Kotaknya**

#### 3.6.4. Pengendali Proporsional (*Proporsional Controller*)

Salah satu dari ketiga unit kontrol yang paling populer dan paling banyak dipakai adalah unit kontrol P, seperti tercermin dari namanya, besar *output* unit kontrol P selalu sebanding dengan besarnya *input*. Bentuk *transfer function* unit kontrol *proporsional* oleh karenanya akan sederhana sekali, sehingga bentuk *transfer function*-nya juga sederhana. Unit kontrol P adalah unit kontrol yang paling banyak dipakai, baik tersendiri dalam bentuk pengendali *P-only* maupun dalam kombinasi dengan mode integral (I) dan differensial (D).

Kontroler proporsional memiliki keluaran yang sebanding / proporsional dengan besarnya sinyal kesalahan (selisih antara besaran yang diinginkan dengan harga aktualnya). Secara lebih sederhana dapat dikatakan bahwa keluaran kontroler proporsional merupakan perkalian antara konstanta proporsional dengan masukan. Perubahan pada sinyal masukan akan segera menyebabkan sistem secara langsung mengubah keluarannya sebesar konstanta pengalinya. Gambar 3.6 menunjukkan blok diagram yang menggambarkan hubungan antara besaran *setting*, besaran *actual* dengan besaran keluaran kontroler proporsional. Sinyal kesalahan (*error*) merupakan selisih antara besaran *setting* dengan besaran aktualnya. Selisih ini akan mempengaruhi kontroler, untuk mengeluarkan sinyal positif (mempercepat pencapaian harga *setting*) atau negatif (memperlambat tercapainya harga yang diinginkan).



**Gambar 3.10.**  
**Diagram Blok Kontroler Proporsional**

Kontroler proporsional memiliki 2 parameter, yaitu pita proporsional (*proporsional band*) dan konstanta proporsional.

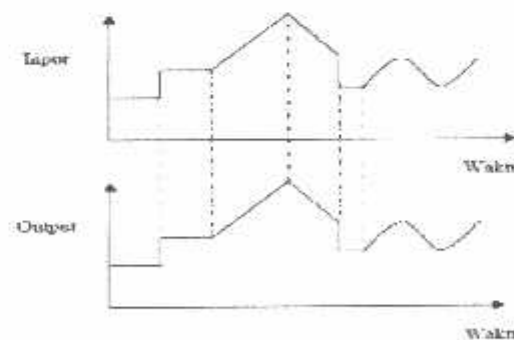
Hubungan antara pita proporsional (*PB*) dengan konstanta proporsional ( $K_p$ ) ditunjukkan secara prosentase oleh persamaan berikut ini :

$$PB = \frac{1}{K_p} \times 100\%$$

$PB$  = Proporsional Band

$K_p$  = Konstanta Proporsional

Walaupun hubungan input-output unit kontrol proporsional bukan merupakan fungsi waktu, untuk bahan perbandingan dengan unit kontrol lain, ada baiknya kalau hubungan itu dinyatakan dalam bentuk kurva fungsi waktu. Dari gambar 3.6 jelas terlihat bahwa output selalu mengikuti input secara proporsional. Naik turunnya input diikuti secara langsung oleh output, dan besarnya selalu sama dengan input kali gain. Karena unit kontrol proporsional ini bukan fungsi waktu, dinamik gain pengendali ini sama dengan *steady state* gainnya. Dengan kata lain, besarnya gain tidak tergantung pada besarnya frekuensi loop.



**Gambar 3.11.**  
**Response Sebuah Pengendali Proporsional**

Contoh pengendali integral proporsional yang mudah ditemui dalam kehidupan sehari-hari adalah pengisian tangki penampung air di kloset. Hal yang perlu diperhatikan pada contoh ini adalah bahwa kontrol unit di contoh bekerja secara proporsional. Artinya, koreksi dalam hal ini buka tutupnya *control valve* akan selalu sebanding dengan ketinggian level. *Set point* dalam hal ini adalah sama dengan ketinggian level maksimum.

### 3.6.5. Pengendali Integral (*Integrator Controller*)

Setelah pengendali proporsional diketahui "gagal" mengendalikan sistem secara sempurna dalam arti masih adanya *offset*. Dikarenakan sifat dasar pengendali proporsional yang masih memerlukan *error* untuk menghasilkan *output*. Oleh karena itu, untuk menghilangkan *offset*, diperlukan pengendali lain yang dapat menghasilkan *output* walaupun sudah tidak ada *input* lagi. Sifat unit inilah yang dimiliki oleh pengendali integral. Sayangnya, kemampuan pengendali integral menghilangkan *offset* tidak disertai kemampuan bereaksi secara cepat. Karena lambatnya reaksi tersebut maka pengendali integral biasanya dipakai dalam kombinasi dengan pengendali proporsional. Kedua pengendali tersebut dipasang secara paralel sehingga kelebihan kedua pengendali dapat dimanfaatkan secara serempak. Kalau diteliti dengan seksama, *offset* dapat terjadi di sistem pengendali proporsional, karena pengendali proporsional selalu membutuhkan *error* (dalam hal ini *input ke unit control*) untuk menghasilkan suatu *output*. Kalau tidak ada *error*, *output* yang keluar dari pengendali proporsional hanyalah bias yang biasanya disetel 50%.

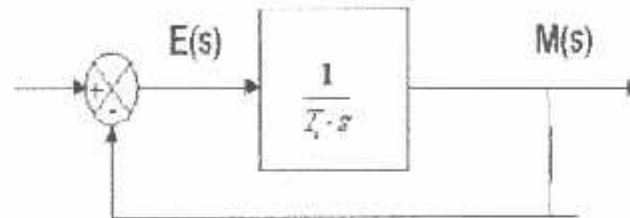
Jadi untuk menghasilkan *offset* dibutuhkan sebuah pengendali lain, yang dapat menghasilkan *output* walaupun padanya tidak diberikan *input*. Dengan kata lain, diperlukan pengendali yang dapat menghasilkan *output* lebih besar atau lebih kecil dari bias pada saat *input (error)* sama dengan nol. Pengendali yang memenuhi kriteria ini adalah pengendali integral, disingkat I.

Kontroler integral berfungsi menghasilkan respon sistem yang memiliki kesalahan keadaan mantap nol. Kalau sebuah *plant* tidak memiliki unsur *integrator* ( $1/s$ ), kontroler proporsional tidak akan mampu menjamin keluaran sistem dengan kesalahan keadaan mantapnya nol. Dengan kontroler integral, respon sistem dapat diperbaiki, yaitu mempunyai kesalahan keadaan mantapnya nol. Kontroler integral memiliki karakteristik seperti halnya sebuah integral. Keluaran kontroler sangat

---

dipengaruhi oleh perubahan yang sebanding dengan nilai sinyal kesalahan. Keluaran kontroler ini merupakan jumlahan yang terus menerus dari perubahan masukannya. Kalau sinyal kesalahan tidak mengalami perubahan, keluaran akan menjaga keadaan seperti sebelum terjadinya perubahan masukan.

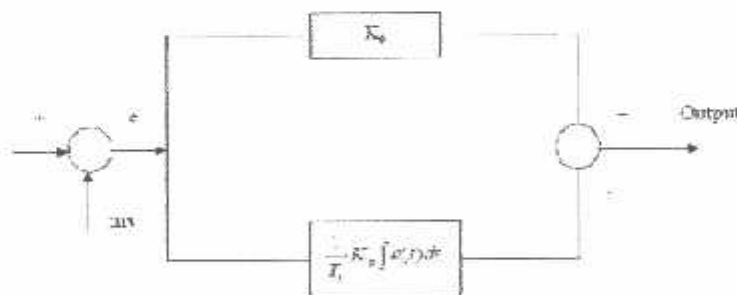
Gambar 3.8 menunjukkan blok diagram antara kesalahan dengan keluaran suatu kontroler integral.



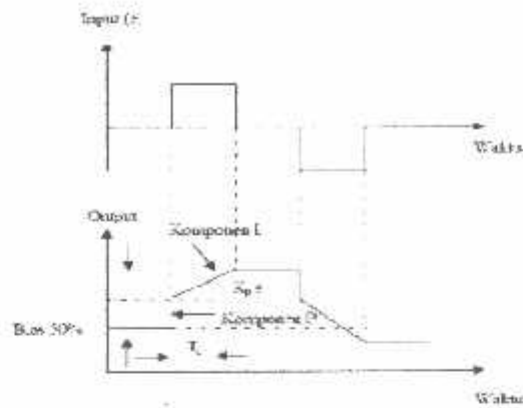
**Gambar 3.12.**  
**Blok Diagram Kontroler Integral**

### 3.6.6. Pengendali Proporsional Integral (*PI Controller*)

Karena sifatnya yang tidak mengeluarkan *output* sebelum selang waktu tertentu, pengendali integral jadi memperlambat respon, walaupun *offset* hilang oleh karenanya. Untuk memperbaiki lambatnya respon, umumnya pengendali integral dipasang paralel dengan pengendali proporsional seperti gambar 3.9. Gabungan kedua pengendali tersebut lazim disebut dengan pengendali PI atau PI kontroler, dan pengendali dikatakan punya dua mode, yaitu P dan I.



**Gambar 3.13.**  
**Diagram Kotak Pengendali PI**



Gambar 3.14.

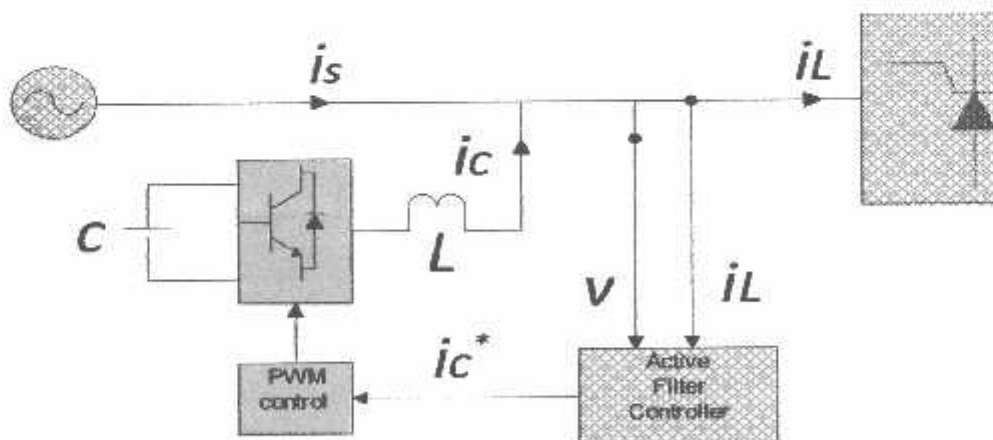
### Hubungan Input-Output Pengendali PI dalam Fungsi Waktu

#### 3.7. Deskripsi Umum Filter Aktif Shunt<sup>[4]</sup>

Filter aktif shunt pada umumnya terdiri atas dua bagian utama:

1. Konverter PWM (pengolah sinyal)
2. Kontroler filter aktif (pengolahan sinyal)

Konverter PWM berfungsi untuk pengolahan daya dalam perubahan arus kompensasi yang harus ditarik dari sistem. Kontrol filter aktif berfungsi untuk pengolahan sinyal dalam menentukan *dalam real time* referensi arus kompensasi spontan, yang secara kontinyu dilewatkan ke converter PWM. Gambar 3.11 menunjukkan konfigurasi dasar filter aktif shunt untuk kompensasi arus harmonisa dari beban tertentu. Filter aktif shunt terdiri atas kontrol arus PWM dan kontroler filter aktif. Kontroler filter aktif shunt bekerja dengan cara loop tertutup, secara kontinyu mengukur arus beban  $i_L$ , dan menghitung nilai sesaat dari referensi arus kompensasi  $i_C^*$  untuk converter PWM.



Gambar 3.15.<sup>[4]</sup>

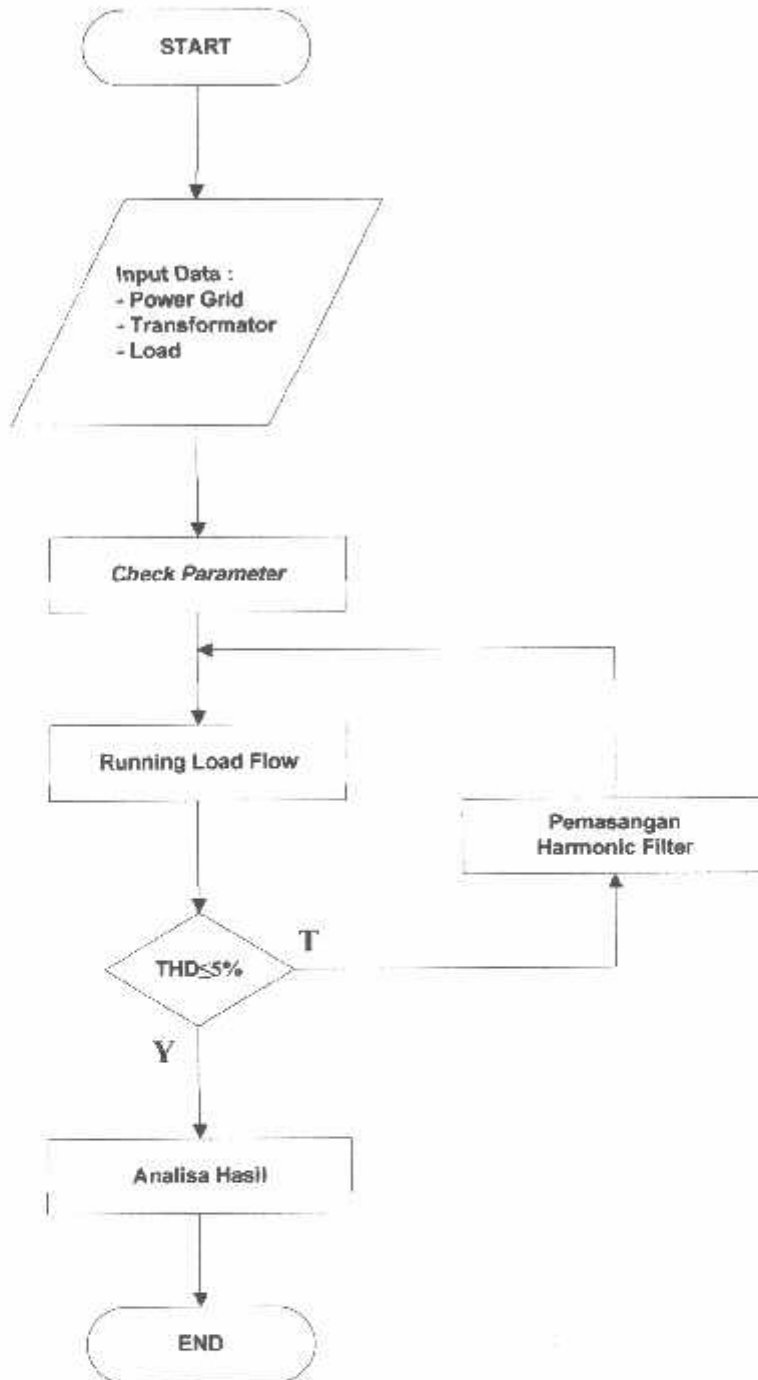
#### Konfigurasi dasar filter aktif shunt



Dalam kasus ideal, converter PWM dianggap sebagai penguat daya linear, dimana arus kompensasi  $i_C$  menelusuri dengan benar referensi  $i_C^*$ .

Konverter PWM harus memiliki frekuensi switching ( $f_{PWM}$ ) untuk menghasilkan secara akurat arus kompensasi. Normalnya,  $f_{PWM} > 10f_{hmax}$ , dimana  $f_{hmax}$  merepresentasikan frekuensi orde arus harmonic tertinggi yang dikompensasi. Dalam gambar 2.3, kapasitor dc dan IGBT (Transistor Bipolar Gate Isolasi) dengan dioda antiparalel digunakan untuk menunjukkan sebuah filter aktif shunt yang dibuat dari konverter sumber tegangan (VCS). Dalam faktanya, konverter sumber tegangan atau converter sumber arus bisa digunakan dalam filter aktif shunt. Sekarang, hampir semua filter aktif shunt dalam penggunaan operasi umum sebagai konverter sumber tegangan. Namun, converter ini umumnya disebut sebagai VSC. CSC akan digunakan untuk merujuk pada converter sumber arus. Tanpa melihat apakah ini didasarkan VSC atau CSC, kontrol PWM harus memiliki loop umpan balik arus kecil untuk memaksa konverter daya berperilaku sebagai sumber arus terkontrol non sinusoidal.

3.8. Flowchat hasil simulasi menggunakan PSCAD/EMTDC



Gambar 3.16.

*Flowchart Perbaikan Harmonisa menggunakan PSCAD/Power Simulation*

## BAB IV

### HASIL DAN ANALISA HASIL

#### 4.1. Keadaan Awal PT. Budi Texindo Prakarsa Serang Banten

#### **B** PT. BUDI TEXINDO PRAKARSA

##### DATA SUMBER PABRIK ;

Daya : 20 kV  
Tegangan : 220 / 380 V  
Arus : 1.045 A  
Frekuensi : 50 Hz  
Hubungan : Y  
Jumlah Fasa : 3  
Faktor Daya : 0.8  
Kelas Isolasi : H

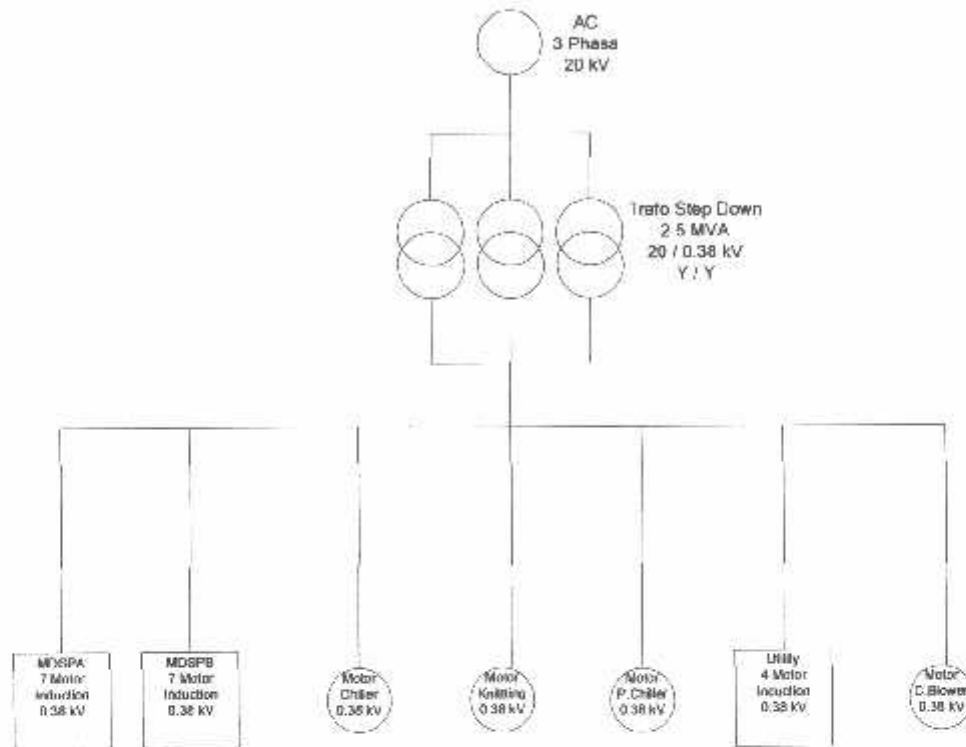
TABEL 4.1.

Data Sumber Pada PT.Budi Texindo Prakarsa Serang

<b>B</b> PT. BUDI TEXINDO PRAKARSA	DATA TRAF0 1, 2 & 3
Name Plate	
Daya	2,5 MVA
Tipe Konstruksi	Outdoor / Indoor
Tegangan Primer / Sekunder	20 kV / 380 kV
Arus Primer / Sekunder	46.188 A / 2309.40 A
Hubungan	Y / Y
Frekuensi	50 Hz
Volume Minyak	1.115 L
Impedansi	6 %
Berat Total	3.865 Kg
Sistem Pendingin	Onan

#### 4.2. Single Line Sistem Pabrik

Untuk mensimulasi sistem pabrik dalam *PSCADEMTDC V.4.2 power simulation* maka terlebih dahulu menggambar rangkaian pabrik tersebut ke dalam lembar kerja pada software kemudian di simulasi sesuai dengan urutan langkah kerja dan menganalisa hasilnya.



**Gambar 4.1.**  
*Single Line PT. Budi Texindo Prakarsa Serang*



## BAB V PENUTUP

### 5.1. Kesimpulan

Pengaruh Pemasangan *Shunt Active Power Filter* Pada sistem Jaringan 20 kV di PT BUDI TEXINDO PRAKARSA pada saat terjadi gangguan Harmonisa Arus dengan menggunakan *PSCAD Power System Simulation* maka dapat diambil kesimpulan:

1. *Shunt Active Power Filter* dapat mereduksi gangguan Harmonisa Arus.
2. Dengan di pasanganya *Shunt Active Power Filter* dapat mereduksi gangguan Harmonisa sehingga bentuk gelombang arus yang di hasilkan akan sinusoidal.
3. *Shunt Active Power Filter* di tempatkan sebelum Trafo.
4. Pemasangan *Shunt Active Power Filter* pada sistem selain dapat mengatasi Harmonisa Arus juga dapat memperbaiki factor daya ( $\cos \phi$ ).
5. Setelah pemasangan *SAPF*, nilai referensi di ambil dari jumlah Harmonisa Arus yang di hasilkan dari 17,81% menjadi 4,41% dan perbaikan Factor Daya dari 0,89 menjadi 0,98.

### 5.2. Saran

---

#### 4.6. Tabel Sebelum dan Sesudah Pemasangan Shunt Active Power Filter

**Tabel 4.3**  
**Hasil Perhitungan Sebelum dan Sesudah Pemasangan SAPF**

Pemasangan Shunt Active Power Filter		
Konfigurasi Sistem	THD Sebelum Pemasangan	THD Setelah Pemasangan
3 <sup>th</sup>	0.03760	0.0000030
5 <sup>th</sup>	0.00236	0.0000053
7 <sup>th</sup>	0.01483	0.0000042
9 <sup>th</sup>	0.03928	0.0000031
11 <sup>th</sup>	0.01338	0.0000037
13 <sup>th</sup>	0.00891	0.0000051
<b>THD %</b>	<b>17.81%</b>	<b>4.41%</b>

Dapat Dilihat dari tabel di atas kinerja dari Shunt Active Power Filter sebelum dan sesudah pemasangan pada sistem jaringan distribusi 20 kv di PT. Budi Texindo Prakarsa Serang-Banten. Pada saat sebelum pemasangan Shunt Actif Power Filter THD Arus yang di hasilkan sangat besar yaitu 17.81%, dan setelah pemasangan THD Arus menjadi 4.41%.

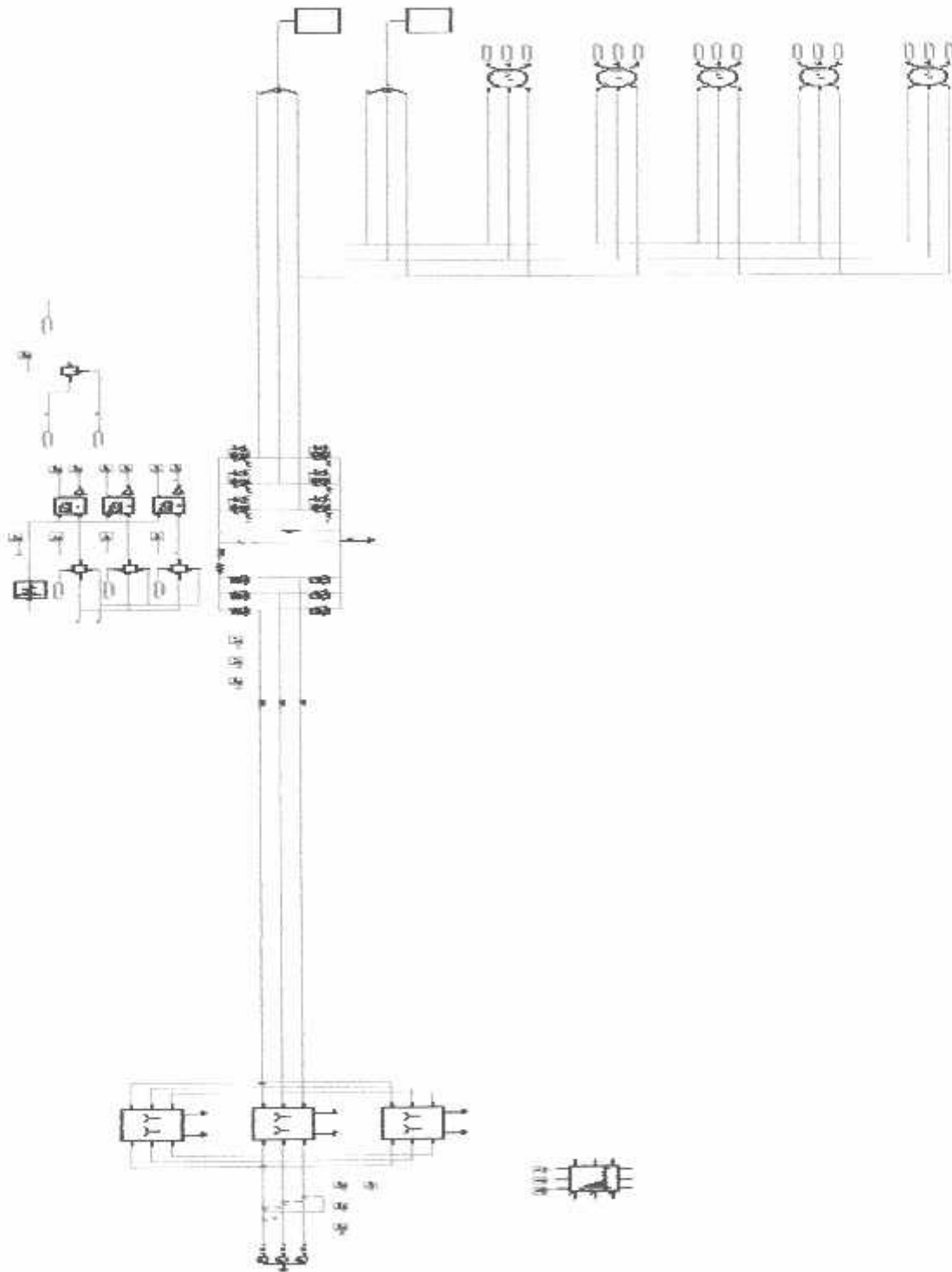
**Tabel 4.5.**  
**Hasil Perhitungan Factor Daya sebelum dan Sesudah Pemasangan SAPF**

Pemasangan Shunt Active Power Filter	
Faktor Daya (Cos $\phi$ )	
Sebelum Pemasangan	Setelah Pemasangan
<b>0.89</b>	<b>0.98</b>

Dari tabel di atas dapat kita lihat faktor daya sebelum pemasangan 0.89 dan sesudah pemasangan menjadi 0.98.

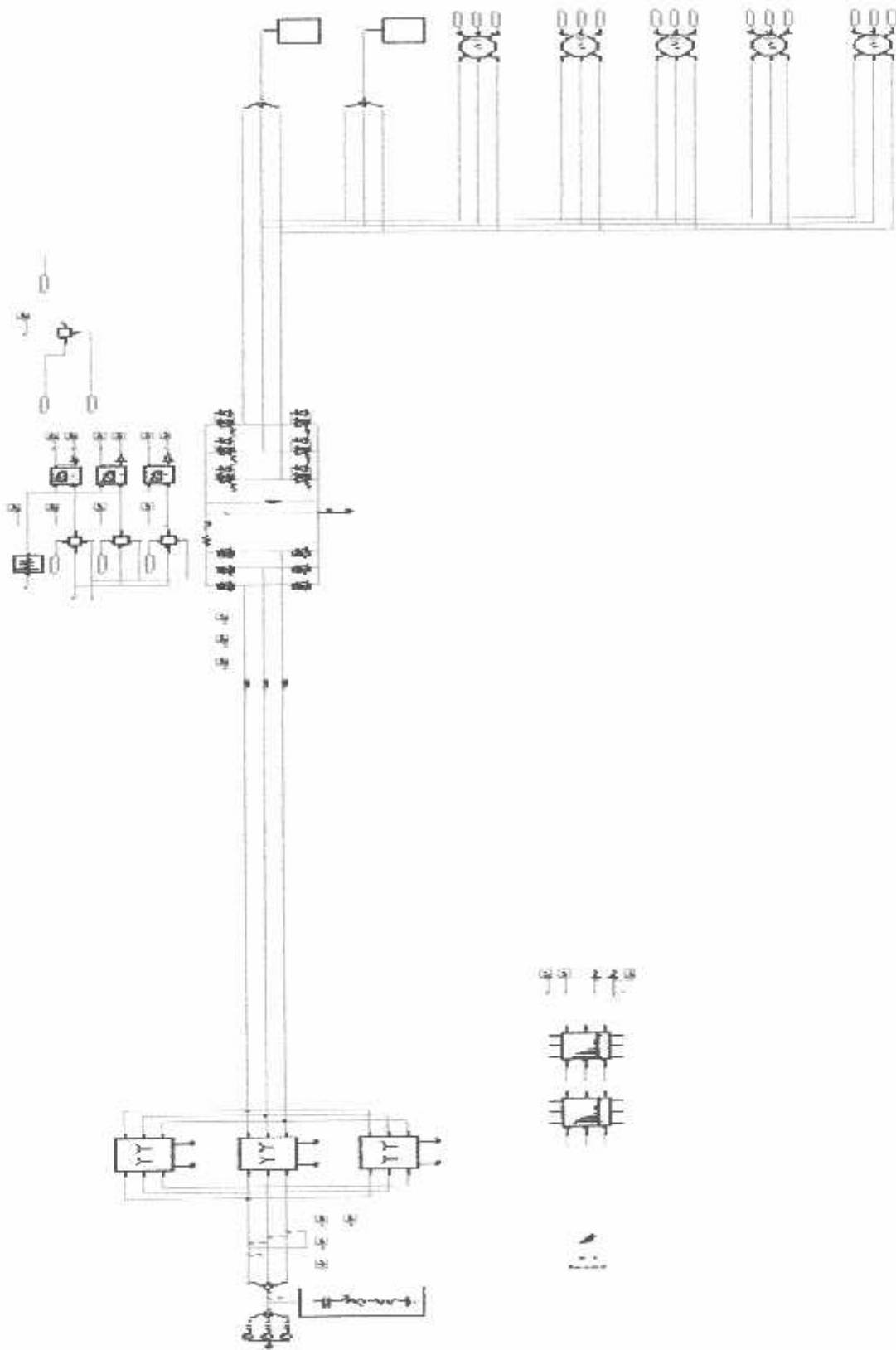
#### 4.5. Simulasi sebelum dan sesudah pemasangan *Shunt Active Power Filter*

##### 4.5.1. *Singli Line* dalam *PSCAD/EMTDC Power Simulation*



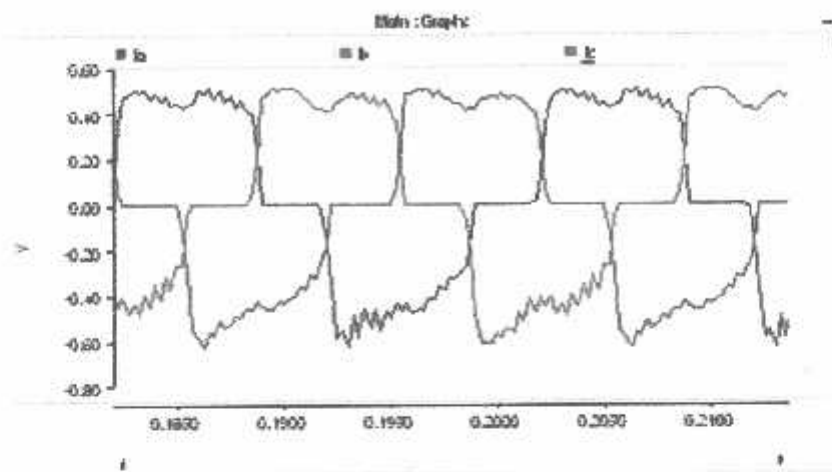
Gambar 4.2.  
Gambar *Single Line* Sebelum Pemasangan *SAPF*



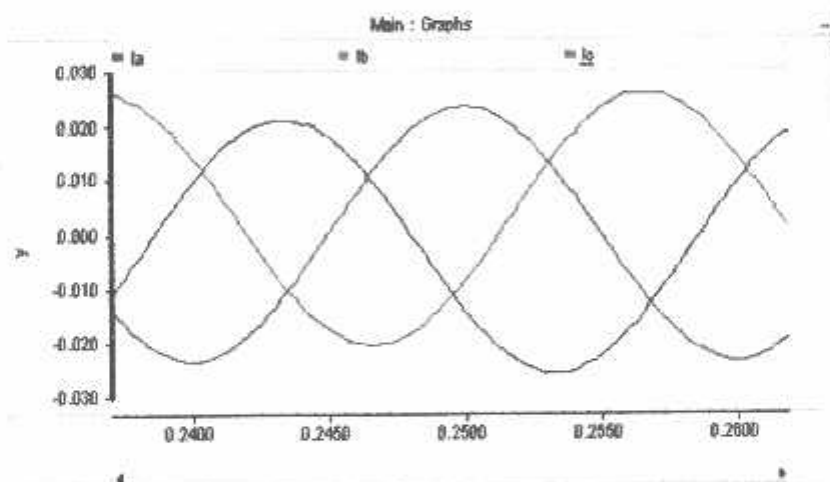


**Gambar 4.3.**  
**Gambar Single Line Setelah Pemasangan SAP**

#### 4.5.2. Bentuk Gelombang Arus Dalam Simulasi

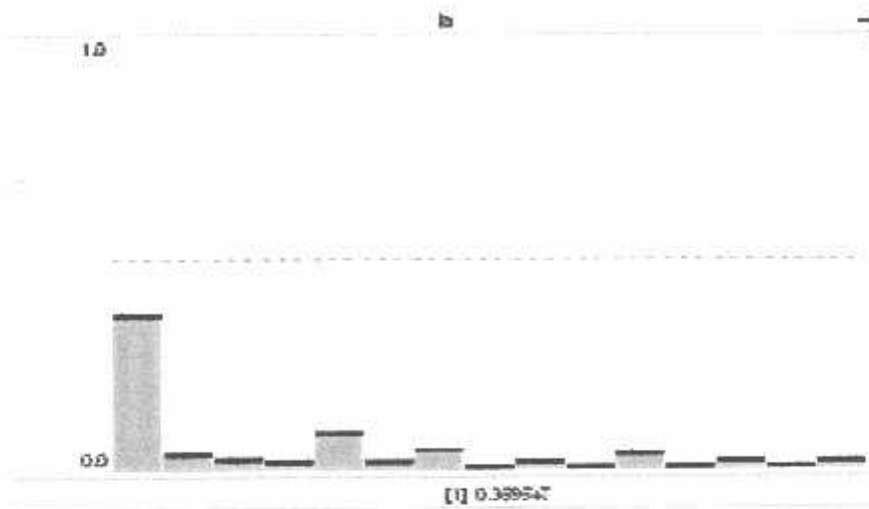


**Grafik 4.1.**  
**Bentuk Gelombang Arus Sebelum Pemasangan SAPF**

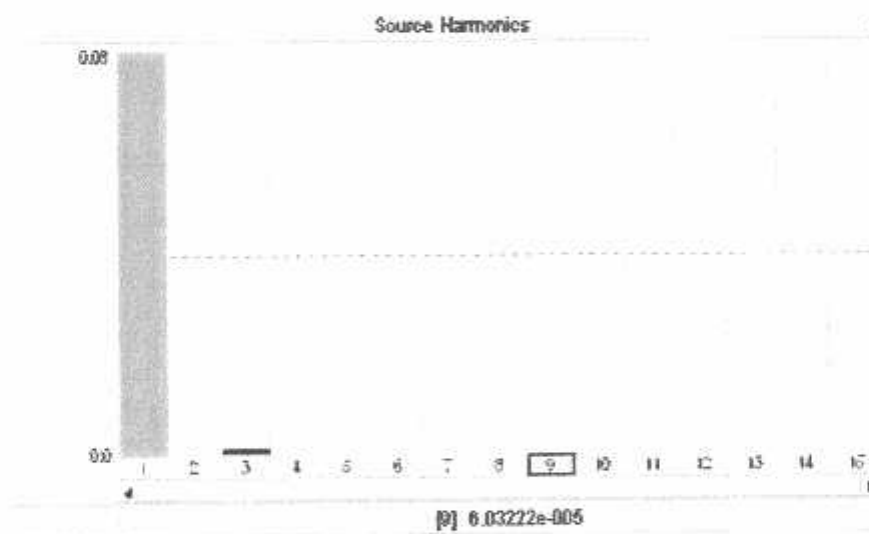


**Grafik 4.2.**  
**Bentuk Gelombang Arus Setelah Pemasangan SAPF**

### 4.5.3. Bentuk Spectrum Harmonisa Dalam Simulasi

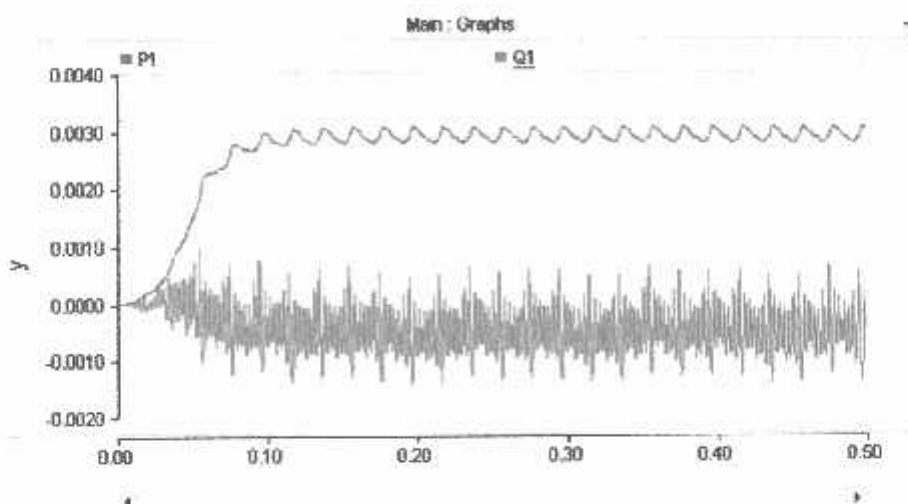


**Gambar 4.4.**  
Bentuk Spectrum Harmonisa Arus Sebelum Pemasangan *SAPF*

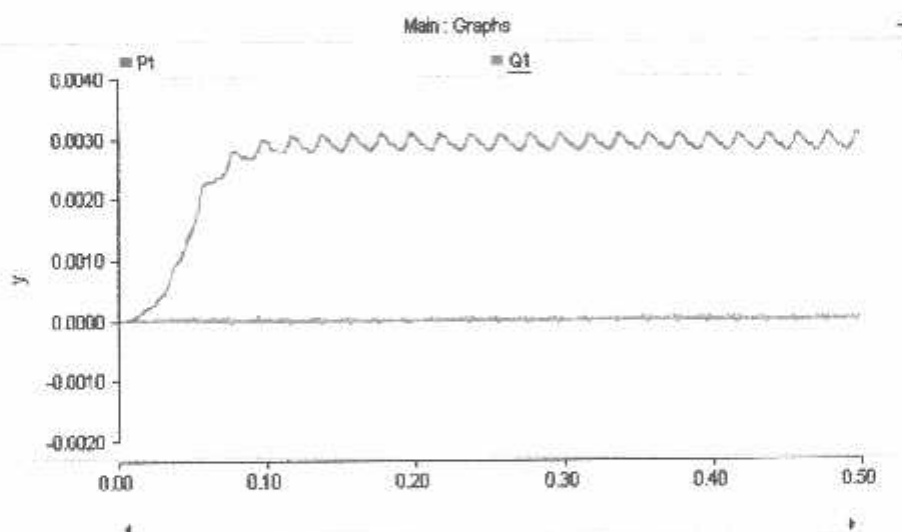


**Gambar 4.5.**  
Bentuk Spectrum Harmonisa Arus Setelah Pemasangan *SAPF*

#### 4.5.4. Faktor Daya Dalam Simulasi



**Grafik 4.3.**  
**Sebelum Pemasangan *SAPF***



**Grafik 4.4**  
**Setelah Pemasangan *SAPF***

## DAFTAR PUSTAKA

1. William D. Stevensen JR. "*desigen and Implementation Of Solid Power factor Corection*"
  2. Zuhail, "*Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*", PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1995
  3. J. Arrillaga, D.A. Bradley dan P.S. Brodger. 1985. "*Power System Harmonics*". John Wiley & Sons.
  4. Subrata De dan G. Bhuvaneswari. 2006. "*Investigations On the Impct of VAR Rating and Quality Factor On the effectiveness of a shunt active filter*". IEEE
  5. Basri, Hasan. 1997, "*Sistem Distribusi Daya Listrik*". Jakarta ISTN
  6. Akagi, Watanabe dan Arades. 2007. "*Instantaneous Power Theory and Aplicationto Power Conditioning*"
  7. Roger C.D., Mark F., McGragnaghan dan H. Wayne Beaty, "*Electrcal Power Sistem Quality*", Singapore: McGraw Hill Inc, 1999 p.20
  8. Dr. Shaahin Filizadeh "*Design and Implementation Of Fector PWM Control*"
  9. Dennis J.Hansen, "*Harmonis Diatortion, Engineering Stundart And Technical Support Departmen*, Salt Like City: Pacicorp,1998
-

# 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

**BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**


1. Nama : YOHANES ADIWIJAYA HAMAT
2. NIM : 05.12.009
3. Jurusan : TEKNIK ELEKTRO S-1
4. Konsentrasi : TEKNIK ENERGI LISTRIK
5. Judul Skripsi : **ANALISA PEMASANGAN SHUNT ACTIVE POWER FILTER UNTUK MEREDUKSI HARMONISA DAN MEMPERBAIKI FAKTOR DAYA MENGGUNAKAN PSCAD/EMTDC POWER SIMULATION DI PT.BUDI TEXINDO PRAKARSA SERANG- BANTEN**

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

Hari : Sabtu  
Tanggal : 20 Agustus 2011  
Dengan Nilai : 79,7 (B+)/*r*

**Panitia Ujian Skripsi**

**Ketua**

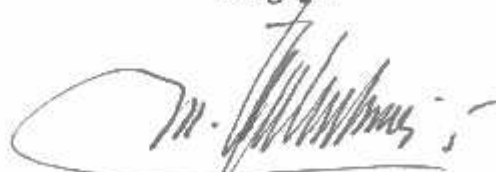
  
**( Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT )**  
NIP. Y. 1018800189

**Sekretaris**


  
**(Dr. Eng. Aryuanto Soetedjo, ST. MT )**  
NIP. Y. 1030800417

**Anggota Penguji**

**Penguji I**

  
**( Ir. Teguh Herbasuki, MT )**  
NIP. Y. 1038900209

**Penguji II**

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



## PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI

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

Hari : Sabtu  
Tanggal : 20 Agustus 2011

Telah dilakukan perbaikan skripsi oleh :

1. Nama : Yohanes Adiwijaya Hamat
2. NIM : 05.12.009
3. Jurusan : Teknik Elektro
4. Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
5. Judul Skripsi

**ANALISA PEMASANGAN SHUNT ACTIVE POWER FILTER UNTUK MEREDUKSI HARMONISA DAN MEMPERBAIKI FAKTOR DAYA MENGGUNAKAN PSCAD/EMTDC POWER SIMULATION DI PT.BUDI TEXINDO PRAKARSA SERANG-BANTEN**

No	Materi Perbaikan	Ket
1	Gambar 4.1. Disesuaikan Dengan Kondisi di Lapangan	
2	Gambar 4.2. dan 4.3. di Perbesar	
3	Ket.Gambar,Grafik dan Tabel di Perhatikan	
4	Tata Bahasa Kesimpulan diperbaiki	
5	Format Penulisan dan Daftar Pustaka	

Dosen Penguji I

Ir. Teguh Herbasuki, MT  
NIP. Y. 1038900209

Dosen Penguji II

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

Dosen Pembimbing I

Awan Uji Krismanto, ST. MT  
NIP. 198003012005011002

Dosen Pembimbing II

Ir. Choirul Soleh, MT  
NIP. Y. 1018800190





### 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

: Yohanes A.H


NIM

: 0512009

Perbaikan meliputi

- Tulisan keterangan gambar, grafik, tabel seharusnya dimana? harap disesuaikan dg. aturan?
- Harap dicheck daftar Pustaka?
- Harap kesimpulan disusun kembali tata bahasanya, agar dpt dimengerti oleh orang lain.
- Htl 46 → tabel diperbaiki!
- Gb 42 → harap diperbesar!
- Mengapa G1, G2, G3 dsb disusun tidak sesuai urutan pd. gambar 4.2.

Malang,

()



### 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 : Johannes A.H.  
NIM : 0512009  
Perbaikan meliputi :

- Gambar 4.1 diubah sesuai dg. kondisi yg dilakukan di lapangan.
- Pd. Kesimpulan dimasukkan pampatan filter dimana.
- Gambar 3.16 diperbaiki.
- Formas penelitian di cek.




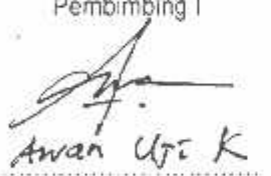
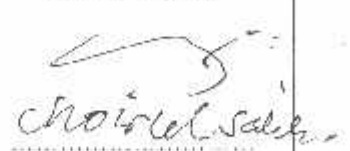
Malang, 30-08-2011

( \_\_\_\_\_ )



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

Konsentrasi : Teknik Energi Listrik/Teknik Elektronika/Teknik Komputer & Informatika\*)

1.	Nama Mahasiswa: <u>YOHANES ADINWIJAYA HAMAT</u>	Nim: <u>0512009</u>	
2.	Keterangan	Tanggal	
	Pelaksanaan	<u>8 Juli 2011</u>	
Waktu			
Tempat			
Ruang:			
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	<u>ANALISA PEMASANGAN UNIT ACTIVE POWER FILTER UNTUK MEREDUKSI HARMONISA DAN MEMPERBAIKI FAKTOR DAYA DI PT. BUDI TEKINDO PRAKARIA SERANG MENGGUNAKAN PICAD</u>	
5.	Perubahan Judul yang diusulkan oleh Kelompok Dosen Keahlian		
6.	Catatan:		
	Catatan:		
Persetujuan Judul Skripsi			
Disetujui, Dosen Keahlian I		Disetujui, Dosen Keahlian II	
			
Mengeahui, Ketua Jurusan		Disetujui, Calon Dosen Pembimbing ybs	
		Pembimbing I	Pembimbing II
<u>Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT</u> NIP. <u>018900189</u>		 <u>Awan Uti K</u>	 <u>Choirul Saleh</u>

Perhatian:

1. Keterangan: \*) Coret yang tidak perlu

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

Form S-3c



PT. BNI (PERSERO) MALANG  
BANK NIAGA MALANG

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

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

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunling) Fax. (0341) 553015 Malang 65145  
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417536 Fax. (0341) 417534 Malang

Malang, 16 Juli 2011

Nomor : ITN-372/I.TA/2/11  
Lampiran : -  
Perihal : BIMBINGAN SKRIPSI  
  
Kepada : Yth. Sdr./I. **AWAN UJI KRISMANTO, ST, MT**  
Dosen Institut Teknologi Nasional Malang

Dosen Pembimbing  
Jurusan Teknik Elektro S-1  
di  
Malang

Dengan hormat  
Sesuai dengan permohonan dan persetujuan dalam Proposal Skripsi  
Untuk Mahasiswa :

Nama : YOHANES ADIWJAYA. H  
Nim : 0512009  
Fakultas : Teknologi Industri  
Jurusan : Teknik Elektro S-1  
Konsentrasi : Teknik **ENERGI LISTRIK**

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

15 Juni 2011 s/d 15 Desember 2011

Sebagai satu syarat untuk menempuh ujian Sarjana Teknik,  
Jurusan Teknik Elektro S-1  
Demikian agar maklum dan atas perhatian serta bantuannya kami sampaikan terima  
kasih



Ketua Jurusan  
Teknik Elektro S-1

*Yusuf Ismail Nakhoda*  
**Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT**  
Nip. Y.1018300189

Tembusan Kepada Yth :

1. Mahasiswa Yang bersangkutan
2. Anmp
3. Corsat yang tidak perlu

Form. S 4a



PT. DNI (PESERO) MALANG  
BANK NIAGA MALANG

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

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

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

Malang, 16 Juli 2011

Nomor : ITN-373/I.TA/2/11  
Lampiran : -  
Perihal : BIMBINGAN SKRIPSI  
Kepada : Yth. Sdr./i. **IR. H. CHOIRUL SALEH, MT**  
Dosen Institut Teknologi Nasional Malang

Dosen Pembimbing  
Jurusan Teknik Elektro S-1  
di  
Malang

Dengan hormat  
Sesuai dengan permohonan dan persetujuan dalam Proposal Skripsi  
Untuk Mahasiswa :

Nama : YOHANES ADIWIJAYA. H  
Nim : 0512009  
Fakultas : Teknologi Industri  
Jurusan : Teknik Elektro S-1  
Konsentrasi : Teknik **ENERGI LISTRIK**

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

15 Juni 2011 s/d 15 Desember 2011

Sebagai satu syarat untuk menempuh ujian Sarjana Teknik,  
Jurusan Teknik Elektro S-1  
Demikian agar maklum dan atas perhatian serta bantuannya kami sampaikan terima  
kasih



Ketua Jurusan  
Teknik Elektro S-1

*(Signature)*  
**Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT**  
Nip. Y. 1018800189

Tembusan Kepada Yth :

1. Mahasiswa Yang Bersangkutan
2. Arsip
3. Coret yang tidak perlu

Form. S 4a



**PT. BUDI TEXINDO PRAKARSA**

**SURAT KETERANGAN**

**No. 01/IV/Pers/BTP/Ket/2011**

Yang bertanda tangan dibawah ini Pimpinan PT. Budi Texindo Prakarsa, yang beralamat di Jln. Pamarayan No. 142, desa Junti, Kecamatan Jawilar, Kab. Serang .Dengan ini memberikan keterangan yang sebenarnya bahwa :

NAMA : Yohanes Adiwijaya Hamat  
NIM : 0512009  
JURUSAN : TEKNIK ENERGI LISTRIK ( S-1 )  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG.  
( ITN. MALANG )

Nama tersebut diatas telah melaksanakan Observasi / Penelitian di - PT. Budi Texindo Prakarsa. Dari tanggal 01 April 2011 s/d 07 April 2011

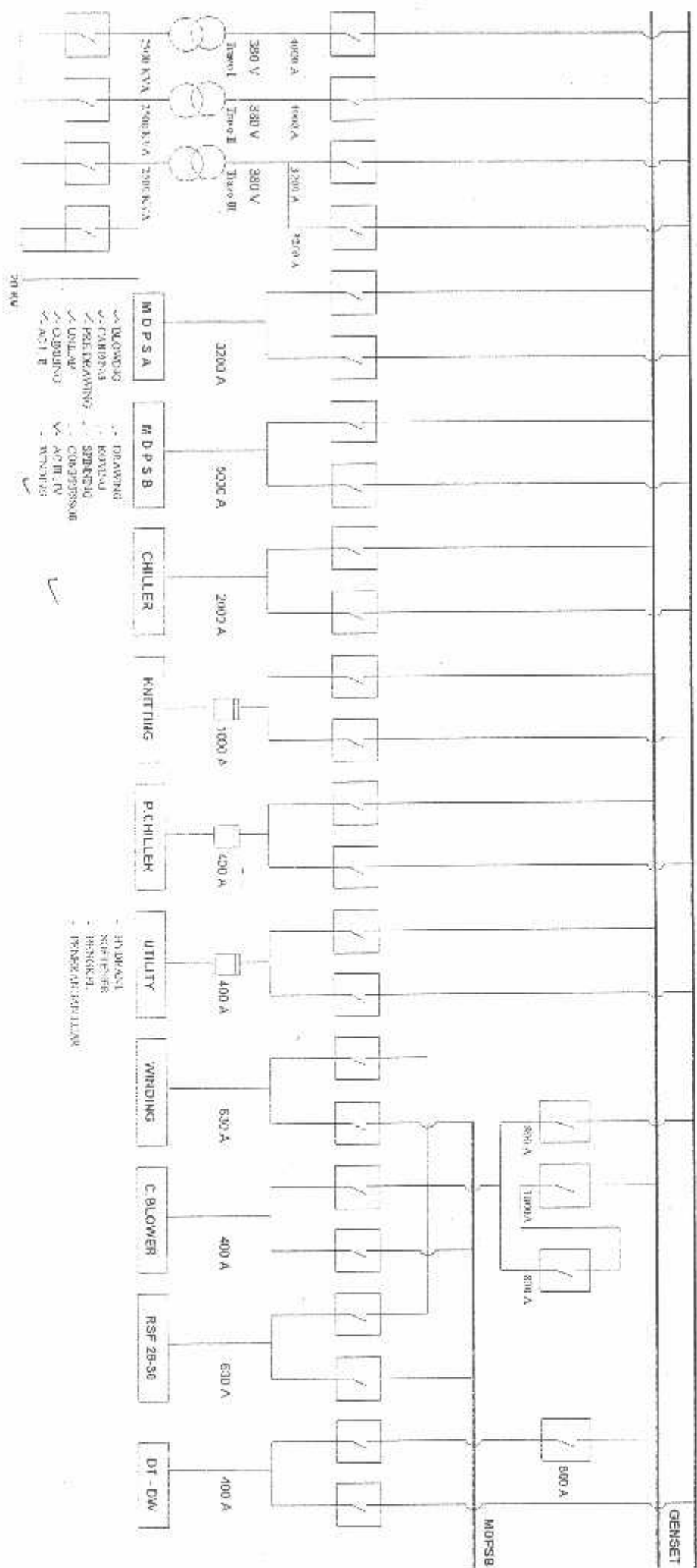
Demikian Surat Keterangan ini dibuat untuk digunakan sebagaimana mestinya .

Serang, 07 April 2011  
Kadiv. Personalia & Umum,



*Marsel Lewa*  
Marsel Lewa, SH

**INSTALASI TENAGA LISTRIK SPINNING I**  
**PT. BUDI TEXINDO PRAKARSA**  
 PANEL NBBK



6560 KVA

- 30 KV
- ✓ BLOWING
  - ✓ CARBON
  - ✓ PALE DRAWING
  - ✓ UNWIND
  - ✓ OIL BURNING
  - ✓ ACT. B
  - ✓ DRAWING
  - ✓ KOWAL
  - ✓ SPINNING
  - ✓ COMPRESSOR
  - ✓ ACT. TV
  - ✓ ACT. B

TTTTTTTT  
 TTTTTTTTTT

- Airas  
 - Coping  
 - 500 SP  
 - 1000 A. 10000

**DATA ACTUAL PEMAKAIAN LISTRIK**

**I. Berdasarkan Distribusi**

Bagian	Ampere ( A )	Pemakaian	
		KVA	Kw
		(A x 1.73 x 400) 1,000	( KVA x 0.94 )
<b>1. MDPSA ( Main Distribusi Panel Spinning A )</b>	<b>2,350</b>	<b>1,626</b>	<b>1,529</b>
1.1. Blowing	220	152	143
1.2. Carding	580	401	377
1.3. Pre Drawing	115	80	75
1.4. Unilap	100	69	65
1.5. Combing	325	225	211
1.6. AC Station I + FDP	605	419	394
1.7. AC Station II	310	215	202
1.8. Bale Press	95	66	62
<b>2. MDPSB ( Main Distribusi Panel Spinning B )</b>	<b>3,400</b>	<b>2,353</b>	<b>2,212</b>
2.1. Ring Spinning No. 1 - 25	1950	1,349	1,268
2.2. Winding	290	201	189
2.3. Compressor	300	208	195
2.4. Roving	300	208	195
2.5. Drawing	80	55	52
2.6. AC Station III	385	266	250
2.7. AC Station IV	95	66	62
<b>3. LVMDP ( Low Voltage Main Distribusi Panel )</b>	<b>2,500</b>	<b>1,730</b>	<b>1,626</b>
3.1. Chiller	1000	692	650
3.2. Ring Spinning No. 26 - 30	400	277	260
3.3. Central Blower	200	138	130
3.4. Pompa Chiller	300	208	195
3.5. DW , DT	250	173	163
3.6. Utility	100	69	65
3.7. Rajut	250	173	163
<b>Total</b>	<b>8,250</b>	<b>5,709</b>	<b>5,366</b>

**II. Rekapitulasi :**

Bagian	Ampere ( A )	Pemakaian	
		KVA	Kw
		(A x 1.73 x 400) 1,000	( KVA x 0.94 )
<b>1. Mesin - Mesin Produksi</b>	<b>4,610</b>	<b>3,190</b>	<b>2,999</b>
1.1. Blowing	220	152	143
1.2. Carding	580	401	377
1.3. Pre Drawing	115	80	75
1.4. Unilap	100	69	65
1.5. Combing	325	225	211
1.6. Drawing	80	55	52
1.7. Roving	300	208	195
1.8. Ring Spinning	2350	1,626	1,529
1.9. Winding	290	201	189
1.10. DW , DT	250	173	163
<b>2. Air Conditioning System</b>	<b>2,695</b>	<b>1,865</b>	<b>1,753</b>
2.1. Chiller	1000	692	650
2.2. Pompa Chiller	300	208	195
2.3. AC Station I + FDP	605	419	394
2.4. AC Station II	310	215	202
2.5. AC Station III	385	266	250
2.6. AC Station IV	95	66	62
<b>3. Mesin Pendukung</b>	<b>695</b>	<b>481</b>	<b>452</b>
3.1. Compressor	300	208	195
3.2. Central Blower	200	138	130
3.3. Bale Press	95	66	62
3.4. Utility	100	69	65
<b>4. Rajut</b>	<b>250</b>	<b>173</b>	<b>163</b>
<b>Total</b>	<b>8,250</b>	<b>5,709</b>	<b>5,366</b>

- Daya yang di butuhkan = 5,709 KVA
- Untuk Toleransi di bulatkan menjadi = 6,000 KVA
- Daya yang terpasang sekarang = 6,660 KVA
- Kelebihan daya terpasang = 660 KVA

Dep.Teknik, 07 April 2006



**INSTALLED POWER  
( NAME PLATE KW)**

**B. Rekapitulasi**

No	Mesin	Type	KW (Name Plate) Per mesin	Jumlah Mesin	Total KW	Total KW Name Plate	
						Max	Operational
<b>I. Mesin - Mesin Produksi</b>						<b>4,242.98</b>	<b>4,028.58</b>
1.	Blowing Jessi	Line AB Line C	3.3 4.5	2 1	260.84 6.60 4.50	271.94	271.94
2.	Carding	DK 706 DK 803 TC 07	12.625 17.725 17.82	30 1 1	378.75 17.725 17.820	414.30	414.30
3.	Pre Drawing	SB 2 SB 20	13.95 13.14	5 1	69.75 13.14	82.89	82.89
4.	Unilap	D 5/3, E30	13.0	5	65.00	65.00	65.00
5.	Combing	E 7 / 5 A E 66	6.53 5.10	24 2	156.72 10.20	166.92	166.92
6.	Drawing	RSB 951 RSB D40	11.10 11.11	10 1	111.00 11.11	122.11	122.11
7.	Roving	660 68i	30.11 45	13 1	391.43 45.00	436.43	436.43
8.	Ring Spinning	321 E 360	66.40 63.699	30 2	1,992.00 127.398	2,119.40	2,119.40
9.	Winding	7 - 7 7 - 2 7 - 2 ( Rwd ) 7 - 5 338 Schlaithorst	14.00 34.00 14.20 29.20 37.00	12 2 1 2 1	168.00 72.00 14.20 58.40 37.00	340.60	340.60
10.	Double Winder	023	2.2	2	4.40	4.40	0.00
11.	Double Twister	363	30.0	7	210.00	210.00	0.00
<b>II. Air Conditioning System</b>						<b>2,474.66</b>	<b>1,960.66</b>
1.	Chiller Cooling Tower Condenser water pump Chiller water pump	CVHE 660 LBC 800	433 22.0 22.0 37.0	3 3 3 3	1,299.00 66.00 66.00 111.00	1,542.00	1,028.00
2.	AC Station I + FDP	LUWA		1	392.175	392.18	392.18
3.	AC Station II	LUWA		1	222.71	222.71	222.71
4.	AC Station III	LUWA		1	255.70	255.70	255.70
5.	AC Station IV	LUWA		1	62.075	62.08	62.08
<b>III. Mesin Pendukung</b>						<b>558.80</b>	<b>462.80</b>
1.	Compressor	ZR75 ZR55	75 55	3 1	225.00 55.00	280.00	225.00
2.	Central Blower		30	5	150.00	150.00	120.00
3.	Bale Press	LUWA Kenkad Hor. Kenkad Ver.	15.40 22.0 11.0	2 1 1	30.80 22.00 11.00	63.80	52.80
4.	Utility				65.00	65.00	65.00
<b>IV. Knitting</b>						<b>423.00</b>	<b>262.00</b>
1.	Knitting	Machine Compressor		78 3	312.00 111.00	423.00	262.00
<b>Total KW</b>						<b>7,699.44</b>	<b>6,714.04</b>
Actual ( 80 % ) KW							5,371.23
Konversi ke KVA ( 0.94 )							5,714.08
Daya terpasang KVA							6,660.00