

**ANALISA PEMASANGAN PASIF FILTER UNTUK MEREDUKSI
HARMONISA PADA PT. SEKAR TANJUNG MENGGUNAKAN
SOFTWARE PSCAD/EMTDC**

SKRIPSI



**Disusun Oleh :
ANDIK SUHARTO
02.12.049**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2012**



LEMBAR PERSETUJUAN

**ANALISA PEMASANGAN PASIF FILTER UNTUK MEREDUKSI
HARMONISA PADA PT. SEKAR TANJUNG MENGGUNAKAN
SOFTWARE PSCAD/EMTDC**

SKRIPSI

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

**Disusun Oleh :
ANDIK SUHARTO
02.12.049**



**Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Elektro**

**Ir. YUSUF ISMAIL NAKHODA, MT
NIP.Y. 1018800189**

**Diperiksa dan disetujui,
Dosen Pembimbing I**

**Ir. TEGUH HERBASUKI, MT
NIP. Y. 1038900209**

**Diperiksa dan disetujui,
Dosen Pembimbing II**

**Ir. CHOIRUL SALEH, MT
NIP. Y. 1018800190**

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

SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS

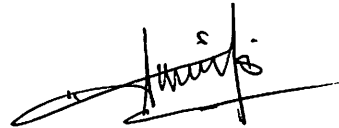
Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Andik Suharto
NIM : 02. 12. 049
Program Studi : Teknik Elektro
Konsentrasi : Energi Listrik S-1

Dengan ini menyatakan bahwa Skripsi yang saya buat adalah hasil karya sendiri, tidak merupakan plagiasi dari karya orang lain. Dalam Skripsi ini tidak memuat karya orang lain, kecuali dicantumkan sumbernya sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat, dan apabila di kemudian hari ada pelanggaran atas surat pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksinya.

Malang, 20 – Maret – 2012
Yang membuat Pernyataan,



Andik Suharto
02. 12. 049

ABSTRAKSI

ANALISA PEMASANGAN PASIF FILTER UNTUK MEREDUKSI HARMONISA PADA PT. SEKAR TANJUNG MENGGUNAKAN SOFTWARE PSCAD/EMTDC

(Andik Suharto, Nim 02.12.070, Teknik Elektro/ T.Energi Listrik S-1)
(Dosen Pembimbing : Ir. Teguh Herbasuki, MT, Ir. Choirul Saleh, MT)

Gangguan tegangan merupakan permasalahan kualitas daya yang sangat penting yang dihadapi oleh banyak pengguna industry. Gangguan tegangan meliputi naik dan turunnya tegangan sistem dan timbulnya harmonisa. Harmonisa dapat ditimbulkan oleh pensaklaran (switching) beban atau beban non-linier, karena setiap kali terjadi pensaklaran akan muncul pulsa-pulsa arus yang tidak teratur. Munculnya pulsa arus yang tidak teratur ini karena adanya spektrum harmonisa frekwensi, termasuk frekwensi dasar 50 Hertz dan kelipatannya. Untuk memenuhi kebutuhan atas permasalahan harmonisa yang dihadapi oleh PT Sekar Tanjung dengan sistem jaringan 20 kV, maka dilakukan pemasangan pasif filter. Sehingga pasif filter tersebut dapat mereduksi gangguan harmonisa arus. Pemodelan dari sistem dan simulasi profil harmonisa dengan dan tanpa pasif filter menggunakan software PSCAD/EMTDC pada bus-bus yang dipilih. Dari simulasi tersebut didapatkan bahwa total harmonic distortion (THD) masing-masing untuk arus.

Kata kunci : sistem distribusi, Pasif Filter, Harmonisa Arus

Voltage disturbance is the most important power quality problem faced by many industrial customers. Voltage disturbances include voltage sag, swell, spikes and harmonic. Harmonics are created by switching loads or nonlinear loads, because each time the current is switched on and off, a current pulse is created. The resulting pulsed waveform is made of a spectrum of harmonic frequencies, including 50Hz fundamental and multiples of it. To meet the demand for more efficient mitigation solution of harmonics problem faced by PT Sekar Tanjung, an industry with 20 kV power distribution system network, then performed the installation of pasif filters. So that the pasif filter can reduce the harmonic current disturbance. To model the system components and simulate the harmonics profile with and without pasif filter a PSCAD/EMTDC software were used on selected buses. The simulation results showed that the total harmonic distortion (THD) of current

Key words: distribution system, Pasif Filter, Current Harmonics

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 Ir Soeparno Djiwo, MT, selaku Rektor ITN Malang.
2. Bapak Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT, selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1.
3. Bapak Ir. Teguh Herbasuki, MT, selaku Dosen Pembimbing I.
4. Bapak Ir. Choirul Saleh, MT, selaku Dosen Pembimbing II.
5. Bapak Awan Uji Krismanto, ST, MT.
5. Orang Tua tercinta yang selalu memberikan semangat, motivasi serta do'a.
6. Teman-temanku yang telah memberikan bantuan, motivasi dan do'a.
7. 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,

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN.....	i
SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
ABSTRAKSI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR GRAFIK	x
DAFTAR TABEL	xi

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah	3
1.3. Tujuan	3
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Metode Penelitian	4

BAB II SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK

2.1. Sistem Distribusi Tenaga Elektrik	5
2.1.1. Sistem Distribusi Primer (JTM).....	6
2.1.2. Sistem Distribusi Sekunder (JTR)	6
2.2. Struktur Jaringan Distribusi Tenaga Listrik	6
2.2.1. Sistem Jaringan Distribusi Radial.....	7
2.2.1.1. Sistem Radial Pohon.....	8
2.2.1.2. Sistem Radial Dengan <i>Tie</i> dan <i>Switch</i> Pemisah .	8
2.2.1.3. Sistem Radial Dengan Pembagi <i>Phasa Area</i>	9
2.2.1.4. Sistem Radial Dengan Beban Terpusat	10
2.2.2. Sistem Jaringan Distribusi Tertutup (<i>Loop</i>)	10
2.2.3. Sistem Jaringan Distribusi <i>Mesh</i>	11

2.3. Daya Dalam Sistem Tenaga	11
2.3.1. Daya Nyata (<i>Real Power</i>).....	11
2.3.2. Daya Reaktif (<i>Reactive Power</i>)	12
2.3.3. Daya Semu (<i>Apparent Power</i>).....	12
2.4. Faktor Daya	12

BAB III TEORI DASAR HARMONISA

3.1. Pengertian Harmonisa.....	15
3.2. Sumber Harmonisa.....	16
3.2.1. Konverter.....	16
3.2.2. Tanur Busur Listrik (<i>Electric Arc Furnace</i>).....	17
3.2.3. Transformator.....	17
3.2.4. Mesin-Mesin Berputar.....	17
3.2.5. Pengaruh Harmonisa Pada Komponen Peralatan Listrik....	18
3.2.6. Pengaruh Harmonisa Pada Motor.....	19
3.2.7. Pengaruh Harmonisa Pada Faktor Daya.....	20
3.2.8. Pengaruh Harmonisa Pada Sistem Telekomunikasi.....	21
3.2.9. Pengaruh Harmonisa Pada Sistem Tegangan.....	22
3.3. Standar Harmonisa.....	22
3.4. Indeks Harmonisa	24
3.4.1. <i>Total Harmonic Distortion</i> (THD).....	24
3.5. Resonansi	24
3.6. Filter Harmonisa	25
3.6.1. Tipe Filter	26
3.6.2. Jenis-Jenis <i>Filter Pasive</i>	27
3.6.3. <i>Single-Tuned Filter</i>	29
3.6.4. <i>Double-Tuned Filter</i>	30
3.6.5. <i>High Pass Filter</i>	31
3.7. Penentuan Orde Harmonisa	33
3.8. Algoritma Program.....	37

3.8.1. Algoritma Pemecahan Program Secara Umum	37
3.9. Flowchart	38
3.9.1. Flowchart Pemecahan Masalah Secara Umum.....	38

BAB IV HASIL DAN ANALISA HASIL

4.1. Keadaan awal PT. Sekar Tanjung.....	39
4.2. <i>Single Line</i> Sistem Pabrik.....	40
4.3. Data Pengukuran Pada PT. Sekar Tanjung.....	41
4.4. Solusi Perbaikan dengan <i>Software PSCAD/EMTDC V.4.2</i> <i>Power Simulation</i>	41
4.5. Memulai <i>PSCAD/EMTDC Power Simulation</i>	43
4.5.1 Simulasi sebelum dan sesudah pemasangan <i>Passive Filter</i>	46
4.5.2 Bentuk Gelombang Arus Dalam Simulasi Sebelum Pemasangan Filter Pasive.....	48
4.5.3 Bentuk Spectrum Harmonisa Dalam Simulasi Sebelum Pemasangan Filter Pasif.....	49
4.5.4 Bentuk Gelombang Arus Dalam Simulasi Setelah Pemasangan Filter Pasive.....	50
4.5.5 Bentuk Spectrum Harmonisa Dalam Simulasi Setelah Pemasangan Filter Pasif.....	51
4.6. Tabel Perbandingan Sebelum dan Sesudah Pemasangan <i>Passive Filter</i>	52

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan.....	53
----------------------	----

DAFTAR PUSTAKA	54
-----------------------------	----

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Jaringan Distribusi Tegangan Menengah , Tegangan Rendah dan Sambungan Rumah ke Pelanggan.....	5
Gambar 2.2.	Sistem Jaringan Distribusi Radial.....	7
Gambar 2.3.	Sistem Jaringan Distribusi Radial Dengan <i>Tie</i> Dan <i>Switch</i> Pemisah	8
Gambar 2.4.	Jaringan Distribusi Radial Dengan <i>Phasa Area</i>	9
Gambar 2.5.	Jaringan Distribusi Radial Dengan Beban Terpusat	10
Gambar 2.6.	Sistem Jaringan Distribusi <i>Loop</i>	10
Gambar 2.7.	Sistem Jaringan Distribusi <i>Mesh</i>	11
Gambar 2.8.	Fasor Arus Pada Rangkaian AC.....	13
Gambar 2.9.	Fasor Daya Pada Rangkaian AC.....	13
Gambar 3.1.	Bentuk Gelombang Frekuensi Dasar	15
Gambar 3.2.	Bentuk Gelombang Frekuensi Dasar Dan Frekuensi Harmonisa..	16
Gambar 3.3.	Bentuk Gelombang Resultan dari Frekuensi Dasar dan Harmonisanya.....	16
Gambar 3.4.	Perbandingan Sinyal Listrik Sinusoidal Terhadap Sinyal Listrik Berharmonisa	20
Gambar 3.5.	Rangkaian Distribusi yang Sederhana	22
Gambar 3.6.	Pemasangan Filter Harmonisa	25
Gambar 3.7.	Bentuk Fisik <i>Harmonic Filter Active</i>	26
Gambar 3.8.	Bentuk Fisik <i>Harmonic Filter Pasive</i>	27
Gambar 3.9.	Jenis-Jenis Filter Fasif yang Umum.	27
Gambar 3.10.	(a) Rangkaian Filter Penalaan Tunggal, (b) Grafik Impedansi Filter Terhadap Frekuensi	30
Gambar 3.11.	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.....	31

Gambar 3.12. High Pass filter	
(a) Orde satu (b) Orde dua (c) Orde tiga (d) Type C.....	32
Gambar 3.13. Rangkaian Ekivalen Jaringan Sistem Tenaga Listrik	33
Gambar 3.14. Rangkaian Pengganti Untuk $n > 1$	34
Gambar 3.15. Elemen Tak Linier Sebagai Sumber Arus Harmonisa	34
Gambar 4.1. <i>Single Line</i> PT.Sekar Tanjung	40
Gambar 4.2. Tampilan Utama <i>Software</i> PSCAD/EMTDC	43
Gambar 4.3. Tampilan Master Library	44
Gambar 4.4. Tampilan Modul Utama	44
Gambar 4.5. Tampilan <i>Single Line</i> Distribusi Tenaga Listrik PT. Sekar Tanjung dalam <i>PSCAD</i>	45
Gambar 4.6. Gambar <i>Single Line</i> Sebelum Pemasangan <i>Passive Filter</i>	46
Gambar 4.7. Gambar <i>Single Line</i> Setelah Pemasangan <i>Passive Filter</i>	47

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1.	Bentuk Gelombang Arus Sebelum Pemasangan <i>Passive Filter</i>	48
Grafik 4.2.	Bentuk Spectrum Harmonisa Arus Sebelum Pemasangan Filter <i>Passive</i>	49
Grafik 4.3.	Bentuk Gelombang Arus Setelah Pemasangan <i>Passive Filter</i>	50
Grafik 4.4.	Bentuk Spectrum Harmonisa Arus Setelah Pemasangan <i>Passive Filter</i>	51

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1.	Voltage Distortion Limits	23
Tabel 3.2.	Standar untuk arus harmonisa.....	23
Tabel 3.3.	Orde Harmonisa Berdasarkan Urutan	36
Tabel 4.1.	Data Beban PT. Sekar Tanjung.....	39
Tabel 4.2.	Data Beban PT. Sekar Tanjung.....	41
Tabel 4.3.	Hasil Perhitungan Sebelum dan Sesudah Pemasangan <i>Passive Filter</i>	52

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pada bidang kelistrikan kualitas daya elektrik yang baik mutlak diperlukan untuk menjamin kontinuitas pelayanan energi listrik. Pada dasarnya salah satu parameter kualitas daya yang baik adalah tegangan dan frekuensi yang stabil. Di Indonesia khususnya untuk sistem distribusi dan pemakaian pada sisi konsumen listrik yang bersumber dari PLN memiliki tegangan 220 volt dan frekuensi 50 Hz.

Tegangan dan frekuensi yang tidak stabil bukan saja disebabkan oleh permasalahan pada sisi perusahaan listrik, tetapi peralatan-peralatan listrik yang digunakan konsumen juga dapat mempengaruhi kualitas daya elektrik. Terdapat banyak aspek yang dapat mempengaruhi berkurangnya kondisi daya. Salah satu aspek tersebut adalah munculnya harmonisa pada sistem tenaga listrik.

Timbulnya harmonisa pada sistem tenaga listrik salah satunya disebabkan oleh adanya alat-alat yang mempunyai impedansi tidak linier. Contoh alat-alat yang mempunyai impedansi tidak linier adalah sebagai berikut :

- a. Penyearah (*Rectifier*).
- b. Inverter, pengubah arus searah menjadi arus bolak-balik.
- c. Pengubah frekuensi (*Frequency Converter*) untuk mengatur putaran motor listrik.
- d. Tungku busur listrik.
- e. Lampu dengan pelepasan gas (*Gas Discharge Lamp*).

Dengan timbulnya harmonisa maka kualitas listrik yang disalurkan menjadi menurun, ini karena bentuk gelombang dari tegangan atau arus tidak lagi sinusoida murni namun sudah mengalami distorsi. Harmonisa 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 elektronis sehingga mampu mendeteksi level arus yang secara otomatis akan memutus arus apabila arus rms terlalu tinggi.

Usaha – usaha untuk mereduksi harmonisa yang muncul perlu dilakukan agar kualitas daya elektrik menjadi lebih baik dan terjamin. Salah satu cara untuk mereduksi harmonisa adalah dengan pemasangan filter pasif. Penelitian ini akan di lakukan pemasangan filter pasif di PT. Sekar Tanjung untuk mengurangi harmonisa yang muncul.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka permasalahan yang timbul adalah :

- Bagaimana cara mereduksi gangguan yang menimbulkan harmonisa yang terjadi pada sistem.
- Bagaimana cara menentukan *Passive Filter* yang akan di gunakan.
- Bagaimana hasil perbandingan antara sebelum dan sesudah dipasang *Passive Filter*.

1.3. Tujuan Pembahasan

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis seberapa besar harmonisa yang di hasilkan sistem, serta hasil setelah pemasangan *Passive Filter* tersebut dalam meminimalisir harmonisa hingga dapat memenuhi ketentuan THD (*Total Harmonic Distortion*) ≤ 5 %. Dengan menggunakan software PSCAD dapat dibandingkan secara simulasi antara sebelum dan sesudah pemasangan *Passive Filter*.

1.4. Batasan Masalah

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

- a. Analisis dilakukan pada suatu sistem yang terdistorsi harmonisa.

- b. Pengujian penentuan THD harmonisa menggunakan Clamp On Meter merk HIOKI.
- c. Simulasi menggunakan program PSCAD.
- d. Menunjukkan hasil simulasi sebelum dan sesudah dipasang *Passive Filter*.
- e. Tidak membahas sistem proteksi.
- f. Analisa tidak membahas masalah ekonomi.

1.5. Metodologi Penelitian

Metode yang digunakan dalam penyelesaian ini adalah:

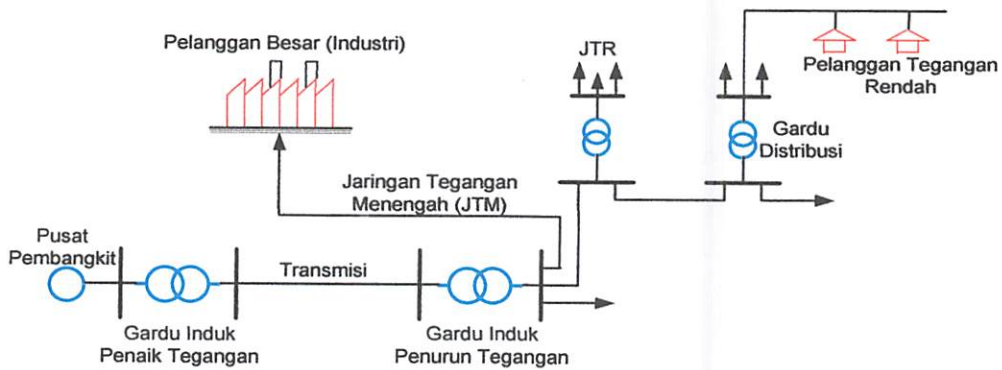
1. Studi literature, yaitu kajian pustaka untuk mempelajari teori-teori yang terkait melalui literature yang ada, yang berhubungan dengan permasalahan. Studi literature ini meliputi hal-hal sebagai berikut:
 - Studi tentang harmonisa (definisi, sumber, pengaruh dan standar)
 - Studi tentang *Passive Filter*
2. Pengumpulan data
Melakukan pengukuran dan pengambilan data pembebanan pada PT. Sekar Tanjung.
3. Melakukan simulasi dari data yang ada kedalam Blok simulasi dengan bantuan PSCAD
4. Menampilkan hasil simulasi.
5. Menarik kesimpulan.

BAB II

SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK

2.1. Sistem Distribusi Tenaga Elektrik

Sistem tenaga listrik merupakan suatu sistem terpadu yang terbentuk oleh hubungan-hubungan peralatan dan komponen-komponen listrik. Sistem tenaga listrik ini mempunyai peranan utama untuk menyalurkan energi listrik yang dibangkitkan oleh generator dari pembangkit ke konsumen yang membutuhkan energi listrik.



Gambar 2-1
Jaringan Distribusi Tegangan Menengah (JTM), Jaringan Distribusi Tegangan Rendah (JTR) dan Sambungan Rumah ke Pelanggan [2]

Jaringan setelah keluar dari G.I. biasanya disebut jaringan distribusi. Setelah tenaga listrik disalurkan melalui jaringan distribusi primer maka kemudian tenaga listrik diturunkan tegangannya dalam gardu-gardu distribusi menjadi tegangan menengah dan tegangan rendah, kemudian disalurkan ke industri-industri, rumah-rumah atau pelanggan (konsumen).

Dalam pendistribusian tenaga listrik ke konsumen, tegangan yang digunakan bervariasi tergantung dari jenis konsumen yang membutuhkan. Untuk konsumen industri biasanya digunakan tegangan menengah 20 kV, sedangkan untuk konsumen perumahan digunakan tegangan rendah 220/380 Volt, yang merupakan tegangan siap

pakai untuk peralatan-peralatan rumah tangga. Dengan demikian maka sistem distribusi tenaga listrik dapat diklasifikasikan menjadi dua bagian sistem yaitu :

1. Sistem distribusi primer (Jaringan Tegangan Menengah)
2. Sistem distribusi sekunder (Jaringan Tegangan Rendah)

Pengklasifikasian sistem distribusi tenaga listrik menjadi dua ini berdasarkan tingkat tegangan distribusinya.

2.1.1. Sistem Distribusi Primer (Jaringan Tegangan Menengah)

Tingkat tegangan yang digunakan pada sistem distribusi primer adalah meliputi tegangan 20 KV, oleh karena itu sistem distribusi ini sering disebut dengan sistem distribusi tegangan menengah.

2.1.2. Sistem Distribusi Sekunder (Jaringan Tegangan Rendah)

Tingkat tegangan yang digunakan pada sistem distribusi sekunder adalah tegangan rendah yaitu 127/220 Volt atau 220/380 Volt, oleh karena itu sistem distribusi ini sering disebut dengan sistem distribusi tegangan rendah.

Sistem jaringan yang digunakan untuk menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik tersebut dapat menggunakan sistem satu fasa dengan dua kawat maupun sistem tiga fasa dengan empat kawat.

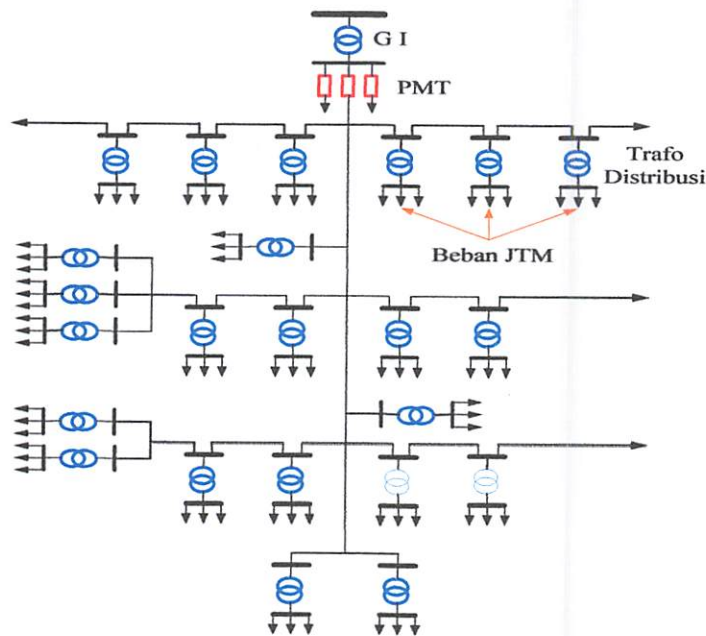
2.2. Struktur Jaringan Distribusi Tenaga Listrik^[2]

Ada beberapa bentuk jaringan yang umum dipergunakan untuk menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik yaitu :

1. Sistem jaringan distribusi radial.
2. Sistem jaringan distribusi rangkaian tertutup (*loop*)
3. Sistem jaringan distribusi *mesh*.

2.2.1. Sistem Jaringan Distribusi Radial

Bentuk jaringan ini merupakan bentuk dasar yang paling banyak digunakan dan yang paling sederhana. Sistem ini dikatakan radial karena dari kenyataan bahwa jaringan ini ditarik secara radial dari gardu induk ke pusat-pusat beban atau konsumen yang dilayaninya. Sistem ini terdiri dari saluran utama (*main feeder*) dan saluran cabang (*lateral*) seperti pada gambar 2-2.



Gambar 2-2
Sistem Jaringan Distribusi Radial ^[2]

Pelayanan tenaga listrik untuk suatu daerah beban tertentu dilaksanakan dengan memasang transformator disebarkan titik pada jaringan yang sedekat mungkin dengan daerah beban yang dilayani. Untuk daerah beban yang menyimpang jauh dari saluran utama maupun saluran cabang, maka akan ditarik lagi saluran tambahan yang dicabangkan pada saluran tersebut.

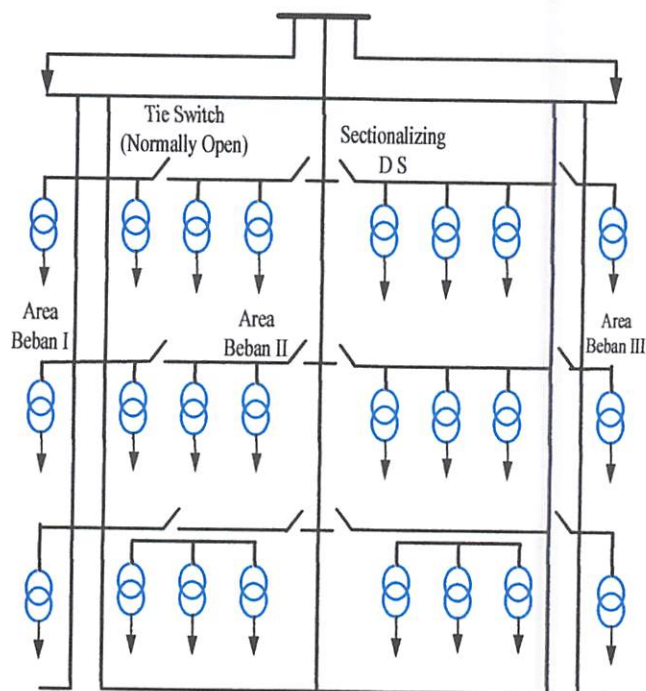
Kelemahan yang dimiliki oleh sistem radial adalah jatuh tegangan yang cukup besar dan bila terjadi gangguan pada sistem akan mengakibatkan jatuhnya sebagian atau bahkan keseluruhan beban sistem.

2.2.1.1. Sistem Radial Pohon

Sistem radial jaringan pohon ini merupakan bentuk yang paling dasar dari sistem jaringan radial. Saluran utama (*main feeder*) ditarik dari suatu gardu induk sesuai dengan kebutuhan kemudian dicabangkan melalui saluran cabang (*lateral feeder*), selanjutnya dicabangkan lagi melalui saluran anak cabang (*sub-lateral feeder*). Ukuran dari masing-masing saluran tergantung dari kerapatan arus yang ada pada sistem. Dari gambar 2-2, *main feeder* merupakan saluran yang dialiri arus terbesar, selanjutnya arus mengecil pada tiap cabang tergantung dari besarnya beban.

2.2.1.2. Sistem Radial dengan *Tie* dan *Switch* Pemisah

Sistem ini merupakan pengembangan dari sistem radial pohon, untuk meningkatkan keandalan sistem saat terjadinya gangguan maka *feeder* yang terganggu akan dilokalisir sedangkan area yang semula dilayani oleh *feeder* tersebut pelayanannya dialihkan pada *feeder* yang tidak terganggu. Sistem radial dengan *Tie* dan *Switch* Pemisah dapat dilihat pada gambar 2-3.

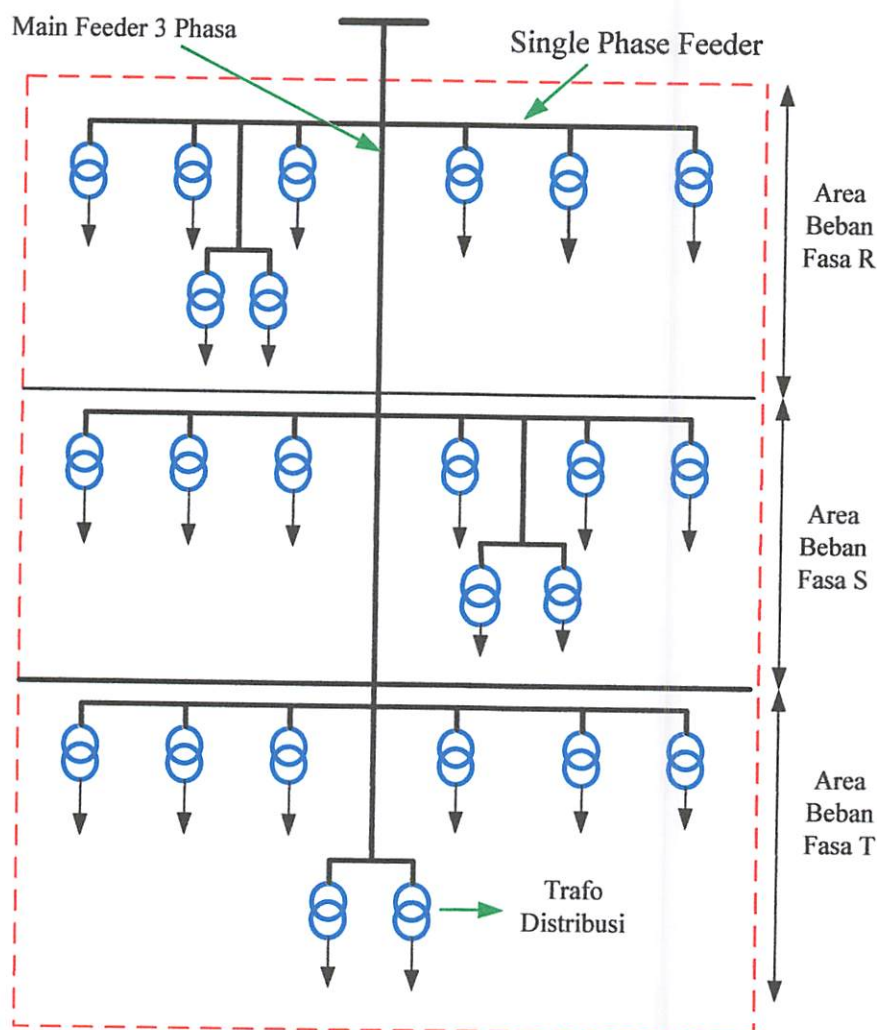


Gambar 2-3

Sistem Jaringan Distribusi Radial Dengan *Tie* dan *Switch* Pemisah ^[3]

2.2.1.3. Sistem Radial dengan Pembagian *Phasa Area*

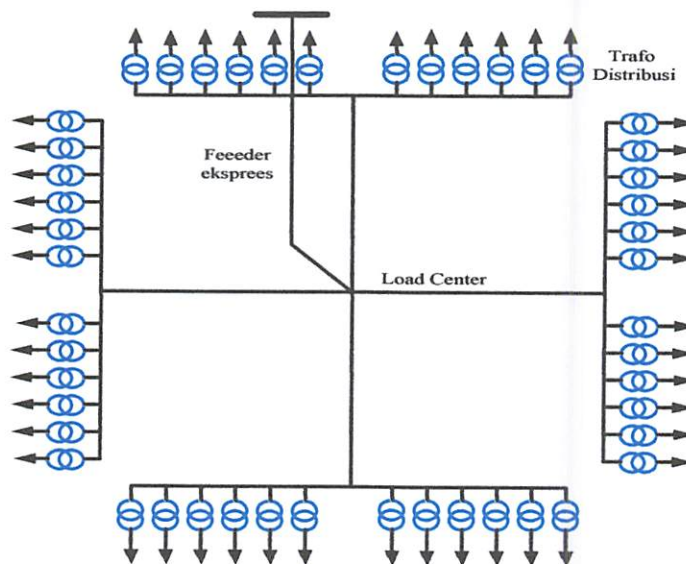
Pada bentuk ini masing-masing fasa dari jaringan bertugas untuk melayani daerah beban yang berlainan. Bentuk ini akan dapat menimbulkan kondisi sistem tiga fasa yang tidak seimbang (simetris), bila digunakan pada daerah beban yang baru dan belum mantap pembagiannya. Contoh dari sistem jaringan ini dapat dilihat pada gambar 2-4.



Gambar 2-4
Jaringan Distribusi Radial Dengan Phasa Area^[5]

2.2.1.4. Sistem Radial Dengan Beban Terpusat

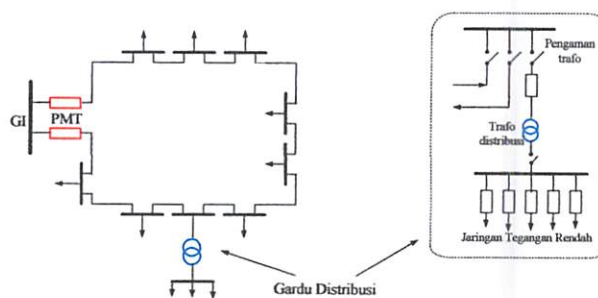
Bentuk dari sistem ini mensuplai daya dengan menggunakan *main feeder* yang disebut *express feeder* langsung ke pusat beban, dan dari titik pusat beban ini dikirim ke beban menggunakan *back feeder* secara radial seperti terlihat pada gambar 2-5.



Gambar 2-5
Jaringan Distribusi Radial Dengan Beban Terpusat^[5]

2.2.2. Sistem Jaringan Distribusi Tertutup (Loop)

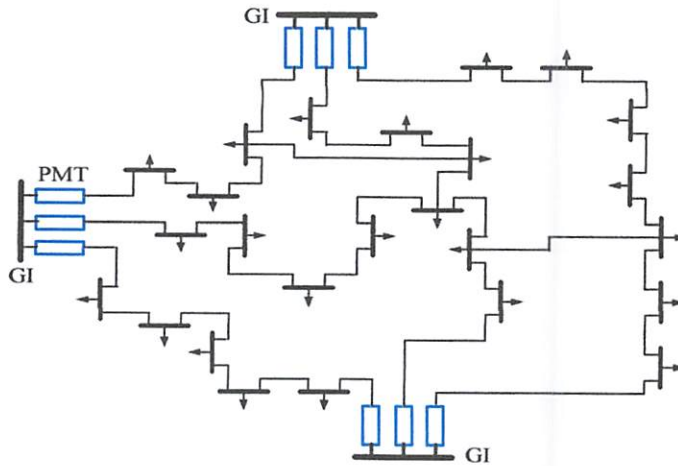
Sistem ini disebut jaringan distribusi *loop* karena saluran primer yang menyalurkan daya sepanjang daerah beban yang dilayani membentuk suatu rangkaian *loop*, seperti terlihat pada gambar 2-6.



Gambar 2-6
Sistem Jaringan Distribusi Loop^[2]

2.2.3. Sistem Jaringan Distribusi Mesh

Jaringan Distribusi *Mesh* merupakan jaringan yang strukturnya kompleks, dimana kelangsungan penyaluran dan pelayanannya diutamakan. Struktur jaringan ini umumnya digunakan pada jaringan tegangan rendah yang kepadatan bebannya cukup tinggi.



Gambar 2-7
Sistem Jaringan Distribusi Mesh [2]

2.3. Daya Dalam Sistem Tenaga [7]

Dalam sistem tenaga listrik, pembangkit-pembangkit tenaga listrik harus mampu menyediakan tenaga listrik kepada pelanggan sesuai dengan permintaan beban listrik yang ada, dan hal yang harus diperhatikan adalah sistem yang tetap (konstan). Dalam hal ini tegangan dan frekuensi harus tetap konstan karena berhubungan dengan daya.

Daya listrik yang dibangkitkan dikenal dengan istilah :

2.3.1. Daya Nyata (Real Power)

Daya nyata dinyatakan dalam persamaan :

$$P = |V| |I| \cos \theta \dots\dots\dots(2.1)$$

Daya nyata untuk beban 3 fasa seimbang

$$P = \sqrt{3} |V_{jala-jala}| |I_{jala-jala}| \cos \theta \dots\dots\dots(2.2)$$

2.3.2. Daya Reaktif (*Reactive Power*)

Daya reaktif adalah daya yang timbul karena adanya pembentukan medan magnet pada beban-beban induktif (KVAR).

Daya reaktif dinyatakan dalam persamaan :

$$Q = |V| |I| \sin \theta \dots\dots\dots(2.3)$$

Daya reaktif untuk beban 3 fasa seimbang :

$$Q = \sqrt{3} |V_{jala-jala}| |I_{jala-jala}| \sin \theta \dots\dots\dots(2.4)$$

2.3.3. Daya Semu (*Apparent Power*)

Daya semu dinyatakan dalam persamaan :

$$S = |V| |I| \dots\dots\dots(2.5)$$

Daya semu untuk beban 3 fasa seimbang :

$$S = \sqrt{3} |V| |I| \dots\dots\dots(2.6)$$

2.4. Faktor Daya^[6]

Sebagian besar peralatan memerlukan dua komponen arus. Kedua komponen arus tersebut adalah sebagai berikut :

a. Arus yang menghasilkan daya kerja, yaitu arus yang dikonversikan oleh peralatan menjadi kerja, umumnya dalam bentuk panas, cahaya dan daya mekanik. Satuan daya kerja yang dihasilkan adalah Watt.

b. Arus magnetisasi, juga disebut wattless, reaktif, adalah arus yang diperlukan peralatan untuk menghasilkan fluks pada pengoperasian peralatan elektromagnetis. Tanpa arus magnetisasi, energi tidak akan mengalir melalui trafo atau menembus celah udara pada motor induksi, daya reaktif yang dihasilkan diukur dalam satuan VAR.

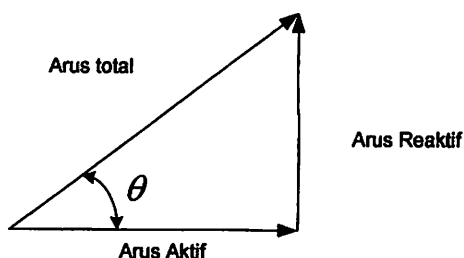
Fasor diagram kedua komponen tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.8 dan 2.9. Gambar ini memperlihatkan penjumlahan secara vektoris dari arus aktif dan arus reaktif yang menghasilkan arus total. Yang dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$I_t (\text{ arus total}) = \sqrt{(\text{ arus aktif})^2 + (\text{ arus reaktif})^2}$$

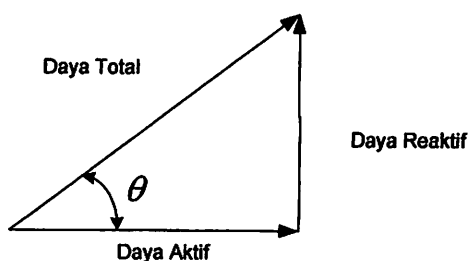
$$I_t = \sqrt{(I \cos \theta)^2 + (I \sin \theta)^2} \dots\dots\dots(2.7)$$

Pada suatu tegangan V, daya aktif, daya reaktif dan daya total adalah sebanding dengan arus dan dinyatakan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Daya Total}(VA) &= \sqrt{(\text{daya aktif})^2 + (\text{daya reaktif})^2} \\ VI &= \sqrt{(VI \cos \theta)^2 + (VI \sin \theta)^2} \dots\dots\dots(2.8) \end{aligned}$$



Gambar 2-8. Fasor arus pada rangkaian ac ^[6]



Gambar 2-9. Fasor daya pada rangkaian ac ^[6]

Dalam penghitungan daya, faktor daya memegang peranan yang sangat penting. Faktor daya merupakan ukuran kualitas daya yang dikirim dari sumber menuju beban. Faktor daya bervariasi antara 0 sampai dengan 1. Faktor daya yang baik adalah yang nilainya mendekati satu.

Secara umum faktor daya dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{Faktor daya} = \frac{\text{Daya rata-rata}}{(\text{Tegangan rms})(\text{arus rms})} \dots\dots\dots(2.9)$$

atau bisa dirumuskan sebagaimana perumusan berikut:

Faktor daya (PF) = cosinus sudut antara daya aktif dan daya total = $\cos \theta$

Faktor daya = (daya aktif/daya total) = kW/kV(210)

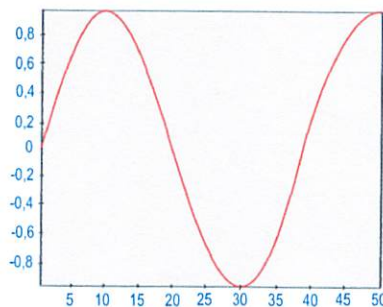
BAB III

TEORI DASAR HARMONISA

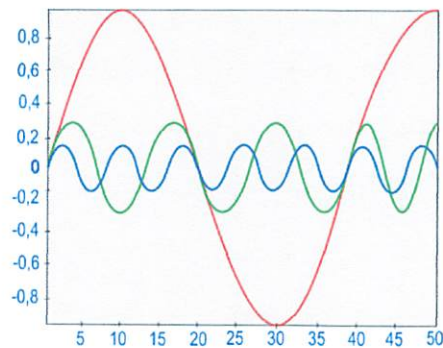
3.1. Pengertian Harmonisa

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 3-1 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 3-2 sehingga terbentuk gelombang cacat yang merupakan jumlah resultan antara gelombang murni sesaat dengan gelombang harmonisanya seperti tampak pada gambar 3-3.

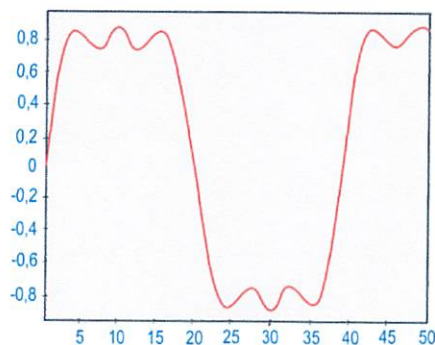


Gambar 3-1.
Bentuk Gelombang Frekuensi Dasar



Gambar 3-2.

Bentuk Gelombang Frekuensi Dasar Dan Frekuensi Harmonisa



Gambar 3-3.

Bentuk Gelombang Resultan Dari Frekuensi Dasar dan Harmonisanya

3.2. Sumber Harmonisa

3.2.1. Konverter

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

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

3.2.2. 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.

3.2.3. 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.

3.2.4. 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.

3.2.5. 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.

3.2.6. Pengaruh Harmonisa Pada Motor

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.

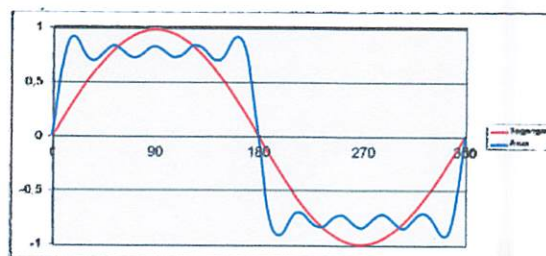
- *Beda fasa*

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.

3.2.7. Pengaruh Harmonisa Pada Faktor Daya

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 3-4, tetapi untuk tegangannya masih berbentuk sinusoidal dan tidak terdapat beda fasa.



Gambar 3-4.

Perbandingan Sinyal Listrik Sinusoidal Terhadap Sinyal Listrik Berharmonisa

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

$$F_{p,total} = \frac{P}{V_{rms} \times I_{rms}} \dots\dots\dots(3.1)$$

$$= \frac{P}{V_{rms} \times I_{rms} \sqrt{1 + \left(\frac{THD.f}{100\%}\right)^2}} \dots\dots\dots(3.2)$$

$$= \frac{P}{V_{rms} \times I_{rms}} \times \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{THD.f}{100\%}\right)^2}} \dots\dots\dots(3.3)$$

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).

$$F_{p,disp} = \frac{P}{V_{rms} \times I_{rms}} \dots\dots\dots(3.4)$$

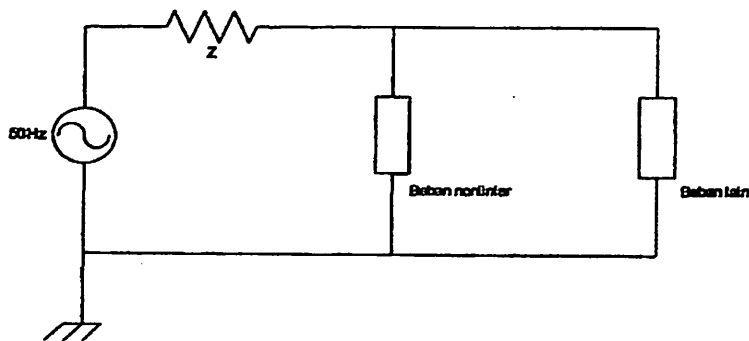
$$F_{p,dist} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{THD.f}{100\%}\right)^2}} \dots\dots\dots(3.5)$$

3.2.8. 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.

3.2.9. Pengaruh Harmonisa Pada Sistem Tegangan

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



Gambar 3-5.
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.

3.3. Standar Harmonisa

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 3-1.
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 3-2.

Tabel 3-2.
Standar Untuk Arus Harmonisa

I_{sc}/I_L	orde harmonisa dalam % terhadap I_L				
	<11	$11 \leq h \leq 17$	$17 \leq h \leq 23$	$23 \leq h \leq 3$	$35 \leq h$
$<20^*$	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.

3.4. Indeks Harmonisa

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

3.4.1. 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:

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^N V_n^2}}{V_1} \dots\dots\dots(3.6)$$

dimana:

V_n = komponen harmonisa

V_1 = komponen fundamental

k = komponen harmonisa maksimum yang diamati

3.5. 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.

$$V_h = Z_h \cdot I_h \dots\dots\dots(3.7)$$

Atau

$$I_h = Y_h \cdot V_h \dots\dots\dots(3.8)$$

dimana

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

Z_h : adalah matrik impedansi harmonisa sistem,

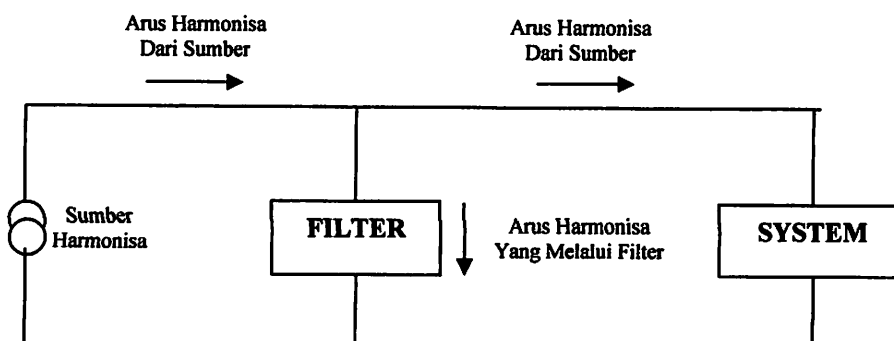
I_h : adalah representasi arus harmonisa beban pada bus yang terhubung, dan

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 3.9. Impedansi harmonisa memainkan peranan penting dalam sistem distribusi tenaga listrik khususnya ketika resonansi terjadi dalam sistem.

3.6. 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 3-6.
Pemasangan Filter Harmonisa

3.6.1. Tipe Filter

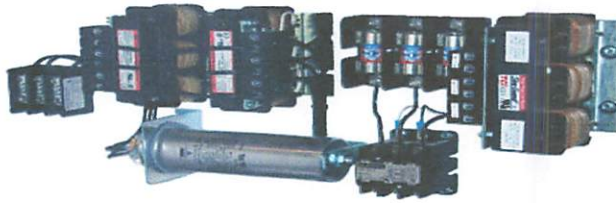
Ada dua tipe dasar dari filter yaitu aktif dan pasif. Filter aktif ini dapat bekerja untuk mengeliminasi timbulnya harmonisa dalam suatu sistem tenaga listrik 3 fasa, baik dengan kawat netral maupun tidak. Filter aktif ini bekerja dengan cara mengkompensasi arus harmonisa yang timbul pada sistem tenaga 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 3-7.

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.



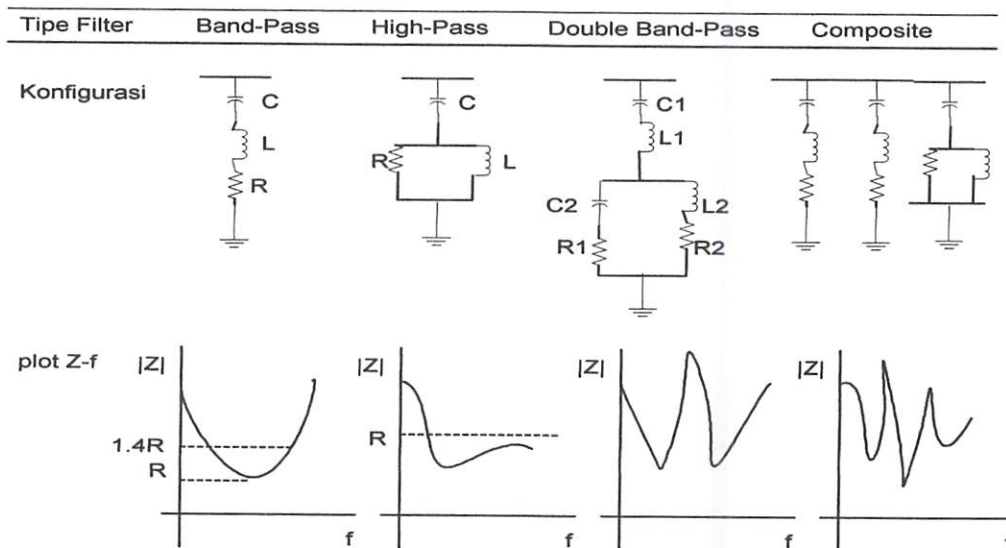
Gambar 3-8.

Bentuk Fisik *Harmonic Filter Pasive*

3.6.2. Jenis-Jenis Filter Pasif

Gambar 3-8 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 3-9.

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.

3.6.3. 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 :

$$Z(\omega) = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) \dots\dots\dots(3.9)$$

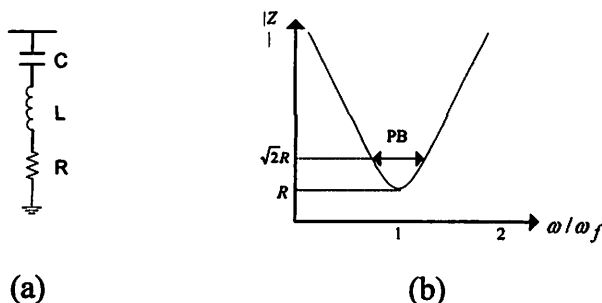
Rangkaian filter ini mempunyai impedansi yang rendah pada frekuensi resonansinya. Sebuah shunt filter dikatakan ditala pada sebuah frekuensi jika pada frekuensi tersebut reaktansi induktif dan kapasitifnya sama dengan nol.

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.

$$Q = \frac{X_0}{R} \dots\dots\dots(3.10)$$

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



Gambar 3-10.

(a)Rangkaian Filter Penalaan Tunggal (b) Grafik Impedansi Filter Terhadap Frekuensi

Seperti ditunjukkan pada Gambar 3-9, *passband* (PB) filter didefinisikan sebagai batas frekuensi filter sama dengan resistansinya, yaitu sudut impedansinya sebesar 45° dan impedansi sama dengan $\sqrt{2}R$. Hubungan Q dan PB dinyatakan sebagai :

$$Q = \frac{\omega_0}{PB} \dots\dots\dots(3.11)$$

dengan ω_0 adalah frekuensi sudut penalaan dalam rad/sec.

3.6.4. Double-Tuned Filter

Sebuah impedansi ekuivalen dari dua buah filter penalaan tunggal ditunjukkan pada Gambar 3-10.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 :

$$C_1 = C_a + C_b \dots\dots\dots(3.12)$$

$$C_2 = \frac{C_a C_b (C_a + C_b)(L_a + L_b)^2}{(L_a C_a - L_b C_b)^2} \dots\dots\dots(3.13)$$

$$L_1 = \frac{L_a L_b}{L_a + L_b} \dots\dots\dots(3.14)$$

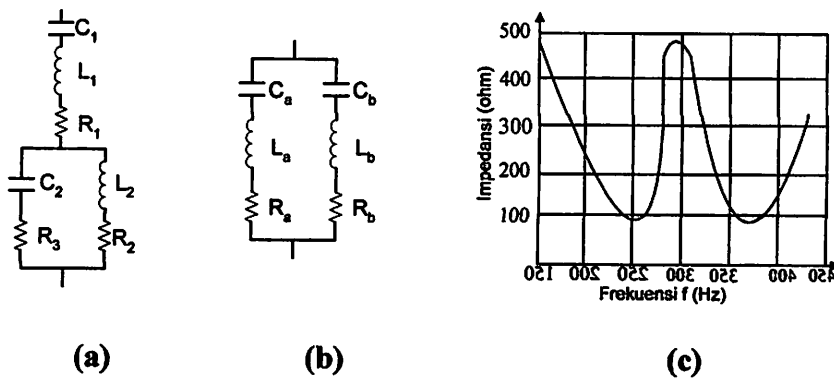
$$L_2 = \frac{(L_a C_a - L_b C_b)^2}{(C_a + C_b)^2 (L_a + L_b)^2} \dots\dots\dots(3.55)$$

$$R_2 = R_a \left[\frac{a^2(a - X^2)}{(a + aX^2)^2(1 + X^2)} \right] + R_b \left[\frac{a - X^2}{(1 + aX^2)^2(1 + X^2)} \right] \dots\dots\dots(3.16)$$

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

dengan

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



Gambar 3-11.
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

3.6.5. High Pass Filter

Sebuah high pass filter memiliki beberapa kelebihan antara lain :

- a. High pass filter tidak terlalu peka terhadap perubahan suhu, perubahan frekuensi,

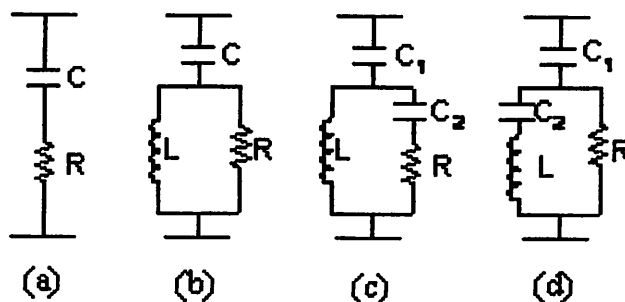
toleransi komponen dari pabrik dan rugi-rugi dari kapasitor.

- 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 3-12.

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.

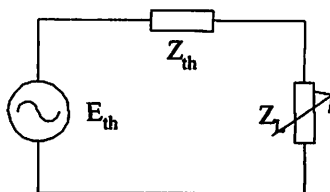
3.7. Penentuan Orde Harmonisa

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 3-13. 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 :

$$E_{th} = E_m \sin n(\omega t) \dots\dots\dots(3.17)$$



Gambar 3-13.

Rangkaian Ekuivalen Jaringan Sistem Tenaga Listrik

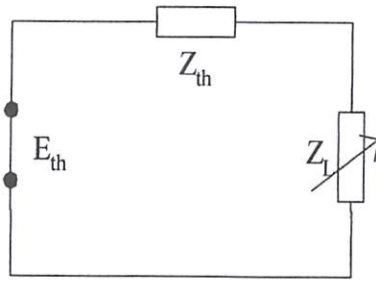
Arus yang diserap oleh komponen tak linier adalah :

$$i(t) = \sum_{n=1}^{\infty} I_n \sin(\omega_n t + \phi_n) \dots\dots\dots(3.18)$$

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

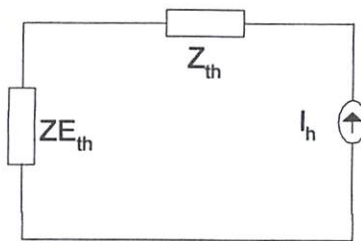
$$i(t) = \sum_{n=2}^{\infty} I_n \sin(\omega_n t + \phi_n) \dots\dots\dots(3.19)$$

sehingga rangkaian penggantinya adalah sebagai berikut :



Gambar 3-14.
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 3-15.
Elemen Tak Linier Sebagai Sumber Arus Harmonisa

Misalkan :

$$i_n(t) = -i(t) = - \sum_{n=2}^{\infty} I_n \sin(\omega_n t + \phi_n) \dots\dots\dots(3.20)$$

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

$$i_n(t) = I_n \sin(\omega_n t - \theta_n) \dots\dots\dots(3.21)$$

Rangkaian pengganti dapat dilihat pada gambar 3-15. 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.

$$I_R(t) = I_1 \sin \omega t + I_3 \sin 3\omega t + I_5 \sin 5\omega t + \dots \dots\dots(3.22)$$

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.

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

$$I_T(t) = I_R\left(t - 2\frac{T}{3}\right) \dots\dots\dots(3.24)$$

Dalam persamaan penjumlahan harmonisa :

$$I_R(t) = \sum_{n=1}^{\infty} I_n \sin(\omega_n t) \dots\dots\dots(3.25)$$

$$I_S(t) = \sum_{n=1}^{\infty} I_n \sin\left(\omega_n t - \frac{2\pi n}{3}\right) \dots\dots\dots(3.26)$$

dengan :

$$\frac{2\pi n}{3} = \begin{cases} \frac{2\pi}{3}, n = 1,4,7,10,13, \dots \\ -\frac{2\pi}{3}, n = 2,5,8,11,14, \dots \\ 0, n = 3,6,9,12,15, \dots \end{cases} \dots\dots\dots(3.27)$$

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

$$I_n^{(0,1,2)} = A^{(-1)} I_n^{(a,b,c)} \dots\dots\dots(3.28)$$

dengan :

$$A^{(-1)} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \dots\dots\dots(3.29)$$

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

Sehingga dapat diperoleh suatu tabel urutan harmonisa:

Tabel 3-3.
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 3-3, 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.

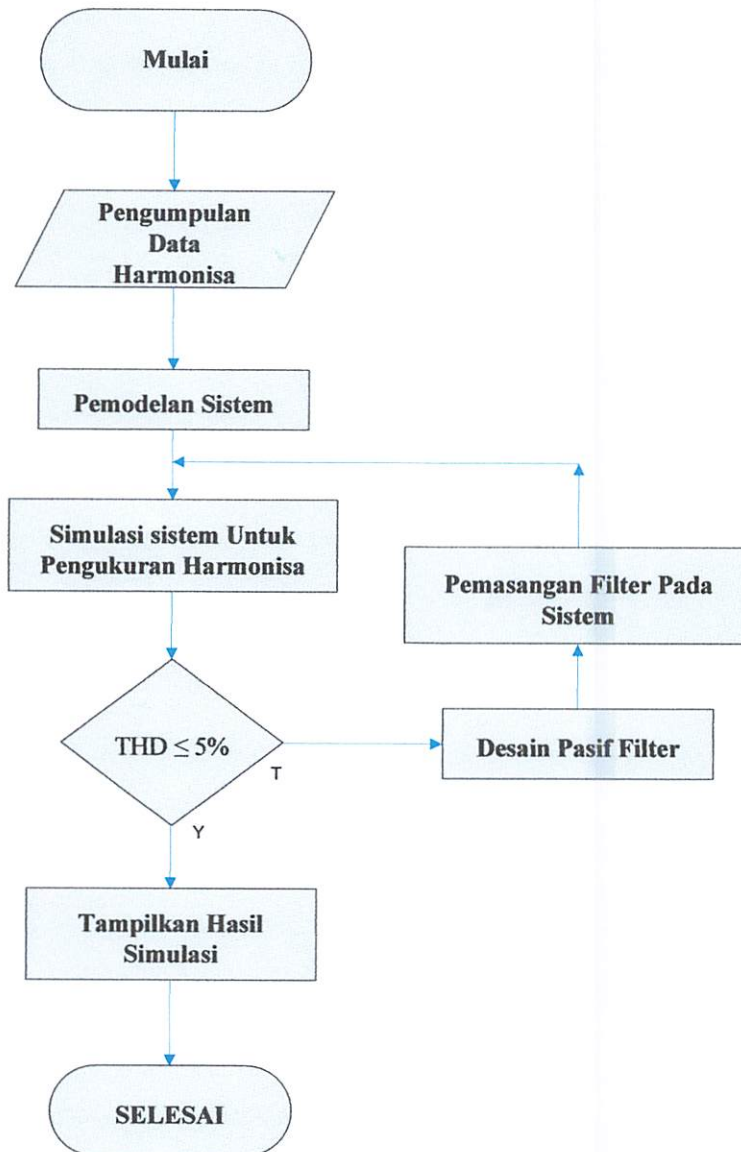
3.8. ALGORITMA PROGRAM

3.8.1. Algoritma Pemecahan Program Secara Umum

1. Mulai
2. Pengumpulan data harmonisa
3. Pemodelan sistem
4. Simulasi sistem untuk pengukuran harmonisa
5. Cek parameter $THD \leq 5\%$ ya atau tidak
6. Pemasangan Filter Pasive pada sistem
7. Tampilkan hasil simulasi
8. Selesai

3.9. FLOWCHART

3.9.1. Flowchart Pemecahan Masalah Secara Umum



Flowchart Pemasangan Pasif Filter menggunakan PSCAD/EMTDC

BAB IV


HASIL DAN ANALISA HASIL

4.1. Keadaan Awal PT. Sekar Tanjung

DATA SUMBER PABRIK :

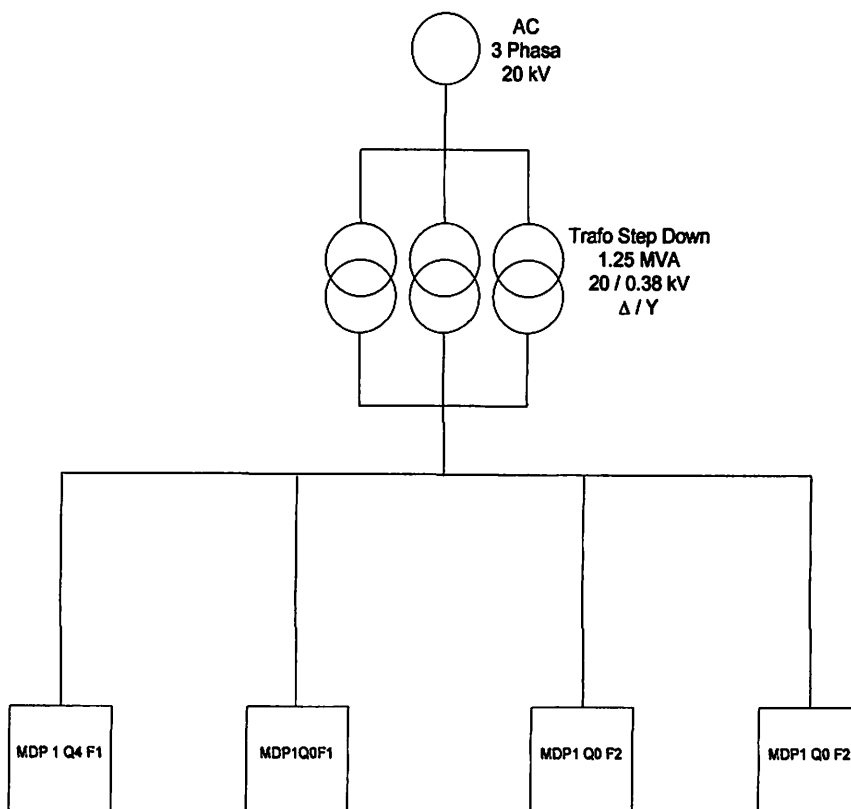
Daya : 20 kV
Tegangan : 220 / 380 V
Arus : 1.045 A
Frekuensi : 50 Hz
Hubungan : Y
Jumlah Fasa : 3
Faktor Daya : 0.85
Kelas Isolasi : H

TABEL 4-1.
Data Sumber Pada PT.Sekar Tanjung

 SEKAR TANJUNG Dairy Industry	DATA TRAF0 1, 2 & 3
Name Plate	
Daya	1.25 MVA
Tipe Konstruksi	Outdoor / Indoor
Tegangan Primer / Sekunder	20 kV / 380 kV
Arus Primer / Sekunder	46.188 A / 2309.40 A
Hubungan	Δ / Y
Frekuensi	50 Hz
Volume Minyak	1.115 L
Impedansi	6 %

4.2. *Single Line* Sistem Pabrik

Untuk mensimulasi sistem pabrik dalam *PSCAD/EMTDC 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. Sekar Tanjung**

4.3. Data Pengukuran Pada PT. Sekar Tanjung

Tabel 4-2
DATA BEBAN PT. SEKAR TANJUNG

NAMA MESIN	TYPE	JUMLAH MESIN	ARUS (Ampere)			ARUS HARMONIS (%)			DATA									
			R	S	T	R	S	T	Kw			Kva			Cos φ			
									R	S	T	R	S	T	R	S	T	
MDP 1 Q4	Tube Chiller1	PAS-277 3-25	3	512	568	538	6.5	6.7	5.2	284	292	323	315	315	334	0.89	0.9	0.87
	Utility1	PAS-277 3-25	15	143	98.4	102	10.2	9.3	9.1	115.3	134	120	184	203	156	0.79	0.85	0.85
MDP 1 Q0	Danone	-	12	280	350	344	16.5	18.5	19.5	160	155	150	230	227	220	0.82	0.83	0.82
	Utility 2	-	9	102	131	91.8	7.7	49.5	55	51.2	66.2	58.3	59.6	69.2	70.3	0.81	0.84	0.81
	Filling 2	TCA A150 ml	16	88	95	105	8.4	8.3	8.2	79.2	84.3	85	87.5	91.3	92.3	0.85	0.83	0.81
MDP 2 Q0	Filling 1	TBA/9 125 ml	10	93.2	145.3	122	7.35	8.3	9.4	36.3	32.4	68.9	78	81.3	83.2	0.79	0.82	0.89
	Athscupco	-	5	142	89.2	126	8.1	7.8	7.5	80.2	79.3	77.4	72.6	92.3	89.3	0.84	0.85	0.83
	Chiller Lama	-	3	88	105	94	6.7	6.2	6.9	280	225	271	304	263	310	0.86	0.71	0.85
	Mesin CIP	-	1	142	124	98	6.44	7.2	7.5	280	215	264	302	253	209	0.81	0.83	0.78
	CIP FM	-	1	93	125	143	13.4	15.6	19.5	117	123	152	188	204	154	0.78	0.84	0.79
	CIP Proses	-	1	340	324	374	6.7	12.6	15.6	49.5	57	53.2	59.3	65.3	67.2	0.85	0.81	0.82
	Pompa Sumer	-	1	324	367	344	7.7	9.8	7.7	183	164	155	310	384	224	0.82	0.85	0.79
	Pasteuriser	-	1	340	347	363	8.1	15.6	12.5	75.2	68.4	77.4	85	72.6	87.1	0.79	0.79	0.85
	Mesin UHT	-	1	296	320	323	6.5	19.5	14.3	66.49	68.4	77.5	89	73.5	89.4	0.84	0.84	0.82
	Colling Tower	-	1	298	324	361	10.5	8.5	5.2	98	105	132	141	163	231	0.86	0.85	0.84
Pompa	-	2	99	106	109	9.7	9.1	6.8	298	324	361	7.5	7.1	7.6	0.79	0.85	0.81	



4.4. Solusi Perbaikan dengan *Software PSCAD/EMTDC V.4.2 Power Simulation*

PSCAD (*Power System Computer Aided Design*) merupakan software yang mendukung simulasi, desain dan verifikasi semua tipe system tenaga listrik. Software ini memberikan fasilitas untuk studi dan analisis dalam bidang elektronika daya, kualitas daya, proteksidan perencanaan peralatan yang mendukung kinerja system tenaga listrik. Dibandingkan dengan software lain dengan tujuan sama, PSCAD memiliki kecepatan dan akurasi yang lebih baik serta lebih mudah di gunakan.

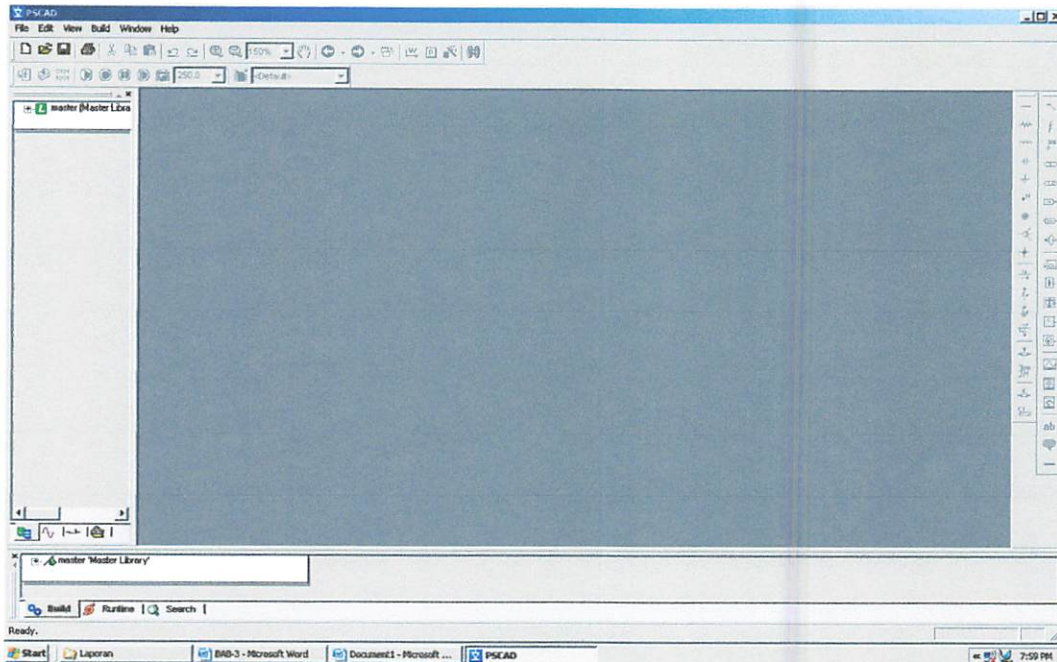
PSCAD juga dikenal dengan nama PSCAD/EMTDC karena EMTDC merupakan bagian fungsi simulasi yang terintegrasi dengan PSCAD untuk mendukung fungsi tampilan grafis PSCAD. Dengan adanya fasilitas EMTDC, software ini sangat sesuai untuk mendesain simulasi suatu system tenaga listrik beserta sistem kontrolnya secara online berdasarkan rentang waktu tertentu (*time domain instantaneous response*). Fungsi desain, analisis dan tampilan grafis untuk suatu system tenaga listrik yang akan di analisa dapat di tampilkan dalam suatu paket dengan fasilitas kontrol unit, meter dan online plotting grafis yang interaktif. Dengan kemampuannya ini, software PSCAD/EMTDC sudah digunakan dalam bidang manufaktur, penelitian dan konsultan sebagai alat analisa yang utama.

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*

4.5 Memulai *PSCAD/EMTDC Power Simulation*

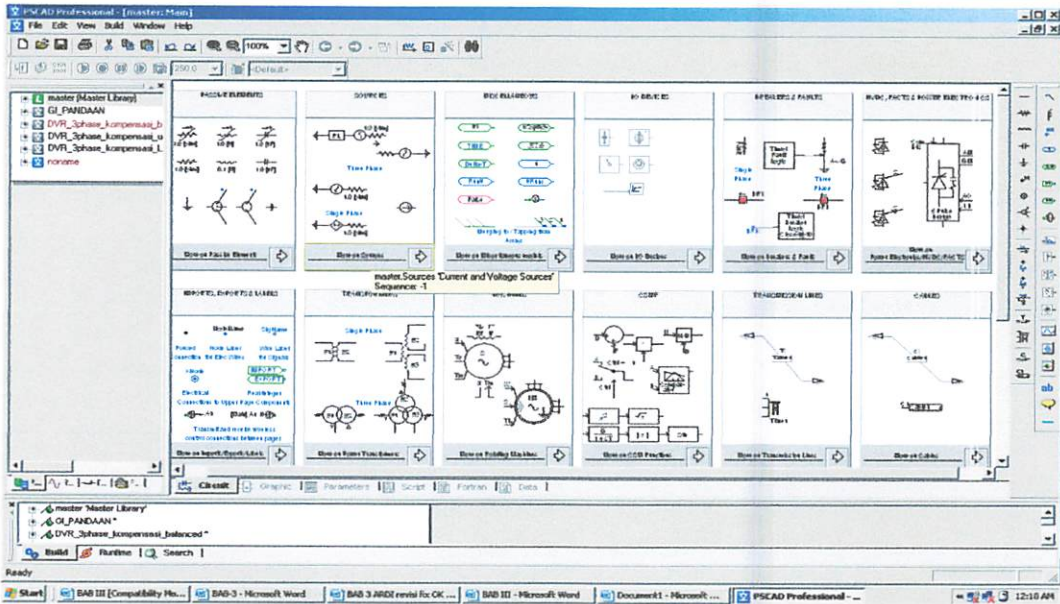
Tampilan Utama *PSCAD Power Simulation* adalah sebagai berikut :



Gambar 4-2

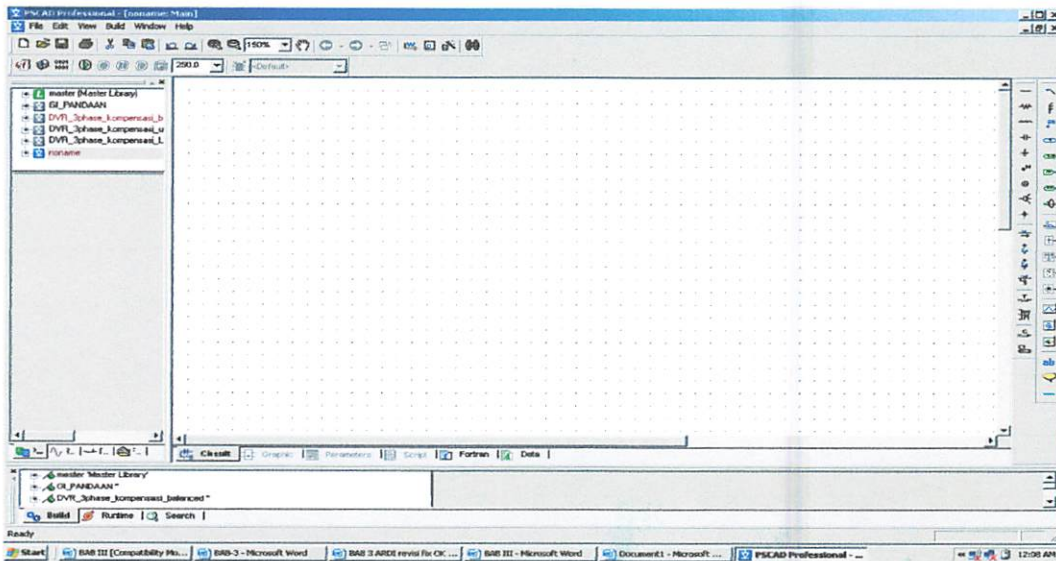
Tampilan utama *Software PSCAD/EMTDC Power Simulation*

- 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.



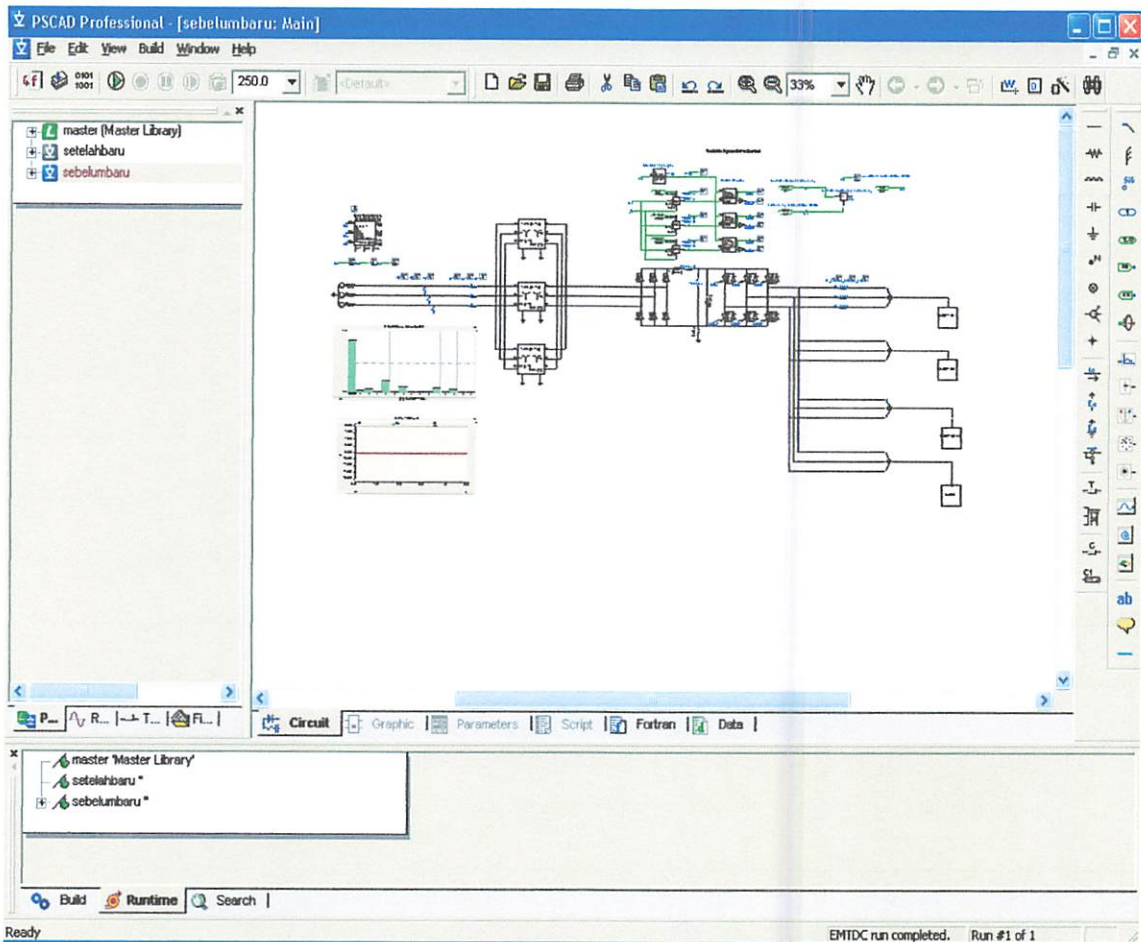
Gambar 4-3
Tampilan *Master Library*

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



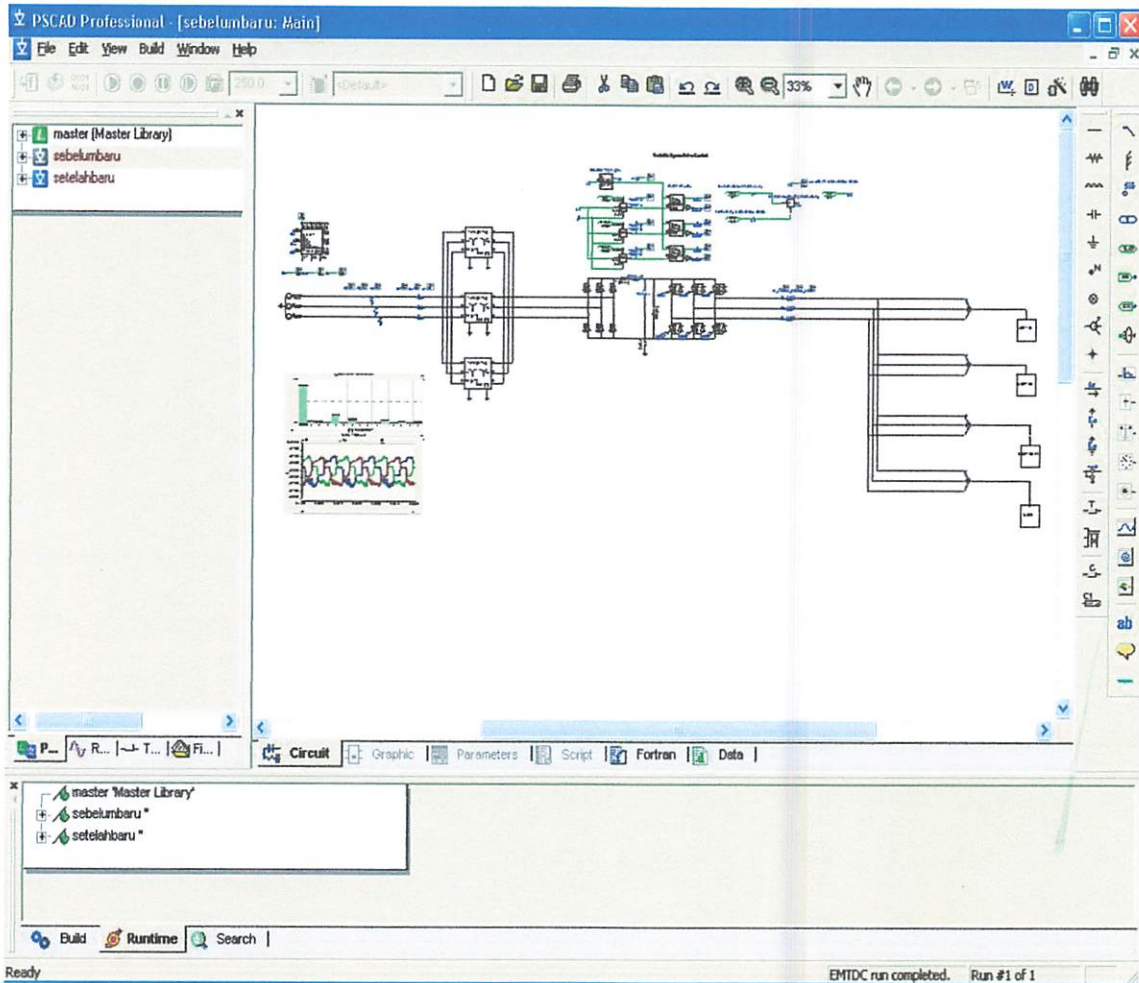
Gambar 4-4
Tampilan Modul Utama

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



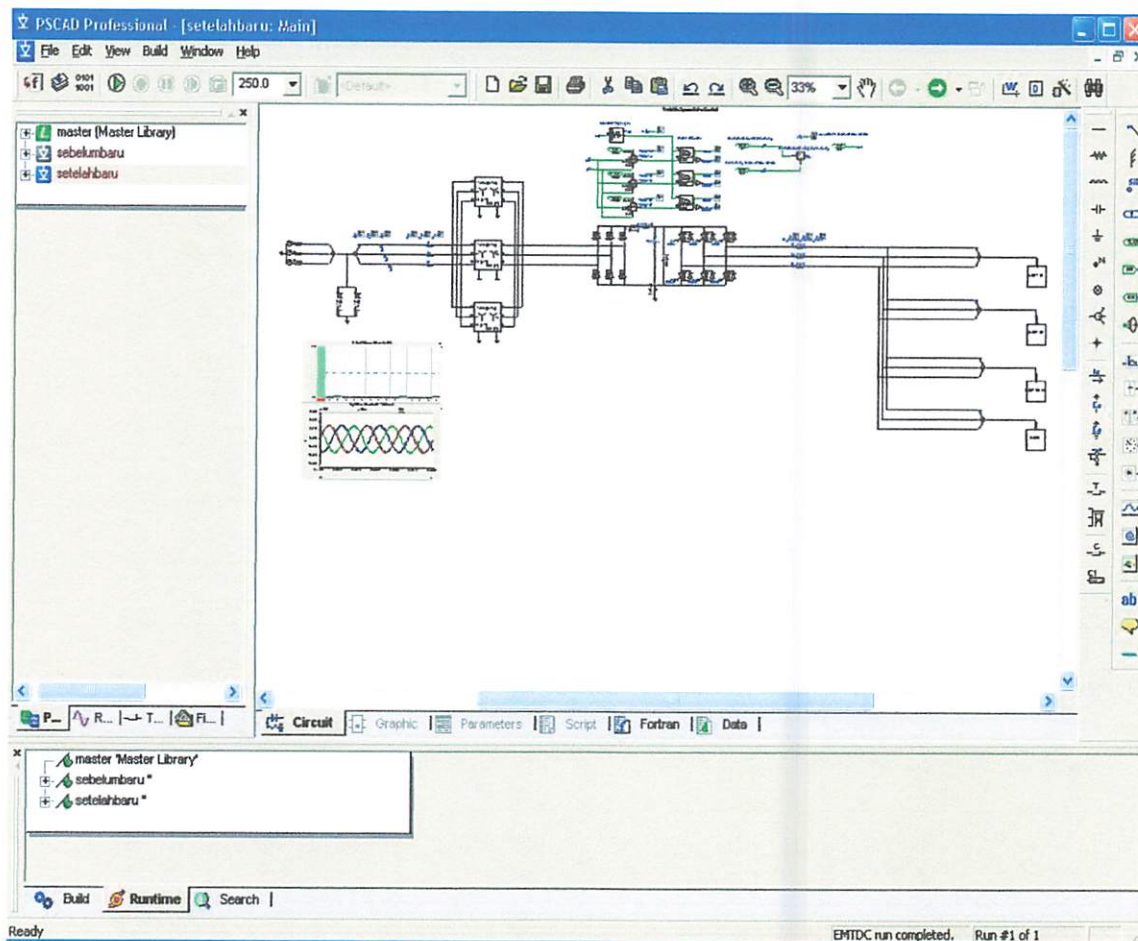
Gambar 4.5
Tampilan *Single Line* Distribusi Tenaga Listrik
PT. Sekar Tanjung dalam *PSCAD*

4.5.1. Simulasi sebelum dan sesudah pemasangan *Passive Filter*



Gambar 4-6.
Gambar Single Line Sebelum Pemasangan *Passive Filter*

Gambar diatas merupakan single line sebelum pemasangan *Passive Filter* yang di simulasikan menggunakan PSCAD untuk melihat harmonisa yang ditimbulkan pada sistem 20 kv di PT Sekar Tanjung.

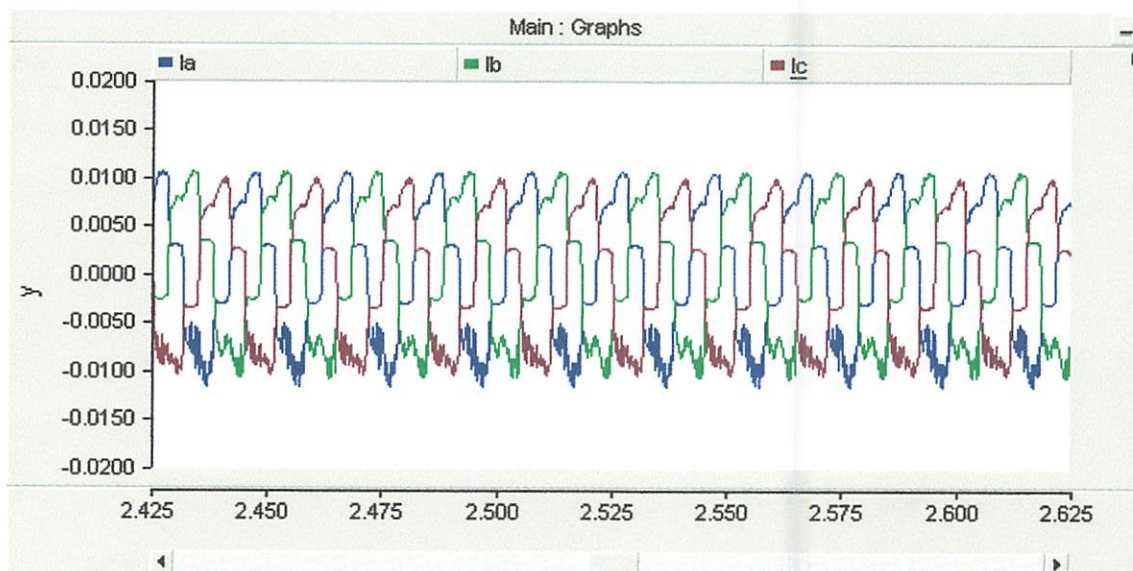


Gambar 4-7.

Gambar *Single Line* Setelah Pemasangan *Passive Filter*

Gambar 4-3 menerangkan single line diagram pada PT. Sekar Tanjung dengan pemasangan *Passive Filter*. Terlihat bahwa *Passive Filter* di pasang secara seri pada jaringan setelah sumber dan sebelum melewati tiga step-down yang di pasang *paralel*. Pemasangan tersebut dimaksudkan agar harmonisa yang timbul akibat beban non linear dapat direduksi secara keseluruhan, sehingga arus dan tegangan harmonisa tersebut tidak sampai melewati ketiga trafo sehingga umur dan kinerja dari trafo dapat bertahan sesuai penggunaannya. Selain itu, *Passive Filter* juga mengambil arus dan tegangan sumber untuk dianalisa atau sebagai referensi awal.

4.5.2. Bentuk Gelombang Arus Dalam Simulasi Sebelum Pemasangan *Filter Pasive*

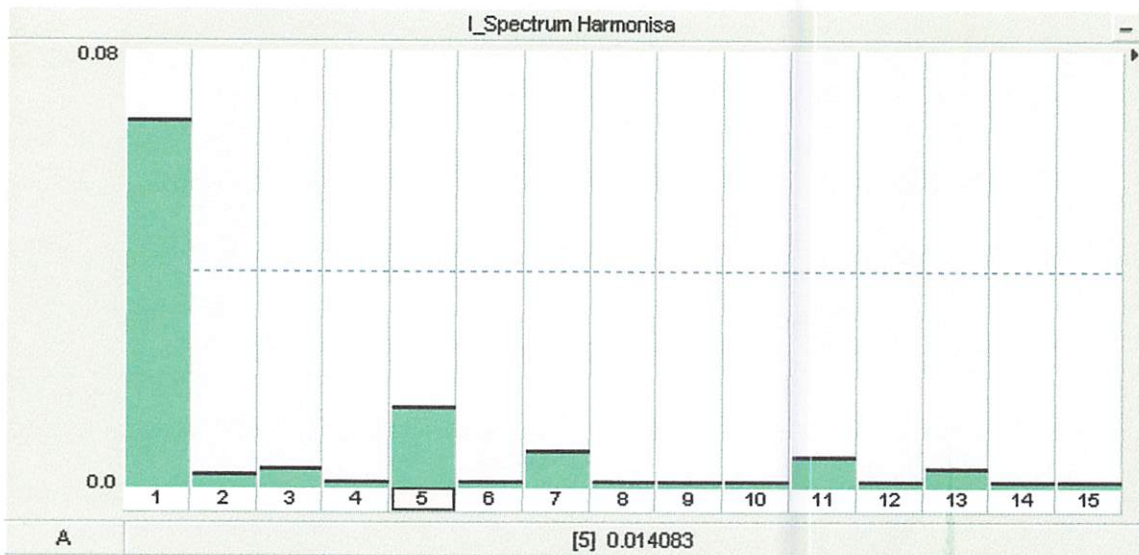


Grafik 4-1.

Bentuk Gelombang Arus Sebelum Pemasangan *Pasive Filter*

Gambar 4-1 menerangkan tentang bentuk gelombang arus pada jaringan distribusi 20 kV. Terlihat pada gambar tersebut gelombang arus tidak berbentuk sinusoida secara sempurna melainkan mengalami cacat pada bentuk gelombangnya. Hal ini disebabkan karena bentuk gelombang arus tersebut telah mengandung harmonisa. Bentuk gelombang ini dapat berdampak negatif pada jaringan distribusi yaitu berupa menurunnya performa sistem jaringan antara lain seperti kerusakan pada trafo dan motor listrik.

4.5.3. Bentuk Spectrum Harmonisa Dalam Simulasi Sebelum Pemasangan Filter Pasif

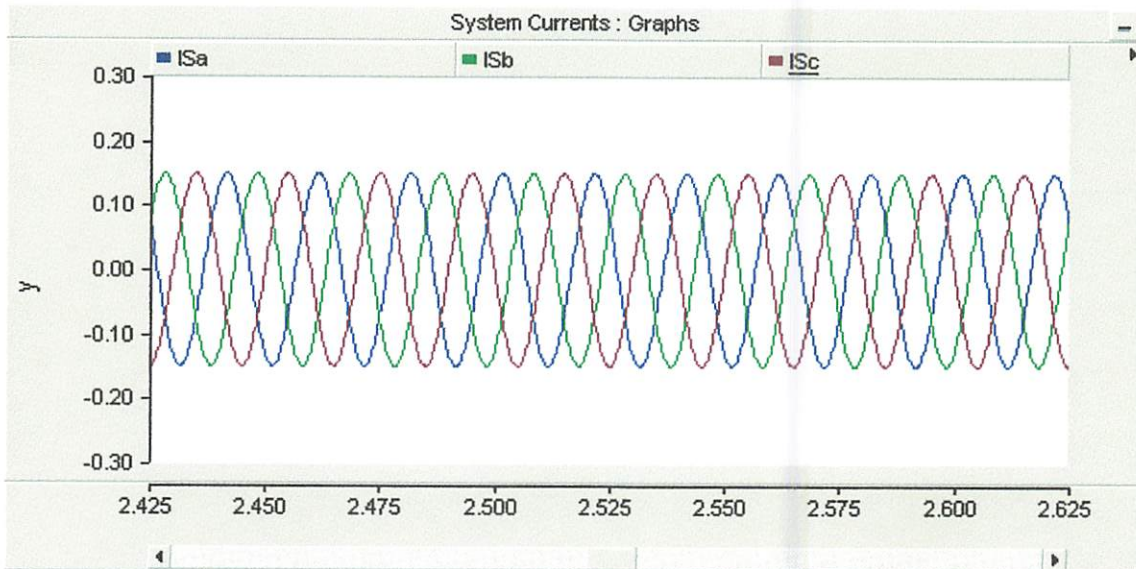


Grafik 4-2.

Bentuk Spectrum Harmonisa Arus Sebelum Pemasangan Filter Pasive

Gambar 4-2 menerangkan tentang spektrum harmonisa arus. Spektrum harmonisa adalah komponen yang digunakan untuk melihat nilai harmonisa secara jelas dari bentuk gelombangnya. Pada spektrum harmonisa yang terjadi pada arus mempunyai nilai orde yang dominan yaitu orde ke 5th dan 7th.

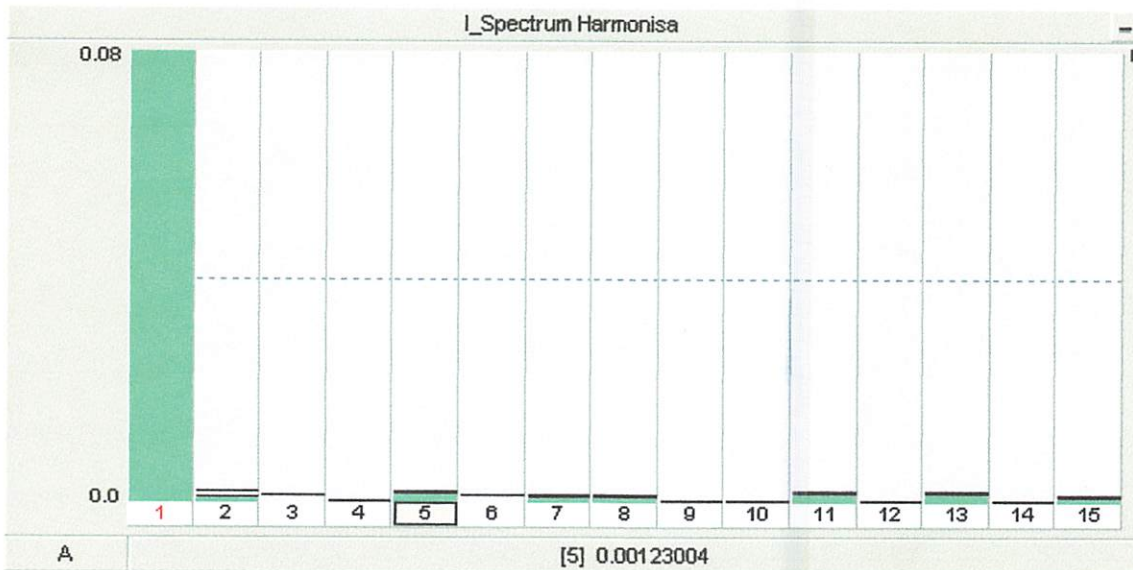
4.5.4. Bentuk Gelombang Arus Dalam Simulasi Setelah Pemasangan Filter Pasive



Grafik 4-3.
Bentuk Gelombang Arus Setelah Pemasangan *Passive Filter*

Grafik 4-3 menerangkan tentang bentuk gelombang arus pada jaringan 20 kV. Pada gambar ini gelombang arus berbentuk sinusoida dikarenakan pada sistem jaringan distribusi 20 kV tersebut telah dipasang *Passive Filter* yang digunakan untuk mereduksi harmonisa arus.

4.5.5. Bentuk Spectrum Harmonisa Dalam Simulasi Setelah Pemasangan Filter Pasif



Grafik 4-4.
Bentuk Spectrum Harmonisa Arus Setelah Pemasangan
Passive Filter

Gambar 4-4 diatas menerangkan tentang spektrum harmonisa arus. Pada spektrum harmonisa ini terlihat bahwa orde harmonisa yang dominan yaitu 5th, 7th dan orde harmonisa yang lain dapat tereduksi.

Dengan demikian pada saat terjadi arus harmonisa setelah pemasangan *Passive Filter* arus pada sistem dapat di reduksi, sehingga arus yang dihasilkan akan sinusoida.

4.6. Tabel Perbandingan Sebelum dan Sesudah Pemasangan *Passive Filter*

Tabel 4-3
Hasil Perhitungan Sebelum dan Sesudah Pemasangan *Passive Filter*

Pemasangan <i>Passive Filter</i>		
Harmonisa ke	Sebelum Pemasangan	Setelah Pemasangan
3 th	0.00292	0.000186
5 th	0.01400	0.001230
7 th	0.00670	0.000810
9 th	0.00049	0.000096
11th	0.00568	0.001803
13th	0.00307	0.001355
THD %	14.52 %	4.41 %

Tabel 4-3 menerangkan tentang kinerja sistem sebelum dan sesudah pemasangan *Passive Filter* pada jaringan distribusi 20 kV di PT. Sekar Tanjung. Pada saat sebelum pemasangan *Passive Filter*, dapat dilihat bahwa THD harmonisa arus yang dihasilkan sangat besar yaitu 14.52 % sebelum pemasangan dan 4,41 % setelah pemasangan *passive filter*. Jadi standart % THD sudah memenuhi syarat kurang dari 5 %.

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Pengaruh Pemasangan Shunt Active Filter Pada sistem 20 kV di PT Sekar Tanjung 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. Pada saat terjadi gangguan harmonisa arus pada system, dengan di pasanginya *Shunt Active Power Filter* dapat direduksi sehingga bentuk gelombang arus yang di hasilkan akan sinusoidal.
3. Setelah pemasangan *SAPF*, nilai referensi di ambil dari jumlah Harmonisa Arus yang di hasilkan dari 14. % menjadi 1.27 % dan perbaikan.

DAFTAR PUSTAKA

1. William D. Stevensen JR. "*desigen and Implementation Of Solid Power factor Corection*".
2. Zuhail, 1995, "*Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*", PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
3. J. Arrillaga, D.A. Bradley dan P.S. Brodger, 1985 "*Power System Harmonics*".
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, 1999, "*Electrcal Power Sistem Quality*", Singapore: McGraw Hill Inc, p.20.
8. Dr. Shaahin Filizadeh "*Design and Implementation Of Fector PWM Control*".
9. Dennis J.Hansen, 1998, *Harmonis Diatortion, Engineering Standart And Technical Support Departmen*, Salt Like City: Pacicorp.

LAMPYRAN



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**

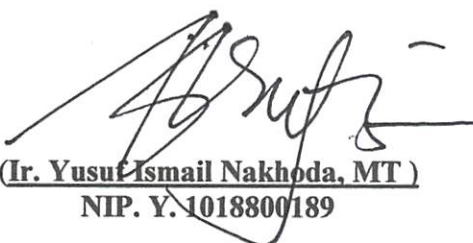
1. Nama : ANDIK SUHARTO
2. NIM : 02.12.049
3. Jurusan : TEKNIK ELEKTRO S-1
4. Konsentrasi : TEKNIK ENERGI LISTRIK
5. Judul Skripsi : ANALISA PEMASANGAN PASIF FILTER
UNTUK MEREDUKSI HARMONISA PADA
PT. SEKAR TANJUNG MENGGUNAKAN
SOFTWARE PSCAD/EMTDC

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


Hari : Rabu
Tanggal : 22 Februari 2012
Dengan Nilai : 81.2 (A) *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. M. Abdul Hamid, MT)
NIP. Y. 1018800188

Penguji II


(Ir. Eko Nurcahyo)
NIP. Y. 1028700172



PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI

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

Hari : Rabu
Tanggal : 22 Februari 2012

Telah dilakukan perbaikan skripsi oleh :

1. Nama : Andik Suharto
2. NIM : 02.12.049
3. Jurusan : Teknik Elektro
4. Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
5. Judul Skripsi : ANALISA PEMASANGAN PASIF FILTER UNTUK MEREDUKSI HARMONISA PADA PT. SEKAR TANJUNG MENGGUNAKAN SOFTWARE PSCAD/EMTDC

No	Materi Perbaikan	Ket
1	Gambar grafik dan besarnya nilai di tabel harus sama	✓
2	Tabel 4-2 disesuaikan (tidak usah Rpm)	✓
3	Tambahkan pada batasan masalah	✓
4	Sesuaikan hasil grafik dengan hasil tabel	✓

Diperiksa dan disetujui,

Dosen Penguji I

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

Dosen Penguji II

Ir. Eko Nurcahyo
NIP. Y. 1028700172

Mengetahui,

Dosen Pembimbing I

Ir. Teguh Herbasuki, MT
NIP. Y. 1038900209

Dosen Pembimbing II

Ir. Choirul Saleh, MT
NIP. Y. 1018800190

```

=====
! Generated by : PSCAD v4.2.0
!
! Warning: The content of this file is automatically generated.
! Do not modify, as any changes made here will be lost!
!-----
! Component : Main
! Description :
!-----

```

```

=====
SUBROUTINE DSDyn()

```

```

!-----
! Standard includes
!-----

```

```

INCLUDE 'nd.h'
INCLUDE 'emtconst.h'
INCLUDE 'emtstor.h'
INCLUDE 's0.h'
INCLUDE 's1.h'
INCLUDE 's2.h'
INCLUDE 's4.h'
INCLUDE 'branches.h'
INCLUDE 'pscadv3.h'
INCLUDE 'enames.h'
INCLUDE 'radiolinks.h'
INCLUDE 'matlab.h'

```

```

!-----
! Function/Subroutine Declarations
!-----

```

```

! SUBR 3PHVSRG ! 3-Phase Source model
! SUBR Untitled_1Dyn !
! SUBR Untitled_3Dyn !
! SUBR Untitled_2Dyn !
! SUBR Untitled_4Dyn !
! SUBR EMTDC_X2COMP ! 'Comparator with Interpolation'
! SUBR FTN180 ! FFT Calculation
! SUBR TSAT21 ! Transformer Saturation Subroutine

```

```

!-----
! Variable Declarations
!-----

```

```

! Subroutine Parameters

```

```

! Electrical Node Indexes
INTEGER GND, NT_1, NT_2, NT_3

```

```

! Control Signals

```

```

INTEGER SIGCP, SIGBP, SIGAP
REAL VTRI, RT_1, VCONTC, RT_2, SIGC
REAL RT_3, VCONTA, VCONTB, SIGA, SIGB
REAL MF, Fl, FS, Ia, Ib, Ic, Va, Vb, Vc
REAL Ia_Load, Ib_Load, Ic_Load, ISa, ISb
REAL ISc, RT_4(15), RT_5(15), RT_6(15)
REAL RT_7, RT_8, RT_9, RT_10(15)
REAL RT_11(15), RT_12(15), Me, IdcLinkR
REAL vgtol, Idil, Idi3, Idi5, Idi4, Idi6
REAL Idi2, VdcLink

```

```

! Internal Variables

```

```

INTEGER IPD_TE, IVD1_1
REAL E_MAG, F_RAD, R_PH, RVD2_1(2)
REAL X_KNEE, TURNS_V

```



```

! Fixed electrical node numbers
  PARAMETER (GND=0)

! Indexing variables
  INTEGER ISTOI, ISTOF, IT_0           ! Storage Indexes
  INTEGER IPGB                         ! Control/Monitoring
  INTEGER ISUBS, SS(1), IBRCH(1), INODE ! SS/Node/Branch/Xfmr
  INTEGER IXFMR

!-----
! Record local indexes
!-----

! Dsdyn <-> Dsout transfer index storage
  NTXFR = NTXFR + 1
  TXFR(NTXFR,1) = NSTOL
  TXFR(NTXFR,2) = NSTOI
  TXFR(NTXFR,3) = NSTOF

! Record Offset and Increment Storage Counters
  ISTOI      = NSTOI
  NSTOI      = NSTOI + 3
  ISTOF      = NSTOF
  NSTOF      = NSTOF + 128
  IPGB       = NPGB
  NPGB       = NPGB + 38
  INODE      = NNODE + 2
  NNODE      = NNODE + 20
  IXFMR      = NXFMR
  NXFMR      = NXFMR + 9

! Initialize Subsystem Mapping

  ISUBS = NSUBS + 0
  NSUBS = NSUBS + 1

  DO 100 IT_0 = 1,1
    SS(IT_0) = SUBS (ISUBS + IT_0)
  100 CONTINUE

! Initialize Branch Mapping.

  IBRCH(1)      = NBRCH(SS(1))
  NBRCH(SS(1)) = NBRCH(SS(1)) + 42

!-----
! Transfers from storage arrays
!-----

  VTRI      = STOF (ISTOF + 1)
  RT_1      = STOF (ISTOF + 2)
  VCONTC    = STOF (ISTOF + 3)
  RT_2      = STOF (ISTOF + 4)
  SIGC      = STOF (ISTOF + 5)
  RT_3      = STOF (ISTOF + 6)
  SIGCP     = STOI (ISTOI + 1)
  VCONTA    = STOF (ISTOF + 7)
  VCONTB    = STOF (ISTOF + 8)
  SIGA      = STOF (ISTOF + 9)
  SIGB      = STOF (ISTOF + 10)
  SIGBP     = STOI (ISTOI + 2)
  SIGAP     = STOI (ISTOI + 3)
  MF        = STOF (ISTOF + 11)
  F1        = STOF (ISTOF + 12)
  FS        = STOF (ISTOF + 13)
  Ia        = STOF (ISTOF + 14)
  Ib        = STOF (ISTOF + 15)
  Ic        = STOF (ISTOF + 16)
  Va        = STOF (ISTOF + 17)
  Vb        = STOF (ISTOF + 18)

```

```
Vc      = STOF(ISTOF + 19)
Ia_Load = STOF(ISTOF + 20)
Ib_Load = STOF(ISTOF + 21)
Ic_Load = STOF(ISTOF + 22)
ISa     = STOF(ISTOF + 23)
ISb     = STOF(ISTOF + 24)
ISc     = STOF(ISTOF + 25)
RT_7    = STOF(ISTOF + 71)
RT_8    = STOF(ISTOF + 72)
RT_9    = STOF(ISTOF + 73)
Me      = STOF(ISTOF + 119)
IdcLinkR = STOF(ISTOF + 120)
vgtol   = STOF(ISTOF + 121)
Idi1    = STOF(ISTOF + 122)
Idi3    = STOF(ISTOF + 123)
Idi5    = STOF(ISTOF + 124)
Idi4    = STOF(ISTOF + 125)
Idi6    = STOF(ISTOF + 126)
Idi2    = STOF(ISTOF + 127)
VdcLink = STOF(ISTOF + 128)
```

```
! Array(1:15) quantities...
```

```
DO 101 IT_0 = 1,15
  RT_4(IT_0) = STOF(ISTOF + 25 + IT_0)
  RT_5(IT_0) = STOF(ISTOF + 40 + IT_0)
  RT_6(IT_0) = STOF(ISTOF + 55 + IT_0)
  RT_10(IT_0) = STOF(ISTOF + 73 + IT_0)
  RT_11(IT_0) = STOF(ISTOF + 88 + IT_0)
  RT_12(IT_0) = STOF(ISTOF + 103 + IT_0)
101 CONTINUE
```

```
!-----
! Transfer from Imports
!-----
```

```
!-----
! Electrical Node Lookup
!-----
```

```
NT_1 = NODE(INODE + 1)
NT_2 = NODE(INODE + 2)
NT_3 = NODE(INODE + 3)
```

```
!-----
! Read Model data (if any)
!-----
```

```
IF ( TIMEZERO ) THEN
  FILENAME = 'Main.dta'
  CALL EMTDC_OPENFILE
  SECTION = 'DATADSD:'
  CALL EMTDC_GOTOSECTION
ENDIF
```

```
!-----
! Generated code from module definition
!-----
```

```
! 10:[const] Real Constant 'PHA'
RT_1 = 0.0
```

```
! 20:[const] Real Constant 'F1'
F1 = 50.0
```

```
! 30:[const] Real Constant 'Ms'
Me = 0.9
```

```
! 40:[const] Real Constant 'PHB'
RT_3 = 240.0
```



```

! 50:[const] Real Constant 'MF'
  MF = 39.0

! 60:[modulator] AM/FM/PM Modulator
! AM/FM/PM MODULATOR
  NEXC = NEXC+1
  VCONTB = Me * COS(STOR(NEXC) + RT_3*PI_BY180)
  STOR(NEXC) = STOR(NEXC) + TWO_PI*F1*DELT
  IF (STOR(NEXC) .GT. TWO_PI) STOR(NEXC) = STOR(NEXC) - TWO_PI
  IF (STOR(NEXC) .LT. -TWO_PI) STOR(NEXC) = STOR(NEXC) + TWO_PI
!

! 70:[const] Real Constant 'PHC'
  RT_2 = 120.0

! 80:[modulator] AM/FM/PM Modulator
! AM/FM/PM MODULATOR
  NEXC = NEXC+1
  VCONTC = Me * COS(STOR(NEXC) + RT_2*PI_BY180)
  STOR(NEXC) = STOR(NEXC) + TWO_PI*F1*DELT
  IF (STOR(NEXC) .GT. TWO_PI) STOR(NEXC) = STOR(NEXC) - TWO_PI
  IF (STOR(NEXC) .LT. -TWO_PI) STOR(NEXC) = STOR(NEXC) + TWO_PI
!

! 100:[source_3] Three Phase Voltage Source Model 2 'Source 1'
! Three Phase Source: Source 1 Type: R
! Mag: 16.3299316186 kV, Freq: 50.0 Hz, Phase: 0.0 degs, StartUp: 0.05 sec
  E_MAG = 16.3299316186
  F_RAD = 314.159265359
  R_PH = 0.0*PI_BY180
  CALL EMTDC_3PHVSRG(SS(1), (IBRCH(1)+40), (IBRCH(1)+33), (IBRCH(1)+&
&13), 0.05, .TRUE., E_MAG, F_RAD, R_PH)
!

! 180:[peswitch] Power electronic switch
! EMTDC_PESWITCH Power Electronic Switch Model: Diode
  CALL EMTDC_PESWITCH2(SS(1), (IBRCH(1)+25), 0.005, 10000000.0, 1,&
& 0.0, 0, 0, 100000.0, 100000.0, 0.0, 0.0)

! 190:[peswitch] Power electronic switch
! EMTDC_PESWITCH Power Electronic Switch Model: Diode
  CALL EMTDC_PESWITCH2(SS(1), (IBRCH(1)+28), 0.005, 10000000.0, 1,&
& 0.0, 0, 0, 100000.0, 100000.0, 0.0, 0.0)

! 200:[peswitch] Power electronic switch
! EMTDC_PESWITCH Power Electronic Switch Model: Diode
  CALL EMTDC_PESWITCH2(SS(1), (IBRCH(1)+29), 0.005, 10000000.0, 1,&
& 0.0, 0, 0, 100000.0, 100000.0, 0.0, 0.0)

! 240:[peswitch] Power electronic switch
! EMTDC_PESWITCH Power Electronic Switch Model: Diode
  CALL EMTDC_PESWITCH2(SS(1), (IBRCH(1)+30), 0.005, 10000000.0, 1,&
& 0.0, 0, 0, 100000.0, 100000.0, 0.0, 0.0)

! 250:[peswitch] Power electronic switch
! EMTDC_PESWITCH Power Electronic Switch Model: Diode
  CALL EMTDC_PESWITCH2(SS(1), (IBRCH(1)+31), 0.005, 10000000.0, 1,&
& 0.0, 0, 0, 100000.0, 100000.0, 0.0, 0.0)

! 260:[peswitch] Power electronic switch
! EMTDC_PESWITCH Power Electronic Switch Model: Diode
  CALL EMTDC_PESWITCH2(SS(1), (IBRCH(1)+32), 0.005, 10000000.0, 1,&
& 0.0, 0, 0, 100000.0, 100000.0, 0.0, 0.0)

! 270:[Untitled_1]
  CALL Untitled_1Dyn()

! 280:[Untitled_3]
  CALL Untitled_3Dyn()

```

```

! 290:[Untitled_2]
  CALL Untitled_2Dyn()

! 300:[Untitled_4]
  CALL Untitled_4Dyn()

! 310:[modulator] AM/FM/PM Modulator
! AM/FM/PM MODULATOR
  NEXC = NEXC+1
  VCONTA = Me * COS(STOR(NEXC) + RT_1*PI_BY180)
  STOR(NEXC) = STOR(NEXC) + TWO_PI*F1*DELT
  IF (STOR(NEXC) .GT. TWO_PI) STOR(NEXC) = STOR(NEXC) - TWO_PI
  IF (STOR(NEXC) .LT. -TWO_PI) STOR(NEXC) = STOR(NEXC) + TWO_PI
!

! 320:[mult] Multiplier
!
  FS = F1 * MF
!

! 330:[sig_gen] Variable Frequency Sawtooth Generator
! SIGNAL GENERATOR
  IF ( TIMEZERO ) THEN
    STOR(NEXC+2) = 1
    VTRI = ((1.0)+(-1.0))*0.5
  ELSE
    VTRI=STOR(NEXC+1)+STOR(NEXC+2)*4.0*FS*DELT
    IF (VTRI.GT.(1.0)) THEN
      VTRI=2*(1.0)-VTRI
      STOR(NEXC+2)=-1
    ENDIF
    IF (VTRI.LT.(-1.0)) THEN
      VTRI=2.0*(-1.0)-VTRI
      STOR(NEXC+2)=1
    ENDIF
  ENDIF
  STOR(NEXC+1)=VTRI
  NEXC=NEXC+2
!

! 340:[compar] Two Input Comparator
!
  CALL EMTDC_X2COMP(0,0,VTRI,VCONTA,0.0,0.0,1.0,RVD2_1)
  SIGA = RVD2_1(1)

! 350:[compar] Two Input Comparator
!
  CALL EMTDC_X2COMP(0,0,VTRI,VCONTB,0.0,0.0,1.0,RVD2_1)
  SIGB = RVD2_1(1)

! 360:[compar] Two Input Comparator
!
  CALL EMTDC_X2COMP(0,0,VTRI,VCONTC,0.0,0.0,1.0,RVD2_1)
  SIGC = RVD2_1(1)

! 370:[inv] Interpolated Logic Inverter
  IF (NINT(SIGC) .NE. 0) THEN
    SIGCP = 0
  ELSE
    SIGCP = 1
  ENDIF

! 380:[inv] Interpolated Logic Inverter
  IF (NINT(SIGB) .NE. 0) THEN
    SIGBP = 0
  ELSE
    SIGBP = 1
  ENDIF

```

```

! 390:[inv] Interpolated Logic Inverter
  IF (NINT(SIGA) .NE. 0) THEN
    SIGAP = 0
  ELSE
    SIGAP = 1
  ENDIF

! 400:[peswitch] Power electronic switch
! EMTDC_PESWITCH Power Electronic Switch Model: GTO
  CALL EMTDC_PESWITCH2(SS(1), (IBRCH(1)+21), 0.0001, 100000000.0, S&
&IGCP, 0.0, 2, 0, 100000.0, 100000.0, 0.0, 0.0)

! 410:[peswitch] Power electronic switch
! EMTDC_PESWITCH Power Electronic Switch Model: GTO
  CALL EMTDC_PESWITCH2(SS(1), (IBRCH(1)+19), 0.0001, 100000000.0, S&
&IGBP, 0.0, 2, 0, 100000.0, 100000.0, 0.0, 0.0)

! 420:[peswitch] Power electronic switch
! EMTDC_PESWITCH Power Electronic Switch Model: GTO
  CALL EMTDC_PESWITCH2(SS(1), (IBRCH(1)+17), 0.0001, 100000000.0, S&
&IGAP, 0.0, 2, 0, 100000.0, 100000.0, 0.0, 0.0)

! 460:[peswitch] Power electronic switch
! EMTDC_PESWITCH Power Electronic Switch Model: GTO
  CALL EMTDC_PESWITCH2(SS(1), (IBRCH(1)+15), 0.0001, 100000000.0, N&
&INT(SIGC), 0.0, 2, 0, 100000.0, 100000.0, 0.0, 0.0)

! 470:[peswitch] Power electronic switch
! EMTDC_PESWITCH Power Electronic Switch Model: GTO
  CALL EMTDC_PESWITCH2(SS(1), (IBRCH(1)+26), 0.0001, 100000000.0, N&
&INT(SIGB), 0.0, 2, 0, 100000.0, 100000.0, 0.0, 0.0)

! 480:[peswitch] Power electronic switch
! EMTDC_PESWITCH Power Electronic Switch Model: GTO
  CALL EMTDC_PESWITCH2(SS(1), (IBRCH(1)+23), 0.0001, 100000000.0, N&
&INT(SIGA), 0.0, 2, 0, 100000.0, 100000.0, 0.0, 0.0)

! 490:[pgb] Output Channel 'SIGCP'
  PGB(IPGB+4) = REAL(SIGCP)

! 550:[pgb] Output Channel 'SIGC'
  PGB(IPGB+10) = SIGC

! 570:[pgb] Output Channel 'VCONTC'
  PGB(IPGB+12) = VCONTC

! 580:[pgb] Output Channel 'SIGBP'
  PGB(IPGB+13) = REAL(SIGBP)

! 590:[pgb] Output Channel 'ISc'
  PGB(IPGB+14) = 10.0 * ISc

! 600:[pgb] Output Channel 'ISb'
  PGB(IPGB+15) = 10.0 * ISb

! 610:[pgb] Output Channel 'ISa'
  PGB(IPGB+16) = 10.0 * ISa

! 620:[pgb] Output Channel 'SIGB'
  PGB(IPGB+17) = SIGB

! 630:[pgb] Output Channel 'VCONTB'

```

```

PGB(IPGB+18) = VCONTB
! 640:[pgb] Output Channel 'SIGAP'
PGB(IPGB+19) = REAL(SIGAP)
! 650:[fft] On-Line Frequency Scanner
!
! FAST FOURIER TRANSFORMATION
!
IPD_TE=0
CALL FTN180(0,0,15,1,50.0,50.0,ISa,IPD_TE,RT_11,RT_5,RT_7)
CALL FTN180(0,0,15,1,50.0,50.0,ISb,IPD_TE,RT_10,RT_4,RT_9)
CALL FTN180(0,0,15,1,50.0,50.0,ISc,IPD_TE,RT_12,RT_6,RT_8)
!
! 660:[pgb] Output Channel 'SIGA'
PGB(IPGB+20) = SIGA
! 670:[pgb] Output Channel 'FS'
PGB(IPGB+21) = FS
! 680:[pgb] Output Channel 'VCONTA'
PGB(IPGB+22) = VCONTA
! 690:[pgb] Output Channel 'I_Spectrum Harmonisa '
DO IVD1_1 = 1, 15
PGB(IPGB+23+IVD1_1-1) = RT_11(IVD1_1)
ENDDO
! 700:[pgb] Output Channel 'VTRI'
PGB(IPGB+38) = 0.4 * VTRI
! -1:[xfmr-3p2w] 3 Phase 2 Winding Transformer
! TRANSFORMER SATURATION SUBROUTINE
IF (TIME.GT.0.1) THEN
X_KNEE = 1.25
ELSE
X_KNEE = -1.25
ENDIF
TURNS V = 11.5470053838
CALL TSAT21(NT_1,GND, NT_2,GND, NT_3,GND,SS(1),0.416666666667,TURN&
&S_V,0.2,X_KNEE,50.0,1.0,0.02, 0.0, 0)
!
! -1:[peswitch] Power electronic switch
! EMTDC_PESWITCH Power Electronic Switch Model: Diode
CALL EMTDC_PESWITCH2(SS(1), (IBRCH(1)+11), 0.0001, 10000000.0, 1&
&, 0.0, 0, 0, 100000.0, 100000.0, 0.0, 0.0)
! -1:[peswitch] Power electronic switch
! EMTDC_PESWITCH Power Electronic Switch Model: Diode
CALL EMTDC_PESWITCH2(SS(1), (IBRCH(1)+1), 0.0001, 10000000.0, 1,&
& 0.0, 0, 0, 100000.0, 100000.0, 0.0, 0.0)
! -1:[xfmr-3p2w] 3 Phase 2 Winding Transformer
! TRANSFORMER SATURATION SUBROUTINE
IF (TIME.GT.0.1) THEN
X_KNEE = 1.25
ELSE
X_KNEE = -1.25
ENDIF
TURNS V = 11.5470053838
CALL TSAT21(NT_1,GND, NT_2,GND, NT_3,GND,SS(1),0.416666666667,TURN&
&S_V,0.2,X_KNEE,50.0,1.0,0.02, 0.0, 0)
!

```



```

! -1:[peswitch] Power electronic switch
! EMTDC_PESWITCH Power Electronic Switch Model: Diode
  CALL EMTDC_PESWITCH2(SS(1), (IBRCH(1)+3), 0.0001, 100000000.0, 1,&
& 0.0, 0, 0, 100000.0, 100000.0, 0.0, 0.0)

! -1:[peswitch] Power electronic switch
! EMTDC_PESWITCH Power Electronic Switch Model: Diode
  CALL EMTDC_PESWITCH2(SS(1), (IBRCH(1)+5), 0.0001, 100000000.0, 1,&
& 0.0, 0, 0, 100000.0, 100000.0, 0.0, 0.0)

! -1:[peswitch] Power electronic switch
! EMTDC_PESWITCH Power Electronic Switch Model: Diode
  CALL EMTDC_PESWITCH2(SS(1), (IBRCH(1)+7), 0.0001, 100000000.0, 1,&
& 0.0, 0, 0, 100000.0, 100000.0, 0.0, 0.0)

! -1:[peswitch] Power electronic switch
! EMTDC_PESWITCH Power Electronic Switch Model: Diode
  CALL EMTDC_PESWITCH2(SS(1), (IBRCH(1)+9), 0.0001, 100000000.0, 1,&
& 0.0, 0, 0, 100000.0, 100000.0, 0.0, 0.0)

! -1:[xfmr-3p2w] 3 Phase 2 Winding Transformer
! TRANSFORMER SATURATION SUBROUTINE
  IF (TIME.GT.0.1) THEN
    X_KNEE = 1.25
  ELSE
    X_KNEE = -1.25
  ENDIF
  TURNS_V = 11.5470053838
  CALL TSAT21(NT_1,GND, NT_2,GND, NT_3,GND,SS(1),0.416666666667,TURN&
&S_V,0.2,X_KNEE,50.0,1.0,0.02, 0.0, 0)
!

```

```

!-----
! Feedbacks and transfers to storage
!-----

```

```

STOF(ISTOF + 1) = VTRI
STOF(ISTOF + 2) = RT_1
STOF(ISTOF + 3) = VCONTC
STOF(ISTOF + 4) = RT_2
STOF(ISTOF + 5) = SIGC
STOF(ISTOF + 6) = RT_3
STOI(ISTOI + 1) = SIGCP
STOF(ISTOF + 7) = VCONTA
STOF(ISTOF + 8) = VCONTB
STOF(ISTOF + 9) = SIGA
STOF(ISTOF + 10) = SIGB
STOI(ISTOI + 2) = SIGBP
STOI(ISTOI + 3) = SIGAP
STOF(ISTOF + 11) = MF
STOF(ISTOF + 12) = F1
STOF(ISTOF + 13) = FS
STOF(ISTOF + 14) = Ia
STOF(ISTOF + 15) = Ib
STOF(ISTOF + 16) = Ic
STOF(ISTOF + 17) = Va
STOF(ISTOF + 18) = Vb
STOF(ISTOF + 19) = Vc
STOF(ISTOF + 20) = Ia_Load
STOF(ISTOF + 21) = Ib_Load
STOF(ISTOF + 22) = Ic_Load
STOF(ISTOF + 23) = ISa
STOF(ISTOF + 24) = ISb
STOF(ISTOF + 25) = ISc
STOF(ISTOF + 71) = RT_7
STOF(ISTOF + 72) = RT_8
STOF(ISTOF + 73) = RT_9
STOF(ISTOF + 119) = Me
STOF(ISTOF + 120) = IdcLinkR
STOF(ISTOF + 121) = vgtol
STOF(ISTOF + 122) = Idil

```

```

STOF(ISTOF + 123) = Idi3
STOF(ISTOF + 124) = Idi5
STOF(ISTOF + 125) = Idi4
STOF(ISTOF + 126) = Idi6
STOF(ISTOF + 127) = Idi2
STOF(ISTOF + 128) = VdcLink

! Array(1:15) quantities...
DO 102 IT_0 = 1,15
  STOF(ISTOF + 25 + IT_0) = RT_4(IT_0)
  STOF(ISTOF + 40 + IT_0) = RT_5(IT_0)
  STOF(ISTOF + 55 + IT_0) = RT_6(IT_0)
  STOF(ISTOF + 73 + IT_0) = RT_10(IT_0)
  STOF(ISTOF + 88 + IT_0) = RT_11(IT_0)
  STOF(ISTOF + 103 + IT_0) = RT_12(IT_0)
102 CONTINUE

!-----
! Transfer to Exports
!-----

!-----
! Close Model Data read
!-----

IF ( TIMEZERO ) CALL EMTDC_CLOSEFILE
RETURN
END

=====

SUBROUTINE DSOut()

!-----
! Standard includes
!-----

INCLUDE 'nd.h'
INCLUDE 'emtconst.h'
INCLUDE 'emtstor.h'
INCLUDE 's0.h'
INCLUDE 's1.h'
INCLUDE 's2.h'
INCLUDE 's4.h'
INCLUDE 'branches.h'
INCLUDE 'pscadv3.h'
INCLUDE 'fnames.h'
INCLUDE 'radiolinks.h'
INCLUDE 'matlab.h'

!-----
! Function/Subroutine Declarations
!-----

REAL EMTDC_VVDC !
REAL VBRANCH ! Voltage across the branch
! SUBR Untitled_1Out !
! SUBR Untitled_3Out !
! SUBR Untitled_2Out !
! SUBR Untitled_4Out !

!-----
! Variable Declarations
!-----

! Electrical Node Indexes
INTEGER NT_9, NT_10, NT_18, NT_19, NT_20

! Control Signals
REAL Ia, Ib, Ic, Va, Vb, Vc, Ia_Load

```

```

REAL    Ib_Load, Ic_Load, ISa, ISb, ISc
REAL    IdcLinkR, vgtol, Idi1, Idi3, Idi5
REAL    Idi4, Idi6, Idi2, VdcLink

! Internal Variables

! Indexing variables
INTEGER ISTOL, ISTOI, ISTOF, IT_0      ! Storage Indexes
INTEGER IPGB                            ! Control/Monitoring
INTEGER ISUBS, SS(1), IBRCH(1), INODE  ! SS/Node/Branch/Xfmr
INTEGER IXFMR

!-----
! Record local indexes
!-----

! Dsdyn <-> Dsout transfer index storage
NTXFR = NTXFR + 1
ISTOL = TXFR(NTXFR,1)
ISTOI = TXFR(NTXFR,2)
ISTOF = TXFR(NTXFR,3)

! Record Offset and Increment Storage Counters
IPGB    = NPGB
NPGB    = NPGB + 38
INODE   = NNODE + 2
NNODE   = NNODE + 20
IXFMR   = NXFMR
NXFMR   = NXFMR + 9

! Initialize Subsystem Mapping

ISUBS = NSUBS + 0
NSUBS = NSUBS + 1

DO 100 IT_0 = 1,1
    SS(IT_0) = SUBS(ISUBS + IT_0)
100 CONTINUE

! Initialize Branch Mapping.

IBRCH(1)    = NBRCH(SS(1))
NBRCH(SS(1)) = NBRCH(SS(1)) + 42

!-----
! Transfers from storage arrays
!-----

Ia      = STOF(ISTOF + 14)
Ib      = STOF(ISTOF + 15)
Ic      = STOF(ISTOF + 16)
Va      = STOF(ISTOF + 17)
Vb      = STOF(ISTOF + 18)
Vc      = STOF(ISTOF + 19)
Ia_Load = STOF(ISTOF + 20)
Ib_Load = STOF(ISTOF + 21)
Ic_Load = STOF(ISTOF + 22)
ISa     = STOF(ISTOF + 23)
ISb     = STOF(ISTOF + 24)
ISc     = STOF(ISTOF + 25)
IdcLinkR = STOF(ISTOF + 120)
vgtol   = STOF(ISTOF + 121)
Idi1    = STOF(ISTOF + 122)
Idi3    = STOF(ISTOF + 123)
Idi5    = STOF(ISTOF + 124)
Idi4    = STOF(ISTOF + 125)
Idi6    = STOF(ISTOF + 126)
Idi2    = STOF(ISTOF + 127)
VdcLink = STOF(ISTOF + 128)

```

```
!-----  
! Electrical Node Lookup  
!-----
```

```
NT_9  = NODE(INODE + 8)  
NT_10 = NODE(INODE + 9)  
NT_18 = NODE(INODE + 16)  
NT_19 = NODE(INODE + 17)  
NT_20 = NODE(INODE + 18)
```

```
!-----  
! Read Model data (if any)  
!-----
```

```
IF ( TIMEZERO ) THEN  
  FILENAME = 'Main.dta'  
  CALL EMTDC_OPENFILE  
  SECTION = 'DATADSO:'  
  CALL EMTDC_GOTOSECTION  
ENDIF
```

```
!-----  
! Generated code from module definition  
!-----
```

```
! 90:[voltmetergnd] Voltmeter (Line - Ground) 'Va'  
  Va = EMTDC_VVDC(SS(1), NT_18, 0)  
  
! 100:[source_3] Three Phase Voltage Source Model 2 'Source 1'  
  ISa = ( CBR((IBRCH(1)+40), SS(1)))  
  ISb = ( CBR((IBRCH(1)+33), SS(1)))  
  ISc = ( CBR((IBRCH(1)+13), SS(1)))  
  
! 110:[ammeter] Current Meter 'Ia'  
  Ia = ( CBR((IBRCH(1)+34), SS(1)))  
  
! 120:[ammeter] Current Meter 'IdcLinkR'  
  IdcLinkR = ( CBR((IBRCH(1)+14), SS(1)))  
  
! 130:[voltmetergnd] Voltmeter (Line - Ground) 'Vb'  
  Vb = EMTDC_VVDC(SS(1), NT_19, 0)  
  
! 140:[ammeter] Current Meter 'Ib'  
  Ib = ( CBR((IBRCH(1)+35), SS(1)))  
  
! 150:[voltmeter] Voltmeter (Line - Line) 'VdcLink'  
  VdcLink = EMTDC_VVDC(SS(1), NT_9, NT_10)  
  
! 160:[voltmetergnd] Voltmeter (Line - Ground) 'Vc'  
  Vc = EMTDC_VVDC(SS(1), NT_20, 0)  
  
! 170:[ammeter] Current Meter 'Ic'  
  Ic = ( CBR((IBRCH(1)+36), SS(1)))  
  
! 180:[peswitch] Power electronic switch  
  Id11 = ( CBR((IBRCH(1)+25), SS(1)))  
  
! 190:[peswitch] Power electronic switch  
  Id13 = ( CBR((IBRCH(1)+28), SS(1)))  
  
! 200:[peswitch] Power electronic switch  
  Id15 = ( CBR((IBRCH(1)+29), SS(1)))  
  
! 210:[ammeter] Current Meter 'Ia_Load'  
  Ia_Load = ( CBR((IBRCH(1)+37), SS(1)))  
  
! 220:[ammeter] Current Meter 'Ib_Load'  
  Ib_Load = ( CBR((IBRCH(1)+38), SS(1)))  
  
! 230:[ammeter] Current Meter 'Ic_Load'
```



```

Ic_Load = ( CBR((IBRCH(1)+39), SS(1)))
! 240:[peswitch] Power electronic switch
  Idi4 = ( CBR((IBRCH(1)+30), SS(1)))
! 250:[peswitch] Power electronic switch
  Idi6 = ( CBR((IBRCH(1)+31), SS(1)))
! 260:[peswitch] Power electronic switch
  Idi2 = ( CBR((IBRCH(1)+32), SS(1)))
! 270:[Untitled_1]
  CALL Untitled_1Out()

! 280:[Untitled_3]
  CALL Untitled_3Out()

! 290:[Untitled_2]
  CALL Untitled_2Out()

! 300:[Untitled_4]
  CALL Untitled_4Out()

! 430:[pgb] Output Channel 'Ic_Load'
  PGB(IPGB+1) = Ic_Load
! 440:[pgb] Output Channel 'Ib_Load'
  PGB(IPGB+2) = Ib_Load
! 450:[pgb] Output Channel 'Ia_Load'
  PGB(IPGB+3) = Ia_Load
! 480:[peswitch] Power electronic switch
  vgtol = VBRANCH(SS(1), (IBRCH(1)+23))
! 500:[pgb] Output Channel 'Ic'
  PGB(IPGB+5) = Ic
! 510:[pgb] Output Channel 'Ib'
  PGB(IPGB+6) = Ib
! 520:[pgb] Output Channel 'Ia'
  PGB(IPGB+7) = Ia
! 530:[pgb] Output Channel 'Vc'
  PGB(IPGB+8) = Vc
! 540:[pgb] Output Channel 'Vb'
  PGB(IPGB+9) = Vb
! 560:[pgb] Output Channel 'Va'
  PGB(IPGB+11) = Va

!-----
! Feedbacks and transfers to storage
!-----

STOF(ISTOF + 14) = Ia

```

```
STOF(ISTOF + 15) = Ib
STOF(ISTOF + 16) = Ic
STOF(ISTOF + 17) = Va
STOF(ISTOF + 18) = Vb
STOF(ISTOF + 19) = Vc
STOF(ISTOF + 20) = Ia_Load
STOF(ISTOF + 21) = Ib_Load
STOF(ISTOF + 22) = Ic_Load
STOF(ISTOF + 23) = ISa
STOF(ISTOF + 24) = ISb
STOF(ISTOF + 25) = ISc
STOF(ISTOF + 120) = IdcLinkR
STOF(ISTOF + 121) = vgtol
STOF(ISTOF + 122) = Idil
STOF(ISTOF + 123) = Idi3
STOF(ISTOF + 124) = Idi5
STOF(ISTOF + 125) = Idi4
STOF(ISTOF + 126) = Idi6
STOF(ISTOF + 127) = Idi2
STOF(ISTOF + 128) = VdcLink
```

```
!-----
! Close Model Data read
!-----
```

```
IF ( TIMEZERO ) CALL EMTQC_CLOSEFILE
RETURN
END
```

```
!-----
```

! Generated by : PSCAD v4.2.0

!
! Warning: The content of this file is automatically generated.
! Do not modify, as any changes made here will be lost!

! Component : Main
! Description :

=====

SUBROUTINE DSDyn()

! Standard includes

INCLUDE 'nd.h'
INCLUDE 'emtconst.h'
INCLUDE 'emtstor.h'
INCLUDE 's0.h'
INCLUDE 's1.h'
INCLUDE 's2.h'
INCLUDE 's4.h'
INCLUDE 'branches.h'
INCLUDE 'pscadv3.h'
INCLUDE 'fnames.h'
INCLUDE 'radiolinks.h'
INCLUDE 'matlab.h'

! Function/Subroutine Declarations

! SUBR 3PHVSRG ! 3-Phase Source model
! SUBR Untitled_1Dyn !
! SUBR Untitled_3Dyn !
! SUBR Untitled_2Dyn !
! SUBR Untitled_4Dyn !
! SUBR EMTDC_X2COMP ! 'Comparator with Interpolation'
! SUBR FTN180 ! FFT Calculation
! SUBR TSAT21 ! Transformer Saturation Subroutine

! Variable Declarations

! Subroutine Parameters

! Electrical Node Indexes

INTEGER GND, NT_1, NT_2, NT_3

! Control Signals

INTEGER SIGCP, SIGBP, SIGAP
REAL VTRI, RT_1, VCONTC, RT_2, SIGC
REAL RT_3, VCONTA, VCONTB, SIGA, SIGB
REAL MF, F1, FS, Ia, Ib, Ic, Va, Vb, Vc
REAL Ia_Load, Ib_Load, Ic_Load, ISa, ISb
REAL ISC, RT_4(15), RT_5(15), RT_6(15)
REAL RT_7, RT_8, RT_9, RT_10(15)
REAL RT_11(15), RT_12(15), Me, IdcLinkR
REAL vgtol, Idi1, Idi3, Idi5, Idi4, Idi6
REAL Idi2, VdcLink

! Internal Variables

INTEGER IPD TE, IVD1_1
REAL E_MAG, F_RAD, R_PH, RVD2_1(2)
REAL X_KNEE, TURNS_V

```

! Fixed electrical node numbers
  PARAMETER(GND=0)

! Indexing variables
  INTEGER ISTOI, ISTOF, IT_0           ! Storage Indexes
  INTEGER IPGB                         ! Control/Monitoring
  INTEGER ISUBS, SS(1), IBRCH(1), INODE ! SS/Node/Branch/Xfmr
  INTEGER IXFMR

!-----
! Record local indexes
!-----

! Dsdyn <-> Dsout transfer index storage
  NTXFR = NTXFR + 1
  TXFR(NTXFR,1) = NSTOL
  TXFR(NTXFR,2) = NSTOI
  TXFR(NTXFR,3) = NSTOF

! Record Offset and Increment Storage Counters
  ISTOI      = NSTOI
  NSTOI      = NSTOI + 3
  ISTOF      = NSTOF
  NSTOF      = NSTOF + 128
  IPGB       = NPGB
  NPGB       = NPGB + 38
  INODE      = NNODE + 2
  NNODE      = NNODE + 20
  IXFMR      = NXFMR
  NXFMR      = NXFMR + 9

! Initialize Subsystem Mapping

  ISUBS = NSUBS + 0
  NSUBS = NSUBS + 1

  DO 100 IT_0 = 1,1
    SS(IT_0) = SUBS(ISUBS + IT_0)
  100 CONTINUE

! Initialize Branch Mapping.

  IBRCH(1)      = NBRCH(SS(1))
  NBRCH(SS(1)) = NBRCH(SS(1)) + 42

!-----
! Transfers from storage arrays
!-----

  VTRI      = STOF(ISTOF + 1)
  RT_1      = STOF(ISTOF + 2)
  VCONTC    = STOF(ISTOF + 3)
  RT_2      = STOF(ISTOF + 4)
  SIGC      = STOF(ISTOF + 5)
  RT_3      = STOF(ISTOF + 6)
  SIGCP     = STOI(ISTOI + 1)
  VCONTA    = STOF(ISTOF + 7)
  VCONTB    = STOF(ISTOF + 8)
  SIGA      = STOF(ISTOF + 9)
  SIGB      = STOF(ISTOF + 10)
  SIGBP     = STOI(ISTOI + 2)
  SIGAP     = STOI(ISTOI + 3)
  MF        = STOF(ISTOF + 11)
  F1        = STOF(ISTOF + 12)
  FS        = STOF(ISTOF + 13)
  Ia        = STOF(ISTOF + 14)
  Ib        = STOF(ISTOF + 15)
  Ic        = STOF(ISTOF + 16)
  Va        = STOF(ISTOF + 17)
  Vb        = STOF(ISTOF + 18)

```

```

Vc      = STOF(ISTOF + 19)
Ia_Load = STOF(ISTOF + 20)
Ib_Load = STOF(ISTOF + 21)
Ic_Load = STOF(ISTOF + 22)
ISa     = STOF(ISTOF + 23)
ISb     = STOF(ISTOF + 24)
ISc     = STOF(ISTOF + 25)
RT_7    = STOF(ISTOF + 71)
RT_8    = STOF(ISTOF + 72)
RT_9    = STOF(ISTOF + 73)
Me      = STOF(ISTOF + 119)
IdcLinkR = STOF(ISTOF + 120)
vgtol   = STOF(ISTOF + 121)
Idi1    = STOF(ISTOF + 122)
Idi3    = STOF(ISTOF + 123)
Idi5    = STOF(ISTOF + 124)
Idi4    = STOF(ISTOF + 125)
Idi6    = STOF(ISTOF + 126)
Idi2    = STOF(ISTOF + 127)
VdcLink = STOF(ISTOF + 128)

! Array(1:15) quantities...
DO 101 IT_0 = 1,15
  RT_4(IT_0) = STOF(ISTOF + 25 + IT_0)
  RT_5(IT_0) = STOF(ISTOF + 40 + IT_0)
  RT_6(IT_0) = STOF(ISTOF + 55 + IT_0)
  RT_10(IT_0) = STOF(ISTOF + 73 + IT_0)
  RT_11(IT_0) = STOF(ISTOF + 88 + IT_0)
  RT_12(IT_0) = STOF(ISTOF + 103 + IT_0)
101 CONTINUE

!-----
! Transfer from Imports
!-----

!-----
! Electrical Node Lookup
!-----

NT_1 = NODE(INODE + 1)
NT_2 = NODE(INODE + 2)
NT_3 = NODE(INODE + 3)

!-----
! Read Model data (if any)
!-----

IF ( TIMEZERO ) THEN
  FILENAME = 'Main.dta'
  CALL EMTDC_OPENFILE
  SECTION = 'DATADSD:'
  CALL EMTDC_GOTOSECTION
ENDIF

!-----
! Generated code from module definition
!-----

! 10:[const] Real Constant 'PHA'
RT_1 = 0.0

! 20:[const] Real Constant 'F1'
F1 = 50.0

! 30:[const] Real Constant 'Ms'
Me = 0.9

! 40:[const] Real Constant 'PHB'
RT_3 = 240.0

```



```

! 50:[const] Real Constant 'MF'
    MF = 39.0

! 60:[modulator] AM/FM/PM Modulator
! AM/FM/PM MODULATOR
    NEXC = NEXC+1
    VCNTB = Me * COS(STOR(NEXC) + RT_3*PI_BY180)
    STOR(NEXC) = STOR(NEXC) + TWO_PI*F1*DELT
    IF (STOR(NEXC) .GT. TWO_PI) STOR(NEXC) = STOR(NEXC) - TWO_PI
    IF (STOR(NEXC) .LT. -TWO_PI) STOR(NEXC) = STOR(NEXC) + TWO_PI
!

! 70:[const] Real Constant 'PHC'
    RT_2 = 120.0

! 80:[modulator] AM/FM/PM Modulator
! AM/FM/PM MODULATOR
    NEXC = NEXC+1
    VCNTC = Me * COS(STOR(NEXC) + RT_2*PI_BY180)
    STOR(NEXC) = STOR(NEXC) + TWO_PI*F1*DELT
    IF (STOR(NEXC) .GT. TWO_PI) STOR(NEXC) = STOR(NEXC) - TWO_PI
    IF (STOR(NEXC) .LT. -TWO_PI) STOR(NEXC) = STOR(NEXC) + TWO_PI
!

! 100:[source_3] Three Phase Voltage Source Model 2 'Source 1'
! Three Phase Source: Source 1 Type: R
! Mag: 16.3299316186 kV, Freq: 50.0 Hz, Phase: 0.0 degs, StartUp: 0.05 sec
    E_MAG = 16.3299316186
    F_RAD = 314.159265359
    R_PH = 0.0*PI_BY180
    CALL EMTDC_3PHVSRG(SS(1), (IBRCH(1)+40), (IBRCH(1)+33), (IBRCH(1)+&
&13), 0.05, .TRUE., E_MAG, F_RAD, R_PH)
!

! 180:[peswitch] Power electronic switch
! EMTDC_PESWITCH Power Electronic Switch Model: Diode
    CALL EMTDC_PESWITCH2(SS(1), (IBRCH(1)+25), 0.005, 10000000.0, 1,&
& 0.0, 0, 0, 100000.0, 100000.0, 0.0, 0.0)

! 190:[peswitch] Power electronic switch
! EMTDC_PESWITCH Power Electronic Switch Model: Diode
    CALL EMTDC_PESWITCH2(SS(1), (IBRCH(1)+28), 0.005, 10000000.0, 1,&
& 0.0, 0, 0, 100000.0, 100000.0, 0.0, 0.0)

! 200:[peswitch] Power electronic switch
! EMTDC_PESWITCH Power Electronic Switch Model: Diode
    CALL EMTDC_PESWITCH2(SS(1), (IBRCH(1)+29), 0.005, 10000000.0, 1,&
& 0.0, 0, 0, 100000.0, 100000.0, 0.0, 0.0)

! 240:[peswitch] Power electronic switch
! EMTDC_PESWITCH Power Electronic Switch Model: Diode
    CALL EMTDC_PESWITCH2(SS(1), (IBRCH(1)+30), 0.005, 10000000.0, 1,&
& 0.0, 0, 0, 100000.0, 100000.0, 0.0, 0.0)

! 250:[peswitch] Power electronic switch
! EMTDC_PESWITCH Power Electronic Switch Model: Diode
    CALL EMTDC_PESWITCH2(SS(1), (IBRCH(1)+31), 0.005, 10000000.0, 1,&
& 0.0, 0, 0, 100000.0, 100000.0, 0.0, 0.0)

! 260:[peswitch] Power electronic switch
! EMTDC_PESWITCH Power Electronic Switch Model: Diode
    CALL EMTDC_PESWITCH2(SS(1), (IBRCH(1)+32), 0.005, 10000000.0, 1,&
& 0.0, 0, 0, 100000.0, 100000.0, 0.0, 0.0)

! 270:[Untitled_1]
    CALL Untitled_1Dyn()

! 280:[Untitled_3]
    CALL Untitled_3Dyn()

```

```

! 290:[Untitled_2]
    CALL Untitled_2Dyn()

! 300:[Untitled_4]
    CALL Untitled_4Dyn()

! 310:[modulator] AM/FM/PM Modulator
! AM/FM/PM MODULATOR
    NEXC = NEXC+1
    VCONTA = Me * COS(STOR(NEXC) + RT_1*PI_BY180)
    STOR(NEXC) = STOR(NEXC) + TWO_PI*F1*DELT
    IF (STOR(NEXC) .GT. TWO_PI) STOR(NEXC) = STOR(NEXC) - TWO_PI
    IF (STOR(NEXC) .LT. -TWO_PI) STOR(NEXC) = STOR(NEXC) + TWO_PI
!

! 320:[mult] Multiplier
!
    FS = F1 * MF
!

! 330:[sig_gen] Variable Frequency Sawtooth Generator
! SIGNAL GENERATOR
    IF ( TIMEZERO ) THEN
        STOR(NEXC+2) = 1
        VTRI = ((1.0)+(-1.0))*0.5
    ELSE
        VTRI=STOR(NEXC+1)+STOR(NEXC+2)*4.0*FS*DELT
        IF (VTRI.GT.(1.0)) THEN
            VTRI=2*(1.0)-VTRI
            STOR(NEXC+2)=-1
        ENDIF
        IF (VTRI.LT.(-1.0)) THEN
            VTRI=2.0*(-1.0)-VTRI
            STOR(NEXC+2)=1
        ENDIF
    ENDIF
    STOR(NEXC+1)=VTRI
    NEXC=NEXC+2
!

! 340:[compar] Two Input Comparator
!
    CALL EMTDC_X2COMP(0,0,VTRI,VCONTA,0.0,0.0,1.0,RVD2_1)
    SIGA = RVD2_1(1)

! 350:[compar] Two Input Comparator
!
    CALL EMTDC_X2COMP(0,0,VTRI,VCONTB,0.0,0.0,1.0,RVD2_1)
    SIGB = RVD2_1(1)

! 360:[compar] Two Input Comparator
!
    CALL EMTDC_X2COMP(0,0,VTRI,VCONTC,0.0,0.0,1.0,RVD2_1)
    SIGC = RVD2_1(1)

! 370:[inv] Interpolated Logic Inverter
    IF (NINT(SIGC) .NE. 0) THEN
        SIGCP = 0
    ELSE
        SIGCP = 1
    ENDIF

! 380:[inv] Interpolated Logic Inverter
    IF (NINT(SIGB) .NE. 0) THEN
        SIGBP = 0
    ELSE
        SIGBP = 1
    ENDIF

```

```

ENDIF

! 390:[inv] Interpolated Logic Inverter
  IF (NINT(SIGA) .NE. 0) THEN
    SIGAP = 0
  ELSE
    SIGAP = 1
  ENDF

! 400:[peswitch] Power electronic switch
! EMTDC_PESWITCH Power Electronic Switch Model: GTO
  CALL EMTDC_PESWITCH2(SS(1), (IBRCH(1)+21), 0.0001, 100000000.0, S&
&IGCP, 0.0, 2, 0, 100000.0, 100000.0, 0.0, 0.0)

! 410:[peswitch] Power electronic switch
! EMTDC_PESWITCH Power Electronic Switch Model: GTO
  CALL EMTDC_PESWITCH2(SS(1), (IBRCH(1)+19), 0.0001, 100000000.0, S&
&IGBP, 0.0, 2, 0, 100000.0, 100000.0, 0.0, 0.0)

! 420:[peswitch] Power electronic switch
! EMTDC_PESWITCH Power Electronic Switch Model: GTO
  CALL EMTDC_PESWITCH2(SS(1), (IBRCH(1)+17), 0.0001, 100000000.0, S&
&IGAP, 0.0, 2, 0, 100000.0, 100000.0, 0.0, 0.0)

! 460:[peswitch] Power electronic switch
! EMTDC_PESWITCH Power Electronic Switch Model: GTO
  CALL EMTDC_PESWITCH2(SS(1), (IBRCH(1)+15), 0.0001, 100000000.0, N&
&INT(SIGC), 0.0, 2, 0, 100000.0, 100000.0, 0.0, 0.0)

! 470:[peswitch] Power electronic switch
! EMTDC_PESWITCH Power Electronic Switch Model: GTO
  CALL EMTDC_PESWITCH2(SS(1), (IBRCH(1)+26), 0.0001, 100000000.0, N&
&INT(SIGB), 0.0, 2, 0, 100000.0, 100000.0, 0.0, 0.0)

! 480:[peswitch] Power electronic switch
! EMTDC_PESWITCH Power Electronic Switch Model: GTO
  CALL EMTDC_PESWITCH2(SS(1), (IBRCH(1)+23), 0.0001, 100000000.0, N&
&INT(SIGA), 0.0, 2, 0, 100000.0, 100000.0, 0.0, 0.0)

! 490:[pgb] Output Channel 'SIGCP'
  PGB(IPGB+4) = REAL(SIGCP)

! 550:[pgb] Output Channel 'SIGC'
  PGB(IPGB+10) = SIGC

! 570:[pgb] Output Channel 'VCONTC'
  PGB(IPGB+12) = VCONTC

! 580:[pgb] Output Channel 'SIGBP'
  PGB(IPGB+13) = REAL(SIGBP)

! 590:[pgb] Output Channel 'ISc'
  PGB(IPGB+14) = 10.0 * ISc

! 600:[pgb] Output Channel 'ISb'
  PGB(IPGB+15) = 10.0 * ISb

! 610:[pgb] Output Channel 'ISa'
  PGB(IPGB+16) = 10.0 * ISa

! 620:[pgb] Output Channel 'SIGB'
  PGB(IPGB+17) = SIGB

```



```

! 630:[pgb] Output Channel 'VCONTB'
      PGB(IPGB+18) = VCONTB

! 640:[pgb] Output Channel 'SIGAP'
      PGB(IPGB+19) = REAL(SIGAP)

! 650:[fft] On-Line Frequency Scanner
!
!   FAST FOURIER TRANSFORMATION
!
      IPD_TE=0
      CALL FTN180(0,0,15,1,50.0,50.0,ISa,IPD_TE,RT_11,RT_5,RT_7)
      CALL FTN180(0,0,15,1,50.0,50.0,ISb,IPD_TE,RT_10,RT_4,RT_9)
      CALL FTN180(0,0,15,1,50.0,50.0,ISc,IPD_TE,RT_12,RT_6,RT_8)
!

! 660:[pgb] Output Channel 'SIGA'
      PGB(IPGB+20) = SIGA

! 670:[pgb] Output Channel 'FS'
      PGB(IPGB+21) = FS

! 680:[pgb] Output Channel 'VCONTA'
      PGB(IPGB+22) = VCONTA

! 690:[pgb] Output Channel 'I_Spectrum Harmonisa '
      DO IVD1_1 = 1, 15
         PGB(IPGB+23+IVD1_1-1) = RT_11(IVD1_1)
      ENDDO

! 700:[pgb] Output Channel 'VTRI'
      PGB(IPGB+38) = 0.4 * VTRI

! -1:[xfmr-3p2w] 3 Phase 2 Winding Transformer
! TRANSFORMER SATURATION SUBROUTINE
      IF (TIME.GT.0.1) THEN
         X_KNEE = 1.25
      ELSE
         X_KNEE = -1.25
      ENDIF
      TURNS_V = 11.5470053838
      CALL TSAT21(NT_1,GND, NT_2,GND, NT_3,GND,SS(1),0.416666666667,TURN&
&S_V,0.2,X_KNEE,50.0,1.0,0.02, 0.0, 0)
!

! -1:[peswitch] Power electronic switch
! EMTDC_PESWITCH Power Electronic Switch Model: Diode
      CALL EMTDC_PESWITCH2(SS(1), (IBRCH(1)+11), 0.0001, 10000000.0, 1&
&, 0.0, 0, 0, 100000.0, 100000.0, 0.0, 0.0)

! -1:[peswitch] Power electronic switch
! EMTDC_PESWITCH Power Electronic Switch Model: Diode
      CALL EMTDC_PESWITCH2(SS(1), (IBRCH(1)+1), 0.0001, 10000000.0, 1,&
& 0.0, 0, 0, 100000.0, 100000.0, 0.0, 0.0)

! -1:[xfmr-3p2w] 3 Phase 2 Winding Transformer
! TRANSFORMER SATURATION SUBROUTINE
      IF (TIME.GT.0.1) THEN
         X_KNEE = 1.25
      ELSE
         X_KNEE = -1.25
      ENDIF
      TURNS_V = 11.5470053838
      CALL TSAT21(NT_1,GND, NT_2,GND, NT_3,GND,SS(1),0.416666666667,TURN&

```

```

&S_V,0.2,X_KNEE,50.0,1.0,0.02, 0.0, 0)
!
! -1:[peswitch] Power electronic switch
! EMTDC_PESWITCH Power Electronic Switch Model: Diode
  CALL EMTDC_PESWITCH2(SS(1), (IBRCH(1)+3), 0.0001, 10000000.0, 1,&
& 0.0, 0, 0, 100000.0, 100000.0, 0.0, 0.0)
! -1:[peswitch] Power electronic switch
! EMTDC_PESWITCH Power Electronic Switch Model: Diode
  CALL EMTDC_PESWITCH2(SS(1), (IBRCH(1)+5), 0.0001, 10000000.0, 1,&
& 0.0, 0, 0, 100000.0, 100000.0, 0.0, 0.0)
! -1:[peswitch] Power electronic switch
! EMTDC_PESWITCH Power Electronic Switch Model: Diode
  CALL EMTDC_PESWITCH2(SS(1), (IBRCH(1)+7), 0.0001, 10000000.0, 1,&
& 0.0, 0, 0, 100000.0, 100000.0, 0.0, 0.0)
! -1:[peswitch] Power electronic switch
! EMTDC_PESWITCH Power Electronic Switch Model: Diode
  CALL EMTDC_PESWITCH2(SS(1), (IBRCH(1)+9), 0.0001, 10000000.0, 1,&
& 0.0, 0, 0, 100000.0, 100000.0, 0.0, 0.0)
! -1:[xfmr-3p2w] 3 Phase 2 Winding Transformer
! TRANSFORMER SATURATION SUBROUTINE
  IF (TIME.GT.0.1) THEN
    X_KNEE = 1.25
  ELSE
    X_KNEE = -1.25
  ENDIF
  TURNS V = 11.5470053838
  CALL TSAT21(NT_1,GND, NT_2,GND, NT_3,GND,SS(1),0.416666666667,TURNS
&S_V,0.2,X_KNEE,50.0,1.0,0.02, 0.0, 0)
!

```

```

! -----
! Feedbacks and transfers to storage
! -----

```

```

STOF(ISTOF + 1) = VTRI
STOF(ISTOF + 2) = RT_1
STOF(ISTOF + 3) = VCONTC
STOF(ISTOF + 4) = RT_2
STOF(ISTOF + 5) = SIGC
STOF(ISTOF + 6) = RT_3
STOI(ISTOI + 1) = SIGCP
STOF(ISTOF + 7) = VCONTA
STOF(ISTOF + 8) = VCONTB
STOF(ISTOF + 9) = SIGA
STOF(ISTOF + 10) = SIGB
STOI(ISTOI + 2) = SIGBP
STOI(ISTOI + 3) = SIGAP
STOF(ISTOF + 11) = MF
STOF(ISTOF + 12) = F1
STOF(ISTOF + 13) = FS
STOF(ISTOF + 14) = Ia
STOF(ISTOF + 15) = Ib
STOF(ISTOF + 16) = Ic
STOF(ISTOF + 17) = Va
STOF(ISTOF + 18) = Vb
STOF(ISTOF + 19) = Vc
STOF(ISTOF + 20) = Ia_Load
STOF(ISTOF + 21) = Ib_Load
STOF(ISTOF + 22) = Ic_Load
STOF(ISTOF + 23) = ISa
STOF(ISTOF + 24) = ISb
STOF(ISTOF + 25) = ISc
STOF(ISTOF + 71) = RT_7
STOF(ISTOF + 72) = RT_8
STOF(ISTOF + 73) = RT_9
STOF(ISTOF + 119) = Me

```

```
STOF(ISTOF + 120) = IdcLinkR
STOF(ISTOF + 121) = vgtol
STOF(ISTOF + 122) = Idi1
STOF(ISTOF + 123) = Idi3
STOF(ISTOF + 124) = Idi5
STOF(ISTOF + 125) = Idi4
STOF(ISTOF + 126) = Idi6
STOF(ISTOF + 127) = Idi2
STOF(ISTOF + 128) = VdcLink
```

```
! Array(1:15) quantities...
```

```
DO 102 IT_0 = 1,15
```

```
STOF(ISTOF + 25 + IT_0) = RT_4(IT_0)
STOF(ISTOF + 40 + IT_0) = RT_5(IT_0)
STOF(ISTOF + 55 + IT_0) = RT_6(IT_0)
STOF(ISTOF + 73 + IT_0) = RT_10(IT_0)
STOF(ISTOF + 88 + IT_0) = RT_11(IT_0)
STOF(ISTOF + 103 + IT_0) = RT_12(IT_0)
```

```
102 CONTINUE
```

```
!-----
! Transfer to Exports
!-----
```

```
!-----
! Close Model Data read
!-----
```

```
IF ( TIMEZERO ) CALL EMTDC_CLOSEFILE
RETURN
END
```

```
!=====
```

```
SUBROUTINE DSOut()
```

```
!-----
! Standard includes
!-----
```

```
INCLUDE 'nd.h'
INCLUDE 'emtconst.h'
INCLUDE 'emtstor.h'
INCLUDE 's0.h'
INCLUDE 's1.h'
INCLUDE 's2.h'
INCLUDE 's4.h'
INCLUDE 'branches.h'
INCLUDE 'pscadv3.h'
INCLUDE 'fnames.h'
INCLUDE 'radiolinks.h'
INCLUDE 'matlab.h'
```

```
!-----
! Function/Subroutine Declarations
!-----
```

```
REAL EMTDC_VVDC !
REAL VBRANCH ! Voltage across the branch
! SUBR Untitled_1Out !
! SUBR Untitled_3Out !
! SUBR Untitled_2Out !
! SUBR Untitled_4Out !
```

```
!-----
! Variable Declarations
!-----
```

```
! Electrical Node Indexes
```

```
INTEGER NT_9, NT_10, NT_18, NT_19, NT_20
```

```

! Control Signals
  REAL  Ia, Ib, Ic, Va, Vb, Vc, Ia_Load
  REAL  Ib_Load, Ic_Load, ISa, ISb, ISc
  REAL  IdcLinkR, vgtol, Idi1, Idi3, Idi5
  REAL  Idi4, Idi6, Idi2, VdcLink

! Internal Variables

! Indexing variables
  INTEGER ISTOL, ISTOI, ISTOF, IT_0           ! Storage Indexes
  INTEGER IPGB                                ! Control/Monitoring
  INTEGER ISUBS, SS(1), IBRCH(1), INODE      ! SS/Node/Branch/Xfmr
  INTEGER IXFMR

!-----
! Record local indexes
!-----

! Dsdyn <-> Dsout transfer index storage
  NTXFR = NTXFR + 1
  ISTOL = TXFR(NTXFR,1)
  ISTOI = TXFR(NTXFR,2)
  ISTOF = TXFR(NTXFR,3)

! Record Offset and Increment Storage Counters
  IPGB   = NPGB
  NPGB   = NPGB + 38
  INODE  = NNODE + 2
  NNODE  = NNODE + 20
  IXFMR  = NXFMR
  NXFMR  = NXFMR + 9

! Initialize Subsystem Mapping

  ISUBS = NSUBS + 0
  NSUBS = NSUBS + 1

  DO 100 IT_0 = 1,1
    SS(IT_0) = SUBS(ISUBS + IT_0)
  100 CONTINUE

! Initialize Branch Mapping.

  IBRCH(1)   = NBRCH(SS(1))
  NBRCH(SS(1)) = NBRCH(SS(1)) + 42

!-----
! Transfers from storage arrays
!-----

  Ia      = STOF(ISTOF + 14)
  Ib      = STOF(ISTOF + 15)
  Ic      = STOF(ISTOF + 16)
  Va      = STOF(ISTOF + 17)
  Vb      = STOF(ISTOF + 18)
  Vc      = STOF(ISTOF + 19)
  Ia_Load = STOF(ISTOF + 20)
  Ib_Load = STOF(ISTOF + 21)
  Ic_Load = STOF(ISTOF + 22)
  ISa     = STOF(ISTOF + 23)
  ISb     = STOF(ISTOF + 24)
  ISc     = STOF(ISTOF + 25)
  IdcLinkR = STOF(ISTOF + 120)
  vgtol   = STOF(ISTOF + 121)
  Idi1    = STOF(ISTOF + 122)
  Idi3    = STOF(ISTOF + 123)
  Idi5    = STOF(ISTOF + 124)
  Idi4    = STOF(ISTOF + 125)
  Idi6    = STOF(ISTOF + 126)

```



```
Idi2      = STOF(ISTOF + 127)
VdcLink   = STOF(ISTOF + 128)
```

```
!-----
! Electrical Node Lookup
!-----
```

```
NT_9  = NODE(INODE + 8)
NT_10 = NODE(INODE + 9)
NT_18 = NODE(INODE + 16)
NT_19 = NODE(INODE + 17)
NT_20 = NODE(INODE + 18)
```

```
!-----
! Read Model data (if any)
!-----
```

```
IF ( TIMEZERO ) THEN
  FILENAME = 'Main.dta'
  CALL EMTDC_OPENFILE
  SECTION = 'DATADSO:'
  CALL EMTDC_GOTOSECTION
ENDIF
```

```
!-----
! Generated code from module definition
!-----
```

```
! 90:[voltmetergnd] Voltmeter (Line - Ground) 'Va'
  Va = EMTDC_VVDC(SS(1), NT_18, 0)

! 100:[source_3] Three Phase Voltage Source Model 2 'Source 1'
  ISa = ( CBR((IBRCH(1)+40), SS(1)))
  ISb = ( CBR((IBRCH(1)+33), SS(1)))
  ISc = ( CBR((IBRCH(1)+13), SS(1)))

! 110:[ammeter] Current Meter 'Ia'
  Ia = ( CBR((IBRCH(1)+34), SS(1)))

! 120:[ammeter] Current Meter 'IdcLinkR'
  IdcLinkR = ( CBR((IBRCH(1)+14), SS(1)))

! 130:[voltmetergnd] Voltmeter (Line - Ground) 'Vb'
  Vb = EMTDC_VVDC(SS(1), NT_19, 0)

! 140:[ammeter] Current Meter 'Ib'
  Ib = ( CBR((IBRCH(1)+35), SS(1)))

! 150:[voltmeter] Voltmeter (Line - Line) 'VdcLink'
  VdcLink = EMTDC_VVDC(SS(1), NT_9, NT_10)

! 160:[voltmetergnd] Voltmeter (Line - Ground) 'Vc'
  Vc = EMTDC_VVDC(SS(1), NT_20, 0)

! 170:[ammeter] Current Meter 'Ic'
  Ic = ( CBR((IBRCH(1)+36), SS(1)))

! 180:[peswitch] Power electronic switch
  Idi1 = ( CBR((IBRCH(1)+25), SS(1)))

! 190:[peswitch] Power electronic switch
  Idi3 = ( CBR((IBRCH(1)+28), SS(1)))

! 200:[peswitch] Power electronic switch
  Idi5 = ( CBR((IBRCH(1)+29), SS(1)))

! 210:[ammeter] Current Meter 'Ia Load'
  Ia_Load = ( CBR((IBRCH(1)+37), SS(1)))

! 220:[ammeter] Current Meter 'Ib Load'
```

```

Ib_Load = ( CBR((IBRCH(1)+38), SS(1)))
! 230:[ammeter] Current Meter 'Ic_Load'
Ic_Load = ( CBR((IBRCH(1)+39), SS(1)))
! 240:[peswitch] Power electronic switch
Idi4 = ( CBR((IBRCH(1)+30), SS(1)))
! 250:[peswitch] Power electronic switch
Idi6 = ( CBR((IBRCH(1)+31), SS(1)))
! 260:[peswitch] Power electronic switch
Idi2 = ( CBR((IBRCH(1)+32), SS(1)))
! 270:[Untitled_1]
CALL Untitled_1Out()

! 280:[Untitled_3]
CALL Untitled_3Out()

! 290:[Untitled_2]
CALL Untitled_2Out()

! 300:[Untitled_4]
CALL Untitled_4Out()

! 430:[pgb] Output Channel 'Ic_Load'
PGB(IPGB+1) = Ic_Load
! 440:[pgb] Output Channel 'Ib_Load'
PGB(IPGB+2) = Ib_Load
! 450:[pgb] Output Channel 'Ia_Load'
PGB(IPGB+3) = Ia_Load
! 480:[peswitch] Power electronic switch
vgtol = VBRANCH(SS(1), (IBRCH(1)+23))
! 500:[pgb] Output Channel 'Ic'
PGB(IPGB+5) = Ic
! 510:[pgb] Output Channel 'Ib'
PGB(IPGB+6) = Ib
! 520:[pgb] Output Channel 'Ia'
PGB(IPGB+7) = Ia
! 530:[pgb] Output Channel 'Vc'
PGB(IPGB+8) = Vc
! 540:[pgb] Output Channel 'Vb'
PGB(IPGB+9) = Vb
! 560:[pgb] Output Channel 'Va'
PGB(IPGB+11) = Va

!-----
! Feedbacks and transfers to storage

```

```
!-----  
STOF(ISTOF + 14) = Ia  
STOF(ISTOF + 15) = Ib  
STOF(ISTOF + 16) = Ic  
STOF(ISTOF + 17) = Va  
STOF(ISTOF + 18) = Vb  
STOF(ISTOF + 19) = Vc  
STOF(ISTOF + 20) = Ia_Load  
STOF(ISTOF + 21) = Ib_Load  
STOF(ISTOF + 22) = Ic_Load  
STOF(ISTOF + 23) = ISa  
STOF(ISTOF + 24) = ISb  
STOF(ISTOF + 25) = ISc  
STOF(ISTOF + 120) = IdcLinkR  
STOF(ISTOF + 121) = vgtol  
STOF(ISTOF + 122) = Idi1  
STOF(ISTOF + 123) = Idi3  
STOF(ISTOF + 124) = Idi5  
STOF(ISTOF + 125) = Idi4  
STOF(ISTOF + 126) = Idi6  
STOF(ISTOF + 127) = Idi2  
STOF(ISTOF + 128) = VdcLink
```

```
!-----  
! Close Model Data read  
!-----
```

```
IF ( TIMEZERO ) CALL EMTDC_CLOSEFILE  
RETURN  
END
```