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

# ANALISA PERBAIKAN KUALITAS DAYA PADA SISTEM DISTRIBUSI MENGGUNAKAN *UNIVERSAL CUSTOM POWER CONDITIONER* (UCPC) BERBASIS *SOFTWARE PSCAD/EMTDC POWER SIMULATION*

## SKRIPSI

**Disusun Oleh :**

**ARIES YUPITER PARADIS**
**NIM. 01.12.156**

**SEPTEMBER 2006**

## LEMBAR PERSETUJUAN

**ANALISA PERBAIKAN KUALITAS DAYA PADA SISTEM DISTRIBUSI MENGGUNAKAN *UNIVERSAL CUSTOM POWER CONDITIONER* (UCPC) BERBASIS *SOFTWARE PSCAD/EMTDC POWER SIMULATION***

**SKRIPSI**

***Disusun dan Diajukan untuk Melengkapi dan Memenuhi Syarat***

***Guna Mencapai Gelar Sarjana Teknik***

**Disusun Oleh :**

**ARIES YUPITER PARADIS**

**NIM. 01.12.156**

**Diperiksa dan Disetujui,**

| **Ketua Jurusan Elektro S-1** | **Dosen Pembimbing** |
|---|---|
| **(Ir. F. Yudi Limpraptono, MT)** | **(Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT)** |
| **NIP.P. 130 950 0274** | **NIP.Y. 101 880 0189** |

**KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1**

**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

# ABSTRAKSI

## ANALISA PERBAIKAN KUALITAS DAYA PADA SISTEM DISTRIBUSI MENGGUNAKAN *UNIVERSAL CUSTOM POWER CONDITIONER* (UCPC) BERBASIS *SOFTWARE PSCAD/EMTDC POWER SIMULATION*

**( Aries Y. Paradis, Nim. 01.12.156, Teknik Elektro/Teknik Energi Listrik )**
**( Dosen Pembimbing : Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT )**

**Kata Kunci :** *Universal Custom Power Conditioner, Sinusoidal Based PWM Control, Proportional-Integral Control, Voltage Sag, Voltage Swells, Three Phase Symmetrical Fault.*

Kebutuhan Jaringan distribusi, beban industri sensitif dan operasi komersil kritis semua mengalami gangguan berbagai jenis *outages* dan mengatasi gangguan yang diklasifikasikan dalam masalah yang berkaitan dengan kualitas daya. Instalasi *Universal Custom Power Conditioner* (UCPC) adalah salah satu dari solusi penghematan biaya untuk permasalahan kualitas daya sejenisnya.

Sasaran yang utama dari skripsi ini adalah penerapan suatu UCPC untuk peningkatan kualitas daya. Ini adalah suatu alat terintegrasi yang mempunyai rangkaian kompensator seri tegangan, dan APF sebagai kompensator harmonik pada beban sensitif. Harmonik yang muncul akibat beban non-linier akan direduksi oleh UCPC. Pengontrol *Proportional-Integral* di dalam UCPC memutuskan untuk menentukan urutan modulasi lebar pulsa berdasarkan *Voltage Source Converter* (VSC) untuk menyediakan stabilisasi tegangan, kedip, menggagalkan *sag/swells*, dan koreksi faktor daya. PSCAD/EMTDC adalah alat simulasi yang digunakan untuk pemodelan dan simulasi.

Berdasarkan hasil pengujian dengan menggunakan software PSCAD/EMTDC *Power Simulation* Maka: Pada kondisi *voltage sag* tegangan mengalami perbaikan sebesar 0.067309 pu. Pada kondisi *voltage swells* tegangan mengalami perbaikan sebesar 0.054616 pu. Pada kondisi *three phase Symmetrical Fault* tegangan mengalami perbaikan sebesar 0.003586 pu. Pada saat *voltage sag* penyaluran daya aktif dapat dioptimalkan sebesar 2129.75836 kW, Pada saat *voltage swells* penyaluran daya aktif dapat dioptimalkan sebesar 443.8034 kW, Pada saat *three phase symmetrical fault* penyaluran daya aktif dapat dioptimalkan sebesar 3.255992 kW. Sedangkan Harmonik Tegangan dapat direduksi sebesar 21.72983479% atau sama dengan 4.346 kV.

# KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur kehadirat Allah SWT, berkat limpahan Rahmat dan Hidayah-Nya, sehingga penyusun dapat menyelesaikan skripsi ini.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan dalam menyelesaikan studi program strata satu (S-1) jurusan Teknik Elektro/Program Studi Teknik Energi Listrik, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang

Sebelum dan selama penyusunan skripsi ini, penyusun telah banyak mendapatkan bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini penyusun menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Abraham Lomi, MSEE, selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang.
2. Bapak Ir. Mochtar Asroni, MT, Selaku Dekan FTI Institut Teknologi Nasional Malang.
3. Bapak Ir. F. Yudi Limpraptono, MT, selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Nasional Malang.
4. Bapak Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT, selaku Dosen pembimbing.
5. Bapak Ir. F. Yudi Limpraptono, MT, selaku Dosen wali.
6. Kedua Orang Tua, "Nia" Adik dan Kakak ku yang selalu memberikan Doa dan dukungannya, yang selalu memberikan semangat selama studi hingga berhasil sebagai Sarjana Teknik Elektro.
7. Serta semua pihak yang turut serta membantu dalam penyelesaian skripsi ini.

Penyusun menyadari akan segala kekurangan yang ada dalam skripsi ini, maka dengan kerendahan hati penyusun mengharapkan kritik dan saran demi penyempurnaan skripsi ini. Akhirnya, kepada semua pihak yang telah bersungguh-sungguh dan dengan ikhlas membantu hingga terwujudnya skripsi ini, dengan tulus saya menyampaikan terima kasih.

Malang, September 2006

Penulis

# DAFTAR ISI

**HALAMAN JUDUL** ..... i
**LEMBAR PERSETUJUAN** ..... ii
**ABSTRAKSI** ..... iii
**KATA PENGANTAR** ..... iv
**DAFTAR ISI** ..... vi
**DAFTAR GAMBAR** ..... xi
**DAFTAR GRAFIK** ..... xiv
**DAFTAR TABEL** ..... xvi

**BAB I PENDAHULUAN** ..... 1
1.1. Latar Belakang ..... 1
1.2. Rumusan Masalah ..... 2
1.3. Tujuan Penelitian ..... 3
1.4. Batasan Masalah ..... 3
1.5. Metodologi Penelitian ..... 4
1.6. Sistematika Penulisan ..... 4

**BAB II SISTEM TENAGA LISTRIK, KUALITAS DAYA DAN *UNIVERSAL CUSTOM POWER CONDITIONER* (UCPC)** ..... 6
2.1. Sistem Tenaga Listrik ..... 6
2.2. Sistem Distribusi Tenaga Listrik ..... 6
2.3. Struktur Jaringan Distribusi Tenaga Listrik ..... 7
2.3.1. Sistem Distribusi Primer ..... 8
2.3.2. Sistem Distribusi Sekunder ..... 8
2.3.2.1. Struktur Jaringan Radial ..... 8
2.3.2.2. Struktur Jaringan Loop (Lingkaran) ..... 9

2.3.2.3. Struktur jaringan Grid atau Mesh (Anyaman) ..... 10

2.4. Kualitas Daya Elektrik ..... 11

2.4.1. Gangguan Dalam Sistem Tenaga Listrik ..... 11

2.4.2. Kualitas Tegangan ..... 13

2.4.3. Daya dalam Sistem Tenaga Listrik ..... 15

2.4.4. Harmonik ..... 17

2.4.4.1. Penyebab Distorsi Harmonik ..... 17

2.4.4.2. Mekanisme Minimisasi Harmonisa Arus Sistem ..... 19

2.5. Peralatan Elektronika Daya dalam Sistem

Distribusi Tenaga Listrik ..... 26

2.5.1. Transistor Bipolar ..... 26

2.5.2. *Metal Oxide Semiconductor FET* (MOSFET) ..... 26

2.5.3. *Insulated Gate Bipolar Transistor* (IGBT) ..... 27

2.5.4. Perbandingan Umum Antara Kinerja MOSFET dan IGBT ..... 27

2.6. Peralatan Kompensasi dalam Sistem Tenaga Listrik ..... 32

2.6.1. *Static VAR Compensator* (SVC) ..... 32

2.6.2. *NGH – Sub Synchronous Resonance* (SSR) ..... 33

2.6.3. *Thyristor Controlled Series Capacitor* (TCSC) ..... 33

2.6.4. *Static Condenser* (STATCON) ..... 35

2.6.5. *Thyristor Controlled Phase Angle Regulator* (TCPR) ..... 36

2.6.6. *Unified Power Flow Controller* (UPFC) ..... 37

2.6.7. *Universal Custom Power Condotioner* (UCPC) ..... 39

**BAB III PERBAIKAN KUALITAS DAYA MENGGUNAKAN *UNIVERSAL CUSTOM POWER CONDITIONER* (UCPC)** ..... 41

3.1. *Software PSCAD/EMTDC V4.2 Power Simulation* ..... 41

3.2. Memulai PSCAD/EMTDC *Power Simulation* ..... 42

3.3. Sistem Pengendalian PWM Sinusoida ..... 44

3.3.1. PWM Sinusoida ..... 44

3.3.2. Aksi Kontrol PWM Sinusoida Terhadap UCPC ..... 45

3.4. Aksi Kontrol Proporsional Integral (PI) ..... 46

3.4.1. Umum ..... 46

3.4.2. Prinsip-Prinsip Pengendalian Proses ..... 48

3.4.3. Prinsip Kerja Pengendali ..... 49

3.4.4. Pengendali Proporsional (*Proporsional Controller*) ..... 50

3.4.5. Pengendali Integral (*Integrator Controller*) ..... 52

3.4.6. Pengendali Proporsional Integral (*PI Controller*) ..... 54

3.5. Kompensasi UCPC Pada Sistem Distribusi 20 kV ..... 55

3.5.1. Sistem Distribusi Tanpa Kompensasi UCPC ..... 55

3.5.2. Sistem Distribusi Dengan Kompensasi UCPC ..... 55

3.6. *Flowchart* ..... 57

3.6.1. *Flowchart* Desain dan Simulasi Sistem dengan UCPC ..... 57

3.6.2. *Flowchart Wiring* Penyulang Dinoyo ..... 58

3.6.3. *Flowchart* Desain D-STATCOM ..... 59

3.6.4. *Flowchart* Desain DVR ..... 60

3.6.5. *Flowchart* Desain APF ..... 61

3.6.6. *Flowchart* Desain Kontrol UCPC ..... 62

3.7. *Input* Data Dalam PSCAD/EMTDC ..... 63

3.7.1. *Input* Data *Transformator* dan *Fixed Load* ..... 63

3.7.2. *Input* Data Pengendali PI dan SPWM Pada UCPC ..... 64

**BAB IV HASIL DAN ANALISA HASIL** ..... 65

4.1. Single Line Sistem Distribusi 20 kV Penyulang Dinoyo ..... 65

4.2. Data Penyaluran dan Pembebanan ..... 65

4.2.1. Data Saluran Penyulang Dinoyo ..... 65

4.2.2. Data Pembebanan Penyulang Dinoyo ..... 67

4.2.2.1. Data Pembebanan Penyulang Dinoyo pada Pukul 00.00 WIB ..... 67

4.2.2.2. Data Pembebanan Penyulang Dinoyo pada Pukul 14.00 WIB ..... 70

4.2.2.3. Data Pembebanan Penyulang Dinoyo pada Pukul 19.00 WIB ..... 72

4.2.3. Data Aliran Daya Tiap Saluran Penyulang Dinoyo ..... 74

4.2.3.1. Data Aliran Daya Penyulang Dinoyo pada Pukul 00.00 WIB ..... 74

4.2.3.2. Data Aliran Daya Penyulang Dinoyo pada Pukul 14.00 WIB ..... 76

4.2.3.3. Data Aliran Daya Penyulang Dinoyo pada Pukul 19.00 WIB ..... 77

4.3. Solusi Perbaikan Kualitas Daya dengan *Software PSCAD/EMTDC V.4.2 Power Simulation* ..... 78

4.4. Validasi ..... 78

4.5. Hasil dan analisa hasil perbaikan kualitas daya dengan UCPC ..... 80

4.5.1. Hasil Perhitungan dan Simulasi sebelum kompensasi UCPC ..... 80

4.5.2. Hasil Perhitungan dan Simulasi Setelah kompensasi ..... 85

4.5.3. Perbandingan Hasil Perhitungan dan Simulasi Sebelum Kompensasi Dan Sesudah Kompensasi. ..... 89

4.5.3.1. Perbandingan Tegangan dan Sudut Fasa Beban Dengan dan Tanpa UCPC ..... 89
4.5.3.2. Perbandingan Daya Aktif dan Daya Reaktif Beban Dengan dan Tanpa UCPC ..... 91
4.5.3.3. Perbandingan Jumlah Distorsi Harmonik Dengan dan Tanpa Menggunakan UCPC ..... 95

**BAB V PENUTUP** ..... 97
5.1. Kesimpulan ..... 97
5.2. Saran ..... 98

**DAFTAR PUSTAKA**
**LAMPIRAN**

# DAFTAR GAMBAR

**Gambar** Halaman


2.1. Skema Penyaluran Sistem Distribusi Tenaga Listrik ..... 7

2.2. Jaringan Tegangan Menengah (JTM), Jaringan Tegangan Rendah (JTR) dan Sambungan Rumah Ke Pelanggan ..... 8

2.3. Bentuk Sederhana dari Sistem Distribusi Radial ..... 9

2.4. Jaringan Tegangan Menengah Struktur Loop yang dipasok dari satu sumber ..... 10

2.5. Jaringan Tegangan Menengah Struktur Mesh ..... 10

2.6. Aliran Daya Melalui Saluran Pendek ..... 14

2.7. Perubahan Tegangan Sebagai Fungsi Aliran Daya Reaktif ..... 15

2.8. Segi Tiga Daya ..... 17

2.9. Sistem Yang Mensuplai Beban Non-Linier ..... 20

2.10. Sistem Yang Mensuplai Dua Cabang Beban ..... 21

2.11. Kurva THD arus sistem terhadap pergeseran sudut fasa tegangan ..... 24

2.12. Pengaruh perbedaan arus kerja cabang beban A dan B terhadap THD arus di sumber tegangan ..... 25

2.13. Tegangan Drop Dalam Kondisi Menyambung Untuk Sebuah MOSFET dan Dua IGBT ..... 31

2.14. *Static* VAR *Compensator* ..... 32

2.15. NGH - *SubSynchronous Resonance* ..... 33

2.16. *Thyristor Controlled Series Capacitor* (TCSC) ..... 34

2.17. *Static Condenser* (STATCON) ..... 36

2.18. *Thyristor Controlled Phase angle Regulator* (TCPR) ..... 37

2.19. *Unified Power Flow Controller* (UPFC) ..... 38

2.20. Diagram Blok Fungsional dari UCPC ..... 39

3.1. Tampilan Utama *Software PSCAD Power Simulation* ..... 42

3.2. Tampilan Modul Utama ..... 43

3.3. Tampilan *Master Library* ..... 43

3.4. Tampilan *Single Line* Penyulang Dinoyo dalam PSCAD ..... 44

3.5. Kontroler Dan Diagram Kotaknya ..... 50

3.6. Diagram Blok Kontroler Proporsional ..... 51

3.7. Response Sebuah Pengendali Proporsional ..... 52

3.8. Blok Diagram Kontroler Integral ..... 54

3.9. Diagram Kotak Pengendali PI ..... 54

3.10. Hubungan Input-Output Pengendali PI dalam Fungsi Waktu ..... 54

3.11. *Flowchart* Analisa Perbaikan Kualitas Daya Dengan *Universal Custom Power Conditioner* (UCPC) ..... 57

3.12. *Flowchart* Pembuatan *Single Line Diagram* Penyulang Dinoyo ..... 58

3.13. *Flowchart* Pembuatan Rangkaian D-STATCOM ..... 59

3.14. *Flowchart* Pembuatan Rangkaian DVR ..... 60

3.15. *Flowchart* Pembuatan Rangkaian APF ..... 61

3.16. *Flowchart* Pembuatan Rangkaian Kontrol SPWM Untuk UCPC ..... 62

3.17. (a) Input Data Konfigurasi Transformator, (b) Input Data *Winding Voltage*, (c) Input Data Parameter *Fixed Load*, (d) Input Data *Internal Output* ..... 63

3.18. (a) Rangkaian Pengendali PI Untuk Mengendalikan DVR, (b) Rangkaian Sinyal Komparator Untuk Mengendalikan DVR, (c) Rangkaian Komparator Untuk Mengendalikan DVR ..... 64

3.19. a) Rangkaian Pengendali PI Untuk Mengendalikan DSTATCOM, (b) Rangkaian Sinyal Komparator Untuk Mengendalikan DSTATCOM, (c) Rangkaian Komparator Untuk Mengendalikan DSTATCOM ..... 64

4.1. *Single Line* Penyulang Dinoyo ..... 54

# DAFTAR GRAFIK

**Grafik** Halaman

4.1. (a) Bentuk Gelombang Tegangan *Input* (Vi), (b) Bentuk Gelombang Sudut Fasa Tegangan, (c dan d) Grafik Bar Frekuensi Harmonik Tegangan pada Sumber ..... 80

4.2. (a) Bentuk Gelombang Daya Aktif dan Reaktif, (b) Gelombang Tegangan dan Sudut Fasa, Saat Terjadi *Voltage Sag* Tanpa Dilakukan Kompensasi DSTATCOM ..... 81

4.3. (a) Bentuk Gelombang Daya Aktif dan Reaktif, (b) Gelombang Tegangan dan Sudut Fasa, Saat Terjadi *Voltage Swells* Tanpa Dilakukan Kompensasi DSTATCOM ..... 82

4.4. (a) Bentuk Gelombang Daya Aktif dan Reaktif, (b) Gelombang Tegangan dan Sudut Fasa, Saat Terjadi *3Phase Symmetrical Fault* Tanpa Dilakukan Kompensasi DVR ..... 83

4.5. Total Harmonik Pada Beban Tanpa Kompensasi UCPC ..... 84

4.6. (a) Bentuk Gelombang Daya Aktif dan Reaktif, (b) Gelombang Tegangan dan Sudut Fasa, Saat Terjadi *Voltage Sag* Dengan Dilakukan Kompensasi DSTATCOM ..... 85

4.7. (a) Bentuk Gelombang Daya Aktif dan Reaktif, (b) Gelombang Tegangan dan Sudut Fasa, Saat Terjadi *Voltage Swells* Dengan Dilakukan Kompensasi DSTATCOM ..... 86

4.8. (a) Bentuk Gelombang Daya Aktif dan Reaktif, (b) Gelombang Tegangan dan Sudut Fasa, Saat Terjadi *3Phase Symmetrical Fault* Dengan Dilakukan Kompensasi DVR ..... 87

4.9. Total Harmonik Pada Beban Dengan Kompensasi UCPC ..... 88

4.10. Kandungan Harmonisa Sistim Distribusi 20 kV Penyulang Dinoyo Tanpa Menggunakan Kompensasi UCPC ..... 96

4.11. Kandungan Harmonisa Sistim Distribusi 20 kV Penyulang Dinoyo Dengan Menggunakan Kompensasi UCPC ..... 96

# BAB I

# PENDAHULUAN

## 1.1. Latar Belakang

Dalam kaitan dengan perkembangan pesat industri elektronika daya, sejumlah besar semikonduktor dengan kapasitas daya yang tinggi tersedia untuk aplikasi sistem tenaga. FACTS menggunakan komponen elektronika daya terbaru dan metode kendali untuk mengontrol sisi tegangan tinggi pada jaringan sistem tenaga listrik [1]. *Custom power* dipusatkan pada sistem distribusi tegangan rendah, dan adalah suatu teknologi yang lebih hemat biaya ketika UCPC ini dipakai oleh pengguna daya yang besar, seperti bangunan komersil dan industri yang melibatkan otomasi produksi [2]. Dengan solusi *custom power* pada suatu tempat, konsumen sisi ujung yang lain merasakan pengatuaran tegangan yang lebih baik, gangguan hampir tidak ada, rendah harmonik tegangan dan cocok pada fluktuasi yang cepat dan beban non-linier. Masalah kualitas daya seperti harmonik, ketidakseimbangan sistem, *voltage sag*, *voltage swell*, *voltage flicker* dan *outages* telah diteliti tersendiri dan masing-masing menggunakan peralatan *custom power*. Pengembangan yang terakhir adalah instalasi UCPC (*Universal Custom Power Conditioner*), yang merupakan solusi yang paling hemat biaya untuk jenis-jenis permasalahan kualitas daya tersebut. Diagram blok fungsional UCPC ditunjukan pada gambar 2.30.

Dalam beberapa hal, suatu kombinasi paralel dan seri filter aktif mungkin diperlukan dalam mengkompensasi distorsi harmonik [3-5]. UCPC adalah suatu

Dari permasalahan diatas maka skripsi ini berjudul:

**"ANALISA PERBAIKAN KUALITAS DAYA PADA SISTEM DISTRIBUSI MENGGUNAKAN *UNIVERSAL CUSTOM POWER CONDITIONER* (UCPC) BERBASIS *SOFTWARE PSCAD/EMTDC POWER SIMULATION*"**

## 1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan permasalahan yang dikemukakan di atas maka skripsi ini bertujuan untuk mengoptimalkan penyaluran daya secara ekonomis, memperbaiki kualitas tegangan suatu sistem tenaga listrik serta mengurangi rugi-rugi daya akibat harmonisa dengan menggunakan *Universal Custom Power Conditioner* (UCPC).

## 1.4. Batasan Masalah

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

1. Pehitungan dan simulasi dilakukan dengan *software* PSCAD/EMTDC V4.2 *Power Simulation.*
2. Studi dilakukan di PT. PLN (PERSERO) pada Penyulang Dinoyo.
3. Membahas desain sistem dan *logic controller.*
4. Pengaruh harmonik pada sistem diperhitungkan.

## 1.5. Metodologi Penelitian

Metode yang digunakan dalam penyelesaian ini adalah:

1. Studi literatur berupa pengumpulan dan pembahasan referensi yang berkaitan dengan pokok pembahasan masalah ini, sehingga membantu dalam memahami dasar-dasar dari peralatan yang digunakan dalam sistem dan membantu dalam memahami prinsip dan karakteristik setiap parameter elektronika daya yang digunakan.
2. Pengumpulan data lapangan sebagai objek penelitian
3. Melakukan analisis berdasarkan hasil simulasi program PSCAD/EMTDC V.4.2 *Power Simulation.*
   a. Analisis aliran daya aktif dan reaktif
   b. Analisis profil tegangan sistem
   c. Analisis distorsi harmonik
4. Mengambil kesimpulan dari perbandingan sistem yang menggunakan alat kompensasi UCPC dengan tanpa menggunakan UCPC.

## 1.6. Sistematika Penulisan

Penulisan dibagi dalam beberapa bab dan sub bab, adapun sistematika penulisan skripsi ini adalah:

BAB I : PENDAHULUAN

Berisi penguraian tentang Latar Belakang, Rumusan Masalah, Tujuan Penelitian, Batasan Masalah, Metodologi Penelitian dan Sistematika Penulisan

BAB II : SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK

Membahas tentang sistem distribusi tenaga listrik secara umum dan pengaruh pemasangan alat kompensasi untuk memperbaiki kualitas daya.

BAB III : PERBAIKAN KUALITAS DAYA DENGAN UCPC

Berisi penguraian tentang perbandingan kualitas daya system yang menggunakan alat kompensasi UCPC dan tanpa menggunakan kompensasi UCPC

BAB IV : HASIL DAN ANALISA HASIL

Menguraikan tentang hasil simulasi dan menganalisa hasil simulasi

BAB V : PENUTUP

Berisi kesimpulan dan saran berdasarkan hasil simulasi

# BAB II

# SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK

## 2.1. Sistem Tenaga Listrik

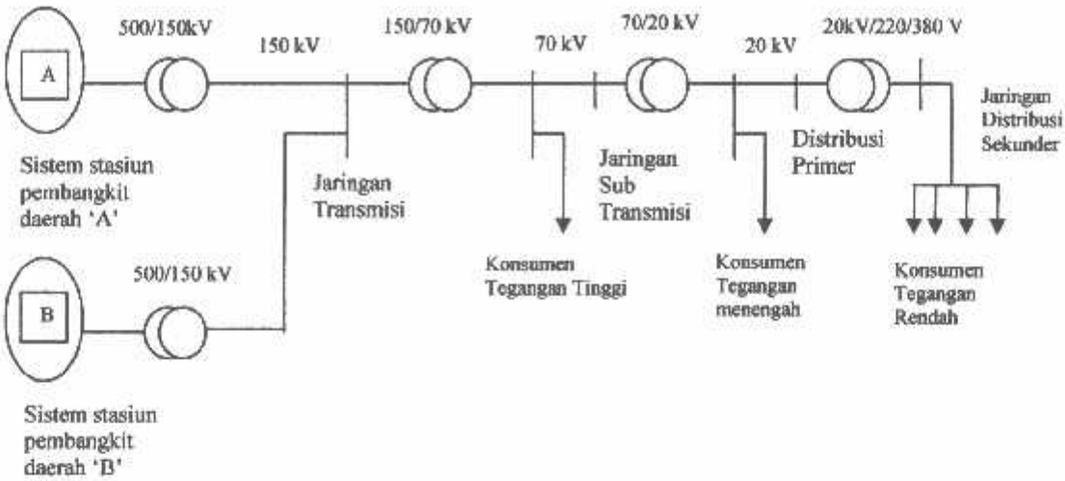
Sistem tenaga listrik merupakan suatu sistem yang terpadu yang terbentuk oleh hubungan-hubungan peralatan dan komponen komponen listrik. Sistem tenaga listrik ini mempunyai peranan utama untuk menyalurkan energi listrik yang dibangkitkan oleh generator ke konsumen yang membutuhkan energi listrik tersebut.

Secara garis besar suatu sistem tenaga listrik dapat dikelompokkan menjadi tiga bagain sub sistem yaitu :

1. Sistem pembangkitan : berperan sebagai sumber daya tenaga listrik dan disebut juga sebagai produktor energi.
2. Sistem transmisi atau penyalur : berfungsi sebagai penyalur daya listrik dalam skala besar dari pembangkit kebagian sistem distribusi.
3. Sistem distribusi dan beban : berfungsi sebagai distributor energi ke konsumen yang memerlukan energi tersebut.

## 2.2. Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Jaringan distribusi berada pada akhir dari sistem tenaga listrik, perannya mendistribusikan tenaga listrik dari gardu induk atau pembangkit tenaga ke konsumen melalui gardu distribusi.




Gambar 2.1
Skema Penyaluran Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Dalam pendistribusian tenaga listrik ke konsumen, tegangan yang digunakan bervariasi tergantung pada jenis konsumen yang membutuhkan. Dengan demikian maka sistem distribusi tenaga listrik dapat diklasifikasikan menjadi dua bagian sistem yaitu :

1. Sistem distribusi primer
2. Sistem distribusi sekunder

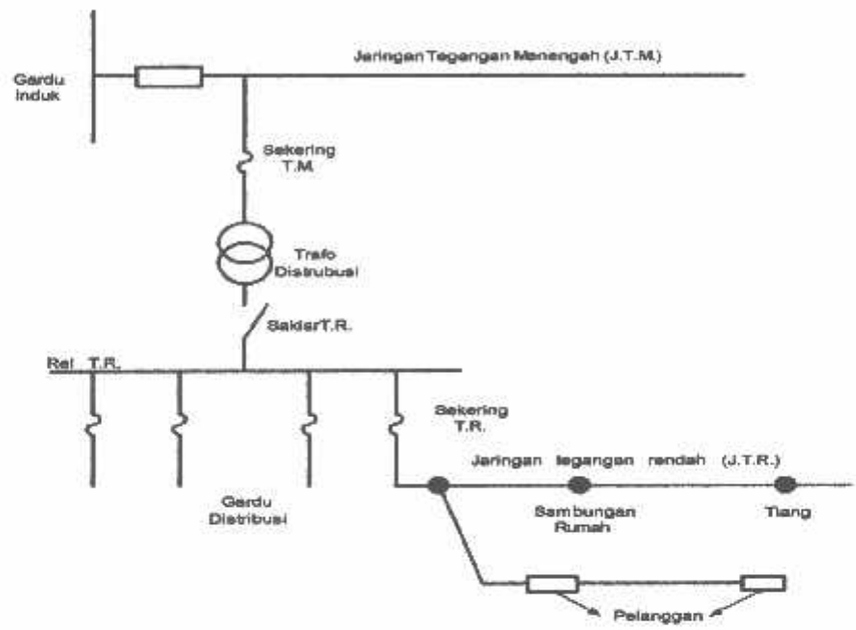
Pengklasifikasian sistem distribusi tenaga listrik menjadi dua ini berdasarkan tingkat tegangan distribusinya.

## 2.3. Struktur Jaringan Distribusi Tenaga Listrik

Dalam rangka mengantisipasi peningkatan kebutuhan energi listrik pada masa tertentu, maka struktur jaringan harus dieprtimbangkan terlebih dahulu sehingga untuk ekspansi sistem di masa yang akan datang tidak menjadi masalah.

### 2.3.1. Sistem Distribusi Primer

Jaringan Distribusi Primer merupakan sistem tenaga listrik yang menyalurkan energi listrik antara Gardu Induk Distribusi sampai ke Gardu Distribusi dengan tegangan kerja 20 kV atau 6 kV.




Gambar 2.2
Jaringan Tegangan Menengah (JTM), Jaringan Tegangan Rendah (JTR) dan Sambungan Rumah Ke Pelanggan

### 2.3.2. Sistem Distribusi Sekunder

Secara garis besar jaringan distribusi primer diklasifikasikan menjadi :

#### 2.3.2.1. Struktur Jaringan Radial

Bentuk jaringan ini merupakan bentuk dasar yang paling sederhana dan paling banyak digunakan. Sistem ini dikatakan radial karena dari kenyataan bahwa jaringan ini ditarik secara radial dari GI ke pusat – pusat beban / konsumen

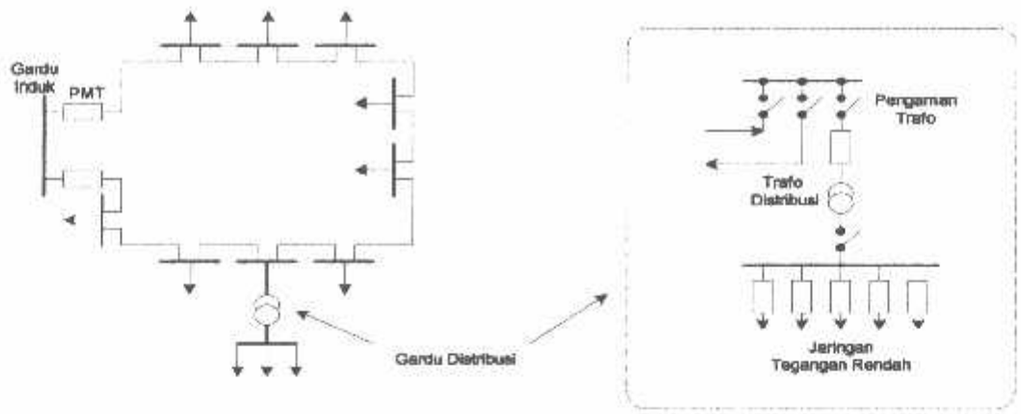
yang dilayaninya. Sistem ini terdiri dari saluran utama (tunk line) dan saluran cabang (lateral).

Gambar 2.3
Bentuk Sederhana dari Sistem Distribusi Radial

Pelayanan untuk suatu daerah beban tertentu dilaksanakan dengan memasang transformator di sembarang titik pada jaringan sedekat mungkin dengan 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.

### 2.3.2.2. Struktur Jaringan Loop (Lingkaran)

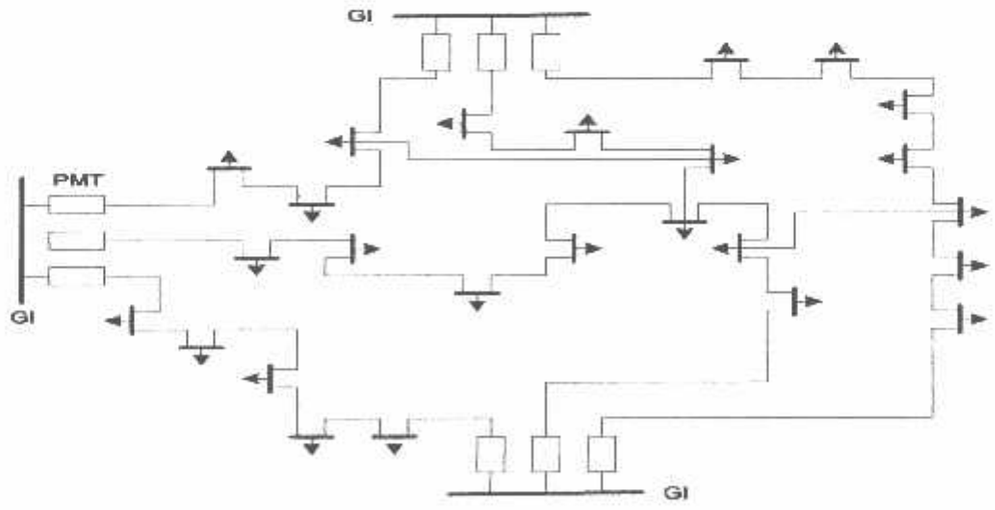
Struktur jaringan loop merupakan gabungan dari dua struktur jaringan radial. Dimana pada ujung kedua jaringan dipasang sebuah pemutus (CB) atau pemisah (DS). Pada saat terjadi gangguan, setelah gangguan dapat diisolir,maka pemutus atau pemisah ditutup sehingga aliran daya listrik ke bagian yang tidak terkena gangguan tidak terhenti. Struktur jaringan loop mempunyai keandalan yang baik, sehingga biaya pembangunannya lebih mahal dibandingkan stuktur jaringan radial.




Gambar 2.4
Jaringan Tegangan Menengah Struktur Loop
yang dipasok dari satu sumber.

### 2.3.2.3. Struktur jaringan Grid atau Mesh (Anyaman)

Struktur jaringan ini merupakan kombinasi antara struktur jaringan radial dengan struktur jaringan loop. Titik beban memiliki lebih banyak alternative penyulang, sehigga bila salah satu penyulang terganggu maka dengan segera dapat digantikan oleh penyulang yang lain.




Gambar 2.5
Jaringan Tegangan Menengah Struktur Mesh

## 2.4. Kualitas Daya Elektrik

Dengan semakin tingginya biaya/tarif listrik, maka tuntutan efisiensi dalam pemakaian daya listrik menjadi pertimbangan utama. Efisiensi penggunaan daya listrik dipengaruhi banyak faktor, diantaranya adalah sangat bergantung pada kualitas daya listrik. Kualitas daya listrik sangat dipengaruhi oleh penggunaan jenis-jenis beban tertentu yang mengakibatkan turunnya efisiensi salah satunya pemakaian beban non linier seperti: konverter dengan adanya pengoperasian peralatan seperti ini maka akan menghasilkan harmonisa yang dampaknya mempengaruhi kualitas daya, sehingga menimbulkan banyak kerugian-kerugian. Untuk mendapatkan kualitas tenaga listrik yang baik, maka perlu dilakukan langkah-langkah perbaikan kualitas daya, yaitu dengan cara melakukan audit *power quality* guna menentukan langkah-langkah serta upaya yang tepat untuk mengurangi adanya harmonisa yang dihasilkan, contohnya dengan menggunakan alat kompensasi UCPC. Sehingga kerugian serta gangguan dapat diminimalkan agar kualitas tenaga listrik dapat optimal sehingga kontinuitas pelayanan semakin terjaga.

### 2.4.1. Gangguan Dalam Sistem Tenaga Listrik

Pada dasarnya gangguan dalam sistem distribusi tenaga listrik dapat dibedakan menjadi dua bagian, yaitu gangguan yang bersifat sementara dan yang bersifat permanen, gangguan yang bersifat sementara atau *temporary* biasanya hanya terjadi dalam waktu yang sebentar, kemudian normal kembali. Sehingga apabila terjadi gangguan sementara maka diusahakan tidak sampai trip pada sistem secara keseluruhan, karena menyangkut kontonuitas pelayanan ke beban.

Secara umum jenis gangguan yang dapat terjadi dapat digolongkan menjadi tiga macam yaitu:

a. Gangguan shunt
   - Gangguan tiga fasa (3φ)
   - Gangguan line to line (L-L)
   - Gangguan double line to ground (2L-G)
   - Gangguan single line to ground (SL-G)

b. Gangguan seri
   - Gangguan satu saluran terbuka
   - Gangguan dua saluran terbuka
   - Impedansi seri tak seimbang

c. Gangguan simultan, merupakan dua jenis gangguan yang terjadi pada waktu yang bersamaan, berupa:
   - Gangguan shunt dengan gangguan shunt
   - Gangguan shunt dengan gangguan seri
   - Gangguan seri dengan gangguan seri

Dari bermacam-macam gangguan di atas tersebut, gangguan dapat dikelompokan lagi menjadi dua bagian yaitu:

1. Gangguan hubung singkat simetris

Gangguan hubungan singkat tiga phasa merupakan jenis gangguan hubungan singkat simetris, sedangkan gangguan yang lain merupakan gangguan tidak simetris. Gangguan arus hubung singkat ini menyebabkan timbulnya arus

yang sangat besar yang melewati kapasitas arus yang diijinkan, adapun akibat-akibat yang ditimbulkan dengan adanya gangguan hubung singkat tersebut:

- Rusaknya peralatan-peralatan listrik yang berada dekat dengan gangguan yang disebabkan arus-arus yang besar, arus tidak seimbang maupun tegangan-tegangan rendah.
- Terhentinya kontinuitas pelayanan listrik kepada konsumen apabila gangguan tersebut sampai mengakibatkan terputusnya *circuit* yang biasa disebut dengan pemadaman listrik.

Untuk menganalisa gangguan pada rangkaian tiga phasa seimbang, maka menganalisanya dapat diselesaikan secara langsung dengan menggunakan rangkaian setara phasa tunggal.

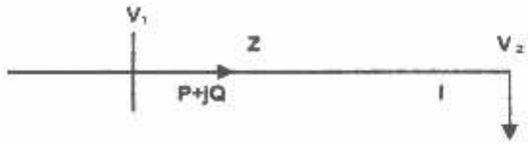
2. Gangguan hubung singkat tak simetris

Hampir semua gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik adalah merupakan gangguan tidak simetri. Gangguan tidak simetri ini terjadi sebagai akibat dari gangguan satu fasa ke tanah, gangguan antar fasa atau gangguan dua fasa ke tanah.

### 2.4.2. Kualitas Tegangan

Keseimbangan daya reaktif yang dihasilkan dan digunakan harus dapat dipertahankan agar tidak terjadi perubahan tegangan. Bila besaran tegangan ini mengalami perubahan, maka daya reaktif pada simpul tersebut tidak dapat dipertahankan lagi. Ini perlu aliran daya reaktif pada sistem.

Dari gambar dibawah ini terlihat bahwa pembangkit memberikan daya sebesar P + jQ ke beban. Misalkan R dianggap jauh lebih kecil dari X, maka resistansi saluran dapat diabaikan. Sehingga impedansi saluran dituliskan Z = jX.




Gambar 2.6

Aliran Daya Melalui Saluran Pendek

Jatuh tegangan yang terjadi sepanjang saluran disebabkan oleh adanya impedansi sehingga hubungan yang terjadi :

$$V_2 = V_1 - I.Z \quad \text{.....(2.1)}$$

Karena daya yang mengalir pada simpul 1 adalah P + jQ, maka :

$$I = \frac{P + jQ}{V_1^*} \quad \text{.....(2.2)}$$

Jika $V_1$ dipilih sebagai referensi maka dapat dianggap mempunyai sudut nol maka persamaan menjadi :

$$I = \frac{P - jQ}{V_1} \quad \text{.....(2.3)}$$

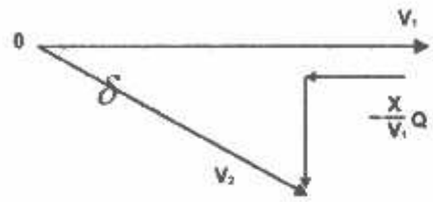
Subtitusi persamaan (2.3) ke persamaan (2.1) diperoleh :

$$V_2 = V_1 - (\frac{P - jQ}{V_1}).Z \quad \text{.....(2.4)}$$

$$V_2 = V_1 - ( \frac{jXP}{V_1} + \frac{XQ}{V_1} ) \quad \text{.....(2.5)}$$

$$V_2 = V_1 - \frac{X}{V_1}Q - j\frac{X}{V_1}P \quad \text{.....(2.6)}$$

Persamaan diatas dapat dilihat dalam bentuk gambar sebagai berikut :




Gambar 2.7
Perubahan Tegangan Sebagai Fungsi Aliran Daya Reaktif

Dari persamaan diatas dapat dijelaskan :

1. Perubahan daya aktif $\Delta P$ pada dasarnya hanya mempengaruhi sudut fasa tegangan sedangkan magnitude tegangan hampir tidak berubah.
2. Perubahan daya reaktif $\Delta Q$ pada dasarnya hanya mempengaruhi magnitude tegangan [V] dan hampir tidak berpengaruh pada sudut fasa tegangan.

### 2.4.3. Daya dalam Sistem Tenaga Listrik

➢ **Daya aktif (*Active Power* )**

Secara umum daya aktif dinyatakan oleh persamaan :

$$P = [\,V\,][\,I\,]\cos\varphi \quad \text{.....(2.7)}$$

dimana :

V = tegangan

I = Arus

P = Daya rata–rata yang disebut juga daya aktif.

➢ **Daya Reaktif (*Reactive Power*)**

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

Persamaan daya reaktif adalah :

$$Q = [V][I] \sin \varphi \quad \text{.....(2.8)}$$

Dua macam daya reaktif yaitu : daya reaktif induktif dan daya reaktif kapasitif, dimana keduanya memiliki tanda yang berlawanan. Daya reaktif kapasitif adalah daya yang dibutuhkan oleh kapasitor yang tidak menghasilkan kerja, tetapi tersimpan dalam bentuk energi magnetis atau energi kapasitif.

Daya reaktif induktif adalah daya listrik yang dibutuhkan untuk menghasilkan medan magnet yang dibutuhkan oleh alat–alat seperti motor induksi, transformator dan sebagainya.

➢ **Daya Semu ( *Apparent Power* )**

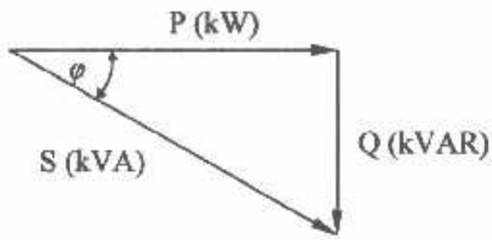
Daya semu merupakan penjumlahan secara vektoris antara daya aktif dan daya reaktif.

➢ ***Power Factor***

Faktor daya pada dasarnya didefinisikan sebagai perbandingan antara daya nyata dan daya semu, dinyatakan oleh persamaan:

$$\text{Faktor Daya} = \frac{\text{Daya Nyata}(\text{kW})}{\text{Daya Semu}(\text{kVA})} \quad \text{.....(2.9)}$$

Untuk daya sendiri dibentuk oleh dua komponen, daya nyata (P) dan komponen daya reaktif (Q). Hubungan ini dapat digambarkan dalam diagram vektor berikut:




Gambar 2.8
Segitiga Daya

Dengan Faktor Daya:

$$\text{Cos } \varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} = \frac{kW}{kVA}$$

$$kW = kVA \cos \varphi$$

$$kVAR = kVA \sin \varphi = kW \tan \varphi$$

$$\tan \varphi = \frac{kVAR}{kW}$$

dengan:

| | |
|---|---|
| Cos φ | = Faktor Daya |
| P | = Daya Nyata (kW) |
| S | = Daya Semu (kVA) |
| Q | = Daya Reaktif (kVAR) |

### 2.4.4. Harmonik

#### 2.4.4.1. Penyebab Distorsi Harmonik

Banyaknya aplikasi beban nonlinier pada sistem distribusi tenaga listrik seperti konverter statis yang berbasis elektronika daya telah membuat arus sistem menjadi sangat terdistorsi dengan persentase kandungan harmonisa arus THD (*total harmonic distortion*) yang sangat tinggi. Umumnya arus sistem distribusi tenaga listrik yang terdistorsi tersebut didominasi oleh arus harmonisa orde ganjil frekuensi rendah, yakni arus harmonisa orde lima, tujuh, sebelas, dan seterusnya,

yang magnitud arus harmonisanya berbanding terbalik dengan orde harmonisanya.

Tingginya persentase kandungan harmonisa arus (THD) pada suatu sistem tenaga listrik dapat menyebabkan timbulnya beberapa persoalan harmonisa yang serius pada sistem tersebut dan lingkungannya, seperti terjadinya resonansi pada sistem yang merusak kapasitor kompensasi faktor daya, membuat faktor daya sistem menjadi lebih buruk, menimbulkan interferensi terhadap sistem telekomunikasi, meningkatkan rugi-rugi sistem, menimbulkan berbagai macam kerusakan pada peralatan listrik yang sensitif, yang kesemuanya menyebabkan penggunaan energi listrik menjadi tidak efektif.

Beberapa metode minimisasi harmonisa arus pada sistem tenaga listrik telah banyak dipresentasikan, misalnya dengan menggunakan filter pasif L-C dan filter aktif. Namun, dalam prakteknya, penggunaan filter pasif L-C mempunyai beberapa kelemahan, antara lain desain ukuran dan berat induktor L dan C yang cukup besar untuk memfilter arus harmonisa orde frekuensi rendah, dan juga dibutuhkan sejumlah filter L-C dengan ukuran yang berbeda untuk memfilter sejumlah arus harmonisa dengan masing-masing ordenya. Selain itu, karakteristik filter L-C sangat dipengaruhi oleh impedansi sistem yang sulit diketahui secara pasti karena selalu berubah terhadap konfigurasi sistem. Sementara itu, filter daya aktif merupakan sebuah inverter PWM sumber arus, sehingga sulit merealisasikannya dalam kapasitas yang besar, disamping biaya investasinya yang tinggi. Dan dikhawatirkan bahwa filter daya aktif juga berfungsi sebagai pembangkit arus harmonisa orde tinggi yang dapat mengganggu sistem telekomunikasi, audio, dan video.

Dalam tulisan ini digunakan metode minimisasi harmonisa arus sistem yang dilakukan dengan mensuper-posisikan komponen-komponen arus harmonisa arus yang signifikan dari dua cabang beban sistem sehingga saling meniadakan. Super-posisi komponen arus harmonisa pada sistem dapat dilakukan dengan menggeser sudut fasa tegangan suplai beban dengan menggunakan sebuah *Active Power Filter* (APF). Dalam hal ini, APF bertindak sebagai minimisator harmonisa arus sistem. Beberapa konfigurasi APF penggeser fasa dibentuk dan dibandingkan besar masing-masing rating kVA yang dibutuhkannya.

### 2.4.4.2. Mekanisme Minimisasi Harmonisa Arus Sistem

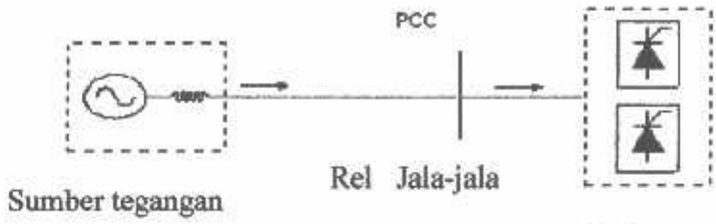
Gambar 2.9 memperlihatkan sistem distribusi tenaga listrik yang mensuplai beban-beban non-linier yang menyebabkan arus sistem terdistorsi dan mengandung harmonisa arus. Persamaaan arus sistem yang mengandung harmonisa dapat dinyatakan sebagai berikut:

Arus sistem $I_S(t)$ sama dengan arus beban total $I_B(t)$, yaitu:

$$i_S(t) = \sqrt{2} I_{S1} \sin(\omega t) + \sum_{h=(6n\pm1)}^{\infty} \sqrt{2} I_{Sh} \sin(h\omega t) \quad \text{..... (2.10)}$$

dengan:

| | | |
|---|---|---|
| $I_s(t)$ | adalah nilai sesaat dari arus sistem |
| $I_{S1}$ | adalah nilai rms dari komponen arus fundamental |
| $I_{Sh}$ | adalah nilai rms dari arus harmonisa orde h |
| h | adalah orde harmonisa |
| n | adalah bilangan integer (1,2, 3, ...) |
| $\omega$ | sama dengan $2\pi f$, dimana f adalah frekuensi sistem atau frekuensi fundamental |




Gambar 2.9
Sistem Yang Mensuplai Beban Non-linier

Komponen arus harmonisa dari arus sistem ini mempunyai sifat yang sama dengan komponen arus urutan pada sistem komponen simetris; komponen arus harmonisa orde (h=6n+1) mempunyai sifat yang sama dengan komponen urutan positif dan dinamakan komponen arus harmonisa urutan positif, sedangkan komponen arus harmonisa orde (h=6n-1) mempunyai sifat yang sama dengan komponen arus urutan negatif dan dinamakan komponen arus harmonisa urutan negatif. Umumnya magnitud arus harmonisa yang terdapat pada sistem akan berbanding terbalik terhadap ordenya, dan dinyatakan sebagai :

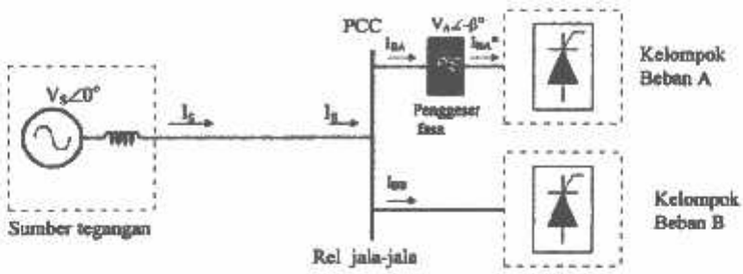
$$I_{Sh}=\frac{I_{S1}}{h} \quad \text{.....(2.11)}$$

Persentase kandungan arus harmonisa yang terdapat pada suatu sistem atau tingkat distorsi arus sistem dinyatakan dalam THD (*total harmonic distortion*) yang didefinisikan sebagai:

$$THD_{arus}=\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty}\left(\frac{I_{Sh}}{I_{S1}}\right)^2}\ x100\% \quad \text{.....(2.12)}$$

Untuk meminimisasi harmonisa arus sistem (THD) agar dapat memenuhi standardisasi dengan metode yang diusulkan ini, dilakukan mekanisme sebagai berikut. Beban sistem dibagi menjadi dua kelompok cabang beban, misalkan kelompok cabang beban A dan B. Kemudian, sudut fasa tegangan suplai untuk salah satu cabang beban digeser sebesar ($-\beta$) terhadap tegangan sumber dengan

menggunakan sebuah penggeser fasa PS (*phase shifter*), sementara cabang beban lainnya disuplai langsung dari sumber tegangan seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.10.




Gambar 2.10
Sistem Yang Mensuplai Dua Cabang Beban

Kelompok beban nonlinier pada cabang B yang langsung disuplai dari sumber tegangan sistem mempunyai persamaan arus di rel jala-jala sebagai berikut :

$$\begin{aligned} i_{BB}(t) &= \sqrt{2}I_{BB}\sin(\omega t) + \sum_{h=(6n\pm1)}^{\infty}\sqrt{2}I_{BBh}\sin(h\omega t) \\ &= \sqrt{2}I_{BB1}\sin(\omega t) + \sqrt{2}I_{BB5}\sin(5\omega t) \\ &\quad + \sqrt{2}I_{BB7}\sin(7\omega t) + \sqrt{2}I_{BB11}\sin(11\omega t) \\ &\quad + \sqrt{2}I_{BB13}\sin(13\omega t) + \sqrt{2}I_{BB17}\sin(17\omega t) \\ &\quad + \sqrt{2}I_{BB19}\sin(7\omega t) \end{aligned} \quad \text{.....(2.13)}$$

Kelompok beban A yang mendapat tegangan suplai dengan pergeseran sudut fasa sebesar $-\beta^{o}$ terhadap sudut fasa tegangan sumber $V_{S\delta}$ 0° mempunyai persamaan arus di sisi beban adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} i_{BB}(t) &= \sqrt{2}I_{BB1}\sin(\omega t-\beta) + \sum_{h=(6n\pm1)}^{\infty}\sqrt{2}I_{BBh}\sin(h\omega t-\beta) \\ &= \sqrt{2}I_{BA1}\sin(\omega t-\beta) + \sqrt{2}I_{BA5}\sin(5\omega t-\beta) \\ &\quad + \sqrt{2}I_{BB7}\sin(7\omega t-\beta) + \sqrt{2}I_{BB11}\sin(11\omega t-\beta) \\ &\quad + \sqrt{2}I_{BB13}\sin(13\omega t-\beta) + \sqrt{2}I_{BB17}\sin(17\omega t-\beta) \\ &\quad + \sqrt{2}I_{BB19}\sin(7\omega t-\beta) \end{aligned} \quad \text{.....(2.14)}$$

Besar sudut fasa tegangan cabang beban A di sisi jala-jala sistem (input penggeser fasa) sama dengan sudut fasa tegangan sumber, yaitu $V_{S\delta}\,0^{o}$, atau sama dengan sudut fasa tegangan di beban A, yaitu $V_{A\delta}\,(-\beta^{o})$ yang digeser sebesar $(+\beta^{o})$. Adanya pergeseran sudut fasa ini juga menyebabkan terjadinya pergeseran sudut fasa pada komponen arus beban A di jala-jala sistem. Sudut fasa komponen arus fundamental $I_{BA1}$ akan tergeser sebesar $(+\beta^{o})$ dan komponen arus harmonisa urutan positif (arus harmonisa orde h = 6n + 1, yaitu orde 7, 13, 19, ... dst) akan tergeser sebesar $(\beta \cdot h)^{o}$, sedangkan sudut fasa komponen arus harmonisa urutan negatif (arus harmonisa orde h = 6n - 1, yaitu orde 5, 11, 17, ... dst) tergeser sebesar $-(\beta \cdot h)^{o}$. Dengan demikian, dari persamaan (2.14) dapat ditentukan persamaan arus cabang beban A di sisi jala-jala sebagai berikut:

$$
\begin{aligned}
i_{BA}(t) &= \sqrt{2}I_{BA1}\sin(\omega t-\beta^{o}+\beta^{o}) \\
&\quad +\sqrt{2}I_{BA5}\sin(5\omega t-\beta^{o}-5\beta^{o}) \\
&\quad +\sqrt{2}I_{BA7}\sin(7\omega t-\beta^{o}+7\beta^{o}) \\
&\quad +\sqrt{2}I_{BA11}\sin(11\omega t-\beta^{o}-11\beta^{o}) \\
&\quad +\sqrt{2}I_{BA13}\sin(13\omega t-\beta^{o}-13\beta^{o}) \\
&\quad +\sqrt{2}I_{BA17}\sin(17\omega t-\beta^{o}-17\beta^{o}) \\
&\quad +\sqrt{2}I_{BA19}\sin(19\omega t-\beta^{o}-19\beta^{o}) \\
&= \sqrt{2}I_{BA1}\sin(\omega t)+\sqrt{2}I_{BA5}\sin(5\omega t-6\beta^{o}) \\
&\quad +\sqrt{2}I_{BA7}\sin(7\omega t+6\beta^{o}) \\
&\quad +\sqrt{2}I_{BA11}\sin(11\omega t-12\beta^{o}) \\
&\quad +\sqrt{2}I_{BA13}\sin(13\omega t+12\beta^{o}) \\
&\quad +\sqrt{2}I_{BA17}\sin(17\omega t-18\beta^{o}) \\
&\quad +\sqrt{2}I_{BA19}\sin(19\omega t+18\beta^{o}) \qquad \text{.....(2.15)}
\end{aligned}
$$

Besar arus sistem $I_S$ pada jala-jala (PCC) atau pada sumber tegangan adalah penjumlahan arus cabang beban A dan cabang beban B. Dari persamaan (2.14) dan (2.15) dapat ditentukan besar arus sistem $I_S$ sebagai berikut:

$$\begin{aligned} i_s(t) &= i_{BA1}(t) + i_{BB1}(t) \\ &= \sqrt{2}[\{I_{BA1} + I_{BB1}\}\sin(\omega t) \\ &\quad + I_{BA5}\sin(5\omega t - 6\beta^\circ) + I_{BB5}\sin(5\omega t) \\ &\quad + I_{BA7}\sin(7\omega t + 6\beta^\circ) + I_{BB7}\sin(7\omega t) \\ &\quad + I_{BA11}\sin(11\omega t - 12\beta^\circ) + I_{BB11}\sin(11\omega t) \\ &\quad + I_{BA13}\sin(13\omega t + 12\beta^\circ) + I_{BB13}\sin(13\omega t) \\ &\quad + I_{BA17}\sin(17\omega t - 18\beta^\circ) + I_{BB17}\sin(17\omega t) \\ &\quad + I_{BA19}\sin(19\omega t - 18\beta^\circ) + I_{BB19}\sin(19\omega t) \end{aligned} \quad \text{.....(2.16)}$$

Apabila diasumsikan bahwa besar magnitud arus cabang A dan B adalah sama besar, yakni:

$$I_{ABl} = I_{BBl} = I_{Bl} = \tfrac{1}{2} I_s$$
$$I_{ABh} = I_{BBh} = I_{Bh} = \tfrac{1}{2} I_{sh}$$

maka persamaan (2.16) arus sistem $I_S$ dapat ditulis menjadi:

$$\begin{aligned} i_s(t) = \sqrt{2}[&I_{S1}\sin(\omega t) + \tfrac{1}{2}\{I_{S5}\sin(5\omega t - 6\beta^\circ) \\ &+ I_{S5}\sin(5\omega t) + I_{S7}\sin(7\omega t + 6\beta^\circ) \\ &+ I_{S7}\sin(7\omega t) + I_{S11}\sin(11\omega t - 12\beta^\circ) \\ &+ \sqrt{2}I_{BB7}\sin(7\omega t) + \sqrt{2}I_{BB11}\sin(11\omega t) \\ &+ I_{S13}\sin(\omega t) + I_{S17}\sin(5\omega t - 18\beta^\circ) \\ &+ I_{S17}\sin(5\omega t) + I_{S19}\sin(19\omega t + 18\beta^\circ) \\ &+ I_{S19}\sin(19\omega t + 18\beta^\circ)\}\ ] \end{aligned} \quad \text{.....(2.17)}$$

Dengan melakukan perubahan besar sudut pergeseran fasa $\beta$ pada persamaan (8), akan didapatkan grafik nilai THD arus sistem terhadap sudut pergeseran fasa ($\beta$) yang diperlihatkan pada gambar berikut ini.

Gambar 2.11
Kurva THD arus sistem terhadap pergeseran
sudut fasa tegangan

Hasil simulasi pada gambar 2.11 memperlihatkan bahwa THD arus sistem $I_S$ akan mencapai nilai minimum, yaitu THD = 11,09% pada sudut pergeseran fasa sebesar $\beta = 30°$.

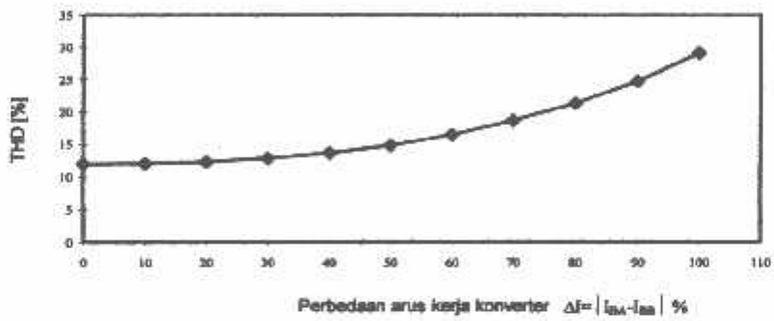
Dengan mensubtitusikan nilai $\beta = 30°$ ke dalam persamaan (8) akan didapatkan persamaan arus sistem sebagai berikut :

$$i_s(t) = \sqrt{2}[I_{S1}\sin(\omega t) + I_{S11}\sin(11\omega t) + I_{S13}\sin(13\omega t) + \ldots\ldots\ ] \quad \ldots\ldots(2.18)$$

Di sini terlihat bahwa arus sistem $I_S$ tidak mengandung komponen arus harmonisa orde 5, 7, 17, 19 ... dan seterusnya, karena komponen-komponen ini, dari kedua cabang beban A dan B, saling meniadakan (sudut fasanya berlawanan), sehingga kondisi ini membuat THD arus sistem menjadi minimum. Dengan kata lain, arus harmonisa pada sistem dapat diminimisasi dengan melakukan penggeseran sudut fasa tegangan beban sebesar 30° .

Hasil minimisasi harmonisa arus atau THD arus sistem juga sangat dipengaruhui oleh kondisi besar perbedaan arus kerja masing-masing cabang beban. Gambar 2.10 memperlihatkan THD arus sistem yang dipengaruhi oleh besarnya perbedaan antara arus cabang beban A dan B.

Kondisi terburuk didapat pada nilai THD arus sistem sebesar 32,4%, yaitu perbedaan arus cabang beban A dan B adalah 100%; artinya, sistem hanya mensuplai satu cabang beban. Kondisi ini sama dengan kondisi tanpa dilakukan minimisasi harmonisa arus (tanpa penggeseran sudut fasa). Kondisi terbaik dengan THD sistem sebesar 11,09% didapatkan pada perbedaan arus kerja cabang beban A dan B sebesar 0%, yakni besar magnitud arus cabang A dan B sama besar. Kondisi ini adalah kondisi harmonisa arus sistem paling minim.




Gambar 2.12
Pengaruh perbedaan arus kerja cabang beban A dan B
terhadap THD arus di sumber tegangan.

Derek A. Paice memberikan suatu formulasi praktis yang dapat digunakan untuk menentukan nilai sudut pergeseran fasa ($\beta$) yang dibutuhkan dalam meminimisasi harmonisa arus dari sejumlah cabang beban-nonlinier adalah sebagai berikut:

$$\beta = \frac{60°}{\text{Jumlah cabang beban nonlinier}} \quad \text{.....(2.19)}$$

Misalkan suatu sistem distribusi tenaga listrik mempunyai lima cabang beban nonlinier seperti pada gambar 5, maka besar sudut pergeseran fasa yang diperlukan adalah $\beta = 60°/5 = 12°$.

## 2.5. Peralatan Elektronika Daya dalam Sistem Distribusi Tenaga Listrik

### 2.5.1. *Transistor Bipolar*

transistor bipolar sangat lebih lambat daripada MOSFET. Secara prinsip, hal ini disebabkan oleh waktu gulir mati (*turn-off*) piranti bipolar yang lebih panjang. Kedua adalah resistansi saat kondisi menyambung (*on-state*) piranti bipolar yang relatif tak bergantung (bersifat invarian) terhadap temperatur, dibandingkan dengan adanya nilai koefisien temperatur yang tinggi pada MOSFET. Informasi koefisien temperatur ini merupakan pertimbangan penting dalam perencanaan batas aman thermal pada sistem-sistem yang berdaya tinggi.

### 2.5.2. *Metal Oxide Semiconductor FET (MOSFET)*

*Power MOSFET* adalah piranti elektronika daya konvensional yang beroperasi pada tegangan tinggi dan rugi konduksi yang rendah. Sebelum adanya kemajuan kinerja *power MOSFET*, gelanggang penyakelar daya dulunya memang didominasi oleh BJT (*bipolar junction transistor*), dan SCR yang sulit untuk dimatikan (*turn-off*) dan lambat. MOSFET merupakan piranti elektronik yang dikemudikan oleh tegangan, dengan kebutuhan akan daya pengemudi yang relatif kecil saja. Sementara itu, pada transistor bipolar yang sifatnya dikemudikan oleh arus (arus keluaran dibagi oleh $h_{FE}$), ia memerlukan pengemudi dengan daya yang relatif lebih besar.

Dalam hal kapasitansi masukan, untuk MOSFET, bergantung pada ratingnya (kemampuan arusnya). Kapasitansi ini dapat menjadi demikian besar, sehingga rangkaian pengemudinya dituntut memiliki kemampuan untuk mengisi dan

membuang dengan cepat muatan kapasitansi yang besar ini. Rugi penyakelaran (*switching losses*) dari piranti ini sangat kecil, hal ini menadakan bahwa MOSFET memiliki transisi saat menyambung (*turn-on*) dan memutus *(turn-off)* sangat cepat.

### 2.5.3. *Insulated Gate Bipolar Transistor* (IGBT)

IGBT (*Insulated Gate Bipolar Transistor*), merupakan piranti atau komponen aktif pokok yang kini banyak digunakan dalam bidang Elektronika Daya; seperti UPS (*Uninterruptible Power Supply*), dan sistem pengendali daya/motor-motor besar di bidang industri.

Adanya suatu kendala tentang kecepatan respon penyakelar (*Switching Devices*) antara lain sulit untuk dimatikan (*turn-off*) dan lambat. Maka dalam hal ini dipilih IGBT yang memiliki kemampuan lebih baik.

### 2.5.4. Perbandingan Umum Antara Kinerja MOSFET dan IGBT

Perbandingan kinerja penyakelaran MOSFET dan IGBT secara singkat dinyatakan dalam Tabel 1. Untuk tujuan komparasi, Tabel 1 tersebut juga menyertakan pula perbandingannya dengan transistor bipolar. Besaran tegangan kolektor-emitor dalam kondisi menyambung atau jenuh ($V_{CEsat}$) yang biasa digunakan untuk menggambarkan karakter suatu IGBT, dalam Tabel 1 tersebut ditranslasikan ke dalam besaran resistansi kolektor-emitor dalam kondisi menyambung ($R_{on}$).

Tabel 2.1.
Perbandingan tiga piranti penyakelar daya untuk kemampuan (*rating*) yang setara

| Karakteristik | MOSFET | IGBT | Bipolar |
|---|---|---|---|
| Kemampuan arus (A) | 20 | 20 | 20 |
| Kemampuan tegangan (V) | 500 | 600 | 500 |
| $R_{on}$ (ohm) Pada 25° C | 0,2 | 0,24 | 0,18 |
| $R_{on}$ (ohm) Pada 150° C | 0,6 | 0,23 | 0,24 |
| Waktu turun (nanodetik) | 40 | 200 | 200 |

Dua fakta yang bersumber pada Tabel 2.1 tersebut adalah bahwa; pertama, transistor bipolar sangat lebih lambat daripada MOSFET. Secara prinsip, hal ini disebabkan oleh waktu gulir mati (*turn-off*) piranti bipolar yang lebih panjang. Kedua adalah resistansi saat kondisi menyambung (*on-state*) piranti bipolar yang relatif tak bergantung (bersifat invarian) terhadap temperatur, dibandingkan dengan adanya nilai koefisien temperatur yang tinggi pada MOSFET. Informasi koefisien temperatur ini merupakan pertimbangan penting dalam perencanaan batas aman thermal pada sistem-sistem yang berdaya tinggi.

Tabel 2.2 menyatakan perbandingan yang lebih umum mengenai karakteristik penyakelarannya. Disebabkan oleh struktur masukan gate-nya, MOSFET dan IGBT merupakan piranti elektronik yang dikemudikan oleh tegangan, dengan kebutuhan akan daya pengemudi yang relatif kecil saja. Sementara itu, pada transistor bipolar yang sifatnya dikemudikan oleh arus (arus keluaran dibagi oleh $h_{FE}$), ia memerlukan pengemudi dengan daya yang relatif lebih besar.

Dalam hal kapasitansi masukan, untuk MOSFET dan IGBT, bergantung pada ratingnya (kemampuan arusnya). Kapasitansi ini dapat menjadi demikian besar,

sehingga rangkaian pengemudinya dituntut memiliki kemampuan untuk mengisi dan membuang dengan cepat muatan kapasitansi yang besar ini.

IGBT tampaknya memang menawarkan rating kemampuan arus yang lebih baik. Namun demikian, kekurangan dan kelebihan masing-masing piranti yang tercantum pada Tabel 2.2 tersebut dapat digunakan sebagai acuan untuk memilih salah satu di antara ketiganya.

Tabel 2.2
Perbandingan Karakteristik Piranti Penyakelar Daya

| **Karakteristik** | **MOSFET** | **IGBT** | **Bipolar** |
|---|---|---|---|
| Tipe pengemudi | Tegangan | Tegangan | Arus |
| Daya pengemudi | minimum | Minimum | Besar |
| Tingkat kerumitan pengemudi | Sederhana | Sederhana | Cukupan atau sedang |
| Kemampuan arus pada nilai tegangan drop di ujung-ujung terminal piranti | Tinggi pada teg. rendah; rendah pada teg. tinggi | Sangat tinggi (terpengaruh oleh kecepatan penyakelaran) | Cukupan (sangat terpengaruh oleh kecepatan penyakelaran |
| Rugi penyakelaran | Sangat rendah | Rendah sampai sedang (dipengaruhi oleh rugi konduksi) | Sedang sampai tinggi (dipengaruhi oleh rugi konduksi) |

Untuk mempertahankan nilai resistansi yang tetap rendah, pembuat IGBT membuat kemampuan arus yang lebih rendah untuk tipe yang lebih cepat. Sebagai contoh, Perusahaan *International Rectifier* (IR) di pasaran menawarkan tiga tipe IGBT; yakni tipe standar, cepat dan ultra cepat. IR mendeskripsikan kemampuan arus dengan perbandingan terbalik terhadap kecepatan penyakelarannya. Sementara itu $V_{CE}$ saturasinya naik berturut-turut untuk masing-masing tipe tersebut menjadi; 1.3, 1.5 dan 1.9 Volt.

Parameter terakhir dalam Tabel 2.2 tersebut adalah rugi penyakelaran (*switching losses*), yang mencerminkan kecepatan penyakelaran dari ketiga piranti

elektronik tersebut. Untuk MOSFET, baik transisi saat menyambung (*turn-on*) dan memutus *(turn-off)* sangat cepat. Sedang untuk IGBT, kita dihadapkan pada kenyataan bahwa ada perimbangan dalam hal kecepatan penyakelaran versus kemampuan arus; jenis yang lebih cepat akan mengalami rugi konduksi yang lebih tinggi. Waktu penyakelaran pada IGBT sebagian besar didominasi oleh waktu saat menyambung, sehingga secara garis besar membatasi penggunaannya dalam sistem yang beroperasi pada laju penyakelaran yang lebih rendah daripada 100 kHz.

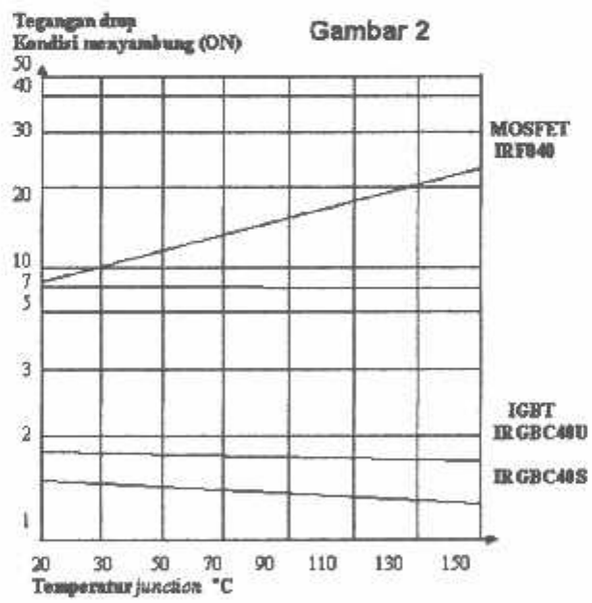
Tabel 2.3
Perbandingan tegangan drop dan rating tegangan
antara IGBT dan MOSFET

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Rating Tegangan (Volt) | IGBT | 100 | 300 | 600 | 1200 |
| | MOSFET | 100 | 250 | 500 | 1000 |
| Tegangan drop untuk 1,7 ampere per $mm^2$ pada temperatur 100°C (Volt) | IGBT | 1,5 | 2,1 | 2,4 | 3,1 |
| | MOSFET | 2,0 | 11,2 | 26,7 | 100 |

Tabel diatas menunjukkan perbandingan IGBT dengan MOSFET dalam hal rugi konduksi yang dinyatakan dalam bentuk tegangan drop (tegangan yang terdapat pada kedua ujung terminalnya saat pirantai tersebut dalam keadaan menyambung) untuk kondisi kemampuan arus pada luasan (area) piranti maupun temperatur yang sama. Pada MOSFET, untuk kemampuan arus yang sama per satuan luasan silikon, resistansi dalam kondisi menyambung naik secara ekponensial terhadap rating tegangannya. Sementara itu, untuk piranti IGBT (yang dinyatakan dalam besaran tegangan kolektor-emitor jenuh ketimbang resistansi dalam kondisi menyambung) lebih mampu mempertahankan rugi konduksi yang rendah untuk semua rating tegangan. Dari Tabel 2.3 tersebut juga

dapat diketahui bahwa MOSFET memiliki rating tegangan yang sedikit lebih rendah daripada IGBT.

Perbandingan MOSFET dan IGBT untuk luasan die (irisan tipis bahan semikonduktor yang dipakai untuk membuat transistor atau piranti semikonduktor lainnya) yang sama, secara grafis dinyatakan dalam Gambar 2.13. Pada gambar tersebut, jelas tampak bahwa IGBT memiliki rugi pada kondisi menyambung lebih rendah. Grafik tersebut menunjukkan tegangan drop dalam kondisi menyambung untuk sebuah MOSFET dan dua IGBT hasil produksi IR untuk arus beban 10 ampere. Piranti yang memiliki rugi yang paling rendah dalam gambar tersebut adalah IRGBC40S, yakni IGBT tipe standar. Tipe ultra cepatnya; IRGBC40U menawarkan penyakelaran yang lebih cepat, namun rugi dalam kondisi menyambungnya juga lebih tinggi.

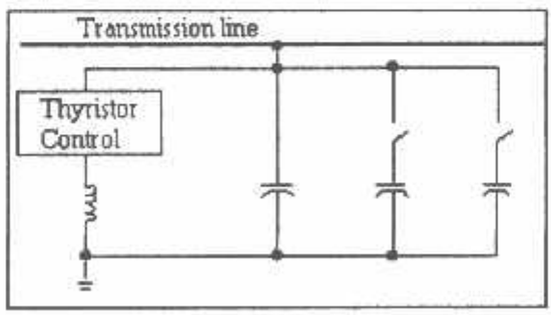



Gambar 2.13
Tegangan Drop Dalam Kondisi Menyambung
Untuk Sebuah MOSFET dan Dua IGBT

## 2.6. Peralatan Kompensasi dalam Sistem Tenaga Listrik

### 2.6.1. *Static VAR Compensator* (SVC)

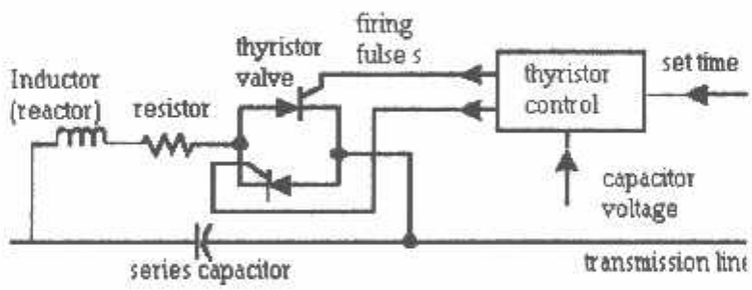
Perkembangan teknologi FACTS telah mengalami dua generasi. Generasi pertama menghasilkan dua jenis peralatan. Alat pertama diberi nama *Static Var Compensator* (SVC) yang sudah diimplementasikan pada jaringan transmisi listrik semenjak pertengahan tahun 70-an. SVC berfungsi sebagai pemelihara kestabilan kondisi *steady state* dan dinamika tegangan dalam batasan yang sudah ditentukan pada jaringan transmisi berjarak jauh dan berbeban tinggi (*heavily loaded*). Fungsi SVC diperoleh dengan menggunakan thyristor yang secara cepat dapat menghubungkan atau memutuskan induktor ataupun kapasitor pada jaringan transmisi. Namun kekurangannya, alat ini tidak dapat dipergunakan sebagai alat pengendali aliran daya listrik aktif (*active power*) yang sangat vital dalam sistim jaringan transmisi listrik AC. Lain dari itu, SVC juga didapati sangat rendah efisiensinya jika terjadi turunnya tegangan dari transmisi secara drastis. Demonstrasi pertama pemasangan SVC dilaksanakan tahun 1978 pada jaringan transmisi 115kV Minnesota Power & Light dan telah berhasil menunjukkan perbaikan kendali stabilisasi dan tegangan pada jaringan transmisi tersebut. Gambar 2.14 menunjukkan contoh dari topologi SVC.




Gambar 2.14
*Static* VAR *Compensator*

### 2.6.2. *NGH – Sub Synchronous Resonance* (SSR)

Alat berikutnya yang dikembangkan pada generasi pertama diberi nama NGH-SSR (*Narain G. Hingorani – SubSynchronous Resonance*) Damper. Alat ini dirancang untuk mengatasi permasalahan subsynchronous resonance (SSR) yang ditemukan pada jaringan transmisi listrik AC. Jaringan transmisi 500kV Southern California Edison dijadikan tempat pemasangan pertama dari alat ini pada tahun 1980-an setelah SSR mengakibatkan kerusakan fatal pada salah satu generatornya. NGH-SSR seperti yang ditunjukan gambar 2.15 juga terdiri dari thyristor yang dihubungkan dengan induktor dan tahanan secara seri. Alat inilah yang kemudian menjadi cikal bakal dari salah satu alat yang dikembangkan dalam generasi kedua FACTS yaitu alat yang dikenal dengan nama Thyristor Controlled Series Capacitor (TCSC).

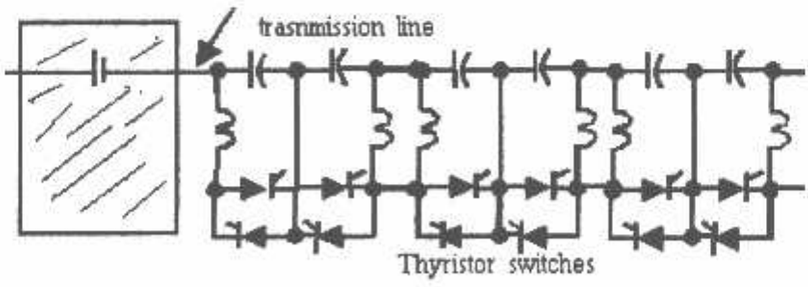



Gambar 2.15
NGH - *SubSynchronous Resonance*

### 2.6.3. *Thyristor Controlled Series Capacitor* (TCSC)

Semakin berkembangnya teknologi dibidang pembuatan Thyristor mendorong terciptanya generasi kedua dari FACTS. Pada generasi kedua beberapa peralatan FACTS baru telah dikembangkan. Pertama adalah alat yang diberi nama *Thyristor Controlled Series Capacitor* (TCSC) yang berfungsi

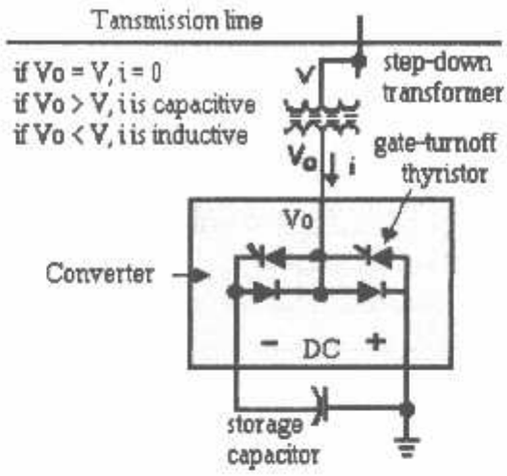
sebagai pengendali impedansi dari jaringan transmisi. Seperti diketahui, impedansi sepanjang jaringan transmisi umumnya bersifat induktif sedangkan yang bersifat resistif hanya berkisar 5 sampai 10 persen. Ini berarti akan terasa sangat besar manfaatnya apabila kita mampu mengendalikan impedansi transmisi yang bersifat induktif pada kondisi stabil (*steady state impendance*). Hal ini dapat ditempuh dengan cara penambahan kapasitor dan induktor secara seri. Penghubungan kapasitor secara seri akan berakibat pengurangan impedansi pada transmisi sedangkan penghubungan induktor secara seri akan berarti penaikan impedansi pada transmisi yang sama. Gambar 2.16 menunjukkan contoh dari TCSC yang telah dipasang pada jaringan transmisi 500kV milik Bonneville Power Administration (BPA) dinegara bagian Oregon. Studi kasus pemasangan TCSC yang telah dilaksanakan oleh Electric Power Research Institute (EPRI) pada satu jaringan transmisi menunjukkan bahwa TCSC berhasil meningkatkan kuantitas aliran daya (dalam MW) sebanyak 30% dengan sekaligus menjaga stabilitas sistim jaringan transmisi tersebut. Hal ini yang mengakibatkan pemasangan TCSC, menurut studi kasus pada jaringan transmisi tersebut, akan memberikan keuntungan sebesar kurang lebih $68 juta US dolar setiap tahunnya.




Gambar 2.16
*Thyristor Controlled Series Capacitor* (TCSC)

### 2.6.4. *Static Condenser* (STATCON)

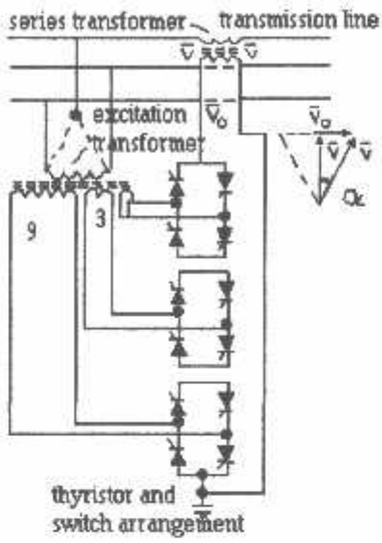
Alat yang kedua diberi nama *Static Condenser* (STATCON) dan berfungsi sebagai penyedia Volt Amp Reactive (VAR) untuk menjaga kestabilan tegangan pada jaringan transmisi yang panjang dan berbeban tinggi (*heavily loaded*). Pada akhirnya nanti, STATCON diharapkan untuk dapat menggantikan pemakaian alat *Rotating Synchronous Condensers* yang kini umum dipasang. STATCON adalah alat FACTS pertama yang menggunakan tipe thyristor berbeda dari peralatan FACTS sebelumnya. Jenis thyristor yang dipakai adalah jenis GTO (Gate Turned-Off). Pada dasarnya, STATCON adalah alat yang berbasis inverter tiga fasa yang dihasilkan oleh tegangan satu arah (dc) dari kapasitor seperti yang diilustrasikan oleh Gambar 2.17. Pada gambar tersebut, jika tegangan $V_0$ lebih tinggi (atau lebih rendah) dari pada tegangan sistim transmisi V, maka selisih sudut fasa dari kedua tegangan tersebut akan menentukan jumlah arus listrik yang mengalir serta arus listrik akan menjadi lead (atau lag). Dengan jalan demikian, maka daya reaktif beserta arahnya pada sistim transmisi akan dapat dikendalikan secara cepat dan berkelanjutan (continuous). Dua contoh studi kasus pemasangan STATCON di Amerika Serikat telah dilaksanakan dengan hasil yang memuaskan. Percobaan pertama adalah pemasangan 1 Mvar STATCON pada jaringan transmisi milik Orange & Rockland Utilities Inc. di negara bagian New York pada tahun 1989. Sedangkan studi kasus berikutnya adalah pemasangan 100-Mvar STATCON pada tahun 1995 di jaringan transmisi Sullivan milik Tennessee Valley Authority (TVA) di negara bagian Tennessee.




Gambar 2.17
*Static Condenser* (STATCON)

### 2.6.5. *Thyristor Controlled Phase Angle Regulator* (TCPR)

Selanjutnya adalat alat FACTS yang disebut TCPR kependekan dari *Thyristor Controlled Phase angle Regulator*. Fungsi dari alat ini tidak lain adalah sebagai pengendali selisih sudut fasa pada tegangan dari kedua ujung jaringan transmisi yang sama. Fungsi tersebut dimungkinkan dengan cara penyuntikan tegangan secara seri pada jaringan transmisi listrik. Gambar 2.18 menunjukkan konsep dari TCPR ini. Penambahan sudut fasa $\alpha$ pada tegangan transmisi V dicapai dengan cara menambahkan tegangan $V_q$ yang tegak lurus terhadap V. Tegangan $V_q$ sendiri dihasilkan dari tegangan sekunder dari transformer yang dihubungkan ke dua fasa dari sistim transmisi tiga fasa ini. Percobaan pemasangan TCPR telah dilaksanakan dengan sukses diberbagai lokasi jaringan transmisi di Amerika Serikat. Salah satu contoh adalah pemasangan TCPR di jaringan transmisi 230kV milik Minnesota Power yang telah terbukti mampu menghasilkan selisih sudut fasa dengan sangat cepat.

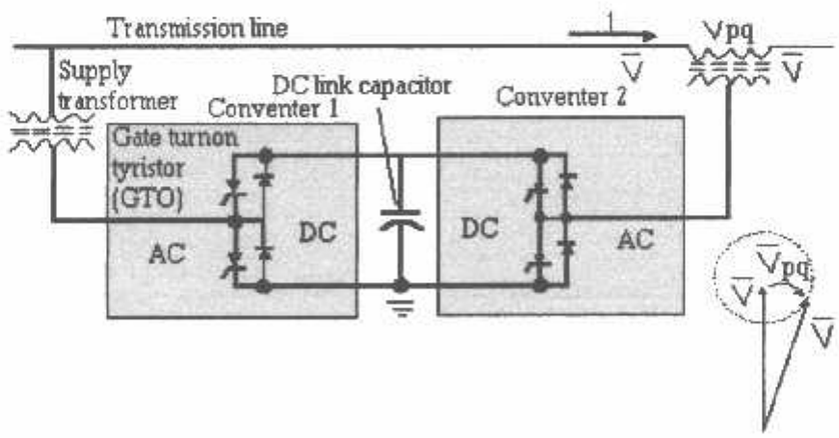



Gambar 2.18
*Thyristor Controlled Phase angle Regulator* (TCPR)

### 2.6.6. *Unified Power Flow Controller* (UPFC)

Alat selanjutnya adalah konsep lain dari pengaturan selisih sudut fasa seperti pada TCPR. Alat ini diberi nama *Unified Power Flow Controller* (UPFC) yang mana perancangannya berbasis inverter dengan menggunakan thyristor. Sebagaimana diilustrasikan pada gambar 2.19, pada UPFC, vektor tegangan $V_{pq}$ yang dihasilkan oleh inverter disuntikkan secara seri ke jaringan transmisi. Tegangan searah (dc) yang digunakan inverter ini didapatkan dari hasil penyearah (*rectification*) tegangan dari transmisi yang sama. UPFC merupakan alat kendali daya aktif dan daya reaktif secara terpisah pada trasmisi listrik dan dapat dipasang pada ujung pengirim maupun penerima daya. Lebih penting lagi, UPFC juga merupakan alat pengendali daya yang sangat fleksibel karena dapat menggunakan salah satu ataupun kombinasi parameter dasar dari sistim aliran daya yaitu tegangan transmisi, impedansi transmisi, dan selisih sudut fasa transmisi. Hal ini merupakan suatu keuntungan karena dengan pemasangan satu UPFC yang dapat

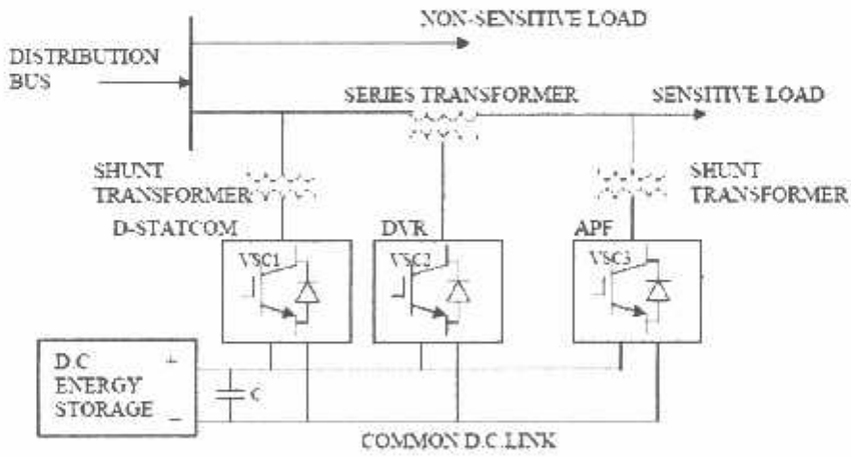
mengendalikan ketiga parameter tersebut, maka tidak hanya sistim jaringan transmisi akan menjadi lebih baik, tetapi juga akan menjadi lebih murah dan mudah dalam pemeliharaan dan pengoperasiannya. Dengan kata lain, pemasangan satu UPFC akan sama halnya dengan pemasangan alat TCSC, STATCON dan TCPR secara bersamaan. Studi kasus terhadap UPFC, baik itu dalam skala besar maupun kecil telah berhasil dilaksanakan. Sebagai contoh, 1060 MVA UPFC telah dipasang pada jaringan transmisi 500kV yang menghubungkan kota Phoenix (negara bagian Arizona) dengan kota Las Vegas (negara bagian Nevada) dan kota Los Angeles (negara bagian California). Gangguan tiga fasa pada satu titik di jaringan tersebut disimulasikan untuk menginvestigasi reaksi UPFC dan peralatan konvesional. Hasil simulasi menunjukkan UPFC memberikan reaksi lebih stabil dibandingkan dengan reaksi peralatan konvesional. Tegangan dari transmisi menunjukkan lebih kurang osilasinya dengan menggunakan UPFC dibandingkan pemasangan peralatan lama. Dengan demikian, UPFC merupakan alat yang dapat dihandalkan untuk pengendalian aliran daya listrik dengan sekaligus menjaga kestabilan sistim jaringan transmisi itu sendiri.




Gambar 2.19
*Unified Power Flow Controller* (UPFC)

### 2.6.7. *Universal Custom Power Condotioner* (UCPC)

Alat UCPC memiliki kesamaan konstruksi dengan *unified power flow controller* (UPFC). UPFC memberikan pengaturan kompensasi shunt dan atau seri. Suatu sistem distribusi tenaga mengandung ketidakseimbangan, penyimpangan dan komponen DC. Suatu UCPC harus beroperasi dengan semua aspek ini untuk memberikan kompensasi shunt atau seri, peningkatan kualitas suplai daya dan keandalan sistem tenaga. Ini merupakan suatu kombinasi DSTATCOM, DVR dan APF. Topologi utama UCPC yaitu mempunyai satu unit penyimpanan energi DC dan tiga sumber tegangan konverter dihubungkan dengan jaringan DC. Sistem yang ditawarkan tidak hanya beroperasi sebagai D-Statcom Atau DVR atau APF, tetapi bertindak sebagai suatu pengatur kualitas daya yang lengkap. Komponen seri Rangkaian UCPC terpasang tegangan agar memelihara keseimbangan dan distorsi tegangan bebas pada terminal beban.




Gambar 2.20
Diagram Blok Fungsional dari UCPC

Secara simultan, komponen shunt UCPC menginjeksi arus dalam sistem AC seperti arus yang memasuki bus dimana UCPC dihubungkan adalah sinusoida seimbang.

Sasaran hasil Keduanya harus memenuhi masing-masing keseimbangan dan distorsi di dalam salah satu sumber atau sisi beban. Tiga konverter Sumber tegangan digunakan untuk mensuplai tegangan rangkaian, injeksi arus shunt dan penyaring daya aktif. Konverter Sumber Tegangan 1 pada gambar 2.18 digunakan untuk menyediakan kebutuhan tegangan DC Konverter 2. Konverter 3 digunakan sebagai suatu filter daya aktif untuk memberikan suatu impedansi rendah dan kendali faktor daya beban yang tidak linier tersebut. UCPC dirancang untuk menyediakan daya yang bersih dan tidak terganggu oleh tegangan beban sensitif.

# BAB III

# PERBAIKAN KUALITAS DAYA MENGGUNAKAN *UNIVERSAL CUSTOM POWER CONDITIONER* (UCPC)

## 3.1. *Software PSCAD/EMTDC V4.2 Power Simulation*

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

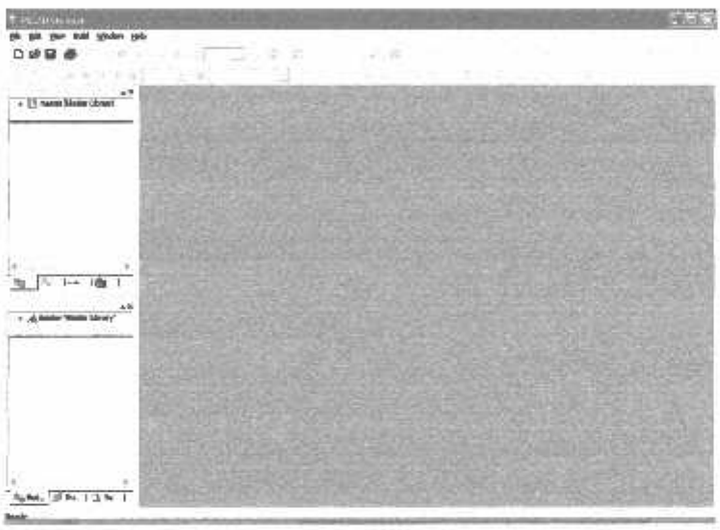
Dibawah ini adalah model umum yang terdapat di dalam studi system menggunkan PSCAD/EMTDC:

- 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 and GTOs
- 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 governors

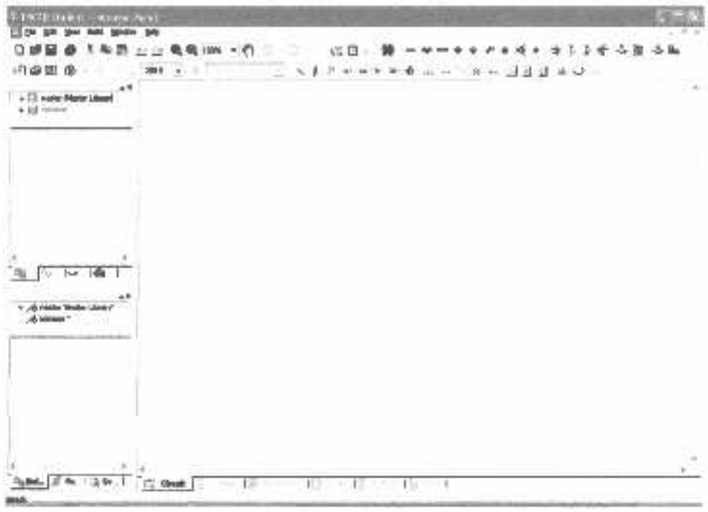
## 3.2. Memulai PSCAD/EMTDC *Power Simulation*

- **Tampilan Utama PSCAD**



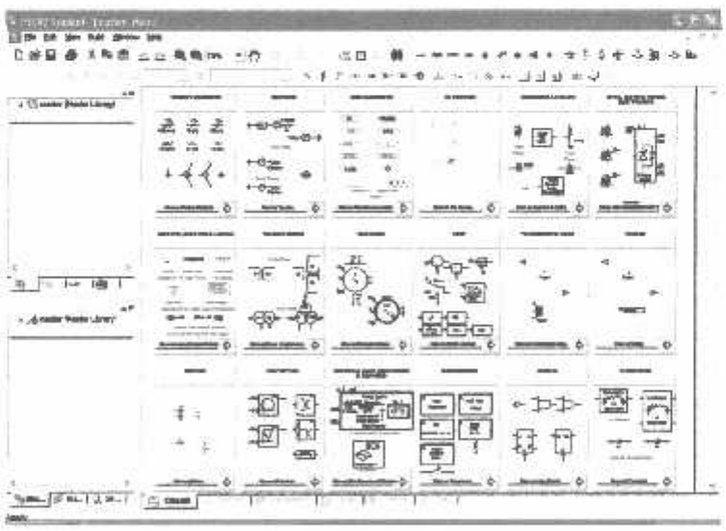
Gambar 3.1.
Tampilan Utama *Software PSCAD Power Simulation*

- 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*". *Double clik file* baru yang sudah dibuat, maka akan muncul tampilan seperti di bawah ini, komponen-komponen dirangkai dalam modul ini. Lihat Gambar 3.2.



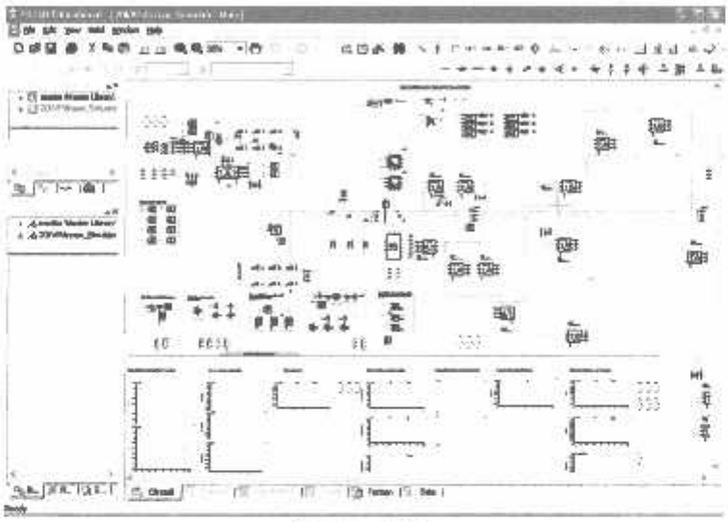
Gambar 3.2.
Tampilan Modul Utama

- Semua komponen yang akan digunakan dalam menggambar *single line* terdapat di dalam *Master Library* seperti pada tampilan di bawah ini. Untuk menggunakan *right clik on the component* > *copy* dan kemudian *paste* pada modul.



Gambar 3.3.
Tampilan *Master Library*

- Setelah mendesain sistem seperti yang dibutuhkan (contohnya untuk skripsi ini), maka dapat kita lihat tampilan *single line* dalam modul utama sebagai berikut.



Gambar 3.4.
Tampilan *Single Line* Penyulang Dinoyo dalam PSCAD

### 3.3. Sistem Pengendalian PWM Sinusoida

#### 3.3.1. PWM Sinusoida

Gelombang sinusoidal pada tiga VSC dikendalikan dengan teknik PWM. Rencana Kendali berdasrkan PWM berkenaan dengan D-Statcom diterangkan pada bagian ini. Rencana Kendali untuk DVR dan APF mengikuti prinsip yang sama. Tujuan rencana kendali adalah untuk memelihara magnitud tegangan konstan suatu beban sensitif. Sistem kendali mengukur tegangan rms di titik beban. tidak dibutuhkan pengukuran daya reaktif. strategi penyakelaran VSC adalah didasarkan pada suatu teknik PWM sinusoidal [8], yang sederhana dan memberikan respon yang baik. Sejak *custom power* adalah secara relatif sebagai aplikasi *low-power*, metode PWM menawarkan suatu pilihan yang lebih fleksibel dibandingkan dengan metode *Fundamental Frequency Switching* (FFS) yang

diunggulkan dalam aplikasi FACTS. Suatu sinyal error diperoleh dengan membandingkan tegangan acuan dengan tegangan rms pengukuran di titik beban. pengontrol PI memproses sinyal error dan menghasilkan sudut penundaan yang diperlukan (δ) untuk membawa kesalahan itu menjadi nol. Dalam generator PWM, kendali sinyal sinusoidal adalah *phase-modulated* dengan cara sudut δ. Sinyal yang diatur dibandingkan dengan suatu sinyal bersegi tiga (*carrier*) dalam rangka menghasilkan sinyal penyakelaran untuk VSC. parameter utama dalam rencana sinusoidal PWM adalah index sinyal amplitudo modulasi (ma) pada sinyal $V_{control}$, dan sinyal segi tiga pada index modulasi frekuensi (mf). Index Amplitudo Ma dipertahankan tetap pada 1 pu, dalam hal memperoleh komponen dasar tagangan tinggi pada pengontrol keluaran. frekwensi *Switching* ditetapkan pada 450 Hz, Mf= 9, dan kasus pengujian dilakukan pada jaringan yang stabil. Sudut modulasi diterapkan pada pembangkit sinyal PWM pada fasa A. untuk fasa B dan C dengan pergeseran berturut-turut 120° dan 240°.Penerapan pengendalian sangat sederhana dengan menggunakan sinyal tegangan sebagai variabel umpan balik dalam perencanaan pengontrolan. Kecepatan respon dan efektifitas perencanaan pengontrolan ditunjukan dalam hasil simulasi.

### 3.3.2. Aksi Kontrol PWM Sinusoida Terhadap UCPC

Prinsip dari UCPC adalah menirima dan memproses sinyal *error* dari sumber. Hasilnya kemudian dimasukan ke PWM *Voltage Source Converter* tiga fasa pada rangkaian utama. Dari hasil perhitungan arus referensi yang dihasilkan oleh sinyal *error* antara tegangan beban dengan tegangan referensi. Jadi sinyal

yang diolah oleh PWM merupakan sinyal referensi yang diperolch dari hasil perhitungan tersebut. Sinyal referensi ini kemudian dimodulasikan dengan sinyal *carrier* (*triangular wave*) yang berupa sinyal gigi gergaji (*saw tooth*). Sinyal *error* ini berbentuk sinusoidal yang dimodulasikan dengan sinyal gigi gergaji sebagai sinyal *carrier*. *Output* dari PWM di atas digunakan untuk mentrigger rangkaian *switching* yang terdiri atas 6 IGBT tiap fasa terdiri dari 2 IGBT.

## 3.4. Aksi Kontrol Proporsional Integral (PI)

### 3.4.1. Umum

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

Karena kemajuan dalam teori dan praktek kontrol automatik memberikan kemudahan dalam mendapatkan performansi dari sistem dinamik, mempertinggi

kualitas dan menurunkan biaya produsi, mempertinggi laju produksi, meniadakan pekerjaan-pekerjaan rutin dan membosankan yang harus dilakukan oleh manusia, dan sebagainya.

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

Hampir semua proses dalam industri membutuhkan peralatan – peralatan otomatis untuk mengendalikan parameter – parameter prosesnya. Otomatisasi tidak saja diperlukan demi operasi, keamanan, ekonomi maupun mutu produk,

tetapi lebih merupakan kebutuhan pokok. Kelak akan dipelajari alat tidak mungkin menjalankan suatu proses industri tanpa bantuan sistem pengendali. Contohnya adalah pengendalian penggilingan minyak. Proses disuatu penggilingan minyak tidak mungkin dapat dijalankan tanpa bantuan fungsi sistem dari pengendalian.

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

Gabungan serta kerja alat-alat pengendalian otomatis inilah dinamai sistem pengendalian proses (proses contoh sistem). Sedangkan semua peralatan yang menjalankan sistem pengendali disebut instrumentasi pengendalian proses *(Prosess Control Instrumention)*. Kedua hal ilmu tersebut berhubungan satu dengan yang lain, dimana keduanya mempunyai hakikat yang berbeda. Pembahasan tentang ilmu proses kontrol sistem lebih dipusatkan pada kerja sistem, sering kali diperlukan penjelasan melalui alat kerja.

### 3.4.2. Prinsip-Prinsip Pengendalian Proses

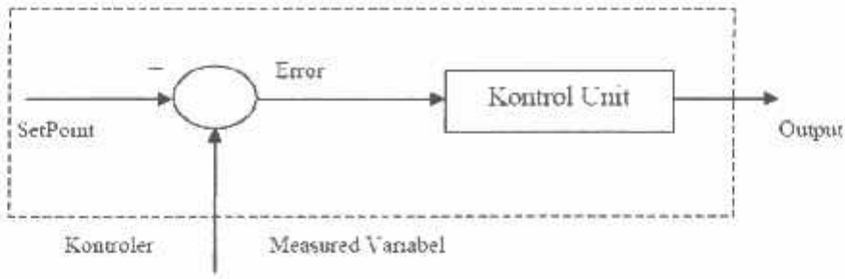
Dalam pengendali proses, operator mengerjakan empat langkah sebagai berikut: *Mengukur, Membandingkankan, Menghitung dan Mengoreksi.* Keempat

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

### 3.4.3. Prinsip Kerja Pengendali

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

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



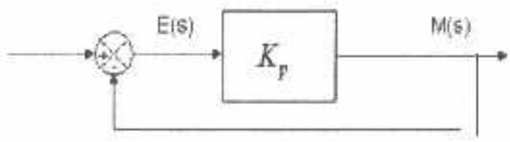

Gambar 3.5
Kontroler Dan Diagram Kotaknya

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

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

Kontroler proporsional memiliki keluaran yang sebanding / proporsional dengan besarnya sinyal kesalahan (selisih antara besaran yang diinginkan dengan harga aktualnya). Secara lebih sederhana dapat dikatakan bahwa keluaran kontroler proporsional merupakan perkalian antara konstanta proporsional dengan masukan. Perubahan pada sinyal masukan akan segera menyebabkan sistem secara langsung mengubah keluarannya sebesar konstanta pengalinya. Gambar 3.5 menunjukkan blok diagram yang menggambarkan hubungan antara besaran *setting*, besaran *actual* dengan besaran keluaran kontroler proporsional. Sinyal kesalahan *(error)* merupakan selisih antara besaran *setting* dengan besaran

aktualnya. Selisih ini akan mempengaruhi kontroler, untuk mengeluarkan sinyal positif (mempercepat pencapaian harga *setting*) atau negative (memperlambat tercapainya harga yang diinginkan).




Gambar 3.6
Diagram Blok Kontroler Proporsional

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

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

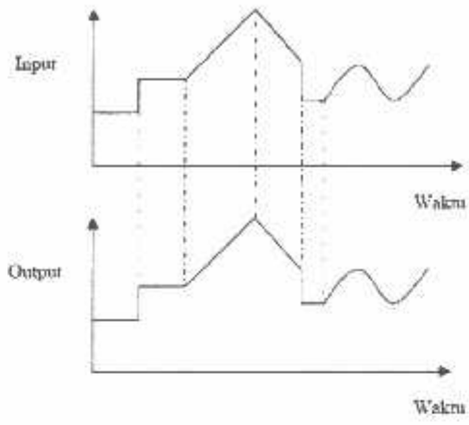
$$PB = \frac{1}{K_p} x100\%$$

Dimana:

PB = Proporsional Band

$K_P$ = Konstanta Proporsional

Walaupun hubungan input-output unit kontrol proporsional bukan merupakan fungsi waktu, untuk bahan perbandingan dengan unit kontrol lain, ada baiknya kalau hubungan itu dinyatakan dalam bentuk kurva fungsi waktu. Dari gambar 3.7 jelas terlihat bahwa output selalu mengikuti input secara proporsional. Naik turunnya input diikuti secara langsung oleh output, dan besarnya selalu sama dengan input kali gain. Karena unit kontrol proporsional ini bukan fungsi waktu, dinamik gain pengendali ini sama dengan *steady state* gainnya. Dengan kata lain, besarnya gain tidak tergantung pada besarnya frekuensi loop.




Gambar 3.7
Respon Sebuah Pengendali Proporsional

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

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

Setelah pengendali proporsional diketahui *"gagal"* mengendalikan sistem secara sempurna dalam arti masih adanya *offset*. Dikarenakan sifat dasar pengendali proporsional yang masih memerlukan *error* untuk menghasilkan *output*. Oleh karena itu, untuk menghilangkan *offset*, diperlukan pengendali lain yang dapat menghasilkan *output* walaupun sudah tidak ada *input* lagi. Sifat unit inilah yang dimiliki oleh pengendali integral. Sayangnya, kemampuan pengendali integral menghilangkan *offset* tidak disertai kemampuan bereaksi secara cepat.Karena lambatnya reaksi tersebut maka pengendali integral biasanya dipakai dalam kombinasi dengan pengendali proporsional. Kedua pengendali tersebut

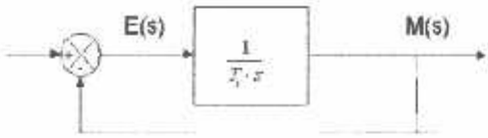
dipasang secara paralel sehingga kelebihan kedua pengendali dapat dimanfaatkan secara serempak.

Kalau diteliti dengan seksama, *offset* dapat terjadi di sistem pengendali proporsional, karena pengendali proporsional selalu membutuhkan *error* (dalam hal ini *input* ke *unit control*) untuk menghasilkan suatu *output*. Kalau tidak ada *error*, *output* yang keluar dari pengendali proporsional hanyalah bias yang biasanya disetel 50%.

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

Kontroler integral berfungsi menghasilkan respon sistem yang memiliki kesalahan keadaan mantap nol. Kalau sebuah plant tidak memiliki unsur *integrator* (1/s), kontroler proporsional tidak akan mampu menjamin keluaran sistem dengan kesalahan keadaan mantapnya nol. Dengan kontroler integral, respon sistem dapat diperbaiki, yaitu mempunyai kesalahan keadaan mantapnya nol. Kontroler integral memiliki karakteristik seperti halnya sebuah integral. Keluaran kontroler sangat dipengaruhi oleh perubahan yang sebanding dengan nilai sinyal kesalahan. Keluaran kontroler ini merupakan jumlahan yang terus menerus dari perubahan masukannya. Kalau sinyal kesalahan tidak mengalami perubahan, keluaran akan menjaga keadaan seperti sebelum terjadinya perubahan masukan.

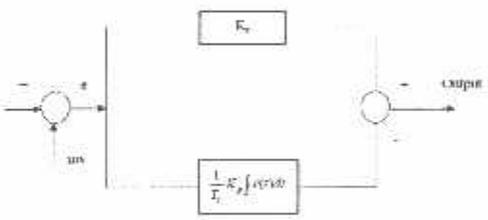
Gambar 3.8 menunjukkan blok diagram antara kesalahan dengan keluaran suatu kontroler integral.



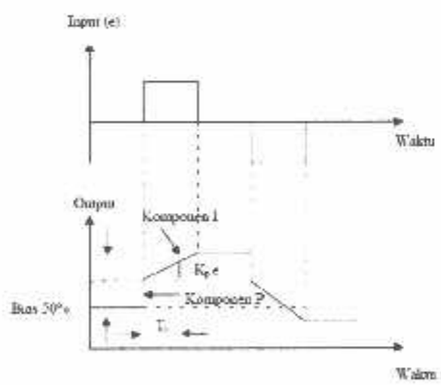

Gambar 3.8
Blok Diagram Kontroler Integral

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

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



Gambar 3.9
Diagram Kotak Pengendali PI




Gambar 3.10
Hubungan Input-Output Pengendali PI dalam Fungsi Waktu

### 3.5. Kompensasi UCPC Pada Sistem Distribusi 20 kV

#### 3.5.1. Sistem Distribusi Tanpa Kompensasi UCPC

Hampir semua beban dalam sistem tenaga listrik didominasi oleh beban-beban induktif seperti motor-motor listrik, inverter, UPS dan masih banyak lagi peralatan yang menggunakan komponen-komponen induktif yang berakibat menimbulkan gangguan kestabilan tegangan dan dapat mengintrodusir frekuensi harmonik ke jala-jala sistem. Untuk mengatasi permasalahan ini UCPC menawarkan pengendalian yang fleksibel dalam mengatasi permasalahan yang ditibulkan oleh beban-beban tersebut. Ini mungkin dilakukan dengan adanya perkembangan piranti elektronika daya yang berkembang cukup pesat, *full controlable* dan penggunaanya dapat dipadukan ke dalam sistem tenaga listrik baik sisi tegangan tinggi maupun tegangan rendah. Dalam hal ini UCPC dilengkapi dengan pengendali PI dan kontrol SPWM.

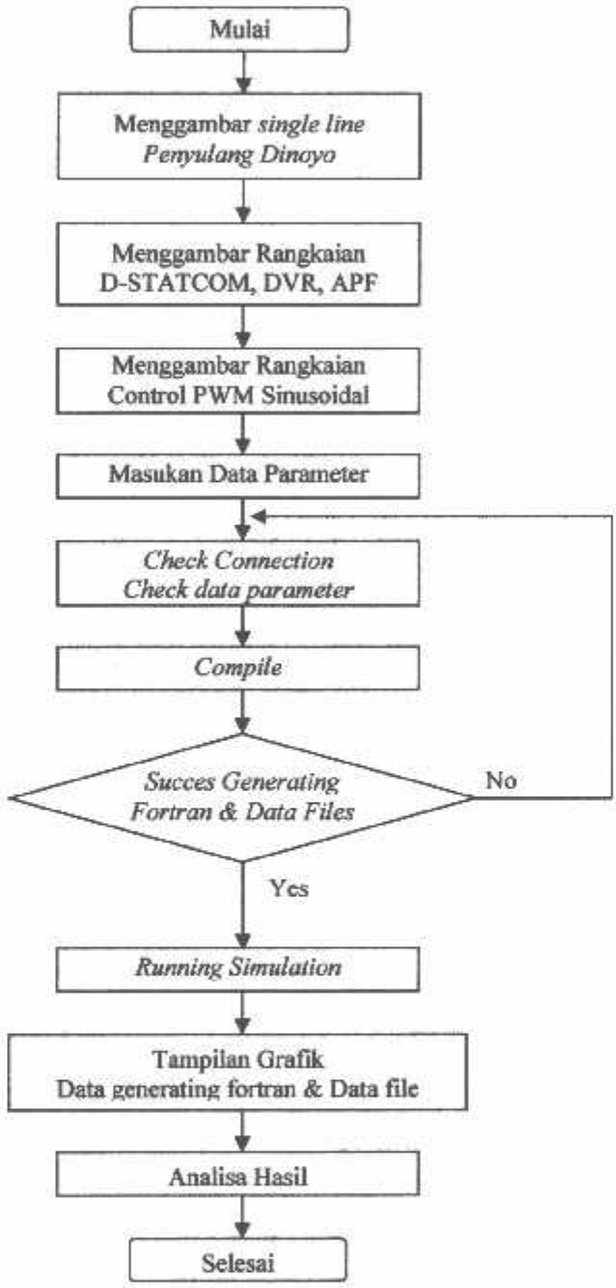
#### 3.5.2. Sistem Distribusi Dengan Kompensasi UCPC

Ketidakstabilan tegangan dalam sistem distribusi bisa menyebabkan terjadinya pemborosan energi listrik. Ketidakstabilan itu dapat diartikan tegangan pada suatu fase lebih besar, lebih kecil atau berfluktuasi terhadap teganga standar. Sedangkan akibat pembrosan energi listrik itu maka timbul panas sehingga bisa menyebabkan pertama kerusakan isolator peralatan yang dipakai. Ke dua memperpendek daya isolasi pada lilitan. Sementara itu dengan ketidakseimbangan sebesar 3% saja dapat memperbesar suhu motor yang sedang beroperasi sebesar 18% dari keadaan semula. Hal ini tentunya akan menimbulkan suara bising pada motor dengan kecepatan tinggi.

Selain permasalahan kualitas tegangan, yang menjadi masalah dalam sistem distribusi adalah munculnya harmonik. Harmonik itu bisa menimbulkan panas, hal ini terjadi karena adanya energi listrik yang berlebihan. Harmonik itu bisa muncul karena peralatan seperti komputer, kontrol motor dll. Harmonik merupakan suatu keadaan timbulnya tegangan yang periodenya berbeda dengan periode tegangan standar. Periode itu bisa 180 Hz (harmonik ke-3), 300 Hz (harmonik ke-5) dan seterusnya. Harmonik pada transformator lebih berbahaya, hal ini karena adanya sisrkulasi arus akibat panas yang berlebih. Sehingga hal ini bisa mengurangi kemampuan peralatan proteksi yang menggunakan *power line carrier* sebagai detektor kondisi normal. Untuk mengoptimalkan pemakaian energi listrik bisa digunakan beban-beban tiruan berupa LC yang dilengkapi dengan teknologi pengendalian. Sehingga ketepatan dan keandalan dalam mendeteksi kualitas daya listrik bisa diperoleh. pengendali itu berfungsi untuk mengolah komponen-komponen yang menentukan kualitas tenaga listrik. Seperti keseimbangan beban antar fasa dan harmonik. Apabila terdapat ketidakseimbangan antara fasa satu dengan fasa yang lainnya, maka pengendali akan memerintahkan beban-beban LC untuk membuka atau menutup agar arus disuplai ke fasa satu sehingga selisih arus antara fasa satu dengan fasa yang lainnya tidak ada. Banyaknya L atau C yang dibuka atau ditutup tergantung dari kondisi ketidakseimbangan beban yang terdeteksi oleh pengontrol. Kondisi harmonik yang terdeteksi bisa dihilangkan dengan menggunakan filter LC. Komponen LC yang dimaksudkan diatas sudah terintegrasi dalam peralatan UCPC.

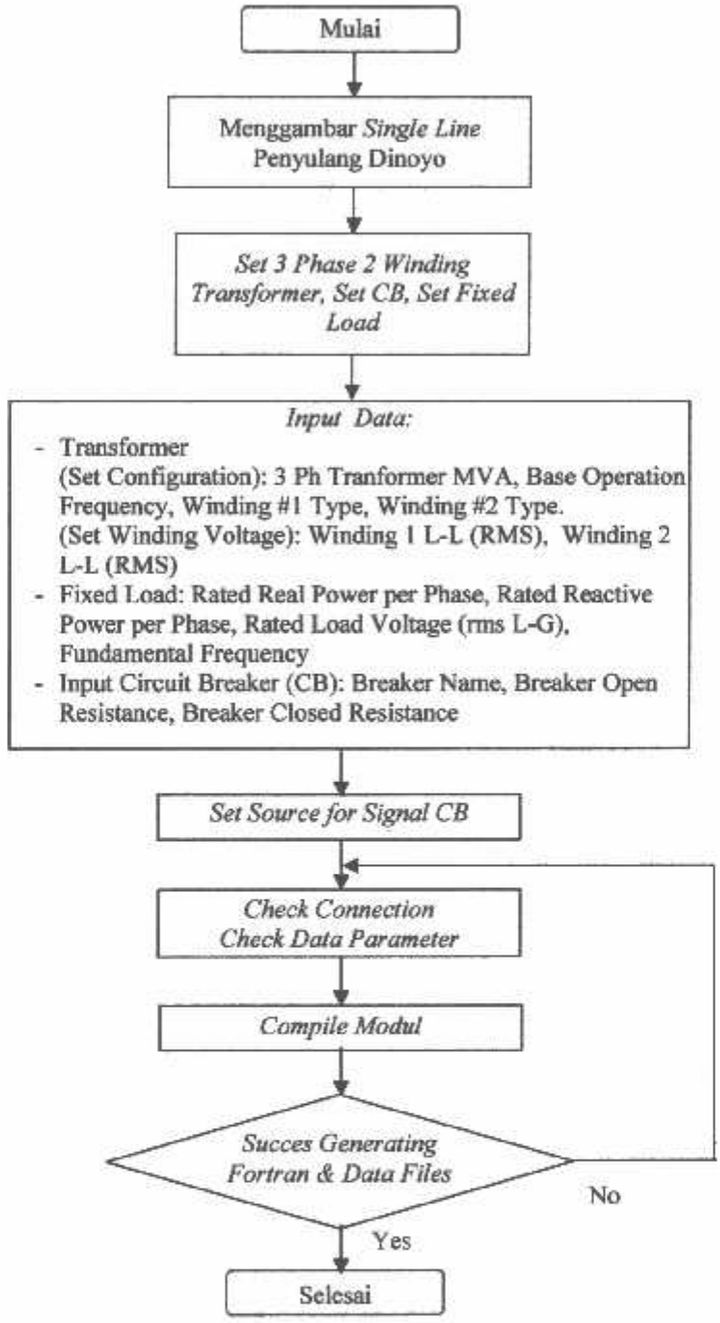
## 3.6. *Flowchart*

### 3.6.1. *Flowchart* Desain dan Simulasi Sistem dengan UCPC



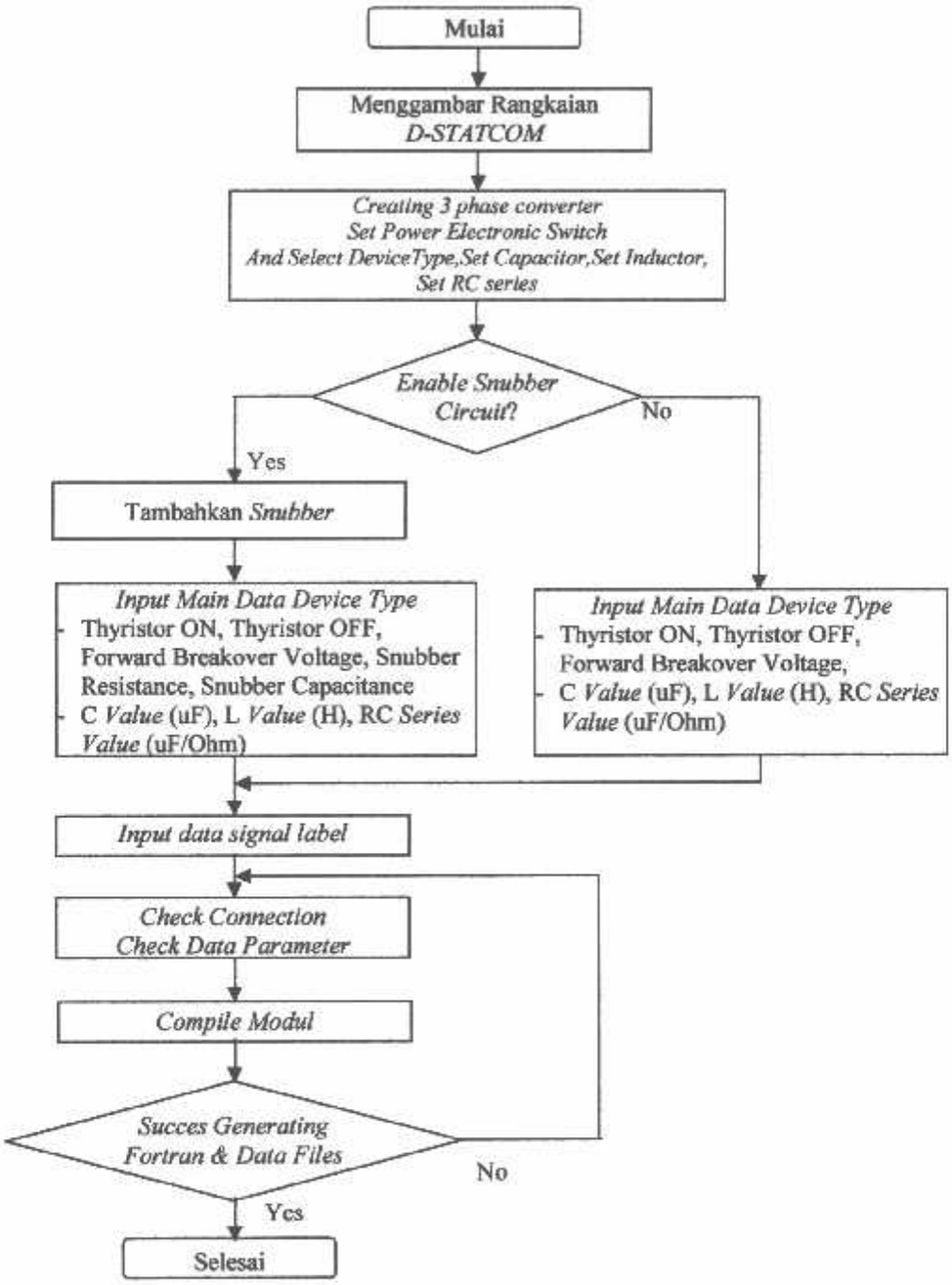

Gambar 3.11.
*Flowchart* Analisa Perbaikan Kualitas Daya Dengan *Universal Custom Power Conditioner* (UCPC)

### 3.6.2. *Flowchart Wiring* Penyulang Dinoyo



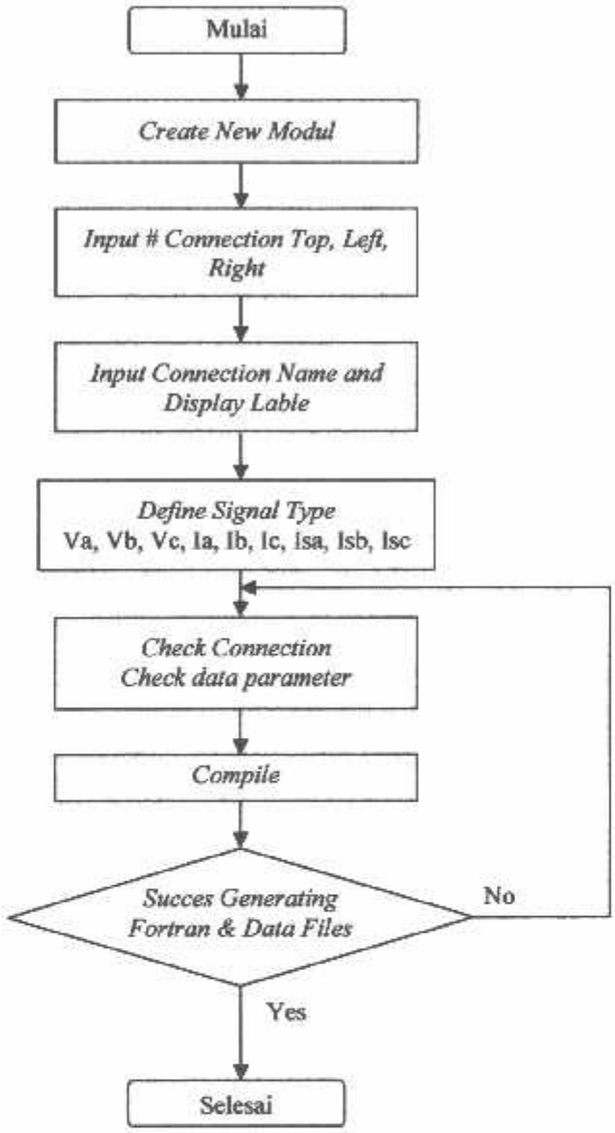

Gambar 3.12.
*Flowchart* Pembuatan *Single Line Diagram* Penyulang Dinoyo

### 3.6.3. *Flowchart* Desain D-STATCOM



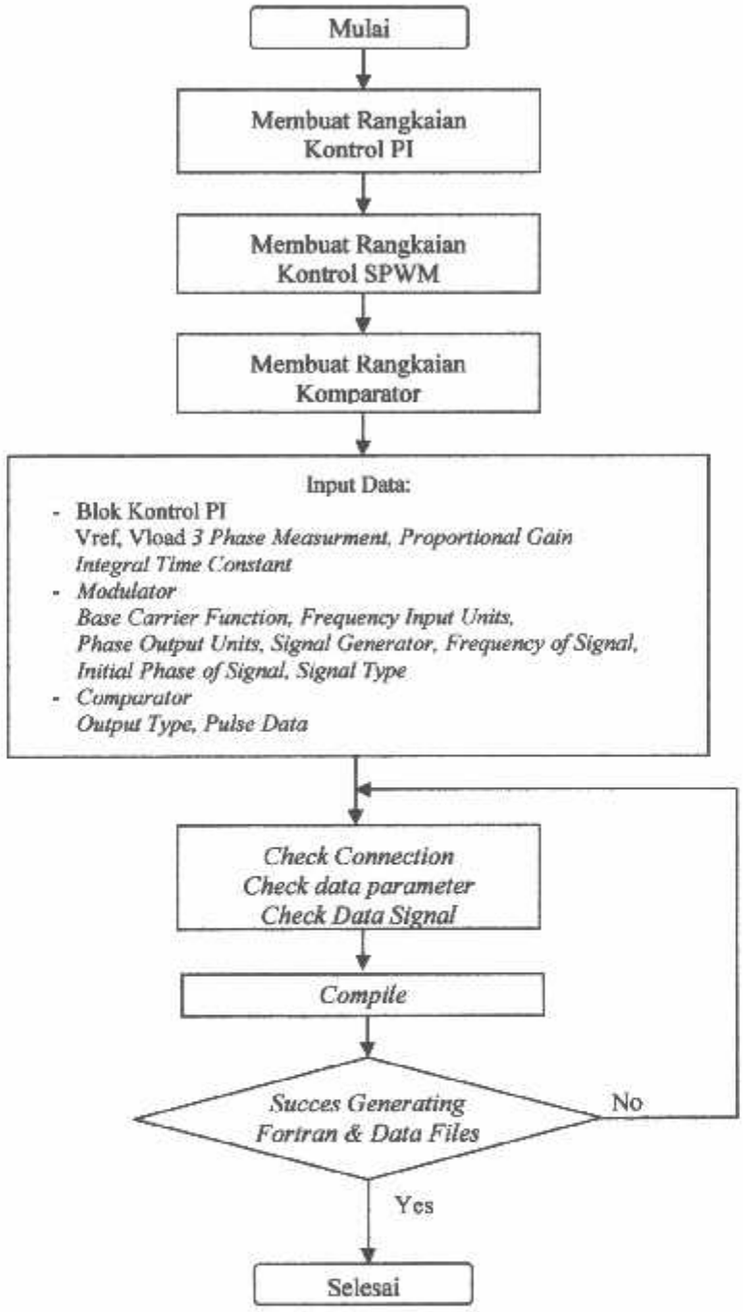

Gambar 3.13.
*Flowchart* Pembuatan Rangkaian D-STATCOM

### 3.6.5. *Flowchart* Desain APF




Gambar 3.15.
*Flowchart* Pembuatan Rangkaian APF

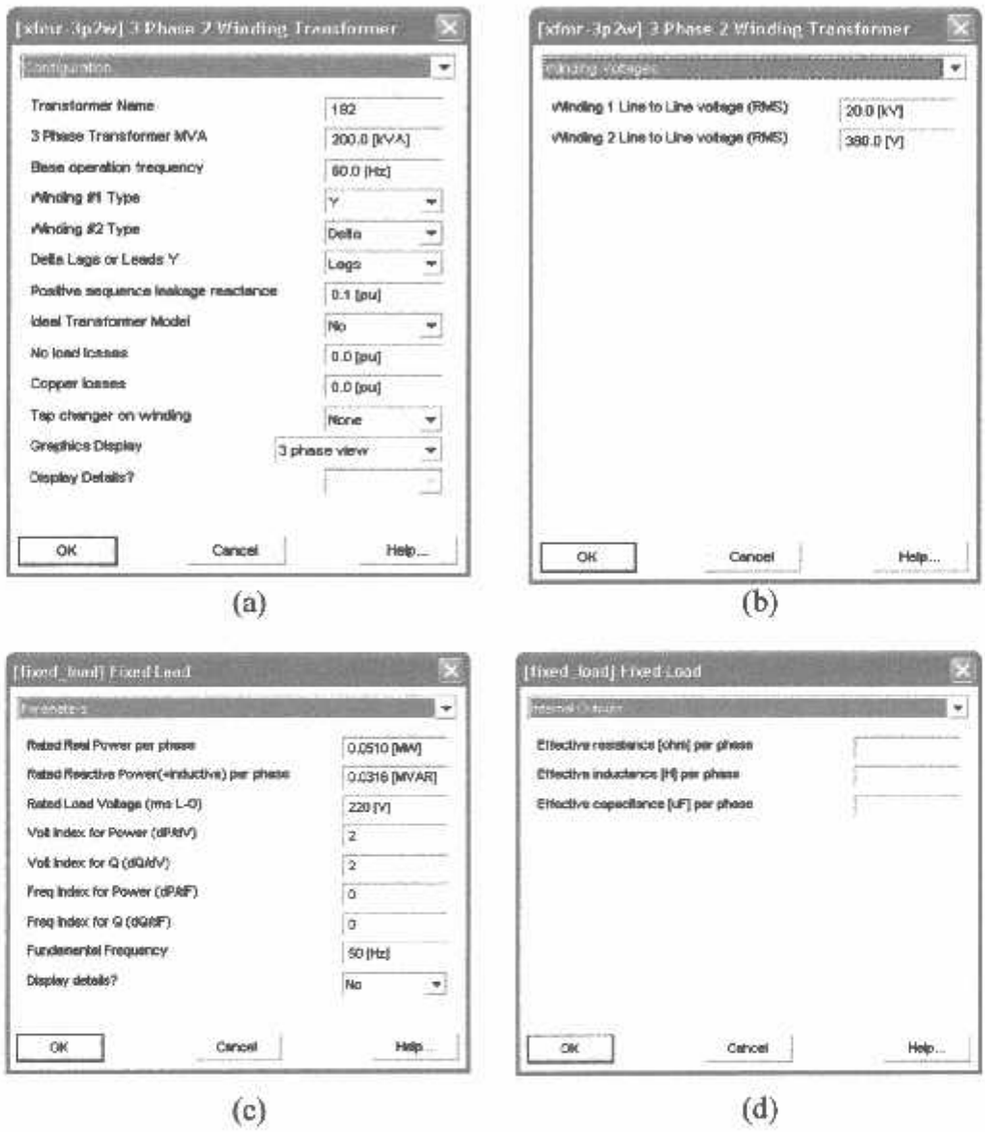
### 3.6.6. *Flowchart* Desain Kontrol UCPC




Gambar 3.16.
*Flowchart* Pembuatan Rangkaian Kontrol SPWM
Untuk UCPC

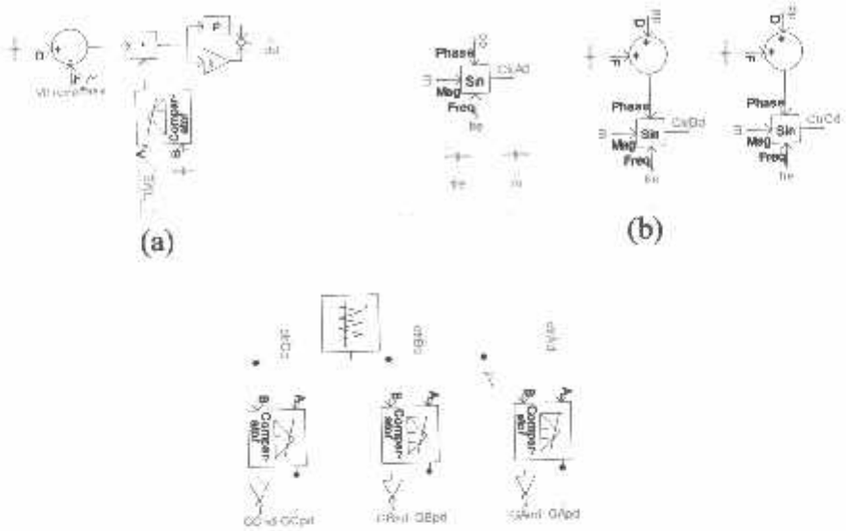
## 3.7. Input Data Dalam PSCAD/EMTDC

### 3.7.1. Input Data *Transformator* dan *Fixed Load*




Gambar 3.17. (a) Input Data Konfigurasi Transformator, (b) Input Data *Winding Voltage*, (c) Input Data Parameter *Fixed Load*, (d) Input Data *Internal Output*

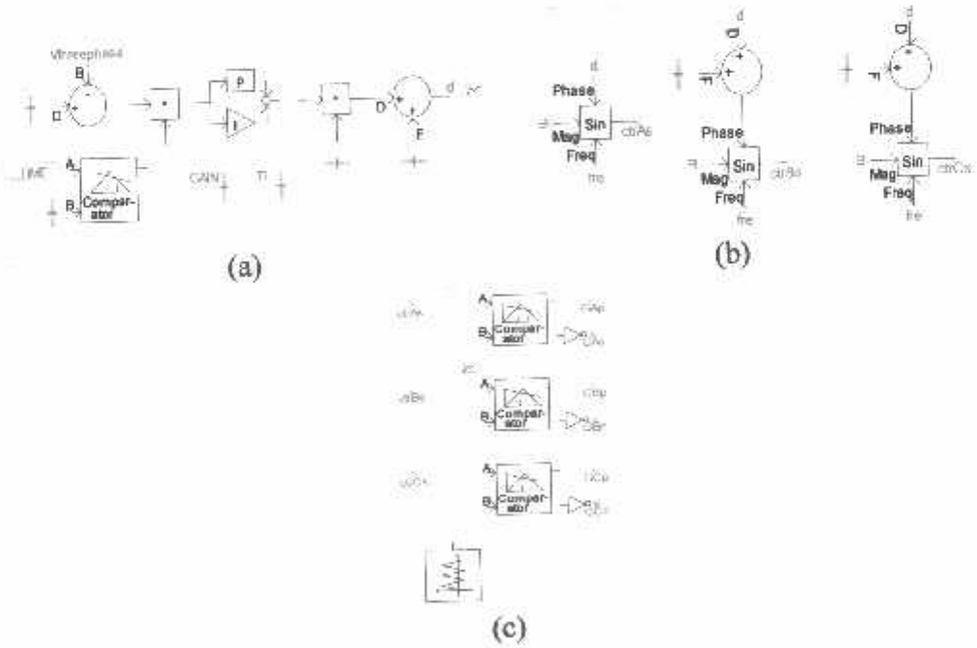
### 3.7.2. Input Data Pengendali PI dan SPWM Pada UCPC




(a) (b)

(c)

Gambar 3.18. (a) Rangkaian Pengendali PI Untuk Mengendalikan DVR, (b) Rangkaian Sinyal Komparator Untuk Mengendalikan DVR, (c) Rangkaian Komparator Untuk Mengendalikan DVR




(a) (b)

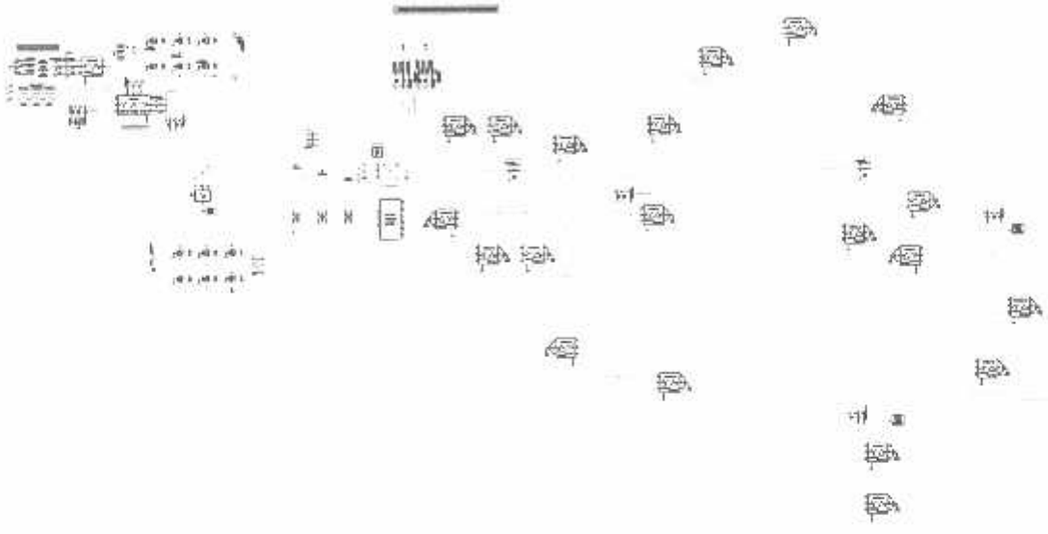
(c)

Gambar 3.19. (a) Rangkaian Pengendali PI Untuk Mengendalikan DSTATCOM, (b) Rangkaian Sinyal Komparator Untuk Mengendalikan DSTATCOM, (c) Rangkaian Komparator Untuk Mengendalikan DSTATCOM

# BAB IV

# HASIL DAN ANALISA HASIL

## 4.1. Single Line Sistem Distribusi 20 kV Penyulang Dinoyo



Gambar 4.1. *Single Line* Penyulang Dinoyo

## 4.2. Data Penyaluran dan Pembebanan

### 4.2.1. Data Saluran Penyulang Dinoyo

Tabel 4.1. Data Saluran Penyulang Dinoyo

| Nomor Saluran | Dari Node | Ke Node | Panjang Saluran (m) | Impedansi Saluran | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | R (ohm) | $X_L$ (ohm) |
| 1 | 1 | 2 | 378 | 0.157268 | 0.133264 |
| 2 | 2 | 3 | 66.3 | 0.030551 | 0.023682 |
| 3 | 3 | 4 | 469.4 | 0.114644 | 0.156573 |
| 4 | 4 | 5 | 1870 | 0.038916 | 0.05949 |
| 5 | 5 | 6 | 301 | 0.065076 | 0.099481 |
| 6 | 6 | 7 | 53 | 0.011459 | 0.017517 |
| 7 | 7 | 8 | 245 | 0.052969 | 0.080973 |
| 8 | 8 | 9 | 230 | 0.049276 | 0.076015 |
| 9 | 9 | 10 | 50 | 0.01081 | 0.016525 |
| 10 | 10 | 11 | 100 | 0.02162 | 0.03305 |
| 11 | 11 | 12 | 23 | 0.004973 | 0.007602 |
| 12 | 12 | 13 | 221 | 0.04778 | 0.073041 |
| 13 | 13 | 14 | 326 | 0.070481 | 0.107743 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 14 | 14 | 15 | 50 | 0.01081 | 0.016525 |
| 15 | 15 | 16 | 560 | 0.121072 | 0.18508 |
| 16 | 16 | 17 | 40 | 0.008648 | 0.01322 |
| 17 | 17 | 18 | 72.5 | 0.015675 | 0.023961 |
| 18 | 18 | 19 | 166 | 0.035889 | 0.054863 |
| 19 | 19 | 20 | 270 | 0.06468 | 0.09915 |
| 20 | 20 | 21 | 91 | 0.024461 | 0.030722 |
| 21 | 21 | 22 | 532 | 0.143002 | 0.179603 |
| 22 | 22 | 23 | 136 | 0.036557 | 0.045914 |
| 23 | 23 | 24 | 45 | 0.012096 | 0.015192 |
| 24 | 24 | 25 | 25 | 0.00672 | 0.00844 |
| 25 | 25 | 26 | 266 | 0.071501 | 0.089802 |
| 26 | 26 | 27 | 98 | 0.026342 | 0.033085 |
| 27 | 27 | 28 | 45 | 0.012096 | 0.015192 |
| 28 | 28 | 29 | 42 | 0.01129 | 0.014179 |
| 29 | 29 | 30 | 147 | 0.039514 | 0.049627 |
| 30 | 30 | 31 | 110 | 0.029568 | 0.037136 |
| 31 | 31 | 32 | 66.5 | 0.017875 | 0.02245 |
| 32 | 32 | 33 | 29 | 0.007795 | 0.00979 |
| 33 | 33 | 34 | 336 | 0.090317 | 0.113434 |
| 34 | 34 | 35 | 95 | 0.025536 | 0.032072 |
| 35 | 35 | 36 | 178 | 0.047846 | 0.060093 |
| 36 | 36 | 37 | 10 | 0.002688 | 0.003376 |
| 37 | 2 | 38 | 48 | 0.022118 | 0.017146 |
| 38 | 3 | 39 | 10 | 0.002162 | 0.003305 |
| 39 | 4 | 40 | 429 | 0.09275 | 0.141785 |
| 40 | 6 | 41 | 197 | 0.042591 | 0.065109 |
| 41 | 41 | 42 | 300 | 0.06486 | 0.09915 |
| 42 | 42 | 43 | 200 | 0.04324 | 0.0661 |
| 43 | 7 | 44 | 246 | 0.113357 | 0.087871 |
| 44 | 8 | 45 | 167 | 0.036105 | 0.055194 |
| 45 | 45 | 46 | 38 | 0.008216 | 0.012559 |
| 46 | 46 | 47 | 190 | 0.041078 | 0.062795 |
| 47 | 47 | 48 | 353 | 0.076319 | 0.116667 |
| 48 | 48 | 49 | 318 | 0.068752 | 0.105099 |
| 49 | 49 | 50 | 63 | 0.013621 | 0.020822 |
| 50 | 47 | 51 | 164 | 0.035457 | 0.054202 |
| 51 | 50 | 52 | 765 | 0.165393 | 0.252833 |
| 52 | 50 | 53 | 771 | 0.16669 | 0.254816 |
| 53 | 9 | 54 | 169 | 0.077875 | 0.060367 |
| 54 | 10 | 55 | 563 | 0.121721 | 0.186072 |
| 55 | 55 | 56 | 841 | 0.181824 | 0.277951 |
| 56 | 11 | 57 | 40 | 0.018432 | 0.014288 |
| 57 | 12 | 58 | 265 | 0.057293 | 0.087583 |
| 58 | 14 | 59 | 500 | 0.1081 | 0.1625 |
| 59 | 59 | 60 | 450 | 0.09729 | 0.148725 |
| 60 | 16 | 61 | 85.2 | 0.01842 | 0.028159 |
| 61 | 17 | 62 | 50 | 0.01344 | 0.01688 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 62 | 18 | 63 | 115 | 0.024863 | 0.038008 |
| 63 | 18 | 64 | 35 | 0.007567 | 0.011568 |
| 64 | 19 | 65 | 149 | 0.068198 | 0.052866 |
| 65 | 65 | 66 | 459 | 0.099236 | 0.1517 |
| 66 | 66 | 67 | 89 | 0.018242 | 0.029415 |
| 67 | 65 | 68 | 50 | 0.02304 | 0.01786 |
| 68 | 67 | 69 | 517 | 0.238234 | 0.184672 |
| 69 | 67 | 70 | 101 | 0.021836 | 0.033381 |
| 70 | 70 | 71 | 579 | 0.12518 | 0.19136 |
| 71 | 71 | 72 | 650 | 0.14053 | 0.214825 |
| 72 | 70 | 73 | 366 | 0.337342 | 0.138714 |
| 73 | 22 | 74 | 87 | 0.04009 | 0.031076 |
| 74 | 74 | 75 | 343 | 0.099039 | 0.115525 |
| 75 | 23 | 76 | 314 | 0.067887 | 0.103777 |
| 76 | 27 | 77 | 453 | 0.208742 | 0.161812 |
| 77 | 28 | 78 | 31 | 0.008333 | 0.010466 |
| 78 | 31 | 79 | 377 | 0.081507 | 0.124599 |
| 79 | 79 | 80 | 74.7 | 0.01615 | 0.024688 |
| 80 | 32 | 81 | 378 | 0.174182 | 0.135022 |
| 81 | 81 | 82 | 314 | 0.144691 | 0.112161 |
| 82 | 33 | 83 | 5 | 0.001344 | 0.001688 |
| 83 | 35 | 84 | 195 | 0.089856 | 0.069654 |
| 84 | 84 | 85 | 318 | 0.014653 | 0.11359 |
| 85 | 85 | 86 | 197 | 0.090778 | 0.070368 |
| 86 | 86 | 87 | 204 | 0.094003 | 0.072869 |
| 87 | 87 | 88 | 594 | 0.263931 | 0.211109 |
| 88 | 88 | 89 | 301 | 0.065076 | 0.099481 |
| 89 | 89 | 90 | 295 | 0.063779 | 0.097498 |
| 90 | 84 | 91 | 138 | 0.06359 | 0.049294 |

### 4.2.2. Data Pembebanan Penyulang Dinoyo

#### 4.2.2.1. Data Pembebanan Penyulang Dinoyo pada Pukul 00.00 WIB

Tabel 4.2. Data Pembebanan Penyulang Dinoyo pada Pukul 00.00 WIB

| No. Node | No. Gardu | Kapasitas Nominal (kVA) | Beban Puncak (kVA) | Beban Pukul 00.00 | | Type Bus |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | P (kW) | Q (kVAR) | |
| 1 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Slack |
| 2 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |
| 3 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |
| 4 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |
| 5 | 299 | 250 | 133.54 | 81.72468 | 50.64912 | Load |
| 6 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |
| 7 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 8 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |
| 9 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |
| 10 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |
| 11 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |
| 12 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |
| 13 | 201 | 200 | 126.768 | 77.58216 | 48.08088 | Load |
| 14 | | 0 | 0 | | | Load |
| 15 | 461 | 250 | 212.3 | 129.9276 | 80.5212 | Load |
| 16 | | 0 | 0 | | | Load |
| 17 | | 0 | 0 | | | Load |
| 18 | | 0 | 0 | | | Load |
| 19 | | 0 | 0 | | | Load |
| 20 | 478 | 200 | 126.72 | 77.55264 | 48.06288 | Load |
| 21 | 362 | 200 | 108.46 | 66.37752 | 41.1372 | Load |
| 22 | | 0 | 0 | | | Load |
| 23 | | 0 | 0 | | | Load |
| 24 | 969 | 160 | 103 | 63.036 | 39.06576 | Load |
| 25 | 614 | 200 | 117.48 | 71.89776 | 44.55792 | Load |
| 26 | 181 | 150 | 88.22 | 53.99064 | 33.46056 | Load |
| 27 | | 0 | 0 | | | Load |
| 28 | | 0 | 0 | | | Load |
| 29 | 970 | 160 | 97.24 | 59.51088 | 36.88128 | Load |
| 30 | 957 | 160 | 103 | 63.036 | 39.06576 | Load |
| 31 | | 0 | 0 | | | Load |
| 32 | | 0 | 0 | | | Load |
| 33 | | 0 | 0 | | | Load |
| 34 | 206 | 150 | 41.514 | 25.40664 | 15.74568 | Load |
| 35 | | 0 | 0 | | | Load |
| 36 | 298A | 160 | 130 | 79.56 | 49.30632 | Load |
| 37 | 298 | 150 | 110.88 | 67.85856 | 42.05448 | Load |
| 38 | 192 | 200 | 103.986 | 63.63936 | 39.44016 | Load |
| 39 | 70 | 200 | 121 | 74.052 | 45.8928 | Load |
| 40 | 596 | 150 | 97.837 | 59.87592 | 37.10808 | Load |
| 41 | 679 | 160 | 91.168 | 55.79496 | 34.578 | Load |
| 42 | 877 | 160 | 30.736 | 18.81072 | 11.65752 | Load |
| 43 | 962 | 25 | 19.295 | 11.80872 | 7.31808 | Load |
| 44 | 435 | 100 | 27.28 | 16.69536 | 10.34712 | Load |
| 45 | 664 | 160 | 105 | 64.26 | 39.82464 | Load |
| 46 | 177 | 160 | 122.988 | 75.2688 | 46.64736 | Load |
| 47 | | 0 | 0 | | | Load |
| 48 | 604 | 160 | 56.832 | 34.78104 | 21.55536 | Load |
| 49 | 178 | 160 | 66.22 | 40.52664 | 25.11576 | Load |
| 50 | | 0 | 0 | | | Load |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 51 | 452 | 100 | 83 | 50.796 | 31.48056 | Load |
| 52 | 178A | 150 | 108.46 | 66.37752 | 41.1372 | Load |
| 53 | 895 | 25 | 23.76 | 14.54112 | 9.01152 | Load |
| 54 | 381 | 100 | 30.912 | 18.918 | 11.72448 | Load |
| 55 | 504 | 100 | 77.604 | 47.49336 | 29.4336 | Load |
| 56 | 912 | 160 | 72.488 | 44.3628 | 27.4932 | Load |
| 57 | 201A | 200 | 111.277 | 68.1012 | 42.20496 | Load |
| 58 | 625 | 160 | 141.3 | 86.4756 | 53.59248 | Load |
| 59 | 874 | 160 | 73.7 | 45.1044 | 27.95328 | Load |
| 60 | 893 | 100 | 53.46 | 32.71752 | 20.25072 | Load |
| 61 | 602 | 100 | 74.58 | 45.64296 | 28.28664 | Load |
| 62 | 914 | 200 | 103 | 63.036 | 39.06576 | Load |
| 63 | 678 | 315 | 196 | 119.952 | 74.33928 | Load |
| 64 | 648 | 100 | 97 | 59.364 | 36.79056 | Load |
| 65 | | 0 | 0 | | | Load |
| 66 | 470 | 250 | 89.1 | 54.5292 | 33.79392 | Load |
| 67 | | 0 | 0 | | | Load |
| 68 | 376 | 160 | 83.16 | 50.89392 | 31.54104 | Load |
| 69 | 984 | 100 | 44.66 | 27.33192 | 16.93872 | Load |
| 70 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |
| 71 | 380 | 150 | 100.456 | 61.47936 | 38.10096 | Load |
| 72 | 881 | 160 | 25.52 | 15.61824 | 9.67896 | Load |
| 73 | 179 | 100 | 92.84 | 56.81808 | 35.21232 | Load |
| 74 | 482 | 250 | 147.4 | 90.2088 | 55.90584 | Load |
| 75 | 619 | 200 | 55.66 | 34.06392 | 21.11112 | Load |
| 76 | 501 | 100 | 75.24 | 46.04688 | 28.5372 | Load |
| 77 | 473 | 160 | 116.16 | 71.08992 | 44.05752 | Load |
| 78 | 207 | 200 | 105 | 71.08992 | 44.05752 | Load |
| 79 | 595A | 50 | 35 | 64.26 | 39.82464 | Load |
| 80 | 595 | 150 | 138.649 | 21.42 | 13.27464 | Load |
| 81 | 391 | 160 | 135.08 | 84.85344 | 52.58736 | Load |
| 82 | 418 | 160 | 54.12 | 33.12144 | 20.52648 | Load |
| 83 | 572 | 160 | 108.02 | 66.10824 | 40.97016 | Load |
| 84 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |
| 85 | 225 | 250 | 169.18 | 103.5382 | 64.16712 | Load |
| 86 | 225A | 160 | 137.81 | 84.34008 | 52.26912 | Load |
| 87 | 518 | 150 | 81.395 | 49.81392 | 30.87144 | Load |
| 88 | 458 | 160 | 135 | 82.62 | 51.2028 | Load |
| 89 | 688 | 100 | 87.989 | 53.84952 | 33.37272 | Load |
| 90 | 81 | 160 | 130.962 | 80.14896 | 49.67136 | Load |
| 91 | 643 | 160 | 106.7 | 65.3004 | 40.46904 | Load |

### 4.2.2.2. Data Pembebanan Penyulang Dinoyo pada Pukul 14.00 WIB

Tabel 4.3. Data Pembebanan Penyulang Dinoyo pada Pukul 14.00 WIB

| No. Node | No. Gardu | Kapasitas Nominal | Beban Puncak | Beban Pukul 00.00 | | Type |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | (kVA) | (kVA) | P (kW) | Q (kVAR) | Bus |
| 1 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Slack |
| 2 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |
| 3 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |
| 4 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |
| 5 | 299 | 250 | 133.54 | 63.56504 | 39.39376 | Load |
| 6 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |
| 7 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |
| 8 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |
| 9 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |
| 10 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |
| 11 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |
| 12 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |
| 13 | 201 | 200 | 126.768 | 60.34168 | 37.39624 | Load |
| 14 | | 0 | 0 | | | Load |
| 15 | 461 | 250 | 212.3 | 101.0548 | 62.6276 | Load |
| 16 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |
| 17 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |
| 18 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |
| 19 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |
| 20 | 478 | 200 | 126.72 | 60.31872 | 37.38224 | Load |
| 21 | 362 | 200 | 108.46 | 51.62696 | 31.9956 | Load |
| 22 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |
| 23 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |
| 24 | 969 | 160 | 103 | 49.028 | 30.38448 | Load |
| 25 | 614 | 200 | 117.48 | 55.92048 | 34.65616 | Load |
| 26 | 181 | 150 | 88.22 | 41.99272 | 26.02488 | Load |
| 27 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |
| 28 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |
| 29 | 970 | 160 | 97.24 | 46.28624 | 28.68544 | Load |
| 30 | 957 | 160 | 103 | 49.028 | 30.38448 | Load |
| 31 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |
| 32 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |
| 33 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |
| 34 | 206 | 150 | 41.514 | 19.76072 | 12.24664 | Load |
| 35 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |
| 36 | 298A | 160 | 130 | 61.88 | 38.38936 | Load |
| 37 | 298 | 150 | 110.88 | 52.77888 | 32.70904 | Load |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 38 | 192 | 200 | 103.986 | 49.49728 | 30.67568 | Load |
| 39 | 70 | 200 | 121 | 57.596 | 35.6944 | Load |
| 40 | 596 | 150 | 97.837 | 46.57016 | 28.86184 | Load |
| 41 | 679 | 160 | 91.168 | 43.39608 | 26.894 | Load |
| 42 | 877 | 160 | 30.736 | 14.63056 | 9.06696 | Load |
| 43 | 962 | 25 | 19.295 | 9.18456 | 5.69184 | Load |
| 44 | 435 | 100 | 27.28 | 12.98528 | 8.04776 | Load |
| 45 | 664 | 160 | 105 | 49.98 | 30.97472 | Load |
| 46 | 177 | 160 | 122.988 | 58.5424 | 36.28128 | Load |
| 47 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |
| 48 | 604 | 160 | 56.832 | 27.05192 | 16.76528 | Load |
| 49 | 178 | 160 | 66.22 | 31.52072 | 19.53448 | Load |
| 50 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |
| 51 | 452 | 100 | 83 | 39.508 | 24.48488 | Load |
| 52 | 178A | 150 | 108.46 | 51.62696 | 31.9956 | Load |
| 53 | 895 | 25 | 23.76 | 11.30976 | 7.00896 | Load |
| 54 | 381 | 100 | 30.912 | 14.714 | 9.11904 | Load |
| 55 | 504 | 100 | 77.604 | 36.93928 | 22.8928 | Load |
| 56 | 912 | 160 | 72.488 | 34.5044 | 21.3836 | Load |
| 57 | 201A | 200 | 111.277 | 52.9676 | 32.82608 | Load |
| 58 | 625 | 160 | 141.3 | 67.2588 | 41.68304 | Load |
| 59 | 874 | 160 | 73.7 | 35.0812 | 21.74144 | Load |
| 60 | 893 | 100 | 53.46 | 25.44696 | 15.75056 | Load |
| 61 | 602 | 100 | 74.58 | 35.50008 | 22.00072 | Load |
| 62 | 914 | 200 | 103 | 49.028 | 30.38448 | Load |
| 63 | 678 | 315 | 196 | 93.296 | 57.81944 | Load |
| 64 | 648 | 100 | 97 | 46.172 | 28.61488 | Load |
| 65 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |
| 66 | 470 | 250 | 89.1 | 42.4116 | 26.28416 | Load |
| 67 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |
| 68 | 376 | 160 | 83.16 | 39.58416 | 24.53192 | Load |
| 69 | 984 | 100 | 44.66 | 21.25816 | 13.17456 | Load |
| 70 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |
| 71 | 380 | 150 | 100.456 | 47.81728 | 29.63408 | Load |
| 72 | 881 | 160 | 25.52 | 12.14752 | 7.52808 | Load |
| 73 | 179 | 100 | 92.84 | 44.19184 | 27.38736 | Load |
| 74 | 482 | 250 | 147.4 | 70.1624 | 43.48232 | Load |
| 75 | 619 | 200 | 55.66 | 26.49416 | 16.41976 | Load |
| 76 | 501 | 100 | 75.24 | 35.81424 | 22.1956 | Load |
| 77 | 473 | 160 | 116.16 | 55.29216 | 34.26696 | Load |
| 78 | 207 | 200 | 105 | 49.98 | 30.97472 | Load |
| 79 | 595A | 50 | 35 | 16.66 | 10.32472 | Load |
| 80 | 595 | 150 | 138.649 | 65.99712 | 40.90128 | Load |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 81 | 391 | 160 | 135.08 | 64.29808 | 39.84792 | Load |
| 82 | 418 | 160 | 54.12 | 25.76112 | 15.96504 | Load |
| 83 | 572 | 160 | 108.02 | 51.41752 | 31.86568 | Load |
| 84 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |
| 85 | 225 | 250 | 169.18 | 80.82968 | 49.90776 | Load |
| 86 | 225A | 160 | 137.81 | 65.59784 | 40.65376 | Load |
| 87 | 518 | 150 | 81.395 | 38.74416 | 24.01112 | Load |
| 88 | 458 | 160 | 135 | 64.26 | 39.8244 | Load |
| 89 | 688 | 100 | 87.989 | 41.88296 | 25.95656 | Load |
| 90 | 81 | 160 | 130.962 | 62.33808 | 38.63328 | Load |
| 91 | 643 | 160 | 106.7 | 50.7892 | 31.47592 | Load |

### 4.2.2.3. Data Pembebanan Penyulang Dinoyo pada Pukul 19.00 WIB

Tabel 4.4. Data Pembebanan Penyulang Dinoyo pada Pukul 19.00 WIB

| No. Node | No. Gardu | Kapasitas Nominal (kVA) | Beban Puncak (kVA) | Beban Pukul 00.00 | | Type Bus |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | P (kW) | Q (kVAR) | |
| 1 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Slack |
| 2 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |
| 3 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |
| 4 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |
| 5 | 299 | 250 | 133.54 | 113.509 | 70.346 | Load |
| 6 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |
| 7 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |
| 8 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |
| 9 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |
| 10 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |
| 11 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |
| 12 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |
| 13 | 201 | 200 | 126.768 | 107.753 | 66.779 | Load |
| 14 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |
| 15 | 461 | 250 | 212.3 | 180.455 | 111.835 | Load |
| 16 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |
| 17 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |
| 18 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |
| 19 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |
| 20 | 478 | 200 | 126.72 | 107.712 | 66.754 | Load |
| 21 | 362 | 200 | 108.46 | 92.191 | 57.135 | Load |
| 22 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |
| 23 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |
| 24 | 969 | 160 | 103 | 87.55 | 54.258 | Load |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 25 | 614 | 200 | 117.48 | 99.858 | 61.886 | Load |
| 26 | 181 | 150 | 88.22 | 74.987 | 46.473 | Load |
| 27 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |
| 28 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |
| 29 | 970 | 160 | 97.24 | 82.654 | 51.224 | Load |
| 30 | 957 | 160 | 103 | 87.55 | 54.259 | Load |
| 31 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |
| 32 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |
| 33 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |
| 34 | 206 | 150 | 41.514 | 35.287 | 21.869 | Load |
| 35 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |
| 36 | 298A | 160 | 130 | 110.5 | 68.481 | Load |
| 37 | 298 | 150 | 110.88 | 94.248 | 58.409 | Load |
| 38 | 192 | 200 | 103.986 | 88.388 | 54.778 | Load |
| 39 | 70 | 200 | 121 | 102.85 | 63.74 | Load |
| 40 | 596 | 150 | 97.837 | 83.161 | 51.539 | Load |
| 41 | 679 | 160 | 91.168 | 77.493 | 48.025 | Load |
| 42 | 877 | 160 | 30.736 | 26.126 | 16.191 | Load |
| 43 | 962 | 25 | 19.295 | 16.401 | 10.164 | Load |
| 44 | 435 | 100 | 27.28 | 23.188 | 14.371 | Load |
| 45 | 664 | 160 | 105 | 89.25 | 55.312 | Load |
| 46 | 177 | 160 | 122.988 | 104.54 | 64.788 | Load |
| 47 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |
| 48 | 604 | 160 | 56.832 | 48.307 | 29.938 | Load |
| 49 | 178 | 160 | 66.22 | 56.287 | 34.883 | Load |
| 50 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |
| 51 | 452 | 100 | 83 | 70.55 | 43.723 | Load |
| 52 | 178A | 150 | 108.46 | 92.191 | 57.135 | Load |
| 53 | 895 | 25 | 23.76 | 20.196 | 12.516 | Load |
| 54 | 381 | 100 | 30.912 | 26.275 | 16.284 | Load |
| 55 | 504 | 100 | 77.604 | 65.963 | 40.88 | Load |
| 56 | 912 | 160 | 72.488 | 61.615 | 38.185 | Load |
| 57 | 201A | 200 | 111.277 | 94.585 | 58.618 | Load |
| 58 | 625 | 160 | 141.3 | 120.105 | 74.434 | Load |
| 59 | 874 | 160 | 73.7 | 62.645 | 38.824 | Load |
| 60 | 893 | 100 | 53.46 | 45.441 | 28.126 | Load |
| 61 | 602 | 100 | 74.58 | 63.393 | 39.287 | Load |
| 62 | 914 | 200 | 103 | 87.55 | 54.258 | Load |
| 63 | 678 | 315 | 196 | 166.6 | 103.249 | Load |
| 64 | 648 | 100 | 97 | 82.45 | 51.098 | Load |
| 65 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |
| 66 | 470 | 250 | 89.1 | 75.735 | 46.936 | Load |
| 67 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 68 | 376 | 160 | 83.16 | 70.686 | 43.807 | Load |
| 69 | 984 | 100 | 44.66 | 37.961 | 23.526 | Load |
| 70 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |
| 71 | 380 | 150 | 100.456 | 85.388 | 52.918 | Load |
| 72 | 881 | 160 | 25.52 | 21.692 | 13.443 | Load |
| 73 | 179 | 100 | 92.84 | 78.914 | 48.906 | Load |
| 74 | 482 | 250 | 147.4 | 125.29 | 77.647 | Load |
| 75 | 619 | 200 | 55.66 | 47.311 | 29.321 | Load |
| 76 | 501 | 100 | 75.24 | 63.954 | 39.635 | Load |
| 77 | 473 | 160 | 116.16 | 98.736 | 61.191 | Load |
| 78 | 207 | 200 | 105 | 89.25 | 55.312 | Load |
| 79 | 595A | 50 | 35 | 29.75 | 18.437 | Load |
| 80 | 595 | 150 | 138.649 | 117.852 | 73.038 | Load |
| 81 | 391 | 160 | 135.08 | 114.818 | 71.157 | Load |
| 82 | 418 | 160 | 54.12 | 46.002 | 28.509 | Load |
| 83 | 572 | 160 | 108.02 | 91.817 | 56.903 | Load |
| 84 | | 0 | 0 | 0 | 0 | Load |
| 85 | 225 | 250 | 169.18 | 143.803 | 89.121 | Load |
| 86 | 225A | 160 | 137.81 | 117.139 | 72.596 | Load |
| 87 | 518 | 150 | 81.395 | 69.186 | 42.877 | Load |
| 88 | 458 | 160 | 135 | 114.75 | 71.115 | Load |
| 89 | 688 | 100 | 87.989 | 74.791 | 46.351 | Load |
| 90 | 81 | 160 | 130.962 | 111.318 | 68.988 | Load |
| 91 | 643 | 160 | 106.7 | 90.695 | 56.207 | Load |

### 4.2.3. Data Aliran Daya Tiap Saluran Penyulang Dinoyo

#### 4.2.3.1. Data Aliran Daya Penyulang Dinoyo pada Pukul 00.00 WIB

Tabel 4.5. Data Aliran Daya Penyulang Dinoyo pada Pukul 00.00 WIB

| Saluran | DAYA | |
|---|---|---|
| | P (kW) | Q (kVAR) |
| 1-2 | 3608.459 | 2258.04 |
| 2-3 | 3537.695 | 2212.563 |
| 2-38 | 63.64 | 39.44 |
| 3-4 | 3462.307 | 2165.636 |
| 3-39 | 74.052 | 45.893 |
| 4-5 | 3397.624 | 2121.964 |
| 4-40 | 59.877 | 37.11 |
| 5-6 | 3314.322 | 2068.908 |
| 6-7 | 3225.397 | 2011.518 |
| 6-41 | 86.416 | 53.556 |

| Saluran | DAYA | |
|---|---|---|
| | P (kW) | Q (kVAR) |
| 27-77 | 71.093 | 44.06 |
| 28-29 | 1104.039 | 684.64 |
| 28-78 | 64.26 | 39.825 |
| 29-30 | 1044.479 | 647.697 |
| 30-31 | 981.29 | 608.439 |
| 31-32 | 874.912 | 542.444 |
| 31-79 | 106.276 | 65.868 |
| 32-33 | 769.064 | 470.616 |
| 32-81 | 115.799 | 71.766 |
| 33-34 | 692.94 | 429.626 |

| 7-8 | 3208.282 | 2000.53 |
|---|---|---|
| 7-44 | 16.695 | 10.347 |
| 8-9 | 2859.777 | 1782.771 |
| 8-45 | 346.588 | 214.829 |
| 9-10 | 2839.426 | 1768.858 |
| 9-54 | 18.918 | 11.725 |
| 10-11 | 2747.258 | 1711.454 |
| 10-55 | 91.861 | 56.934 |
| 11-12 | 2678.581 | 1668.369 |
| 11-57 | 68.101 | 42.205 |
| 12-13 | 2591.978 | 1614.582 |
| 12-58 | 86.477 | 53.595 |
| 13-14 | 2513.262 | 1564.77 |
| 14-15 | 2433.865 | 1514.159 |
| 14-59 | 77.824 | 48.208 |
| 15-16 | 2303.711 | 1433.292 |
| 16-17 | 2255.794 | 1401.531 |
| 16-61 | 45.643 | 28.287 |
| 17-18 | 2192.602 | 1362.227 |
| 17-62 | 63.036 | 39.066 |
| 18-19 | 2013.018 | 1250.687 |
| 18-63 | 119.953 | 74.341 |
| 18-64 | 59.364 | 36.791 |
| 19-20 | 1745.788 | 1084.583 |
| 19-65 | 266.714 | 165.315 |
| 20-21 | 1667.605 | 1035.555 |
| 21-22 | 1600.986 | 994.115 |
| 22-23 | 1475.408 | 915.46 |
| 22-74 | 124.275 | 77.019 |
| 23-24 | 1429.078 | 886.567 |
| 23-76 | 46.047 | 28.538 |
| 24-25 | 1365.954 | 847.39 |
| 25-26 | 1294.012 | 802.776 |
| 26-27 | 1239.595 | 768.781 |
| 27-28 | 1168.357 | 724.539 |

| 33-83 | 66.108 | 40.97 |
|---|---|---|
| 34-35 | 667.379 | 413.686 |
| 35-36 | 147.421 | 91.366 |
| 35-84 | 519.918 | 322.268 |
| 36-37 | 67.858 | 42.055 |
| 41-42 | 30.62 | 18.976 |
| 42-43 | 11.809 | 7.318 |
| 45-46 | 282.313 | 174.981 |
| 46-47 | 207.042 | 128.33 |
| 47-48 | 156.239 | 96.84 |
| 47-51 | 50.796 | 31.481 |
| 48-49 | 121.452 | 75.275 |
| 49-50 | 80.922 | 50.153 |
| 50-52 | 66.38 | 41.141 |
| 50-53 | 14.541 | 9.012 |
| 55-56 | 44.364 | 27.495 |
| 59-60 | 32.718 | 20.251 |
| 65-66 | 215.803 | 133.761 |
| 65-68 | 50.894 | 31.541 |
| 66-67 | 161.257 | 99.942 |
| 67-69 | 27.332 | 16.939 |
| 67-70 | 133.923 | 83 |
| 70-71 | 77.1 | 47.784 |
| 70-73 | 56.822 | 35.214 |
| 71-72 | 15.618 | 9.679 |
| 74-75 | 34.064 | 21.112 |
| 79-80 | 84.853 | 52.588 |
| 81-82 | 33.122 | 20.527 |
| 84-85 | 454.53 | 281.731 |
| 84-91 | 65.301 | 40.47 |
| 85-86 | 350.885 | 217.48 |
| 86-87 | 266.505 | 165.181 |
| 87-88 | 216.667 | 134.291 |
| 88-89 | 134.003 | 83.053 |
| 89-90 | 80.15 | 49.674 |

**4.2.3.2.**

### 4.2.3.2. Data Aliran Daya Penyulang Dinoyo pada Pukul 14.00 WIB

Tabel 4.6. Data Aliran Daya Penyulang Dinoyo pada Pukul 14.00 WIB

| Saluran | DAYA | |
|---|---|---|
| | P (kW) | Q (kVAR) |
| 1-2 | 2800.852 | 1748.867 |
| 2-3 | 2747.068 | 1714.558 |
| 2-38 | 49.497 | 30.676 |
| 3-4 | 2688.668 | 1678.241 |
| 3-39 | 57.595 | 35.694 |
| 4-5 | 2639.206 | 1645.431 |
| 4-40 | 46.571 | 28.863 |
| 5-6 | 2574.694 | 1604.589 |
| 6-7 | 2505.972 | 1560.628 |
| 6-41 | 67.212 | 41.654 |
| 7-8 | 2492.735 | 1552.195 |
| 7-44 | 12.985 | 8.048 |
| 8-9 | 2222.019 | 1383.353 |
| 8-45 | 269.562 | 167.079 |
| 9-10 | 2206.444 | 1372.917 |
| 9-54 | 14.714 | 9.119 |
| 10-11 | 2134.813 | 1328.354 |
| 10-55 | 71.447 | 44.281 |
| 11-12 | 2081.499 | 1294.0999 |
| 11-57 | 52.968 | 32.826 |
| 12-13 | 2014.163 | 1253.119 |
| 12-58 | 67.26 | 41.684 |
| 13-14 | 1953.14 | 1214.762 |
| 14-15 | 1891.665 | 1175.823 |
| 14-59 | 60.53 | 37.494 |
| 15-16 | 1790.474 | 1112.987 |
| 16-17 | 1753.608 | 1088.898 |
| 16-61 | 35.5 | 22.001 |
| 17-18 | 1704.486 | 1058.37 |
| 17-62 | 49.028 | 30.385 |
| 18-19 | 1564.857 | 971.689 |
| 18-63 | 93.297 | 57.821 |
| 18-64 | 46.172 | 28.615 |
| 19-20 | 1357.11 | 842.645 |
| 19-65 | 207.437 | 128.57 |
| 20-21 | 1296.412 | 804.683 |
| 21-22 | 1244.64 | 772.505 |
| 22-23 | 1147.199 | 711.619 |

| Saluran | DAYA | |
|---|---|---|
| | P (kW) | Q (kVAR) |
| 27-77 | 55.294 | 34.269 |
| 28-29 | 858.542 | 532.326 |
| 28-78 | 49.98 | 30.975 |
| 29-30 | 812.226 | 503.603 |
| 30-31 | 763.106 | 473.103 |
| 31-32 | 680.386 | 421.797 |
| 31-79 | 82.659 | 51.229 |
| 32-33 | 590.292 | 365.943 |
| 32-81 | 90.064 | 55.817 |
| 33-34 | 538.865 | 334.065 |
| 33-83 | 51.417 | 31.866 |
| 34-35 | 519.012 | 321.702 |
| 35-36 | 114.661 | 71.061 |
| 35-84 | 404.327 | 250.61 |
| 36-37 | 52.779 | 32.709 |
| 41-42 | 23.815 | 14.759 |
| 42-43 | 9.185 | 5.692 |
| 45-46 | 219.573 | 136.091 |
| 46-47 | 161.029 | 99.807 |
| 47-48 | 121.517 | 75.316 |
| 47-51 | 39.508 | 24.485 |
| 48-49 | 94.461 | 58.545 |
| 49-50 | 62.938 | 39.007 |
| 50-52 | 51.628 | 31.998 |
| 50-53 | 11.31 | 7.009 |
| 55-56 | 34.505 | 21.385 |
| 59-60 | 25.447 | 15.751 |
| 65-66 | 167.842 | 104.03 |
| 65-68 | 39.584 | 24.532 |
| 66-67 | 125.421 | 77.731 |
| 67-69 | 21.259 | 13.175 |
| 67-70 | 104.161 | 64.554 |
| 70-71 | 59.966 | 37.165 |
| 70-73 | 44.194 | 27.388 |
| 71-72 | 12.148 | 7.528 |
| 74-75 | 26.494 | 16.42 |
| 79-80 | 65.997 | 40.902 |
| 81-82 | 25.761 | 15.965 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 22-74 | 96.658 | 59.903 | 84-85 | 353.485 | 219.093 |
| 23-24 | 1111.215 | 689.21 | 84-91 | 50.79 | 31.476 |
| 23-76 | 35.814 | 22.196 | 85-86 | 272.891 | 169.135 |
| 24-25 | 1062.134 | 658.759 | 86-87 | 207.269 | 128.463 |
| 25-26 | 1006.187 | 624.069 | 87-88 | 168.511 | 104.441 |
| 26-27 | 963.938 | 597.723 | 88-89 | 104.224 | 64.595 |
| 27-28 | 908.557 | 563.345 | 89-90 | 62.339 | 38.635 |

### 4.2.3.3. Data Aliran Daya Penyulang Dinoyo pada Pukul 19.00 WIB

Tabel 4.7. Data Aliran Daya Penyulang Dinoyo pada Pukul 19.00 WIB

| Saluran | DAYA | | Saluran | DAYA | |
|---|---|---|---|---|---|
| | P (kW) | Q (kVAR) | | P (kW) | Q (kVAR) |
| 1-2 | 5029.933 | 3159.627 | 27-77 | 98.742 | 61.196 |
| 2-3 | 4927.673 | 3093.092 | 28-29 | 1533.873 | 951.438 |
| 2-38 | 88.389 | 54.778 | 28-78 | 89.249 | 55.312 |
| 3-4 | 4822.219 | 3027.338 | 29-30 | 1451.125 | 900.094 |
| 3-39 | 102.85 | 63.74 | 30-31 | 1363.276 | 845.459 |
| 4-5 | 4729.694 | 2963.017 | 31-32 | 1215.47 | 753.724 |
| 4-40 | 83.163 | 51.542 | 31-79 | 147.606 | 91.486 |
| 5-6 | 4613.114 | 2887.983 | 32-33 | 1054.54 | 653.925 |
| 6-7 | 4488.202 | 2806.128 | 32-81 | 160.836 | 99.679 |
| 6-41 | 120.022 | 74.384 | 33-34 | 962.693 | 596.982 |
| 7-8 | 4464.196 | 2790.51 | 33-83 | 91.815 | 56.903 |
| 7-44 | 23.188 | 14.371 | 34-35 | 927.104 | 574.734 |
| 8-9 | 3979.067 | 2486.397 | 35-36 | 204.752 | 126.899 |
| 8-45 | 481.391 | 298.405 | 35-84 | 722.278 | 447.732 |
| 9-10 | 3949.998 | 2465.845 | 36-37 | 94.246 | 58.409 |
| 9-54 | 26.275 | 16.284 | 41-42 | 42.527 | 26.356 |
| 10-11 | 3821.811 | 2385.851 | 42-43 | 16.401 | 10.164 |
| 10-55 | 127.587 | 79.08 | 45-46 | 392.112 | 243.048 |
| 11-12 | 3726.104 | 2325.518 | 46-47 | 287.568 | 178.253 |
| 11-57 | 94.585 | 58.618 | 47-48 | 217.005 | 134.511 |
| 12-13 | 3605.75 | 2250.705 | 47-51 | 70.55 | 43.724 |
| 12-58 | 120.107 | 74.439 | 48-49 | 168.686 | 104.554 |
| 13-14 | 3495.786 | 2180.551 | 49-50 | 112.392 | 69.66 |
| 14-15 | 3384.626 | 2108.906 | 50-52 | 92.196 | 57.143 |
| 14-59 | 108.09 | 66.958 | 50-53 | 20.196 | 12.516 |
| 15-16 | 3203.728 | 1996.399 | 55-56 | 61.617 | 38.189 |
| 16-17 | 3135.897 | 1950.334 | 59-60 | 45.441 | 28.127 |
| 16-61 | 63.393 | 39.287 | 65-66 | 299.738 | 185.8 |
| 17-18 | 3048.043 | 1895.61 | 65-68 | 70.686 | 43.807 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 17-62 | 87.55 | 54.259 | 66-67 | 223.972 | 138.815 |
| 18-19 | 2798.47 | 1740.463 | 67-69 | 37.962 | 23.527 |
| 18-63 | 166.601 | 103.253 | 67-70 | 186.007 | 115.283 |
| 18-64 | 82.449 | 51.098 | 70-71 | 107.084 | 66.369 |
| 19-20 | 2427.004 | 1509.292 | 70-73 | 78.921 | 48.905 |
| 19-65 | 370.46 | 229.632 | 71-72 | 21.692 | 13.443 |
| 20-21 | 2318.065 | 1440.654 | 74-75 | 47.311 | 29.322 |
| 21-22 | 2225.401 | 1382.928 | 79-80 | 117.85 | 73.039 |
| 22-23 | 2050.253 | 1272.763 | 81-82 | 46.003 | 28.51 |
| 22-74 | 172.605 | 106.972 | 84-85 | 631.413 | 391.392 |
| 23-24 | 1985.745 | 1232.432 | 84-91 | 90.696 | 56.208 |
| 23-76 | 63.954 | 39.637 | 85-86 | 487.4 | 302.108 |
| 24-25 | 1898.025 | 1177.958 | 86-87 | 370.184 | 229.452 |
| 25-26 | 1798.08 | 1115.963 | 87-88 | 300.953 | 186.539 |
| 26-27 | 1722.261 | 1068.445 | 88-89 | 186.116 | 115.356 |
| 27-28 | 1623.237 | 1006.895 | 89-90 | 111.318 | 38.993 |

### 4.3. Solusi Perbaikan Kualitas Daya dengan *Software PSCAD/EMTDC V.4.2 Power Simulation*

*Software PSCAD/EMTDC V.4.2 Power Simulation* merupakan *graphical user interface* yang fleksibel dan *powerful*. Dengan *software* ini secara skematik kita dapat mengkonstruksi rangkaian, menjalankan simulasi, menganalisa hasil dan manajemen data dalam sebuah integrasi yang lengkap dalam hal grafis, termasuk kontrol dan alat-alat ukur. Dengan demikian permasalahan yang ada pada penyulang dinoyo dan solusi yang ingin didapatkan dapat diperoleh dengan *software* PSCAD.

### 4.4. Validasi

Perhitungan dan Simulasi program PSCAD/EMTDC *Power Simulation* telah diuji coba pada sistem distribusi 20 kV Penyulang Dinoyo, dan hasil perhitungan dan simulasi dibandingkan dengan nilai referensi. Perbandingan tegangan dan

sudut tegangan serta daya aktif dan reaktif antara hasil perhitungan dan simulasi program dengan nilai referensi dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.8. Perbandingan Nilai Parameter Sistem Hasil Referensi dengan Hasil PSCAD/EMTDC

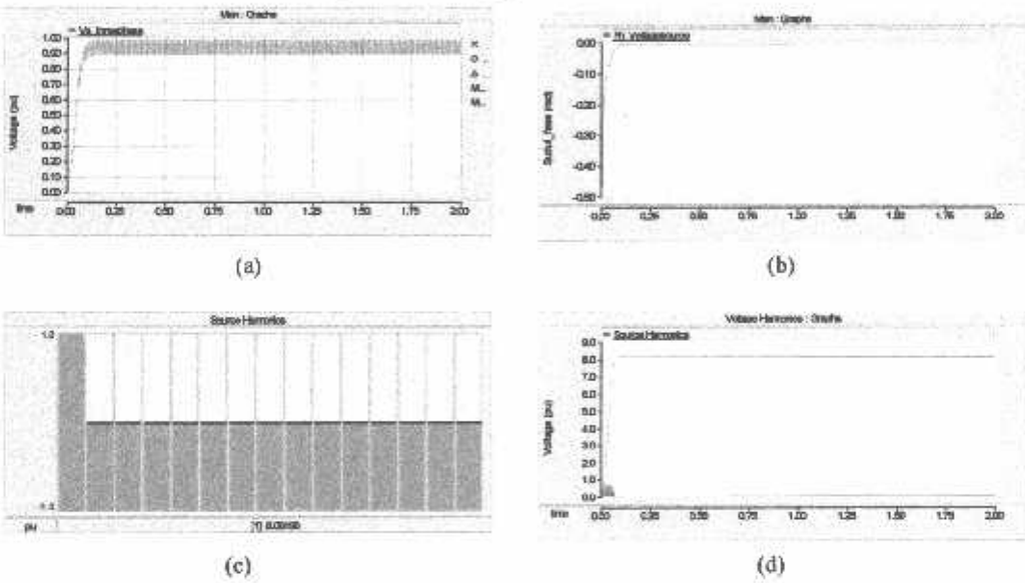
| Dari Node | Ke Node | Hasil Referensi | | | | Hasil PSCAD/EMTDC | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Tegangan (pu) | Sudut Fasa (rad) | P (Kw) | Q (kVAR) | Tegangan (pu) | Sudut Fasa (rad) | P (Kw) | Q (kVAR) |
| 19 | 20 | 0.98992 | -0.47273 | 2427.004 | 1509.292 | 1.007510 | -0.43636 | 2444.920 | 1502.470 |
| 2 | 38 | 0.99778 | -0.07929 | 88.389 | 54.778 | 1.011753 | -0.02841 | 90.57590 | 49.60049 |
| 3 | 39 | 0.99737 | -0.09307 | 102.85 | 63.74 | 1.003321 | -0.042621 | 103.7602 | 56.81277 |
| 4 | 40 | 0.99571 | -0.1926 | 83.163 | 51.542 | 1.014942 | -0.00369 | 84.37407 | 42.19377 |
| 41 | 42 | 0.9943 | -0.29195 | 42.527 | 26.356 | 0.994811 | -0.27113 | 48.23079 | 25.60782 |
| 42 | 43 | 0.99429 | -0.29204 | 16.401 | 10.164 | 1.005156 | -0.27106 | 16.63392 | 11.40345 |
| 8 | 45 | 0.99343 | -0.35334 | 481.391 | 298.405 | 1.009427 | -0.28382 | 491.1105 | 294.2173 |
| 50 | 52 | 0.99314 | -0.35125 | 92.196 | 57.143 | 1.014481 | -0.28377 | 92.13971 | 51.17681 |
| 50 | 53 | 0.9932 | -0.35969 | 20.196 | 12.516 | 1.001098 | -0.28379 | 23.10779 | 8.154712 |
| 9 | 54 | 0.993 | -0.39438 | 26.275 | 16.284 | 0.994354 | -0.283793 | 27.57599 | 15.99804 |
| 10 | 55 | 0.99282 | -0.4057 | 127.587 | 79.08 | 0.995334 | -0.28375 | 127.4777 | 74.80672 |
| 55 | 56 | 0.99277 | -0.40725 | 61.617 | 38.189 | 1.038098 | -0.28375 | 66.79703 | 34.23085 |
| 12 | 58 | 0.99261 | -0.4272 | 120.107 | 74.439 | 0.996976 | -0.28373 | 126.4056 | 69.60005 |
| 16 | 61 | 0.99058 | -0.6164 | 63.393 | 39.287 | 1.067054 | -0.27672 | 64.19563 | 31.04790 |
| 17 | 62 | 0.99052 | -0.6224 | 87.55 | 54.259 | 1.037552 | -0.27675 | 88.97779 | 51.97440 |
| 65 | 68 | 0.99008 | -0.65721 | 70.686 | 43.807 | 1.058024 | -0.27639 | 77.45030 | 40.10441 |
| 67 | 69 | 0.98988 | -0.6619 | 37.962 | 23.527 | 1.098468 | -0.27613 | 41.75130 | 20.19002 |
| 22 | 74 | 0.98925 | -0.77473 | 172.605 | 106.902 | 0.992132 | -0.29044 | 172.4662 | 101.3485 |
| 74 | 75 | 0.98923 | -0.7751 | 47.311 | 29.322 | 1.087012 | -0.2909650 | 50.46877 | 25.91199 |

## 4.5. Hasil dan analisa hasil perbaikan kualitas daya dengan UCPC

### 4.5.1. Hasil Perhitungan dan Simulasi sebelum kompensasi UCPC

Pada simulasi awal, Komponen UCPC tidak melakukan kompensasi sama sekali. DVR ini belum bekerja dan tidak memberikan tegangan injeksi ke beban. DSTATCOM tidak memberikan suplai VAR maupun Penyerapan VAR pada beberapa kondisi pengujian, maka akan dapat diketahui perbedaan kondisi sistem sebelum dan sesudah menggunakan peralatan UCPC:

**a. Sistem Sebelum Mengalami Gangguan**



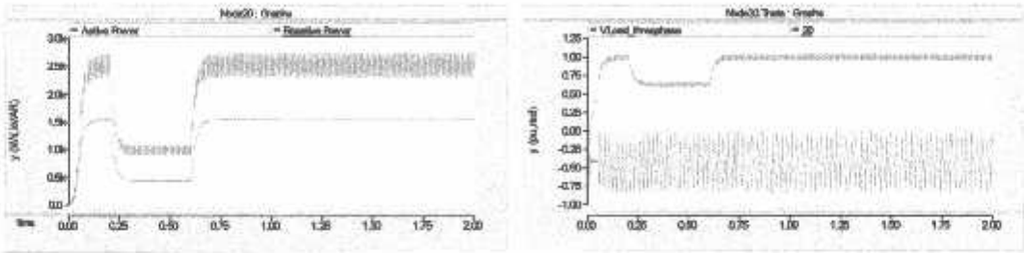
(a) (b)

(c) (d)

Grafik 4.1. (a) Bentuk Gelombang Tegangan *Input* (Vi), (b) Bentuk Gelombang Sudut Fasa Tegangan, (c dan d) Grafik Bar Frekuensi Harmonik Tegangan pada Sumber

**b. Sistem Setelah Mengalami Gangguan**

➢ **Terjadi Gangguan *Voltage Sag* Selama (200-600 ms) Tanpa Dilakukan Kompensasi D-STATCOM**



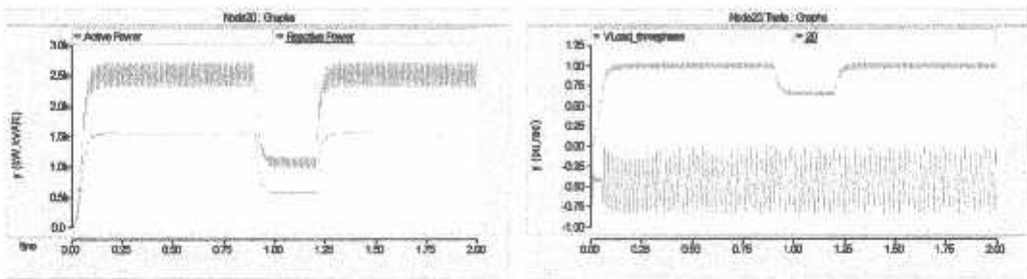
(a) (b)

Grafik 4.2. (a) Bentuk Gelombang Daya Aktif dan Reaktif, (b) Gelombang Tegangan dan Sudut Fasa, Saat Terjadi *Voltage Sag* Tanpa Dilakukan Kompensasi DSTATCOM

Tabel 4.9. Hasil Perhitungan Saat Terjadi *Voltage Sag* Tanpa Kompensasi DSTATCOM

| Dari Node | Ke Node | Tegangan (pu) | Sudut Fasa (rad) | P (Kw) | Q (kVAR) |
|---|---|---|---|---|---|
| 19 | 20 | 0.89010949 | -0.4344765 | 2137.012073 | 1274.583841 |
| 2 | 38 | 0.88065272 | -0.0284137 | 74.38981282 | 42.23461988 |
| 3 | 39 | 0.87331850 | -0.0426214 | 85.21699593 | 48.37535594 |
| 4 | 40 | 0.88340923 | -0.0036958 | 69.29241631 | 35.92647739 |
| 41 | 42 | 0.86591607 | -0.2710840 | 39.61302332 | 21.80556404 |
| 42 | 43 | 0.87490895 | -0.2710142 | 13.66154201 | 9.710072863 |
| 8 | 45 | 0.87858855 | -0.2838211 | 403.3015366 | 250.5060579 |
| 50 | 52 | 0.88298988 | -0.2837773 | 75.66504662 | 43.57347235 |
| 50 | 53 | 0.87137094 | -0.2838000 | 18.97844226 | 6.943700586 |
| 9 | 54 | 0.86549843 | -0.2837939 | 22.64798212 | 13.62228087 |
| 10 | 55 | 0.86633164 | -0.2837586 | 104.6894009 | 63.69440767 |
| 55 | 56 | 0.90355483 | -0.2837522 | 54.856583 | 29.14597487 |
| 12 | 58 | 0.86774354 | -0.2837399 | 103.7994168 | 59.2578873 |
| 16 | 61 | 0.98634994 | -0.2759886 | 56.11126002 | 26.4356723 |
| 17 | 62 | 0.95906696 | -0.2759191 | 77.7713688 | 44.25270104 |
| 65 | 68 | 0.97799862 | -0.2758506 | 67.69641473 | 34.14661831 |
| 67 | 69 | 1.01540900 | -0.2758626 | 36.49403771 | 17.19109699 |
| 22 | 74 | 0.91707842 | -0.2894016 | 150.7415118 | 86.28958712 |
| 74 | 75 | 1.00480445 | -0.2893325 | 44.11353065 | 22.06297208 |

➢ **Terjadi Gangguan *Voltage Swell* Selama (900-1200 ms) Tanpa Dilakukan Kompensasi D-STATCOM**



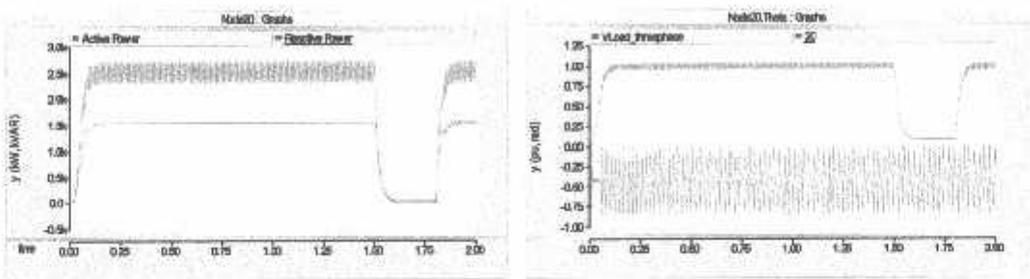
(a) (b)

Grafik 4.3. (a) Bentuk Gelombang Daya Aktif dan Reaktif, (b) Gelombang Tegangan dan Sudut Fasa, Saat Terjadi *Voltage Swells* Tanpa Dilakukan Kompensasi DSTATCOM

Tabel 4.10. Hasil Perhitungan Saat Terjadi *Voltage Swells* Tanpa Kompensasi DSTATCOM

| Dari Node | Ke Node | Tegangan (pu) | Sudut Fasa (rad) | P (Kw) | Q (kVAR) |
|---|---|---|---|---|---|
| 19 | 20 | 0.91170126 | -0.4362150 | 2226.512656 | 1349.493905 |
| 2 | 38 | 0.93503212 | -0.0284283 | 80.15422085 | 44.71482418 |
| 3 | 39 | 0.92724325 | -0.04262143 | 91.82068951 | 51.21726247 |
| 4 | 40 | 0.93796773 | -0.0036978 | 74.66326767 | 38.03714107 |
| 41 | 42 | 0.91937802 | -0.2714069 | 42.68231865 | 23.08654074 |
| 42 | 43 | 0.92892833 | -0.2713371 | 14.720217 | 10.28077347 |
| 8 | 45 | 0.93287342 | -0.2839675 | 434.5686059 | 265.228056 |
| 50 | 52 | 0.93754661 | -0.2839237 | 81.53130795 | 46.1340444 |
| 50 | 53 | 0.92517529 | -0.2839464 | 20.4491748 | 7.351744415 |
| 9 | 54 | 0.91894404 | -0.2839403 | 24.4031321 | 14.42267476 |
| 10 | 55 | 0.91984673 | -0.2839050 | 112.8044508 | 67.43670512 |
| 55 | 56 | 0.95936564 | -0.2838987 | 59.10871642 | 30.85857933 |
| 12 | 58 | 0.92137216 | -0.2838864 | 111.8485187 | 62.74116666 |
| 16 | 61 | 1.01029212 | -0.2765447 | 58.46318886 | 27.98937914 |
| 17 | 62 | 0.98234047 | -0.2763320 | 81.02986094 | 46.85381744 |
| 65 | 68 | 1.00173891 | -0.2764115 | 70.53353888 | 36.15358228 |
| 67 | 69 | 1.04006668 | -0.2761087 | 38.02451808 | 18.20138499 |
| 22 | 74 | 0.93932552 | -0.2901664 | 157.0548344 | 91.36230033 |
| 74 | 75 | 1.02920361 | -0.2904619 | 45.96317458 | 23.35964369 |

➢ **Terjadi Hubung Singkat Tiga Fasa Simetris Selama (900-1200 ms) Tanpa Dilakukan Kompensasi DVR**



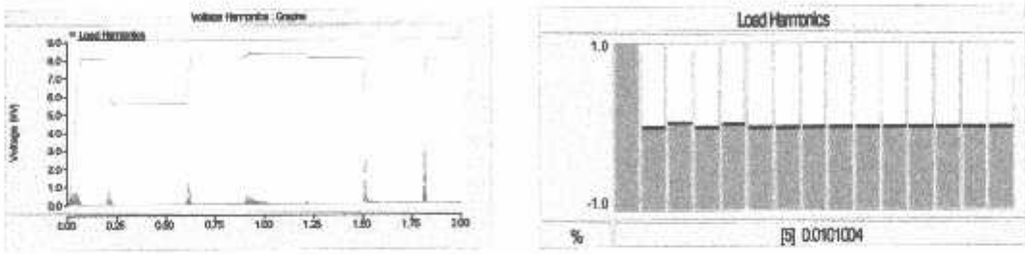
(a) (b)

Grafik 4.4. (a) Bentuk Gelombang Daya Aktif dan Reaktif, (b) Gelombang Tegangan dan Sudut Fasa, Saat Terjadi *3Phase Symmetrical Fault* Tanpa Dilakukan Kompensasi DVR

Tabel 4.11. Hasil Perhitungan Saat Terjadi *3Phase Symmetrical Fault* Tanpa Kompensasi DVR

| Dari Node | Ke Node | Tegangan (pu) | Sudut Fasa (rad) | P (Kw) | Q (kVAR) |
|---|---|---|---|---|---|
| 19 | 20 | 0.82722912 | -0.4354738 | 2065.96459 | 1267.375818 |
| 2 | 38 | 0.85782725 | -0.0284171 | 76.42977031 | 42.03137401 |
| 3 | 39 | 0.85065496 | -0.04262143 | 87.54974318 | 48.09378891 |
| 4 | 40 | 0.86047725 | -0.0036960 | 71.1879217 | 35.71648902 |
| 41 | 42 | 0.8435171 | -0.2712169 | 40.70419884 | 21.70371439 |
| 42 | 43 | 0.85228867 | -0.2711842 | 14.03889657 | 9.654898021 |
| 8 | 45 | 0.85572261 | -0.2837591 | 414.255111 | 249.0058069 |
| 50 | 52 | 0.8600135 | -0.2837521 | 77.71881949 | 43.34974425 |
| 50 | 53 | 0.84883848 | -0.2837703 | 19.50216392 | 6.904598669 |
| 9 | 54 | 0.84310549 | -0.2838265 | 23.27196082 | 13.55859889 |
| 10 | 55 | 0.84382526 | -0.2837610 | 107.5466635 | 63.31903542 |
| 55 | 56 | 0.88009613 | -0.2837289 | 56.35519817 | 29.00207935 |
| 12 | 58 | 0.84510585 | -0.2838839 | 106.6018898 | 58.89386755 |
| 16 | 61 | 0.91667777 | -0.2763306 | 54.24942294 | 26.28893709 |
| 17 | 62 | 0.89131335 | -0.2766303 | 75.18777774 | 44.00476335 |
| 65 | 68 | 0.90891459 | -0.2764444 | 65.44935227 | 33.9566409 |
| 67 | 69 | 0.94368734 | -0.2759906 | 35.28456844 | 17.09664206 |
| 22 | 74 | 0.85226925 | -0.2900852 | 145.7249815 | 85.79846581 |
| 74 | 75 | 0.93383804 | -0.2903723 | 42.65089288 | 21.94152583 |

➢ **Frekuensi Harmonik Saat Terjadi *Voltage Sag, Swell* dan *Three Phase Symetrical Fault* Tanpa kompensasi UCPC**




(a) (b)

Grafik 4.5. Total Harmonik Pada Beban Tanpa Kompensasi UCPC

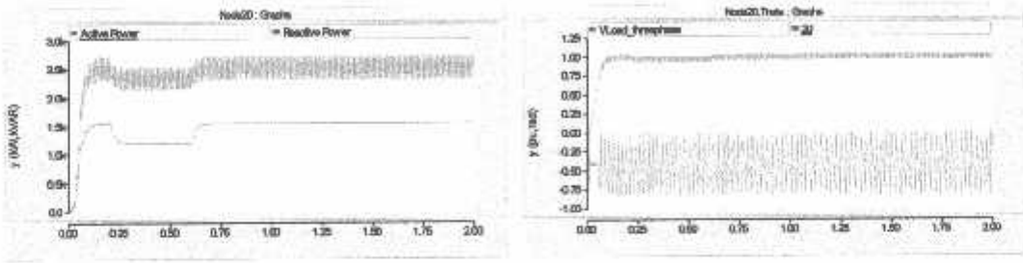
Tabel 4.12. Magnitud Harmonik Tegangan Pada Tiap Orde Tanpa Kompensasi

| No. | Orde Harmonik (h) | Magnitud Harmonik Tegangan (pu) |
|---|---|---|
| 1 | 1 | 6.253107243 |
| 2 | 2 | 0.06287626 |
| 3 | 3 | 0.034249341 |
| 4 | 4 | 0.025684297 |
| 5 | 5 | 0.022984266 |
| 6 | 6 | 0.034751324 |
| 7 | 7 | 0.022265942 |
| 8 | 8 | 0.014856333 |
| 9 | 9 | 0.012493234 |
| 10 | 10 | 0.010956177 |
| 11 | 11 | 0.010172862 |
| 12 | 12 | 0.010002745 |
| 13 | 13 | 0.010657135 |
| 14 | 14 | 0.012534252 |
| 15 | 15 | 0.016216981 |

Pada tiga kondisi gangguan di atas tampak bahwa tegangan, arus dan daya megalami penurunan. Pada keadaan *voltage sag* dalam selang waktu (0.2 – 0.6) s Terjadi fluktuasi tegangan, sedangkan pada saat yang sama arus dan daya mengalami penurunan. Pada keadaan sistem mengalami *voltage swell* tegangan cenderung tidak mengalami perubahan. Sedangkan pada saat terjadi gangguan tiga fasa simetris fluktuasi tegangan hampir mendekati nol.

### 4.5.2. Hasil Perhitungan dan Simulasi Setelah kompensasi

➢ **Kompensasi dengan D-STATCOM Saat Terjadi Gangguan *Voltage Sag* Selama (200-600 ms)**



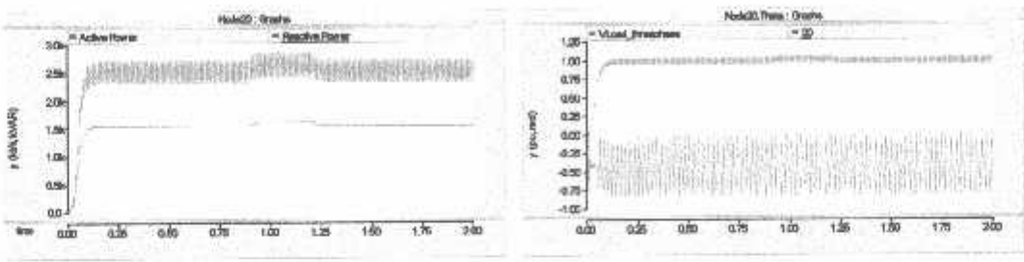
(a) (b)

Grafik 4.6. (a) Bentuk Gelombang Daya Aktif dan Reaktif, (b) Gelombang Tegangan dan Sudut Fasa, Saat Terjadi *Voltage Sag* Dengan Dilakukan Kompensasi DSTATCOM

Tabel 4.13. Hasil Perhitungan Saat Terjadi *Voltage Sag* Dengan Kompensasi DSTATCOM

| Dari Node | Ke Node | Tegangan (pu) | Sudut Fasa (rad) | P (Kw) | Q (kVAR) |
|---|---|---|---|---|---|
| 19 | 20 | 0.95741896 | -0.4351350 | 2408.183067 | 1426.961707 |
| 2 | 38 | 0.94710690 | -0.0284125 | 80.76282392 | 47.28019209 |
| 3 | 39 | 0.93922852 | -0.04262143 | 92.51820421 | 54.15494644 |
| 4 | 40 | 0.95008964 | -0.0036956 | 75.230712 | 40.21941082 |
| 41 | 42 | 0.93125397 | -0.2710837 | 43.00603831 | 24.41003291 |
| 42 | 43 | 0.94093606 | -0.2710156 | 14.83181797 | 10.86996635 |
| 8 | 45 | 0.9449143 | -0.2838092 | 437.8786253 | 280.4482454 |
| 50 | 52 | 0.94965279 | -0.2837655 | 82.15241878 | 48.78175708 |
| 50 | 53 | 0.93712703 | -0.2837882 | 20.60425365 | 7.77321887 |
| 9 | 54 | 0.93081673 | -0.2837821 | 24.5882509 | 15.24962944 |
| 10 | 55 | 0.9317235 | -0.2837467 | 113.6623804 | 71.30625393 |
| 55 | 56 | 0.97175023 | -0.2837405 | 59.55813914 | 32.62912361 |
| 12 | 58 | 0.9332621 | -0.2837280 | 112.7018959 | 66.34225187 |
| 16 | 61 | 1.06093089 | -0.2759764 | 63.2312914 | 29.59599754 |
| 17 | 62 | 1.03159925 | -0.2761411 | 87.64085447 | 49.54370079 |
| 65 | 68 | 1.05195643 | -0.2758985 | 76.28675786 | 38.2289582 |
| 67 | 69 | 1.09216020 | -0.2761415 | 41.12429023 | 19.24596153 |
| 22 | 74 | 0.98642961 | -0.2896298 | 169.8739332 | 96.60816701 |
| 74 | 75 | 1.08077995 | -0.2897411 | 49.71076442 | 24.70034122 |

➢ **Kompensasi dengan D-STATCOM Saat Terjadi Gangguan *Voltage Swell* Selama (900-1200 ms)**



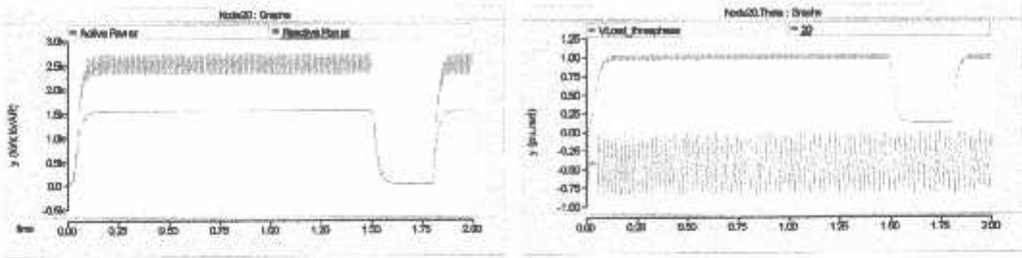
(a) (b)

Grafik 4.7. (a) Bentuk Gelombang Daya Aktif dan Reaktif, (b) Gelombang Tegangan dan Sudut Fasa, Saat Terjadi *Voltage Swells* Dengan Dilakukan Kompensasi DSTATCOM

Tabel 4.14. Hasil Perhitungan Saat Terjadi *Voltage Swells* Dengan Kompensasi DSTATCOM

| Dari Node | Ke Node | Tegangan (pu) | Sudut Fasa (rad) | P (Kw) | Q (kVAR) |
|---|---|---|---|---|---|
| 19 | 20 | 0.96631680 | -0.4362940 | 2462.261607 | 1508.14015 |
| 2 | 38 | 1.01585683 | -0.0284135 | 91.33568995 | 49.97135759 |
| 3 | 39 | 1.00739411 | -0.04262143 | 104.6295794 | 57.23759331 |
| 4 | 40 | 1.01906167 | -0.0036958 | 85.08063199 | 42.50923783 |
| 41 | 42 | 0.99885114 | -0.2711354 | 48.63644404 | 25.79928514 |
| 42 | 43 | 1.00924768 | -0.2710672 | 16.77400146 | 11.48871198 |
| 8 | 45 | 1.01351598 | -0.2838207 | 495.2033484 | 296.4142881 |
| 50 | 52 | 1.01859297 | -0.2837770 | 92.90727363 | 51.5590169 |
| 50 | 53 | 1.00516753 | -0.2837997 | 23.30231743 | 8.215686322 |
| 9 | 54 | 0.99839289 | -0.2837935 | 27.80795841 | 16.11767446 |
| 10 | 55 | 0.99936773 | -0.2837582 | 128.5435528 | 75.3656648 |
| 55 | 56 | 1.04230541 | -0.2837519 | 67.3558784 | 34.48648211 |
| 12 | 58 | 1.00101875 | -0.2837396 | 127.4555579 | 70.11971712 |
| 16 | 61 | 1.07080037 | -0.2762844 | 64.65646886 | 31.27988794 |
| 17 | 62 | 1.04118898 | -0.2765640 | 89.61198611 | 52.36254902 |
| 65 | 68 | 1.0617371 | -0.2765838 | 78.00498003 | 40.40405614 |
| 67 | 69 | 1.10233958 | -0.2765295 | 42.05369405 | 20.34101322 |
| 22 | 74 | 0.99560541 | -0.2901987 | 173.6856991 | 102.1050613 |
| 74 | 75 | 1.09083804 | -0.2903856 | 50.83310223 | 26.10565891 |

➢ **Kompensasi dengan DVR saat terjadi *Three Phase Symmetrical Fault* selama (1500-1800 ms)**



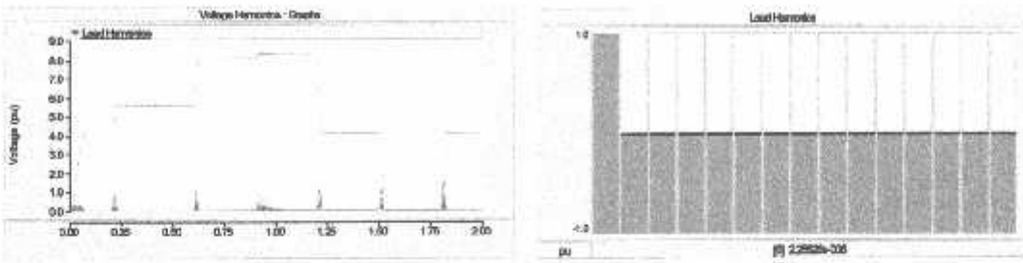
(a) (b)

Grafik 4.8. (a) Bentuk Gelombang Daya Aktif dan Reaktif, (b) Gelombang Tegangan dan Sudut Fasa, Saat Terjadi *3Phase Symmetrical Fault* Dengan Dilakukan Kompensasi DVR

Tabel 4.15. Hasil Perhitungan Saat Terjadi *3Phase Symmetrical Fault* Dengan Kompensasi DVR

| Dari Node | Ke Node | Tegangan (pu) | Sudut Fasa (rad) | P (Kw) | Q (kVAR) |
|---|---|---|---|---|---|
| 19 | 20 | 0.83081471 | -0.4355668 | 2067.225902 | 1266.66577 |
| 2 | 38 | 0.85723527 | -0.0283983 | 76.51510519 | 44.98993616 |
| 3 | 39 | 0.85022724 | -0.04262143 | 87.63048281 | 44.45390483 |
| 4 | 40 | 0.8599937 | -0.0036917 | 71.27757519 | 38.22269214 |
| 41 | 42 | 0.84280221 | -0.2711583 | 40.73487177 | 22.72326945 |
| 42 | 43 | 0.85136394 | -0.2710063 | 14.04638478 | 10.31484037 |
| 8 | 45 | 0.85596075 | -0.2838732 | 415.0324562 | 244.3124546 |
| 50 | 52 | 0.86028361 | -0.2839685 | 77.86971167 | 42.50145437 |
| 50 | 53 | 0.84804407 | -0.2837241 | 19.51471106 | 7.22759606 |
| 9 | 54 | 0.84239439 | -0.2836133 | 23.28959459 | 14.19390375 |
| 10 | 55 | 0.84340702 | -0.2836891 | 107.6950411 | 65.36996158 |
| 55 | 56 | 0.8796635 | -0.2837744 | 56.4301375 | 30.77601065 |
| 12 | 58 | 0.84574611 | -0.2838305 | 106.8644155 | 57.84004763 |
| 16 | 61 | 0.92063079 | -0.2763594 | 54.28271137 | 26.26626675 |
| 17 | 62 | 0.89516799 | -0.2768511 | 75.23377001 | 43.97386692 |
| 65 | 68 | 0.91283929 | -0.2764358 | 65.48958706 | 33.92882155 |
| 67 | 69 | 0.94774752 | -0.2760661 | 35.30636044 | 17.07912858 |
| 22 | 74 | 0.8559759 | -0.2901270 | 145.8138448 | 85.76028298 |
| 74 | 75 | 0.93785869 | -0.2905642 | 42.6772522 | 21.9200561 |

➢ **Frekuensi Harmonik Saat Terjadi *Voltage Sag, Swells* dan *Three Phase Symetrical Fault* dengan kompensasi UCPC**



(a) (b)

Grafik 4.9. Total Harmonik Pada Beban Dengan Kompensasi UCPC

Tabel 4.16. Magnitud Harmonik Tegangan Pada Tiap Orde dengan Kompensasi UCPC

| No. | Orde Harmonik | Magnitud Harmonik Tegagan (pu) |
|---|---|---|
| 1 | 1 | 4.511075878 |
| 2 | 2 | 0.070943136 |
| 3 | 3 | 0.037267571 |
| 4 | 4 | 0.027161697 |
| 5 | 5 | 0.021505973 |
| 6 | 6 | 0.019278748 |
| 7 | 7 | 0.024397732 |
| 8 | 8 | 0.014470246 |
| 9 | 9 | 0.012340886 |
| 10 | 10 | 0.011025129 |
| 11 | 11 | 0.010318244 |
| 12 | 12 | 0.010096706 |
| 13 | 13 | 0.010673734 |
| 14 | 14 | 0.012521019 |
| 15 | 15 | 0.016180202 |

Keadaan sistem jauh lebih stabil dengan menggunakan kompensasi UCPC dibandingkan tanpa menggunakan UCPC. Hal ini dapat diamati pada simulasi sistem dengan kondisi gangguan *voltage sag, voltage swell dan three phase symmetrical fault*. Perbedaan ini dapat di amati pada Grafik 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 dengan grafik 4.6, 4.7, 4.8 dan dapat diamati juga perbandigan hasil perhitungan pada tabel 4.9, 4.10, 4.11 dengan tabel 4.13, 4.14, 4.14

### 4.5.3. Perbandingan Hasil Perhitungan dan Simulasi Sebelum Kompensasi Dan Sesudah Kompensasi.

#### 4.5.3.1. Perbandingan Tegangan dan Sudut Fasa Beban Dengan dan Tanpa UCPC

Untuk mengetahui unjuk kerja UCPC maka salah satu cara yang dilakukan adalah mencari perbedaan nilai tegangan dan sudut fasa beban setiap *node* dengan simulasi mencakup kondisi mengalami gangguan dan tanpa gangguan. Perbandingan tersebut dapat dilihat pada tabel-tabel di bawah ini.

Tabel 4.17.
Perbandingan Tegangan dan Sudut Fasa Beban saat gangguan *Voltage Sag* dengan kompensasi dan tanpa kompensasi

| No. | Node | Tanpa DSTATCOM | | Dengan DSTATCOM | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Tegangan (pu) | Sudut Fasa (rad) | Tegangan (pu) | Sudut Fasa (rad) |
| 1 | 20 | 0.89010949 | -0.4344765 | 0.95741896 | -0.4351350 |
| 2 | 38 | 0.88065272 | -0.0284137 | 0.94710690 | -0.0284125 |
| 3 | 39 | 0.87331850 | -0.04262143 | 0.93922852 | -0.04262143 |
| 4 | 40 | 0.88340923 | -0.0036958 | 0.95008964 | -0.0036956 |
| 5 | 42 | 0.86591607 | -0.2710840 | 0.93125397 | -0.2710837 |
| 6 | 43 | 0.87490895 | -0.2710142 | 0.94093606 | -0.2710156 |
| 7 | 45 | 0.87858855 | -0.2838211 | 0.9449143 | -0.2838092 |
| 8 | 52 | 0.88298988 | -0.2837773 | 0.94965279 | -0.2837655 |
| 9 | 53 | 0.87137094 | -0.2838000 | 0.93712703 | -0.2837882 |
| 10 | 54 | 0.86549843 | -0.2837939 | 0.93081673 | -0.2837821 |
| 11 | 55 | 0.86633164 | -0.2837586 | 0.9317235 | -0.2837467 |
| 12 | 56 | 0.90355483 | -0.2837522 | 0.97175023 | -0.2837405 |
| 13 | 58 | 0.86774354 | -0.2837399 | 0.9332621 | -0.2837280 |
| 14 | 61 | 0.98634994 | -0.2759886 | 1.06093089 | -0.2759764 |
| 15 | 62 | 0.95906696 | -0.2759191 | 1.03159925 | -0.2761411 |
| 16 | 68 | 0.97799862 | -0.2758506 | 1.05195643 | -0.2758985 |
| 17 | 69 | 1.01540900 | -0.2758626 | 1.09216020 | -0.2761415 |
| 18 | 74 | 0.91707842 | -0.2894016 | 0.98642961 | -0.2896298 |
| 19 | 75 | 1.00480445 | -0.2893325 | 1.08077995 | -0.2897411 |

Tabel 4.18.
Perbandingan Tegangan dan Sudut Fasa Beban saat gangguan *Voltage Swell* dengan kompensasi dan tanpa kompensasi

| No. | Node | Tanpa DSTATCOM | | Dengan DSTATCOM | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Tegangan (pu) | Sudut Fasa (rad) | Tegangan (pu) | Sudut Fasa (rad) |
| 1 | 20 | 0.91170126 | -0.4362150 | 0.96631680 | -0.4362940 |
| 2 | 38 | 0.93503212 | -0.0284283 | 1.01585683 | -0.0284135 |
| 3 | 39 | 0.92724325 | -0.04262143 | 1.00739411 | -0.04262143 |
| 4 | 40 | 0.93796773 | -0.0036978 | 1.01906167 | -0.0036958 |
| 5 | 42 | 0.91937802 | -0.2714069 | 0.99885114 | -0.2711354 |
| 6 | 43 | 0.92892833 | -0.2713371 | 1.00924768 | -0.2710672 |
| 7 | 45 | 0.93287342 | -0.2839675 | 1.01351598 | -0.2838207 |
| 8 | 52 | 0.93754661 | -0.2839237 | 1.01859297 | -0.2837770 |
| 9 | 53 | 0.92517529 | -0.2839464 | 1.00516753 | -0.2837997 |
| 10 | 54 | 0.91894404 | -0.2839403 | 0.99839289 | -0.2837935 |
| 11 | 55 | 0.91984673 | -0.2839050 | 0.99936773 | -0.2837582 |
| 12 | 56 | 0.95936564 | -0.2838987 | 1.04230541 | -0.2837519 |
| 13 | 58 | 0.92137216 | -0.2838864 | 1.00101875 | -0.2837396 |
| 14 | 61 | 1.01029212 | -0.2765447 | 1.07080037 | -0.2762844 |
| 15 | 62 | 0.98234047 | -0.2763320 | 1.04118898 | -0.2765640 |
| 16 | 68 | 1.00173891 | -0.2764115 | 1.0617371 | -0.2765838 |
| 17 | 69 | 1.04006668 | -0.2761087 | 1.10233958 | -0.2765295 |
| 18 | 74 | 0.93932552 | -0.2901664 | 0.99560541 | -0.2901987 |
| 19 | 75 | 1.02920361 | -0.2904619 | 1.09083804 | -0.2903856 |

Tabel 4.19.
Perbandingan Tegangan dan Sudut Fasa Beban saat *Three Phase Symmetrical Fault* dengan kompensasi dan tanpa kompensasi

| No. | Node | Tanpa DVR | | Dengan DVR | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Tegangan (pu) | Sudut Fasa (rad) | Tegangan (pu) | Sudut Fasa (rad) |
| 1 | 20 | 0.82722912 | -0.4354738 | 0.83081471 | -0.4355668 |
| 2 | 38 | 0.85782725 | -0.0284171 | 0.85723527 | -0.0283983 |
| 3 | 39 | 0.85065496 | -0.04262143 | 0.85022724 | -0.04262143 |
| 4 | 40 | 0.86047725 | -0.0036960 | 0.8599937 | -0.0036917 |
| 5 | 42 | 0.8435171 | -0.2712169 | 0.84280221 | -0.2711583 |
| 6 | 43 | 0.85228867 | -0.2711842 | 0.85136394 | -0.2710063 |
| 7 | 45 | 0.85572261 | -0.2837591 | 0.85596075 | -0.2838732 |
| 8 | 52 | 0.8600135 | -0.2837521 | 0.86028361 | -0.2839685 |
| 9 | 53 | 0.84883848 | -0.2837703 | 0.84804407 | -0.2837241 |
| 10 | 54 | 0.84310549 | -0.2838265 | 0.84239439 | -0.2836133 |
| 11 | 55 | 0.84382526 | -0.2837610 | 0.84340702 | -0.2836891 |
| 12 | 56 | 0.88009613 | -0.2837289 | 0.8796635 | -0.2837744 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 13 | 58 | 0.84510585 | -0.2838839 | 0.84574611 | -0.2838305 |
| 14 | 61 | 0.91667777 | -0.2763306 | 0.92063079 | -0.2763594 |
| 15 | 62 | 0.89131335 | -0.2766303 | 0.89516799 | -0.2768511 |
| 16 | 68 | 0.90891459 | -0.2764444 | 0.91283929 | -0.2764358 |
| 17 | 69 | 0.94368734 | -0.2759906 | 0.94774752 | -0.2760661 |
| 18 | 74 | 0.85226925 | -0.2900852 | 0.8559759 | -0.2901270 |
| 19 | 75 | 0.93383804 | -0.2903723 | 0.93785869 | -0.2905642 |

### 4.5.3.2. Perbandingan Daya Aktif dan Daya Reaktif Beban Dengan dan Tanpa UCPC

Tabel 4.20.
Perbandingan Daya Aktif dan Daya Reaktif Beban saat gangguan *Voltage Sag* dengan kompensasi dan tanpa kompensasi

| No. | Node | Tanpa DSTATCOM | | Dengan DSTATCOM | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | P (Kw) | Q (kVAR) | P (Kw) | Q (kVAR) |
| 1 | 20 | 2137.012073 | 1274.583841 | 2408.183067 | 1426.961707 |
| 2 | 38 | 74.38981282 | 42.23461988 | 80.76282392 | 47.28019209 |
| 3 | 39 | 85.21699593 | 48.37535594 | 92.51820421 | 54.15494644 |
| 4 | 40 | 69.29241631 | 35.92647739 | 75.230712 | 40.21941082 |
| 5 | 42 | 39.61302332 | 21.80556404 | 43.00603831 | 24.41003291 |
| 6 | 43 | 13.66154201 | 9.710072863 | 14.83181797 | 10.86996635 |
| 7 | 45 | 403.3015366 | 250.5060579 | 437.8786253 | 280.4482454 |
| 8 | 52 | 75.66504662 | 43.57347235 | 82.15241878 | 48.78175708 |
| 9 | 53 | 18.97844226 | 6.943700586 | 20.60425365 | 7.77321887 |
| 10 | 54 | 22.64798212 | 13.62228087 | 24.5882509 | 15.24962944 |
| 11 | 55 | 104.6894009 | 63.69440767 | 113.6623804 | 71.30625393 |
| 12 | 56 | 54.856583 | 29.14597487 | 59.55813914 | 32.62912361 |
| 13 | 58 | 103.7994168 | 59.2578873 | 112.7018959 | 66.34225187 |
| 14 | 61 | 56.11126002 | 26.4356723 | 63.2312914 | 29.59599754 |
| 15 | 62 | 77.7713688 | 44.25270104 | 87.64085447 | 49.54370079 |
| 16 | 68 | 67.69641473 | 34.14661831 | 76.28675786 | 38.2289582 |
| 17 | 69 | 36.49403771 | 17.19109699 | 41.12429023 | 19.24596153 |
| 18 | 74 | 150.7415118 | 86.28958712 | 169.8739332 | 96.60816701 |
| 19 | 75 | 44.11353065 | 22.06297208 | 49.71076442 | 24.70034122 |

Tabel 4.21.
Perbandingan Daya Aktif dan Daya Reaktif Beban saat gangguan *Voltage Swells* dengan kompensasi dan tanpa kompensasi

| No. | Node | Tanpa DSTATCOM | | Dengan DSTATCOM | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | P (Kw) | Q (kVAR) | P (Kw) | Q (kVAR) |
| 1 | 20 | 2226.512656 | 1349.493905 | 2462.261607 | 1508.14015 |
| 2 | 38 | 80.15422085 | 44.71482418 | 91.33568995 | 49.97135759 |
| 3 | 39 | 91.82068951 | 51.21726247 | 104.6295794 | 57.23759331 |
| 4 | 40 | 74.66326767 | 38.03714107 | 85.08063199 | 42.50923783 |
| 5 | 42 | 42.68231865 | 23.08654074 | 48.63644404 | 25.79928514 |
| 6 | 43 | 14.720217 | 10.28077347 | 16.77400146 | 11.48871198 |
| 7 | 45 | 434.5686059 | 265.228056 | 495.2033484 | 296.4142881 |
| 8 | 52 | 81.53130795 | 46.1340444 | 92.90727363 | 51.5590169 |
| 9 | 53 | 20.4491748 | 7.351744415 | 23.30231743 | 8.215686322 |
| 10 | 54 | 24.4031321 | 14.42267476 | 27.80795841 | 16.11767446 |
| 11 | 55 | 112.8044508 | 67.43670512 | 128.5435528 | 75.3656648 |
| 12 | 56 | 59.10871642 | 30.85857933 | 67.3558784 | 34.48648211 |
| 13 | 58 | 111.8485187 | 62.74116666 | 127.4555579 | 70.11971712 |
| 14 | 61 | 58.46318886 | 27.98937914 | 64.65646886 | 31.27988794 |
| 15 | 62 | 81.02986094 | 46.85381744 | 89.61198611 | 52.36254902 |
| 16 | 68 | 70.53353888 | 36.15358228 | 78.00498003 | 40.40405614 |
| 17 | 69 | 38.02451808 | 18.20138499 | 42.05369405 | 20.34101322 |
| 18 | 74 | 157.0548344 | 91.36230033 | 173.6856991 | 102.1050613 |
| 19 | 75 | 45.96317458 | 23.35964369 | 50.83310223 | 26.10565891 |

Tabel 4.22.
Perbandingan Daya Aktif dan Daya Reaktif Beban saat gangguan *Three Phase Symmetrical Fault* dengan kompensasi dan tanpa kompensasi

| No. | Node | Tanpa DVR | | Dengan DVR | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | P (Kw) | Q (kVAR) | P (Kw) | Q (kVAR) |
| 1 | 20 | 2065.96459 | 1267.375818 | 2067.225902 | 1266.66577 |
| 2 | 38 | 76.42977031 | 42.03137401 | 76.51510519 | 44.98993616 |
| 3 | 39 | 87.54974318 | 48.09378891 | 87.63048281 | 44.45390483 |
| 4 | 40 | 71.1879217 | 35.71648902 | 71.27757519 | 38.22269214 |
| 5 | 42 | 40.70419884 | 21.70371439 | 40.73487177 | 22.72326945 |
| 6 | 43 | 14.03889657 | 9.654898021 | 14.04638478 | 10.31484037 |
| 7 | 45 | 414.255111 | 249.0058069 | 415.0324562 | 244.3124546 |
| 8 | 52 | 77.71881949 | 43.34974425 | 77.86971167 | 42.50145437 |
| 9 | 53 | 19.50216392 | 6.904598669 | 19.51471106 | 7.22759606 |
| 10 | 54 | 23.27196082 | 13.55859889 | 23.28959459 | 14.19390375 |
| 11 | 55 | 107.5466635 | 63.31903542 | 107.6950411 | 65.36996158 |
| 12 | 56 | 56.35519817 | 29.00207935 | 56.4301375 | 30.77601065 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 13 | 58 | 106.6018898 | 58.89386755 | 106.8644155 | 57.84004763 |
| 14 | 61 | 54.24942294 | 26.28893709 | 54.28271137 | 26.26626675 |
| 15 | 62 | 75.18777774 | 44.00476335 | 75.23377001 | 43.97386692 |
| 16 | 68 | 65.44935227 | 33.9566409 | 65.48958706 | 33.92882155 |
| 17 | 69 | 35.28456844 | 17.09664206 | 35.30636044 | 17.07912858 |
| 18 | 74 | 145.7249815 | 85.79846581 | 145.8138448 | 85.76028298 |
| 19 | 75 | 42.65089288 | 21.94152583 | 42.6772522 | 21.9200561 |

Berdasarkan tabel diatas bahwa penyaluran daya lebih optimal dengan menggunakan kompensasi UCPC daripada tanpa menggunakan UCPC. Terlihat bahwa total penyaluran daya pada saat terjadi voltage sag mengalami perbaikan pada saat menggunakan kompensasi UCPC:

**Voltage SAG**

- **Optimasi Perbaikan Kualitas Tegangan Pada Kondisi *Voltage Sag*:**

$$V_{optimasi} = VwithUCPC - VwithoutUCPC$$
$$= 0.957419(\text{pu}) - 0.8901095(\text{pu})$$
$$= 0.067309\,pu$$

Perhitungan di atas adalah pada node 20, pada node yang lain juga terjadi perbaikan kualitas tegangan. Perbandingan dapat dilihat pada tabel 4.17

- **Optimasi Penyaluran Daya Aktif dan Reaktif Pada Kondisi *Voltage Sag*:**

$$P_{optimasi} = \sum PwithUCPC - \sum PwithoutUCPC$$
$$= 5765.8108 - 3636.052395$$
$$= 2129.75836\,\text{kW}$$

**Voltage SWELLS**

- **Optimasi Perbaikan Kualitas Tegangan Pada Kondisi *Voltage Swells*:**

$$V_{optimasi} = VwithUCPC - VwithoutUCPC$$
$$= 0.9663168(\text{pu}) - 0.9117013(\text{pu})$$
$$= 0.054616\,pu$$

Pada node yang lain juga terjadi perbaikan kualitas tegangan. Perbandingan dapat dilihat pada tabel 4.18

- **Optimasi penyaluran daya aktif dan reaktif Pada Kondisi *Voltage Swells*:**

$$P_{optimasi} = \sum PwithUCPC - \sum PwithoutUCPC$$
$$= 4270.14 - 3826.336$$
$$= 443.8034\,\text{kW}$$

***Three Phase Symmetrical Fault***

- **Optimasi Perbaikan Kualitas Tegangan Pada Kondisi *Three Phase Symmetrical Fault*:**

$$V_{optimasi} = VwithUCPC - VwithoutUCPC$$
$$= 0.8308147\,(\text{pu}) - 0.8272291\,(\text{pu})$$
$$= 0.003586\,pu$$

Pada node yang lain juga terjadi perbaikan kualitas tegangan. Perbandingan dapat dilihat pada tabel 4.19

- **Optimasi Penyaluran Daya Aktif dan Reaktif Pada Kondisi *Three Phase Symmetrical Fault*:**

$$Poptimasi = \sum PwithUCPC - \sum PwithoutUCPC$$
$$= 3582.93 - 3579.674$$
$$= 3.255992\,\text{kW}$$

### 4.5.3.3. Perbandingan Jumlah Distorsi Harmonik Dengan dan Tanpa Menggunakan UCPC.

Tabel 4.23.
Perbandingan Harmonik Tegangan dan Sudut Fasa saat Gangguan *Voltage Sag* dengan Kompensasi dan tanpa Kompensasi

| Orde Harmonik | Amplitud Harmonik Tegangan Pada Beban (pu) | | Sudut Fasa (rad) | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Tanpa UCPC | Dengan UCPC | Fasa A | Fasa B | Fasa C |
| 1 | 6.253107243 | 4.511075878 | -0.1030746 | 0.07682246 | 0.07504117 |
| 3 | 0.034249341 | 0.037267571 | 0.03260424 | -0.0457262 | -0.0442858 |
| 5 | 0.022984266 | 0.021505973 | 0.04860922 | -0.0119556 | -0.0111759 |
| 7 | 0.022265942 | 0.024397732 | -0.0843453 | 0.02394818 | 0.02387932 |
| 9 | 0.012493234 | 0.012340886 | 0.00169605 | -0.0376229 | -0.0308149 |
| 11 | 0.010172862 | 0.010318244 | 0.02599935 | -0.0301339 | -0.0300122 |
| 13 | 0.010657135 | 0.010673734 | -0.0034064 | 0.0119945 | 0.01191075 |
| 15 | 0.016216981 | 0.016180202 | 0.02296827 | 0.02296827 | -0.0741767 |
| THD Tegangan (%) | 79.77683756 | 58.04700276 | | | |

Dari tabel-tabel perbandingan kualitas tegangan dan sudut fasa tanpa dan dengan kompensasi di atas, tampak bahwa tejadi perbedaan sudut fasa walaupun sangat kecil sekali. Sehingga berpengaruh juga pada amplitud harmonik tegangan tetapi terjadi perbedaan yang tidak signifikan. Hal ini terjadi karena beban pada sistem distribusi penyulang dinoyo termasuk dalam katagori beban yang tidak terlalu sensitif.

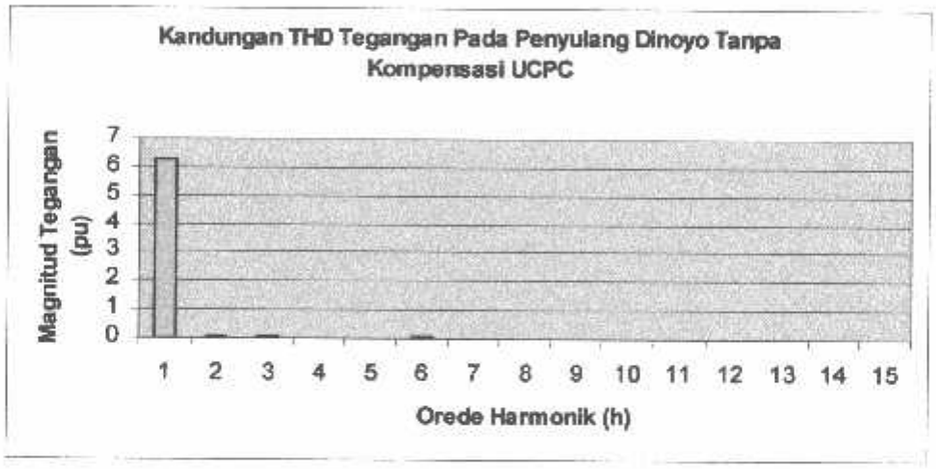
Oleh sebab itu dari hasil pengujian penggunaan UCPC pada penyulang dinoyo mampu direduksi distorsi harmonik sebesar 21.72983479 %.

% Reduksi = % Tanpa Kompensasi - % Dengan Kompensasi
= 79.77683756 - 58.04700276
= 21.72983479 %

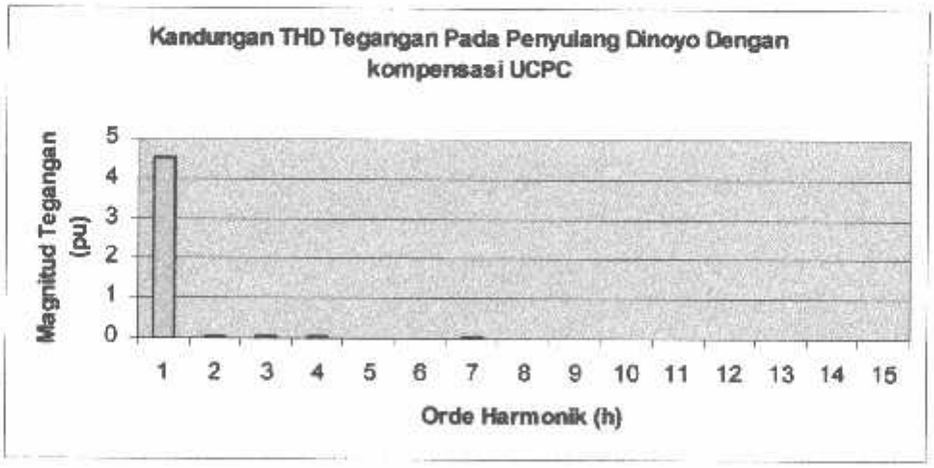
atau sama dengan:

$$\% \text{ Reduksi} = \frac{21.72983479\ \%}{100} x\, 20$$
$$= 4.346\ kV$$

Jika pemasangan UCPC ini dilakukan pada beban-beban yang sangat sensitif seperti beban-beban industri yang menggunakan peralatan inverter dan motor-motor listrik dimana sistem ini berpeluang besar sekali menimbulkan distorsi harmonik maka akan memberikan kontribusi yang lebih baik terhadap sistem.




Grafik 4.10. Kandungan Harmonisa Sistim Distribusi 20 kV Penyulang Dinoyo Tanpa Menggunakan Kompensasi UCPC




Grafik 4.11. Kandungan Harmonisa Sistim Distribusi 20 kV Penyulang Dinoyo Dengan Menggunakan Kompensasi UCPC

# BAB V

# PENUTUP

## 5.1. Kesimpulan

1. Pada ketiga macam gangguan yang disimulasikan maka UCPC dapat menunjukkan kompensasi yang lebih baik dalam mempertahankan kualitas tegangan pada sistem.

   Pada kondisi *voltage sag* tegangan pada node 20 mengalami perbaikan sebesar 0.067309 *pu* . (Pada node yang lain dapat dilihat pada tabel 4.17).

   Pada kondisi *voltage swells* tegangan mengalami perbaikan sebesar 0.054616 *pu* . (Pada node yang lain dapat dilihat pada tabel 4.18)

   Pada kondisi *three phase Symmetrical Fault* tegangan mengalami perbaikan sebesar 0.003586 *pu* . (Pada node yang lain dapat dilihat pada tabel 4.19)

2. - Pada saat *voltage sag* penyaluran daya aktif dapat dioptimalkan sebesar 2129.75836 kW
   - Pada saat *voltage swells* penyaluran daya aktif dapat dioptimalkan sebesar 443.8034 kW
   - Pada saat *three phase symmetrical fault* penyaluran daya aktif dapat dioptimalkan sebesar 3.255992 kW
3. Harmonik pada sistem dapat direduksi sebesar 21.72983479 % atau sama dengan 4.346 kV.

## 5.2. Saran

Untuk analisis harmonik jika memungkinkan sebaiknya dapat diperoleh data lapangan pada penyulang dinoyo untuk mengetahui perbadingan besar harmonik pada sistem tanpa menggunakan UCPC dan dengan mnggunakan UCPC.

# DAFTAR PUSTAKA


[1] Hingorani, N. G., and Gyugyi, L. 2001, Understanding FACTS: *Concepts and Technology of Flexible AC Transmission Systems*, New York: IEEE Press.

[2] Hingorani, N. G., 1995. *Introducing Custom Power*, IEEE Spectrum.32 (6): 41-48

[3] Kamran, F.and Habetler, T. G.1998, *Combined Deadbeat Control of Series - Parallel Converter Combination used as a Universal Power Filter*, IEEE Trans. on Power Electronics.13 (1): 160-168.

[4] Stevenson, William D, Jr, "*Analisis Sistem Tenaga Elektrik*", Penerbit Erlangga edisi keempat, 1996.

[5] Aredes, M. Heumann, K. and Watabe, E. H.1998, *An Universal Active Power Line Conditioner*, IEEE Trans. on Power Delivery.13 (2): 545-551.

[6] Woo, S. M, et al., 2001, *The Distribution STATCOM for reducing the effect of Voltage Sag and Swell*. In Proceedings of the IEEE Industrial Electronics: 1132-1137. New York

[7] William H. Hayt, Jr, Jack E. Kemmerly, "*Rangkaian Listrik*", Jilid 1 edisi 4 Penerbit Erlangga, 1996.

[8] Olimpo Anaya Lara and Acha, E.2002, *Modeling and Analysis of Custom Power Systems by PSCAD/EMTDC*, IEEE. Trans. on Power Delivery.17 (1): 265-272.

[9] Hadi Saadat, "*Power System Analysis*", McGraw-Hill.

[10] Kartikheyan K., Mohan M. R., G. Uma, Sharmeela C., "*Power Quality Enhancement Using Universal Custom Power Conditioner*", IEEE Trans. On Power Delivery.

# LAMPIRAN

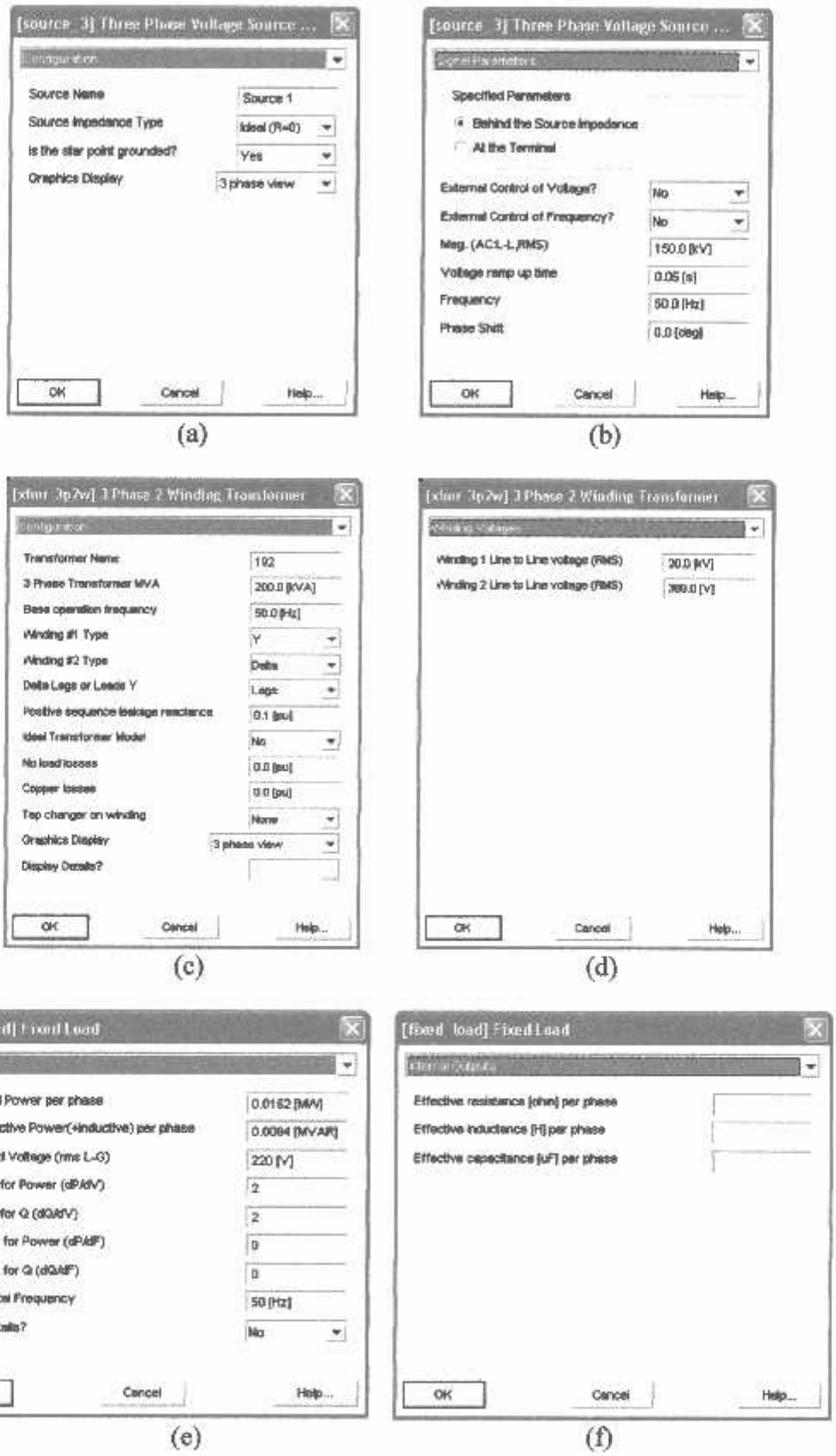
A. Data Input Parameter Untuk *Three Phase Voltage Source*, *Transformator*, *Fixed Load*, 3 *Phase Circuit Breker*, *Power Electronic Switch*.

B. Data Input Parameter Untuk Pengendalian Proportional-Integral dan SPWM.

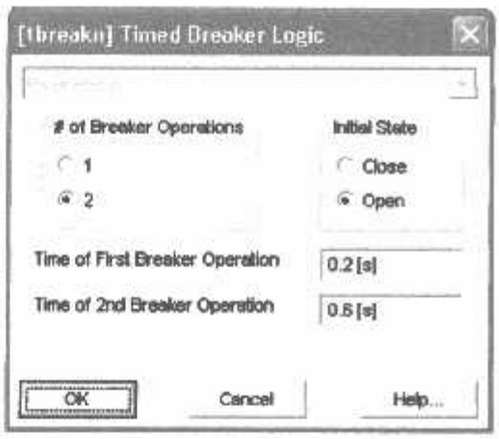
C. Data Hasil Perhitungan Menggunakan PSCAD/EMTDC Pada Setiap Kondisi Gangguan Dengan Kompensasi dan Tanpa Kompensasi UCPC.

D. Grafik Hasil Simulasi Menggunakan PSCAD/EMTDC Pada Setiap Kondisi Gangguan Dengan Kompensasi dan Tanpa Kompensasi UCPC.

**LAMPIRAN A:**



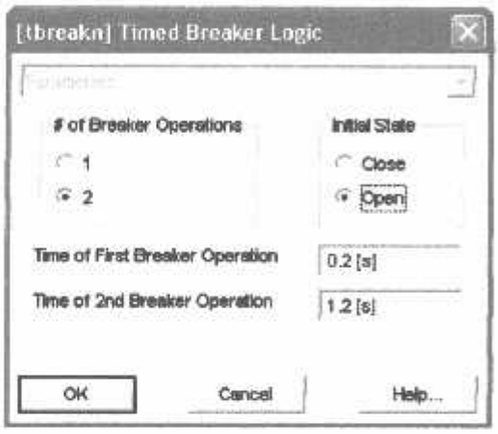

Gambar 5.1. (a) Konfigurasi 3Ph Voltage Source (b) Signal Parameter 3Ph Voltage Source, (c) Konfigurasi 3P2W Transformer, (d) Winding Voltage 3P3W Tranformer, (e) Fixed Load Parameter, (f) Fixed Load Internal Output


[tbreakn] Timed Breaker Logic
# of Breaker Operations
1
2
Initial State
Close
Open
Time of First Breaker Operation
0.2 [s]
Time of 2nd Breaker Operation
0.6 [s]
OK
Cancel
Help...

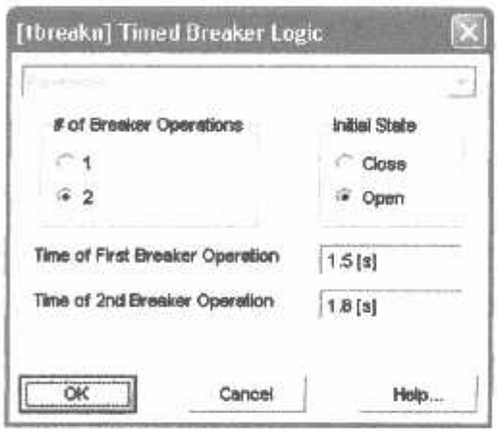
(a)

[tbreakn] Timed Breaker Logic
# of Breaker Operations
1
2
Initial State
Close
Open
Time of First Breaker Operation
0.9 [s]
Time of 2nd Breaker Operation
1.2 [s]
OK
Cancel
Help...

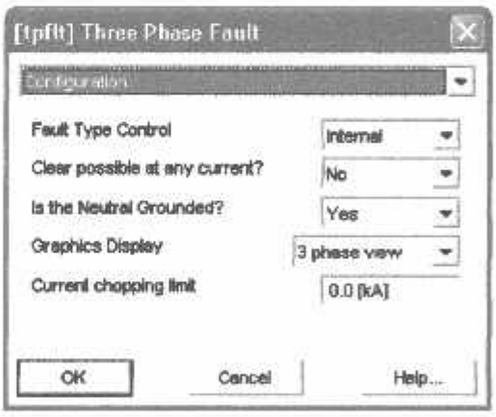
(b)


[tbreakn] Timed Breaker Logic
# of Breaker Operations
1
2
Initial State
Close
Open
Time of First Breaker Operation
0.2 [s]
Time of 2nd Breaker Operation
1.2 [s]
OK
Cancel
Help...

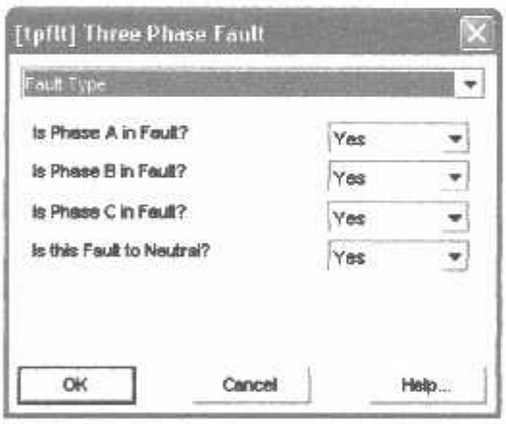
(c)


[tbreakn] Timed Breaker Logic
# of Breaker Operations
1
2
Initial State
Close
Open
Time of First Breaker Operation
1.5 [s]
Time of 2nd Breaker Operation
1.8 [s]
OK
Cancel
Help...

(d)


[tpflt] Three Phase Fault
Configuration
Fault Type Control
Internal
Clear possible at any current?
No
Is the Neutral Grounded?
Yes
Graphics Display
3 phase view
Current chopping limit
0.0 [kA]
OK
Cancel
Help...

(e)


[tpflt] Three Phase Fault
Fault Type
Is Phase A in Fault?
Yes
Is Phase B in Fault?
Yes
Is Phase C in Fault?
Yes
Is this Fault to Neutral?
Yes
OK
Cancel
Help...

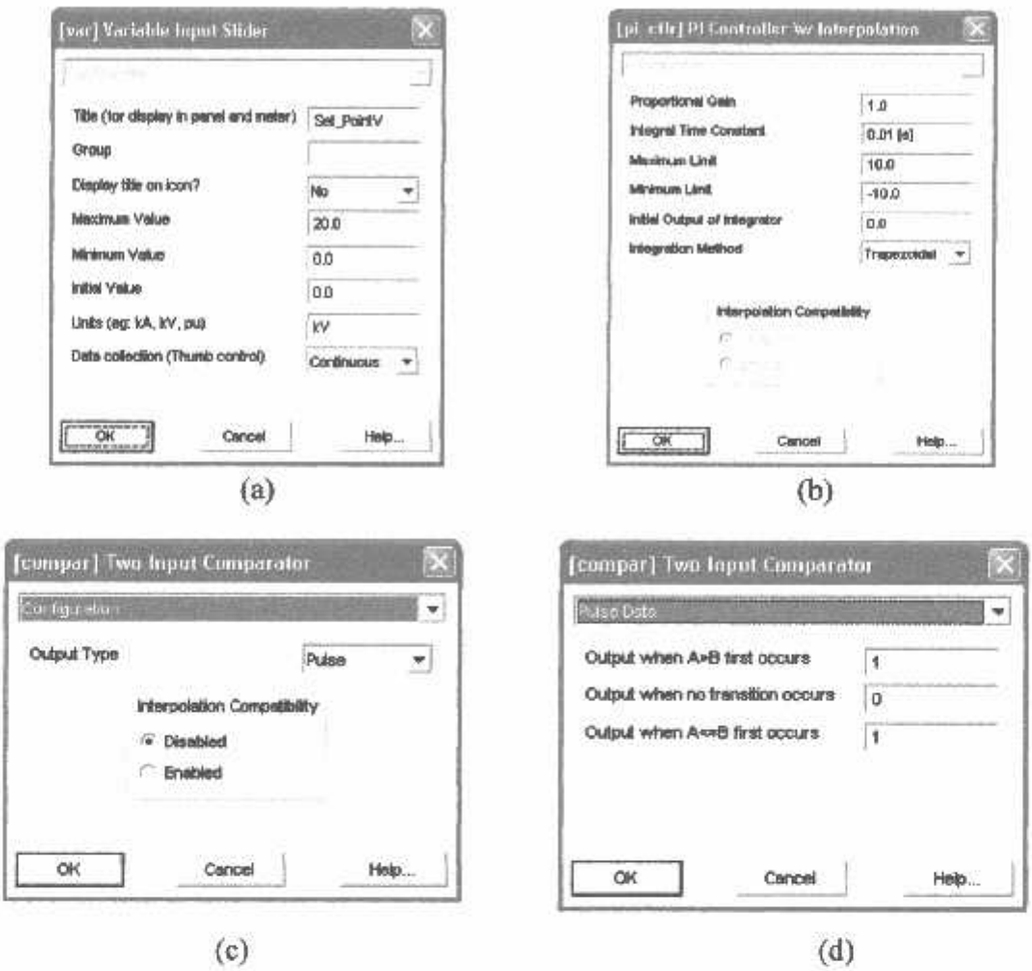
(f)

(g)

(h)

Gambar 5.2. (a) *Timed Logic Breaker Sag* (b) *Timed Logic Breaker Swells*, (c) *Timed Logic Breaker* Kompensasi *Sag* Dan *Swells*, (d) *Timed Logic Breaker* Kompensasi *Fault*, (e) *Configuration Fault*, (f) *Fault Type*, (g) Breaker 3Ph Main Data, (h) Configuration 3Ph Breaker

**LAMPIRAN B:**




Gambar 5.3. (a) *Variabel Input Set Point* (b) *PI Controller Interpolation*, (c) *ComparatorConfiguration*, (d) *Comparator Pulse Data*

**LAMPIRAN C:**

Tabel 5.1.
Hasil Perhitungan PSCAD Pada Kondisi *Voltage Sag* Tanpa Kompensasi DSTATCOM

| Dari Node | Ke Node | Hasil Referensi | | | | Hasil PSCAD/EMTDC | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Tegangan (pu) | Sudut Fasa (rad) | P (Kw) | Q (kVAR) | Tegangan (pu) | Sudut Fasa (rad) | P (Kw) | Q (kVAR) |
| 19 | 20 | 0.98992 | -0.47273 | 2427.004 | 1509.292 | 0.89010949 | -0.4344765 | 2137.012073 | 1274.583841 |
| 2 | 38 | 0.99778 | -0.07929 | 88.389 | 54.778 | 0.88065272 | -0.0284137 | 74.38981282 | 42.23461988 |
| 3 | 39 | 0.99737 | -0.09307 | 102.85 | 63.74 | 0.87331850 | -0.04262143 | 85.21699593 | 48.37535594 |
| 4 | 40 | 0.99571 | -0.1926 | 83.163 | 51.542 | 0.88340923 | -0.0036958 | 69.29241631 | 35.92647739 |
| 41 | 42 | 0.9943 | -0.29195 | 42.527 | 26.356 | 0.86591607 | -0.2710840 | 39.61302332 | 21.80556404 |
| 42 | 43 | 0.99429 | -0.29204 | 16.401 | 10.164 | 0.87490895 | -0.2710142 | 13.66154201 | 9.710072863 |
| 8 | 45 | 0.99343 | -0.35334 | 481.391 | 298.405 | 0.87858855 | -0.2838211 | 403.3015366 | 250.5060579 |
| 50 | 52 | 0.99314 | -0.35125 | 92.196 | 57.143 | 0.88298988 | -0.2837773 | 75.66504662 | 43.57347235 |
| 50 | 53 | 0.9932 | -0.35969 | 20.196 | 12.516 | 0.87137094 | -0.2838000 | 18.97844226 | 6.943700586 |
| 9 | 54 | 0.993 | -0.39438 | 26.275 | 16.284 | 0.86549843 | -0.2837939 | 22.64798212 | 13.62228087 |
| 10 | 55 | 0.99282 | -0.4057 | 127.587 | 79.08 | 0.86633164 | -0.2837586 | 104.6894009 | 63.69440767 |
| 55 | 56 | 0.99277 | -0.40725 | 61.617 | 38.189 | 0.90355483 | -0.2837522 | 54.856583 | 29.14597487 |
| 12 | 58 | 0.99261 | -0.4272 | 120.107 | 74.439 | 0.86774354 | -0.2837399 | 103.7994168 | 59.2578873 |
| 16 | 61 | 0.99058 | -0.6164 | 63.393 | 39.287 | 0.98634994 | -0.2759886 | 56.11126002 | 26.4356723 |
| 17 | 62 | 0.99052 | -0.6224 | 87.55 | 54.259 | 0.95906696 | -0.2759191 | 77.7713688 | 44.25270104 |
| 65 | 68 | 0.99008 | -0.65721 | 70.686 | 43.807 | 0.97799862 | -0.2758506 | 67.69641473 | 34.14661831 |
| 67 | 69 | 0.98988 | -0.6619 | 37.962 | 23.527 | 1.01540900 | -0.2758626 | 36.49403771 | 17.19109699 |
| 22 | 74 | 0.98925 | -0.77473 | 172.605 | 106.902 | 0.91707842 | -0.2894016 | 150.7415118 | 86.28958712 |
| 74 | 75 | 0.98923 | -0.7751 | 47.311 | 29.322 | 1.00480445 | -0.2893325 | 44.11353065 | 22.06297208 |
| Jumlah | | | | 4169.21 | 2589.032 | | | 3636.052395 | 2129.758361 |

Tabel 5.2.
Hasil Perhitungan PSCAD Pada Kondisi *Voltage Sag* Dengan Kompensasi DSTATCOM

| Dari Node | Ke Node | Hasil Referensi | | | | Hasil PSCAD/EMTDC | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Tegangan (pu) | Sudut Fasa (rad) | P (Kw) | Q (kVAR) | Tegangan (pu) | Sudut Fasa (rad) | P (Kw) | Q (kVAR) |
| 19 | 20 | 0.98992 | -0.47273 | 2427.004 | 1509.292 | 0.95741896 | -0.4351350 | 2408.183067 | 1426.961707 |
| 2 | 38 | 0.99778 | -0.07929 | 88.389 | 54.778 | 0.94710690 | -0.0284125 | 80.76282392 | 47.28019209 |
| 3 | 39 | 0.99737 | -0.09307 | 102.85 | 63.74 | 0.93922852 | -0.04262143 | 92.51820421 | 54.15494644 |
| 4 | 40 | 0.99571 | -0.1926 | 83.163 | 51.542 | 0.95008964 | -0.0036956 | 75.230712 | 40.21941082 |
| 41 | 42 | 0.9943 | -0.29195 | 42.527 | 26.356 | 0.93125397 | -0.2710837 | 43.00603831 | 24.41003291 |
| 42 | 43 | 0.99429 | -0.29204 | 16.401 | 10.164 | 0.94093606 | -0.2710156 | 14.83181797 | 10.86996635 |
| 8 | 45 | 0.99343 | -0.35334 | 481.391 | 298.405 | 0.9449143 | -0.2838092 | 437.8786253 | 280.4482454 |
| 50 | 52 | 0.99314 | -0.35125 | 92.196 | 57.143 | 0.94965279 | -0.2837655 | 82.15241878 | 48.78175708 |
| 50 | 53 | 0.9932 | -0.35969 | 20.196 | 12.516 | 0.93712703 | -0.2837882 | 20.60425365 | 7.77321887 |
| 9 | 54 | 0.993 | -0.39438 | 26.275 | 16.284 | 0.93081673 | -0.2837821 | 24.5882509 | 15.24962944 |
| 10 | 55 | 0.99282 | -0.4057 | 127.587 | 79.08 | 0.9317235 | -0.2837467 | 113.6623804 | 71.30625393 |
| 55 | 56 | 0.99277 | -0.40725 | 61.617 | 38.189 | 0.97175023 | -0.2837405 | 59.55813914 | 32.62912361 |
| 12 | 58 | 0.99261 | -0.4272 | 120.107 | 74.439 | 0.9332621 | -0.2837280 | 112.7018959 | 66.34225187 |
| 16 | 61 | 0.99058 | -0.6164 | 63.393 | 39.287 | 1.06093089 | -0.2759764 | 63.2312914 | 29.59599754 |
| 17 | 62 | 0.99052 | -0.6224 | 87.55 | 54.259 | 1.03159925 | -0.2761411 | 87.64085447 | 49.54370079 |
| 65 | 68 | 0.99008 | -0.65721 | 70.686 | 43.807 | 1.05195643 | -0.2758985 | 76.28675786 | 38.2289582 |
| 67 | 69 | 0.98988 | -0.6619 | 37.962 | 23.527 | 1.09216020 | -0.2761415 | 41.12429023 | 19.24596153 |
| 22 | 74 | 0.98925 | -0.77473 | 172.605 | 106.902 | 0.98642961 | -0.2896298 | 169.8739332 | 96.60816701 |
| 74 | 75 | 0.98923 | -0.7751 | 47.311 | 29.322 | 1.08077995 | -0.2897411 | 49.71076442 | 24.70034122 |
| Jumlah | | | | 4169.21 | 2589.032 | | | 4053.546519 | 2384.349862 |

Tabel 5.3.
Hasil Perhitungan PSCAD Pada Kondisi *Voltage Swells* Tanpa Kompensasi DSTATCOM

| Dari Node | Ke Node | Hasil Referensi | | | | Hasil PSCAD/EMTDC | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Tegangan (pu) | Sudut Fasa (rad) | P (Kw) | Q (kVAR) | Tegangan (pu) | Sudut Fasa (rad) | P (Kw) | Q (kVAR) |
| 19 | 20 | 0.98992 | -0.47273 | 2427.004 | 1509.292 | 0.91170126 | -0.4362150 | 2226.512656 | 1349.493905 |
| 2 | 38 | 0.99778 | -0.07929 | 88.389 | 54.778 | 0.93503212 | -0.0284283 | 80.15422085 | 44.71482418 |
| 3 | 39 | 0.99737 | -0.09307 | 102.85 | 63.74 | 0.92724325 | -0.04262143 | 91.82068951 | 51.21726247 |
| 4 | 40 | 0.99571 | -0.1926 | 83.163 | 51.542 | 0.93796773 | -0.0036978 | 74.66326767 | 38.03714107 |
| 41 | 42 | 0.9943 | -0.29195 | 42.527 | 26.356 | 0.91937802 | -0.2714069 | 42.68231865 | 23.08654074 |
| 42 | 43 | 0.99429 | -0.29204 | 16.401 | 10.164 | 0.92892833 | -0.2713371 | 14.720217 | 10.28077347 |
| 8 | 45 | 0.99343 | -0.35334 | 481.391 | 298.405 | 0.93287342 | -0.2839675 | 434.5686059 | 265.228056 |
| 50 | 52 | 0.99314 | -0.35125 | 92.196 | 57.143 | 0.93754661 | -0.2839237 | 81.53130795 | 46.1340444 |
| 50 | 53 | 0.9932 | -0.35969 | 20.196 | 12.516 | 0.92517529 | -0.2839464 | 20.4491748 | 7.351744415 |
| 9 | 54 | 0.993 | -0.39438 | 26.275 | 16.284 | 0.91894404 | -0.2839403 | 24.4031321 | 14.42267476 |
| 10 | 55 | 0.99282 | -0.4057 | 127.587 | 79.08 | 0.91984673 | -0.2839050 | 112.8044508 | 67.43670512 |
| 55 | 56 | 0.99277 | -0.40725 | 61.617 | 38.189 | 0.95936564 | -0.2838987 | 59.10871642 | 30.85857933 |
| 12 | 58 | 0.99261 | -0.4272 | 120.107 | 74.439 | 0.92137216 | -0.2838864 | 111.8485187 | 62.74116666 |
| 16 | 61 | 0.99058 | -0.6164 | 63.393 | 39.287 | 1.01029212 | -0.2765447 | 58.46318886 | 27.98937914 |
| 17 | 62 | 0.99052 | -0.6224 | 87.55 | 54.259 | 0.98234047 | -0.2763320 | 81.02986094 | 46.85381744 |
| 65 | 68 | 0.99008 | -0.65721 | 70.686 | 43.807 | 1.00173891 | -0.2764115 | 70.53353888 | 36.15358228 |
| 67 | 69 | 0.98988 | -0.6619 | 37.962 | 23.527 | 1.04006668 | -0.2761087 | 38.02451808 | 18.20138499 |
| 22 | 74 | 0.98925 | -0.77473 | 172.605 | 106.902 | 0.93932552 | -0.2901664 | 157.0548344 | 91.36230033 |
| 74 | 75 | 0.98923 | -0.7751 | 47.311 | 29.322 | 1.02920361 | -0.2904619 | 45.96317458 | 23.35964369 |
| Jumlah | | | | 4169.21 | 2589.032 | | | 3826.336392 | 2254.923526 |

Tabel 5.4.
Hasil Perhitungan PSCAD Pada Kondisi *Voltage Swells* Dengan Kompensasi DSTATCOM

| Dari Node | Ke Node | Hasil Referensi | | | | Hasil PSCAD/EMTDC | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Tegangan (pu) | Sudut Fasa (rad) | P (Kw) | Q (kVAR) | Tegangan (pu) | Sudut Fasa (rad) | P (Kw) | Q (kVAR) |
| 19 | 20 | 0.98992 | -0.47273 | 2427.004 | 1509.292 | 0.96631680 | -0.4362940 | 2462.261607 | 1508.14015 |
| 2 | 38 | 0.99778 | -0.07929 | 88.389 | 54.778 | 1.01585683 | -0.0284135 | 91.33568995 | 49.97135759 |
| 3 | 39 | 0.99737 | -0.09307 | 102.85 | 63.74 | 1.00739411 | -0.04262143 | 104.6295794 | 57.23759331 |
| 4 | 40 | 0.99571 | -0.1926 | 83.163 | 51.542 | 1.01906167 | -0.0036958 | 85.08063199 | 42.50923783 |
| 41 | 42 | 0.9943 | -0.29195 | 42.527 | 26.356 | 0.99885114 | -0.2711354 | 48.63644404 | 25.79928514 |
| 42 | 43 | 0.99429 | -0.29204 | 16.401 | 10.164 | 1.00924768 | -0.2710672 | 16.77400146 | 11.48871198 |
| 8 | 45 | 0.99343 | -0.35334 | 481.391 | 298.405 | 1.01351598 | -0.2838207 | 495.2033484 | 296.4142881 |
| 50 | 52 | 0.99314 | -0.35125 | 92.196 | 57.143 | 1.01859297 | -0.2837770 | 92.90727363 | 51.5590169 |
| 50 | 53 | 0.9932 | -0.35969 | 20.196 | 12.516 | 1.00516753 | -0.2837997 | 23.30231743 | 8.215686322 |
| 9 | 54 | 0.993 | -0.39438 | 26.275 | 16.284 | 0.99839289 | -0.2837935 | 27.80795841 | 16.11767446 |
| 10 | 55 | 0.99282 | -0.4057 | 127.587 | 79.08 | 0.99936773 | -0.2837582 | 128.5435528 | 75.3656648 |
| 55 | 56 | 0.99277 | -0.40725 | 61.617 | 38.189 | 1.04230541 | -0.2837519 | 67.3558784 | 34.48648211 |
| 12 | 58 | 0.99261 | -0.4272 | 120.107 | 74.439 | 1.00101875 | -0.2837396 | 127.4555579 | 70.11971712 |
| 16 | 61 | 0.99058 | -0.6164 | 63.393 | 39.287 | 1.07080037 | -0.2762844 | 64.65646886 | 31.27988794 |
| 17 | 62 | 0.99052 | -0.6224 | 87.55 | 54.259 | 1.04118898 | -0.2765640 | 89.61198611 | 52.36254902 |
| 65 | 68 | 0.99008 | -0.65721 | 70.686 | 43.807 | 1.0617371 | -0.2765838 | 78.00498003 | 40.40405614 |
| 67 | 69 | 0.98988 | -0.6619 | 37.962 | 23.527 | 1.10233958 | -0.2765295 | 42.05369405 | 20.34101322 |
| 22 | 74 | 0.98925 | -0.77473 | 172.605 | 106.902 | 0.99560541 | -0.2901987 | 173.6856991 | 102.1050613 |
| 74 | 75 | 0.98923 | -0.7751 | 47.311 | 29.322 | 1.09083804 | -0.2903856 | 50.83310223 | 26.10565891 |
| Jumlah | | | | 4169.21 | 2589.032 | | | 4270.139772 | 2520.023092 |

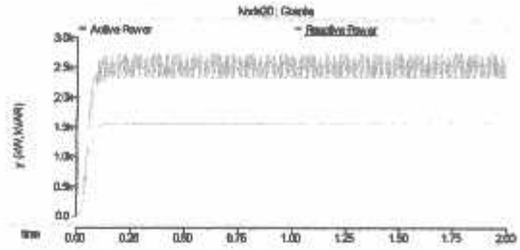
Tabel 5.5.
Hasil Perhitungan PSCAD Pada Kondisi *Three Phase Symmetrical Fault* Tanpa Kompensasi DVR

| Dari Node | Ke Node | Hasil Referensi | | | | Hasil PSCAD/EMTDC | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Tegangan (pu) | Sudut Fasa (rad) | P (Kw) | Q (kVAR) | Tegangan (pu) | Sudut Fasa (rad) | P (Kw) | Q (kVAR) |
| 19 | 20 | 0.98992 | -0.47273 | 2427.004 | 1509.292 | 0.82722912 | -0.4354738 | 2065.96459 | 1267.375818 |
| 2 | 38 | 0.99778 | -0.07929 | 88.389 | 54.778 | 0.85782725 | -0.0284171 | 76.42977031 | 42.03137401 |
| 3 | 39 | 0.99737 | -0.09307 | 102.85 | 63.74 | 0.85065496 | -0.04262143 | 87.54974318 | 48.09378891 |
| 4 | 40 | 0.99571 | -0.1926 | 83.163 | 51.542 | 0.86047725 | -0.0036960 | 71.1879217 | 35.71648902 |
| 41 | 42 | 0.9943 | -0.29195 | 42.527 | 26.356 | 0.8435171 | -0.2712169 | 40.70419884 | 21.70371439 |
| 42 | 43 | 0.99429 | -0.29204 | 16.401 | 10.164 | 0.85228867 | -0.2711842 | 14.03889657 | 9.654898021 |
| 8 | 45 | 0.99343 | -0.35334 | 481.391 | 298.405 | 0.85572261 | -0.2837591 | 414.255111 | 249.0058069 |
| 50 | 52 | 0.99314 | -0.35125 | 92.196 | 57.143 | 0.8600135 | -0.2837521 | 77.71881949 | 43.34974425 |
| 50 | 53 | 0.9932 | -0.35969 | 20.196 | 12.516 | 0.84883848 | -0.2837703 | 19.50216392 | 6.904598669 |
| 9 | 54 | 0.993 | -0.39438 | 26.275 | 16.284 | 0.84310549 | -0.2838265 | 23.27196082 | 13.55859889 |
| 10 | 55 | 0.99282 | -0.4057 | 127.587 | 79.08 | 0.84382526 | -0.2837610 | 107.5466635 | 63.31903542 |
| 55 | 56 | 0.99277 | -0.40725 | 61.617 | 38.189 | 0.88009613 | -0.2837289 | 56.35519817 | 29.00207935 |
| 12 | 58 | 0.99261 | -0.4272 | 120.107 | 74.439 | 0.84510585 | -0.2838839 | 106.6018898 | 58.89386755 |
| 16 | 61 | 0.99058 | -0.6164 | 63.393 | 39.287 | 0.91667777 | -0.2763306 | 54.24942294 | 26.28893709 |
| 17 | 62 | 0.99052 | -0.6224 | 87.55 | 54.259 | 0.89131335 | -0.2766303 | 75.18777774 | 44.00476335 |
| 65 | 68 | 0.99008 | -0.65721 | 70.686 | 43.807 | 0.90891459 | -0.2764444 | 65.44935227 | 33.9566409 |
| 67 | 69 | 0.98988 | -0.6619 | 37.962 | 23.527 | 0.94368734 | -0.2759906 | 35.28456844 | 17.09664206 |
| 22 | 74 | 0.98925 | -0.77473 | 172.605 | 106.902 | 0.85226925 | -0.2900852 | 145.7249815 | 85.79846581 |
| 74 | 75 | 0.98923 | -0.7751 | 47.311 | 29.322 | 0.93383804 | -0.2903723 | 42.65089288 | 21.94152583 |
| Jumlah | | | | 4169.21 | 2589.032 | | | 3579.673923 | 2117.696789 |

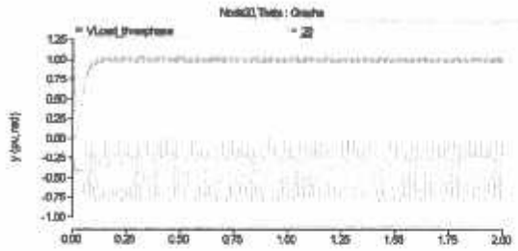
Tabel 5.6.
Hasil Perhitungan PSCAD Pada Kondisi *Three Phase Symmetrical Fault* Dengan Kompensasi DVR

| Dari Node | Ke Node | Hasil Referensi | | | | Hasil PSCAD/EMTDC | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Tegangan (pu) | Sudut Fasa (rad) | P (Kw) | Q (kVAR) | Tegangan (pu) | Sudut Fasa (rad) | P (Kw) | Q (kVAR) |
| 19 | 20 | 0.98992 | -0.47273 | 2427.004 | 1509.292 | 0.83081471 | -0.4355668 | 2067.225902 | 1266.66577 |
| 2 | 38 | 0.99778 | -0.07929 | 88.389 | 54.778 | 0.85723527 | -0.0283983 | 76.51510519 | 44.98993616 |
| 3 | 39 | 0.99737 | -0.09307 | 102.85 | 63.74 | 0.85022724 | -0.04262143 | 87.63048281 | 44.45390483 |
| 4 | 40 | 0.99571 | -0.1926 | 83.163 | 51.542 | 0.8599937 | -0.0036917 | 71.27757519 | 38.22269214 |
| 41 | 42 | 0.9943 | -0.29195 | 42.527 | 26.356 | 0.84280221 | -0.2711583 | 40.73487177 | 22.72326945 |
| 42 | 43 | 0.99429 | -0.29204 | 16.401 | 10.164 | 0.85136394 | -0.2710063 | 14.04638478 | 10.31484037 |
| 8 | 45 | 0.99343 | -0.35334 | 481.391 | 298.405 | 0.85596075 | -0.2838732 | 415.0324562 | 244.3124546 |
| 50 | 52 | 0.99314 | -0.35125 | 92.196 | 57.143 | 0.86028361 | -0.2839685 | 77.86971167 | 42.50145437 |
| 50 | 53 | 0.9932 | -0.35969 | 20.196 | 12.516 | 0.84804407 | -0.2837241 | 19.51471106 | 7.22759606 |
| 9 | 54 | 0.993 | -0.39438 | 26.275 | 16.284 | 0.84239439 | -0.2836133 | 23.28959459 | 14.19390375 |
| 10 | 55 | 0.99282 | -0.4057 | 127.587 | 79.08 | 0.84340702 | -0.2836891 | 107.6950411 | 65.36996158 |
| 55 | 56 | 0.99277 | -0.40725 | 61.617 | 38.189 | 0.8796635 | -0.2837744 | 56.4301375 | 30.77601065 |
| 12 | 58 | 0.99261 | -0.4272 | 120.107 | 74.439 | 0.84574611 | -0.2838305 | 106.8644155 | 57.84004763 |
| 16 | 61 | 0.99058 | -0.6164 | 63.393 | 39.287 | 0.92063079 | -0.2763594 | 54.28271137 | 26.26626675 |
| 17 | 62 | 0.99052 | -0.6224 | 87.55 | 54.259 | 0.89516799 | -0.2768511 | 75.23377001 | 43.97386692 |
| 65 | 68 | 0.99008 | -0.65721 | 70.686 | 43.807 | 0.91283929 | -0.2764358 | 65.48958706 | 33.92882155 |
| 67 | 69 | 0.98988 | -0.6619 | 37.962 | 23.527 | 0.94774752 | -0.2760661 | 35.30636044 | 17.07912858 |
| 22 | 74 | 0.98925 | -0.77473 | 172.605 | 106.902 | 0.8559759 | -0.2901270 | 145.8138448 | 85.76028298 |
| 74 | 75 | 0.98923 | -0.7751 | 47.311 | 29.322 | 0.93785869 | -0.2905642 | 42.6772522 | 21.9200561 |
| Jumlah | | | | 4169.21 | 2589.032 | | | 3582.929915 | 2118.520264 |

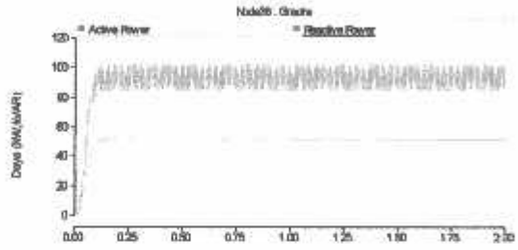
## 1. Grafik Tegangan dan Sudut Fasa Serta Daya Aktif dan Reaktif Pada Kondisi Normal



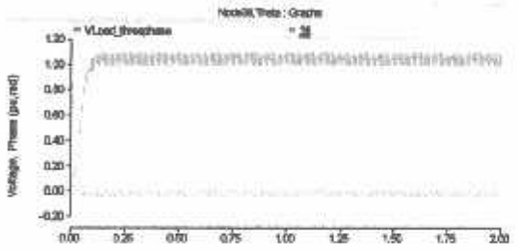

(a)



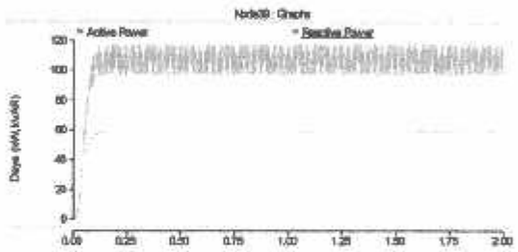

(b)



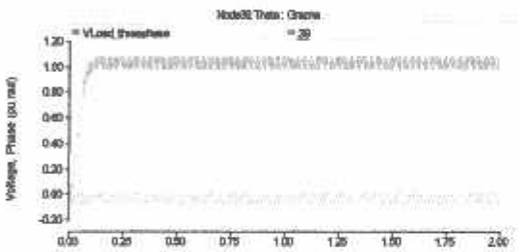

(a)



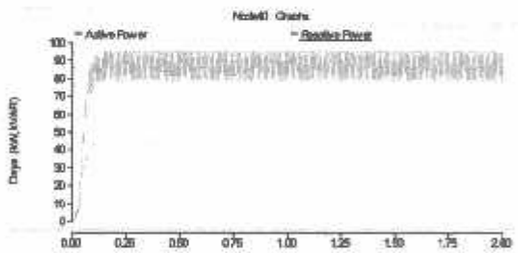

(b)



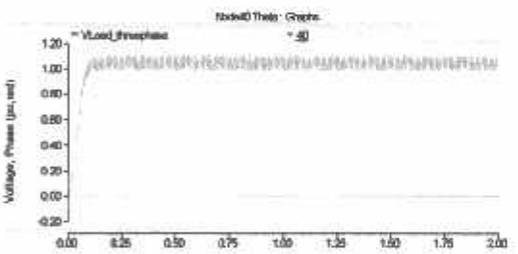

(a)



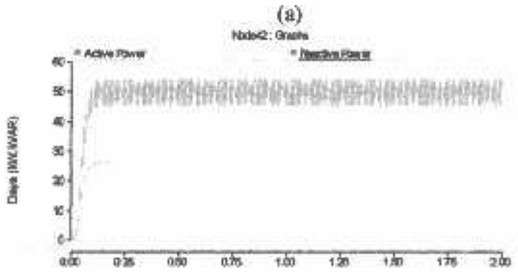

(b)



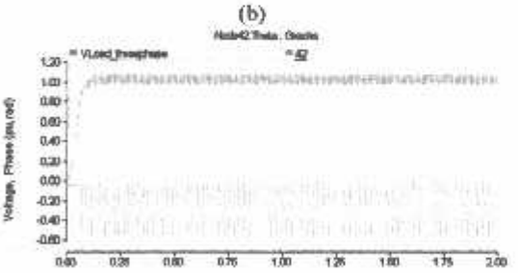

(a)



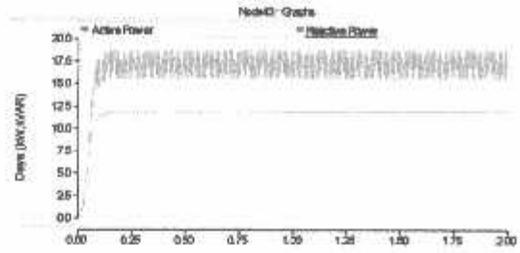

(b)



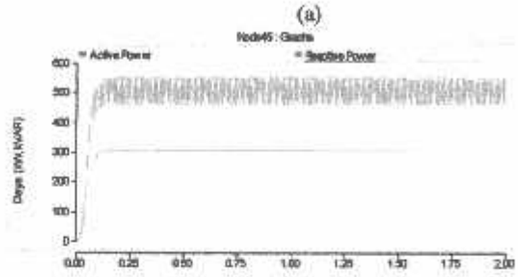

(a)



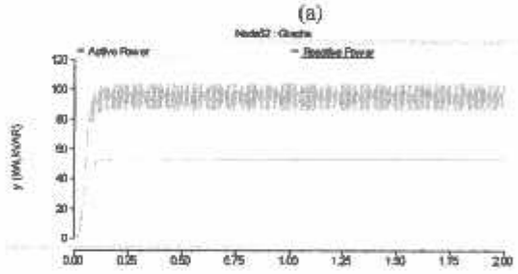

(b)


Node43 : Graphs
Active Power
Reactive Power
Node43_Theta : Graphs
VLoad_threephase
43

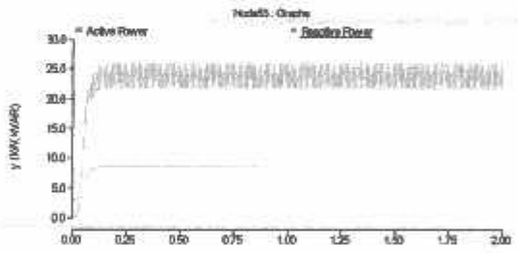
(a) (b)


Node45 : Graphs
Active Power
Reactive Power
Node45_Theta : Graphs
VLoad_threephase
45

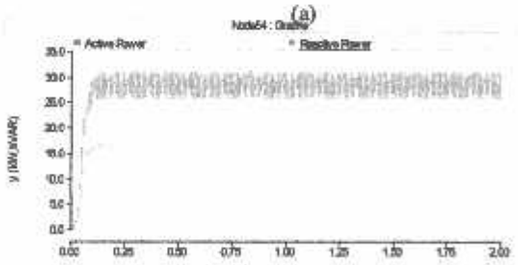
(a) (b)


Node52 : Graphs
Active Power
Reactive Power
Node52_Theta : Graphs
VLoad_threephase
52

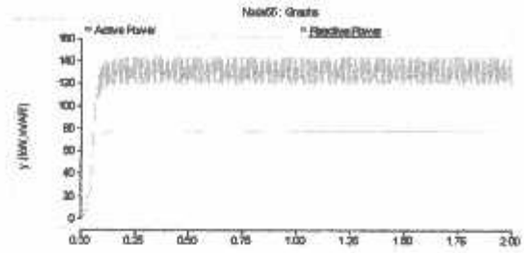
(a) (b)


Node53 : Graphs
Active Power
Reactive Power
Node53_Theta : Graphs
VLoad_threephase
53

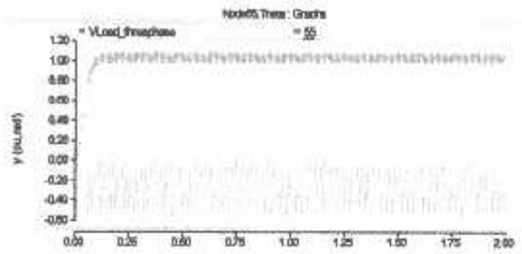
(a) (b)


Node54 : Graphs
Active Power
Reactive Power
Node54_Theta : Graphs
VLoad_threephase
54

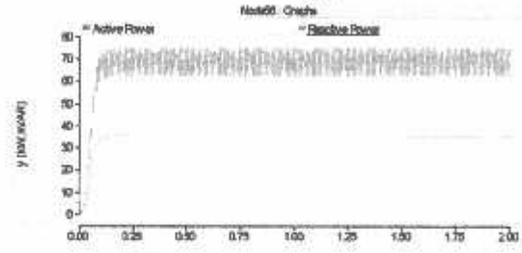
(a) (b)


Node66 : Graphs
Active Power
Reactive Power

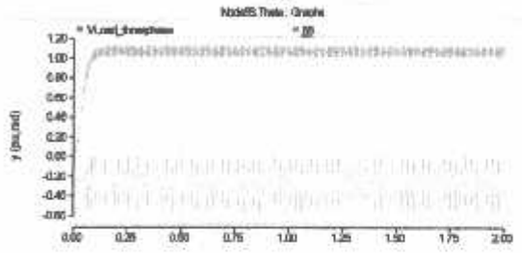
(a)


Node66 Theta : Graphs
VLoad_threephase
66

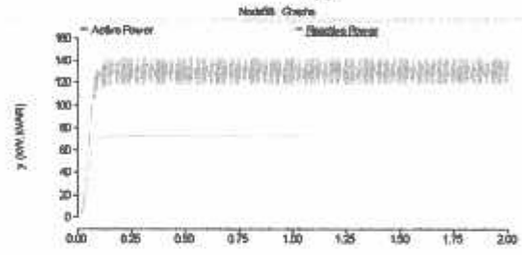
(b)


Node66 : Graphs
Active Power
Reactive Power

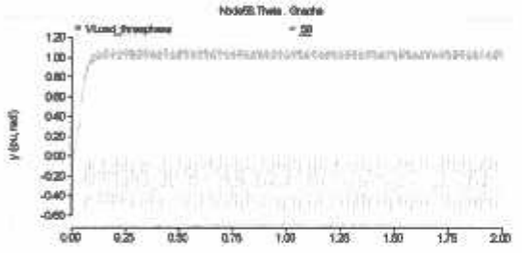
(a)


Node66 Theta : Graphs
VLoad_threephase
66

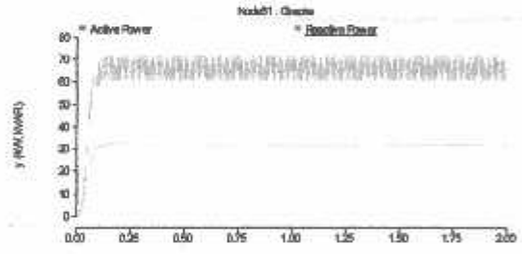
(b)


Node58 : Graphs
Active Power
Reactive Power

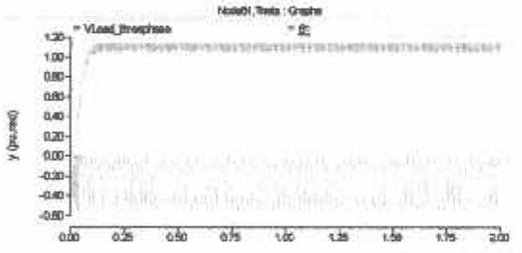
(a)


Node58 Theta : Graphs
VLoad_threephase
58

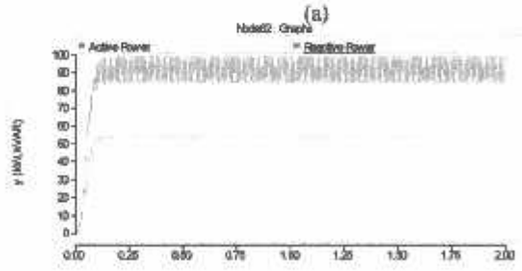
(b)


Node61 : Graphs
Active Power
Reactive Power

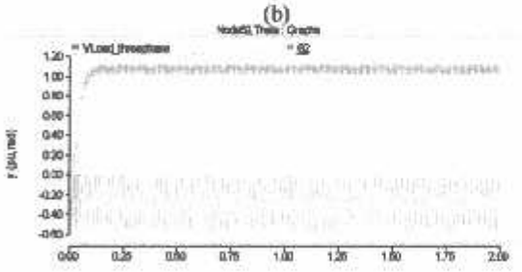
(a)


Node61 Theta : Graphs
VLoad_threephase
61

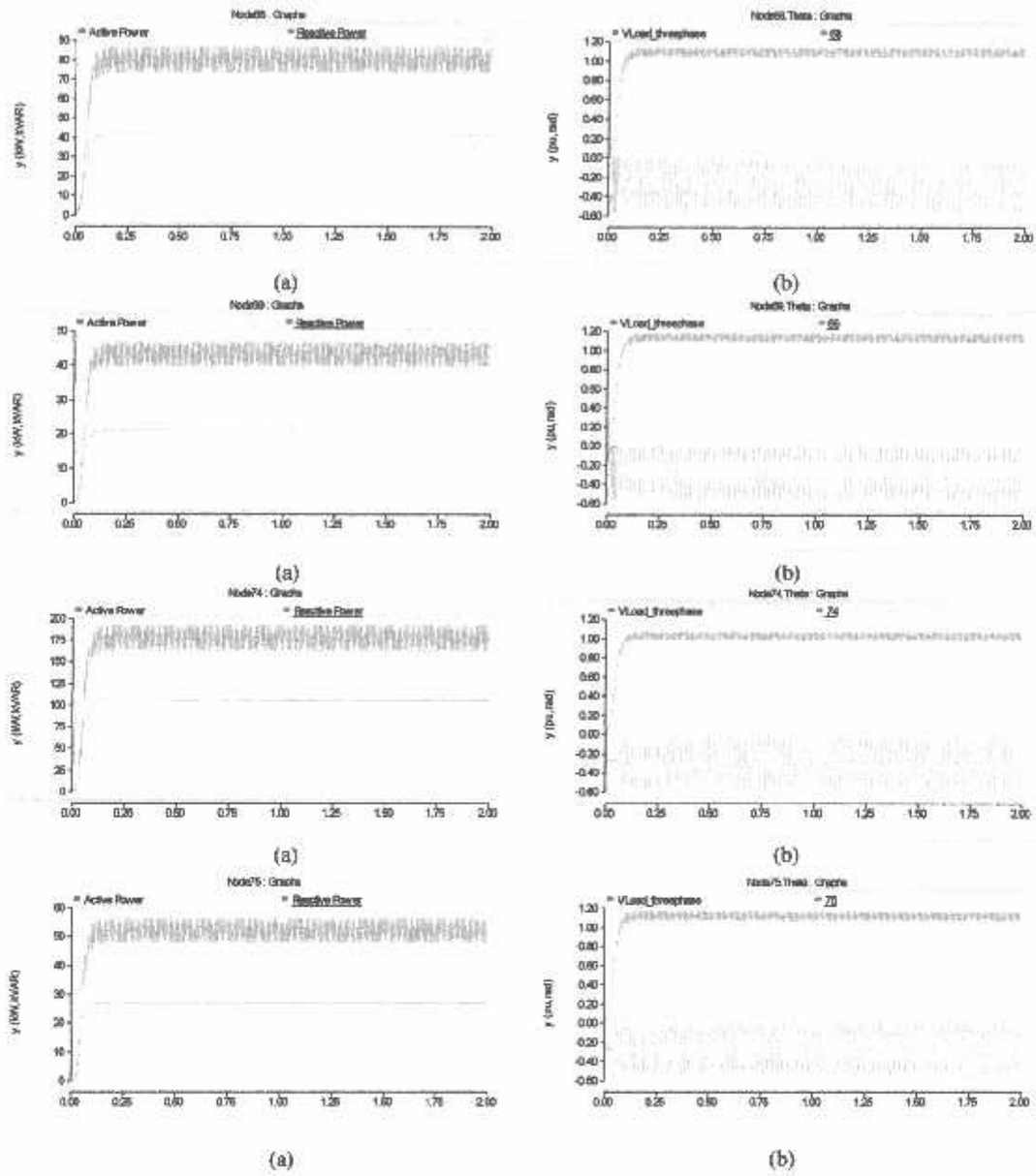
(b)


Node62 : Graphs
Active Power
Reactive Power

(a)


Node62 Theta : Graphs
VLoad_threephase
62

(b)

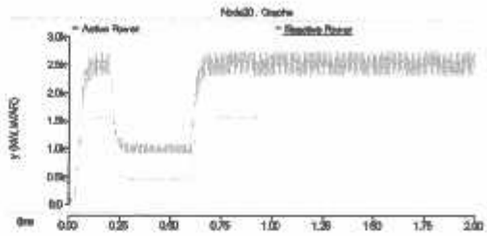



Grafik 8. (a) Bentuk Gelombang Daya Aktif dan Reaktif Tiap Node, (b) Bentuk Gelombang Tegangan dan Sudut Fasa Tiap Node, Pada Sistem Dalam Kondisi Normal

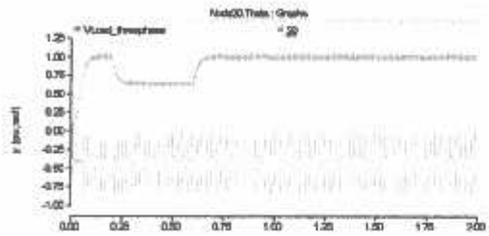
## LAMPIRAN D:

## 2. *Voltage Sag* Tanpa Kompensasi dan Dengan Kompensasi DSTATCOM

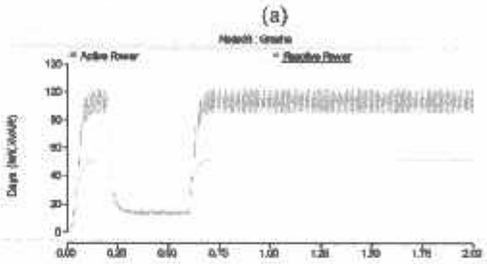
- ***Voltage Sag* Tanpa Kompensasi**



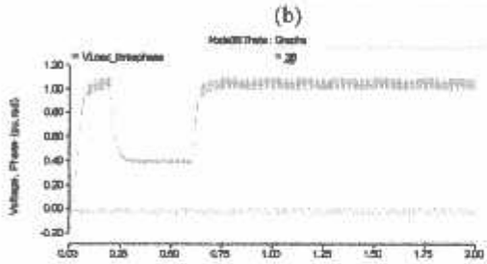
(a)



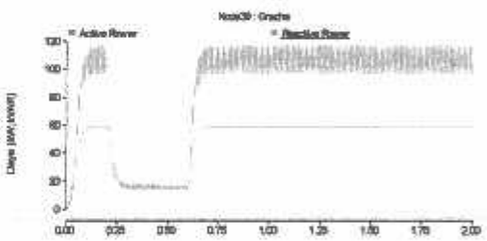
(b)



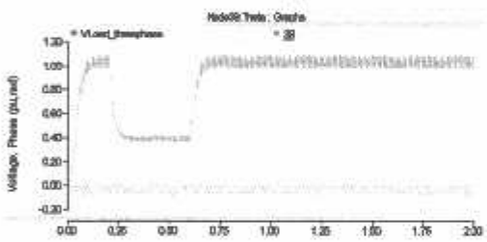
(a)



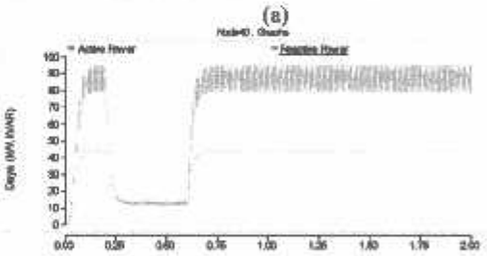
(b)



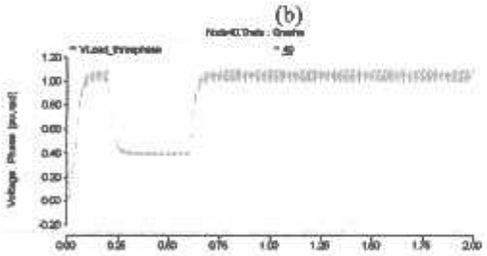
(a)



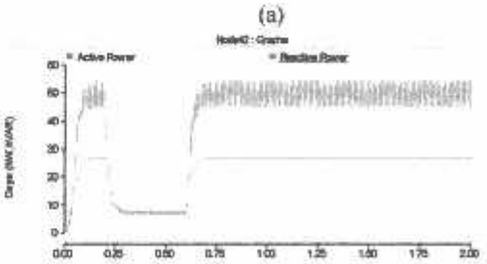
(b)



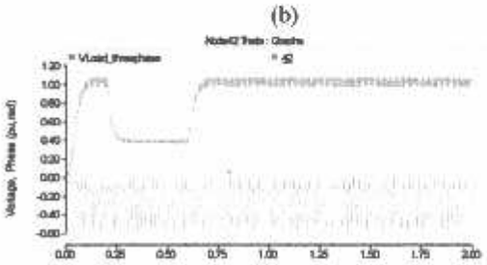
(a)



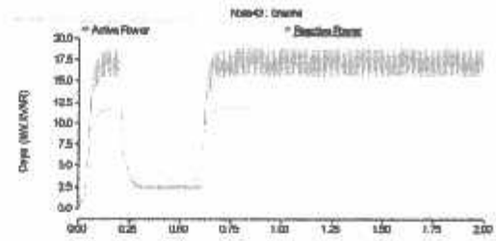
(b)



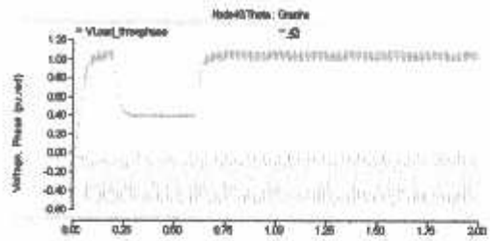
(a)



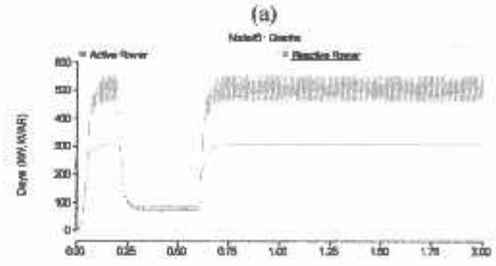
(b)



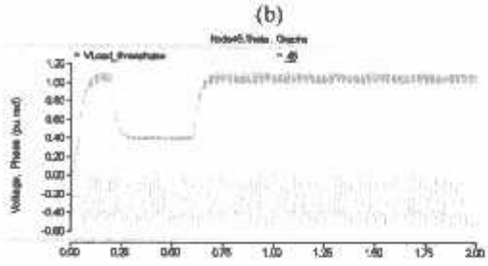
(a)



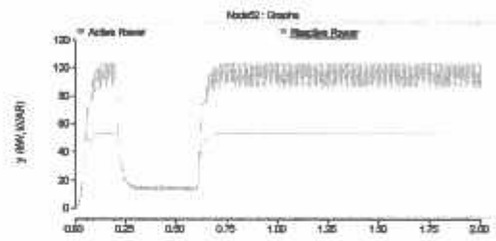
(b)



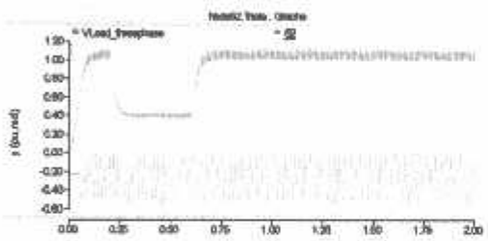
(a)



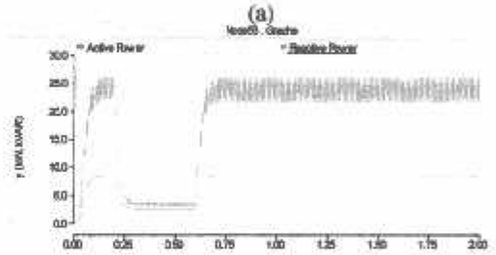
(b)



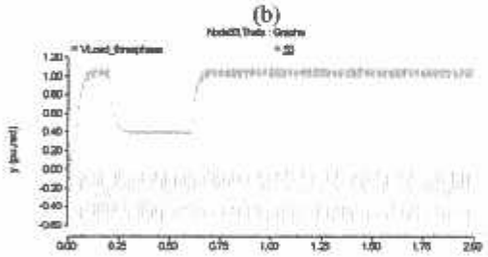
(a)



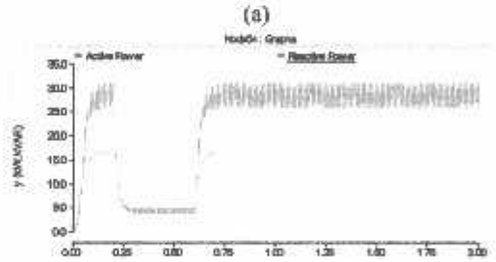
(b)



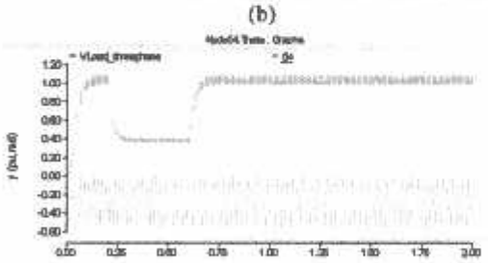
(a)



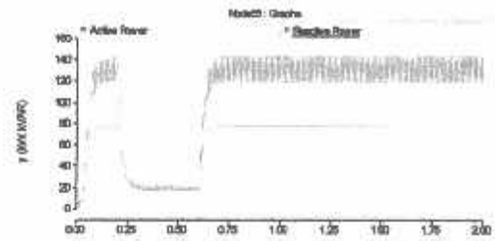
(b)



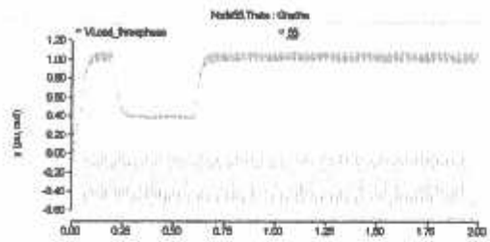
(a)



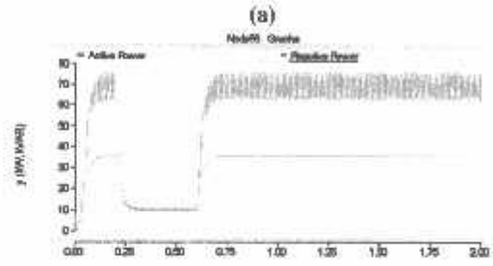
(b)



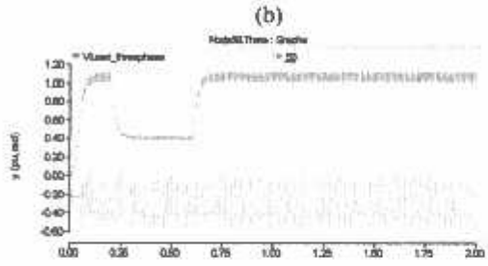
(a)



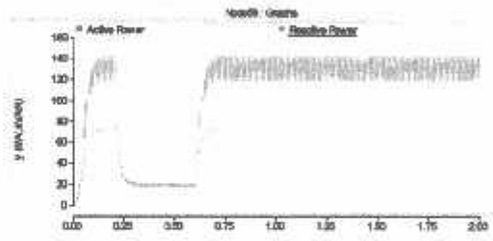
(b)



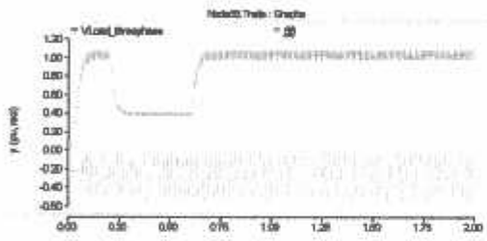
(a)



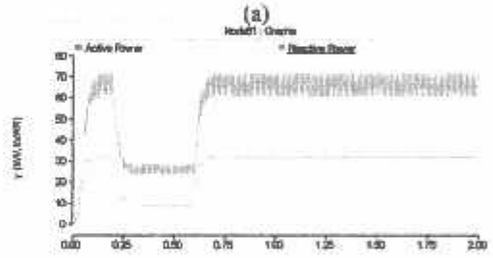
(b)



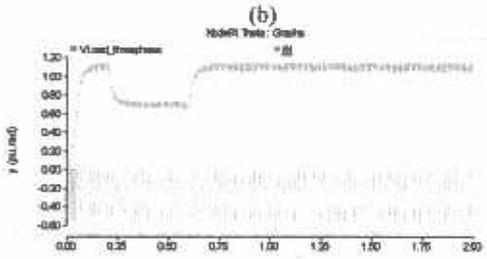
(a)



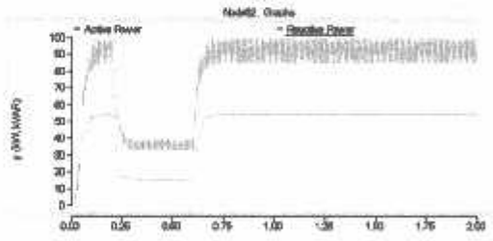
(b)



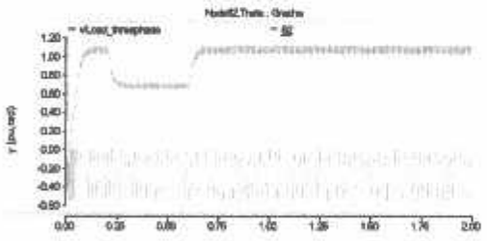
(a)



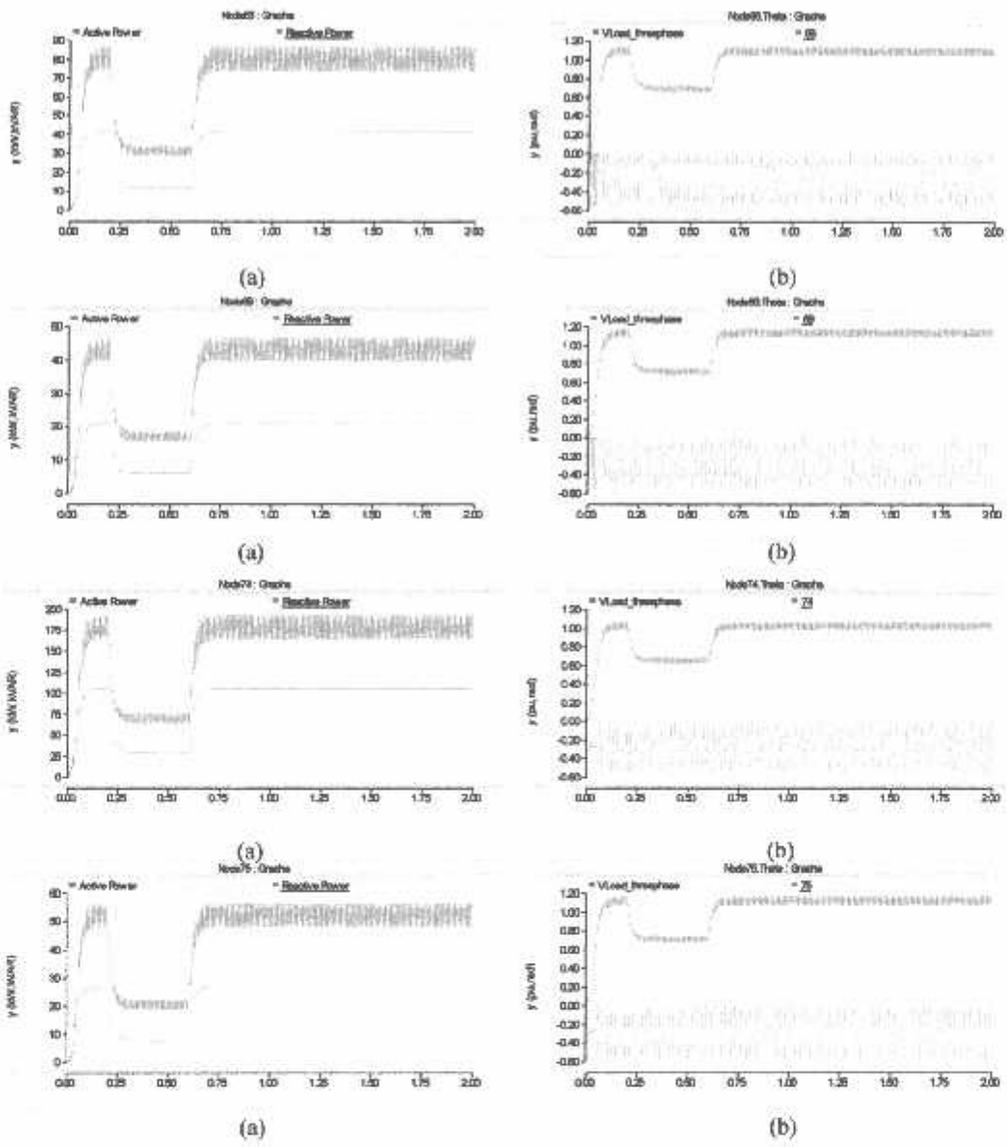
(b)



(a)

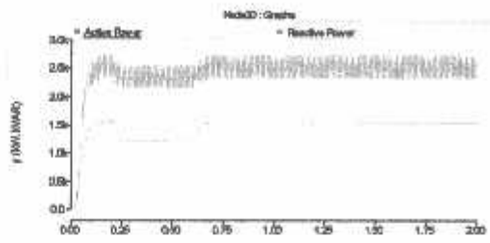


(b)

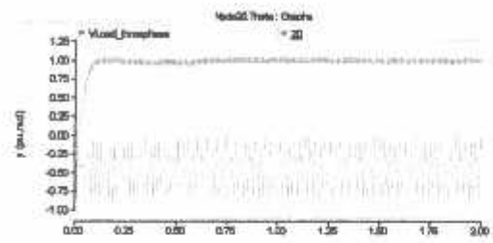


Grafik 5.1. (a) Bentuk Gelombang Daya Aktif dan Reaktif Tiap Node, (b) Bentuk Gelombang Tegangan dan Sudut Fasa Tiap Node, Pada Kondisi *Voltage Sag* Tanpa Kompensasi DSTATCOM

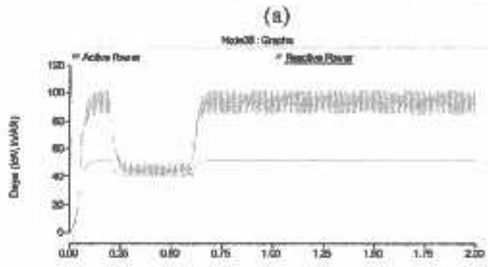
- ***Voltage Sag* Dengan Kompensasi**



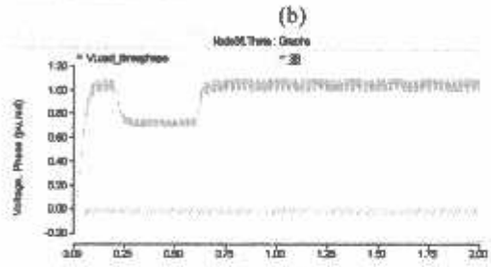
(a)



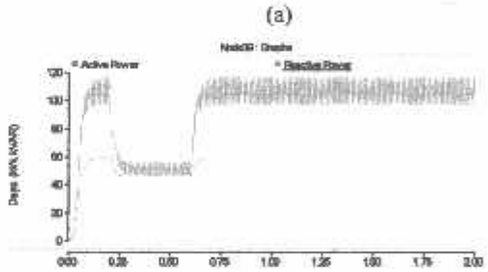
(b)



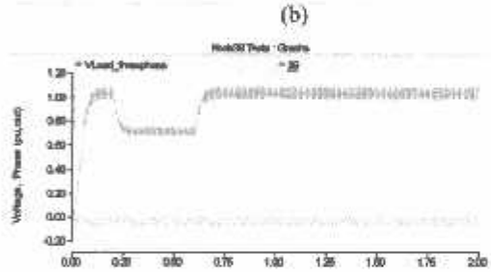
(a)



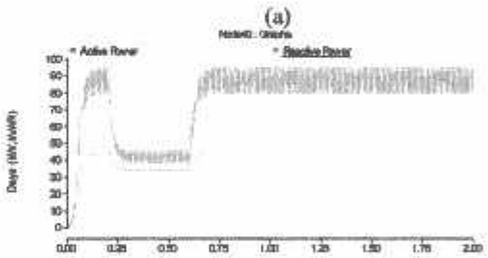
(b)



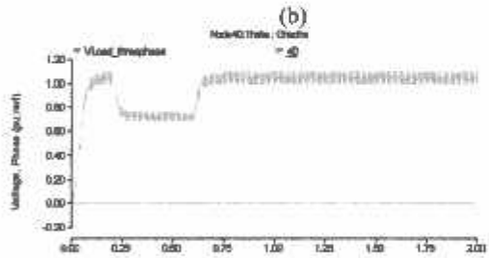
(a)



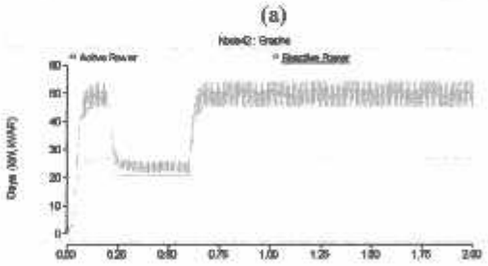
(b)



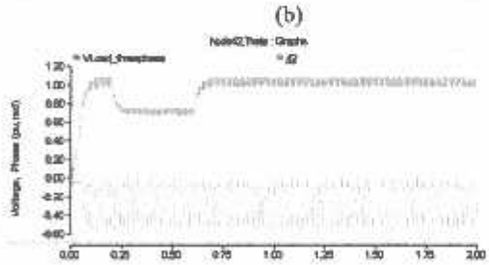
(a)



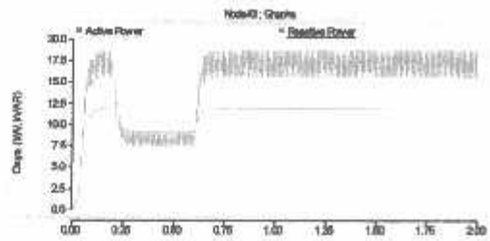
(b)



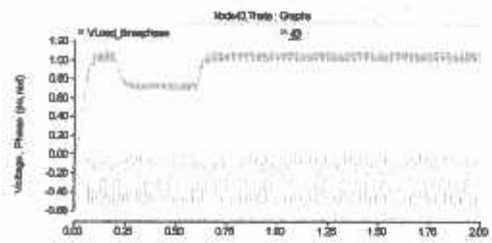
(a)



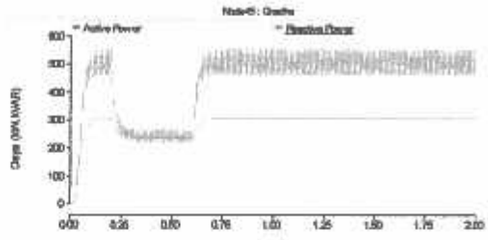
(b)



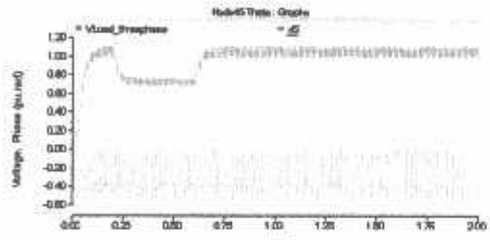
(a)



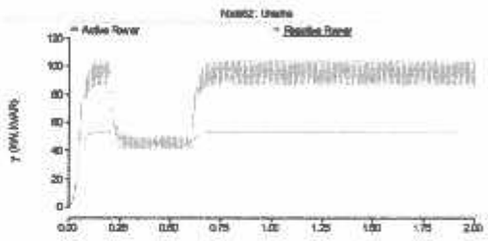
(b)



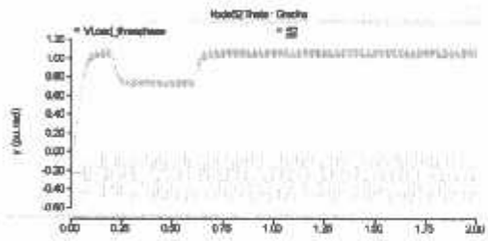
(a)



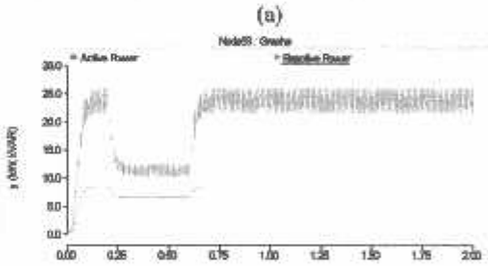
(b)



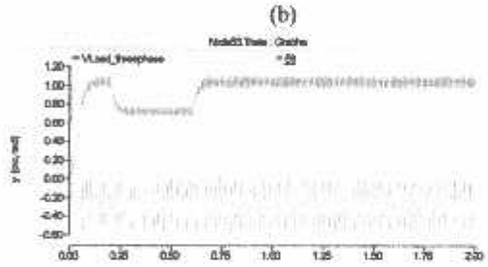
(a)



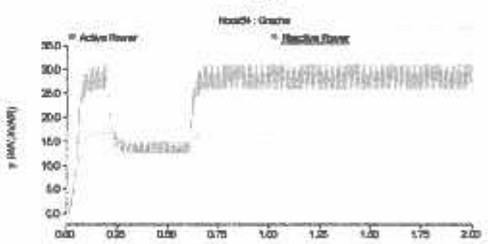
(b)



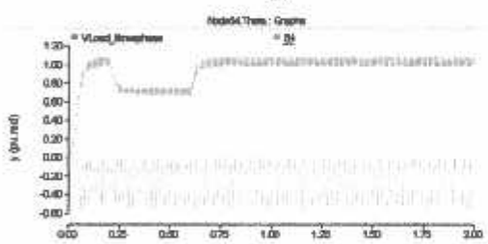
(a)



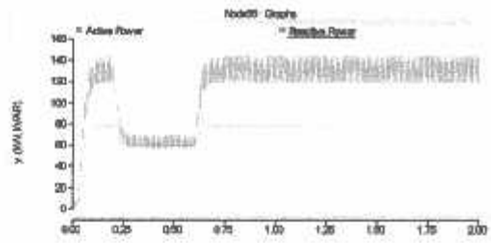
(b)



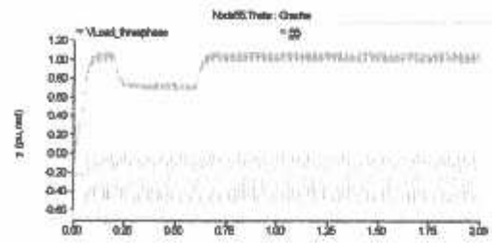
(a)



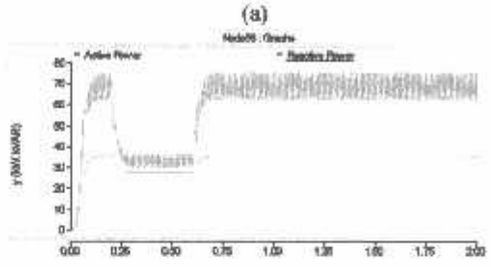
(b)


Node05 : Graphs
Active Power
Reactive Power

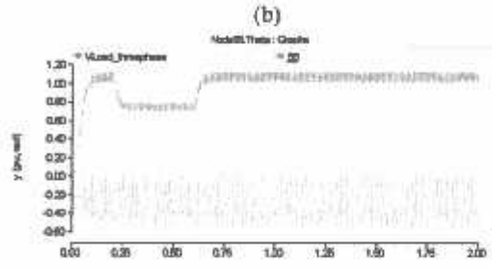
(a)


Node05Theta : Graphs
VLoad_threephase

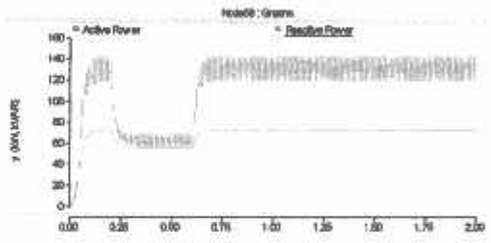
(b)


Node06 : Graphs
Active Power
Reactive Power

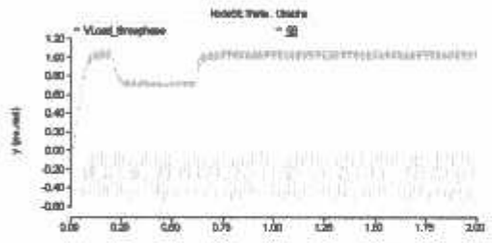
(a)


Node06Theta : Graphs
VLoad_threephase

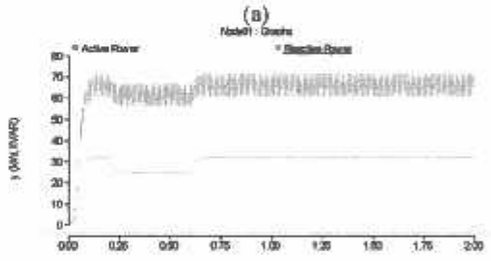
(b)


Node08 : Graphs
Active Power
Reactive Power

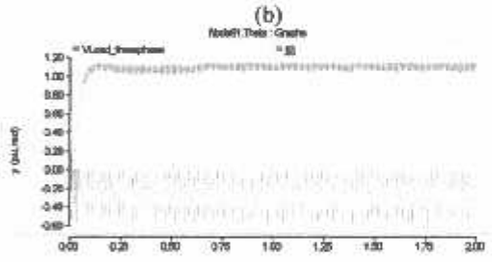
(a)


Node08Theta : Graphs
VLoad_threephase

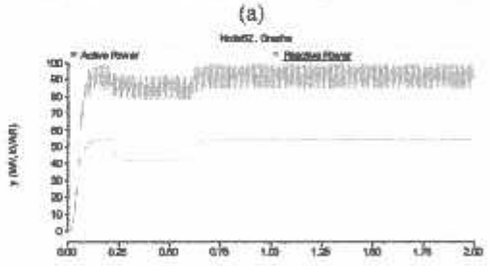
(b)


Node01 : Graphs
Active Power
Reactive Power

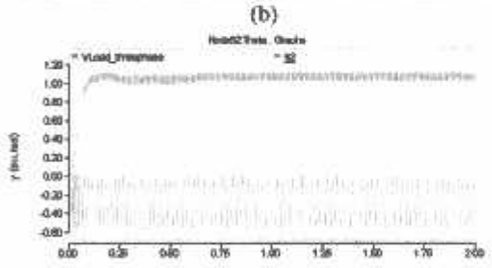
(a)


Node01Theta : Graphs
VLoad_threephase

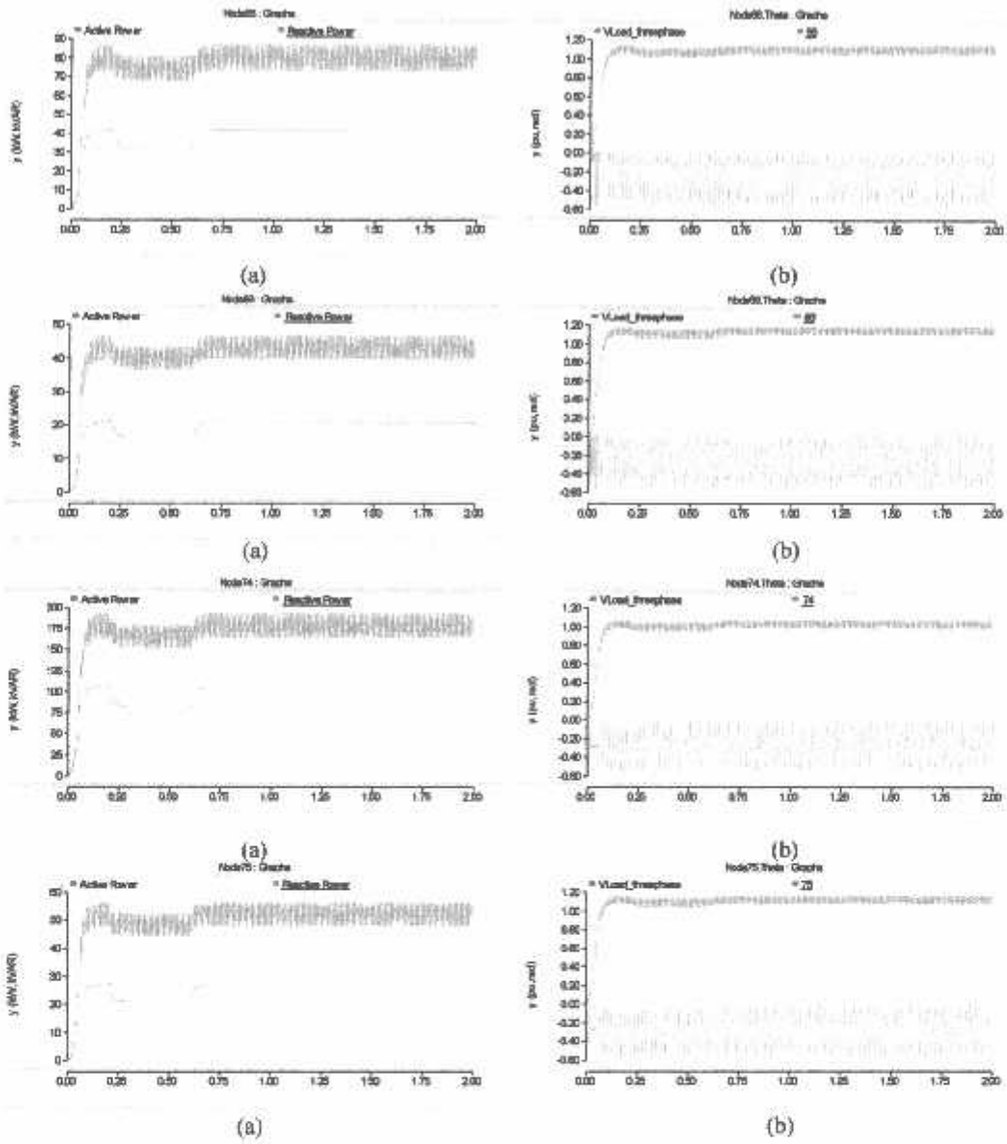
(b)


Node02 : Graphs
Active Power
Reactive Power

(a)


Node02Theta : Graphs
VLoad_threephase

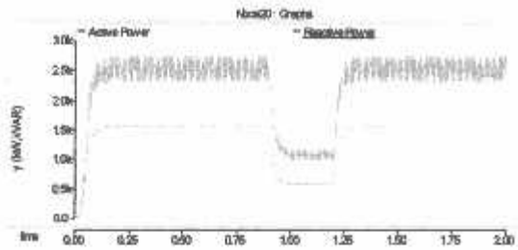
(b)



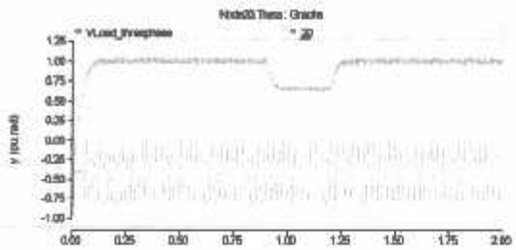
Grafik 5.2. (a) Bentuk Gelombang Daya Aktif dan Reaktif Tiap Node, (b) Bentuk Gelombang Tegangan dan Sudut Fasa Tiap Node, Pada Kondisi *Voltage Sag* Dengan Kompensasi DSTATCOM

## 3. *Voltage Swells* Tanpa Kompensasi dan Dengan Kompensasi DSTATCOM

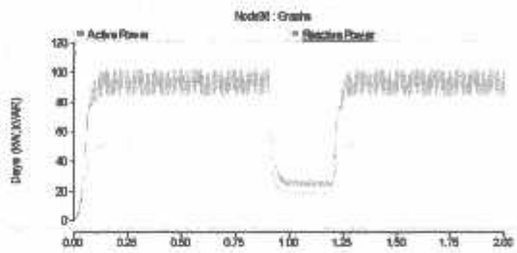
- ***Voltage Swells* Tanpa Kompensasi**



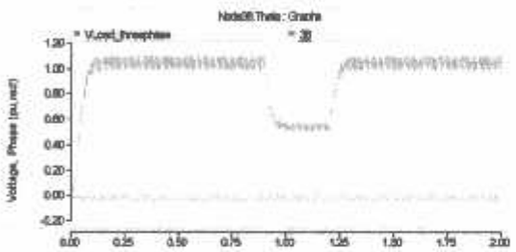
(a)



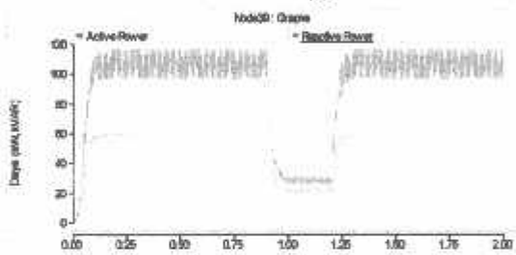
(b)



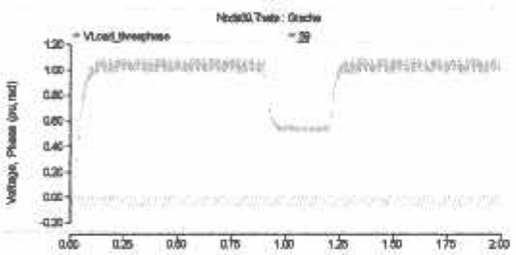
(a)



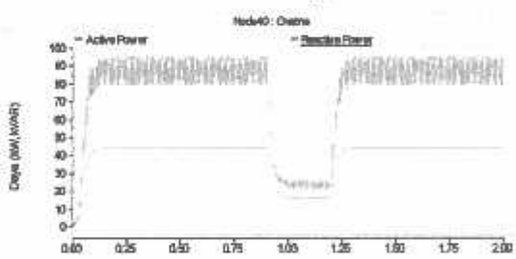
(b)



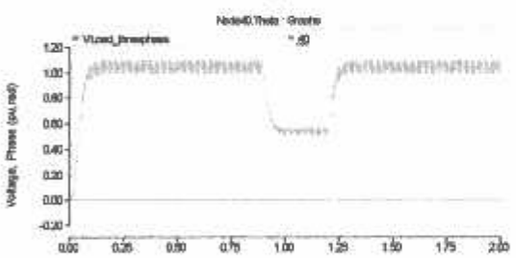
(a)



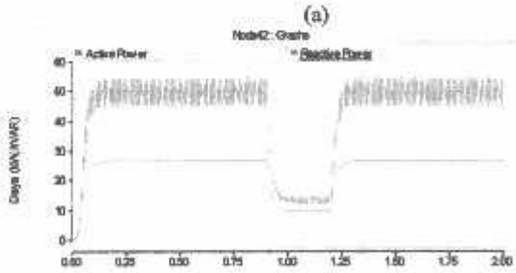
(b)



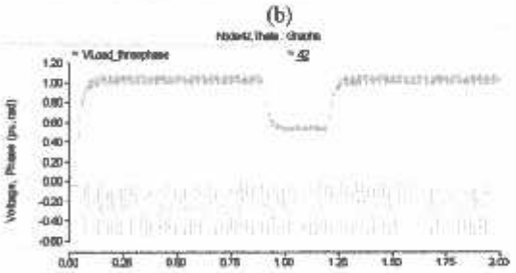
(a)



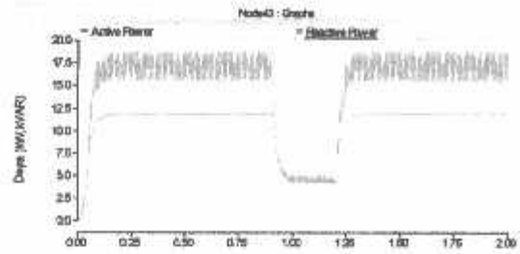
(b)



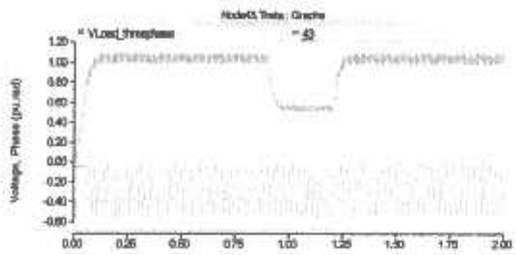
(a)



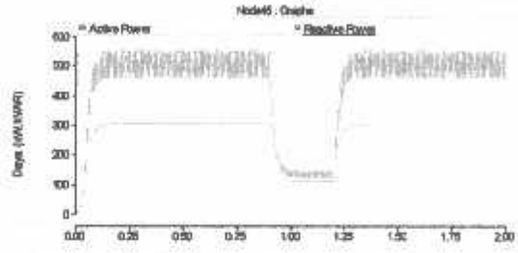
(b)


Node43 : Graphs
Active Power
Reactive Power

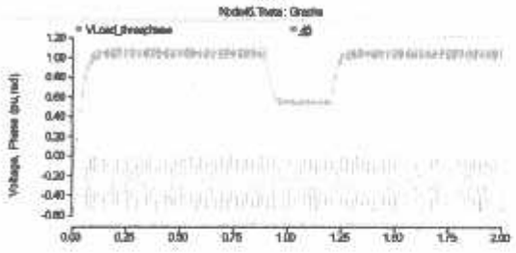
(a)


Node43.Theta : Graphs
VLoad_threephase
43

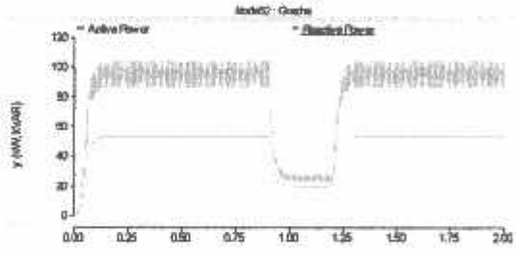
(b)


Node45 : Graphs
Active Power
Reactive Power

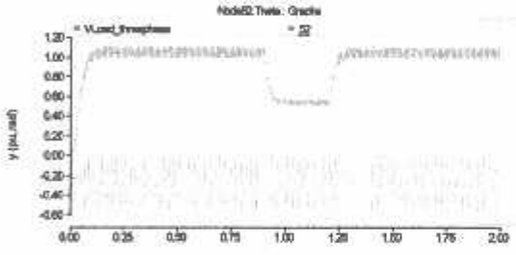
(a)


Node45.Theta : Graphs
VLoad_threephase
45

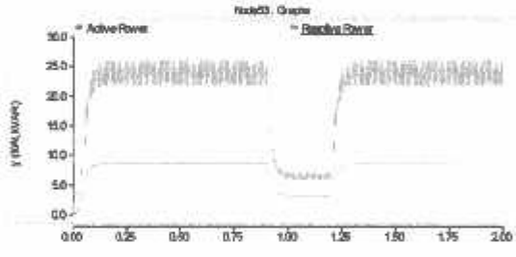
(b)


Node52 : Graphs
Active Power
Reactive Power

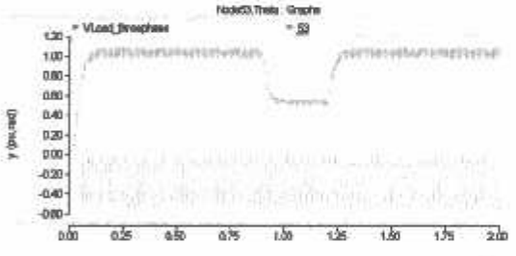
(a)


Node52.Theta : Graphs
VLoad_threephase
52

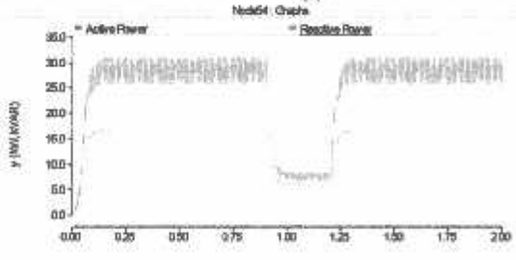
(b)


Node53 : Graphs
Active Power
Reactive Power

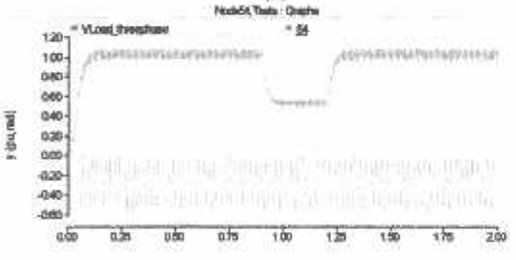
(a)


Node53.Theta : Graphs
VLoad_threephase
53

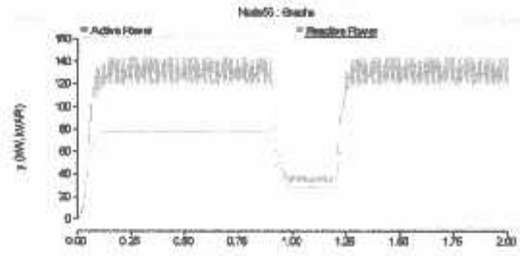
(b)


Node54 : Graphs
Active Power
Reactive Power

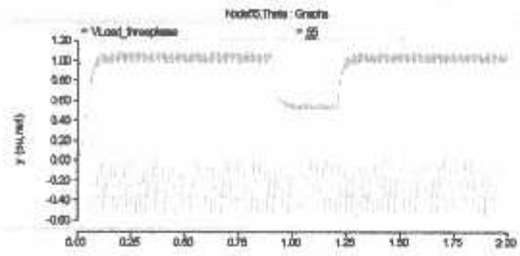
(a)


Node54.Theta : Graphs
VLoad_threephase
54

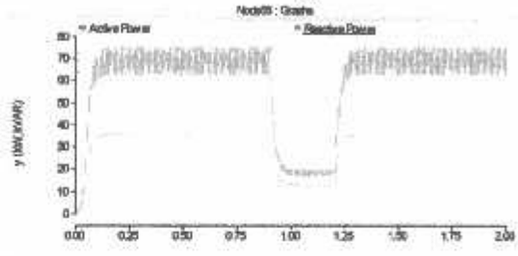
(b)



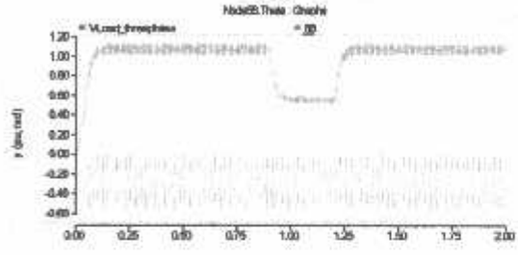
(a)



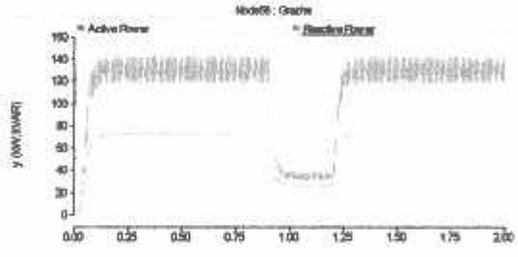
(b)



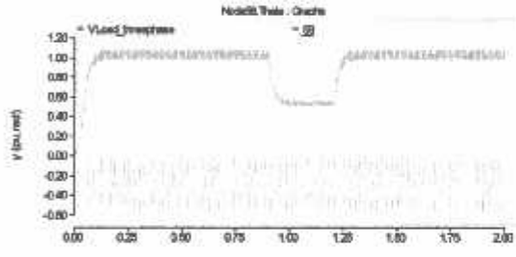
(a)



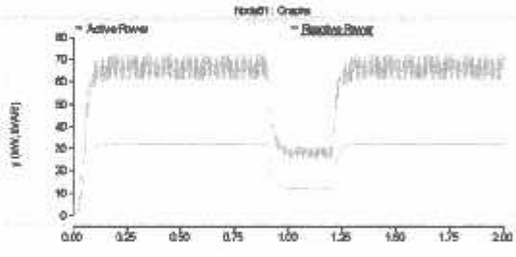
(b)



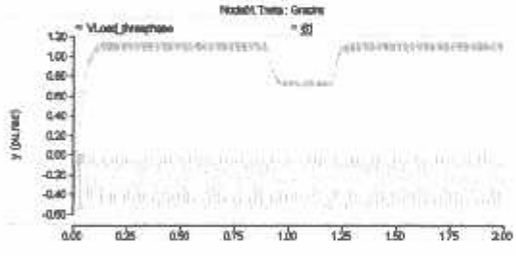
(a)



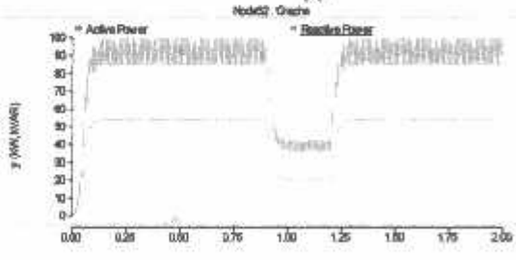
(b)



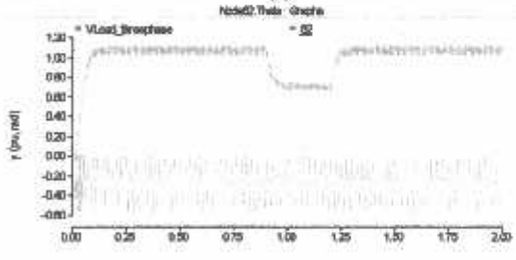
(a)



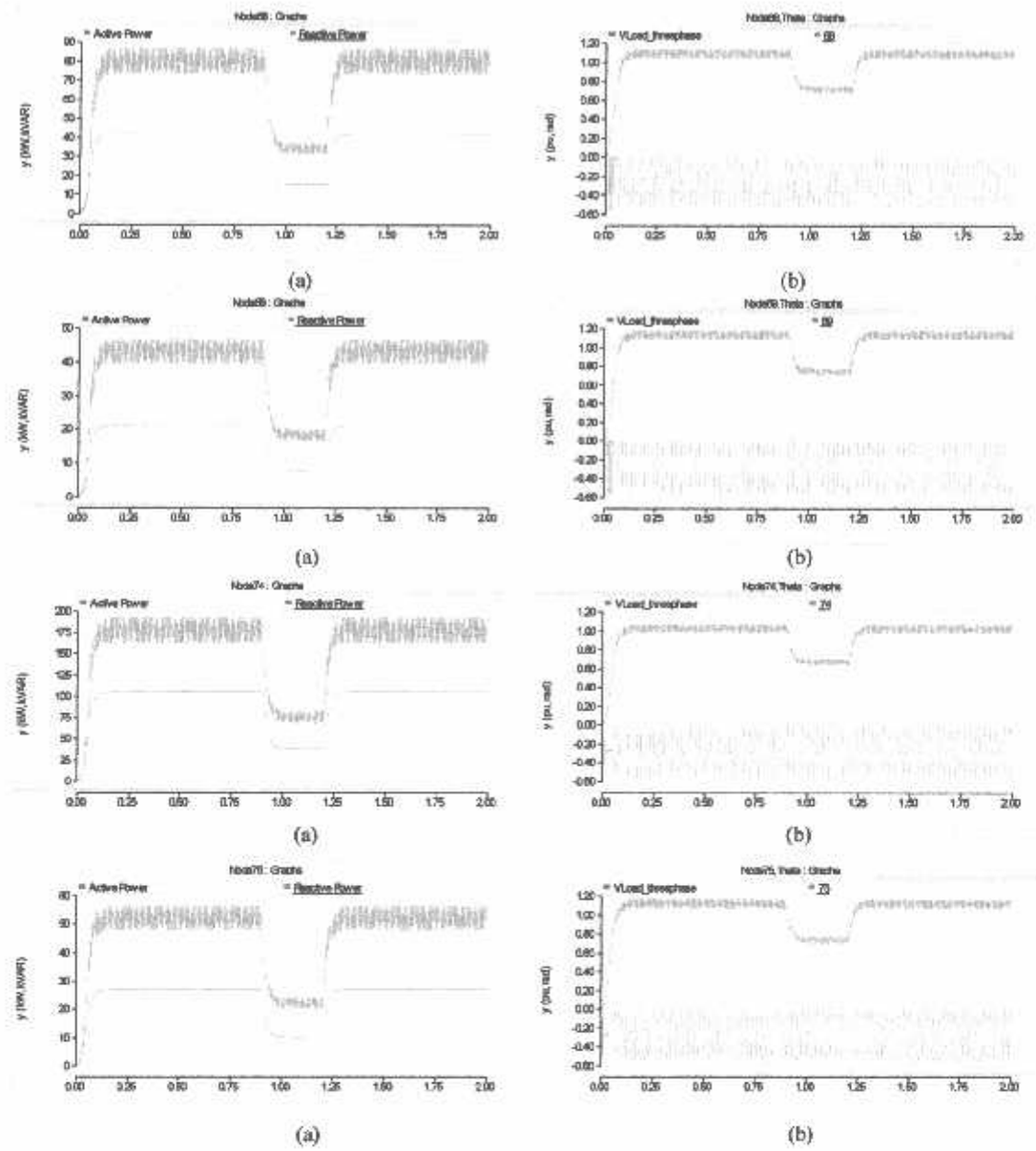
(b)



(a)

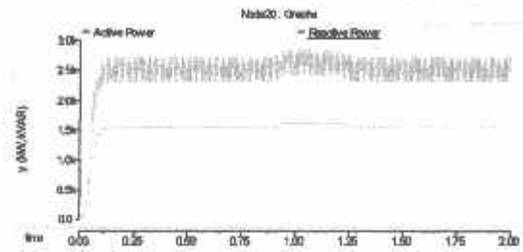


(b)

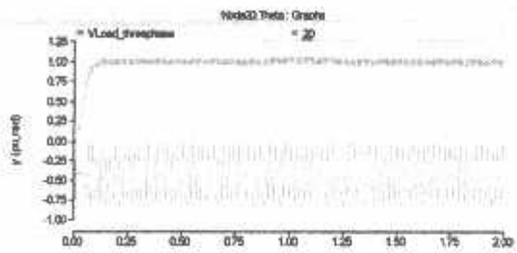



Grafik 6.1. (a) Bentuk Gelombang Daya Aktif dan Reaktif Tiap Node, (b) Bentuk Gelombang Tegangan dan Sudut Fasa Tiap Node, Pada Kondisi *Voltage Swells* Tanpa Kompensasi DSTATCOM

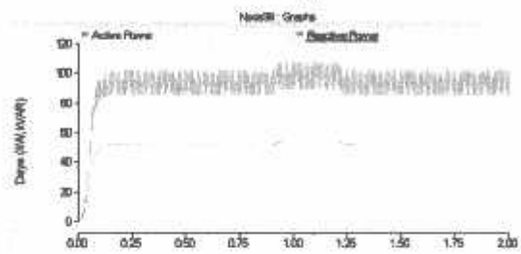
- ***Voltage Swells* Dengan Kompensasi**



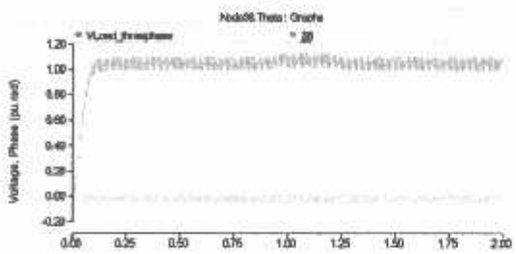

(a)



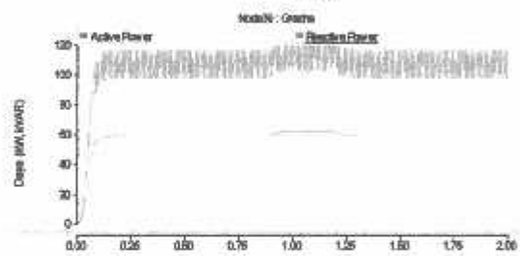

(b)



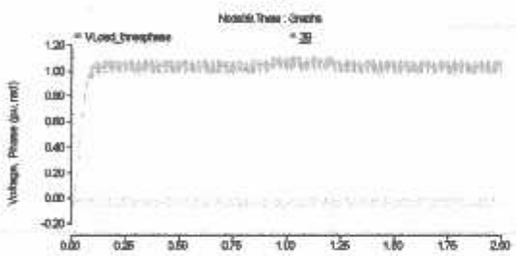

(a)



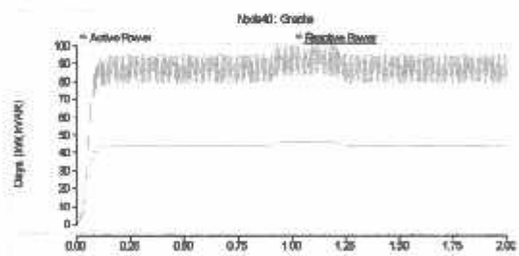

(b)



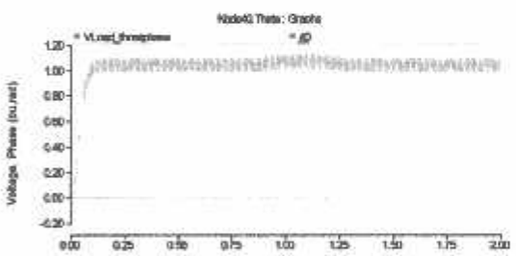

(a)



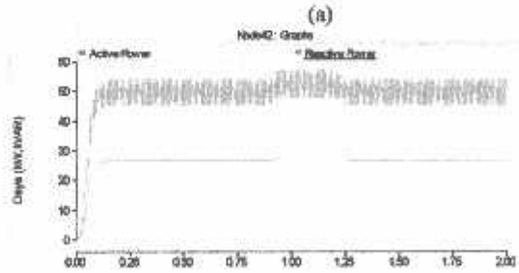

(b)



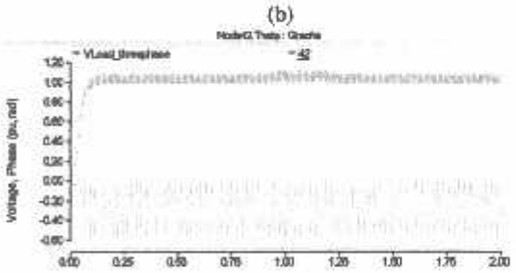

(a)



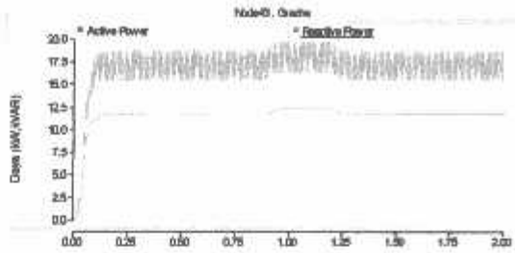

(b)



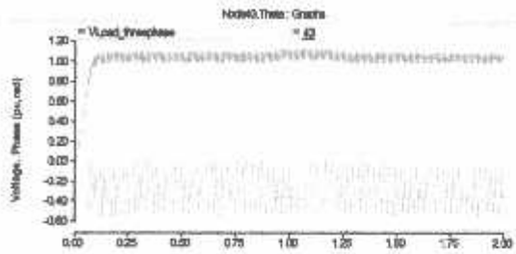

(a)



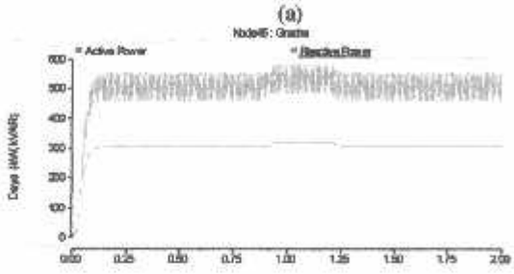

(b)


Node49: Graphs
Active Power
Reactive Power
Data (kW,kVAR)

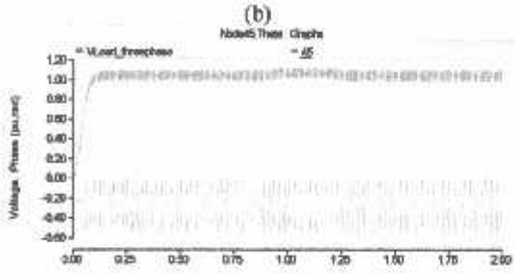
(a)


Node49,Theta: Graphs
VLoad_threephase
49
Voltage, Phase (pu,rad)

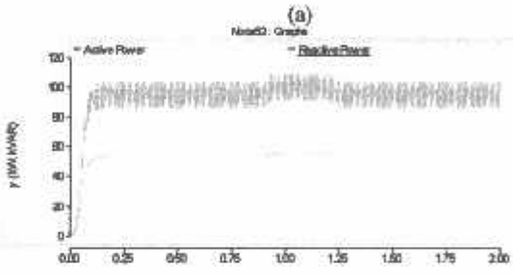
(b)


Node45: Graphs
Active Power
Reactive Power
Data (kW,kVAR)

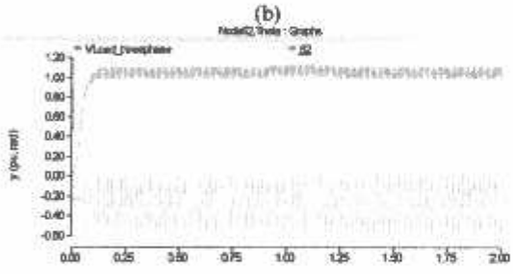
(a)


Node45,Theta: Graphs
VLoad_threephase
45
Voltage, Phase (pu,rad)

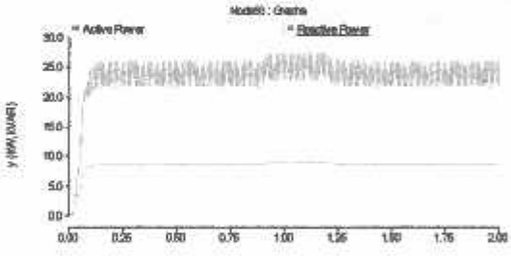
(b)


Node52: Graphs
Active Power
Reactive Power
y (kW,kVAR)

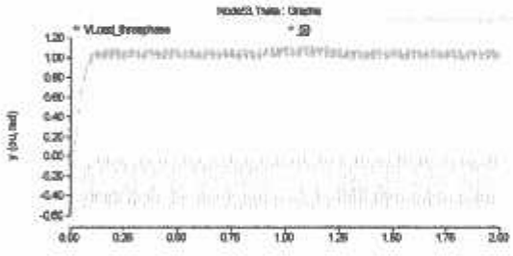
(a)


Node52,Theta: Graphs
VLoad_threephase
52
y (pu,rad)

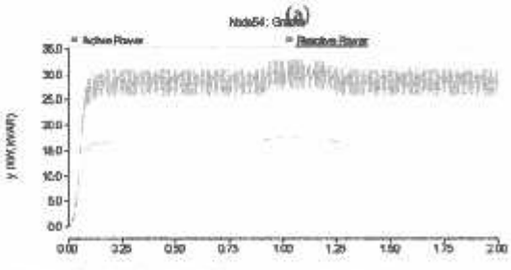
(b)


Node53: Graphs
Active Power
Reactive Power
y (kW,kVAR)

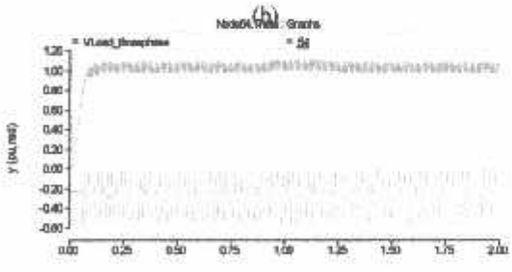
(a)


Node53,Theta: Graphs
VLoad_threephase
53
y (pu,rad)

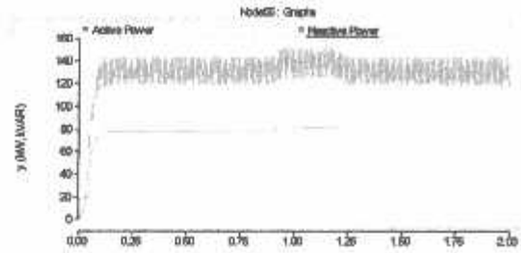
(b)


Node54: Graphs
Active Power
Reactive Power
y (kW,kVAR)

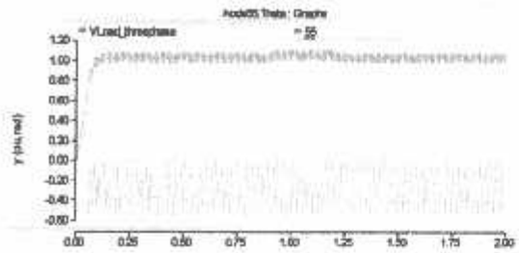
(a)


Node54,Theta: Graphs
VLoad_threephase
54
y (pu,rad)

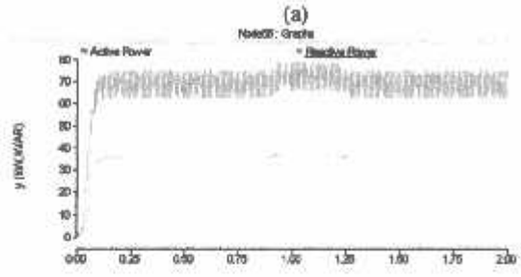
(b)



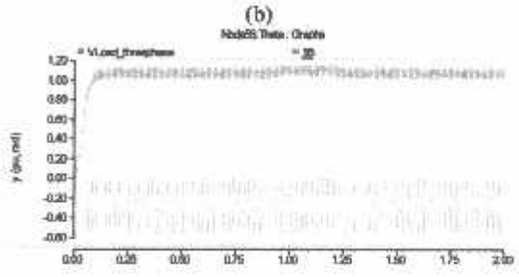
(a)



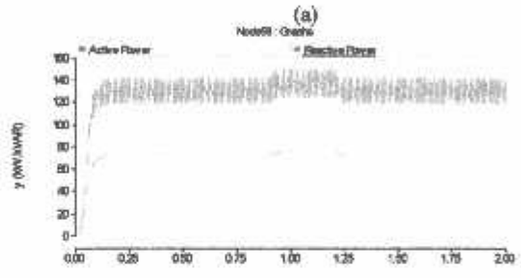
(b)



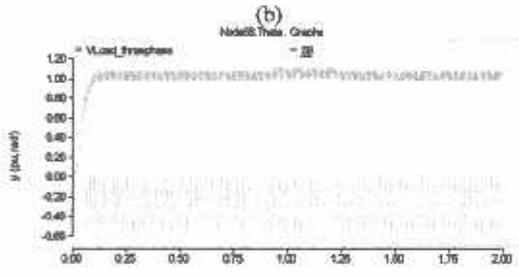
(a)



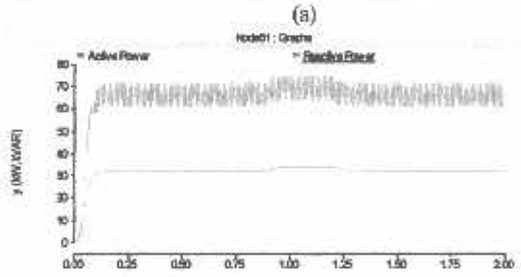
(b)



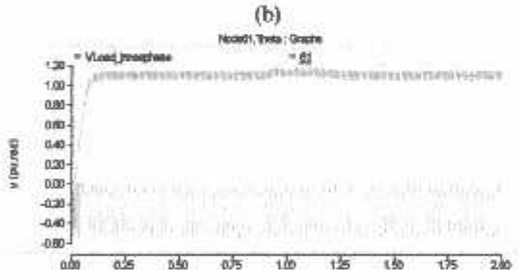
(a)



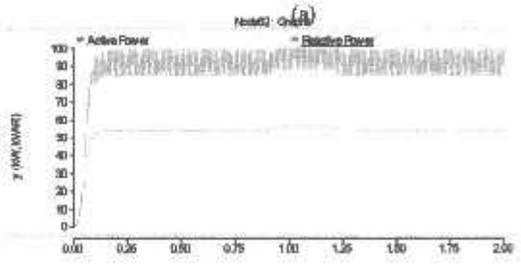
(b)



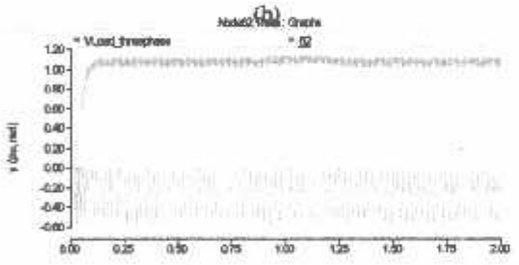
(a)



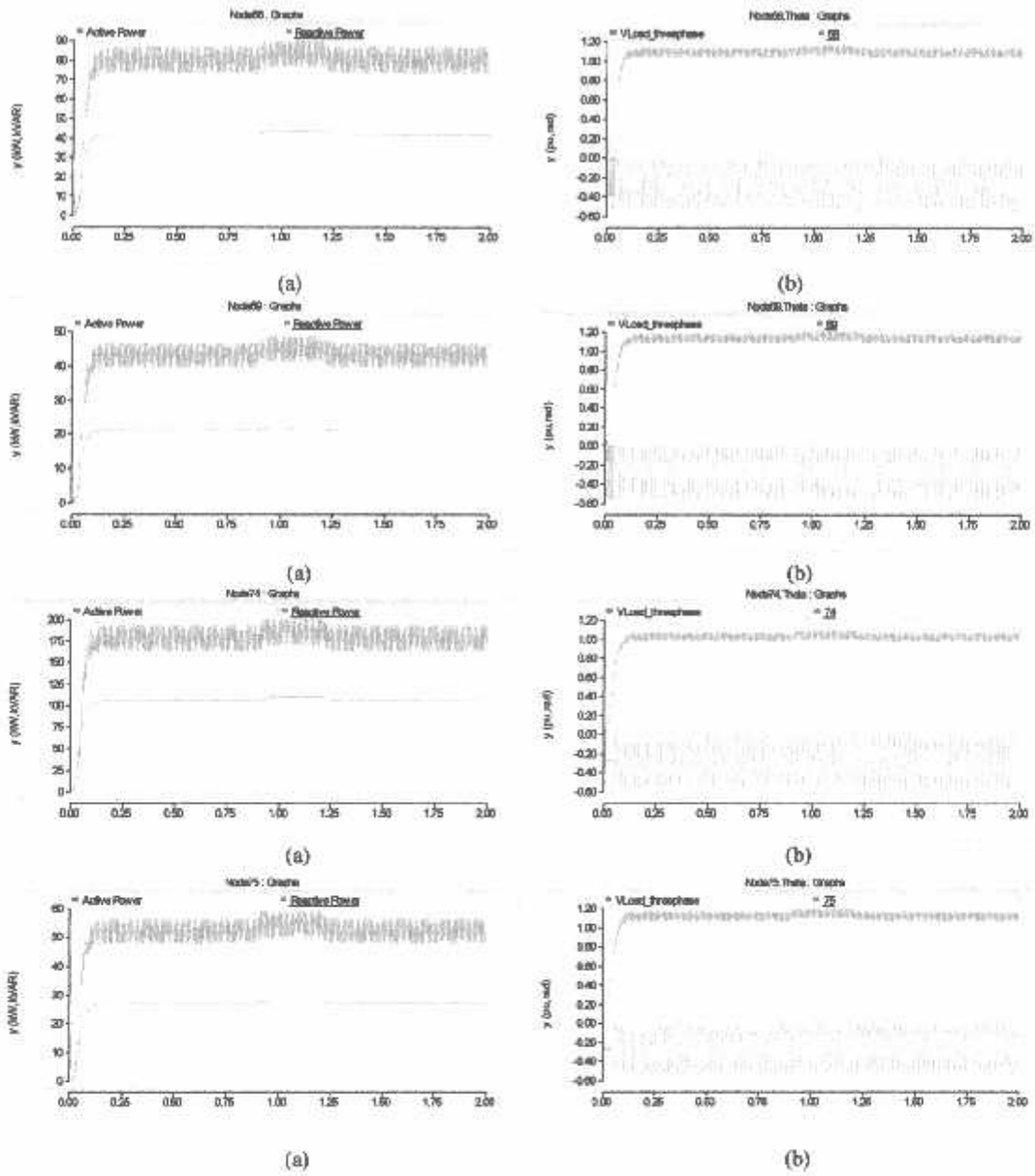
(b)



(a)



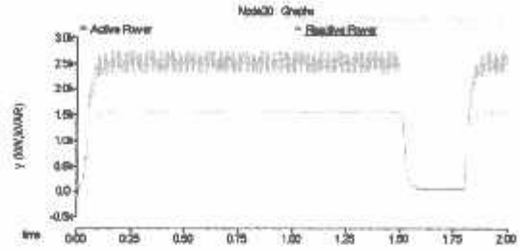
(b)



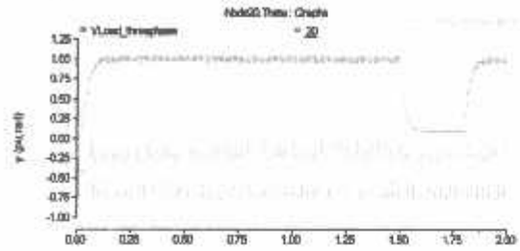

Grafik 6.2. (a) Bentuk Gelombang Daya Aktif dan Reaktif Tiap Node, (b) Bentuk Gelombang Tegangan dan Sudut Fasa Tiap Node, Pada Kondisi *Voltage Swells* Dengan Kompensasi DSTATCOM

## 4. *Three Phase Symmetrical Fault* Tanpa Kompensasi dan Dengan Kompensasi DVR

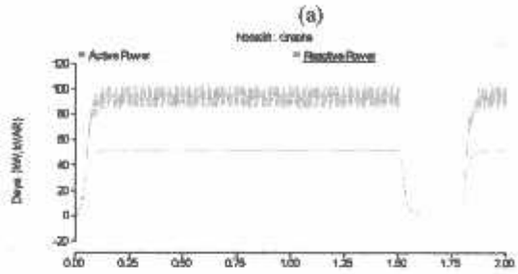
- ***Three Phase Symmetrical Fault*** **Tanpa Kompensasi**



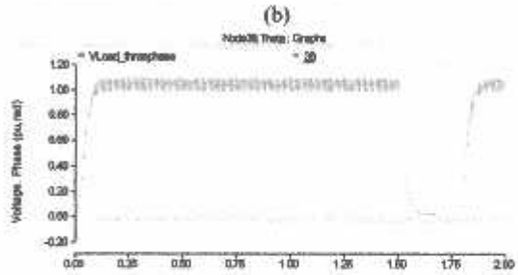

(a)



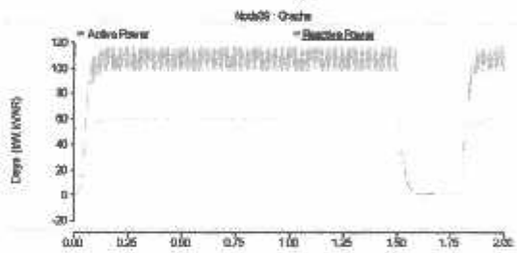

(b)



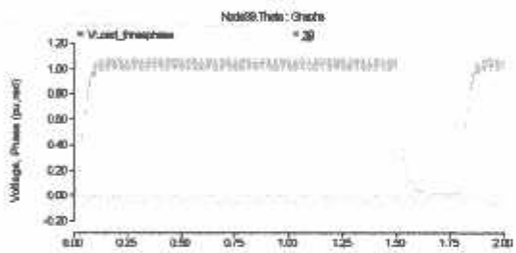

(a)



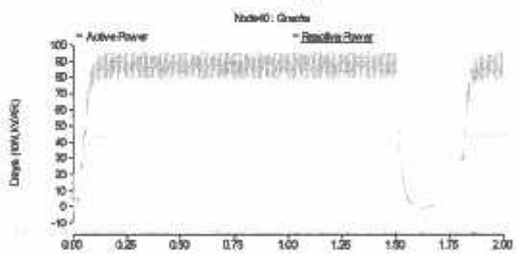

(b)



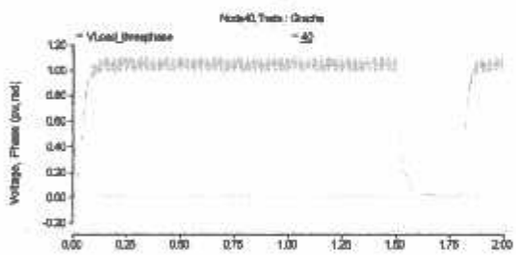

(a)



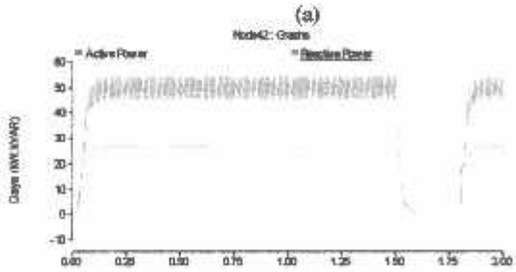

(b)



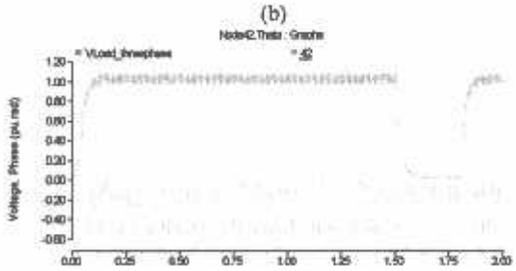

(a)



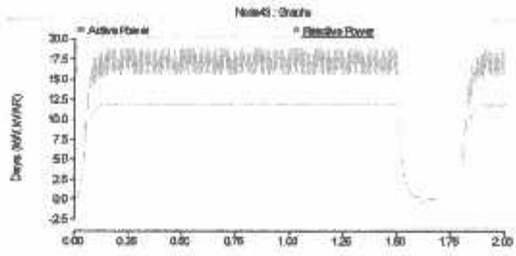

(b)



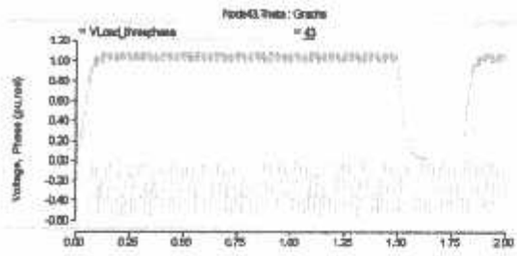

(a)



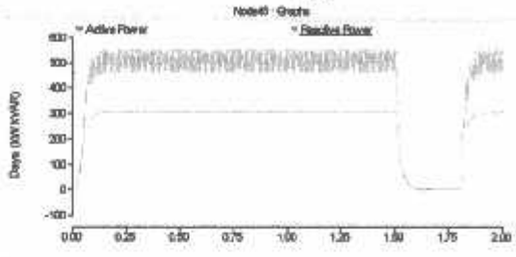

(b)



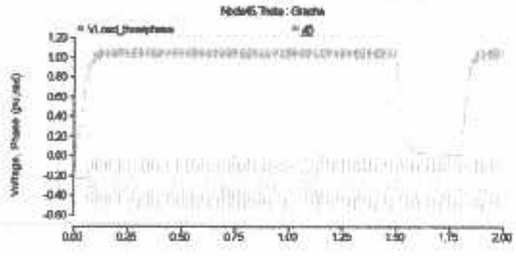
(a)



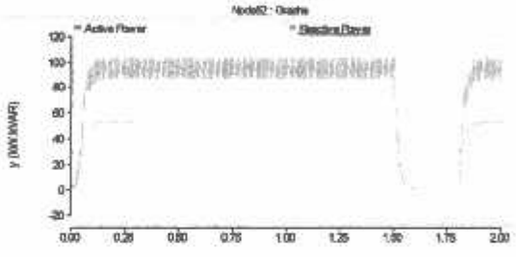
(b)



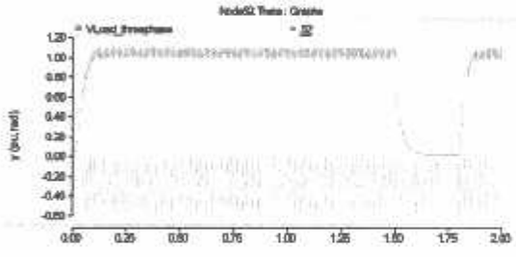
(a)



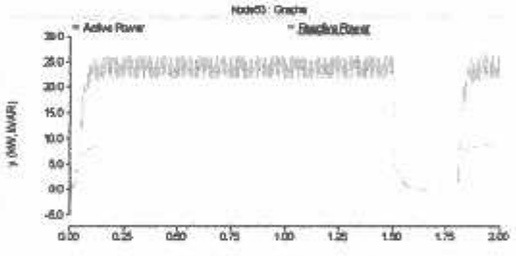
(b)



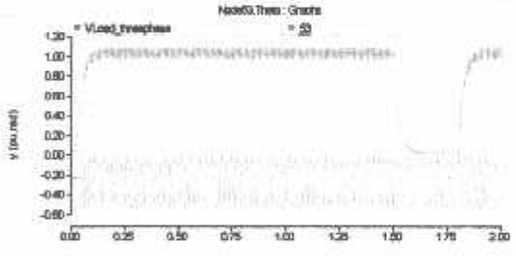
(a)



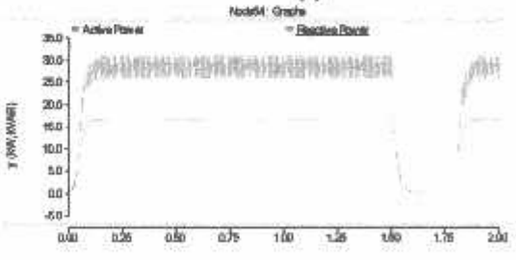
(b)



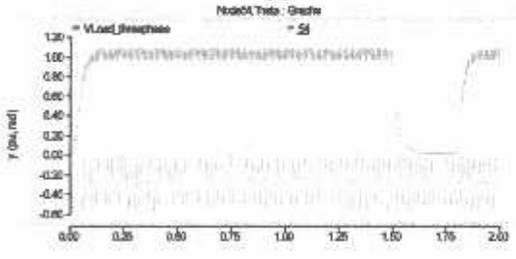
(a)



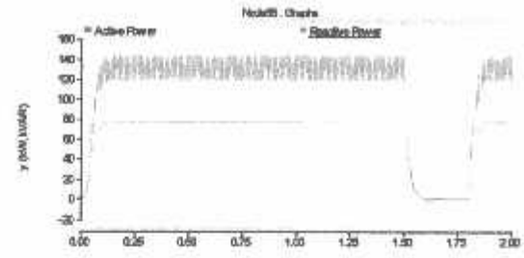
(b)



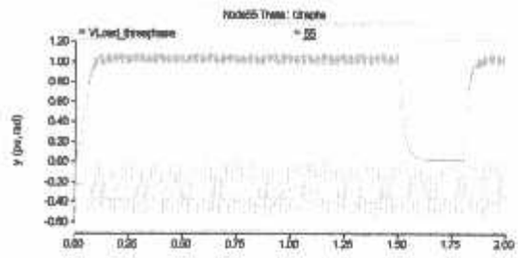
(a)



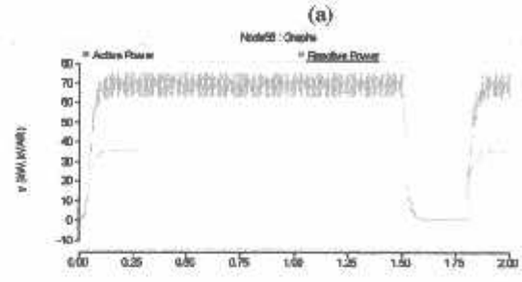
(b)


Node55 : Graphs
Active Power
Reactive Power

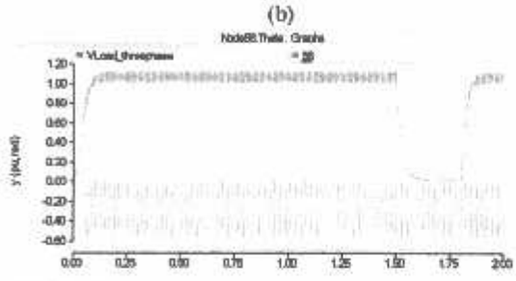
(a)


Node55 Theta : Graphs
VLoad_threephase
55

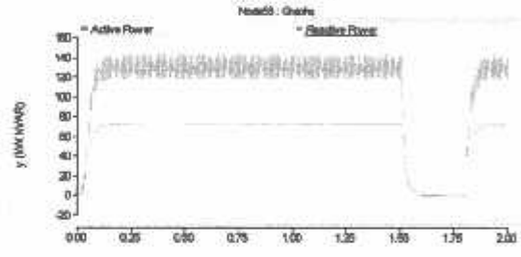
(b)


Node58 : Graphs
Active Power
Reactive Power

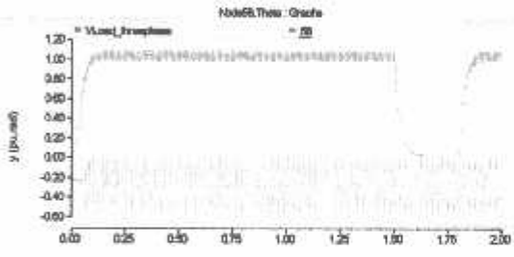
(a)


Node58 Theta : Graphs
VLoad_threephase
58

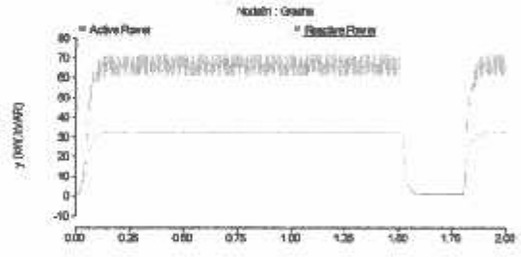
(b)


Node59 : Graphs
Active Power
Reactive Power

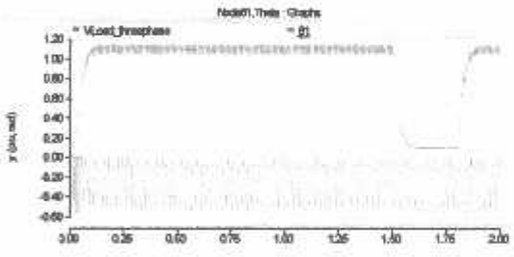
(a)


Node59 Theta : Graphs
VLoad_threephase
59

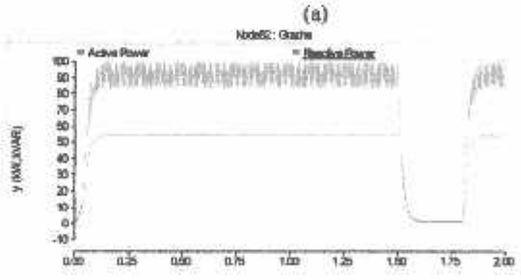
(b)


Node61 : Graphs
Active Power
Reactive Power

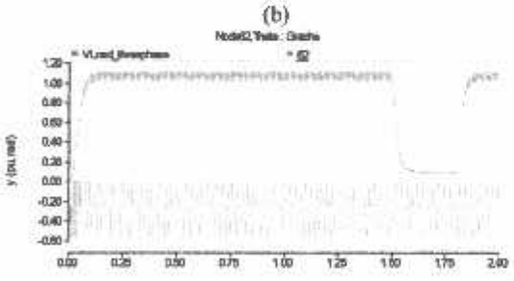
(a)


Node61 Theta : Graphs
VLoad_threephase
61

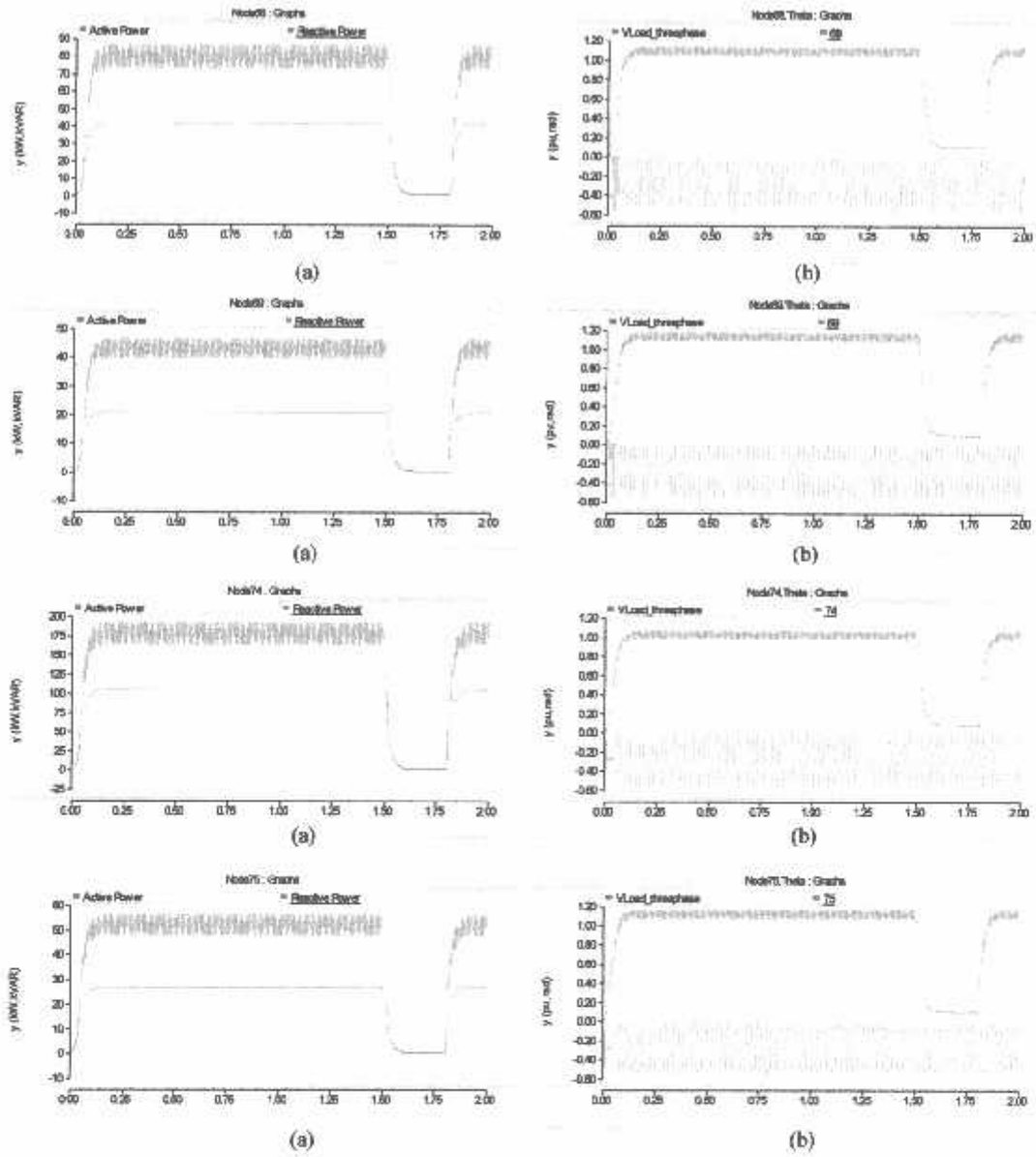
(b)


Node62 : Graphs
Active Power
Reactive Power

(a)

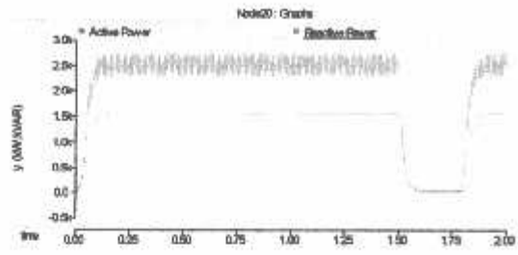

Node62 Theta : Graphs
VLoad_threephase
62

(b)

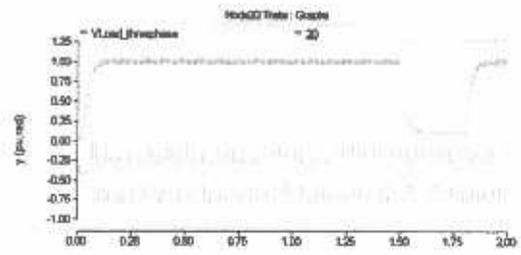


Grafik 7.1. (a) Bentuk Gelombang Daya Aktif dan Reaktif Tiap Node, (b) Bentuk Gelombang Tegangan dan Sudut Fasa Tiap Node, Pada Kondisi *Three Phase Symmetrical Fault* Tanpa Kompensasi DVR

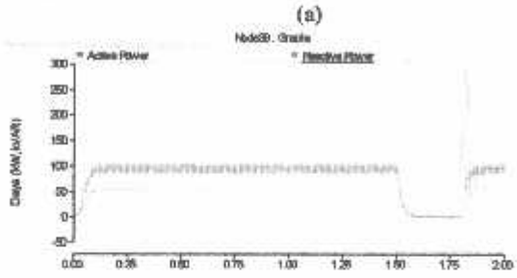
- ***Three Phase Symmetrical Fault* Dengan Kompensasi**



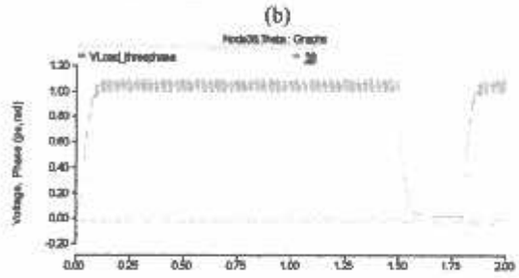

(a)



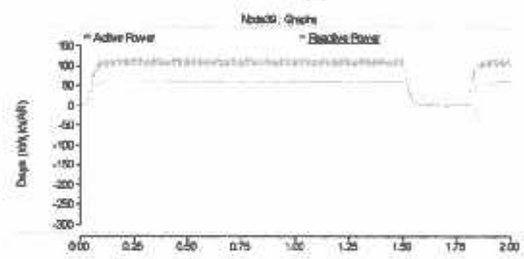

(b)



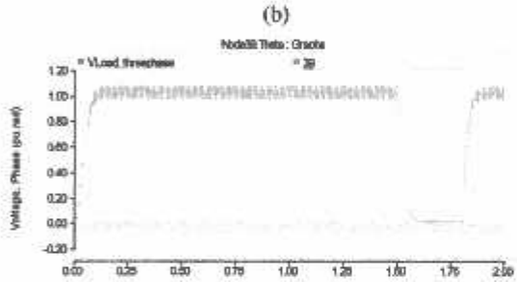

(a)



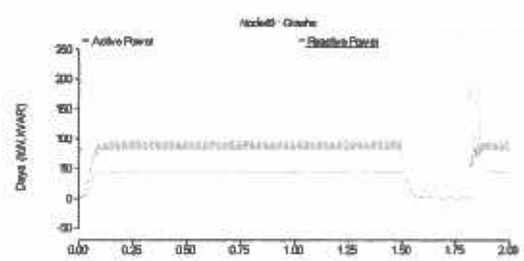

(b)



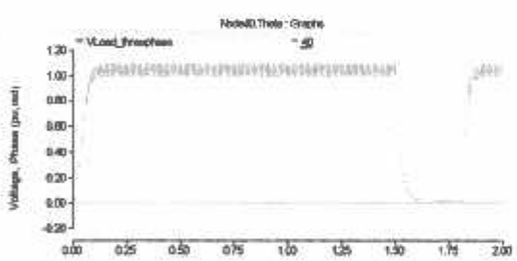

(a)



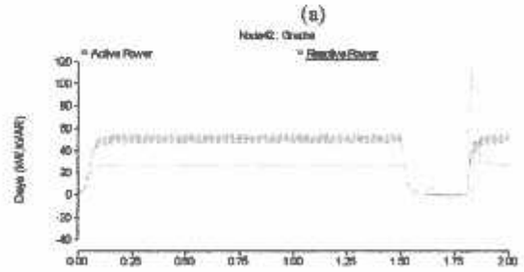

(b)



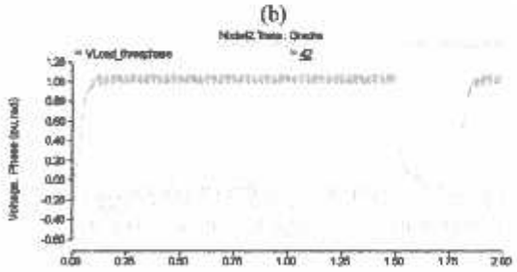

(a)



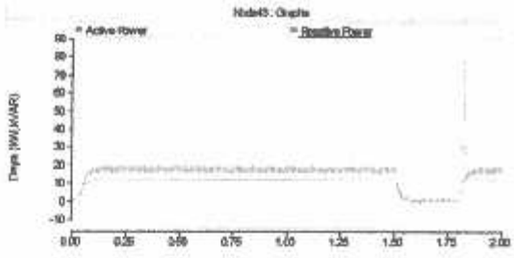

(b)



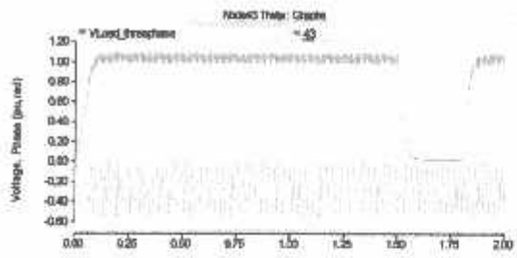

(a)



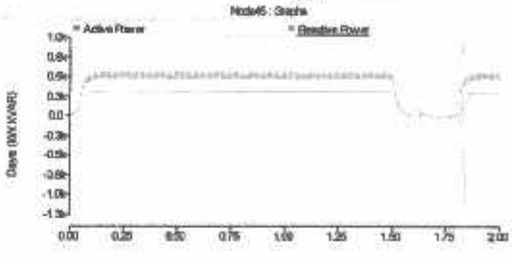

(b)


Node45 : Graphs
Active Power
Reactive Power

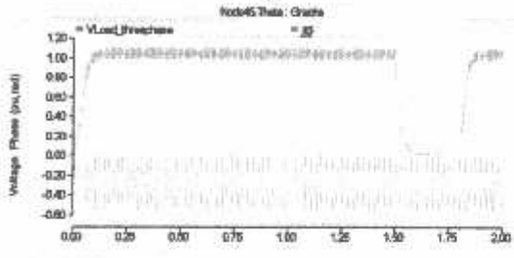
(a)


Node45 Theta : Graphs
VLoad_threephase
45

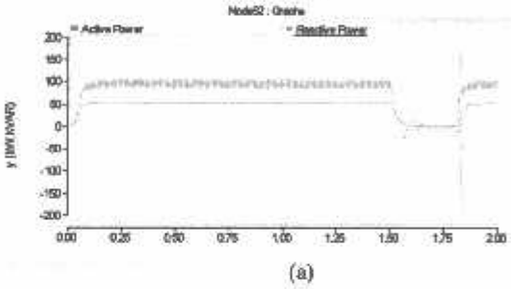
(b)


Node46 : Graphs
Active Power
Reactive Power

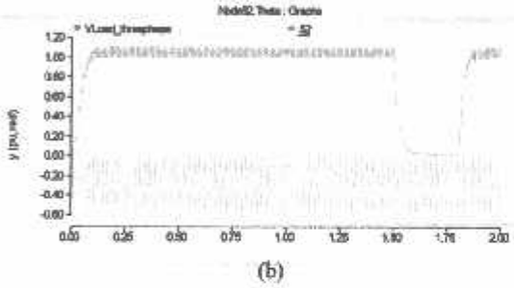
(a)


Node46 Theta : Graphs
VLoad_threephase
46

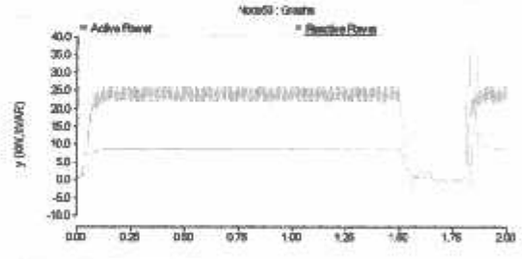
(b)


Node52 : Graphs
Active Power
Reactive Power

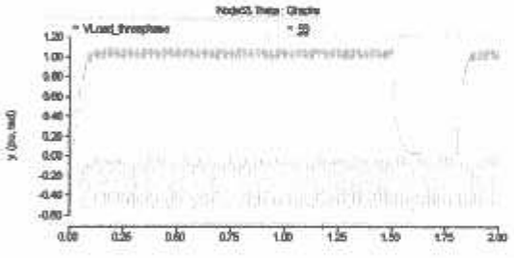
(a)


Node52 Theta : Graphs
VLoad_threephase
52

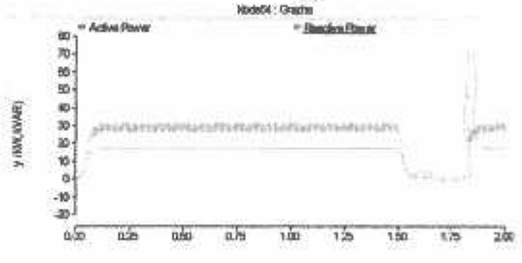
(b)


Node53 : Graphs
Active Power
Reactive Power

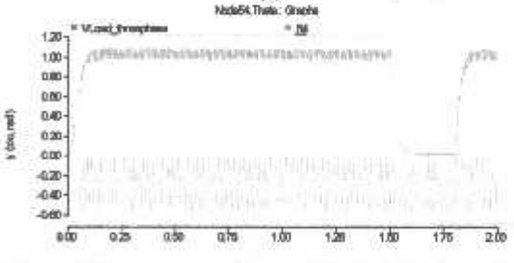
(a)


Node53 Theta : Graphs
VLoad_threephase
53

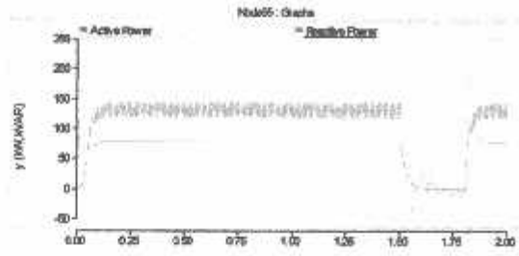
(b)


Node54 : Graphs
Active Power
Reactive Power

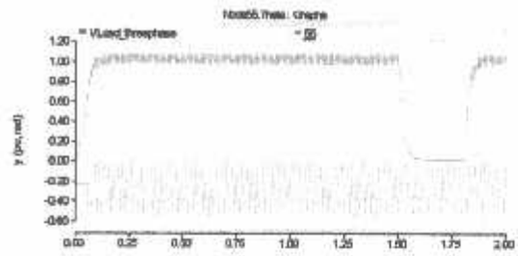
(a)


Node54 Theta : Graphs
VLoad_threephase
54

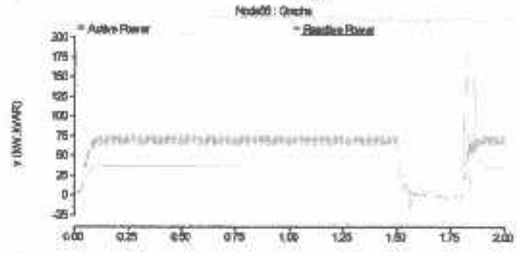
(b)


Node55 : Graphs
Active Power
Reactive Power
y (MW,MVAR)

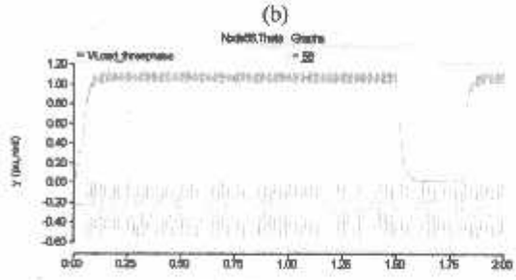
(a)


Node55.Theta : Graphs
VLoad_threephase
55
y (pu,rad)

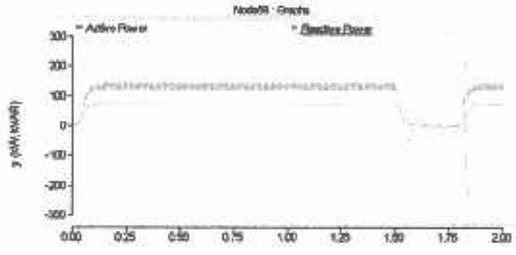
(b)


Node56 : Graphs
Active Power
Reactive Power
y (MW,MVAR)

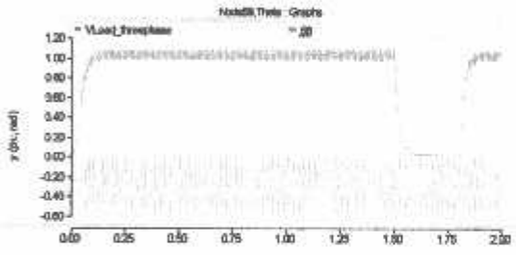
(a)


Node56.Theta : Graphs
VLoad_threephase
56
y (pu,rad)

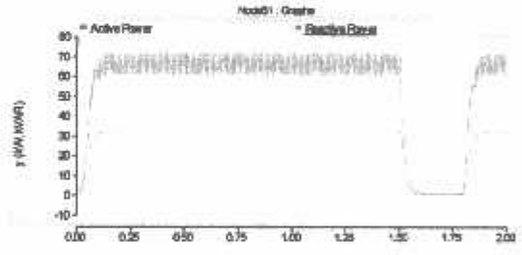
(b)


Node58 : Graphs
Active Power
Reactive Power
y (MW,MVAR)

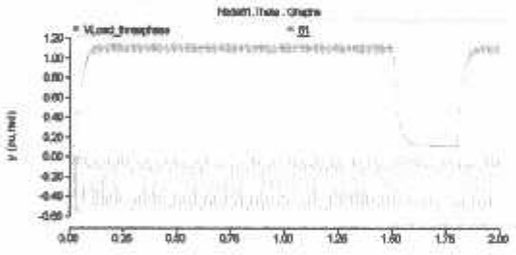
(a)


Node58.Theta : Graphs
VLoad_threephase
58
y (pu, rad)

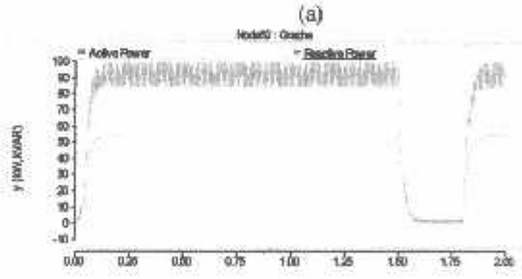
(b)


Node61 : Graphs
Active Power
Reactive Power
y (MW,MVAR)

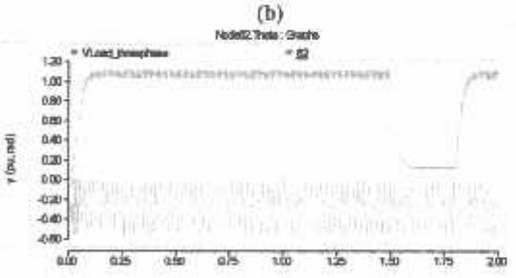
(a)


Node61.Theta : Graphs
VLoad_threephase
61
y (pu,rad)

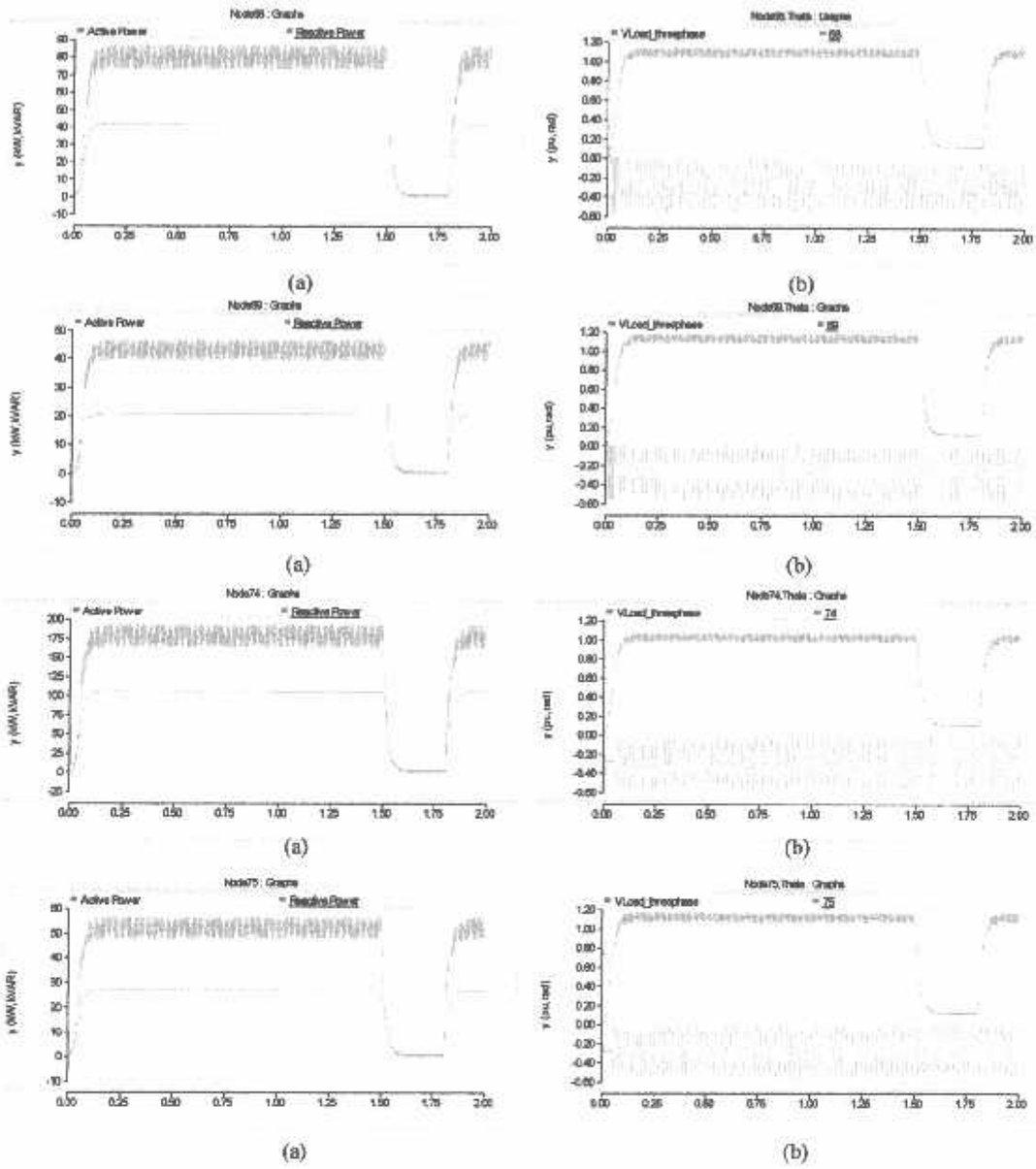
(b)


Node62 : Graphs
Active Power
Reactive Power
y (MW,MVAR)

(a)

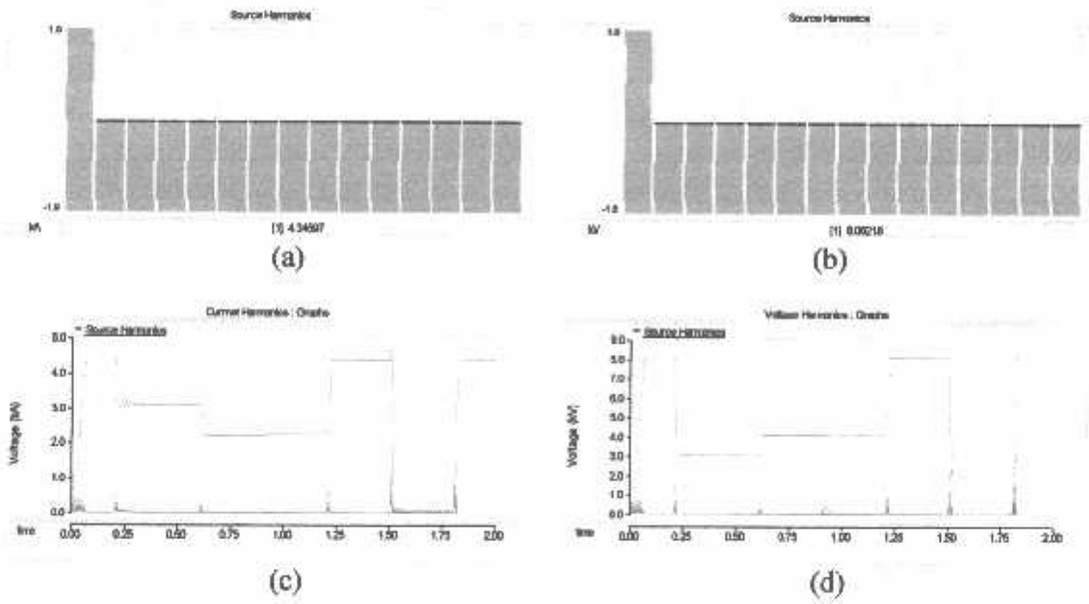

Node62.Theta : Graphs
VLoad_threephase
62
y (pu,rad)

(b)

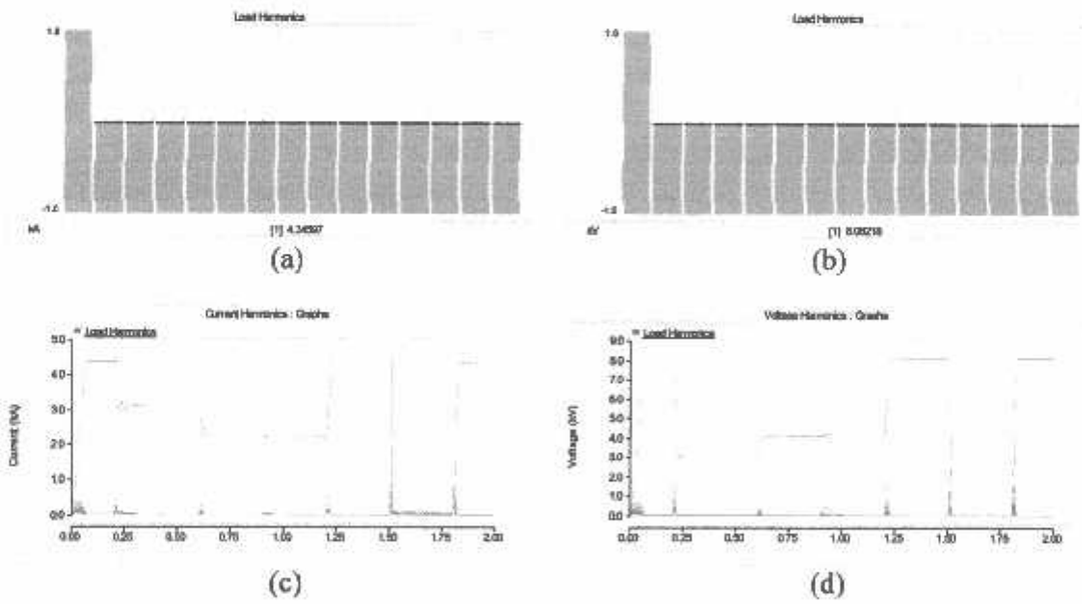



Grafik 7.2. (a) Bentuk Gelombang Daya Aktif dan Reaktif Tiap Node, (b) Bentuk Gelombang Tegangan dan Sudut Fasa Tiap Node, Pada Kondisi *Three Phase Symmetrical Fault* dengan Kompensasi DVR

- **Harmonik Pada Penyulang Dinoyo Dengan Kompensasi UCPC**



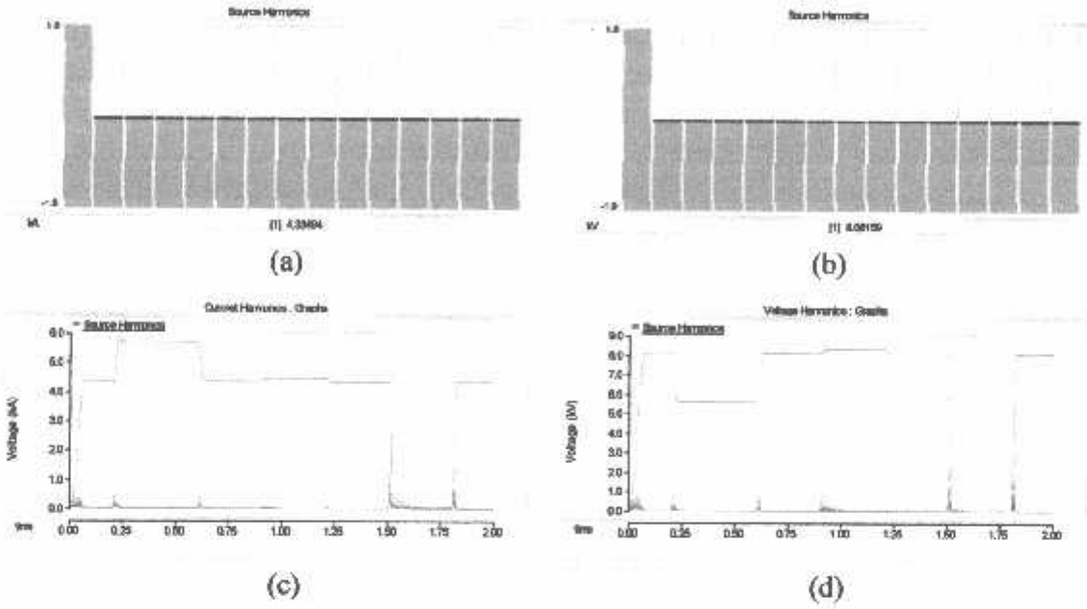

Grafik 8.3. (a) & (b) Frekuensi Bar Harmonik Arus dan Tegangan Sumber, (c) & (d) Frekuensi Harmonik Arus dan Tegangan Sumber Pada Tiap Orde, Dengan Kompensasi UCPC




Grafik 8.4. (a) & (b) Frekuensi Bar Harmonik Arus dan Tegangan Beban, (c) & (d) Frekuensi Harmonik Arus dan Tegangan Beban Pada Tiap Orde, Dengan Kompensasi UCPC

## 5. Harmonik Tanpa Kompensasi dan Dengan Kompensasi UCPC

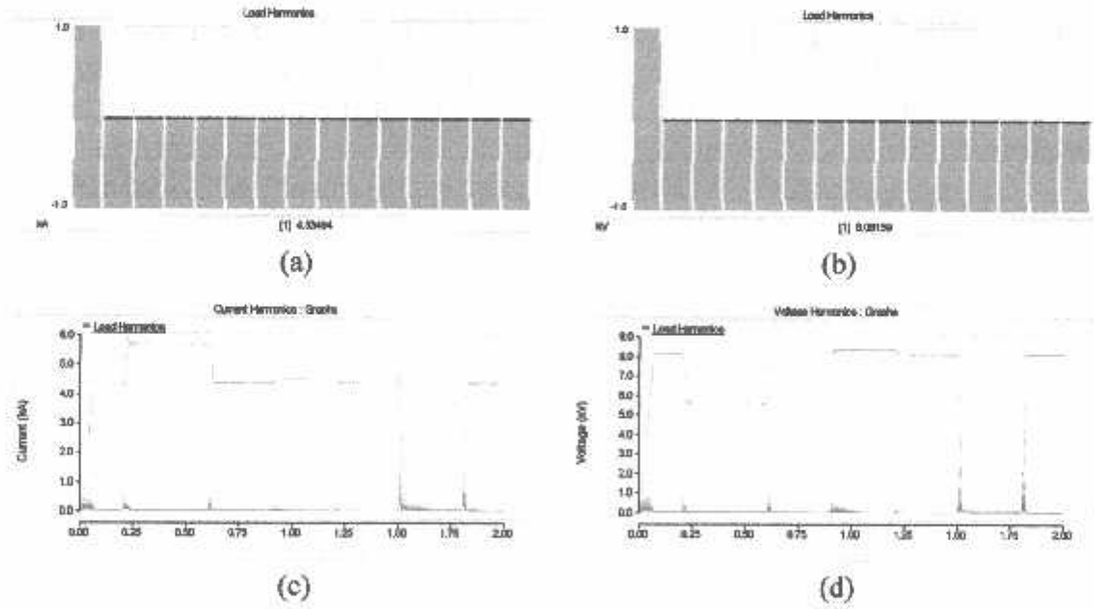
- **Harmonik Pada Penyulang Dinoyo Tanpa Kompensasi UCPC**



(a) (b)

(c) (d)

Grafik 8.1. (a) & (b) Frekuensi Bar Harmonik Arus dan Tegangan Sumber, (c) & (d) Frekuensi Harmonik Arus dan Tegangan Sumber Pada Tiap Orde, Tanpa Kompensasi UCPC



(a) (b)

(c) (d)

Grafik 8.2. (a) & (b) Frekuensi Bar Harmonik Arus dan Tegangan Beban, (c) & (d) Frekuensi Harmonik Arus dan Tegangan Beban Pada Tiap Orde, Tanpa Kompensasi UCPC

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

## LEMBAR BIMBINGAN SKRIPSI

| | |
|---|---|
| 1. Nama | : ARIES YUPITER PARADIS |
| 2. NIM | : 01.12.156 |
| 3. Jurusan | : Teknik Elektro S-1 |
| 4. Konsentrasi | : Teknik Energi Listrik |
| 5. Judul | : ANALISA PERBAIKAN KUALITAS DAYA PADA SISTEM DISTRIBUSI MENGGUNAKAN *UNIVERSAL CUSTOM POWER CONDITIONER* (UCPC) BERBASIS *SOFTWARE PSCAD/EMTDC POWER SIMULATION.* |
| 6. Tanggal Mengajukan Skripsi | : 4 Agustus 2006 |
| 7. Tanggal Menyelesaikan Skripsi | : 25 September 2006 |
| 8. Dosen Pembimbing | : Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT. |
| 9. Telah Dievaluasikan Dengan Nilai | : 90 (SEMBILAN PULUH) |

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1

Ir. F. Yudi Limpraptono, MT.
NIP. P. 103 9500 274

Diperiksa dan Disetujui,
Dosen Pembimbing

Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT.
NIP.Y.101 880 0189

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

# BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI
# FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

| | | |
|---|---|---|
| **Nama Mahasiswa** | : | **ARIES YUPITER PARADIS** |
| **N.I.M.** | : | **01.12.156** |
| **Jurusan** | : | **Teknik Elektro S-1** |
| **Konsentrasi** | : | **Teknik Energi Listrik** |
| **Judul Skripsi** | : | **ANALISA PERBAIKAN KUALITAS DAYA PADA SISTEM DISTRIBUSI MENGGUNAKAN *UNIVERSAL CUSTOM POWER CONDITIONER* (UCPC) BERBASIS *SOFTWARE PSCAD/EMTDC POWER SIMULATION*** |

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

| | | |
|---|---|---|
| **Hari** | : | **Senin** |
| **Tanggal** | : | **25 September 2006** |
| **Dengan Nilai** | : | **86,7 ( A )** |

**Panitia Ujian Skripsi**

| **Ketua Majelis Penguji** | **Sekretaris Majelis Penguji** |
|---|---|
| **(Ir. Mochtar Asroni, MSME)** | **(Ir. F. Yudi Limpraptono, MT)** |
| **NIP.Y. 101 810 0036** | **NIP.Y. 103 950 0274** |

**Anggota Penguji**

| **Penguji Pertama** | **Penguji Kedua** |
|---|---|
| **(Ir. Eko Nurcahyo)** | **(Ir. Choirul Saleh, MT)** |
| **NIP. 102 870 072** | **NIP.Y. 101 880 0190** |

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2
MALANG

# PERMOHONAN PERSETUJUAN SKRIPSI

Yang betanda tangan dibawah ini :

| | |
|---|---|
| Nama | : ARIES Y. PARADIS |
| NIM | : 01.12.156 |
| Semester | : IX |
| Fakultas | : Teknologi Industri |
| Jurusan | : Teknik Elektro S-1 |
| Konsentrasi | : Teknik Elektronika / Teknik Energi Listrik |
| Alamat | : Jl. SUMBERSARI No. 292 E RT 09/01 SUMBERSARI - LOWOKWARU - MALANG |

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

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

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

Telah diteliti kebenaran data tersebut diatas
Recording Teknik Elektro

(.....)

Malang, .....200
**Pemohon**

(ARIES Y. PARADIS)

Disetujui
Ketua Jurusan Teknik Elektro

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

Mengetahui
Dosen Wali

(Ir. F. YUDI LIMPRAPTONO, MT.)

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

1. .....
2. .....
3. .....

Form. S-1a

Institut Teknologi Nasional Malang
Fakultas Teknologi Industri
Jurusan Teknik Elektro S-1

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

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

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Nama Mahasiswa : ARIES Y. PARADIS | | | Nim : 01.12.156 |
| 2 | Waktu pengajuan | Tanggal : | Bulan : | Tahun : |
| | | | | |
| 3 | Spesifikasi judul ( berilah tanda silang ) | | | |
| | a. Sistem Tenaga Elektrik<br>b. Energi & Konversi Energi<br>c. Tegangan Tinggi & Pengukuran<br>d. Sistem Kendali Industri | | e. Elektronika & Komponen<br>f. Elektronika Digital & Komputer<br>g. Elektronika Komunikasi<br>h. lainya ..... | |
| 4 | Konsultasikan judul sesuai materi bidang ilmu kepada Dosen *) :<br>Ir. Yusuf Ismail Nk, MT | | Mengetahui,<br>Ketua Jurusan.<br>Ir. F. Yudi Limpraptono, MT<br>Nip. Y. 1039500274 | |
| 5 | Judul yang diajukan mahasiswa : | ANALISA PERBAIKAN KUALITAS DAYA DENGAN UNIVERSAL CUSTOM POWER CONDITIONER (UCPC) MENGGUNAKAN SOFTWARE PSCAD/EMTDC POWER SIMULATION | | |
| 6 | Perubahan Judul yang disetujui Dosen sesuai materi bidang ilmu | ..... | | |
| 7 | Catatan :<br>..... | | | |
| | Persetujuan Judul Skripsi yang dikonsultasikan kepada Dosen materi bidang ilmu | Disetujui, 24-07-, 200.6.<br>Dosen<br>Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT | | |

**Perhatian :**

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

**Form.S-2**

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

Malang, Juli 2006

Lampiran : Satu Lembar
Perihal : **Kesediaan Sebagai Dosen Pembimbing**

Kepada : Yth. Bapak Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT
Dosen Jurusan Elektro/ T.Energi Listrik
Institut Teknologi Nasional Malang
di-
Malang

Yang bertandatangan di bawah ini :

| | | |
|---|---|---|
| Nama | : | ARIES Y. PARADIS |
| NIM | : | 01.12.156 |
| Semester | : | X ( Sepuluh ) |
| Jurusan | : | Teknik Elektro |
| Konsentrasi | : | Teknik Energi Listrik S-I |

Dengan ini mengajukan permohonan, kiranya Bapak/Ibu bersedia menjadi Dosen Pembimbing Utama, untuk penyusunan Skripsi dengan judul :

**ANALISA PERBAIKAN KUALITAS DAYA DENGAN**
***UNIVERSAL CUSTOM POWER CONDITIONER* (UCPC)**
**MENGGUNAKAN *SOFTWARE PSCAD EMTDC***
***POWER SIMULATION***

Seperti proposal terlampir.
Adapun Tugas tersebut sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sajana Teknik pada jurusan Teknik Elektro.
Demikian permohonan kami, atas kesediaan Bapak / ibu kami ucapkan terimakasih.

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro

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

Malang, Juni 2006
Pemohon,

**Aries Y. Paradis**
**Nim : 01.12.156**

Form. S – 3a

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

# PERNYATAAN KESEDIAAN SEBAGAI DOSEN PEMBIMBING SKRIPSI

Sesuai dengan Permohonan Mahasiswa :

| | | |
|---|---|---|
| Nama | : | Aries Y. Paradis |
| Nim | : | 01.12.156 |
| Semester | : | X ( Sepuluh ) |
| Jurusan | : | Teknik Elektro |
| Konsentrasi | : | Teknik Energi Listrik S-I |

Dengan ini menyatakan **bersedia / tidak bersedia** *) menjadi Dosen Pembimbing Utama / Pendamping *), untuk penyusunan Skripsi Mahasiswa tersebut dengan judul :

**ANALISA PERBAIKAN KUALITAS DAYA DENGAN *UNIVERSAL CUSTOM POWER CONDITIONER* (UCPC) MENGGUNAKAN *SOFTWARE PSCAD EMTDC POWER SIMULATION***

Demikian pernyataan ini kami buat untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Malang, Juli 2006
Yang Membuat Pernyataan,

**Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT**
**NIP. Y. 101 880 0189**

Catatan :
1. Formulir ini supaya segera diserahkan mahasiswa ybs. ke jurusan untuk diproses jadwal Praseminar yang pelaksanaannnya satu bulan setelah di tanda tangani Dosen ybs
2. *) Coret yang tidak perlu

Form. S – 3b

Institut Teknologi Nasional Malang
Fakultas Teknologi Industri
Jurusan Teknik Elektro S-1

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

**Konsentrasi** : Teknik Energi Listrik/~~Teknik Elektronika~~*)

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1. | Nama Mahasiswa: ARIES Y. PARADIS | | | Nim: 01.12.156 |
| 2. | Keterangan Pelaksanaan | Tanggal: 4-08-06 | Waktu: 09.00 | Tempat: Ruang: SEMINAR |
| 3. | Spesifikasi Judul (berilah tanda silang)**)<br>(a.) Sistem Tenaga Elektrik<br>b. Energi & Konversi Energi<br>c. Tegangan Tinggi & Pengukuran<br>d. Sistem Kendali Industri<br>e. Elektronika & Komponen<br>f. Elektronika Digital & Komputer<br>g. Elektronika Komunikasi<br>h. lainnya ..... | | | |
| 4. | Judul Proposal yang diseminarkan Mahasiswa | ANALISA PERBAIKAN KUALITAS DAYA DENGAN UNIVERSAL CUSTOM POWER CONDITIONER (UCPC) MENGGUNAKAN SOFTWARE PSCAD/EMTDC POWER SIMULATION | | |
| 5. | Perubahan Judul yang diusulkan oleh Kelompok Dosen Keahlian | ..... | | |
| 6. | Catatan: ..... | | | |
| 7. | Catatan: ..... | | | |

**Persetujuan Judul Skripsi**

| | |
|---|---|
| Disetujui,<br>Dosen Keahlian I<br><br>..... | Disetujui,<br>Dosen Keahlian II<br><br>..... |
| Mengetahui,<br>Ketua Jurusan.<br><br>Ir. F. Yudi Limpraptono, MT<br>NIP. P. 1039500274 | Disetujui,<br>Calon Dosen Pembimbing ybs<br><br>R. YUSUF ISMAIL N., MT |

Perhatian:

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

Form S-3c

Institut Teknologi Nasional Malang
Fakultas Teknologi Industri
Jurusan Teknik Elektro S-1

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

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

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1. | Nama Mahasiswa: Aries Yupiter Paladis | | | Nim: 01.12.156 |
| 2. | Keterangan Pelaksanaan | Tanggal: 28-9-2006 | Waktu: | Tempat: Ruang: Ampi 1 |
| 3. | Spesifikasi Judul (berilah tanda silang)**)<br>a. Sistem Tenaga Elektrik<br>b. Energi & Konversi Energi<br>c. Tegangan Tinggi & Pengukuran<br>d. Sistem Kendali Industri<br>e. Elektronika & Komponen<br>f. Elektronika Digital & Komputer<br>g. Elektronika Komunikasi<br>h. lainnya ..... | | | |
| 4. | Judul Proposal yang diseminarkan Mahasiswa | ANALISA PERBAIKAN KUALITAS DAYA DENGAN UNIVERSAL CUSTOM POWER CONDITIONER (UCPC) MENGGUNAKAN SOFTWARE PSCAD/EMTDC POWER SIMULATION | | |
| 5. | Perubahan Judul yang diusulkan oleh Kelompok Dosen Keahlian/Pengamat | ..... | | |
| 6. | Keputusan:<br>Dari hasil penilaian sejumlah .....orang dosen keahlian dan .....orang dosen pengamat sesuai format penilaian terlampir, peserta seminar tersebut diatas (1) dengan judul skripsi (4) dinyatakan LULUS/TIDAK LULUS *) dengan nilai<br><br>Komulatif: .....(angka) atau .....(huruf) | | | |
| 7. | Persetujuan Judul Skripsi | | | |
| | Disetujui,<br>Dosen Keahlian I<br><br>..... | | Disetujui,<br>Dosen Keahlian II<br><br>..... | |
| | Disetujui,<br>Dosen Pengamat I<br><br>..... | | Disetujui,<br>Dosen Pengamat II<br><br>..... | |
| | Mengetahui,<br>Ketua Jurusan.<br><br>Ir. F. Yudi Limpraptono,MT<br>NIP. P. 1039500274 | | Disetujui,<br>Dosen Pembimbing<br><br>..... | |

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

Form S-4c

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

# FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : ARIES YUPITER PARADIS
Nim : 01.12.156
Masa Bimbingan : 04 Agustus 2006 s/d 04 Februari 2007
Judul Skripsi : **ANALISA PERBAIKAN KUALITAS DAYA PADA SISTEM DISTRIBUSI MENGGUNAKAN *UNIVERSAL CUSTOM POWER CONDITIONER* (UCPC) BERBASIS *SOFTWARE PSCAD/EMTDC POWER SIMULATION***

| No. | Tanggal | Uraian | Parap Pembimbing |
|---|---|---|---|
| 1. | 05-08-2006 | Format Penulisan Diperbaiki | |
| 2. | 10-08-2006 | Batasan Masalah Ditentukan Untuk Lebih Memfokuskan Penelitian | |
| 3. | 15-08-2006 | Menambahkan Penjelasan Tentang PSCAD/EMTDC Power Simulation | |
| 4. | 17-08-2006 | Memperbaiki *Flowchart*, Melengkapi Kajian Pustaka, Menambahkan Kajian Tentang Kualitas Daya | |
| 5. | 21-08-2006 | Menampilkan Data Angka Dari Hasil Simulasi | |
| 6. | 23-08-2006 | Periksa Hasil Simulasi dan Perhitungan, Validasi Belum Sesuai dengan Hasil Referensi | |
| 7. | 28-08-2006 | Membuat Tampilan Grafik Yang Lebih Baik Untuk Memudahkan Dalam Membandingkan Hasil-Hasil Pengujian | |
| 8. | 05-09-2006 | Tujuan Lebih Diarahkan Pada Perbandingan Sistem Dengan Kompensasi Dan Tanpa Kompensasi, Tidak Memperhitungan Masalah Ekonomis | |
| 9. | 07-09-2006 | Menampilkan Hasil Analisa pada Penyulang Dinoyo Secara Detail | |
| 10. | 20-09-2006 | ACC Ujian Skripsi | |

Malang,
Dosen Pembimbing,

**Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT.**

Form.S-4b