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

MILIK
PERPUSTAKAAN
ITN MALANG

SKRIPSI

ANALISA OPTIMASI LOKASI PENEMPATAN D-STATCOM MENGGUNAKAN METODE FUZZY PADA SISTEM JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER 20 KV GI POLEHAN PENYULANG BUNUL

Disusun Oleh :

NASRUDIN
NIM : 05.12.002

AGUSTUS 2010

[illegible]

LEMBAR PERSETUJUAN

ANALISA OPTIMASI LOKASI PENEMPATAN D-STATCOM MENGGUNAKAN METODE FUZZY PADA SISTEM JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER 20 KV GI POLEHAN PENYULANG BUNUL

SKRIPSI

Disusun dan Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Energi Listrik Strata Satu (S-1)

Disusun Oleh :

NASRUDIN
NIM : 05.12.002

Diperiksa dan Disetujui

Dosen Pembimbing I	Dosen Pembimbing II
(Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT)	(Irrine Budi Sulistiawati, ST, MT)
NIP. Y. 1018800189	NIP. 19770615.200501.2.002

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1

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

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

ABSTRAKSI

ANALISA OPTIMASI LOKASI PENEMPATAN D-STATCOM MENGGUNAKAN METODE FUZZY PADA SISTEM JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER 20 KV GI POLEHAN PENYULANG BUNUL

Nasrudin
Konsentrasi Teknik Energi Listrik
Jurusan Teknik Elektro S-1
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Nasional Malang
Email : nasrudin2005@yahoo.co.id

Dosen Pembimbing : I. Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT
II. Irrine Budi Sulistiawati, ST, MT

Energi listrik umumnya dibangkitkan oleh Pusat Pembangkit Tenaga Listrik yang jauh dari perkotaan dimana para pelanggan umumnya berada. Untuk proses penyaluran energi diperlukan daya reaktif agar energi tersebut sampai beban. Tetapi daya reaktif tidak digunakan konsumen. Hal ini berarti didalam menggunakan energi listrik ternyata pelanggan tidak hanya dibebani oleh daya aktif (kW) saja tetapi juga daya reaktif (kVAR). Penjumlahan kedua daya itu akan menghasilkan daya nyata yang merupakan daya yang disuplai PLN. Jika nilai daya itu diperbesar yang biasanya dilakukan oleh pelanggan industri maka rugi-rugi daya menjadi besar sedangkan daya aktif (kW) dan tegangan yang sampai ke konsumen berkurang sehingga konsumen tidak dapat merasakan keandalan sistem distribusi energi listrik.

Untuk mengatasi masalah tersebut, solusinya adalah dengan pemasangan DSTATCOM. Dalam penelitian ini merupakan salah satu solusi dalam penempatan DSTATCOM yang lebih optimal dari kondisi sebelumnya yaitu dengan metode fuzzy yang bertujuan menentukan lokasi DSTATCOM secara optimal, memperbaiki daya reaktif, mengurangi-rugi daya. Perhitungan aliran daya menggunakan metode Newton Raphson diterapkan untuk mengetahui perubahan hasil dari pemasangan DSTATCOM.

Setelah dilakukan optimasi menggunakan metode fuzzy, untuk pemasangan DSTATCOM yang tepat pada penyulang Bunul adalah terdapat pada saluran 76. Hasil dari rugi-rugi daya yang timbul dapat diminimalisir yaitu untuk daya aktif sebesar 13,53403 kW, daya reaktif sebesar 6,11264 kVar sedangkan jatuh tegangan menjadi 6,11%.

Kata Kunci : Sistem Distribusi, DSTATCOM , Metode Fuzzy

KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat, rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul " Analisa Optimasi lokasi Penempatan D-STATCOM Menggunakan Metode Fuzzy Pada Sistem Jaringan Distribusi Primer 20 kV GI Polehan Penyulang Bunul" dengan lancar. Skripsi ini merupakan persyaratan kelulusan studi di jurusan Teknik Elektro S-1 konsentrasi Teknik Energi Listrik ITN Malang dan untuk mencapai gelar sarjana teknik.

Keberhasilan penyelesaian laporan skripsi ini tidak lepas dari dukungan dan bantuan beberapa pihak. Untuk itu penyusun menyampaikan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE. Selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang
2. Bapak Ir. Sidik Noertjahjono, MT. Selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri ITN Malang
3. Bapak Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT. Selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro S-1 dan Dosen Pembimbing I
4. Ibu Irrine Budi Sulistiawati, ST, MT. Selaku Dosen Pembimbing II
5. Orang tua serta saudara kami yang telah memberikan doa restu, motivasi serta biaya
6. Rekan-rekan instruktur Laboratorium Transmisi dan Distribusi Daya Elektrik yang telah membantu
7. Semua yang telah membantu dalam penyelesaian penyusunan skripsi ini

Penyusun telah berusaha semaksimal mungkin dan menyadari sepenuhnya akan keterbatasan pengetahuan dalam menyelesaikan laporan skripsi ini, untuk itu penyusun mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari pembaca demi kesempuranaan laporan skripsi ini.

Harapan penyusun semoga laporan ini memberikan manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan bagi pembaca,

Malang, Agustus 2010

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i

LEMBAR PERSETUJUAN ii

ABSTRAKSI iii

KATA PENGANTAR iv

DAFTAR ISI vi

DAFTAR GAMBAR x

DAFTAR TABEL xii

DAFTAR GRAFIK xiv

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Rumusan Masalah 2

1.3 Tujuan 3

1.4 Batasan Masalah 3

1.5 Metodologi Pemecahan Masalah 4

1.6. Sistematika Penulisan 5

BAB II SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK, D-STATCOM DAN LOGIKA FUZZY

2.1. Sistem Tenaga Listrik 7

2.2. Sistem Distribusi Tenaga Listrik 8

2.2.1. Sistem Distribusi Primer 9

2.2.2. Sistem Distribusi Sekunder 9

2.3. Struktur Jaringan Distribusi Tenaga Listrik 10

2.3.1. Struktur Jaringan Radial 10
2.3.2. Struktur Jaringan *Loop* (Lingkaran) 11
2.3.3. Struktur jaringan Grid atau *Mesh* (Anyaman) 12
2.4. Analisa Aliran Daya Jaringan 12
2.4.1. Daya Dalam Sistem Tenaga 13
2.4.1.1. Daya Nyata (*Real Power*) 13
2.4.1.2. Daya Reaktif (*Reactive Power*) 13
2.4.1.3. Daya Semu (*Apparent Power*) 14
2.4.2. Daya Reaktif dan Faktor Daya 14
2.4.3. Klasifikasi Bus 16
2.4.3.1. Slack Bus atau Bus V-δ 17
2.4.3.2. Generator Bus atau Bus P-V 17
2.4.3.3. Load Bus / Bus beban atau Bus P-Q 17
2.5. *Distribution Static Compensator* (D-STATCOM) 17
2.6. Metode Logika Fuzzy 19
2.6.1. *Fuzzyfikasi* dan Fungsi Keanggotaan 20
2.6.2. *Evaluasi Rule* 21
2.6. 3. *Defuzzyfikasi* 22
2.7. Sistem Per-Unit 24
2.8. Rugi – Rugi Daya Saluran Distribusi 25
2.9. Variasi Tegangan 26
2.10. Variasi kapasitas D-STATCOM 26

BAB III METODE FUZZY LOGIC UNTUK MENENTUKAN LOKASI DSTATCOM PADA JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER 20KV TYPE RADIAL

3.1. Metode Analisa Rangkaian DSTATCOM 28

3.2. Data Saluran 31

3.3. Pembebanan Sistem 20 kV Penyulang Bunul 35

3.4. Data Kapasitas DSTATCOM 38

3.5. Algoritma Program Pemecahan Masalah Secara Umum 39

3.6. *Software* MATLAB 40

3.7. Metode Penempatan DSTATCOM 42

3.8. Pemodelan logika fuzzy pada DSTATCOM 43

3.8.1. Prosedur Pengontrolan Dengan Logika Fuzzy 44

3.8.1.1. Menentukan Kuantisasi Variabel Masukan dan Keluaran 45

3.8.1.2. Menentukan *Rule Base* 45

3.8.1.3. Menentukan *Membership Function* 47

3.8.2. Proses Fuzzyfikasi 49

3.8.3. Proses *Inference* 49

3.8.4. Proses Defuzzyfikasi 49

3.9. Langkah-langkah Pelaksanaan Program *Fuzzy Logic* 50

3.10. Prosedur Pelaksanaan Program *Fuzzy Logic* 53

BAB IV ANALISA DAN HASIL

4.1. Sistem Distribusi Tenaga Listrik 20kV GI Polehan Penyulang Bunul 56

4.2. Analisa Perhitungan 58

4.3. *Software PSCAD/EMTDC V 4.2 Power Simulation* 59

4.3.1. Memulai *PSCAD/EMTDC Power Simulation* 60

4.3.2. Input Data Dalam *PSCAD/EMTDC Power Simulation* 63

4.4. Data Program PSCAD Sebelum Menggunakan D-STATCOM 67

4.5. Flowchart Penyelesaian Masalah 72

4.6. Kapasitas DSTATCOM 73

4.7. Analisa Data Sesudah Pemasangan D-STATCOM 74

4.8. Analisa Hasil Perbandingan Aliran Daya Sebelum dan Sesudah Pemasangan D-STATCOM 78

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan 82

5.2. Saran 83

DAFTAR PUSTAKA 84

LAMPIRAN 85

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema Penyaluran Energi Listrik 7

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

Gambar 2.3 Bentuk Sederhana dari Sistem Distribusi Radial 10

Gambar 2.4 Jaringan Tegangan Menengah Struktur *Loop* yang dipasok dari satu sumber 11

Gambar 2.5 Jaringan Tegangan Menengah Struktur Mesh 12

Gambar 2.6 Segitiga daya 14

Gambar 2.7 Saluran Distribusi Primer 15

Gambar 2.8 Vektor Diagram Sebelum (a) dan Sesudah (b) Pemasangan D-STATCOM Pada Jaringan Distribusi 18

Gambar 2.9 Fungsi Keanggotaan Dengan Fungsi Segitiga (*Triangle*) 21

Gambar 2.10. Proses *fuzzyfikasi* 21

Gambar 2.11. Proses *Evaluasi Rule* 22

Gambar 2.12. Proses *Defuzzyfikasi* 23

Gambar 2.13. Proses Flowchart Logika Fuzzy 24

Gambar 3.1. Prinsip Kerja DSTATCOM 29

Gambar 3.2.(a) Konfigurasi dasar peralatan DSTATCOM 30

Gambar 3.2.(b) Sirkuit Eqivalen DSTATCOM 30

Gambar 3.3. Skema *Single Line* Peralatan DSTATCOM 30

Gambar 3.4. Gambar Fisik Peralatan DSTATCOM 31

Gambar 3.5. Flowchart umum aliran daya 40

Gambar 3.6. Tampilan Awal MATLAB Versi 7.0.4. 41

Gambar 3.7. Matriks Bilangan Kompleks. 42

Gambar 3.8. *Membership Function* untuk PLI 48

Gambar 3.9. *Membership Function* untuk tegangan per unit 48

Gambar 3.10. *Membership Function* untuk CSI 49

Gambar 3.11. Tampilan utama program MATLAB 7.0.4 50

Gambar 3.12. Tampilan program utama 51

Gambar 3.13. Tampilan untuk menjalankan program 51

Gambar 3.14. Tampilan kurva *membership function* PLI, Tegangan, dan CSI.. 52

Gambar 3.15. Tampilan *system membership function* PLI, Tegangan, dan CSI 52

Gambar 3.16. Tampilan utama program MATLAB 7.0.4 53

Gambar 3.17. Tampilan program utama 54

Gambar 3.18. Tampilan untuk menjalankan program 54

Gambar 3.19. Tampilan Optimasi lokasi menggunakan DSTATCOM..... 55

Gambar 4.1. *Single Line* Diagram Penyulang Bunul Sebelum Penempatan DSTATCOM 57

Gambar 4.2. Tampilan utama *Software PSCAD/EMTDC Power Simulation* ... 60

Gambar 4.3. Tampilan *Master Library* 61

Gambar 4.4. Tampilan Modul Utama 61

Gambar 4.5. Tampilan contoh *Single Line* dalam *PSCAD* 62

Gambar 4.6. Flowchart Pemecahan Masalah Menggunakan *Software* PSCAD 63

Gambar 4.7. Tampilan *Input* Data Transformator TAKAOKA 64

Gambar 4.8. Tampilan *Input* Data beban node 2 64

Gambar 4.9. Flowchart Penyelesaian Masalah 72

Gambar 4.10. Tampilan *Single Line* Sesudah Pemasangan
D-STATCOM menggunakan *Software PSCAD* 74

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Dimensi dan berat D-STATCOM menurut *standart* ISO 27

Tabel 3.1. Data Spesifikasi *Rating* Peralatan DSTATCOM 31

Tabel 3.2. Spesifikasi Saluran 32

Tabel 3.3. Hasil Perhitungan Saluran Penyulang Bunul 33

Tabel 3.4. Hasil Perhitungan Pembebanan Sistem 20 kV Penyulang Bunul 36

Tabel 3.5. Inputan variabel pertama PLI 46

Tabel 3.6. Inputan variabel kedua tegangan per unit 46

Tabel 3.7. Output variabel keluaran CSI 46

Tabel 3.8. *Rule Base* untuk CSI dengan Dua Masukan PLI dan tegangan 47

Tabel 4.1. Data pembebanan Sistem 20 kV Penyulang Bunul 65

Tabel 4.2. Data Sebelum Pemasangan D-STATCOM 68

Tabel 4.3. Data Sesudah Pemasangan D-STATCOM 75

Tabel 4.4. Data Perbandingan Sebelum dan Sesudah Pemasangan D-STATCOM 78

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1.(a) Bentuk Gelombang Daya Aktif sebelum kompensasi 67

Grafik 4.1.(b) Bentuk Gelombang Daya Reaktif sebelum kompensasi 68

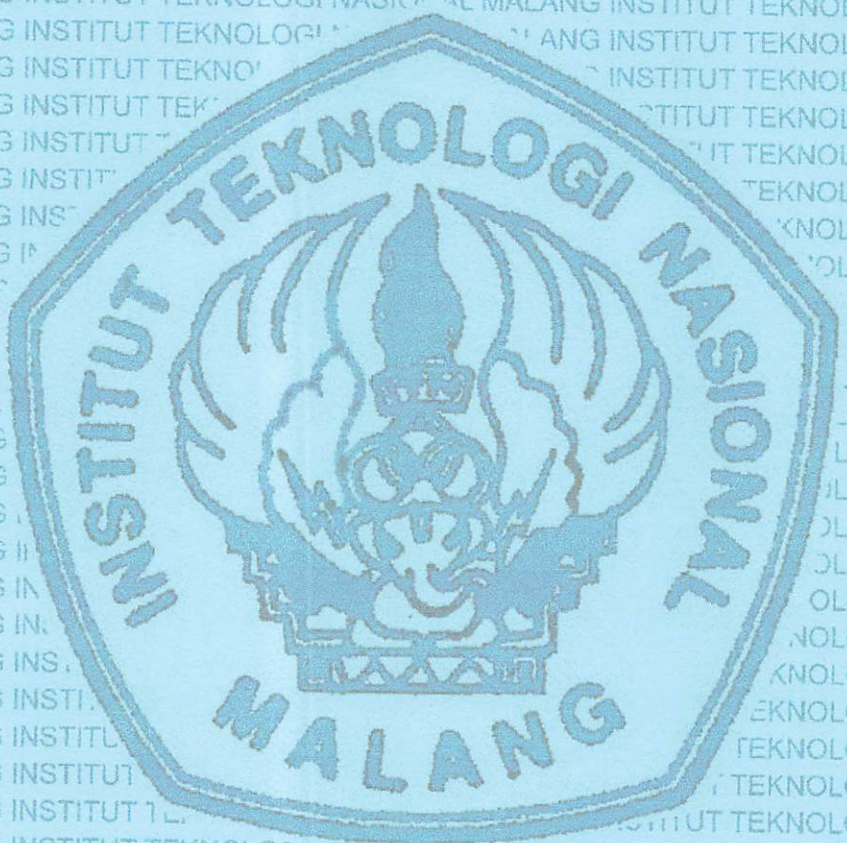
Grafik 4.1.(c) Bentuk Gelombang Tegangan sebelum kompensasi 68

Grafik 4.1.(a) Bentuk Gelombang Daya Aktif setelah kompensasi 74

Grafik 4.1.(b) Bentuk Gelombang Daya Reaktif setelah kompensasi 75

Grafik 4.1.(c) Bentuk Gelombang Tegangan setelah kompensasi 75

Grafik 4.3. Perbandingan Daya Aktif, Daya Reaktif dan Tegangan Sebelum dan Setelah Pemasangan D-STATCOM 81


INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
MALANG

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Daya reaktif merupakan daya yang tidak berguna bagi konsumen tetapi diperlukan untuk proses penyaluran energi menuju beban. Hal ini berarti didalam menggunakan energi listrik ternyata pelanggan tidak hanya dibebani oleh daya aktif (kW) saja tetapi juga daya reaktif (kVAR). Penjumlahan kedua daya itu akan menghasilkan daya nyata yang merupakan daya yang disuplai PLN. Jika nilai daya nyata diperbesar yang biasanya dilakukan oleh pelanggan industri maka rugi-rugi daya menjadi besar sedangkan daya aktif (kW) dan tegangan yang sampai ke konsumen berkurang sehingga konsumen tidak dapat merasakan keandalan sistem distribusi energi listrik [8].

Perkembangan yang biasanya dilakukan untuk memperbaiki keandalan sistem distribusi energi listrik antara lain meliputi pengalihan beban, pemilihan jenis kawat penghantar, pemasangan kapasitor, dan lain-lain. Perkembangan terbaru dalam bidang teknologi elektronika daya adalah pengembangan sistem kompensasi daya berdasarkan dari konverter yang diaplikasikan pada jaringan distribusi. Salah satunya adalah peralatan VSI (*Voltage Source Inverter*) yang dihubungkan secara paralel (*Shunt*) pada jaringan distribusi radial. Untuk mengatur tegangan terdapat beberapa macam peralatan VSI, diantara DSTATCOM *(Distribution Static Compensator)*, DVR (*Dynamic Voltage Restorer*), dan DG (*Distributed Generation*).

Dalam skripsi ini hanya menggunakan alat DSTATCOM sebagai alat kompensasi daya karena alat ini selain dapat menyerap daya reaktif juga dapat membangkitkan daya reaktif. Pada dasarnya prinsip kerja dari D-STATCOM sama dengan prinsip kerja kapasitor. Kedua alat tersebut hanya menginjeksi daya reaktif kedalam jaringan distribusi yang tujuannya adalah memperbaiki profil tegangan. Keandalan yang ditawarkan D-STATCOM didukung oleh hasil simulasi PSCAD/EMTDC.

Lokasi yang digunakan untuk skripsi ini adalah di GI. Polehan Penyulang Bunul karena daerah tersebut yang semakin berkembang dengan bertambahanya pembangunan area pemukiman seperti perumahan, ruko-ruko, bengkel-bengkel, dll. yang menyebabkan bertambahnya kebutuhan energi listrik sedangkan energi listrik yang tersedia terbatas. Lokasi ini juga mempunyai daya reaktif yang cukup besar yaitu 3,429 Mvar sesuai dengan data dari PT.PLN (PERSERO) distribusi Jawa Timur Area Pelayanan dan Jaringan Malang pada bulan april 2009[14]. Disamping itu lokasi GI.Polehan Penyulang Bunul mempunyai prosentase jatuh tegangan sebesar 20,7% dari tegangan nominal yang melebihi standart SPLN 1: 1995.

1.2.Rumusan Masalah

Variasi pembebanan daya aktif dan reaktif pada sistem menyebabkan perubahan profil tegangan yang besar pada sistem distribusi yang tumbuh setiap tahun sehingga dapat menimbulkan rugi-rugi daya yang besar.

Oleh karena itu persoalan-persoalan yang akan dipecahkan pada skripsi ini antara lain:

1. Bagaimana menentukan lokasi penempatan D-STATCOM secara optimal pada jaringan distribusi primer 20 kV tipe radial Penyulang Bunul?
2. Berapa besar kapasitas DSTATCOM yang akan diinjeksi ?
3. Bagaimana nilai daya aktif dan daya reaktif serta profil tegangan yang didapat dengan pemasangan DSTATCOM ?

1.3. Tujuan

Berdasarkan permasalahan yang dikemukakan di atas maka, tujuan dalam penulisan skripsi ini adalah untuk mengetahui besarnya daya aktif, daya reaktif dan jatuh tegangan sebelum dan setelah pemasangan D-STATCOM serta penentuan letak pemasangan dan kapasitas D-STATCOM *(Distribution Static Compensator*) yang optimal pada sistem jaringan listrik distribusi radial GI Polehan Penyulang Bunul.

1.4. Batasan Masalah

Untuk menyederhanakan masalah yang di bahas, maka diberikan asumsi-asumsi serta batasan-batasan sebagai berikut:

1. Jaringan yang akan dianalisa adalah jaringan distribusi primer 20kV tipe radial di Penyulang Bunul Malang.
2. Hanya *Distribution Static Compensator* (D-STATCOM) yang digunakan untuk perbaikan profil tegangan dimana harga kVarnya antara 300 kVar – 120 MVar yang nantinya akan dihitung sesui dengan kebutuhan.

3. Analisa penentuan penempatan optimal lokasi dan ukuran D-STATCOM menggunakan metode *Fuzzy Logic* dengan fungsi keanggotaan segitiga dan trapesium.
4. Simulasi dilakukan dengan menggunakan *software PSCAD/EMTDC V4.2 Power Simulation* karena software tersebut mendukung dengan peralatan yang digunakan dalam penelitian.
5. Perhitungan nilai kapasitas peralatan D-STATCOM yang digunakan sesuai dengan rumus VAR = 314,2 × C_{DC} × V^2_{L-L}, dimana untuk 314,2 adalah ketetapan, C_{DC} = kapasitor dc , V_{L-L}= tegangan *line to line*.
6. Beban diasumsikan sebagai beban 3 fasa yang seimbang.
7. Nilai faktor daya diasumsikan 0,85 tertinggal (*lagging*).

1.5.Metodologi Pemecahan Masalah

Metode yang digunakan dalam pembahasan penelitian ini dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

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. Simulasi dan pembahasan masalah
    - Untuk analisa perhitungan tegangan, rugi-rugi daya dan aliran daya tiap saluran menggunakan metode *Newton Rhapson*

- Untuk menentukan penempatan lokasi dan ukuran yang optimal dari *Distribution Static Compensator (D-STATCOM)* menggunakan metode *Fuzzy Logic* yang disimulasikan dengan program MATLAB 7.0.4
- Setelah mendapatkan Lokasi yang optimal dari *(D-STATCOM)*, maka perhitungan dan simulasi untuk perbaikan profil tegangan dan faktor daya dilakukan dengan menggunakan *software PSCAD Power System Simulation*

4. Kesimpulan

   Menarik kesimpulan dari hasil analisa data.

1.6. Sistematika Penulisan

Untuk mendapatkan arah yang tepat mengenai hal-hal yang akan dibahas maka dalam skripsi ini disusun sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Berisikan Latar belakang, Rumusan Masalah, Tujuan, Batasan Masalah, Metodologi Penelitian, dan Sistematika Penulisan

BAB II : SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK, APLIKASI D-STATCOM DAN LOGIKA FUZZY

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

BAB III : METODE *FUZZY LOGIC* DAN PERBAIKAN PROFIL TEGANGAN

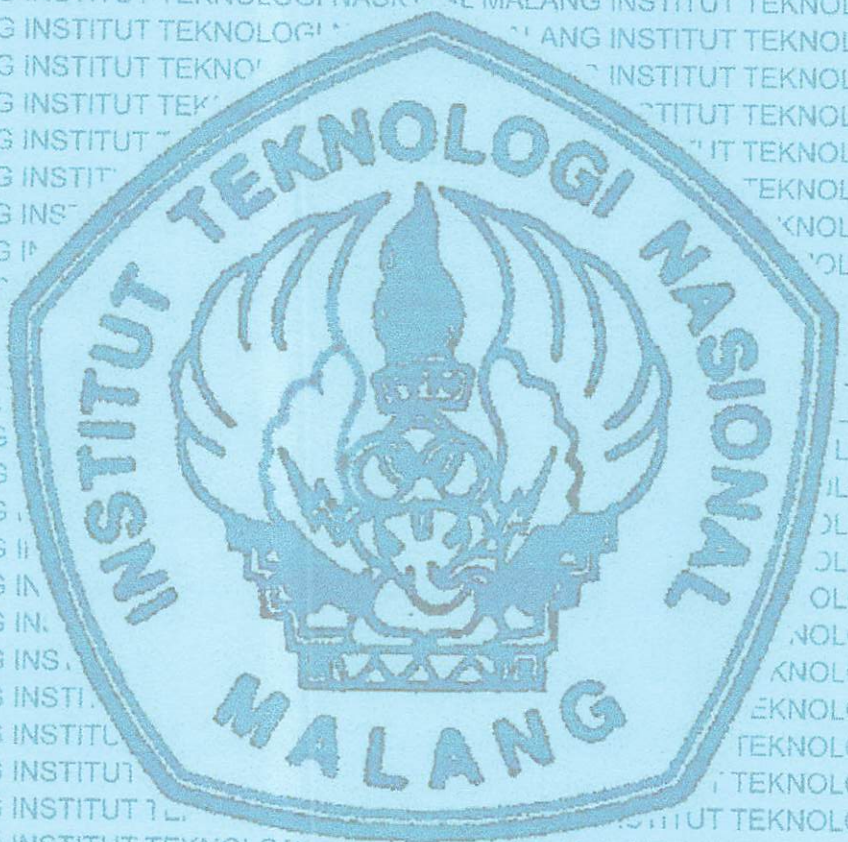
Pada bab ini akan dibahas mengenai metode aliran daya Newton Rhapson, teori mengenai metode *Fuzzy Logic* untuk menentukan kapasitas *Distribution Static Compensator (D-STATCOM)* .

BAB IV : ANALISA DAN HASIL

Pada bab ini akan dibahas mengenai analisa dari hasil simulasi program MATLAB 7.0.4 mengenai penentuan letak *Distribution Static Compensator (D-STATCOM)* menggunakan metode *Fuzzy Logic*, serta perbandingan profil tegangan dan faktor daya sebelum dan setelah penempatan *Distribution Static Compensator (D-STATCOM)* yang disimulasikan menggunakan *software PSCAD Power System Simulation*

BAB V : PENUTUP

Berisikan tentang kesimpulan dan saran dari hasil analisa yang diperoleh.

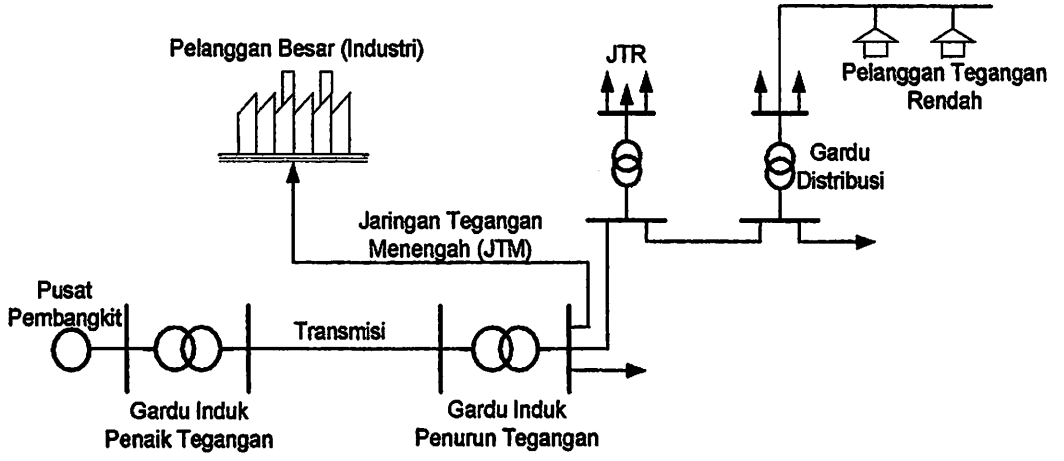

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
MALANG

BAB II

SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK, D-STATCOM DAN LOGIKA FUZZY

2.1. Sistem Tenaga Listrik [3]

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.



Gambar 2.1
Skema Penyaluran Energi Listrik [3]

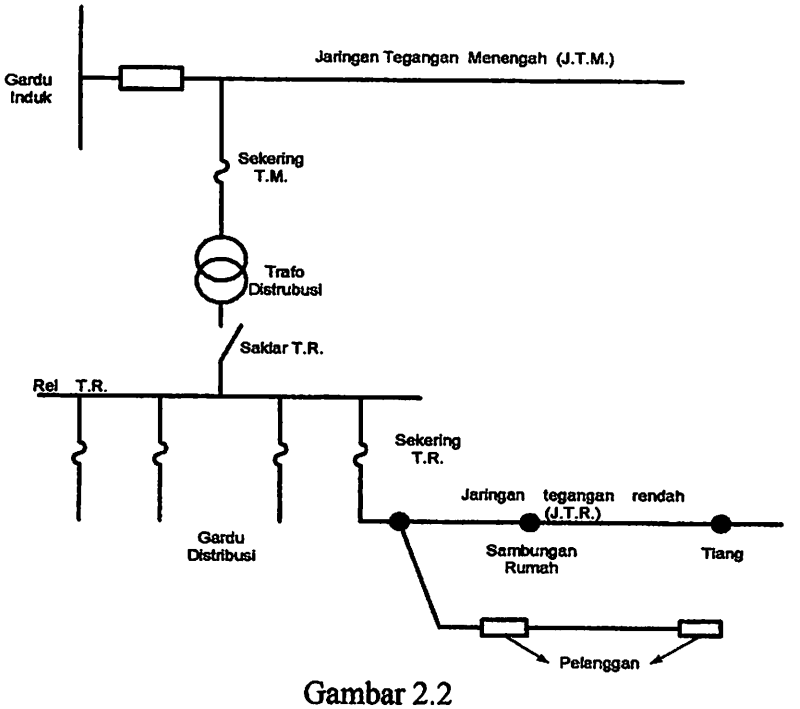
Secara garis besar suatu sistem tenaga listrik dapat dikelompokkan menjadi tiga bagian sub sistem yaitu :

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 [4]

Jaringan distribusi berada pada akhir dari sistem tenaga listrik, peranannya mendistribusikan tenaga listrik dari gardu induk atau pembangkit tenaga ke konsumen melalui gardu distribusi. Jaringan setelah keluar dari gardu induk bisa disebut jaringan distribusi. Setelah tenaga listrik disalurkan melalui jaringan distribusi primer maka kemudian tenaga listrik diturunkan tegangannya dalam gardu-gardu distribusi menjadi tegangan rendah, kemudian disalurkan melalui jaringan tegangan rendah untuk selanjutnya disalurkan ke rumah-rumah pelanggan (konsumen) PLN melalui sambunga rumah.



Gambar 2.2
Jaringan Tegangan Menengah (JTM), Jaringan Tegangan Rendah (JTR) dan Sambungan Rumah Ke Pelanggan[4]

Dalam pendistribusian tenaga listrik ke konsumen, tegangan yang digunakan bervariasi tergantung pada jenis konsumen yang membutuhkan. Untuk konsumen industri biasanya digunakan tegangan menengah 20kV sedangkan untuk konsumen perumahan digunakan tegangan rendah 220/380 Volt, yang merupakan tegangan siap pakai untuk peralatan-peralatan rumah tangga. Dengan demikian maka sistem distribusi tenaga listrik dapat diklasifikasikan menjadi dua bagian sistem yaitu :

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

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

2.2.1. 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. Oleh karena itu sering disebut dengan sistem distribusi tegangan menengah

2.2.2. Sistem Distribusi Sekunder

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

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

2.3. Struktur Jaringan Distribusi Tenaga Listrik [3]

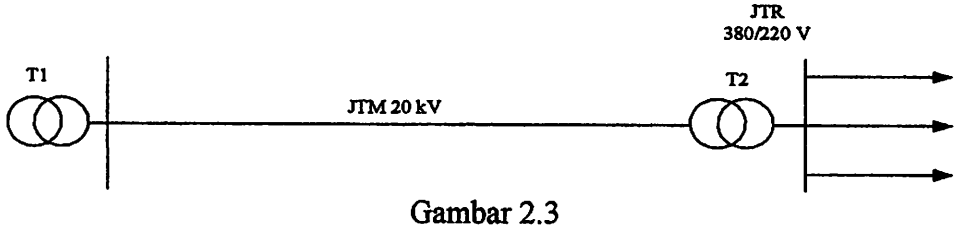
Dalam rangka mengantisipasi peningkatan kebutuhan energi listrik pada masa tertentu, maka struktur jaringan harus dipertimbangkan terlebih dahulu sehingga untuk ekspansi sistem di masa yang akan datang tidak menjadi masalah.

Ada beberapa bentuk jaringan yang umum digunakan menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik, yaitu :

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

2.3.1. 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*).

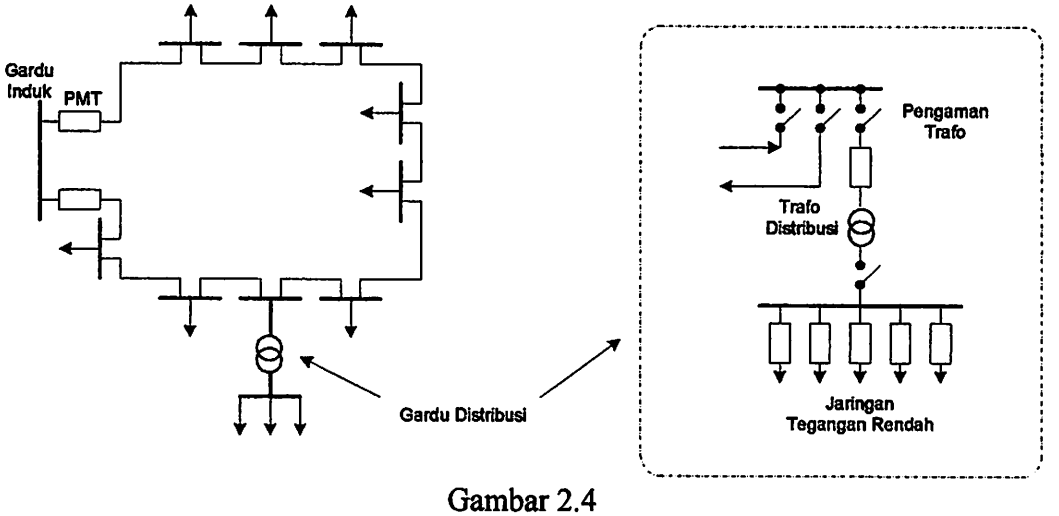


Gambar 2.3
Bentuk Sederhana dari Sistem Distribusi Radial [3]

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. Struktur Jaringan *Loop* (Lingkaran)

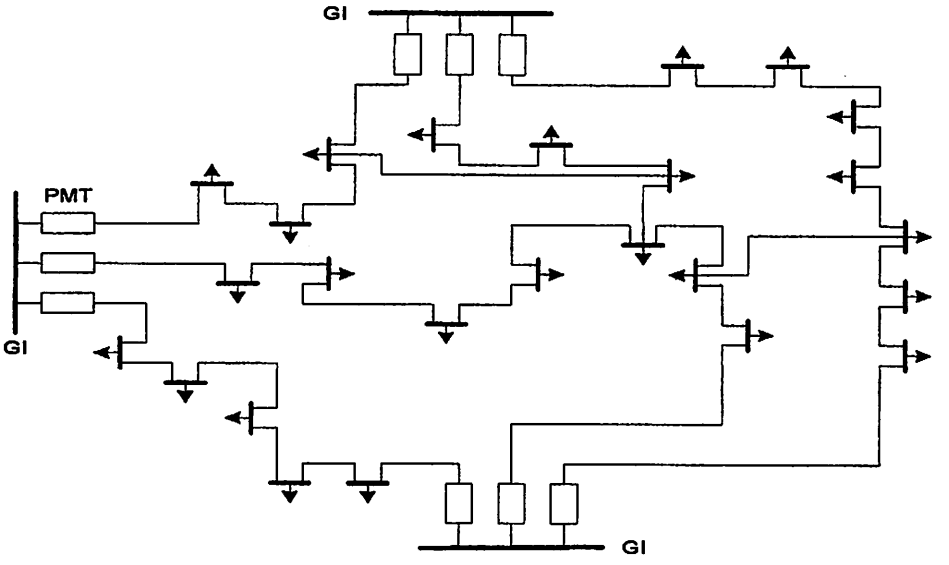
Struktur jaringan loop merupakan gabungan dari dua struktur jaringan radial. Dimana pada ujung kedua jaringan dipasang sebuah pemutus (*Circuit Braker*) atau pemisah (*Disconnect Switch*). Pada saat terjadi gangguan, setelah gangguan dapat diisolir,maka pemutus atau pemisah ditutup sehingga aliran daya 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 [3]

2.3.3. Struktur jaringan Grid atau *Mesh* (Anyaman)

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



Gambar 2.5
Jaringan Tegangan Menengah Struktur Mesh [3]

2.4 Analisa Aliran Daya Jaringan [7]

Dalam melayani beban yang dibutuhkan oleh konsumen dan pengoperasian tenaga listrik perlu dilakukan suatu analisa aliran daya, sehingga sistem yang dioperasikan dapat memenuhi syarat yang baik secara teknis maupun tingkat ekonomisnya. Dalam analisa aliran daya dilakukan perhitungan-perhitungan terhadap tegangan, arus, daya aktif , reaktif, dan sudut fasa yang terdapat dalam berbagai titik pada saluran distribusi tenaga listrik.

Tujuan dari analisa daya adalah :

1. Untuk mengetahui keadaan tegangan pada setiap node dari sistem tenaga.

2. Untuk mengetahui besarnya daya yang mengalir pada setiap saluran dari struktur jaringan
3. Untuk mengetahui besar rugi-rugi daya yang mengalir pada setiap saluran.

2.4.1 Daya Dalam Sistem Tenaga [3]

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

Daya listrik yang dibangkitkan dikenal dengan istilah :

2.4.1.1. Daya Nyata (*Real Power*)

Daya nyata dinyatakan dalam persamaan :

$$P = |V|\,|I| \cos \varphi \quad \text{.....(2.1)}$$

Daya nyata untuk beban 3 fasa seimbang

$$P = \sqrt{3}\ |V_{jala-jala}|\,|I_{jala-jala}| \cos \varphi \quad \text{.....(2.2)}$$

2.4.1.2. Daya Reaktif (*Reactive Power*)

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

Daya reaktif dinyatakan dalam persamaan :

$$Q = |V|\,|I| \sin \varphi \quad \text{.....(2.3)}$$

Daya reaktif untuk beban 3 fasa seimbang :

$$Q = \sqrt{3}\ |V_{jala-jala}|\,|I_{jala-jala}|\ \sin\varphi \quad \text{.....(2.4)}$$

2.4.1.3. Daya Semu (*Apparent Power*)

Daya semu dinyatakan dalam persamaan :

$$S = |V|\,|I| \quad \text{.....(2.5)}$$

Daya semu untuk beban 3 fasa seimbang :

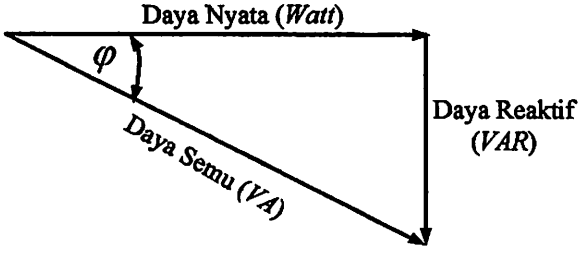
$$S = \sqrt{3}\ |V|\,|I| \quad \text{.....(2.6)}$$

2.4.2. Daya Reaktif dan Faktor Daya [3]

Setiap pemakaian daya reaktif akan menyebabkan turunnya faktor daya yang kemudian menyebabkan memburuknya karakteristik kerja peralatan-peralatan sistem pada umumnya, baik dari segi teknik operasional maupun segi ekonomisnya, faktor daya adalah perbandingan antara daya nyata dan daya semu.

$$Faktor\ daya = \frac{Daya\ Nyata\ (kW)}{Daya\ Semu\ (kVA)} \quad \text{.....(2.7)}$$

Untuk daya semu sendiri dibentuk oleh dua komponen daya nyata (kW) dan komponen daya reaktif (kVAR). Hubungan ini dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2.6
Segitiga daya [3]

Dengan faktor daya = Cosφ $= \frac{P}{S}$

$$\text{Cos}\,\varphi = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \quad \text{.....(2.8)}$$

P = Daya Nyata (kW)

Q = Daya Semu (kVAR)

S = Daya Semu (kVA)

φ =Sudut Fasa

Faktor daya (Cosφ) akan mendahului (*leading*) apabila arus mendahului tegangan dan akan tertinggal (*lagging*) bila arus terbelakang terhadap tegangan. Dengan diketahui besarnya faktor daya yang terjadi maka, berdasarkan gambar diatas dapat ditentukan nilai masing-masing daya yaitusebagai berikut:

Daya semu : S = P + jQ dengan satuan kVA

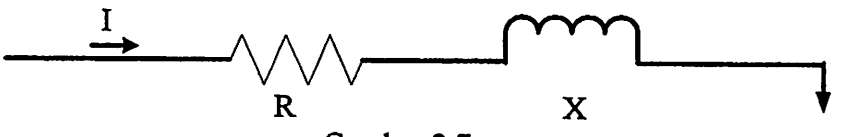
Daya nyata : P = S Cos φ dengan satuan kW

Daya Reaktif : Q = S Sin φ dengan satuan kVar

Beberapa sebab sistem distribusi mempunyai faktor daya yang rendah, yaitu:

- Banyaknya pemakaian motor asinkron terutama pada industri.
- Makin meningkatnya pemakaian lampu TL untuk penerangan.
- Pemakaian pemanas air.

Menurunnya faktor daya berarti mengecilnya perbandingan antara daya nyata dengan daya semu atau berarti semakin membesarnya kebutuhan beban dan daya aktif.



Gambar 2.7
Saluran Distribusi Primer [3]

Karena pada saluran terdapat resistansi R dan reaktansi X, maka rugi daya (P_L) dirumuskan sebagai berikut:

$$P_L = I^2 R$$

$$= (I \cos \varphi)^2 R + (I \sin \varphi)^2 R \quad \text{.....(2.9)}$$

Dimana :

I adalah arus

R adalah tahanan

Dalam hubungan segitiga daya rumus ini mengacu pada gambar 2.6

2.4.3. Klasifikasi Bus [10]

Pada simpul (rel atau *bus*) sistem terdapat parameter-parameter sebagai berikut :

- Daya nyata, dinyatakan dengan P satuannya MW
- Daya reaktif, dinyatakan dengan Q satuannya MVar
- Besar (*magnitude*) tegangan mempunyai simbol $|V|$ satuannya kV
- Sudut fasa tegangan mempunyai simbol δ dengan satuan radian

Dalam analisa aliran daya, pada setiap bus perlu diketahui 2 parameter dari keseluruhan 4 parameter yang diperhitungkan. Dengan melihat kedua parameter yang diketahui, setiap bus dalam suatu sistem dapat diklasifikasikan menjadi 3 yaitu:

a. *Slack bus* (bus referensi)

b. *Generator bus* (bus generator)

c. *Load bus* (bus beban)

2.4.3.1. Slack Bus atau Bus V-δ

Pada bus ini nilai daya aktif dan daya reaktif dibiarkan mengambang atau tidak diketahui, hal ini dikarenakan daya yang dikirim kepada sistem oleh generator tidak dapat dipastikan terlebih dahulu. Besarnya daya aktif dan daya reaktif selain ditentukan oleh besarnya beban, juga ditentukan oleh besarnya daya yang hilang atau rugi-rugi pada saluran. Nilainya hanya dapat ditentukan pada akhir perhitungan. Pada bus ini nilai tegangan masing-masing telah ditetapkan, yaitu sebesar 1 pu dan 0 derajat.

2.4.3.2. Generator Bus atau Bus P-V

Pada bus ini terdapat generator-generator yang nilai tegangan dan daya aktifnya diketahui, sedangkan besarnya daya reaktif dan sudut fasa tegangan akan dihitung.

2.4.3.3. Load Bus / Bus beban atau Bus P-Q

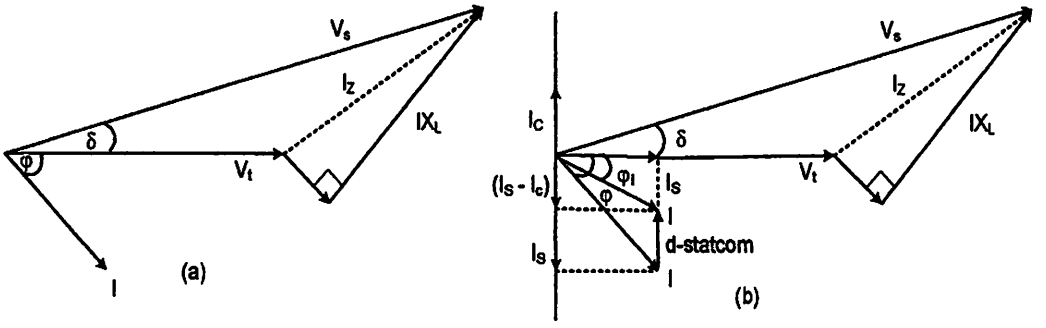
Pada bus ini terhubung oleh beban-beban permintaan daya aktif dan daya reaktif yang jelas diketahui, sedangkan tegangan $|V|$ dan sudut fasa tegangan δ merupakan dua besaran yang akan dihitung.

2.5. *Distribution Static Compensator* (D-STATCOM)

Pada sistem VSI terdapat beberapa peralatan, salah satu diantaranya adalah D-STATCOM *(Distribution Static Compensator)*. Secara umum prinsip kerja peralatan VSI digunakan untuk mengatur tegangan bus distribusi yang terhubung. D-STATCOM ini akan mengontrol daya reaktif yang dibangkitkan atau yang

diserap oleh peralatan tersebut. Dalam keadaan tunak operasi D-STATCOM adalah analog dengan mesin singkron. Oleh sebab itu, D-STATCOM memakai model sebuah bus PV pada studi aliran beban. Daya (dengan kata lain $P_{inj} = 0$) dan tegangan bus diatur pada nilai nominal 1 pu. Jika daya reaktif yang dibangkitkan (atau diserap) oleh D-STATCOM, Q_{inj}, melebihi rating dari peralatan tersebut, maka ditetapkan pada nilai ini ($Q_{inj} = S_{rat}$), dan peralatan diperlakukan sebagai suatu bus PQ. Prinsipnya D-STATCOM hanya menginjeksikan daya reaktif (VAR). D-STATCOM berlaku sebagai PV Bus jika $P_{inj} = 0$ dan daya reaktif lebih kecil dari rating peralatan ($Q_{inj} \leq S_{rat}$), dan berlaku sebagai Bus PQ jika daya reaktif lebih besar dari rating peralatan ($Q_{inj} > S_{rat}$).

Pada dasarnya tujuan dari alat D-STATCOM sama dengan peralatan lainnya yaitu memperbaiki profil tegangan. Untuk prinsip kerja D-STATCOM ini selain dapat menyerap daya reaktif juga dapat membangkitkan daya reaktif dalam jaringan distribusi.



Gambar 2.8
Vektor Diagram Sebelum (a) dan Sesudah (b) Pemasangan D-STATCOM Pada Jaringan Distribusi

Dalam sistem tenaga listrik yang ideal, tegangan dan arus adalah sefasa dan berimpit. Namun karena adanya karakteristik pembebanan yang bersifat induktif dan kapasitif, maka terjadi sudut simpangan antara tegangan dan arus.

Sudut inilah yang dinamakan cos φ. Dengan dipasangnya alat kompensasi dalam jaringan distribusi seperti kapasitor dan DSTATCOM ini, sudut simpangan (cos φ) yang dibentuk sedapat mungkin diperbesar mendekati nilai 1, karena kita tahu bahwa nilai cos φ semakin mendekati nilai satu kualitas daya listriknya akan semakin baik.

2.6. Metode Logika Fuzzy

Pada tahun 1965, Zadeh memodifikasi teori himpunan dimana setiap anggotanya memiliki derajat keanggotaan yang bernilai kontinyu antara 0 sampai 1. Himpunan ini disebut dengan Himpunan Kabur (*Fuzzy Set*). Logika *fuzzy* dapat diaplikasikan dalam beberapa area pengetahuan untuk memecahkan sebagian besar permasalahan kontrol dan optimasi. Sehingga skripsi ini menggunakan metode *fuzzy* pada *software* MATLAB 6.5.0. untuk optimasi lokasi penempatan D-STATCOM.

Untuk mengerti sistem *fuzzy*, harus mengenal konsep dasar yang berhubungan dengan logika *fuzzy*, seperti istilah-istilah dasar yang ada dibawah ini :

- **DERAJAT KEANGGOTAAN** adalah derajat dimana nilai *crisp compatible* dengan fungsi keanggotaan (dari 0 sampai 1), juga mengacu sebagai tingkat keanggotaan, nilai kebenaran, atau masukan *fuzzy*.
- **LABEL** adalah nama deskriptif yang digunakan untuk mengidentifikasi sebuah fungsi keanggotaan.
- **FUNGSI KEANGGOTAAN** adalah mengidentifikasi *fuzzy set* dengan memetakan masukan *crisp* dari domainnya ke derajat keanggotaan.

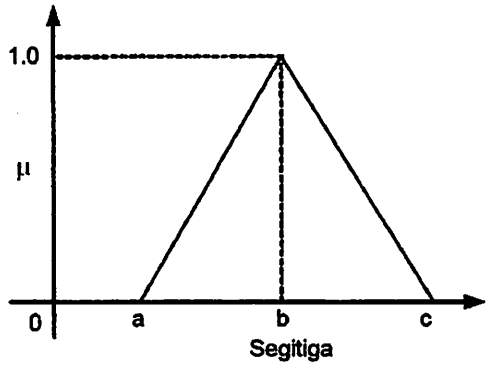
- **MASUKAN *CRISP*** adalah masukan yang tegas dan tertentu.
- **LINGKUP (DOMAIN)** adalah lebar fungsi keanggotaan. Jangkauan konsep, biasanya bilangan, tempat dimana fungsi keanggotaan dipetakan. Disini domain dari *fuzzy set* (fungsi keanggotaan).
- **DAERAH BATASAN CRISP** adalah jangkauan seluruh nilai yang mungkin dapat diaplikasikan pada variabel sistem.

Menggunakan logika *fuzzy* untuk melakukan penyelesaian *crisp* pada masalah khusus biasanya melibatkan tiga langkah : *fuzzyfikasi, evaluasi rule, dan defuzzyfikasi.*

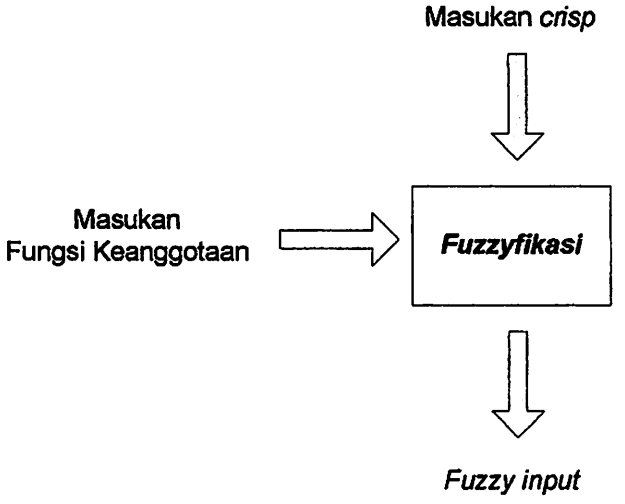
2.6.1. *Fuzzyfikasi* dan Fungsi Keanggotaan

Langkah pertama dalam memproses logika *fuzzy* mengandung transformasi domain yang dinamakan *fuzzyfikasi.* Masukan *crisp* ditransformasikan kedalam masukan *fuzzy.* Untuk mengubah masukan *crisp* kedalam bentuk *fuzzy*, fungsi keanggotaan pertama kali harus ditentukan untuk tiap masukan. Sekali fungsi keanggotaan ditentukan, *fuzzyfikasi* mengambil masukan secara *realtime,* masukan *crisp*, dan membandingkannyan dengan informasi fungsi keanggotan yang tersimpan untuk menghasilkan nilai masukan *fuzzy.*

Fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* pada skripsi ini menggunakan fungsi segitiga (*Triangle*). Karena fungsi segitiga (*Triangle*) pemetaannya lebih sepesifik dibandingkan dengan fungsi-fungsi yang lain yaitu fungsi trapesium (*Trapezoidal*) dan fungsi gauss (*Gaussian*). Seperti terlihat pada gambar 3-8 dibawah ini:



Gambar 2.9.
Fungsi Keanggotaan Dengan Fungsi Segitiga (*Triangle*)



Gambar 2.10.
Proses *fuzzyfikasi*

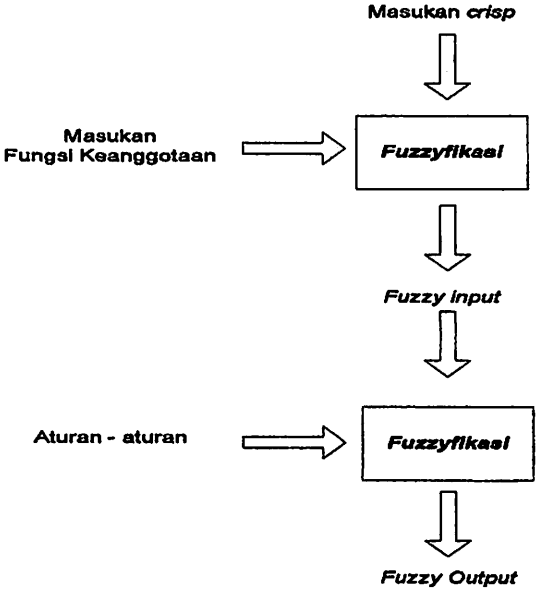
2.6.2. *Evaluasi Rule*

Dalam langkah kedua pemprosesan logika *fuzzy*, dinamakan *evaluasi rule*, proses *fuzzy* menggunakan aturan *linguistic* untuk menentukan aksi kontrol apa yang harus dilakukan dalam merespon nilai masukan yang diberikan. *Evaluasi rule* juga mengacu pada *fuzzy interference*, mengaplikasikan aturan pada masukan *fuzzy* yang dihasilkan dalam proses *fuzzyfikasi*, kemudian mengevaluasi tiap aturan dengan masukan yang dihasilkan dari proses *fuzzyfikasi*.

Aturan–aturan *fuzzy* biasanya menggunakan pernyataan jika-maka yang menggambarkan aksi yang diambil dalam merespon bermacam-macam masukan *fuzzy*. Aturan–aturan *fuzzy* :

- *If* ketidakseimbangan is seimbang, *Then* maka dinyatakan is beban seimbang.
- *If* ketidak seimbangan is peralihan, *Then* maka dinyatakan is beban antara seimbang dan tidak seimbang.
- *If* ketidakseimbangan is tidak seimbang, *Then* maka is beban tidak seimbang.

Meskipun aturan-aturan terlihat bebas dalam bentuk bahasa alami, mereka dibatasi oleh istilah-istilah *linguistic*, serta *sintaksis* yang baku.



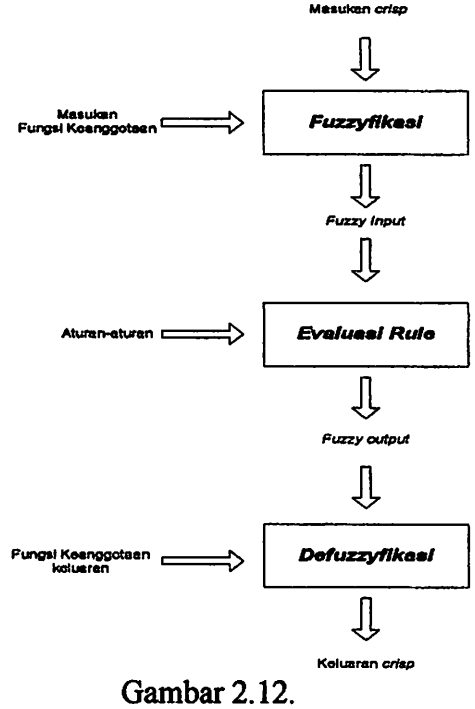
Gambar 2.11.
Proses *Evaluasi Rule*

2.6.3. *Defuzzyfikasi*

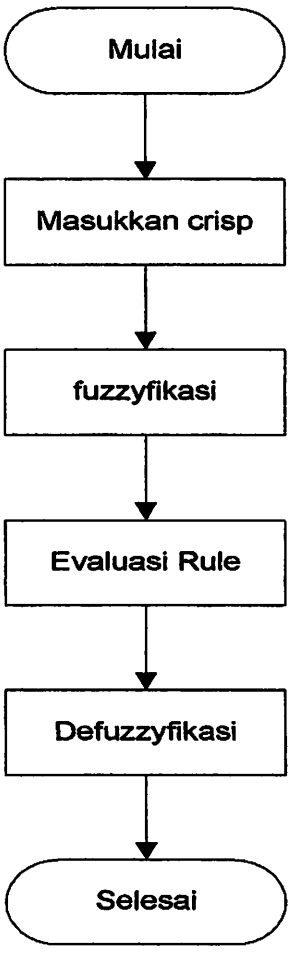
Dalam *defuzzyfikasi*, seluruh keluaran *fuzzy* yang signifikan, akan dikombinasikan kedalam *variable* keluaran yang spesifik, dan hasil *komprehensif*.

Dalam proses ini seluruh nilai keluaran *fuzzy* secara efektif memodifikasi fungsi keanggotaan keluaran. Dalam *evaluasi rule*, dengan menyimpan *rule strength* yang terbesar untuk tiap *qonsequent*, *rule* yang paling benar akan mendominasi.

Satu dari banyak teknik *defuzzyfikasi* yang paling sering digunakan adalah *ceter of gravity* (COG) atau metode *centroid.* Dalam metode ini, tiap fungsi keanggotaan nilai keluaran yang ditunjukkan oleh masing-masing keluaran *fuzzy* di *truncated* (dipepat/dipotong). Hasil "*clipped* (potongan)" fungsi keanggotaan kemudian dikombinasikan keseluruhan *center of gravity* dihitung. Pemampatan tersebut dinamakan dengan *lamda cut* (λ-cut). *Lamda-cut* (*λ-cut*) membatasi maksimum daerah *fuzzy*, atau fungsi keanggotaan. Tdak seperti *alpha-cut threshold* yang ditetapkan oleh pembuat (atau *user* dalam beberapa contoh), *lamda threshold* ditentukan oleh *fuzzy inference* selama proses *eksekusi.* Contoh utama *lamda-cut* adalah pemotong fungsi keanggotaan pada tingkatan akhir *evaluasi rule.*



Gambar 2.12.
Proses *Defuzzyfikasi*



Gambar 2.13
Flowchart Logika Fuzzy

2.7. Sistem Per-Unit[7]

Untuk memudahkan perhitungan-perhitungan dalam sistem tenaga listrik digunakan sistem p.u (*per-unit*) yang didefinisikan sebagai perbandingan harga yang sebenarnya dengan harga dasar (*base value*), sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$Besaran\ per\text{-}unit = \frac{Besaran\ sebenarnya}{Besaran\ dasar\ dengan\ ukuran\ yang\ sama} \quad .....(2.10)$$

Rumus yang digunakan untuk penentuan arus dasar dan impedansi dasar adalah:

Arus dasar

$$I_d = \frac{kVA\ dasar\ 1\ fasa}{dasar\ tegangan, kV_{L-N}} \quad \text{.....(2.11)}$$

Impedansi dasar

$$Z_d = \frac{(dasar\ tegangan, kV_{L-N})^2 x\ 1000}{kVA\ dasar\ 1\ fasa} \quad \text{.....(2.12)}$$

$$= \frac{(dasar\ tegangan, kV_{L-N})^2}{MVA\ dasar\ 1\ fasa} \quad \text{.....(2.13)}$$

Dalam persamaan di atas nilai-nilai besaran diberikan untuk rangkaian satu fasa. Jadi tegangannya adalah tegangan antara fasa dengan tanah dan daya setiap fasa. Setelah besaran-besaran dasar ditentukan maka besaran-besaran itu dinormalisasikan terhadap besaran dasar. Dengan demikian impedansi per-satuan didefenisikan sebagai berikut:

$$Z = \frac{impedansi\ sebenarnya\ Z\ (\Omega)}{impedansi\ dasar\ Z_d(\Omega)} \quad \text{.....(2.14)}$$

2.8. Rugi – Rugi Daya Saluran Distribusi.

Rugi daya adalah besarnya daya yang hilang dalam proses penyaluran daya listrik. Rugi daya ini terdiri dari rugi daya aktif dan daya reaktif. Rugi – rugi ini dapat terjadi pada penyulang / jaringan suatu sistem tenaga listrik seperti :

a. Rugi pada penyulang utama dan peralatan saluran.

b. Rugi pada trafo distribusi.

Dalam proses penyaluran energi listrik ke pelanggan terjadi rugi-rugi teknis (*losses*), yaitu rugi daya dan energi, dimulai dari pembangkit, transmisi, dan distribusi. Rugi-rugi teknis adalah pada penghantar saluran, adanya tahanan

dari penghantar yang dialiri arus maka akan timbul rugi-rugi teknis (I^2R) pada jaringan tersebut. Rugi-rugi teknis dari jaringan tenaga listrik tergantung dari macam-macam pembebanan pada saluran tersebut.

Persamaan untuk rugi-rugi daya aktif dan daya reaktif adalah sebagai berikut:

$$[P] = [R] [| I |^2] \quad \text{.....(2.15)}$$

$$[Q] = [X] [| I |^2] \quad \text{.....(2.16)}$$

2.9. Variasi Tegangan [3]

Seperti diketahui, pen-catuan tenaga listrik kepada para pelanggan tegangannya (tegangan pelayanan), tidak dapat konstan, karena adanya impedansi dari jaringan yang mencatu. Dengan kata lain tegangan pelayanan bervariasi pada setiap pelanggan.

Variasi tegangan pelayanan ini, tentu saja ada batas-batas toleransinya. Untuk indonesia , toleransi tegangan yang diizinkan, didasarkan pada standar PLN, yaitu SPLN 1: 1995. Standar ini mengganti SPLN l:1978 tentang Tegangan-Tegangan Standar, dimana ditentukan bahwa variasi tegangan pelayanan , sebagai akibat jatuh tegangan, karena adanya perubahan beban, maksimum +5% dan minimum -10% dari tegangan nominalnya.

2.10. Variasi kapasitas D-STATCOM

Dalam skripsi ini jumlah peralatan yang akan dipasang hanya satu D-STATCOM saja. Untuk penggunaan kapasitas D-STATCOM yang terpasang

nantinya akan disesuaikan dengan kebutuhan yang ada. Variasi kapasitas D-STATCOM tersebut seperti tabel di bawah ini:

Tabel 2.1
Dimensi dan berat D-STATCOM menurut *standart* ISO

System Rating, MVAR	**Number of Containers**	**Dimensions, Feet (Meters)**			**Weight, Pounds (kg)**
		L	W	H	
5.0	1	40 (12.2)	8.0 (2.4)	9.5 (2.9)	36,000 (16,364)
7.5	1	45 (13.7)	8.0 (2.4)	9.5 (2.9)	48,000 (21,818)
10.0	Container 1: Lead, 10 MVAR Container 2 : Control	45 (13.7) 20 (6.1)	8.0 (2.4) 8.0 (2.4)	9.5 (2.9) 9.5 (2.9)	48,000 (21,818) 14,000 (6,363)
15.0	Container 1: Lead, Control 7.5 MVAR Container 2 : Auxiliary, 7.5 MVAR	45 (13.7) 40 (12.2)	8.0 (2.4) 8.0 (2.4)	9.5 (2.9) 9.5 (2.9)	48,000 (21,818) 36,000 (16,364)

BAB III

METODE FUZZY LOGIC UNTUK MENENTUKAN LOKASI DSTATCOM PADA JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER 20KV TYPE RADIAL

3.1. Metode Analisa Rangkaian DSTATCOM (*Distribution Static Compensator*)

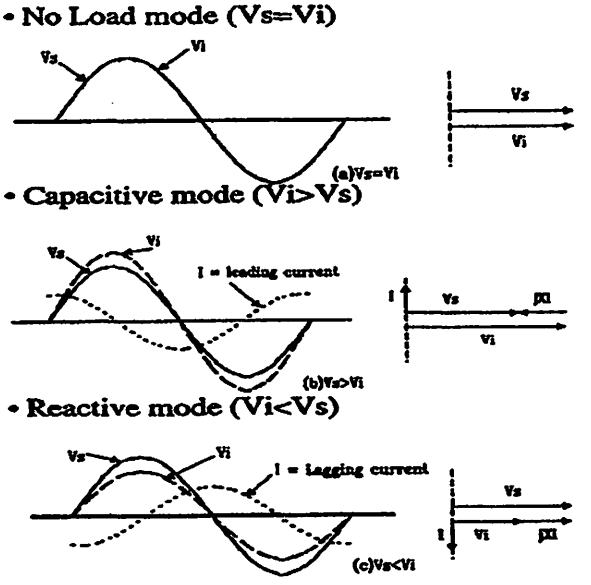
Jaringan distribusi radial biasanya dirancang untuk aliran daya tak searah dari pusat pembangkit sampai ke beban. Dari sebuah generator (alat kompensasi) pada saluran distribusi, aliran daya mungkin saja dapat berubah. Jika pembangkitan lokal melebihi dari konsumsi lokal. Aliran daya dapat berubah arah.[11]. Aliran daya dapat menjadi suatu permasalahan jika tidak dipertimbangkan dalam perencanaan sistem proteksi. Lebih dari itu, aliran daya balik dapat pula mengakibatkan suatu gradien tegangan balik di sepanjang saluran distribusi radial.

DSTATCOM yang dihubungkan secara *shunt* (paralel) dengan DVR (VSC) dalam sistem AC (*Alternating Current*) menyediakan topologi multifungsi yang dapat digunakan untuk menjelaskan tiga tujuan yang berbeda, yang mana antara lain [12]:

1. Regulasi tegangan dan kompensasi daya reaktif.
2. Koreksi dari faktor daya.
3. Eliminasi / menghilangkan arus harmonik.

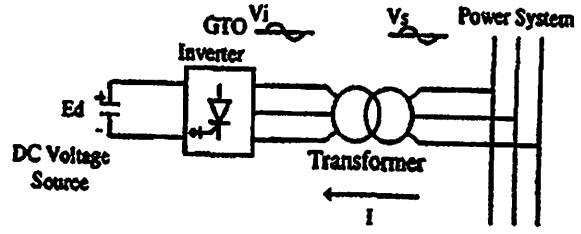
Sistem daya distribusi dapat juga dimodelkan sebagai suatu sumber tegangan. Dua tegangan sumber dihubungkan dengan suatu reaktor yang mewakili

reaktansi bocor dari transformator. *Phasa* tegangan keluaran dari thyiristor yang berdasarkan pada inverter, Vi, adalah dikendalikan dengan cara yang sama sebagai tegangan sistem, Vs. Gambar 3.1 berikut menunjukkan prinsip kerja dari arus keluaran DSTATCOM , yang bervariasi tergantung dari Vi :

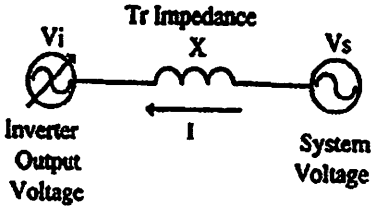


Gambar 3.1.
Prinsip Kerja DSTATCOM [13]

Pada gambar 3.1 diatas, jika Vi sama dengan Vs, maka tidak ada daya reaktif yang dikirim / diinjeksi ke dalam sistem. Sedangkan jika Vi lebih besar dari Vs, sudut fasa Ii adalah mendahului sudut fasa dari Vs sebesar 90°. Seperti suatu aliran daya reaktif sebagai beban kapasitif dari DSTATCOM. Jika Vi lebih kecil dari Vs, sudut fasa Ii tertinggal oleh sudut fasa Vs sebesar 90°. Seperti suatu aliran daya yang tertinggal sebagai beban induktif DSTATCOM. Jumlah dari aliran daya reaktif adalah sebanding dengan perbedaan antara Vs dan Vi. Konfigurasi dasar dari peralatan DSTATCOM dapat diperlihatkan dengan gambar dibawah ini :



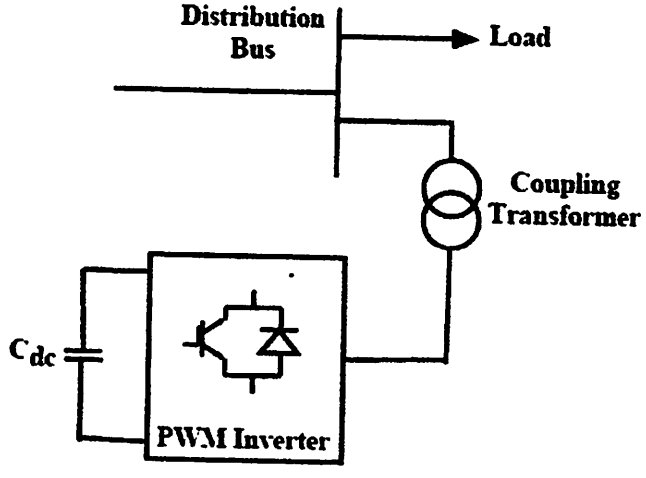
(a) Basic Configuration of Compact D-STATCOM



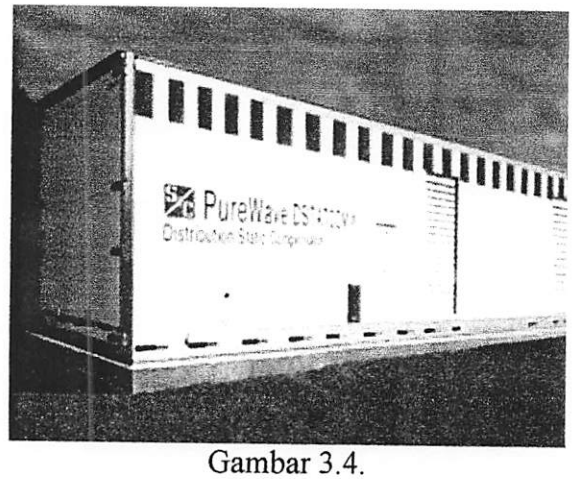
(b) Equivalent Circuit of Compact D-STATCOM

Gambar 3.2.
(a) Konfigurasi dasar peralatan DSTATCOM
(b) Sirkuit Eqivalen DSTATCOM [13]

Sebagai contoh berikut ditampilkan skema single line dan data spesifikasi peralatan DSTATCOM yang dipakai dalam jaringan distribusi tipe radial :



Gambar 3.3.
Skema *Single Line* Peralatan DSTATCOM



Gambar 3.4.
Gambar Fisik Peralatan DSTATCOM

Tabel 3.1.
Data Spesifikasi *Rating* Peralatan DSTATCOM

Rated Capasity	7,5 Mvar in low and medium voltage version
Rated Metal-Enclosed Switchgear	4,16 – 34,5 kV
System Operational	Voltage Control and Power Factor Control Aplication
Switching Frequency	5 Pulse PWM Response time of ½ to 1 cycle or 2 to 4 miliseconds

Note : Pada referensi data spesifikasi rating peralatan dimana frequensi yang digunakan adalah 60 Hz, hal ini tidak sesuai dengan spesifikasi *rating* peralatan yang terdapat di Indonesia. Untuk Negara Indonesia karena menggunakan frequensi 50 Hz, maka frequensinya harus disesuaikan.

3.2. Data Saluran

Jaringan distribusi Penyulang Bunul menggunakan kabel saluran udara dengan spesifikasi yang seperti tabel 3.2.

Tabel 3.2.
Spesifikasi Saluran

Jenis Konduktor	Penampang nominal (mm^2)	Impedansi Saluran (Ω /km)
AAAC	150	0,2162 + j 0,3305
AAAC	120	0,2688 + j 0,3376
AAAC	70	0,4608 + j 0,3572

Dari data spesifikasi saluran pada penyulang Bunul diketahui bahwa jenis konduktor yang digunakan adalah AAAC (*All Aluminium Alloyconductor*) dengan penampang nominal 150 mm^2 dengan impedansi saluran 0,2162 + j 0,3305 Ω /km untuk saluran utama, dan impedansi saluran 0,2688 + j 0.3376 Ω /km untuk sub saluran.

Perhitungan perkalian impedansi saluran dalam bilangan kompleks harus menggunakan bentuk polar sehingga rumus yang didapatkan untuk mengubah suatu bilangan kompleks dari bentuk rektangular ke bentuk polar adalah:

$$a + jb = r\,(Cos\,\theta\,^\circ + j\,Sin\,\theta\,^\circ) = r\angle\,\theta\,^\circ \quad \text{.....(3.1)}$$

dimana : $r = \sqrt{a^2 + b^2}$ *dan* $\theta = tg^{-1}\frac{b}{a}$

Untuk perhitungan penampang 150 mm^2 dengan impedansi saluran 0,2162 + j 0,3305 adalah :

$$r = \sqrt{0{,}2162^2 + 0{,}3305^2} = 0{,}3949$$

$$\theta = tg^{-1}\frac{0{,}3305}{0{,}2162} = 56{,}81^\circ$$

Sehingga nilai impedansi penampang 150 mm^2 sebesar 0,3949 $\angle$ 56,81°

Untuk perhitungan impedansi saluran diberikan contoh pada saluran dari 1 ke 2 sebagai berikut :

Jarak antara saluran 1 ke 2 dengan panjang 0,5021 km

$= 0{,}5021 \times (0{,}3949 \angle 56{,}81°)$

$= 0{,}1983 \angle 56{,}81°$

Kemudian nilai $0{,}1983 \angle 56{,}81°$ dirubah ke bentuk rectangular seperti pada rumus 3.2 sebagai berikut:

$= 0{,}1983\ (Cos\ 56{,}81° + j\ Sin\ 56{,}81°)$

$= 0{,}1086 + j\ 0{,}1659$

Dengan cara yang sama seperti contoh diatas untuk saluran yang lainnya maka diperoleh hasil seperti tabel 3.3.

Tabel 3.3.
Hasil Perhitungan Saluran Impedansi Penyulang Bunul

No Saluran	Node		Panjang (km)	Impedansi Saluran	
	Dari	Ke		R (ohm)	X (ohm)
1	1	2	0,5021	0,1086	0,1659
2	2	3	0,1625	0,0351	0,0537
3	3	4	0,2153	0,0465	0,0712
4	4	5	0,1159	0,0251	0,0383
5	5	6	0,2946	0,0792	0,0995
6	5	7	0,1537	0,0332	0,0508
7	7	8	0,1993	0,0431	0,0659
8	8	9	0,141	0,0305	0,0466
9	9	10	0,1903	0,0411	0,0629
10	10	11	0,0948	0,0205	0,0313
11	11	12	0,2541	0,0549	0,0840
12	12	13	0,2968	0,0642	0,0981
13	11	14	0,0315	0,0068	0,0104
14	14	15	0,3906	0,0844	0,1291
15	15	16	0,2453	0,0530	0,0811
16	16	17	0,1769	0,0476	0,0597
17	16	18	0,4433	0,0958	0,1465
18	18	19	0,1067	0,0231	0,0353
19	19	20	0,1016	0,0220	0,0336
20	20	21	0,1654	0,0445	0,0558
21	20	22	0,289	0,0625	0,0955
22	22	23	0,207	0,0448	0,0684
23	23	24	0,3574	0,0773	0,1181

24	24	25	0,2566	0,0690	0,0866
25	24	26	0,1523	0,0329	0,0503
26	26	27	0,1936	0,0419	0,0640
27	26	28	0,2347	0,0507	0,0776
28	28	29	0,1629	0,0352	0,0538
29	29	30	0,301	0,0651	0,0995
30	23	31	0,2885	0,0624	0,0953
31	31	32	0,2068	0,0556	0,0698
32	31	33	0,1957	0,0423	0,0647
33	33	34	0,2122	0,0459	0,0701
34	34	35	0,1596	0,0345	0,0527
35	35	36	0,2389	0,0517	0,0790
36	33	37	0,261	0,0564	0,0863
37	37	38	0,0439	0,0095	0,0145
38	38	39	0,2037	0,0440	0,0673
39	39	40	0,029	0,0063	0,0096
40	38	41	0,5792	0,1252	0,1914
41	41	42	0,031	0,0067	0,0102
42	41	43	0,9629	0,2082	0,3182
43	14	44	0,046	0,0099	0,0152
44	44	45	0,1109	0,0240	0,0367
45	45	46	0,2088	0,0451	0,0690
46	46	47	0,137	0,0296	0,0453
47	47	48	0,0512	0,0111	0,0169
48	46	49	0,0448	0,0097	0,0148
49	49	50	0,0737	0,0159	0,0244
50	50	51	0,0978	0,0211	0,0323
51	51	52	0,3713	0,0803	0,1227
52	52	53	0,3625	0,0784	0,1198
53	53	54	0,1009	0,0218	0,0333
54	53	55	0,2161	0,0467	0,0714
55	52	56	0,0422	0,0091	0,0139
56	56	57	0,2807	0,0607	0,0928
57	57	58	0,0777	0,0168	0,0257
58	58	59	0,4678	0,1011	0,1546
59	57	60	0,0357	0,0077	0,0118
60	60	61	0,0976	0,0262	0,0329
61	60	62	0,2654	0,0574	0,0877
62	62	63	0,218	0,0471	0,0720
63	63	64	0,1367	0,0296	0,0452
64	64	65	0,1871	0,0405	0,0618

65	65	66	0,03	0,0138	0,0107
66	66	67	0,3295	0,1518	0,1177
67	65	68	0,0363	0,0167	0,0130
68	68	69	0,084	0,0387	0,0300
69	69	70	0,1158	0,0534	0,0414
70	70	71	0,13	0,0599	0,0464
71	69	72	0,1613	0,0743	0,0576
72	72	73	0,0818	0,0377	0,0292
73	73	74	0,028	0,0129	0,0100
74	73	75	0,0869	0,0400	0,0310
75	75	76	0,1344	0,0619	0,0480
76	63	75	0,1138	0,0246	0,0376
77	63	77	0,1284	0,0278	0,0424
78	77	78	0,1723	0,0373	0,0569
79	78	79	0,1532	0,0331	0,0506
80	79	80	0,0907	0,0244	0,0306
81	79	81	0,065	0,0141	0,0215
82	81	82	0,038	0,0082	0,0126
83	82	83	0,1721	0,0463	0,0581
84	82	84	0,406	0,0878	0,1342
85	84	85	0,0372	0,0080	0,0123
86	85	86	0,025	0,0067	0,0084
87	85	87	0,2921	0,0632	0,0965
88	87	88	0,0996	0,0215	0,0329
89	88	89	0,103	0,0223	0,0340
90	87	90	0,0997	0,0216	0,0330
91	90	91	0,4656	0,1007	0,1539
92	91	92	0,0863	0,0187	0,0285
93	92	93	0,1812	0,0392	0,0599

3.3. Pembebanan Sistem 20 kV Penyulang Bunul

Pembebanan diperoleh dengan mengambil data dari masing-masing trafo distribusi, dimana besarnya beban pada masing-masing fasa diasumsikan seimbang. Jika besarnya pembebanan nol, maka pada bus tidak terdapat trafodistribusi tetapi hanya merupakan simpul. Pada tahap ini rugi-rugi yang

terjadi pada trafo distribusi diabaikan, dengan mengasumsi faktor daya 0,85. dibawah ini diberikan contoh perhitungan pembebanan pada node 2:

Kapasitas trafo = 160 kVA

Faktor daya = Cos φ = 0,85

Sin φ = 0,5268

Pembebanan = 102,304 kVA

Beban Aktif = 102,304 x cos φ = 102,304 x 0,85 = 86,9635 kW

Beban Reaktif = 102,304 x Sin φ = 102,304 x 0,5268 = 17,9656 kVAR

Untuk node 3 sampai 93 seperti pada tabel 3.4 dibawah ini :

Tabel 3.4.
Hasil Perhitungan Pembebanan S,P dan Q Sistem 20 kV Penyulang Bunul

No Node	Kode trafo	Lokasi	Pembebanan			Type
			S (kVA)	P (kW)	Q (kVAR)	
1	—	—	0	0	0	Slack
2	T.359	Lap. Alap-alap	102,31	86,9635	53,8969	Load
3	T.1008	Jl.Ksatrian	5,22	4,4370	2,7499	Load
4	T.89	Jl.Ksatrian	147,39	125,2815	77,6451	Load
5	—	—	0	0	0	Load
6	T.271	Perumahan ABRI	6,61	5,6185	3,4821	Load
7	T.330	Perempatan Ksatrian	31,37	26,6645	16,5257	Load
8	T.13	Jl.Ters. Ksatrian	60,06	51,0510	31,6396	Load
9	T.329	Jl.Ters. Ksatrian	75	63,9744	39,6491	Load
10	T.718	Jl.Ters. Ksatrian	48,09	40,8765	25,3338	Load
11	—	—	0	0	0	Load
12	T.327	Jl.Hamid Rusdi Timur	56	47,6000	29,5008	Load
13	T.506	Jl.Wiroto	146,72	124,7120	77,2921	Load
14	—	—	0	0	0	Load
15	T.356	Jl.Ngujil	119,79	101,8215	63,1054	Load
16	—	—	0	0	0	Load
17	T.633	Jl.Wapoga	98,57	83,7845	51,9267	Load
18	T.793	Jl.Simp. Sulfat	60,26	51,2210	31,7450	Load
19	T.352	Jl.Simp. Sulfat	64,29	54,6465	33,8680	Load
20	—	—	0	0	0	Load
21	T.886	Perum Pondok Indah	39,65	33,7025	20,8876	Load
22	T.1102	Jl.Simp. Sulfat Utara	33,52	28,4920	17,6583	Load
23	—	—	0	0	0	Load
24	—	—	0	0	0	Load
25	T.916	Jl.Sulfat	71,19	60,5115	37,5029	Load
26	—	—	0	0	0	Load
27	T.677	Jl.Raya Sulfat	127,69	108,5365	67,2671	Load

28	T.790	Perum Taman Sulfat	121,59	103,3515	64,0536	Load
29	T.921	Perum Taman Sulfat	139,33	118,4305	73,3990	Load
30	T.573	Perum Taman Sulfat	16,1	13,6850	8,4815	Load
31	—	—	0	0	0	Load
32	T.526	Ds.Glagah Urik (BTN Puskopad)	157,55	133,9175	82,9973	Load
33	—	—	0	0	0	Load
34	T.944	Perum Raya Titan Asri	54,03	45,9255	28,4630	Load
35	T.945	Perum Raya Titan Asri	62,33	52,9805	32,8354	Load
36	T.693	Perum Raya Titan Asri	89,89	76,4065	47,3541	Load
37	T.393	Ds.Pandan Wangi	150,75	128,1375	79,4151	Load
38	—	—	0	0	0	Load
39	T.1150	PT.Nitradi Wahyu Cemerlang	19,01	16,1585	10,0145	Load
40	T.971	Ds.Pandan Wangi	131,12	111,4520	69,0740	Load
41	—	—	0	0	0	Load
42	T.709	Ds.Jambangan	45,7	38,8450	24,0748	Load
43	T.569	Jl.LA Sucipto	83,04	70,5840	43,7455	Load
44	T.1007	Pasar Bunul	57,98	49,2830	30,5439	Load
45	T.90	Jl.Hamid Rusdi	107,8	91,6300	56,7890	Load
46	—	—	0	0	0	Load
47	T.1076	Lap.Rampal	98,47	83,6995	51,8740	Load
48	T.67	Jl.Ronggolawe	102,83	87,4055	54,1708	Load
49	T.328	Jl.Hamid Rusdi	30,96	26,3160	16,3097	Load
50	T.63	Jl.Hamid Rusdi	106,85	90,8225	56,2886	Load
51	T.1077	Jl.Hamid Rusdi	71,26	60,5710	37,5398	Load
52	—	—	0	0	0	Load
53	—	—	0	0	0	Load
54	T.374	Perum Srikandi	143,64	122,0940	75,6696	Load
55	T.397	Ds.Kendal Kerep	82,88	70,4480	43,6612	Load
56	T.184	Jl.Grindulu	105,03	89,2755	55,3298	Load
57	—	—	0	0	0	Load
58	T.846	Jl.Lahor	106,43	90,4655	56,0673	Load
59	T.126	Jl.Amandit	107,89	91,7065	56,8365	Load
60	—	—	0	0	0	Load
61	T.420	Jl.Sampeyan	96,14	81,7190	50,6466	Load
62	T.326	Jl.Amprong	90,06	76,5510	47,4436	Load
63	—	—	0	0	0	Load
64	T.592	Jl.Tumenggung Suryo	51,08	43,4180	26,9089	Load
65	—	—	0	0	0	Load
66	T.161	Jl.Sanan	59,08	50,2180	31,1233	Load
67	T.400	Jl.Sanan Timur	53,36	45,3560	28,1100	Load
68	T.1073	Jl.Sanan	41,4	35,1900	21,8095	Load
69	—	—	0	0	0	Load
70	T.317	Jl.Indragiri	53,3	45,3050	28,0784	Load
71	T.26	Jl.Indragiri	29,08	24,7180	15,3193	Load
72	T.316	Jl.Serayu	53,09	45,1265	27,9678	Load
73	—	—	0	0	0	Load
74	T.168	Jl.Kapuas	54,61	46,4185	28,7685	Load
75	—	—	0	0	0	Load
76	T.313	Jl.Musi	34,5	29,3250	18,1746	Load
77	T.1005	Jl.Tumenggung Suryo	50,39	42,8315	26,5455	Load

78	T.1006	Jl.Tumenggung Suryo	126,72	107,7120	66,7561	Load
79	—	—	0	0	0	Load
80	T.292	Jl.WR. Supratman	33,14	28,1690	17,4582	Load
81	T.05	Jl.Tumenggung Suryo	112,71	95,8035	59,3756	Load
82	—	—	0	0	0	Load
83	T.232	Jl.Hamid Rusdi	199,12	169,2520	104,8964	Load
84	T.171	Jl.Panglima Sudirman	64,41	54,7485	33,9312	Load
85	—	—	0	0	0	Load
86	T.909	Jl.Panglima Sudirman	3,66	3,1110	1,9281	Load
87	—	—	0	0	0	Load
88	T.95	Jl.Patimura	96,5	82,0250	50,8362	Load
89	T.846	Jl.Patimura (PR.Jaya Sakti)	48,51	41,2335	25,5551	Load
90	T.04	Jl.Panglima Sudirman	47,04	39,9840	24,7807	Load
91	T.907	Jl.Panglima Sudirman (Armed)	90,17	76,6445	47,5016	Load
92	T.12	Jl.Panglima Sudirman	49,28	41,8880	25,9607	Load
93	T.151	Jl.Panglima Sudirman	64,53	54,8505	33,9944	Load

3.4. Data Kapasitas DSTATCOM

Untuk penentuan kapasitas D-STATCOM dapat di rumuskan sebagai berikut :

$$VAR = 314{,}2 \times C_{DC} \times V^2L\text{–}L \quad \text{.....(3.2)}$$

Dimana :

$V_{L\text{-}L}$= tegangan *line to line*

C_{DC} = kapasitor dc

Cara menentukan besaran nilai kapasitor pada suatu sistem dengan menggunakan kapasitor *shunt* adalah :

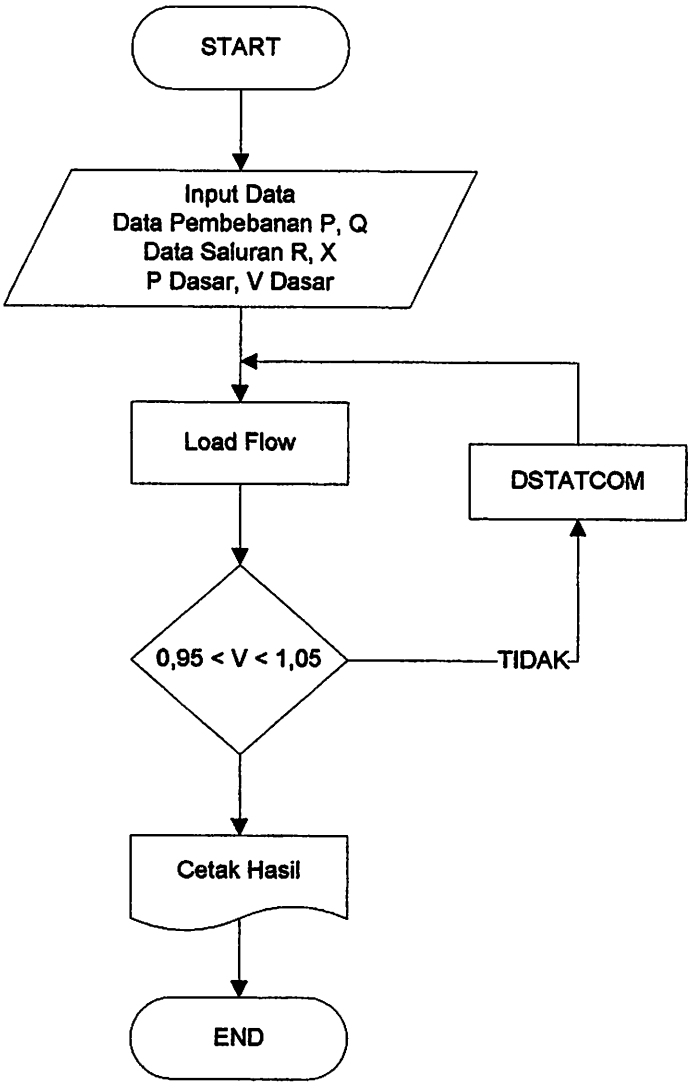
$$C = \frac{1}{2\pi x(f) x X_c} \quad \text{.....(3.3)}$$

Sedangkan untuk menghitung nilai X_c adalah :

$$Z_c = X_c = \frac{|kV|^2}{jQ_c} \quad \text{.....(3.4)}$$

3.5. Algoritma Program Pemecahan Masalah Secara Umum

1. Memasukkan inputan data beban yang meliputi V_{dasar}, P_{dasar}, daya aktif (P), daya reaktif (Q), data impedansi saluran R,X.
2. Melakukan proses analisa aliran daya untuk mengetahui batasan tegangan.
3. Melakukan pemeriksaan apakah terdapat pelanggaran tegangan:
    - "Ya" lanjutkan ke langkah 4
    - "tidak" langsung ke langkah 5
4. Melakukan *sub rutine* algoritma *fuzzy*
5. Cetak hasil
6. Selesai



Gambar 3.5.
Flowchart umum aliran daya

3.6. *Software* MATLAB

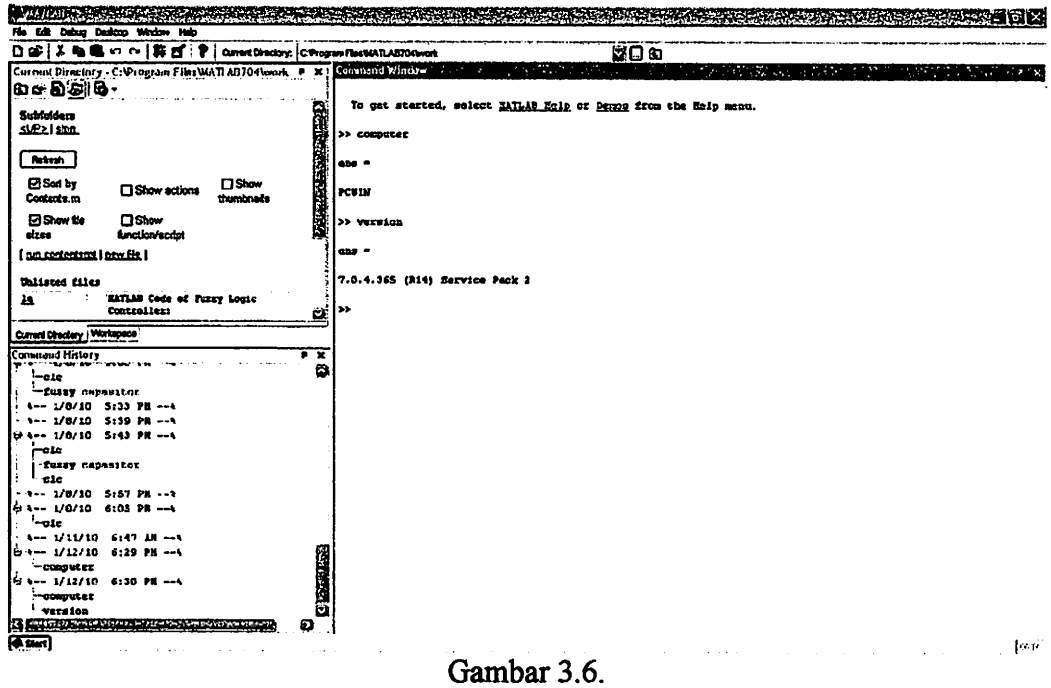
Untuk simulasi optimasi penempatan lokasi DSTATCOM menggunakan metode *Fuzzy logic* digunakan *software* MATLAB 7.0.4.

MATLAB adalah sebuah program untuk menyelesaikan perhitungan ilmiah maupun teknik secara numeris. Matlab dikendalikan dengan perintah-perintah *(commands)* dan karenanya bersifat dapat diprogram. MATLAB menggunakan teknik-teknik khusus berbasis matriks untuk menyelesaikan

persoalan. Dengan cara ini banyak kemudahan yang diperoleh pemakai, selain cara pemrogramannya yang tidak rumit, solusi masalah yang dinyatakan MATLAB adalah mirip dengan apa yang dituliskan secara matematis.

Ada banyak aplikasi yang dikembangkan oleh para pemakainya, mulai dari pemrosesan sinyal, kontrol otomatis sampai dengan saraf tiruan. *The Matwork Inc.* yaitu perusahaan yang me-*release* MATLAB menyediakan berbagai versi dari MATLAB untuk berbagai jenis komputer. Sebagai analisis pada pembuatan skripsi ini digunakan MATLAB versi 7.0.4.

MATLAB secara default adalah *case sensitive*, yaitu membedakan pemakaian antara huruf kapital dan huruf kecil. Pada umumnya perintah-perintah MATLAB ditulis dengan huruf kecil *(lower case).*



Gambar 3.6.
Tampilan Awal MATLAB Versi 7.0.4.

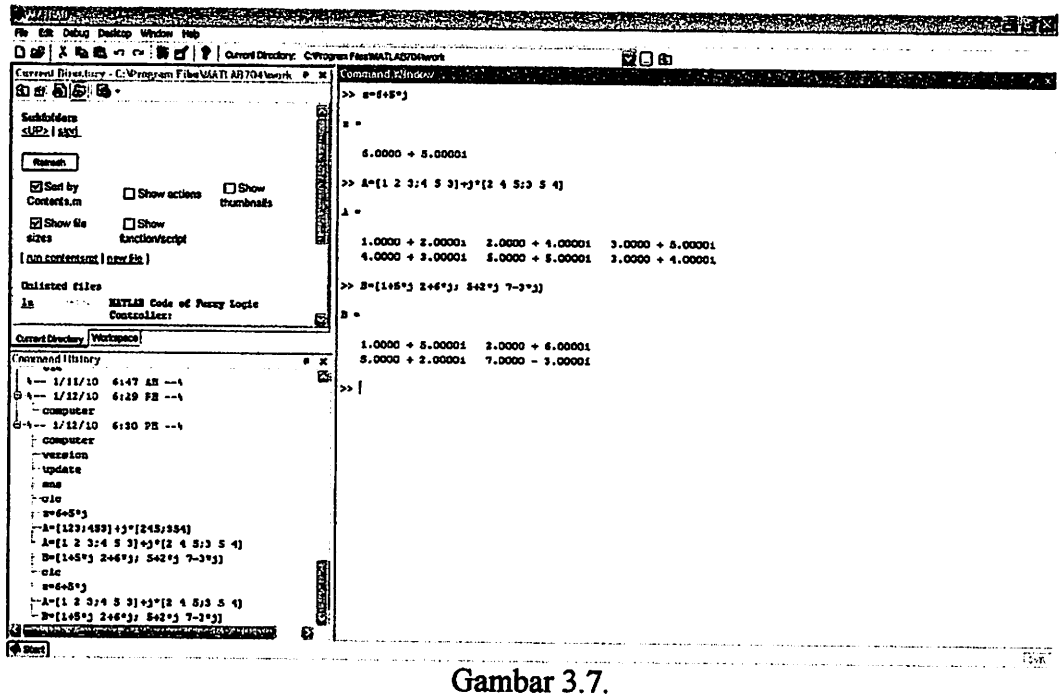
Bilangan kompleks juga dapat dipergunakan dalam MATLAB, dengan definisi satuan bilangan kompleks "i" atau "j" $=\sqrt{-1}$, dimana antara keduanya

dapat dipergunakan tergantung pemakai. Penulisan bilangan kompleks ini mempergunakan standar konvensional :

$$z = a + j*b$$

Keterangan: a = komponen real

b = komponen imajiner



Gambar 3.7.
Matriks Bilangan Kompleks

3.7. Metode Penempatan DSTATCOM

Pilihan suatu metode solusi aplikasi praktis sering sulit, pilihan itu memerlukan analisis yang cermat atas kelebihan dan kekurangan pada banyak metode yang tersedia. Untuk solusi dari permasalahan diatas maka digunakan suatu metode alternatif yaitu motode *fuzzy* yang menyediakan cara lebih baik dalam menganalisis penempatan DSTATCOM.

Algoritma optimasi yang dipakai dalam skripsi ini dimaksudkan dapat menjadi suatu alat perencanaan jaringan distribusi secara *off-line*. Algoritma ini

akan menghitung daya aktif dan daya reaktif yang dibutuhkan untuk mencapai suatu profil tegangan yang optimal.

fuzzy logic memungkinkan suatu penyajian komputasi pengetahuan heuristic tentang permasalahan yang spesifik. Sejak 1965 ketika Zadeh mengusulkannya, *Fuzzy Logic* ini secara ekstensif telah diaplikasikan dalam beberapa *area* pengetahuan untuk memecahkan sebagaian besar permasalahan control dan optimasi.

Pada dasarnya, sangat perlu untuk mengidentifikasikan variabel utama yang mempunyai pengaruh pada pengambilan keputusan dan mengukur nilai-nilai dalam *level* yang relevan. Didalam persoalan penempatan DSTATCOM, *rule* (peraturan) dibuat untuk menentukan apakah menguntungkan atau tidak untuk dipasang DSTATCOM pada bus tertentu.

3.8. Pemodelan logika fuzzy pada DSTATCOM

Pada langkah pertama, solusi aliran daya untuk sistem distribusi yang terpasang diperlukan untuk mendapatkan rugi-rugi daya aktif dan daya reaktif. Solusi aliran daya juga di butuhkan untuk mereduksi rugi daya dengan cara mengkompensasi daya aktif total setiap *node* dalam sistem distribusi. Kemudian pengurangan rugi daya dalam suatu linier di ubah dalam bentuk [0,1] dengan pengurangan kerugian terbesar memiliki nilai 1 sedangkan pengurangan nilai terkecil memiliki nilai 0. Nilai PLI untuk n^{th} dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$PLI_{(n)} = \frac{(Lossreduction_{(n)} - Lossreduction_{(\min)})}{(Lossreduction_{(\max)} - Lossreduction_{(\min)})} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.5)$$

Index pengurangan rugi daya dengan menggunakan tegangan per unit sebagai input untuk *Fuzzy Inference Suitability* (FIS) dimana untuk menentukan lokasi DSTATCOM yang terpasang.

Dalam logika *fuzzy* adalah fuzzyfikasi, setiap input logika *fuzzy* dari proses ini didapatkan nilai fungsi keanggotaan dari tiap himpunan *fuzzy* yang ada untuk tiap input, setelah semua input telah melalui proses fuzzyfikasi (proses fuzzyfikasi dijelaskan pada bab 2) maka untuk mengambil suatu keputusan maka dari hasil fuzzyfikasi akan dimasukkan kedalam sistem pengambil keputusan yang lebih dikenal dengan aturan-aturan dasar (*rule base*). Aturan-aturan dasar ini berisi tentang relasi-relasi yang menghubungkan antara *input* dan *output*. Setelah keputusan telah diambil maka proses selanjutnya melakukan proses defuzzyfikasi. Proses defuzzifikasi adalah proses pemetaan dari hasil aksi kontrol inferensi *fuzzy*. Tujuan dari defuzzifikasi adalah untuk menghasilkan aksi kontrol *non fuzzy* (*crisp*) yang mewakili distribusi kemungkinan dari hasil kontrol inferensi *fuzzy*.

3.8.1. Prosedur Pengontrolan Dengan Logika Fuzzy.

Pengaturan dengan menggunakan logika fuzzy merupakan kumpulan aturan-aturan kontrol sebagai acuan untuk menyatakan aksi kontroler. Aturan tersebut disusun berdasarkan pengamatan atau perkiraan terhadap respon dinamik sistem. Untuk menentukan *rule base* digunakan metode pendekatan secara *linguistic*, dengan melakukan pengamatan respon terhadap masukan maka selanjutnya ditentukan *rule base* kontrol logika *fuzzy* yang sesuai.

Sedangkan untuk mendesain kontrol logika *fuzzy* yang dilakukan adalah melalui langkah-langkah sebagai berikut :

3.8.1.1.Menentukan Kuantisasi Variabel Masukan dan Keluaran

Dalam skripsi ini input yang digunakan dalam proses pengontrolan D-STATCOM pada *AC Voltage Regulator* dengan menggunakan logika *fuzzy* ini ada 2 macam variabel yaitu PLI (*Power Loss Index*) dan tegangan per unit (V). Sedangkan untuk variabel output adalah CSI (*Capasitor Suitability Index*). Untuk nilai variabel PLI dari 0 pu sampai 1pu dan untuk tegangan per unit antara 0,9 sampai 1,1 sedangkan CSI antara 0 sampai 1. Hasil selisih tegangan pada bus yang turun dengan tegangan referensi dengan satu keluaran yaitu CSI (*Capasitor Suitability Index*) yang berfungsi mengatur aliran daya reaktif.

3.8.1.2.Menentukan *Rule Base*

Rule base merupakan sekelompok aturan dalam *fuzzy* yang mengolah *signal* data *input* dan signal data *output*. Pada penyusunan *rule base fuzzy* akan dibuat aturan-aturan dasar untuk pengambilan keputusan pada *output*.

Banyaknya jumlah kelompok *rule base* akan dibuat sesuai dengan banyaknya *signal* keluarannya. Jika *signal* keluaran *fuzzy* kontroller hanya terdapat satu macam, maka akan hanya terdapat satu macam kelompok *rule base*. Terdapat dua masukan logika *fuzzy* tiap fasa yang dapat digunakan yaitu *PLI* (*Power Loss Index*) dan tegangan per unit (V) serta satu keluaran yaitu CSI (*Capasitor Suitability Index*).

Kinerja yang lebih baik dapat diperoleh dengan pembagian ruang yang lebih banyak, misalnya lima nilai yaitu variabel pertama PLI adalah L (*low*), LM (*Low Medium*), M (*Medium*), HM (*High Medium*), H (*High*) dapat dilihat pada tabel

3.5. Sedangkan untuk variabel kedua tegangan per unit adalah L (*Low*), LN (*Low Normal*), N (*Normal*), HN (*High Normal*), HH (*High High*) pada tabel 3.6.

Tabel 3.5.
Inputan variabel pertama PLI

PLI		
rugi-rugi	Tingkatan *Fuzzy*	Indeks
0 - 0,2	Low	L
0,2 - 0,4	Low Medium	LM
0,4 - 0,6	Medium	M
0,6 - 0,8	High Medium	HM
0,8 - 1	High	H

Tabel 3.6.
Inputan variabel kedua tegangan per unit

Voltage		
Tegangan per unit	Tingkatan *Fuzzy*	Indeks
0,9 - 0,925	Low	L
0,925 - 0,95	Low Normal	LN
0,95 - 1,05	Normal	N
1,05 - 1,075	High normal	HN
1,075 - 1,1	High High	HH

Sedangkan untuk bobot variabel output CSI adalah L (*Low*), LN (*Low Normal*), N (*Normal*), HN (*High Normal*), HH (*High High*) pada tabel 3.7. dibawah ini :

Tabel 3.7.
Output variabel keluaran CSI

CSI		
Bobot	Tingkatan Fuzzy	Indeks
0 - 0,2	Low	L
0,2 - 0,4	Low Medium	LM
0,4 - 0,6	Medium	M
0,6 - 0,8	High Medium	HM
0,8 - 1	High	H

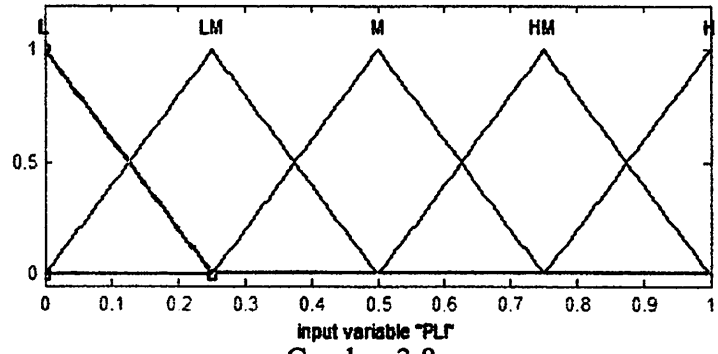
Pembagian nilai dengan lima nilai sering digunakan pada perancangan logika *fuzzy* karena pembagian ruang tersebut sudah dapat mewakili ruang keseluruhan dan didapat hasil yang lebih baik. Prototipe dan penyempurnaan berturut-turut ditunjukan pada Tabel 3.8. Secara langsung pembagian ruang masukan mempengaruhi jumlah aturan kontrol yang dihasilkan. Pada sistem *Multi Input Single Output* (MISO), jumlah aturan kontrol yang dihasilkan adalah 5 x 5 = 25 aturan kontrol.

Tabel 3.8.
Rule Base untuk CSI dengan Dua Masukan PLI dan tegangan

AND		*Voltage*				
		L	LN	N	HN	HH
PLI	L	LM	LM	L	L	L
	LM	M	LM	LM	L	L
	M	HM	M	LM	L	L
	HM	HM	HM	M	LM	L
	H	H	HM	M	LM	LM

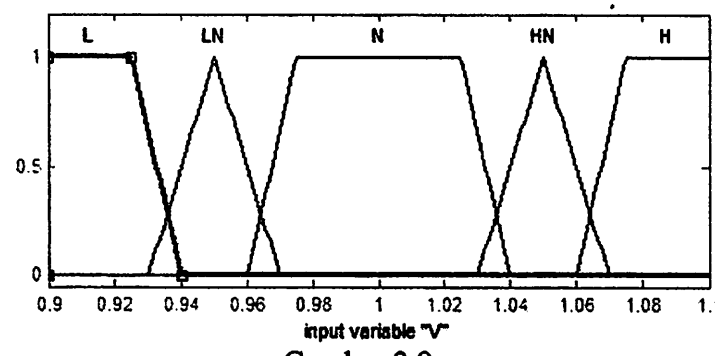
3.8.1.3.Menentukan *Membership Function*

Fungsi keanggotaan (*membersip function*) menyatakan fungsi secara keseluruhan yang menyatakan derajat keanggotaan (*membership grade*) dari masing-masing variabel. Sedangkan yang dimaksud variabel disini adalah PLI, tegangan per unit dan CSI. Untuk fungsi keanggotaan (*membersip function*) yang dipakai untuk masukan PLI seperti pada Gambar 3.8 adalah fungsi segitiga yang digunakan untuk membagi daerah batas PLI yang akan difuzzifikasi untuk masukan pada *rule base fuzzy* kontroller. Pada daerah batasan ini dipakai lima fungsi segitiga untuk masukan yaitu L (*Low*), LN (*Low Normal*), N (*Normal*), HN (*High Normal*), HH (*High High*).



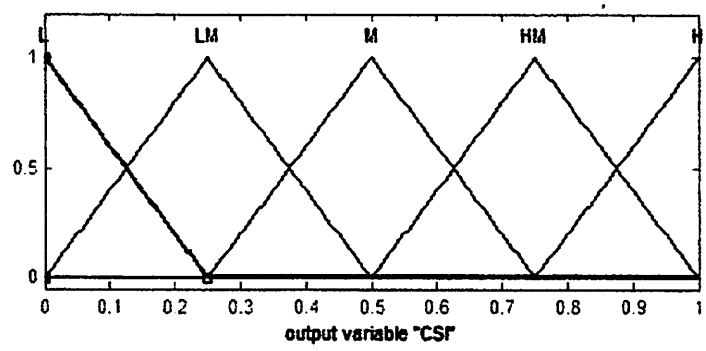
Gambar 3.8
Membership Function untuk PLI.

Fungsi keanggotaan (*membersip function*) yang dipakai untuk masukan *tegangan per unit* seperti pada Gambar 3.9 adalah fungsi trapesium yang digunakan untuk membagi daerah batas PLI yang akan difuzzifikasi untuk masukan pada *rule base fuzzy* kontroller. Pada daerah batasan ini dipakai lima fungsi trapesium untuk masukan L (*low*), LM (*Low Medium*), M (*Medium*), HM (*High Medium*), H (*High*).



Gambar 3.9.
Membership Function untuk tegangan per unit

Sedangkan fungsi keanggotaan (*membersip function*) yang dipakai untuk keluaran CSI seperti pada Gambar 3.10 adalah fungsi segitiga yang digunakan untuk membagi daerah batas CSI yang akan didefuzzifikasi untuk keluaran pada fuzzy kontroller. Pada daerah batasan ini dipakai lima fungsi segitiga untuk masukan L (*low*), LM (*Low Medium*), M (*Medium*), HM (*High Medium*), H (*High*).



Gambar 3.10.
Membership Function untuk CSI.

3.8.2. Proses Fuzzyfikasi

Setelah dihasilkan tingkat kuantisasi masing-masing PLI dan tegangan per unit dilanjutkan proses fuzzyfikasi yaitu proses yang mengubah data numerik menjadi data fuzzy.

Ada dua macam proses fuzzyfikasi untuk kasus ini yaitu :

1. Fuzzyfikasi PLI
2. Fuzzyfikasi tegangan per unit

3.8.3. Proses *Inference*

Inference procces merupakan proses untuk mendapatkan aksi CSI (*Capasitor suitability index*) dari suatu kondisi masukan (*PLI* dan tegangan *per unit*) dengan dasar *rule base* yang telah disusun sesuai Tabel 3.4. Dalam skripsi ini yang digunakan maka akan terdapat dua puluh lima aturan kontrol yang harus dimasukkan.

3.8.4. Proses Defuzzyfikasi

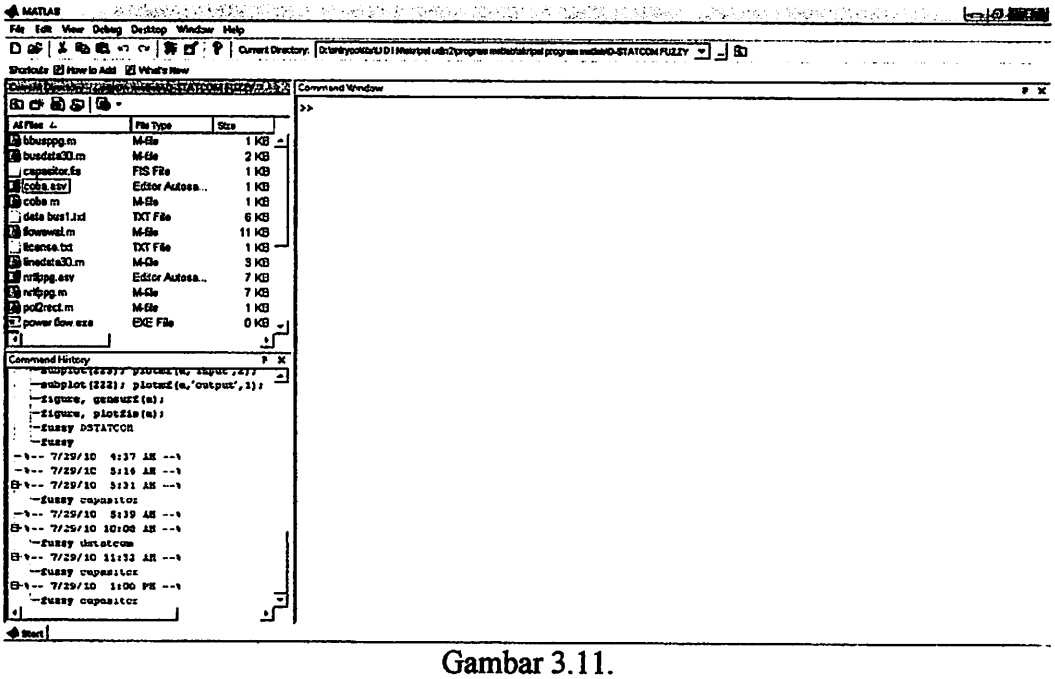
Proses defuzzifikasi merupakan proses untuk mengubah data *fuzzy* menjadi data numerik sebagai aksi signal keluaran. Data tersebut dihasilkan

diperoleh pada proses *inference*. Dalam sistem ini karena metode untuk mambentuk *membership function* adalah metode *triangular* (segitiga), maka untuk menentukan sinyal aktuasi yang lebih cocok adalah menggunakan metode *Center of Area* (COA) atau metoda titik berat.

3.9. Langkah-langkah Pelaksanaan Program *Fuzzy Logic.*

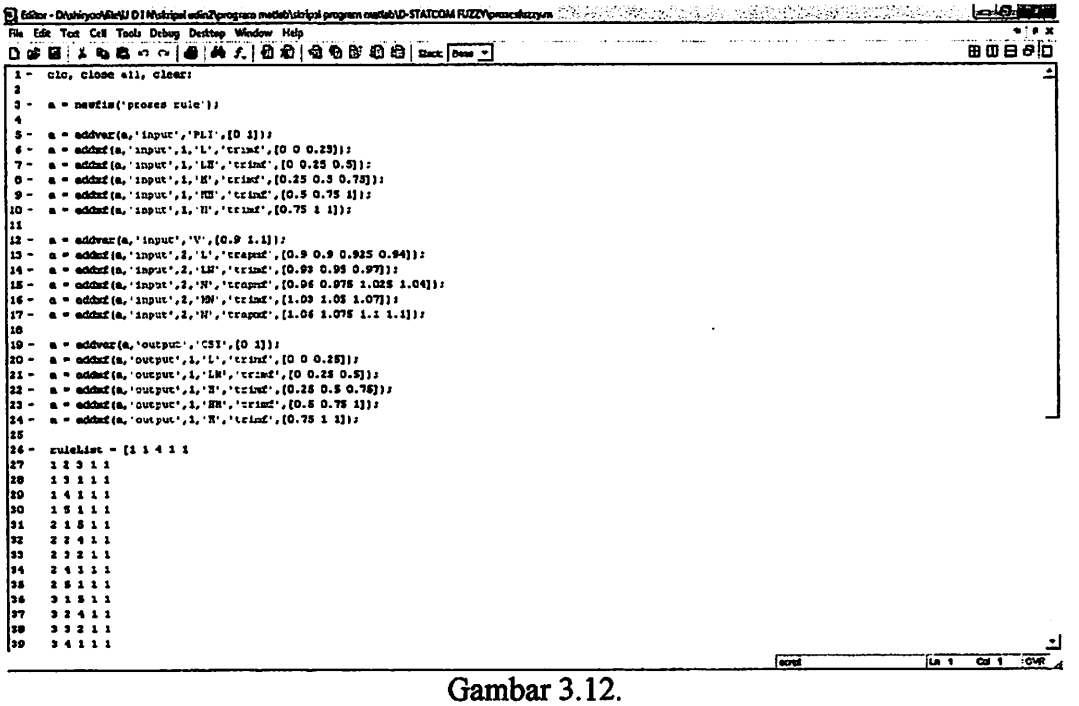
Prosedur menjalankan program *Fuzzy Logic* dengan menggunakan bahasa pemrograman MATLAB 7.0.4 dapat dilakukan sebagai berikut:

1. tampilan utama program MATLAB 7.0.4



Gambar 3.11.
Tampilan utama program MATLAB 7.0.4

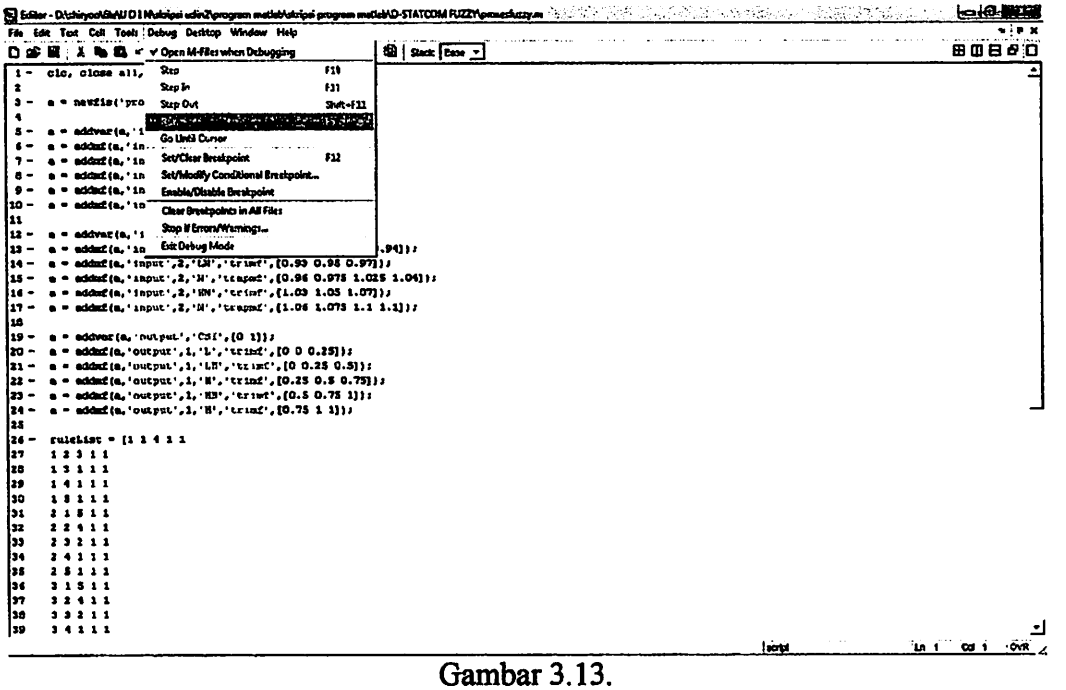
2. Tekan *open file* untuk membuka data yang sudah tersimpan, pilih data utama kemudian klik *open* untuk membuka.



```
clc, close all, clear;

a = newfis('proses rule');

a = addvar(a,'input','PLI',[0 1]);
a = addmf(a,'input',1,'L','trimf',[0 0 0.25]);
a = addmf(a,'input',1,'LH','trimf',[0 0.25 0.5]);
a = addmf(a,'input',1,'H','trimf',[0.25 0.5 0.75]);
a = addmf(a,'input',1,'HH','trimf',[0.5 0.75 1]);
a = addmf(a,'input',1,'H','trimf',[0.75 1 1]);

a = addvar(a,'input','V',[0.9 1.1]);
a = addmf(a,'input',2,'L','trapmf',[0.9 0.9 0.925 0.94]);
a = addmf(a,'input',2,'LH','trimf',[0.93 0.95 0.97]);
a = addmf(a,'input',2,'N','trapmf',[0.96 0.975 1.025 1.04]);
a = addmf(a,'input',2,'HN','trimf',[1.03 1.05 1.07]);
a = addmf(a,'input',2,'H','trapmf',[1.06 1.075 1.1 1.1]);

a = addvar(a,'output','CSI',[0 1]);
a = addmf(a,'output',1,'L','trimf',[0 0 0.25]);
a = addmf(a,'output',1,'LH','trimf',[0 0.25 0.5]);
a = addmf(a,'output',1,'H','trimf',[0.25 0.5 0.75]);
a = addmf(a,'output',1,'HH','trimf',[0.5 0.75 1]);
a = addmf(a,'output',1,'H','trimf',[0.75 1 1]);

rulelist = [1 1 4 1 1
   1 2 3 1 1
   1 3 1 1 1
   1 4 1 1 1
   1 5 1 1 1
   2 1 5 1 1
   2 2 4 1 1
   2 3 2 1 1
   2 4 1 1 1
   2 5 1 1 1
   3 1 5 1 1
   3 2 4 1 1
   3 3 2 1 1
   3 4 1 1 1
```

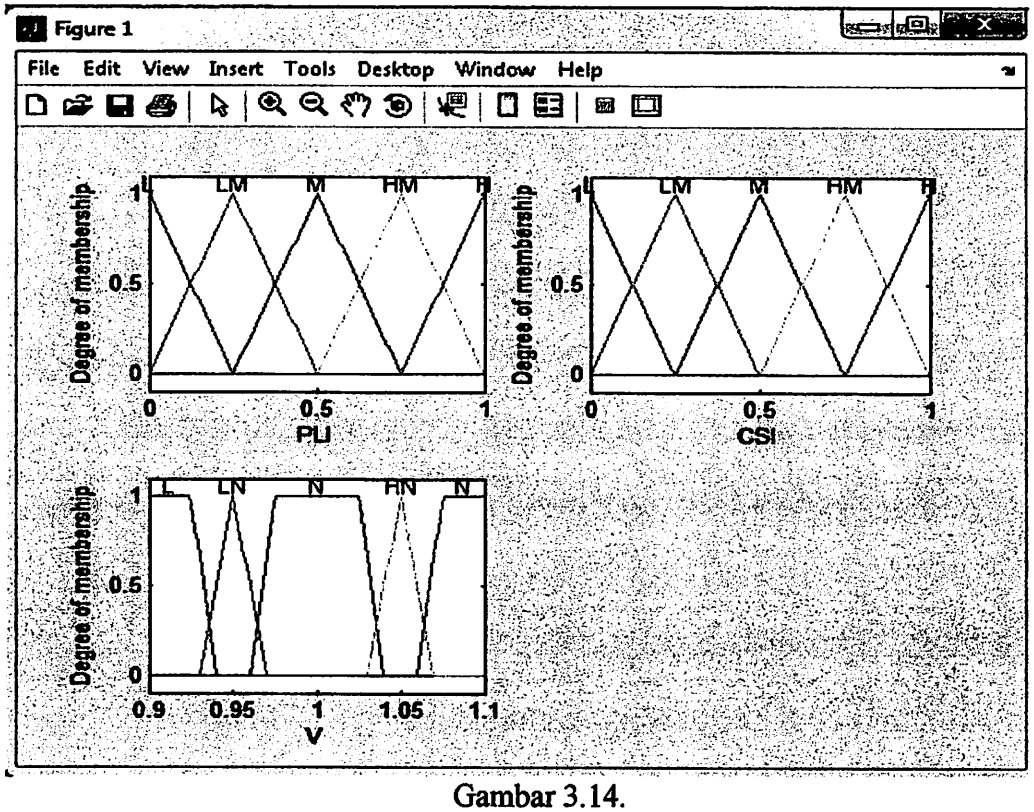
Gambar 3.12.
Tampilan program utama

3. Kemudian klik *debug* setelah itu tampil pilihan, pilih *run* untuk menjalankan program.

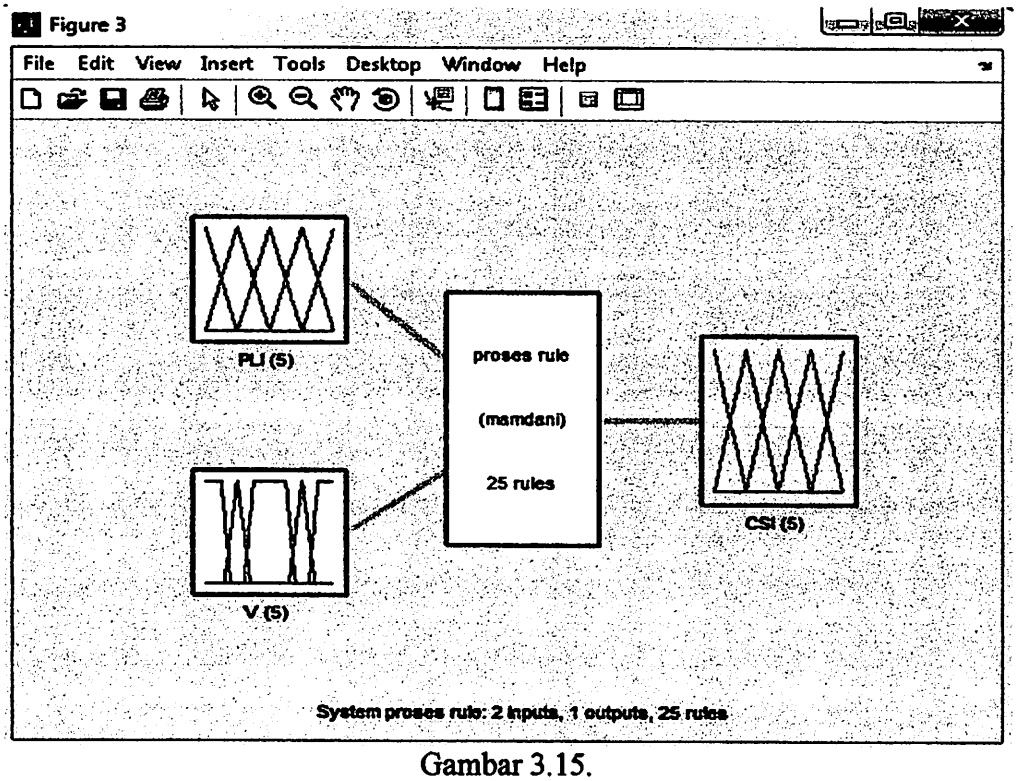


Gambar 3.13.
Tampilan untuk menjalankan program

4. Selanjutnya pada akan muncul tampilan gambar sebagai berikut :



Gambar 3.14.
Tampilan kurva *membership function* PLI, Tegangan, dan CSI

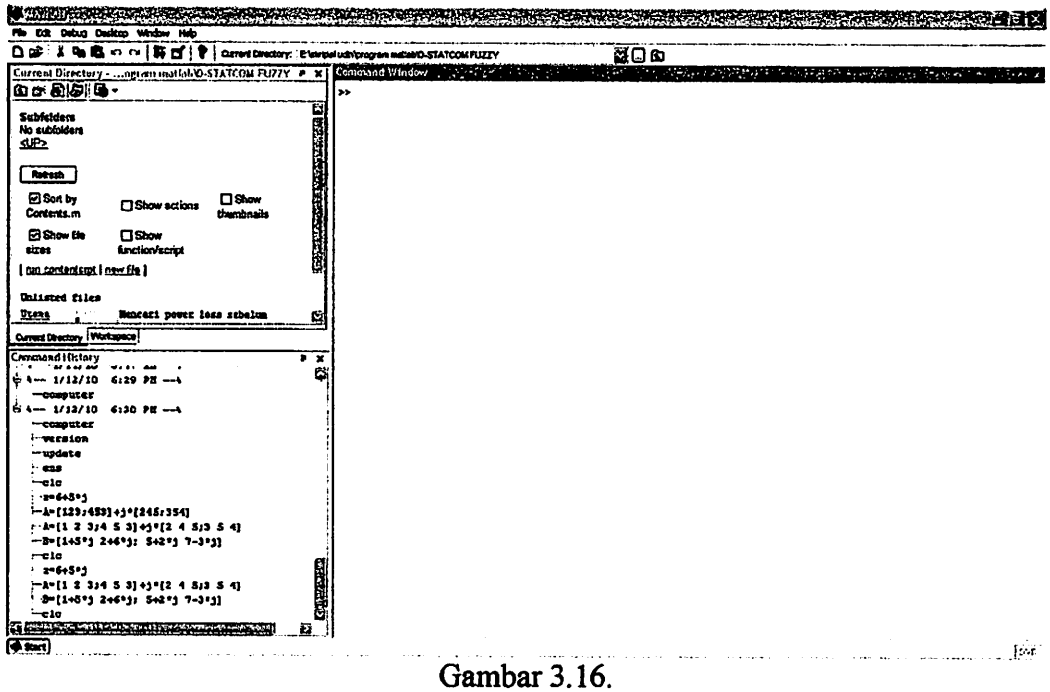


Gambar 3.15.
Tampilan *system membership function* PLI, Tegangan, dan CSI

3.10. Prosedur Pelaksanaan Program *Fuzzy Logic.*

Prosedur menjalankan program *Fuzzy Logic* dengan mengguanakan bahasa pemrograman MATLAB 7.0.4 dapat dilakukan sebagai berikut:

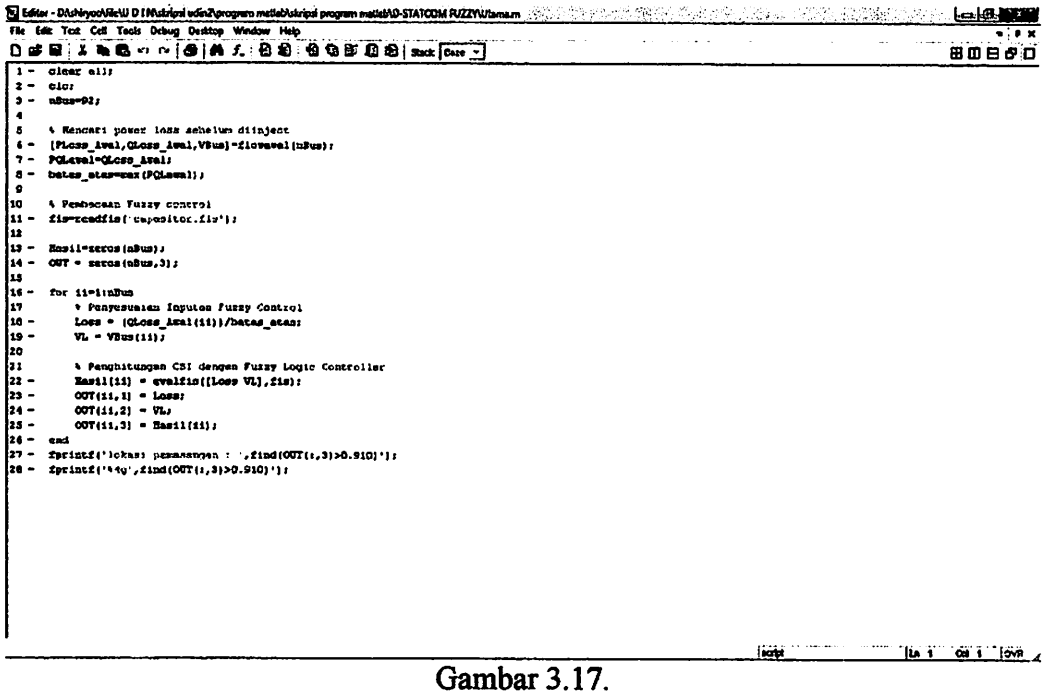
1. Tampilan utama program MATLAB 7.0.4



Gambar 3.16.
Tampilan utama program MATLAB 7.0.4

Pada gambar 3.16 merupakan tampilan utama program simulasi matlab 7.0.4 sebelum menjalankan program yang mana terlebih dahulu telah dimasukkan data-data yang dibutuhkan, yaitu data pembebanan, data saluran.

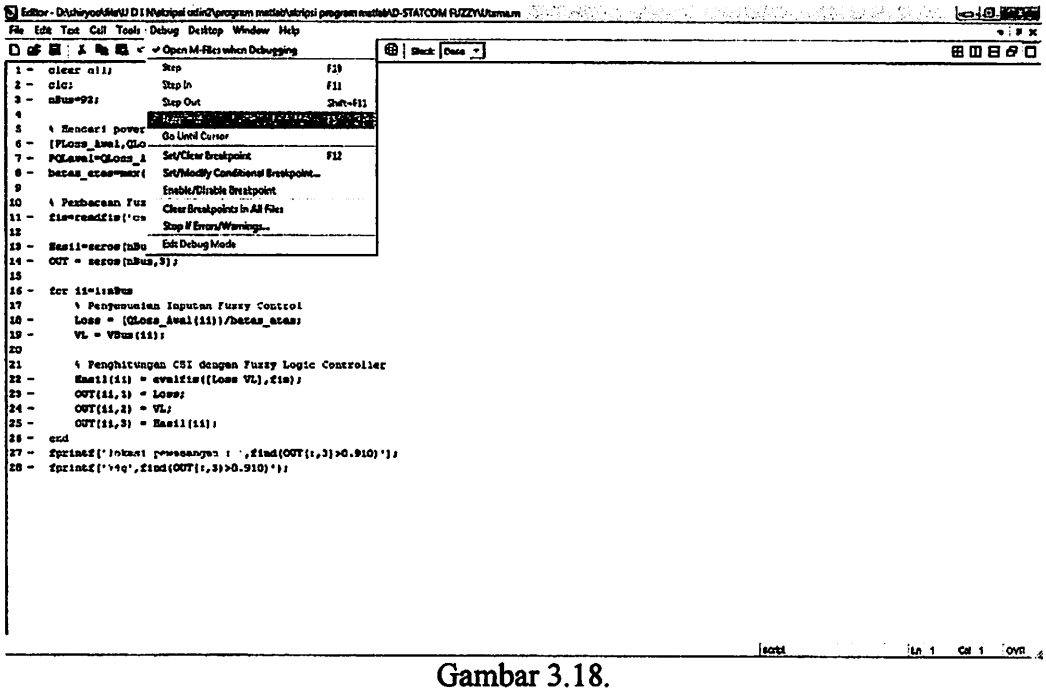
2. Tekan *open file* untuk membuka data yang sudah tersimpan, pilih data utama kemudian klik *open* untuk membuka.



```
clear all;
clc;
nBus=92;

% Mencari power loss sebelum diinject
[PLoss_Awal,QLoss_Awal,VBus]=flowawal(nBus);
PQLawal=QLoss_Awal;
batas_atas=max(PQLawal);

% Pembacaan Fuzzy control
fis=readfis('capacitor.fis');

Hasil=zeros(nBus);
OUT = zeros(nBus,3);

for ii=1:nBus
    % Penyesuaian Inputan Fuzzy Control
    Loss = (QLoss_Awal(ii))/batas_atas;
    VL = VBus(ii);

    % Penghitungan CSI dengan Fuzzy Logic Controller
    Hasil(ii) = evalfis([Loss VL],fis);
    OUT(ii,1) = Loss;
    OUT(ii,2) = VL;
    OUT(ii,3) = Hasil(ii);
end
fprintf('lokasi penempatan : ',find(OUT(:,3)>0.910)');
fprintf('%4g',find(OUT(:,3)>0.910)');
```

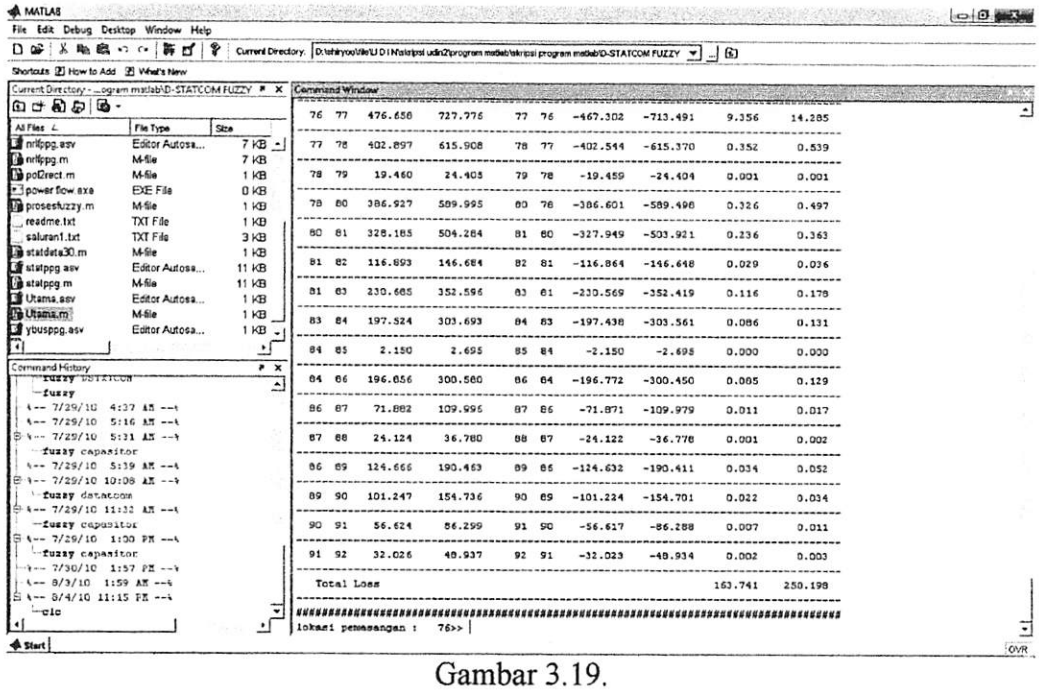
Gambar 3.17.
Tampilan program utama

3. kemudian klik *debug* setelah itu tampil pilihan, pilih *run* untuk menjalankan program.



Gambar 3.18.
Tampilan untuk menjalankan program

4. Selanjutnya pada *command window* akan muncul hasil lokasi penempatan DSTATCOM yang optimal



Gambar 3.19.
Tampilan Optimasi lokasi menggunakan DSTATCOM

Berdasarkan hasil simulasi menggunakan program MATLAB dengan metode *Fuzzy logic* (Gambar 3.19) di dapat lokasi penempatan yang optimal dalam pemasangan DSTATCOM di sistem distribusi GI Polehan Penyulang Bunul yaitu pemasangan rangkaian DSTATCOM pada Node 76.

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
MALANG

BAB IV

ANALISA DAN HASIL

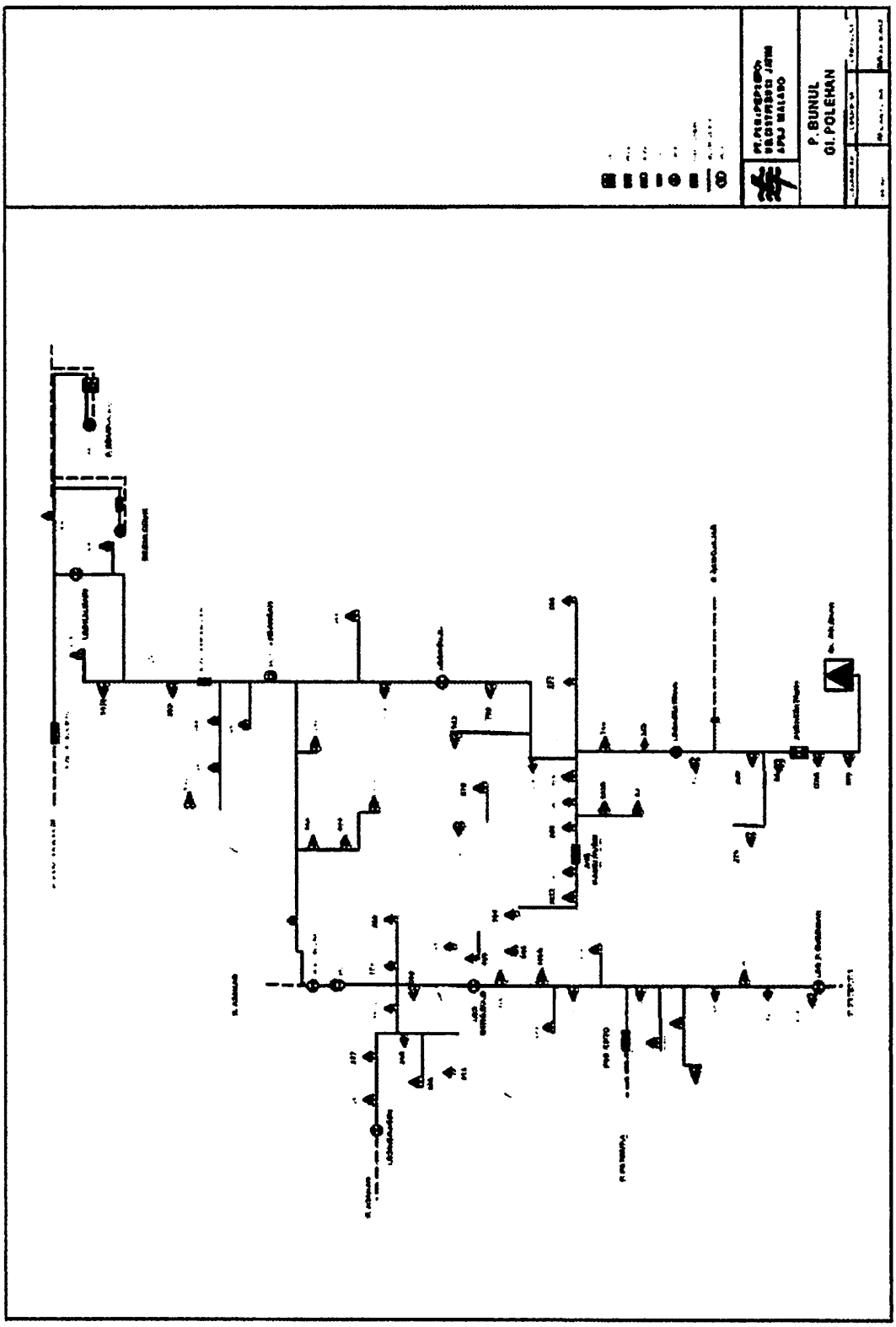
4.1. Sistem Distribusi Tenaga Listrik 20kV GI Polehan Penyulang Bunul

Dalam perhitungan aliran daya data yang diambil dari GI Polehan Malang yang melayani 8 (delapan) buah penyulang.

Namun pada skripsi ini hanya menganalisa satu penyulang saja, yaitu pada penyulang Bunul. Sistem Distribusi GI. Polehan memakai tegangan distribusi 20 kV. Untuk menyelesaikan perhitungan aliran daya terlebih dahulu ditetapkan *single line diagram* sesuai dengan gambar 4.1 yang akan dianalisis, dimana dasar yang digunakan:

- Tegangan Dasar : 20 kV
- Daya Dasar : 20 MVA

Selanjutnya bus-bus yang diklasifikasikan, yaitu busbar GI. Polehan diasumsikan sebagai *slack bus,* sedangkan bus-bus yang lain sepanjang saluran Radial sebagai *Load bus.* Dalam hal ini tidak ada bus generator karena sepanjang saluran tidak terdapat pembangkitan.



Gambar 4.1.
Single Line Diagram Penyulang Bunul Sebelum Penempatan DSTATCOM

4.2. Analisa Perhitungan

Perhitungan penempatan DSTSTCOM diawali dengan melakukan studi aliran daya menggunakan *software* PSCAD/EMTDC V 4.2 *Power Simulation.* Studi aliran daya dilakukan untuk mengetahui harga tegangan dan sudut fasa tiap-tiap bus, arus yang mengalir pada saluran, dan aliran daya tiap saluran. Setelah studi aliran daya dilakukan, barulah dilakukan perhitungan rugi-rugi daya pada saluran.

Untuk menentukan lokasi dan kapasitas DSTATCOM telebih dahulu menentukan rugi daya saluran terbesar yang digunakan sebagai input untuk menjalankan metode *fuzzy* agar DSTATCOM dapat diletakkan pada lokasi yang memberikan profil tegangan yang paling optimum.

Untuk memudahkan perhitungan dan analisa pada sistem tenaga, biasanya dipakai harga-harga dalam per satuan. Harga persatuan adalah harga yang sebenarnya dibagi dengan harga dasar. Harga yang dipilih adalah 20 kV dan 20 MVA. Sebagai harga tegangan dasar dan daya dasar. Mengingat bahwa pada jaringan tidak dilakukan pengukuran faktor daya, maka perhitungan diambil harga faktor daya sebesar 0,85.

Perhitungan diawali dengan menampilkan *single line diagram* dari penyulang yang mewakili keadaan sistem yang sesungguhnya. Dari gambar 4.1 diperhatikan *single line diagram* dari penyulang Bunul. Pada penyulang ini jumlah bus dan jumlah dan jumlah saluran masing-masing adalah :

- Slack bus = 1
- Load bus = 92
- Jumlah saluran = 91

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

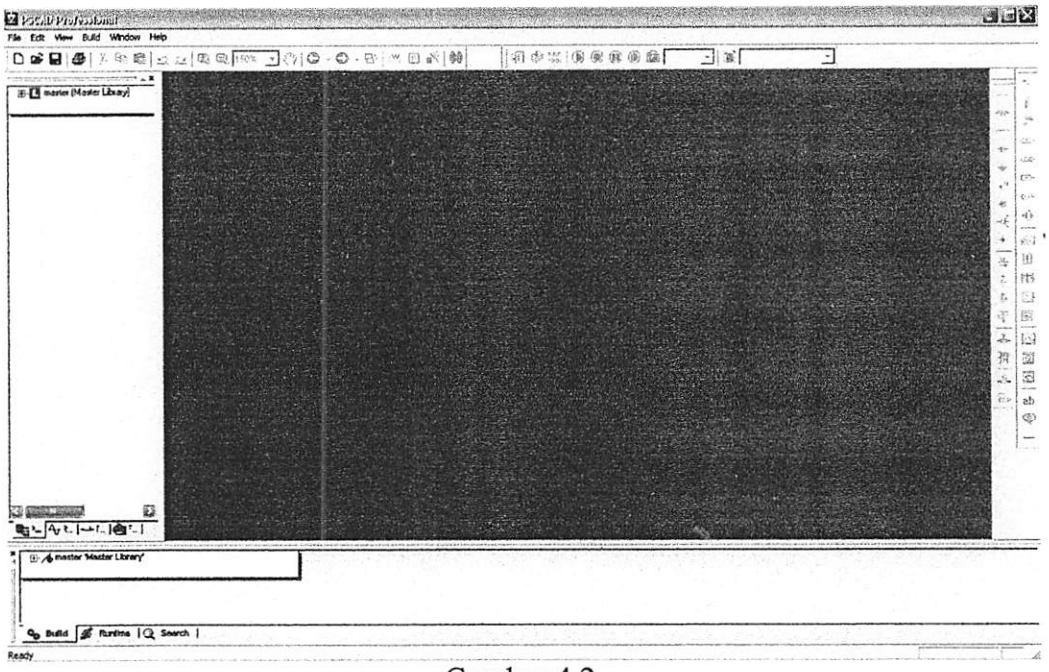
PSCAD (*Power System* CAD) adalah *graphical user interface* yang sangat baik dan fleksibel. PSCAD memungkinkan pengguna menggambar mengkonstruksi sebuah rangkaian, menjalankan sebuah simulasi, analisa hasil dan manajemen data terintegrasi secara lengkap. Penggambaran, pengontrolan dan pengukuran juga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

Dibawah ini adalah model umum yang terdapat di dalam studi sistem 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, GTOs, IGBTs*
- *Analog and digital control functions*
- *AC and DC machines, exciters, governors, stabilizers and inertial models*
- *Meters and measuring functions*
- *Generic DC and AC controls*
- *HVDC, SVC, and other FACTS controllers*
- *Wind source, turbines and governors*

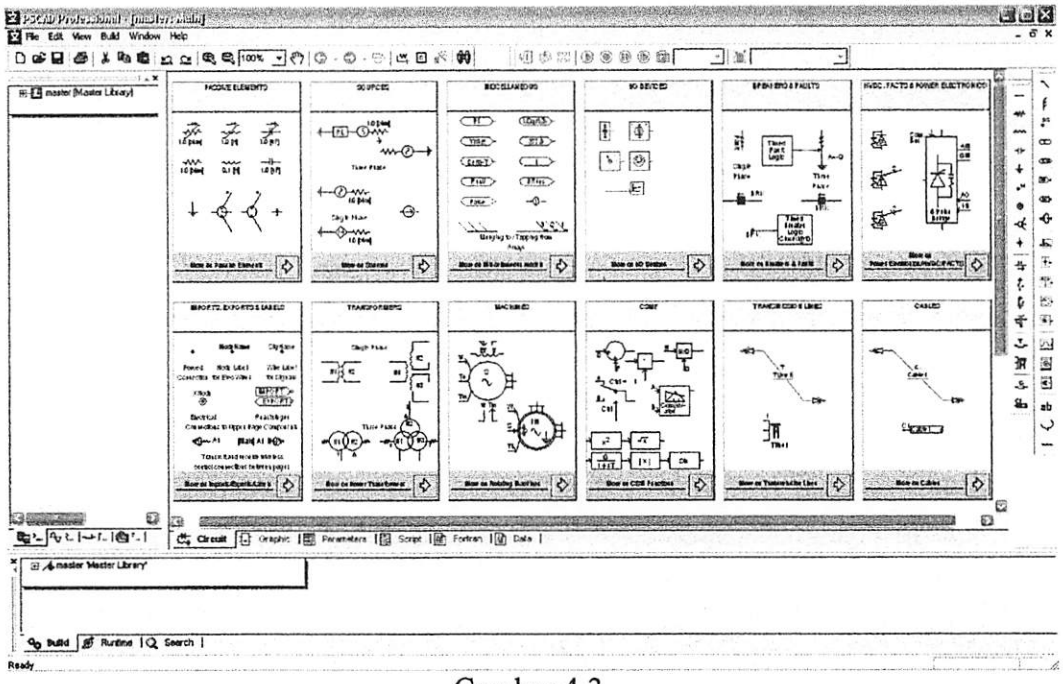
4.3.1. Memulai *PSCAD/EMTDC Power Simulation*

Tampilan Utama *PSCAD Power Simulation* adalah sebagai berikut :



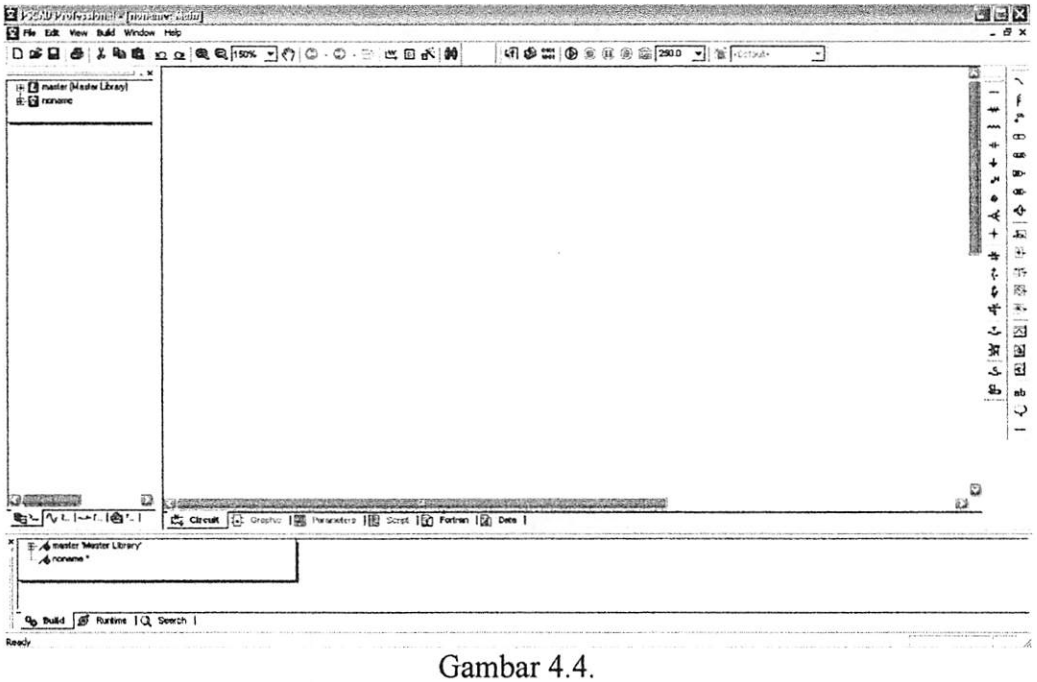
Gambar 4.2.
Tampilan utama *Software PSCAD/EMTDC Power Simulation*

- Untuk memulai membuat *single line* baru maka kita klik : *File* > *New* > *case*. Setelah melakukan prosedur di atas secara *default* PSCAD akan memberi nama *file* baru yang kita buat dengan nama "*noname*". Kemudian kita klik nama *file*-nya maka akan muncul tampilan seperti Gambar 4.4
- 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.



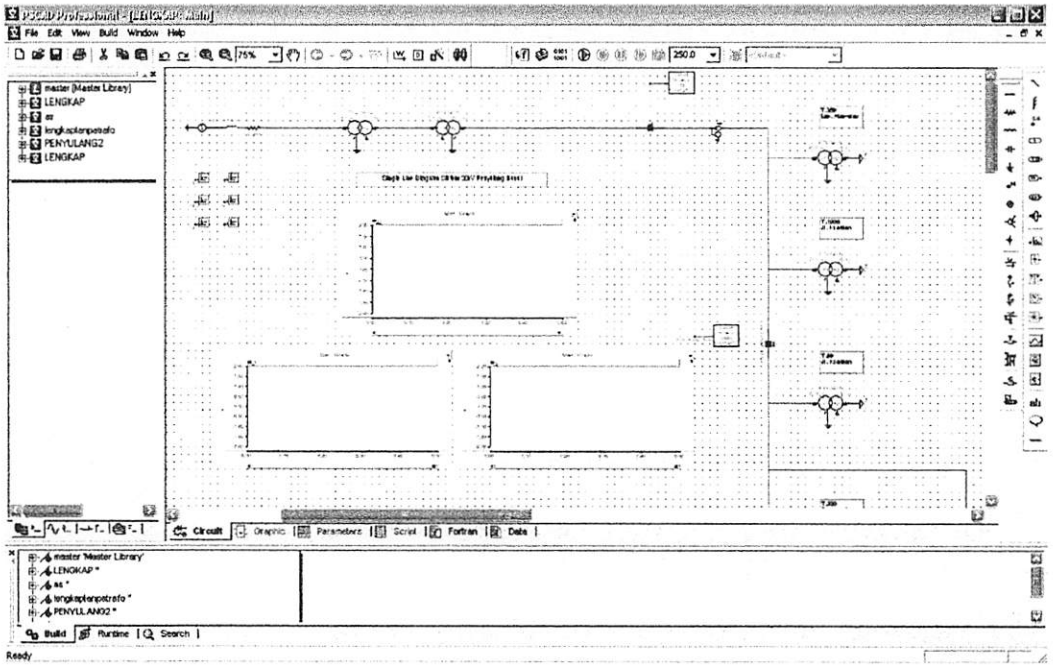
Gambar 4.3.
Tampilan *Master Library*

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



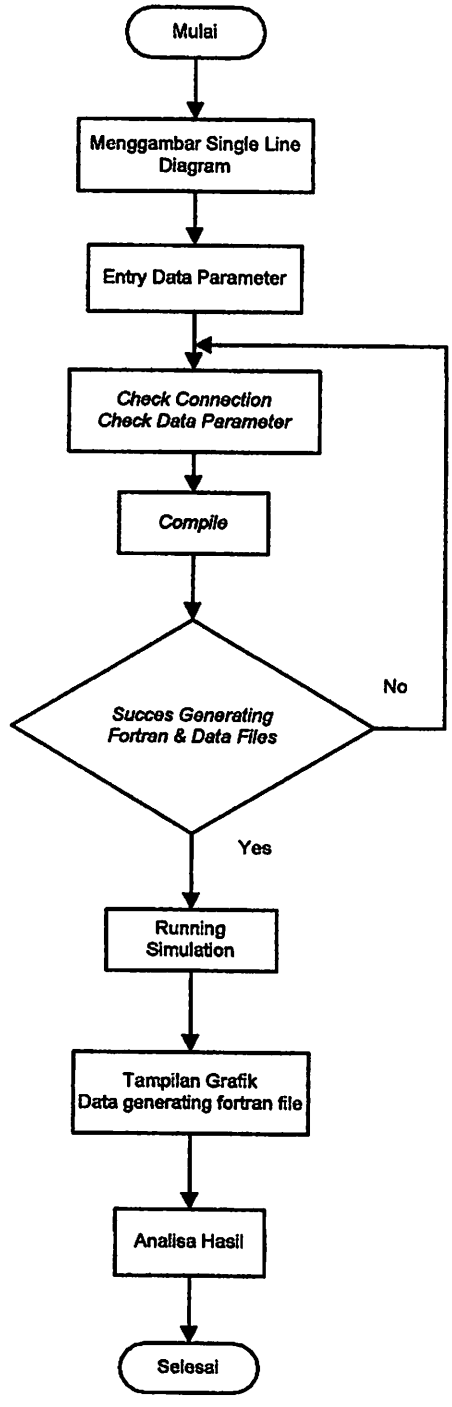
Gambar 4.4.
Tampilan Modul Utama

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



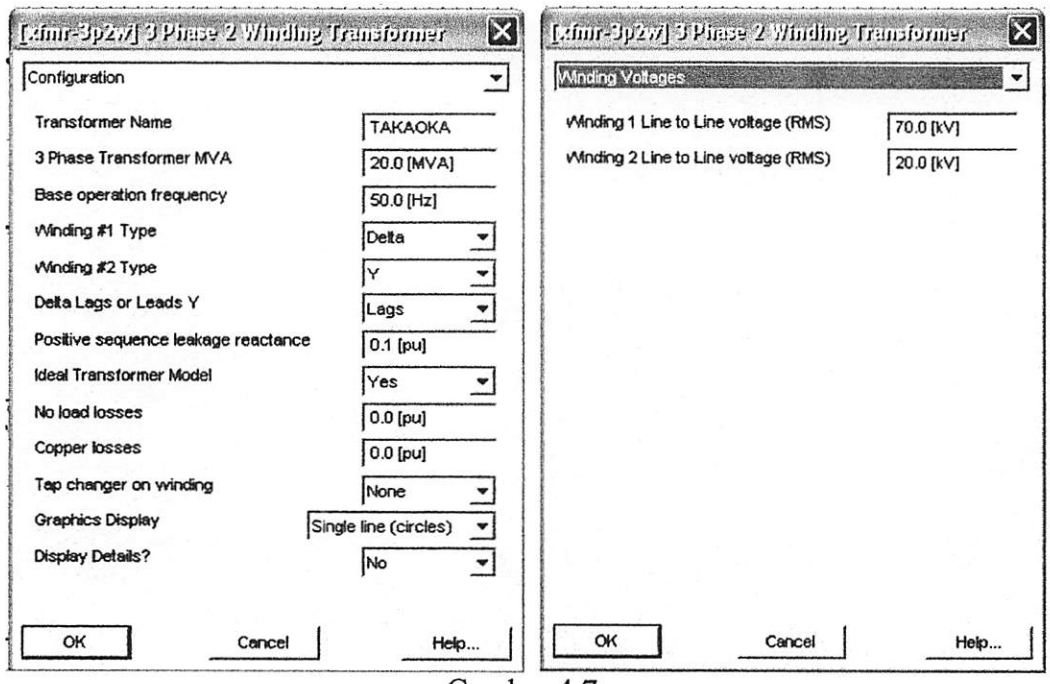
Gambar 4.5.
Tampilan contoh *Single Line* dalam *PSCAD*

4.3.2. Input Data Dalam *PSCAD/EMTDC Power Simulation*

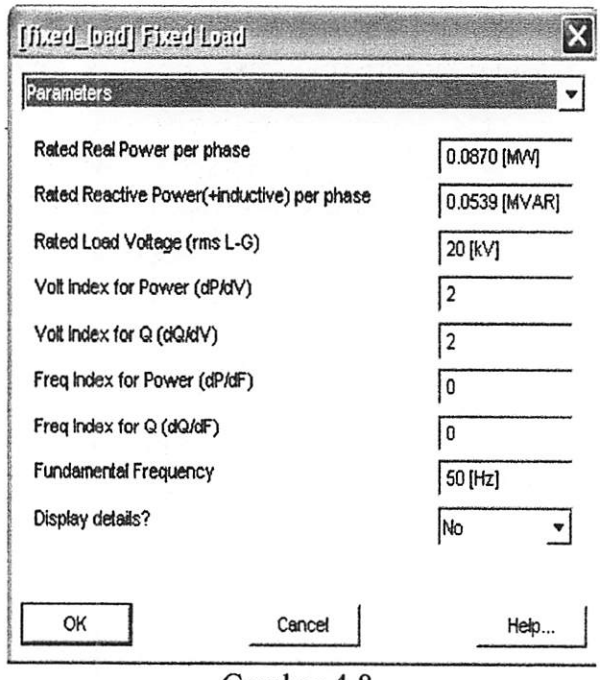


Gambar 4.6.
Flowchart Pemecahan Masalah Menggunakan *Software* PSCAD

Input Data Transformator dan *Fixed Load*



Gambar 4.7.
Tampilan *Input* Data Transformator TAKAOKA



Gambar 4.8.
Tampilan *Input* Data beban node 2

Untuk data beban selanjutnya sesuai pada tabel 4.1

Tabel 4.1.
Data pembebanan Sistem 20 kV Penyulang Bunul

No Node	Kode trafo	Lokasi	Pembebanan			%
			S (kVA)	P (kW)	Q (kVAR)	
1	—	—	0	0	0	
2	T.359	Lap. Alap-alap	102,31	86,9635	53,8969	63,94
3	T.1008	Jl.Ksatrian	5,22	4,4370	2,7499	10,44
4	T.89	Jl.Ksatrian	147,39	125,2815	77,6451	73,7
5	—	—	0	0	0	
6	T.271	Perumahan ABRI	6,61	5,6185	3,4821	6,61
7	T.330	Perempatan Ksatrian	31,37	26,6645	16,5257	20,92
8	T.13	Jl.Ters. Ksatrian	60,06	51,0510	31,6396	60,06
9	T.329	Jl.Ters. Ksatrian	75	63,9744	39,6491	47,04
10	T.718	Jl.Ters. Ksatrian	48,09	40,8765	25,3338	32,06
11	—	—	0	0	0	
12	T.327	Jl.Hamid Rusdi Timur	56	47,6000	29,5008	37,33
13	T.506	Jl.Wiroto	146,72	124,7120	77,2921	58,69
14	—	—	0	0	0	
15	T.356	Jl.Ngujil	119,79	101,8215	63,1054	79,86
16	—	—	0	0	0	
17	T.633	Jl.Wapoga	98,57	83,7845	51,9267	51,08
18	T.793	Jl.Simp. Sulfat	60,26	51,2210	31,7450	37,66
19	T.352	Jl.Simp. Sulfat	64,29	54,6465	33,8680	40,18
20	—	—	0	0	0	
21	T.886	Perum Pondok Indah	39,65	33,7025	20,8876	39,65
22	T.1102	Jl.Simp. Sulfat Utara	33,52	28,4920	17,6583	33,52
23	—	—	0	0	0	
24	—	—	0	0	0	
25	T.916	Jl.Sulfat	71,19	60,5115	37,5029	44,49
26	—	—	0	0	0	
27	T.677	Jl.Raya Sulfat	127,69	108,5365	67,2671	79,81
28	T.790	Perum Taman Sulfat	121,59	103,3515	64,0536	60,79
29	T.921	Perum Taman Sulfat	139,33	118,4305	73,3990	87,08
30	T.573	Perum Taman Sulfat	16,1	13,6850	8,4815	16,1
31	—	—	0	0	0	
32	T.526	Ds.Glagah Urik (BTN Puskopad)	157,55	133,9175	82,9973	78,77
33	—	—	0	0	0	
34	T.944	Perum Raya Titan Asri	54,03	45,9255	28,4630	54,03
35	T.945	Perum Raya Titan Asri	62,33	52,9805	32,8354	62,33
36	T.693	Perum Raya Titan Asri	89,89	76,4065	47,3541	56,18
37	T.393	Ds.Pandan Wangi	150,75	128,1375	79,4151	94,22
38	—	—	0	0	0	
39	T.1150	PT.Nitradi Wahyu Cemerlang	19,01	16,1585	10,0145	19,01
40	T.971	Ds.Pandan Wangi	131,12	111,4520	69,0740	65,56
41	—	—	0	0	0	

42	T.709	Ds.Jambangan	45,7	38,8450	24,0748	28,56
43	T.569	Jl.LA Sucipto	83,04	70,5840	43,7455	33,22
44	T.1007	Pasar Bunul	57,98	49,2830	30,5439	57,98
45	T.90	Jl.Hamid Rusdi	107,8	91,6300	56,7890	71,87
46	—	—	0	0	0	
47	T.1076	Lap.Rampal	98,47	83,6995	51,8740	49,24
48	T.67	Jl.Ronggolawe	102,83	87,4055	54,1708	68,55
49	T.328	Jl.Hamid Rusdi	30,96	26,3160	16,3097	41,28
50	T.63	Jl.Hamid Rusdi	106,85	90,8225	56,2886	66,78
51	T.1077	Jl.Hamid Rusdi	71,26	60,5710	37,5398	71,26
52	—	—	0	0	0	
53	—	—	0	0	0	
54	T.374	Perum Srikandi	143,64	122,0940	75,6696	57,46
55	T.397	Ds.Kendal Kerep	82,88	70,4480	43,6612	51,8
56	T.184	Jl.Grindulu	105,03	89,2755	55,3298	70,02
57	—	—	0	0	0	
58	T.846	Jl.Lahor	106,43	90,4655	56,0673	66,52
59	T.126	Jl.Amandit	107,89	91,7065	56,8365	71,93
60	—	—	0	0	0	
61	T.420	Jl.Sampeyan	96,14	81,7190	50,6466	60,09
62	T.326	Jl.Amprong	90,06	76,5510	47,4436	56,29
63	—	—	0	0	0	
64	T.592	Jl.Tumenggung Suryo	51,08	43,4180	26,9089	51,08
65	—	—	0	0	0	
66	T.161	Jl.Sanan	59,08	50,2180	31,1233	39,39
67	T.400	Jl.Sanan Timur	53,36	45,3560	28,1100	35,57
68	T.1073	Jl.Sanan	41,4	35,1900	21,8095	25,88
69	—	—	0	0	0	
70	T.317	Jl.Indragiri	53,3	45,3050	28,0784	33,31
71	T.26	Jl.Indragiri	29,08	24,7180	15,3193	29,08
72	T.316	Jl.Serayu	53,09	45,1265	27,9678	70,78
73	—	—	0	0	0	
74	T.168	Jl.Kapuas	54,61	46,4185	28,7685	34,13
75	T.313	Jl.Musi	34,5	29,3250	18,1746	46,01
76	T.1005	Jl.Tumenggung Suryo	50,39	42,8315	26,5455	50,39
77	T.1006	Jl.Tumenggung Suryo	126,72	107,7120	66,7561	50,69
78	—	—	0	0	0	
79	T.292	Jl.WR. Supratman (RS. Lavalette)	33,14	28,1690	17,4582	33,14
80	T.05	Jl.Tumenggung Suryo	112,71	95,8035	59,3756	70,44
81	—	—	0	0	0	
82	T.232	Jl.Hamid Rusdi	199,12	169,2520	104,8964	79,65
83	T.171	Jl.Panglima Sudirman	64,41	54,7485	33,9312	32,21
84	—	—	0	0	0	
85	T.909	Jl.Panglima Sudirman (Depsos)	3,66	3,1110	1,9281	3,66
86	—	—	0	0	0	

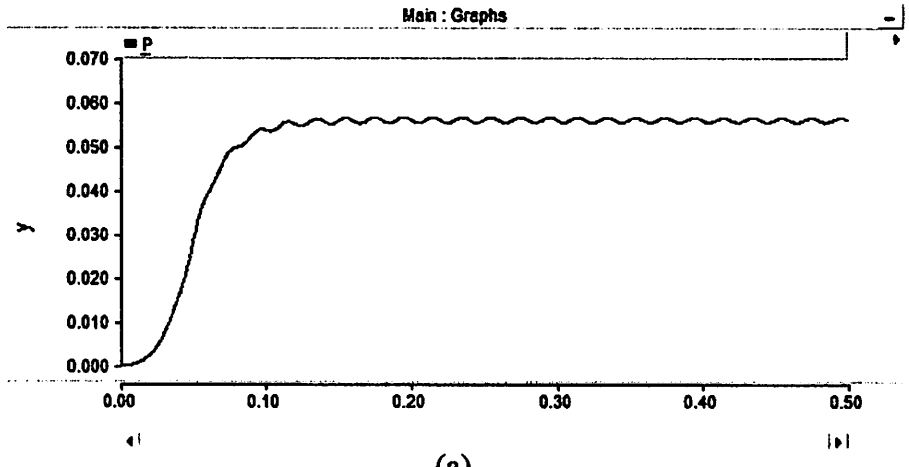
87	T.95	Jl.Patimura	96,5	82,0250	50,8362	60,31
88	T.846	Jl.Patimura (PR.Jaya Sakti)	48,51	41,2335	25,5551	24,26
89	T.04	Jl.Panglima Sudirman	47,04	39,9840	24,7807	31,36
90	T.907	Jl.Panglima Sudirman (Armed)	90,17	76,6445	47,5016	56,36
91	T.12	Jl.Panglima Sudirman	49,28	41,8880	25,9607	32,85
92	T.151	Jl.Panglima Sudirman	64,53	54,8505	33,9944	86,04

4.4. Data Program PSCAD Sebelum Menggunakan D-STATCOM

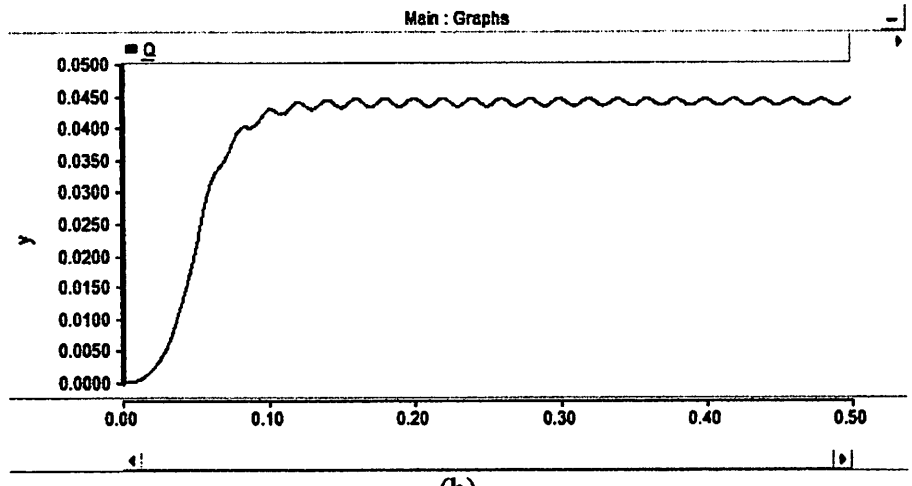
Pada simulasi awal, komponen D-STATCOM tidak melakukan kompensasi sama sekali. D-STATCOM tidak memberikan suplai VAR maupun penyerapan VAR pada beberapa kondisi pengujian, maka akan dapat diketahui perbedaan kondisi sistem sebelum dan sesudah menggunakan peralatan D-STATCOM.

Sebagai hasil program pada skripsi ini menggunakan software PSCAD v.4.2 dengan hasil sebagai berikut :

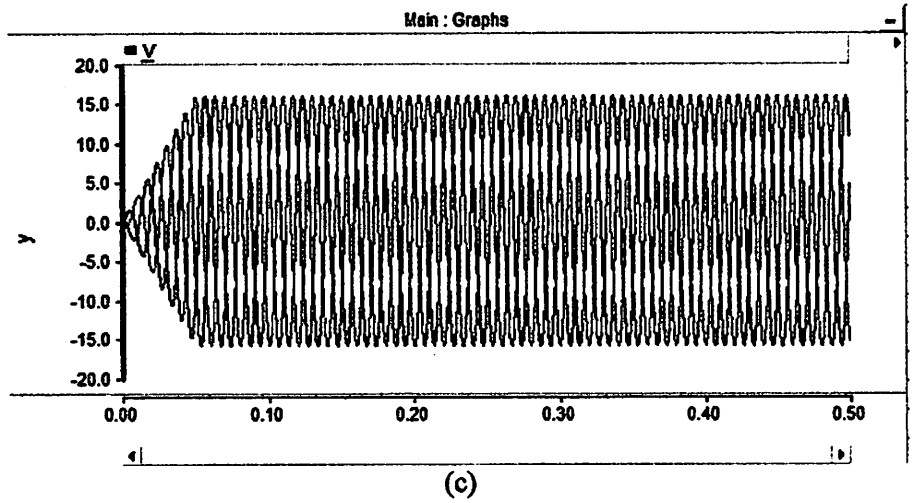
Sistem Sebelum diberi kompensasi:



(a)



(b)



(c)

Grafik 4.1.
(a) Bentuk Gelombang Daya Aktif, (b) Bentuk Gelombang Daya Reaktif,
(c) Bentuk Gelombang Tegangan

Dari grafik diatas, daya aktif dan reaktif yang dibutuhkan cukup besar yang dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2
Data Sebelum Pemasangan D-STATCOM

No Saluran	Node		P (kW)	Q (kVar)	V (kV)
	dari	ke			
1	1	2	299.7333	243.6261	15.910
2	2	3	293.3899	238.4988	15.910
3	3	4	293.2303	238.1295	15.887
4	4	5	284.2450	231.1016	15.887
5	5	6	0.4523	0.3382	15.887
6	5	7	283.7927	230.7634	15.887
7	7	8	281.6756	229.8830	15.887

8	8	9	278.9966	226.1311	15.864
9	9	10	274.1872	222.5968	15.864
10	10	11	271.0221	220.3511	15.864
11	11	12	12.8285	9.5386	15.864
12	12	13	9.1774	6.9217	15.864
13	11	14	258.9463	210.3024	15.865
14	14	15	99.7237	79.9913	15.865
15	15	16	92.5058	74.4054	15.865
16	16	17	5.8866	4.3102	15.865
17	16	18	86.6193	70.0952	15.865
18	18	19	83.9554	67.0440	15.857
19	19	20	79.7880	64.0295	15.857
20	20	21	2.5741	1.8606	15.857
21	20	22	77.2138	62.1689	15.857
22	22	23	75.0099	60.6015	15.857
23	23	24	28.1727	22.7256	15.857
24	24	25	4.5653	3.3410	15.857
25	24	26	24.5631	19.2372	15.857
26	26	27	7.6630	6.0756	15.857
27	26	28	16.9001	13.1615	15.857
28	28	29	9.3304	7.4207	15.857
29	29	30	1.0906	0.7635	15.857
30	23	31	47.9949	37.6677	15.854
31	31	32	9.4598	7.4897	15.854
32	31	33	38.5351	30.1780	15.854
33	33	34	12.9072	9.7073	15.854
34	34	35	9.5044	7.1718	15.854
35	35	36	5.6391	4.2246	15.854
36	33	37	26.5915	20.3270	15.851
37	37	38	17.8109	13.0849	15.851
38	38	39	9.3459	7.0934	15.851
39	39	40	8.0704	6.1968	15.851
40	38	41	8.4650	6.0151	15.851
41	41	42	3.0176	2.1333	15.851
42	41	43	5.4471	3.8819	15.851
43	14	44	160.7677	130.0272	15.864
44	44	45	157.1296	127.2950	15.864
45	45	46	150.5572	122.1739	15.864
46	46	47	12.5829	9.5137	15.864
47	47	48	6.3144	4.8799	15.864
48	46	49	137.9743	112.6602	15.864
49	49	50	137.3712	110.9314	15.853
50	50	51	130.8079	105.8790	15.853
51	51	52	126.4628	102.4981	15.853
52	52	53	14.2381	10.6555	15.853
53	53	54	8.9906	6.7646	15.853

54	53	55	5.2473	3.8915	15.853
55	52	56	114.1008	91.5091	15.853
56	56	57	107.6896	86.5412	15.853
57	57	58	13.2717	10.1158	15.853
58	58	59	6.5605	5.1116	15.853
59	57	60	94.4179	76.4253	15.853
60	60	61	5.9897	4.5273	15.853
61	60	62	88.4283	71.8980	15.853
62	62	63	84.1316	67.4386	15.853
63	63	64	26.4044	20.3209	15.853
64	64	65	23.1636	17.9264	15.853
65	65	66	7.3121	5.2535	15.853
66	66	67	3.4841	2.4881	15.853
67	65	68	15.8514	12.6729	15.853
68	68	69	14.4454	10.5152	15.853
69	69	70	5.4242	3.8396	15.853
70	70	71	1.9253	1.3522	15.853
71	69	72	9.0212	6.6756	15.853
72	72	73	5.7766	4.1649	15.853
73	73	74	3.5735	2.5484	15.853
74	73	75	2.2031	1.6165	15.853
75	63	76	57.6975	47.1190	15.848
76	76	77	56.5574	44.4916	15.848
77	77	78	48.5268	38.5115	15.848
78	78	79	2.1755	1.5491	15.848
79	78	80	46.3513	36.9624	15.848
80	80	81	39.4796	31.6255	15.848
81	81	82	11.9242	9.4685	15.848
82	81	83	27.5554	22.1570	15.848
83	83	84	23.3300	19.1514	15.848
84	84	85	0.2544	0.2058	15.848
85	84	86	25.0411	18.6314	15.848
86	86	87	9.2363	6.8267	15.848
87	87	88	3.2303	2.2738	15.848
88	86	89	15.8049	11.8046	15.848
89	89	90	12.7110	9.6112	15.848
90	90	91	7.0535	5.3738	15.848
91	91	92	3.8216	3.0733	15.848
Total rata-rata perbaikan tegangan, daya aktif dan daya reaktif			63.8725	51.4234	15.85762

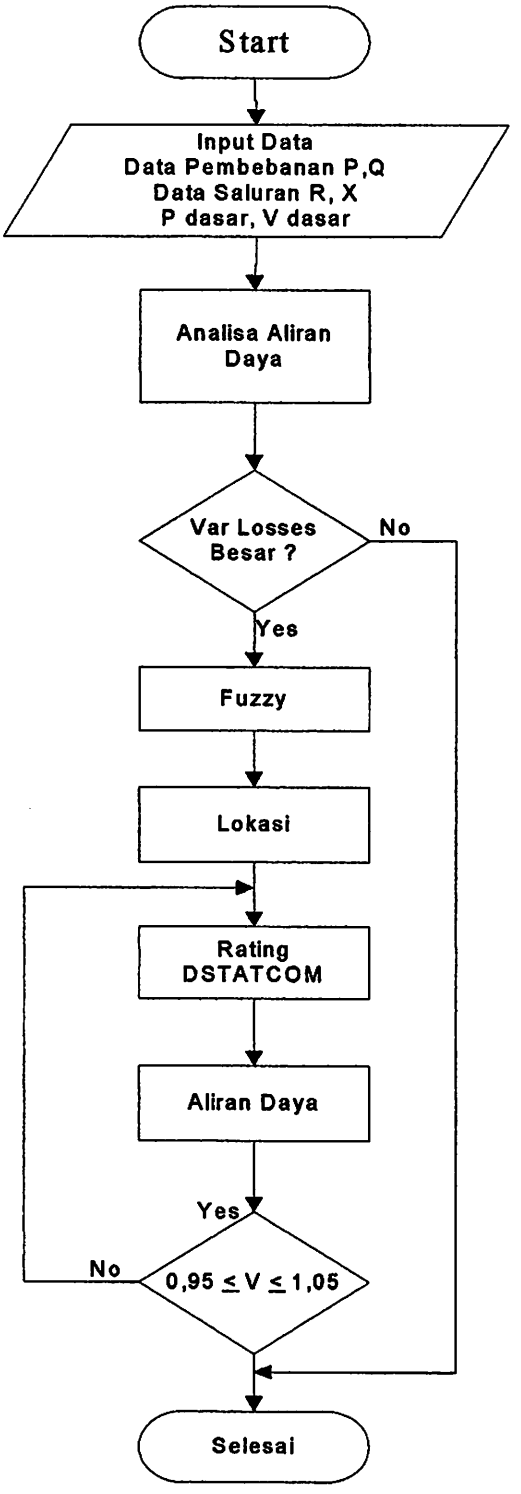
Terlihat pada tabel diatas bahwa hasil rekapitulasi perhitungan rata-rata nilai tegangan, daya aktif dan daya reaktif sebelum pemasangan D-STATCOM pada saluran distribusi GI Polehan penyulang Bunul sebesar :

P = 63,8725 kW

Q = 51,4234 kVar

V = 15,85762 kV

4.5. Flowchart Penyelesaian Masalah



Gambar 4.9.
Flowchart Penyelesaian Masalah

4.6. Kapasitas DSTATCOM

Untuk perhitungan kapasitas dari DSTATCOM ditentukan menggunakan rumus (3.2), (3.3), dan (3.4) dimana :

Untuk penentuan kapasitas D-STATCOM dapat di rumuskan sebagai berikut :

$$VAR = 314{,}2 \times C_{DC} \times V^2_{L\text{-}L}$$

Dimana :

$$C_{DC} = \frac{1}{2\pi x (f) x X_c}$$

$$= \frac{1}{2 x 3{,}14 x 50 x 5{,}3888} = 0{,}000590987 = 590{,}99\mu F \approx 600\mu F$$

Sedangkan untuk menghitung nilai X_c adalah :

$$Z_c = X_c = \frac{|kV|^2}{jQ_c}$$

$$= \frac{15{,}484^2}{44{,}4916} = 5{,}3888$$

Untuk nilai $V^2_{L\text{-}L}$ sebesar 6,3 kV. Jadi besar nilai kapasitas DSTATCOM yang dipasang sebesar :

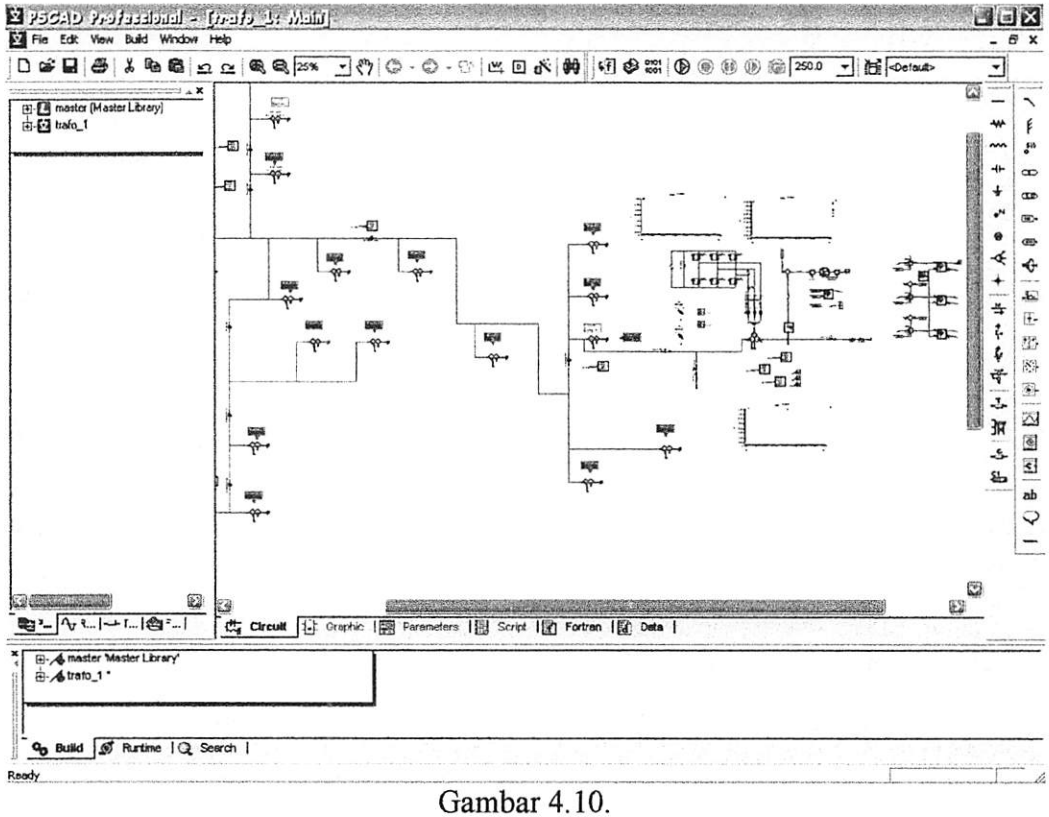
$$VAR = 314{,}2 \times C_{DC} \times V^2_{L\text{-}L}$$

$$= 314{,}2 \text{ x } 600\mu\text{F x } 6{,}3\text{kV}^2$$

$$= 7{,}48\,\text{MVar} \approx 7{,}5\,\text{MVar}$$

Selanjutnya hasil dari simulasi menggunakan program MATLAB di aplikasikan kembali kedalam program PSCAD.

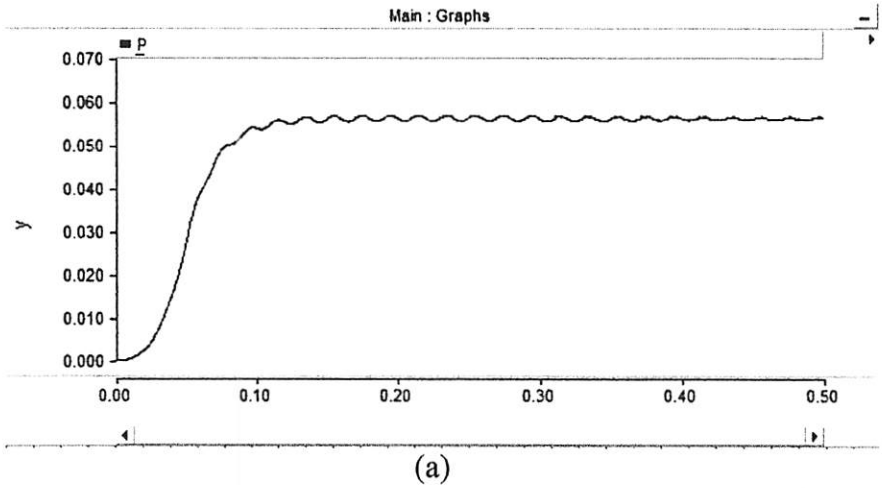
4.7. Analisa Data Sesudah Pemasangan D-STATCOM



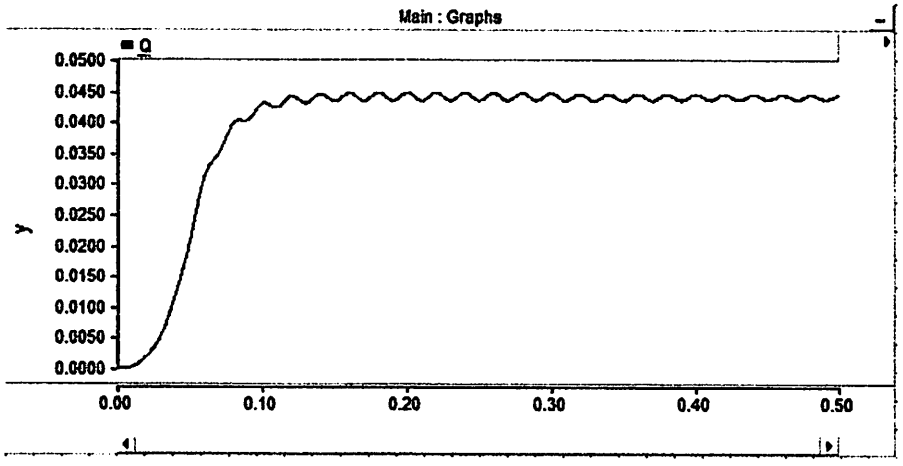
Gambar 4.10.
Tampilan *Single Line* Sesudah Pemasangan D-STATCOM menggunakan *Software PSCAD*

Dari simulasi dengan menggunakan *software* PSCAD, didapat data hasil *load flow* pada G.I Polehan Penyulang Bunul sesudah pemasangan D-STATCOM seperti grafik dibawah ini :

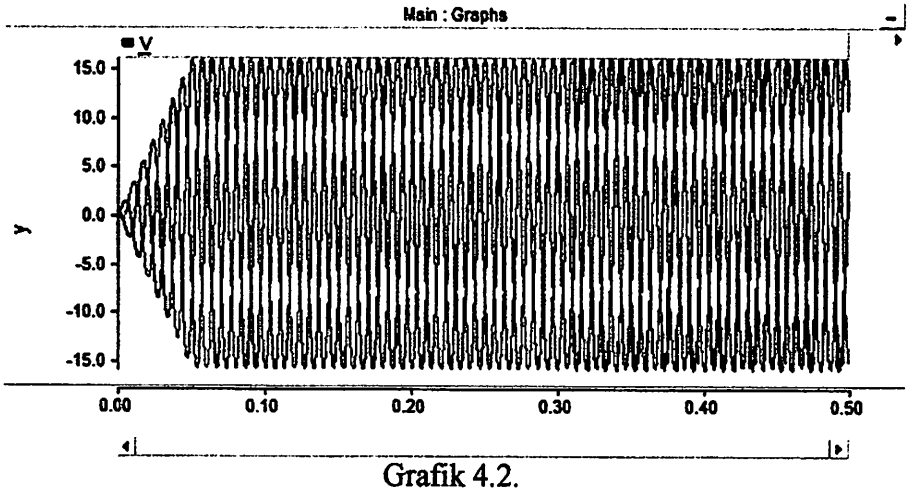
Sistem Sesudah diberi kompensasi:



(a)



(b)



Grafik 4.2.
(a) Bentuk Gelombang Daya Aktif, (b) Bentuk Gelombang Raya Reaktif
(c) Bentuk Gelombang Tegangan

Dari grafik diatas, nilai tegangan dan daya aktif setelah D-STATCOM terpasang mengalami kenaikan sedangkan daya reaktif mengalami penurunan, untuk nilainya dapat dilihat pada tabel 4.3. dibawah ini:

Tabel 4.3
Data Sesudah Pemasangan D-STATCOM

No Saluran	Node		P (kW)	Q (kVar)	V (kV)
	dari	ke			
1	1	2	352.6314	219.6260	18.884
2	2	3	346.3029	214.4822	18.884
3	3	4	346.0153.	214.1167	18.831
4	4	5	337.0621	207.0694	18.834
5	5	6	0.4593	0.3402	18.833
6	5	7	336.6026	206.7349	18.834

7	7	8	334.4865	205.2520	18.831
8	8	9	331.7288	202.4123	18.761
9	9	10	326.9355	198.8769	18.761
10	10	11	323.7782	196.6308	18.761
11	11	12	12.9138	9.5945	18.761
12	12	13	9.2340	6.9622	18.761
13	11	14	311.7798	186.5653	18.795
14	14	15	100.3215	80.4604	18.795
15	15	16	93.0603	74.8418	18.795
16	16	17	5.9281	4.3355	18.795
17	16	18	87.1384	70.5063	18.795
18	18	19	84.4587	67.4372	18.771
19	19	20	80.2662	64.4050	18.771
20	20	21	2.5931	1.8715	18.771
21	20	22	77.6766	62.5335	18.771
22	22	23	75.4595	60.9569	18.771
23	23	24	28.3415	22.8588	18.771
24	24	25	4.5970	3.3606	18.771
25	24	26	24.7105	19.3408	18.796
26	26	27	7.7089	6.1084	18.796
27	26	28	17.0015	13.2322	18.796
28	28	29	9.3864	7.4607	18.796
29	29	30	1.1032	0.7676	18.796
30	23	31	48.2828	37.8886	18.789
31	31	32	9.5165	7.5336	18.789
32	31	33	38.7663	30.3550	18.789
33	33	34	12.9865	9.7642	18.789
34	34	35	9.5622	7.2139	18.789
35	35	36	5.6741	4.2494	18.789
36	33	37	26.7611	20.4417	18.795
37	37	38	17.9384	13.1853	18.797
38	38	39	9.4043	7.1350	18.797
39	39	40	8.1188	6.2331	18.797
40	38	41	8.5326	6.0503	18.797
41	41	42	3.0435	2.1458	17.796
42	41	43	5.4914	3.9046	18.833
43	14	44	214.0521	106.2526	18.781
44	44	45	210.4275	103.5193	18.781
45	45	46	203.8827	98.3954	18.781
46	46	47	12.6626	9.5694	18.781
47	47	48	6.3523	4.9085	18.781
48	46	49	191.3474	88.8778	18.781
49	49	50	190.6808	87.1468	18.774
50	50	51	184.1519	82.0962	18.774
51	51	52	179.8261	78.7163	18.774
52	52	53	14.3232	10.7184	18.774

53	53	54	9.0445	6.8041	18.774
54	53	55	5.2787	3.9143	18.774
55	52	56	167.5490	64.1848	18.763
56	56	57	161.1719	59.3095	18.763
57	57	58	13.3512	10.1323	18.763
58	58	59	6.5998	5.1197	18.763
59	57	60	147.9635	49.3851	18.763
60	60	61	6.0256	4.5347	18.763
61	60	62	142.0078	44.9437	18.763
62	62	63	137.7418	43.6943	18.762
63	63	64	26.5628	20.4392	18.760
64	64	65	23.3025	18.0313	18.762
65	65	66	7.3613	5.2842	18.762
66	66	67	3.5083	2.5026	18.762
67	65	68	15.9464	12.7470	18.762
68	68	69	14.5397	10.5766	18.761
69	69	70	5.4647	3.8620	18.763
70	70	71	1.9403	1.3601	18.763
71	69	72	9.0753	6.7146	18.763
72	72	73	5.8154	4.1893	18.761
73	73	74	3.5991	2.5633	18.761
74	73	75	2.2164	1.6260	18.761
75	63	76	111.3954	23.0313	18.834
76	76	77	56.8976	44.7104	18.820
77	77	78	48.8187	38.7379	18.821
78	78	79	2.1898	1.5581	18.819
79	78	80	46.6301	37.1797	18.819
80	80	81	39.7171	31.8114	18.820
81	81	82	11.9959	9.5244	18.819
82	81	83	27.7212	22.2873	18.819
83	83	84	23.4702	19.2641	18.819
84	84	85	0.2577	0.2070	18.819
85	84	86	25.1921	18.6356	18.811
86	86	87	9.2920	6.8285	18.811
87	87	88	3.2555	2.2750	18.811
88	86	89	15.9002	11.8071	18.794
89	89	90	12.7876	9.6129	18.794
90	90	91	7.0960	5.3748	18.811
91	91	92	3.8446	3.0736	18.794
Total rata-rata perbaikan tegangan, daya aktif dan daya reaktif			77.40653	45.31076	18.77849

Terlihat pada tabel diatas bahwa hasil rekapitulasi perhitungan rata-rata nilai tegangan, daya aktif dan daya reaktif setelah pemasangan D-STATCOM pada saluran distribusi GI Polehan penyulang Bunul sebesar :

P = 77,40653 kW

Q = 45,31076 kVar

V = 18,77849 kV

4.8. Analisa Hasil Perbandingan Aliran Daya Sebelum dan Sesudah Pemasangan D-STATCOM

Tabel 4.4
Data Perbandingan Sebelum dan Sesudah Pemasangan D-STATCOM

No Saluran	Node		Sebelum optimasi			Setelah optimasi		
	dari	ke	P (kW)	Q (kVar)	V (kV)	P (kW)	Q (kVar)	V (kV)
1	1	2	299.7333	243.6261	15.910	352.6314	219.6260	18.884
2	2	3	293.3899	238.4988	15.910	346.3029	214.4822	18.884
3	3	4	293.2303	238.1295	15.887	346.0153	214.1167	18.831
4	4	5	284.2450	231.1016	15.887	337.0621	207.0694	18.834
5	5	6	0.4523	0.3382	15.887	0.4593	0.3402	18.833
6	5	7	283.7927	230.7634	15.887	336.6026	206.7349	18.834
7	7	8	281.6756	229.8830	15.887	334.4865	205.2520	18.831
8	8	9	278.9966	226.1311	15.864	331.7288	202.4123	18.761
9	9	10	274.1872	222.5968	15.864	326.9355	198.8769	18.761
10	10	11	271.0221	220.3511	15.864	323.7782	196.6308	18.761
11	11	12	12.8285	9.5386	15.864	12.9138	9.5945	18.761
12	12	13	9.1774	6.9217	15.864	9.2340	6.9622	18.761
13	11	14	258.9463	210.3024	15.865	311.7798	186.5653	18.795
14	14	15	99.7237	79.9913	15.865	100.3215	80.4604	18.795
15	15	16	92.5058	74.4054	15.865	93.0603	74.8418	18.795
16	16	17	5.8866	4.3102	15.865	5.9281	4.3355	18.795
17	16	18	86.6193	70.0952	15.865	87.1384	70.5063	18.795
18	18	19	83.9554	67.0440	15.857	84.4587	67.4372	18.771
19	19	20	79.7880	64.0295	15.857	80.2662	64.4050	18.771
20	20	21	2.5741	1.8606	15.857	2.5931	1.8715	18.771
21	20	22	77.2138	62.1689	15.857	77.6766	62.5335	18.771
22	22	23	75.0099	60.6015	15.857	75.4595	60.9569	18.771
23	23	24	28.1727	22.7256	15.857	28.3415	22.8588	18.771
24	24	25	4.5653	3.3410	15.857	4.5970	3.3606	18.771
25	24	26	24.5631	19.2372	15.857	24.7105	19.3408	18.796
26	26	27	7.6630	6.0756	15.857	7.7089	6.1084	18.796
27	26	28	16.9001	13.1615	15.857	17.0015	13.2322	18.796

28	28	29	9.3304	7.4207	15.857	9.3864	7.4607	18.796
29	29	30	1.0906	0.7635	15.857	1.1032	0.7676	18.796
30	23	31	47.9949	37.6677	15.854	48.2828	37.8886	18.789
31	31	32	9.4598	7.4897	15.854	9.5165	7.5336	18.789
32	31	33	38.5351	30.1780	15.854	38.7663	30.3550	18.789
33	33	34	12.9072	9.7073	15.854	12.9865	9.7642	18.789
34	34	35	9.5044	7.1718	15.854	9.5622	7.2139	18.789
35	35	36	5.6391	4.2246	15.854	5.6741	4.2494	18.789
36	33	37	26.5915	20.3270	15.851	26.7611	20.4417	18.795
37	37	38	17.8109	13.0849	15.851	17.9384	13.1853	18.797
38	38	39	9.3459	7.0934	15.851	9.4043	7.1350	18.797
39	39	40	8.0704	6.1968	15.851	8.1188	6.2331	18.797
40	38	41	8.4650	6.0151	15.851	8.5326	6.0503	18.797
41	41	42	3.0176	2.1333	15.851	3.0435	2.1458	17.796
42	41	43	5.4471	3.8819	15.851	5.4914	3.9046	18.833
43	14	44	160.7677	130.0272	15.864	214.0521	106.2526	18.781
44	44	45	157.1296	127.2950	15.864	210.4275	103.5193	18.781
45	45	46	150.5572	122.1739	15.864	203.8827	98.3954	18.781
46	46	47	12.5829	9.5137	15.864	12.6626	9.5694	18.781
47	47	48	6.3144	4.8799	15.864	6.3523	4.9085	18.781
48	46	49	137.9743	112.6602	15.864	191.3474	88.8778	18.781
49	49	50	137.3712	110.9314	15.853	190.6808	87.1468	18.774
50	50	51	130.8079	105.8790	15.853	184.1519	82.0962	18.774
51	51	52	126.4628	102.4981	15.853	179.8261	78.7163	18.774
52	52	53	14.2381	10.6555	15.853	14.3232	10.7184	18.774
53	53	54	8.9906	6.7646	15.853	9.0445	6.8041	18.774
54	53	55	5.2473	3.8915	15.853	5.2787	3.9143	18.774
55	52	56	114.1008	91.5091	15.853	167.5490	64.1848	18.763
56	56	57	107.6896	86.5412	15.853	161.1719	59.3095	18.763
57	57	58	13.2717	10.1158	15.853	13.3512	10.1323	18.763
58	58	59	6.5605	5.1116	15.853	6.5998	5.1197	18.763
59	57	60	94.4179	76.4253	15.853	147.9635	49.3851	18.763
60	60	61	5.9897	4.5273	15.853	6.0256	4.5347	18.763
61	60	62	88.4283	71.8980	15.853	142.0078	44.9437	18.763
62	62	63	84.1316	67.4386	15.853	137.7418	43.6943	18.762
63	63	64	26.4044	20.3209	15.853	26.5628	20.4392	18.760
64	64	65	23.1636	17.9264	15.853	23.3025	18.0313	18.762
65	65	66	7.3121	5.2535	15.853	7.3613	5.2842	18.762
66	66	67	3.4841	2.4881	15.853	3.5083	2.5026	18.762
67	65	68	15.8514	12.6729	15.853	15.9464	12.7470	18.762
68	68	69	14.4454	10.5152	15.853	14.5397	10.5766	18.761
69	69	70	5.4242	3.8396	15.853	5.4647	3.8620	18.763
70	70	71	1.9253	1.3522	15.853	1.9403	1.3601	18.763
71	69	72	9.0212	6.6756	15.853	9.0753	6.7146	18.763
72	72	73	5.7766	4.1649	15.853	5.8154	4.1893	18.761
73	73	74	3.5735	2.5484	15.853	3.5991	2.5633	18.761
74	73	75	2.2031	1.6165	15.853	2.2164	1.6260	18.761
75	63	76	57.6975	47.1190	15.848	111.3954	23.0313	18.834
76	76	77	56.5574	44.4916	15.848	56.8976	44.7104	18.820
77	77	78	48.5268	38.5115	15.848	48.8187	38.7379	18.821

78	78	79	2.1755	1.5491	15.848	2.1898	1.5581	18.819
79	78	80	46.3513	36.9624	15.848	46.6301	37.1797	18.819
80	80	81	39.4796	31.6255	15.848	39.7171	31.8114	18.820
81	81	82	11.9242	9.4685	15.848	11.9959	9.5244	18.819
82	81	83	27.5554	22.1570	15.848	27.7212	22.2873	18.819
83	83	84	23.3300	19.1514	15.848	23.4702	19.2641	18.819
84	84	85	0.2544	0.2058	15.848	0.2577	0.2070	18.819
85	84	86	25.0411	18.6314	15.848	25.1921	18.6356	18.811
86	86	87	9.2363	6.8267	15.848	9.2920	6.8285	18.811
87	87	88	3.2303	2.2738	15.848	3.2555	2.2750	18.811
88	86	89	15.8049	11.8046	15.848	15.9002	11.8071	18.794
89	89	90	12.7110	9.6112	15.848	12.7876	9.6129	18.794
90	90	91	7.0535	5.3738	15.848	7.0960	5.3748	18.811
91	91	92	3.8216	3.0733	15.848	3.8446	3.0736	18.794
Total rata-rata perbaikan tegangan, daya aktif dan daya reaktif			63.8725	51.4234	15.85762	77.40653	45.31076	18.77849

Adapun selisih yang didapat untuk perbaikan tegangan, daya aktif dan daya reaktif sebelum dan setelah pemasangan DSTATCOM yakni :

Untuk $P = P_{\text{Setelah pemasangan}} - P_{\text{Sebelum pemasangan}}$

$= 77{,}40653 \text{ kW} - 63{,}8725 \text{ kW}$

$= 13{,}53403 \text{ kW}$

Untuk $Q = Q_{\text{Sebelum pemasangan}} - Q_{\text{Setelah pemasangan}}$

$= 51{,}4234 \text{ kVar} - 45{,}31076 \text{ kVar}$

$= 6{,}11264 \text{ kVar}$

Untuk $V = V_{\text{Setelah pemasangan}} - V_{\text{Sebelum pemasangan}}$

$= 18{,}77849 \text{ kV} - 15{,}85762$

$= 2{,}92087 \text{ kV}$

Sedangkan untuk perhitungan nilai prosentase jatuh tegangan sebelum dan setelah pemasangan D-STATCOM sebagai berikut :

Perhitungan prosentase sebelum pemasangan D-STATCOM:

$$V = |\frac{V_1 - V_2}{V_1}| x100\%$$

$$= |\frac{20 - 15.85762}{20}| x100\%$$

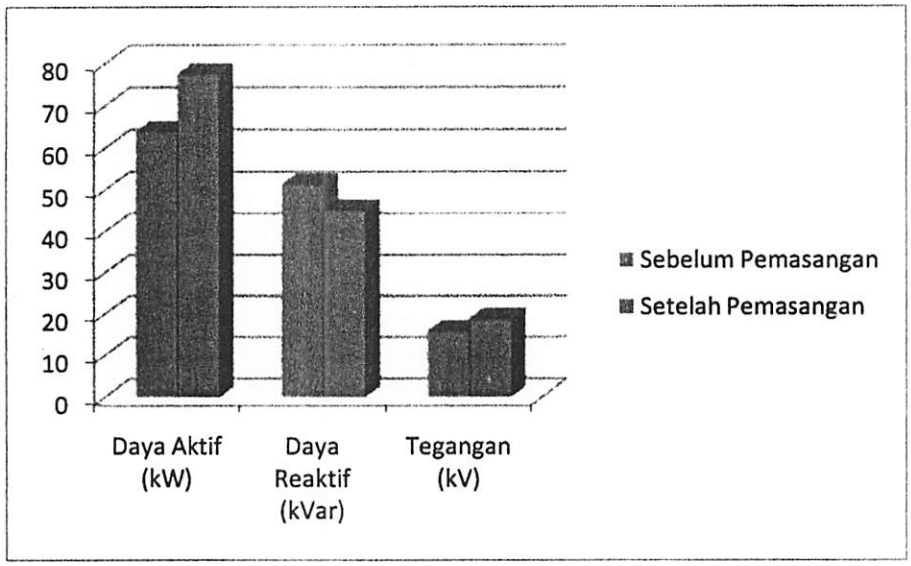
$$= 20,7\%$$

Perhitungan prosentase setelah pemasangan D-STATCOM:

$$V = |\frac{V_1 - V_2}{V_1}| x100\%$$

$$= |\frac{20 - 18,77849}{20}| x100\%$$

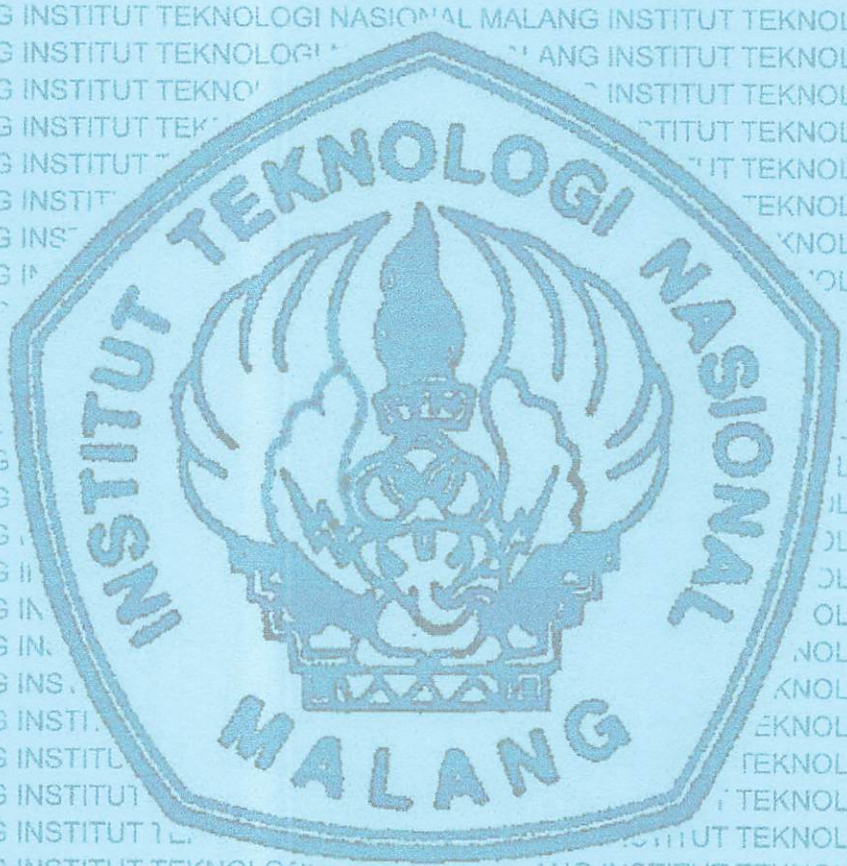
$$= 6,11\%$$



Grafik 4.3.
Perbandingan Daya Aktif, Daya Reaktif dan Tegangan Sebelum dan Setelah Pemasangan D-STATCOM

Grafik diatas merupakan hasil dari perbandingan selisih besar nilai daya aktif, daya reaktif dan tegangan sebelum pemasangan D-STATCOM dan setelah pemasangan D-STATCOM dimana untuk daya aktif sebelum pemasangan D-

STATCOM sebesar 63,8725 kW dan setelah pemasangan D-STATCOM naik menjadi 77,40653 kW dengan selisih 13,53403 kW, sedangkan untuk daya reaktif sebelum pemasangan D-STATCOM 51,4234 kVar dan setelah pemasangan D-STATCOM turun menjadi 45,31076 kVar dengan selisih 6,11264 kVar, serta untuk besar prosentase nilai jatuh tegangan sebelum pemasangan D-STATCOM sebesar 20,7% sedangkan setelah pemasangan D-STATCOM.


INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
MALANG

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Setelah dilakukan analisis mengenai penempatan yang optimal dan pengaruh pemasangan DSTATCOM pada sistem jaringan distribusi primer 20 kV G.I Polehan Penyulang Bunul dengan menggunakan bantuan *software* MATLAB 7.0.4. dan *Software PSCAD*/EMTDC V4.2 *Power System Simulation,* maka dapat diambil kesimpulan:

1. Penggunaan metode *fuzzy logic* sebagai metode optimasi lokasi pada penyulang Bunul mampu memperoleh hasil yang optimal dengan diperoleh penempatan D-STATCOM pada saluran 76.
2. Penggunaan daya reaktif yang dibutuhkan pada GI Polehan Penyulang Bunul sebesar 7,48 MVar akan tetapi kapasitas DSTATCOM yang terpasang sebesar 7,5 MVar sesuai dengan peralatan yang ada.
3. Pada saluran distribusi GI Polehan Penyulang Bunul terjadi perbaikan dalam hal minimalisir rugi-rugi daya aktif, daya reaktif dan jatuh tegangan yaitu untuk nilai rata-rata daya aktif sebelum pemasangan D-STATCOM sebesar 63.8725 kW kemudian dengan pemasangan D-STATCOM menjadi sebesar 77.40653 kW dengan selisih 13,53403 kW, untuk daya reaktif sebelum pemasangan D-STATCOM sebesar 51.4234 kVar kemudian dengan pemasangan D-STATCOM menjadi sebesar 45,31076 kVar dengan selisih 6,11264 kVar, sedangkan untuk prosentase jatuh tegangan dari tegangan nominal sebelum pemasangan sebesar 20,7% dan

setelah pemasangan turun menjadi 6,11%.

5.2. Saran

1. Untuk semakin memperdalam analisa maka dapat dilakukan simulasi saat kondisi gangguan transien akibat hubung singkat satu fasa ke tanah maupun antar fasa ke tanah.
2. Untuk menganalisis kondisi sistem dengan daya reaktif yang besar disepanjang saluran distribusi penyulang Bunul maka sebaiknya pengambilan data tidak hanya dilakukan pada saat beban puncak saja untuk inputan simulasi akan tetapi dapat diperoleh dengan data beban ringan yang diambil pada kondisi perharinya, sehingga memungkinkan diperoleh karakteristik beban maupun sistem dengan hasil faktor daya yang optimal.

DAFTAR PUSTAKA

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

[2] 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.

[3] Basri, Hasan, Sistem Distribusi Daya Listrik (Jakarta : ISTN, 1997).

[4] Djiteng Marsudi, "Operasi system tenaga Listrik", Edisi keempat, Erlangga, Jakarta, 1993

[5] Grebe, Thomas. "Voltage Sag-RMS Magnitude", Electrotec, IEEE, 2004.

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

[7] William D. Stevensen. JR " Analisis Sistem Tenaga Listrik", Edisi Ke-4. Erlangga.

[8] http://www.elektroindonesia.com/elektro/elek15a.html

[9] http://elektroindonesia.com/elektro/ener30a.html

[10] diktat kuliah ASTE 1

[11] distributed Generation, " *The Way Forward*", ofgem factsheet 15, journal of IEEE, 2002.

[12] Hojat Hatami, Farhad Shahnia, "*Investigation on D-STATCOM and DVR Operation for Voltage Control in Distribution Networks with a New Control Strategy*",

[13] Gregory F. Reed, Ph.D, "*IMPROVED POWER QUALITY SOLUTIONS USING ADVANCED SOLID-STATE SWITCHING AND STATIC COMPENSATION TECHNOLOGIES*" Mkubishi Electric Power Products, Inc. Power Systems Division , journal of IEEE, 1999.

[14] Data PLN (PERSERO) "Pemakaian kwh PLN area Pelayanan Malang Per Gardu Induk Per Trafo"

Lampiran

STANDAR

PERUSAHAAN LISTRIK NEGARA

PERPUSTAKAAN OLMIK
PT. PLN (Persero) Jasa Teknik Kelistrikan

SPLN 1 : 1995

Lampiran Keputusan Direksi PT. PLN (PERSERO)
No. : 063.K/0594/DIR/1995, tanggal 25 Agustus 1995

TEGANGAN - TEGANGAN STANDAR

P.T. PERUSAHAAN LISTRIK NEGARA (PERSERO)

JALAN TRUNOJOYO NO. 135 - KEBAYORAN BARU - JAKARTA 12160

STANDAR
PERUSAHAAN LISTRIK NEGARA

SPLN 1 : 1995
Lampiran Keputusan Direksi PT. PLN (PERSERO)
No. : 063.K/0594/DIR/1995, tanggal 25 Agustus 1995

TEGANGAN - TEGANGAN STANDAR

Disusun oleh :

1. **Kelompok Pembakuan Bidang Transmisi dengan Surat Keputusan Direksi Perusahaan Umum Listrik Negara No.: 077/DIR/88 tanggal 21 September 1988;**

Diterbitkan oleh :

P.T. PERUSAHAAN LISTRIK NEGARA (PERSERO)
Jln. Trunojoyo No. 135 - Kebayoran Baru
JAKARTA 12160
1995

(kosong)

Susunan Anggota Kelompok Pembakuan Bidang Transmisi
Berdasarkan Surat Keputusan Direksi Perusahaan Umum Listrik Negara
No.: 077/DIR/88 tanggal 21 September 1988

1.	Kepala Dinas Pembakuan, Pusat Penyelidikan Masalah Kelistrikan (ex-officio) (*)	: Sebagai Ketua merangkap Anggota Tetap
2.	Ir. Rosid	: Sebagai Ketua Harian merangkap Anggota Tetap
3.	Ir. Bambang Irawadi	: Sebagai Sekretaris merangkap Anggota Tetap
4.	Ir. Hoedojo	: Sebagai Wakil Sekretaris merangkap Anggota Tetap
5.	Ir. Hasim Soerotaroeno	: Sebagai Anggota Tetap
6.	Ir. Sambodho Sumani	: Sebagai Anggota Tetap
7.	Ir. Adiwardojo Warsito	: Sebagai Anggota Tetap
8.	Ir. Soewadji	: Sebagai Anggota Tetap
9.	Ir. Gumirang	: Sebagai Anggota Tetap
10.	Ir. Imam Mashud	: Sebagai Anggota Tetap
11.	Iskandar Kasim, BEE	: Sebagai Anggota Tetap
12.	Ir. Soenarjo Sastrosewojo	: Sebagai Anggota Tetap
13.	Ir. J.Soekarto	: Sebagai Anggota Tetap
14.	Ir. Moch.Basri	: Sebagai Anggota Tetap
15.	H. Iskandar, BEE	: Sebagai Anggota Tetap
16.	Ir. Tjahyo Sasmoyo	: Sebagai Anggota Tetap
17.	Ir. M.Agus Djumhana	: Sebagai Anggota Tetap
18.	Ir. Wayan Delim	: Sebagai Anggota Tetap
19.	Ir. Marsahala Samosir	: Sebagai Anggota Tetap
20.	Ir. Pieter Mahikafola	: Sebagai Anggota Tetap

(*) Ir. Achmad Sudjana.

(kosong)

DAFTAR ISI

Halaman :

PASAL 1 - RUANG LINGKUP DAN TUJUAN

1. Ruang lingkup 1
2. Tujuan 1

PASAL 2 - DEFINISI

3. Definisi 1

PASAL 3 - TABEL-TABEL TEGANGAN STANDAR

4. Tabel 1 - Sistem arus bolak-balik bertegangan nominal antara 100 volt sampai dengan 1.000 volt dan perlengkapan yang terpasang 3
5. Tabel 2 - Sistem arus bolak-balik bertegangan nominal antara 1 kV sampai dengan 20 kV dan perlengkapan yang terpasang 3
6. Tabel 3 - Sistem arus bolak-balik bertegangan nominal antara 35 kV sampai dengan 230 kV dan perlengkapan yang terpasang 4
7. Tabel 4 - Sistem arus bolak-balik bertegangan nominal di atas 245 kV (Tegangan Ekstra Tinggi) 4

PASAL 4 - VARIASI TEGANGAN PELAYANAN

8. Tegangan pelayanan dan variasi tegangan pelayanan 4

8.1 *Tegangan pelayanan* 4

8.2 *Variasi tegangan pelayanan* 4

9. Ketentuan variasi tegangan pelayanan 5

(kosong)

TEGANGAN - TEGANGAN STANDAR

PASAL 1- RUANG LINGKUP DAN TUJUAN

1. Ruang lingkup

Standar ini berlaku bagi sistem transmisi, distribusi dan pemanfaatan arus bolak-balik serta perlengkapan yang digunakan dalam sistem tersebut dengan frekuensi standar 50 Hz yang bertegangan nominal di atas 100 volt.

Catatan : 1. Standar ini merujuk Publikasi IEC 38 (1983) dengan membatasi Ruang lingkupnya sesuai dengan keterangan yang lebih spesifik berdasarkan pengalaman dan kebutuhan PLN.

2. Standar ini menggantikan SPLN 1 : 1978 tentang Tegangan-tegangan Standar.

2. Tujuan

Tujuannya ialah untuk memberikan pegangan yang terarah dan seragam bagi perencanaan, pembangunan dan pengusahaan sistem dan instalasi listrik berikut perlengkapan yang digunakan dalam sistem tersebut.

PASAL 2 - DEFINISI *)

3. Definisi

Untuk keperluan bagian Standar Tegangan ini, digunakan definisi sebagai berikut

3.1 Tegangan nominal suatu sistem

Tegangan nominal suatu sistem adalah nilai tegangan yang disandang suatu sistem atau perlengkapan dan kepadanya karakteristik kerja tertentu dari sistem dan perlengkapan itu dirujuk.

3.2 Tegangan tertinggi dan terendah suatu sistem **)*

3.2.1 Tegangan tertinggi suatu sistem

Tegangan tertinggi suatu sistem adalah tegangan tertinggi yang terjadi dalam keadaan kerja normal pada setiap saat dan di setiap titik pada sistem itu.

**) Nilai-nilai tercantum dalam standar ini adalah nilai r.m.s.*

***) Tidak termasuk keadaan transien dan abnormal*

Keadaan ini tidak termasuk transien tegangan, misalnya yang terjadi karena pemutusan sistem dan variasi tegangan temporer.

3.2.2 Tegangan terendah suatu sistem

Tegangan terendah suatu sistem adalah tegangan terendah yang terjadi dalam keadaan kerja normal pada setiap saat dan di setiap titik pada sistem itu.
Keadaan ini tidak termasuk transien tegangan seperti pada sub-sub Ayat 3.2:1.

3.3 Tegangan rendah

Tegangan rendah adalah tegangan sistem antara 100 volt sampai dengan 1.000 volt.

3.4. Tegangan menengah

Tegangan menengah adalah tegangan sistem di atas 1.000 volt sampai dengan 35.000 volt.

3.5 Tegangan tinggi

Tegangan tinggi adalah tegangan sistem di atas 35.000 volt sampai dengan 245.000 volt.

3.6 Tegangan Ekstra Tinggi

Tegangan Ekstra Tinggi adalah tegangan sistem di atas 245.000 volt.

3.7 Tegangan tertinggi untuk perlengkapan

Tegangan tertinggi untuk pelayanan adalah nilai tegangan tertinggi yang dispesifikasi kepada perlengkapan yang didasarkan kepada :

a) Isolasi;
b) Karakteristik lain yang mungkin merujuk tegangan tertinggi ini sesuai dengan rekomendasi perlengkapan yang bersangkutan.

Nilai tegangan tertinggi untuk perlengkapan itu ialah nilai maksimum "tegangan sistem tertinggi" (lihat Sub-sub Ayat 3.2.1) untuk mana perlengkapan tersebut dapat dipergunakan.

Catatan : 1. Tegangan tertinggi untuk perlengkapan hanya dinyatakan untuk tegangan sistem nominal lebih tinggi dari 1.000 volt. Dapat dimengerti bahwa khususnya untuk tegangan sistem nominal tertentu, kerja normal perlengkapan tidak dapat dijamin sampai dengan tegangan tertinggi untuk perlengkapan ini, mengingat adanya karakteristik peka tegangan, misalnya rugi-rugi kapasitor, arus magnetisasi transformator dan sebagainya. Dalam hal seperti ini, rekomendasi untuk perlengkapan yang bersangkutan harus menyebutkan batas tegangan di mana kerja normal perlengkapan ini dapat dijamin;

2. Dapat dimengerti bahwa perlengkapan yang digunakan dalam sistem yang mempunyai tegangan nominal tidak melebihi 1.000 volt harus dispesifikasi hanya dengan rujukan terhadap tegangan sistem nominal, untuk kerja maupun untuk isolasi.

3.8 Terminal suplai

Terminal suplai adalah titik suplai tenaga listrik dari sistem distribusi pengusaha kelistrikan pada pelanggan.

PASAL 3 - TABEL-TABEL TEGANGAN STANDAR

4. Tabel 1 - Sistem arus bolak-balik bertegangan nominal antara 100 volt sampai dengan 1.000 volt dan perlengkapan yang terpasang

Dalam tabel berikut ini sistem fase-tiga, 4-kawat termasuk sirkuit fase-tunggal (perluasan, pelayanan dsb.) yang tersambung pada sistem itu.
Nilai yang rendah adalah tegangan antara fase dan netral sedang nilai yang tinggi adalah tegangan antar fase.
Bilamana tercantum hanya satu nilai menyatakan sistem 3-kawat, tanpa kawat netral.
Tegangan di atas 230/400 volt dimaksudkan untuk pemakaian industri berat dan pelanggan komersial yang besar.

Sistem fase-tiga. 4 - kawat atau 3 - kawat
Tegangan nominal (V)
230/400 400/690 1.000

Catatan :

Tegangan nominal dari sistem 220/380 volt yang ada harus menyesuaikan ke arah 230/400 volt. Masa peralihan seharusnya sesingkat mungkin dan tidak melampaui tahun 2003. Selama masa peralihan itu, sebagai langkah pertama, PLN akan mengatur tegangan dalam jangkauan 230/400 V + 5% dan - 10 %.

5. Tabel 2 - Sistem arus bolak-balik bertegangan nominal antara 1 kV sampai dengan 20 kV dan perlengkapan yang terpasang *)

Tegangan tertinggi untuk perlengkapan (kV)	Tegangan sistem nominal (kV)
3,6 7,2 12 24	3 6 10 20

Catatan : Tegangan sistem nominal 3, 6 dan 10 kV tidak dipakai pada sistem distribusi umum.

**) Sistem-sistem ini pada umumnya sistem fase-tiga, 3-kawat;*
Nilai-nilai tercantum di atas adalah tegangan antar fase.

6. **Tabel 3 - Sistem arus bolak-balik bertegangan nominal antara 35 kV sampai dengan 230 kV dan perlengkapan yang terpasang**

Tegangan tertinggi untuk perlengkapan (kV)	Tegangan sistem nominal (kV)
72,5	66
170	150
245	220

Catatan : Tegangan nominal 220 kV adalah tegangan tertinggi pada sistem transmisi tegangan tinggi. Tegangan nominal di atas 220 kV adalah tegangan pada sistem transmisi tegangan ekstra tinggi.

7. **Tabel 4 - Sistem arus bolak-balik bertegangan nominal di atas 245 kV (Tegangan Ekstra Tinggi)**

Tegangan tertinggi untuk perlengkapan (kV)	Tegangan sistem nominal (kV)
300	275
525	500

Catatan : Di lingkungan PLN Tegangan Tertinggi untuk Perlengkapan 525 kV tersebut dikenal dengan Tegangan Nominal 500 kV.

PASAL 4 - VARIASI TEGANGAN PELAYANAN

8. **Tegangan pelayanan dan variasi tegangan pelayanan**

8.1 Tegangan pelayanan

Tegangan pada terminal suplai yaitu yang diukur pada alat pembatas dan pengukur (APP) milik PLN pada pelanggan.

8.2 Variasi tegangan pelayanan

Perubahan nilai tegangan pelayanan pada kerja normal terhadap tegangan nominal yang disebabkan oleh perubahan beban (tidak termasuk gejala transien dan abnormal) dan usaha pengaturan tegangan.

9. Ketentuan variasi tegangan pelayanan

Variasi tegangan pelayanan ditetapkan maksimum + 5% minimum - 10 % terhadap tegangan nominal.

Tegangan nominal (V)	Variasi tegangan pelayanan (%)
230/400 400/690 1.000	+5 %, - 10%

Catatan : 1. Ketentuan di atas berlaku sebagai pegangan bagi :

(a) perencanaan jaring yang baru;

(b) perbaikan atau rehabilitasi jaring yang sudah ada;

(c) pengusahaan JTR;

(d) pengarahan kepada konsultan;

(e) para instalatur dalam rangka merencanakan instalasi milik pelanggan dan

(f) para produsen bahan-bahan dan peralatan listrik

2. Ketentuan ini untuk sementara selama keadaan jaringan PLN belum mengizinkan tidak dengan sendirinya harus dipakai sebagai pedoman pembuatan kontrak/perjanjian antara PLN dan pelanggan yang berhubungan dengan penyambungan tenaga listrik.

Journal of Theoretical and Applied Information Technology

©2005 - 2008 JATIT. All rights reserved.

www.jatit.org

OPTIMAL CAPACITOR PLACEMENT USING FUZZY AND REAL CODED GENETIC ALGORITHM FOR MAXIMUM SAVINGS

[1]M. Damodar Reddy, [2]Prof. V.C. Veera Reddy
[1]Associate Professor, Department of E.E.E., S.V. University, Tirupati, Andhra Pradesh, India.
[2]Professor, Department of E.E.E., S.V. University, Tirupati, Andhra Pradesh, India.

ABSTRACT

This paper presents a new methodology using fuzzy and Real Coded Genetic Algorithm (RCGA) for the placement of capacitors on the primary feeders of the radial distribution systems to reduce the power losses and to improve the voltage profile. A two-stage methodology is used for the optimal capacitor placement problem. In the first stage, fuzzy approach is used to find the optimal capacitor locations and in the second stage, Real Coded Genetic Algorithm is used to find the sizes of the capacitors. The sizes of the capacitors corresponding to maximum annual savings are determined. The proposed method is tested on 15-bus, 34-bus and 69-bus test systems and the results are presented.

Keywords - *Capacitor placement - fuzzy approach – Real Coded Genetic Algorithm -maximum annual savings.*

1. INTRODUCTION

Radial distribution systems are typically spread over large areas and are responsible for a significant portion of total power losses. Reduction of total power loss in distribution system is very essential to improve the overall efficiency of power delivery. This can be achieved by placing the optimal value of capacitors at proper locations in radial distribution systems. Capacitors are installed at strategic locations to reduce the losses and to maintain the voltages within the acceptable limits.

Application of shunt capacitors to the primary distribution feeders is a common practice in most of the countries. The advantages anticipated include boosting the load level of the feeder so that additional loads can be carried by the feeder for the same maximum voltage drop, releasing a certain kVA at the substation that can be used to feed additional loads along other feeders and reducing power and energy losses in the feeder.

The objective of the capacitor placement problem is to determine the locations and sizes of the capacitors so that the power loss is minimized and annual savings are maximized. Even though considerable amount of research work was done in the area of optimal capacitor placement [1]-[10], there is still a need to develop more suitable and effective methods for the optimal capacitor placement.

Although some of these methods to solve capacitor allocation problem are efficient, their efficacy relies entirely on the goodness of the data used. Fuzzy logic provides a remedy for any lack of uncertainty in the data. Fuzzy logic has the advantage of including heuristics and representing engineering judgments into the capacitor allocation optimization process. Furthermore, the solutions obtained from a fuzzy algorithm can be quickly assessed to determine their feasibility in being implemented in the distribution system.

H. Ng *et al.* [9] proposed the capacitor placement problem by using fuzzy approximate reasoning. In the first stage, the method proposed by H. Ng *et al.* [9] is adapted to determine the optimal capacitor locations using fuzzy logic.

The global optimization method is most useful in obtaining the optimal capacitor sizes corresponding to maximum annual savings. In that sense, Real Coded Genetic Algorithm (RCGA) is one of the popular meta-heuristic methods in all the engineering fields. In the second stage, RCGA is proposed to find the sizes of the capacitors. The capacitor placement problem is modeled with the

©2005 - 2008 JATIT. All rights reserved.

objective function, which maximizes the annual savings. The proposed method is tested on 15-bus, 34-bus, and 69-bus test systems and the results are presented.

2. TOTAL REAL POWER LOSS IN A DISTRIBUTION SYSTEM

The total I^2R loss (P_L) in a distribution system having n number of branches is given by

$$P_L = \sum_{i=1}^{n} I_i^2 \, Ri \qquad (1)$$

Here I_i is the magnitude of the branch current and R_i is the resistance of the i^{th} branch respectively. The branch current can be obtained from the load flow solution. The branch current has two components, active component (I_a) and reactive component (I_r). The loss associated with the active and reactive components of branch currents can be written as

$$P_{La} = \sum_{i=1}^{n} I_{ai}^2 \, Ri \qquad (2)$$

$$P_{Lr} = \sum_{i=1}^{n} I_{ri}^2 \, Ri \qquad (3)$$

Note that for a given configuration of a single-source radial network, the loss P_{La} associated with the active component of branch currents cannot be minimized because all active power must be supplied by the source at the root bus. However, supplying part of the reactive power demand locally can minimize the loss P_{Lr} associated with the reactive component of branch currents. This paper presents a method that minimizes the loss due to the reactive component of the branch current by optimally placing the capacitors and thereby reduces the total loss in the distribution system.

3. IDENTIFICATION OF OPTIMAL CAPACITOR LOCATIONS USING FUZZY APPROACH

This paper presents a fuzzy approach to determine suitable locations for capacitor placement. Two objectives are considered while designing a fuzzy logic for identifying the optimal capacitor locations. The two objectives are: (i) to minimize the real power loss and (ii) to maintain the voltage within the permissible limits. Voltages and power loss indices of distribution system nodes are modeled by fuzzy membership functions. A fuzzy inference system (FIS) containing a set of rules is then used to determine the capacitor placement suitability of each node in the distribution system. Capacitors can be placed on the nodes with the highest suitability.

For the capacitor placement problem, approximate reasoning is employed in the following manner: when losses and voltage levels of a distribution system are studied, an experienced planning engineer can choose locations for capacitor installations, which are probably highly suitable. For example, it is intuitive that a section in a distribution system with high losses and low voltage is highly ideal for placement of capacitors. Whereas a low loss section with good voltage is not ideal for capacitor placement. A set of fuzzy rules has been used to determine suitable capacitor locations in a distribution system.

In the first step, load flow solution for the original system is required to obtain the real and reactive power losses. Again, load flow solutions are required to obtain the power loss reduction by compensating the total reactive load at every node of the distribution system. The loss reductions are then, linearly normalized into a [0, 1] range with the largest loss reduction having a value of 1 and the smallest one having a value of 0. Power Loss Index value for n^{th} node can be obtained using equation 4.

$$PLI_{(n)} = \frac{(Lossreduction_{(n)} - Lossreduction_{(min)})}{(Lossreduction_{(max)} - Lossreduction_{(min)})} \qquad \text{-------- (4)}$$

These power loss reduction indices along with the p.u. nodal voltages are the inputs to the Fuzzy Inference System (FIS), which determines the node more suitable for capacitor installation.

In this paper, two input and one output variables are selected. Input variable-1 is power loss index (PLI) and Input variable-2 is the per unit nodal voltage (V). Output variable is capacitor suitability index (CSI). Power Loss Index range varies from 0 to 1, P.U. nodal voltage range varies from 0.9 to 1.1 and Capacitor suitability index range varies from 0 to 1.Five membership functions are selected for PLI. They are **L, LM, M, HM and H**. All the five membership functions are triangular as shown in Figure 1. Five membership functions are selected for Voltage. They are **L, LN, N, HN and H**. These

©2005 - 2008 JATIT. All rights reserved.

membership functions are trapezoidal and triangular as shown in Figure 2. Five membership functions are selected for CSI. They are **L, LM, M, HM and H**. These five membership functions are also triangular as shown in Figure 3.

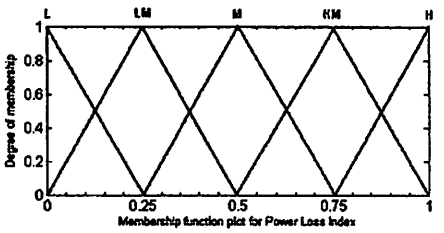


Figure 1. Membership function plot for P.L.I.

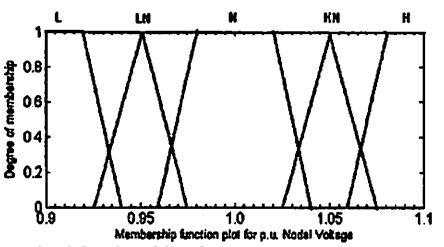


Figure 2. Membership function plot for p.u. nodal voltage.

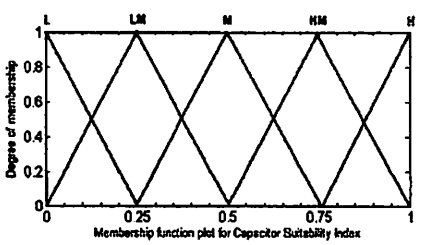


Figure 3. Membership function plot for C.S.I.

For the capacitor allocation problem, rules are defined to determine the suitability of a node for capacitor installation. Such rules are expressed in the following form:
IF premise (antecedent), THEN conclusion (consequent).

For determining the suitability of capacitor placement at a particular node, a set of multiple-antecedent fuzzy rules has been established. The inputs to the rules are the voltage and power loss indices and the output is the suitability of capacitor placement. The rules are summarized in the fuzzy decision matrix in Table I. The consequents of the rules are in the shaded part of the matrix.

Table I. Decision matrix for determining the optimal capacitor locations

AND		Voltage				
		L	LN	N	HN	HH
PLI	L	LM	LM	L	L	L
	LM	M	LM	LM	L	L
	M	HM	M	LM	L	L
	HM	HM	HM	M	LM	L
	H	H	HM	M	LM	LM

4. REAL CODED GENETIC ALGORITHM WITH NEW CROSS OVER TECHNIQUE

4.1. Introduction

Genetic algorithms are practical, robust optimization and search methods. Genetic algorithms were invented by Holland to mimic some of the processes of natural evolution and selection. These algorithms are different from most of the traditional optimization methods and these algorithms need design space to be converted into genetic space. A more striking difference between genetic algorithms and most of the traditional optimization methods is that GA uses a population of points at one time, in contrast to the single point approach by traditional optimization methods. The most interesting aspect of GA is that they do not require any prior knowledge of the function to be optimized and they exhibit very good performance on the majority of the problems applied.

The genetic algorithm repeatedly modifies a population of individual solutions. At each step, the genetic algorithm selects individuals at random from the current population to be parents and uses them to produce the children for the next generation. Over successive generations, the population evolves towards an optimal solution. The genetic algorithms can be used to solve a variety of optimization problems that are not well suited for standard optimization algorithms.

The basic structure of the genetic algorithm is given below:

©2005 - 2008 JATIT. All rights reserved.

Initial population: The GA operates on a population of consisting of a number of chromosomes simultaneously. The initial population of real numbered vectors is created randomly. Each of these vectors represents one possible solution to the search problem. Based on the size of search space the population size needs to be selected.

Fitness evaluation: Fitness evaluation is a procedure to determine the fitness of each string in the population. The fitness value is the only information available to the GA and the performance of the algorithm is highly sensitive to the fitness values. As the algorithm proceeds, we would expect to increase the individual fitness of the best chromosome as well as the total fitness of the population as a whole.

Termination criterion: After the calculation of fitness values of each chromosome the next step is to check the termination criterion. Termination criterion of the GA decides whether to continue searching or stop the search.

Reproduction: During the reproductive phase of the GA, good chromosomes (parents) in pairs are selected from the current generation's population for producing offspring and placing them in the next generation's population. Parents are selected randomly from the population using a scheme which favours the more fit individuals. Good individuals will probably be selected several times in a generation; poor ones may not be at all. This can be achieved by many different schemes, but the most common method is the roulette wheel selection. Roulette wheel with a pointer is shown in Figure 4.

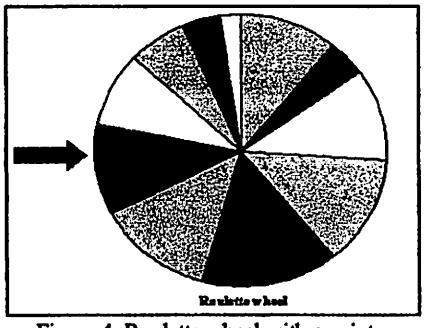


Figure 4. Roulette wheel with a pointer

Elitism: The copying of the best population in the current generation's population to the next generation's population is called "Elitism" as shown in Figure 5. The elitism can be implemented by arranging the population in the descending order according to their fitness value. The probability of elitism is P_e.

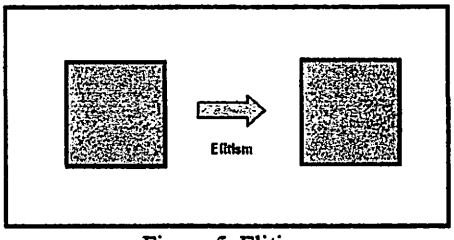


Figure 5. Elitism

Crossover: The crossover operator is the main search tool. It mates chromosomes in the mating pool by pairs and generates candidate offspring by crossing over the mated pairs with probability P_c as shown in Figure 6. There are many types of crossover techniques available in the literature.

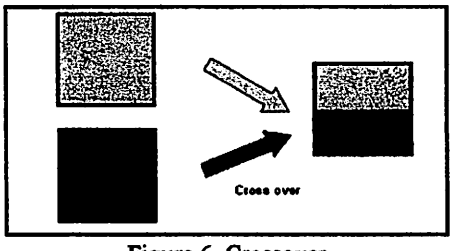


Figure 6. Crossover

Mutation: After crossover, some of the genes in the candidate offspring are modified with a small mutation probability P_m as shown in Figure 7. The mutation operator is included to prevent premature convergence by ensuring the population diversity.

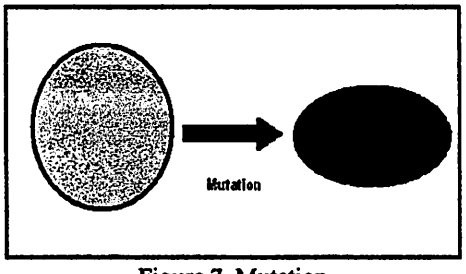


Figure 7. Mutation

4.2. Algorithm to find the capacitor sizes using RCGA

©2005 - 2008 JATIT. All rights reserved.

After identifying the *n* number of candidate locations using fuzzy approach, the capacitor sizes in all these *n* candidate locations are obtained by using the Real Coded Genetic Algorithm (RCGA). In this proposed method, the real number encoding has been used to determine the sizes of *n* number of capacitors in the *n* candidate locations.

Step 1: Initial population of [*nop* x *n*] number of real numbers is generated randomly within the limits, where *nop* is the initial population size and *n* is the number of capacitors. Each row represents one possible solution to the optimal capacitor-sizing problem. Iteration count is set to one.

Step 2: By placing all the *n* capacitors of each chromosome at the respective candidate locations and load flow analysis is performed using the branch current load flow method to find the total real power loss P_L. The same procedure is repeated for the *nop* number of chromosomes to find the total real power losses. Fitness value corresponding to each chromosome is evaluated.

Fitness value corresponding to each particle is evaluated using the equation (5) for maximum annual savings.

Fitness function for maximum savings (considering the capacitor cost) is given by

$$F_A = K_P . \Delta P + K_E . \Delta E - K_C . Q_C \quad (5)$$

Where S is the savings in $/year,
K_P is a factor to convert peak power losses to dollars,
K_E is a factor to convert energy losses to dollars,
K_C is the cost of capacitors in dollars,
ΔP is the reduction in peak power losses,
ΔE is the reduction in energy losses, and
Q_C is the size of the capacitor in kVAr.

The capacitor sizes corresponding to maximum savings are required. For any one chromosome, the negative F_A value indicates that savings are negative and F_A is fixed at F_A(minimum) and capacitor sizes corresponding to that chromosome are fixed at Q_C(minimum).

Step 3: The population is arranged in the descending order according to their fitness values. Maximum fitness and average fitness values are calculated.

$$\text{Error} = \frac{(\text{maximum fitness} - \text{average fitness})}{\text{maximum fitness}} \quad (6)$$

Error is calculated using the equation (6). If this error is less than a specified tolerance then go to step 9.

Step 4: The best chromosomes are directly copied to the next generation population to perform the elitism with a probability of P_e.

Step 5: Parents are selected in pairs by using the roulette wheel selection technique based on their fitness values.

Step 6: Crossover is performed using the two crossover operators. These two crossover operators are the arithmetic crossover and the heuristic crossover. A random number *r* is generated between zero and one. If the random number *r* is less than 0.5 then arithmetic crossover operator is used to produce the offspring, otherwise heuristic crossover operator is used to produce the offspring.

Arithmetic crossover

Arithmetic crossover technique linearly combines two parent chromosomes to produce two new offspring. Two offspring are created according to the following equations.

$$\text{Offspring1} = a * \text{Parent1} + (1-a) * \text{Parent2} \quad (7)$$

$$\text{Offspring2} = (1-a) * \text{Parent1} + a * \text{Parent2} \quad (8)$$

Where *a* is a random number between zero and one, which is generated before each crossover operation.

Heuristic crossover

A new heuristic crossover operator is proposed based on the evolutionary direction provided by each parent, the fitness ratio of best chromosome and each parent, and the distance between the best chromosome and each parent. The crossover operator can improve the convergence speed of RCGA by using the heuristic information [11].

©2005 - 2008 JATIT. All rights reserved.

$h(i,j)_{new} = K_1 * h(i,j)_{old} + K_2 * K_3 * (Parent(1,j) - Parent(i,j))$ ------ (9)

Where $h(i,j)_{new}$ is the latest value of heuristic crossover operator of j^{th} gene of i^{th} parent
$h(i,j)_{old}$ is the old value of heuristic crossover operator of j^{th} gene of i^{th} parent. Initially $h(i,j)_{old}$ is set to zero for all genes of all the chromosomes.
$h(i,j)_{new}$ must be within the limits of $(-h(i,j)^{max})$ and $h(i,j)^{max}$. Where $h(i,j)^{max}$ is the maximum allowable step size.

$$-h(i,j)^{max} \geq h(i,j)_{new} \leq h(i,j)^{max} \quad (10)$$

$$K_1 = \{K_1^{max} - [(K_1^{max} - K_1^{min}) * t / T]\} \quad (11)$$

K_1 is the adjustable coefficient between K_1^{max} and K_1^{min}
t is the current iteration (generation) number
T is the maximum number of iterations
K_2 is the random number between zero and two
K_3 is the ratio of best fitness and fitness of i^{th} parent
Parent(1,j) is the j^{th} gene in the best chromosome
Parent(i,j) is j^{th} gene of i^{th} parent

$$Offspring(i,j) = Parent(i,j) + h(i,j)_{new} \quad (12)$$

Each gene of offspring is produced from each gene of parent using the equation (12).

Step 7: The iteration count is incremented and whether this iteration count is greater than iteration maximum or not is checked. If it is greater than iteration count then go to step 9.

Step 8: After performing the elitism and crossover operators, the new population is generated from the old population. In this present work mutation operator is eliminated. Go to step 2 to repeat the same procedure.

Step 9: Stop the procedure and print the results.

5. RESULTS

Fuzzy approach is used to find the optimal capacitor locations and RCGA is used to find the optimal capacitor sizes for maximum annual savings. Convergence criterion of RCGA is error must be less than 0.000000001 dollars.

The data shown below is used for finding the optimal capacitor sizes:
nop = 30, T = 1000, $K_1^{max} = 0.66$ and $K_1^{min} = 0.3$

5.1. Results Of 15-Bus System

The proposed algorithm is applied to 15-bus system [12]. Optimal capacitor locations are identified based on the C.S.I. values. For this 15-bus system, five optimal locations are identified. Capacitor sizes in the five optimal locations, total real power losses before and after compensation are shown in Table 2.

Table 2. Results of 15-bus system

Bus No.	Capacitor size in kVAr
4	274
6	193
7	143
11	267
15	143
Total kVAr	1020
Total power loss in kW (before)	61.7944
Total power loss in kW (after)	30.5522
Savings in dollars	$ 16,007.2322

5.2. Results Of 34-Bus System

The proposed algorithm is applied to 34-bus system [7]. Optimal capacitor locations are identified based on the C.S.I. values. For this 34-bus system, seven optimal locations are identified. Capacitor sizes in the seven optimal locations, total real power losses before and after compensation are shown in Table 3.

Table 3. Results for 34-bus system

Bus No.	Capacitor size in kVAr
20	683
21	145
22	144
23	143
24	143
25	143
26	228
Total kVAr	1629
Total power loss in	221.7235

©2005 - 2008 JATIT. All rights reserved.

kW (before)	
Total power loss in kW (after)	168.9548
Savings in dollars	$ 27,505.5511

5.3. Results Of 69-Bus System

The proposed algorithm is applied to 69-bus system [4]. Optimal capacitor locations are identified based on the C.S.I. values. For this 69-bus system, two optimal locations are identified. Capacitor sizes in the two optimal locations, total real power losses before and after compensation are shown in Table 4.

Table 4. Results for 69-bus system

Bus No.	Capacitor size in kVAr
61	1029
64	207
Total kVAr	1236
Total power loss in kW (before)	225.0044
Total power loss in kW (after)	152.0541
Savings in dollars	$ 43,105.2581

The results show that $16,007 annual savings for 15-bus system, $27,505 for 34-bus system and $43,105 for 69-bus system is possible as shown in Tables 2, 3 and 4 respectively and bus voltages are also improved substantially.

6. CONCLUSIONS

In this paper, a two-stage methodology of finding the optimal locations and sizes of shunt capacitors for reactive power compensation of radial distribution systems is presented. Fuzzy approach is proposed to find the optimal capacitor locations and RCGA method is proposed to find the optimal capacitor sizes. Based on the simulation results, the following conclusions are drawn:

By installing shunt capacitors at all the potential locations, the total real power loss of the system has been reduced significantly and bus voltages are improved substantially. The proposed fuzzy approach is capable of determining the optimal capacitor locations based on the C.S.I. values. The proposed RCGA method iteratively searches the optimal capacitor sizes effectively for the maximum annual savings.

REFERENCES

[1]. Duran H., "Optimum number, location and size of shunt capacitors in radial distribution feeders: A dynamic programming approach", *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol. - 87, no. 9, pp. 1769-1774, September 1968.

[2] Bae Y.G., "Analytical method of capacitor allocation on distribution primary feeders", *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol. PAS- 97, no. 4, pp. 1232-1238, July 1978.

[3] Grainger J.J and S.H. Lee, "Optimum size and location of shunt capacitors for reduction of losses on distribution feeders" *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol. PAS- 100, no. 3, pp. 1105-1118, March 1981.

[4] Baran M.E. and Wu F.F., "Optimal capacitor placement on radial distribution systems", *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol.4, no-1, pp. 725-734, January 1989.

[5] Baran M.E. and Wu F.F., "Optimal sizing of capacitors placed on a radial distribution system", *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol.4, no-1, pp. 735-743, January 1989.

[6] Sundhararajan S. and Pahwa A., "Optimal selection of capacitors for radial distribution systems using a genetic algorithm", *IEEE Transactions on Power Systems*, vol.9, no.3, pp. 1499-1507, August 1994.

[7] Chis M., Salama M.M.A. and Jayaram S., "Capacitor placement in distribution systems using heuristic search strategies", *IEE proceedings on Generation, Transmission and Distribution*, vol. 144, no.3, pp. 225-230, May 1997.

[8] Haque M.H., "Capacitor placement in radial distribution systems for loss reduction", *IEE Proceedings on Generation, Transmission and Distribution*, vol. 146, no-5, pp 501-505, September 1999.

[9] Ng H.N., Salama M.M.A. and Chikhani A.Y., "Capacitor allocation by approximate reasoning: fuzzy capacitor placement", *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 15, no.1, pp 393 – 398, January 2000.

[10] Prakash K. and Sydulu M., "Particle swarm optimization based capacitor placement on radial distribution systems", *IEEE Power*

©2005 - 2008 JATIT. All rights reserved.

Engineering Society general meeting 2007, pp. 1-5, June 2007.

[11] Jianwu Li and Yao Lu, "An efficient real-coded genetic algorithm for numerical optimization problems" *IEEE Third International Conference on Natural Computation ICNC-2007.*

[12] Das D., Kothari D.P. and Kalam A., "Simple and efficient method for load flow solution of radial distribution networks", *Electrical Power & Energy Systems*, vol. 17, no. 5, pp. 335-346,1995.

Journal of Electrical Engineering
The Institution of Engineers, Bangladesh
Vol. EE 31, No. I & II, December 2004

Theory, Design and Simulation of a Distribution STATCOM for Mitigation of Voltage Sag and Elimination of Harmonic

Noor Izzri Abdul Wahab[1], Norman Mariun[1], Azah Mohamed[2] and Mohibullah[1]

[1] Dept. of Electrical and Electronic Engineering, Universiti Putra Malaysia, Malaysia
[2] Dept. of Electrical, Electronic and System Engineering, Universiti Kebangsaan Malaysia, Malaysia
E-mail: mohib195@eng.upm.edu.my

ABSTRACT

This paper describes the theory, design and simulation of a 12-pulse Distribution STATCOM on an 11kV distribution system. The distribution STATCOM (D-STATCOM) is one of the custom power (CP) family which also includes dynamic voltage restorer (DVR), solid state fault current limiter (SSFCL), active filters and solid state transfer switch (SSTS). Custom power offers customer with no power interruptions, tight voltage regulation, low harmonic voltage and acceptance of fluctuating and non-linear loads without effect on the terminal voltage. The D-STATCOM, which consists of a thyristor-based voltage source inverter, uses advanced power electronics to provide voltage stabilization, flicker suppression, power factor correction, harmonic control and a host of other power quality solutions for both utility and industrial applications. In this paper however, the concern will be mitigating voltage sags on the 11kV distribution system and reduction of harmonics generated by the device. The D-STATCOM simulations are done by using the PSCAD/EMTDC version 3.0.7 electromagnetic transient program.

1. INTRODUCTION

Voltage sag is the most important power quality problems faced by many industries and utilities. It contributes more than 80% of power quality (PQ) problems that exist in power systems [1]. By defintion, a voltage sag is an rms reduction in the AC voltage at the power frequency, for duration from a half-cycle to a few seconds [2]. Voltage sags are not tolerated by sensitive equipment used in modern industrial plants such as process controllers, programmable logic controllers (PLC), adjustable speed drive (ASD) and robotics [1]. It has been reported that, high intensity discharge lamps used for industrial illumination get extinguished at voltage sags of 20% and industrial equipments like PLC and ASD are adversely affected by voltage sags of about 10% [3].

Various methods have been applied to reduce or mitigate voltage sags. The conventional methods are by using capacitor banks, introduction of new parallel feeders and by installing uninterruptible power supplies (UPS). However, the PQ problems are not solved completely due to uncontrollable reactive power compensation and high costs of new feeders and UPS. The D-STATCOM has emerged as a promising device to provide not only for voltage sags mitigation but a host of other power quality solutions such as voltage stabilization, flicker suppression, power factor correction and harmonic control [4]. The D-STATCOM has the added capability to sustain reactive current at low voltage, reduce land use and can be developed as a voltage and frequency support by replacing capacitors with batteries as energy storage [5].

In this paper, the configuration and design of the D-STATCOM will be explained in brevity. The designed D-STATCOM will then be connected in shunt to study 11 kV distribution system. Passive filters will be employed to reduce the harmonics present in the output of the D-STATCOM which exceed the limits by IEEE standards. This paper focuses on mitigating voltage sags and reduction of harmonics generated. Simulation results on the performance of the D-STATCOM for voltage sag mitigation and harmonic reduction will be shown and explained.

2. BASIC CONFIGURATION AND OPERATION OF D-STATCOM

The D-STATCOM is a three-phase shunt connected power electronics based device. It is connected near the load at the distribution systems. The major components of a D-STATCOM are shown in Fig. 1. It consists of a dc capacitor, three-phase inverter (GTO, thyristor) module, ac filter, coupling transformer and a control strategy [5]. The basic electronic block of the D-STATCOM is the voltage-sourced inverter that converts an input dc voltage into a three-phase output voltage at fundamental frequency.

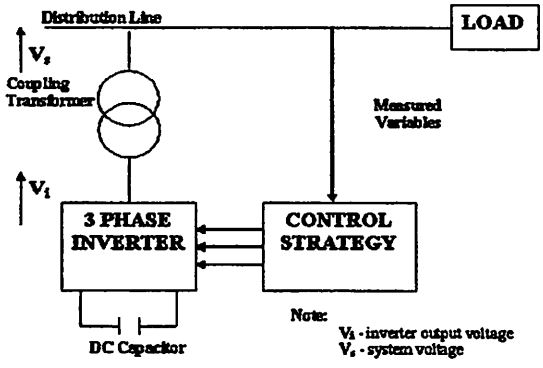


Fig. 1: Basic Building Blocks of the D-STATCOM

The controller of the D-STATCOM is used to operate the inverter in such a way that the phase angle between the inverter voltage and the line voltage is dynamically adjusted so that the D-STATCOM generates or absorbs the desired VAR at the point of connection. The phase of the output voltage of the thyristor-based inverter, V_i, is controlled in the same way as the distribution system voltage, V_s. Figure 2 shows the three basic operation modes of the D-STATCOM output current, I, which varies depending upon V_i. If V_i is equal to V_s, the reactive power is zero and the D-STATCOM does not generate or absorb reactive power. When V_i is greater than V_s, the D-STATCOM 'sees' an inductive reactance connected at its terminal. Hence, the system 'sees' the D-STATCOM as a capacitive reactance. The current, I, flows through the transformer reactance from the D-STATCOM to the ac system, and the device generates capacitive reactive power. If V_s is greater than V_i, the system 'sees' an inductive reactance connected at its terminal and the D-STATCOM 'sees' the system as a capacitive reactance. Then the current flows from the ac system to the D-STATCOM, resulting in the device absorbing inductive reactive power [4].

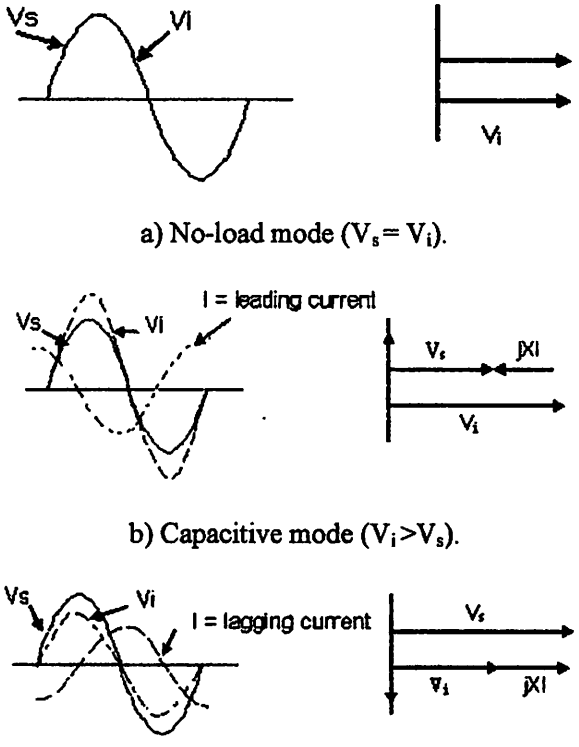


Fig. 2: Operation modes of D-STATCOM.

Figure 3 shows a typical 12-pulse inverter arrangement utilizing two transformers with their primaries connected in series [6]. The first inverter is connected to the system through a Y-Y arrangement, whereas a Y-Δ connection is used for the second inverter. Each inverter operates as a 6-pulse inverter, with the Y-Δ inverter being delayed by 30^0 with respect to the Y-Y inverter. The current flowing into each inverter is the same, scaled by the transformer ratio, as the current being drawn from the system by the D-STATCOM. For the Y-Δ inverter, the current is also delayed by 30^0 with respect to the current of the Y-Y inverter [6].

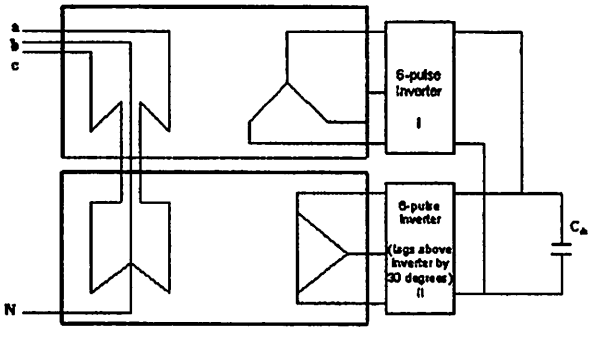


Fig. 3: The 12-pulse D-STATCOM arrangement.

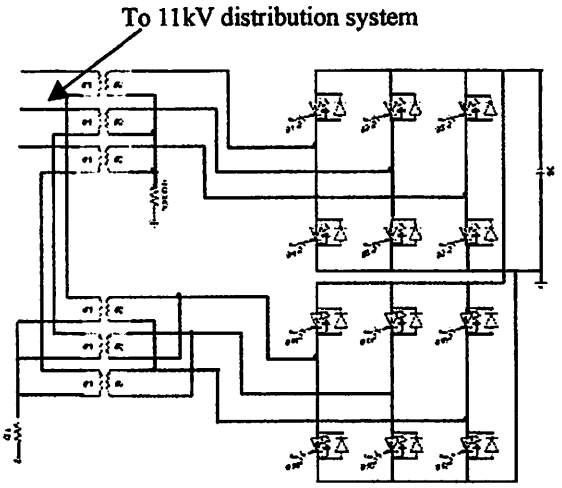


Fig. 4: The proposed D-STATCOM configuration.

3. DESIGN OF THE 12-PULSE D-STATCOM AND CONTROL SYSTEM

Figure 4 shows the proposed 12-pulse D-STATCOM configuration with the GTO's used as power devices. The GTOs are connected anti parallel with diodes for commutation purposes and charging of the DC capacitor [7].

The DC side of D-STATCOM is connected in parallel to keep the voltage on the DC side as low as possible and to improve utilization of the DC side capacitor. The first transformer is in wye-to-wye connection and the second transformer is in wye-to-delta connection. This is to give a 30^0 phase shift between the pulses and to reduce harmonics generated from the D-STATCOM. Both transformers are 11:2 kV step down transformers. The D-STATCOM is connected in shunt to the system. The 11kV distribution system is assumed loaded with 500kVA load at 0.9 pf lagging.

Controls of D-STATCOM are mainly manipulating the injection or absorption of reactive power by the DC capacitor. So, the proper size of capacitor is very important. The capacitor voltage, V_{DC}, controls the direction and magnitude of the D-STATCOM current.

The coupling transformer in Fig. 3 is used to produce a 12-pulse voltage. The phase voltages of inverter II lag the phase voltages of inverter I by 30^0 which compensates for the 30^0 phase lag of the delta connected inverter II. This can be achieved by time advancing the gate pulses of inverter II with respect to those of inverter I.

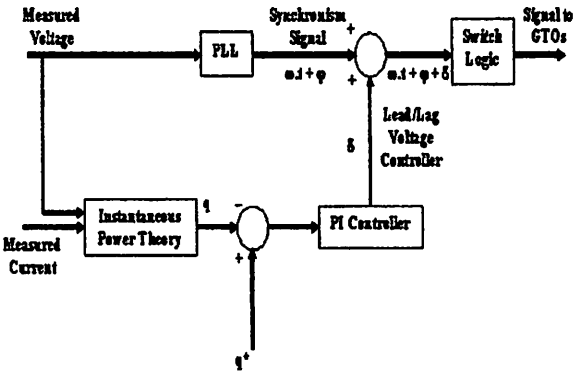


Fig. 5: The D-STATCOM control blocks.

Figure 5 shows control diagram of D-STATCOM constructed by PI controller. The PI controller provides the required phase angle for the inverters' switching pattern. Reactive power feedback using a PI controller makes it possible to improve transient response of the reactive power. The calculated reactive power, q, and reference reactive power, q*, are applied to the PI controller. The output of the PI controller is reference signal representing the phase angle δ.

The phase information, ωt, is generated from a signal generated by a phase locked loop (PLL) circuit. The phase comparator compares δ angle with ωt and determines the time which the corresponding switching devices are turned on and off. Each time the δ angle is changed, the dc capacitor voltage changes. The reactive power from the system is compared to the reference per-unit voltage which contributes to the change in phase shift [8]. The control system is based on the sinusoidal pulse width modulated switching method.

4. SIMULATION RESULTS AND DISCUSSION

In the simulation study, the voltage sags introduced to the system was done by the three-phase fault component from the PSCAD/EMTDC software's library.

Figure 6 shows the components used to generate voltage sag. By changing the fault impedance we will get different level of voltage sags. This is illustrated in Fig. 7.

The system was simulated for three seconds with the three-phase balanced fault occurring at time

1.5sec for a duration of 0.6 sec. Figure 8 shows the per-unit voltage, current and voltage profiles of the system. From Fig. 8, we can see that due to the three-phase fault, voltage sag has occurred.

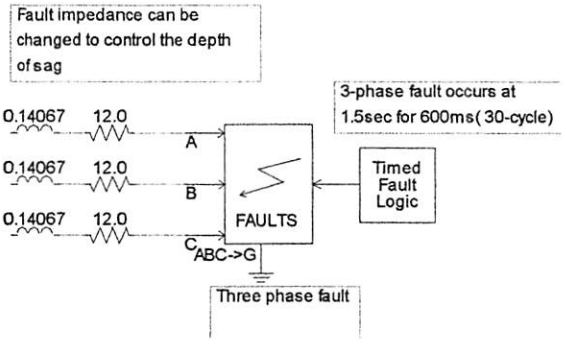


Fig. 6: Three-phase fault component to Introduce voltage sag.

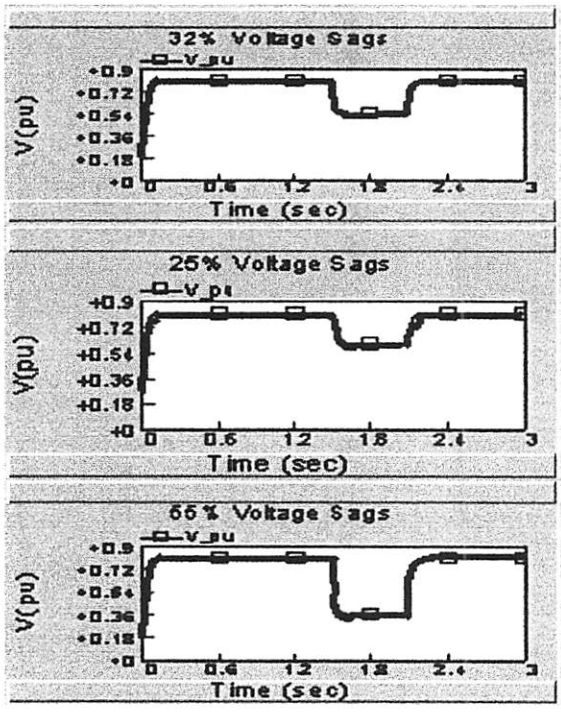


Fig. 7: Different voltage sags percentage due to different fault impedance.

The percentage of sag for the system is calculated using the following equation,

$$Sag(\%) = \frac{V_{pre-sag}(p.u) - V_{sag}(p.u)}{V_{pre-sag}(p.u)} \times 100$$
$$= \frac{0.81 - 0.55}{0.81} \times 100 \qquad (1)$$
$$= 32.1\%$$

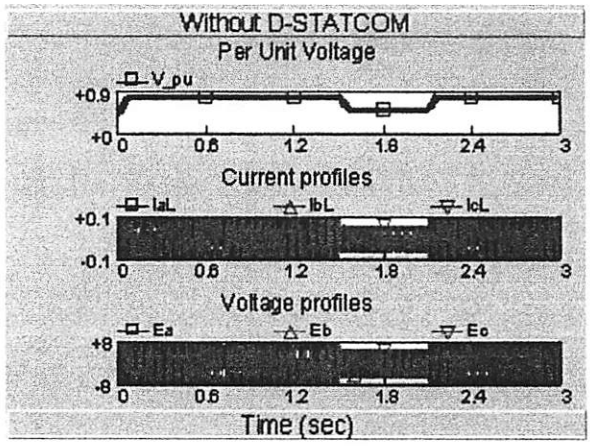


Fig. 8: Voltage (p.u), current (kA) and voltage (kV) of the System during voltage sag condition.

It is evident from the graphs shown in Fig. 8 that the line current, $I_{L\text{-}L}$ (rms), dropped from 89A to 62A and the line voltage, $V_{L\text{-}L}$, dropped from 7.344kV to 4.97kV. The DC capacitor value is calculated by trial and error. It was found out later through simulation works that the capacitance of $C_{DC} \approx 220\mu F$ is responding well to sustain the system's voltage during the fault.

The VAR rating of the D-STATCOM when C_{DC}=220μF is calculated as

$$\text{VAR} = 314.2 \times C_{DC} \times V_{L-L}^2 . \qquad (2)$$

$V_{L\text{-}L}$ is the nominal line-to-line voltage of the system at the point of connection of the filter. For this case, $V_{L\text{-}L}$ = 6.93kV. The VAR rating of the D-STATCOM is 3.3 MVAR.

4.1 Mitigation of Voltage Sags by D-STATCOM

The D-STATCOM is now connected in shunt with the 11kV system and the simulation is set to run again for 3sec. The switching frequency of the PWM control is set at 1.65kHz. Figures 9 and 10 show the results obtained from the simulation. From Fig. 9, it can be seen that the system's per unit voltage was maintained at 1.0 p.u. The spikes at the beginning and end of sag are due to capacitor charging and discharging. Figure 10 also shows the duration of voltage sag from 1.5s to 2.1s and during this period the D-STATCOM responds well to give the system better ride through capability. The sag was mitigated within 90 ms and limited to less than 20% of sag before the system recovered to 1.0 p.u.

Figure 10 shows that the D-STATCOM through the control feedback, the angle order is always kept at 30^0 between the 12 pulses. This is to prevent the increase of harmonics in the system. It can be seen that the DC current of the DC capacitor is fluctuating from negative to positive. This is due to the capacitor charging and discharging. The primary voltage of the 11:2 kV transformer, i.e. the system voltage, is maintained at about 11kV during the duration of sag. This proves that the D-STATCOM works very well in compensating the voltage sag caused by the balanced three-phase fault.

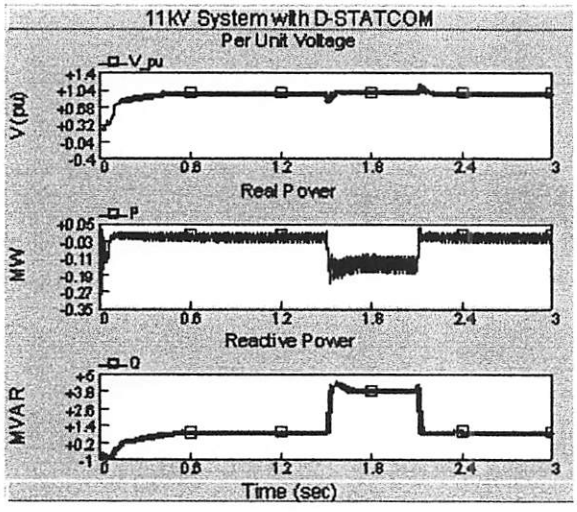


Fig. 9: 11kV system with D-STATCOM : V (p.u), real and reactive power.

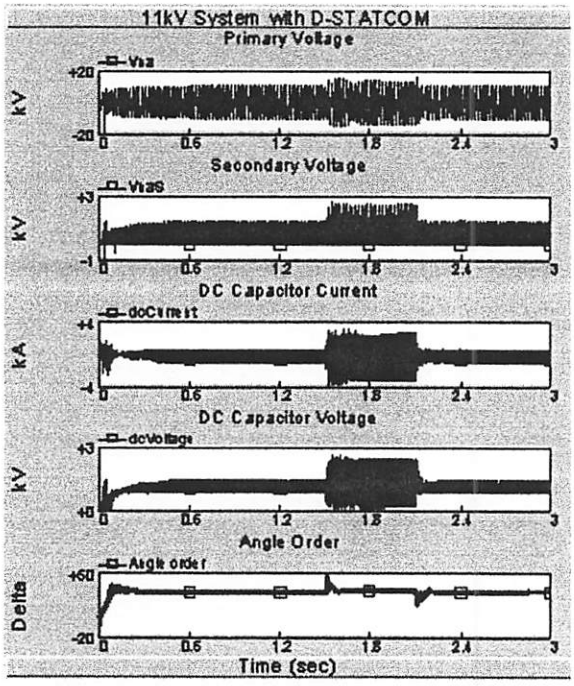


Fig. 10: System responses with the D-STATCOM.

4.2 Reduction of Harmonics Generated by D-STATCOM

IEEE Std. 519-1992 "IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems" suggests limits for the total harmonic distortion (THD) of voltage at the point of common connection for low voltage and medium voltage systems. It suggests that for systems 69kV and below the limit of THD is 5.0% [9].

When the D-STATCOM is connected to the 11kV distribution system without the passive filters, the THD of the system was 14% and 24% before and during the sag respectively. When the sag is cleared the THD returns to 14% which is more than the limit. Figure 11 shows the THD of the system without passive filters.

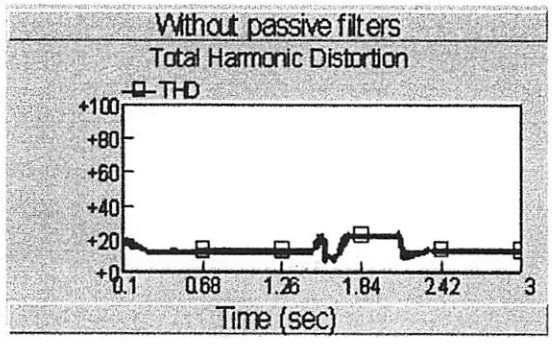


Fig. 11: THD of the system without filters.

In order to reduce harmonics generated by the D-STATCOM to below 5%, passive LC filters are employed. These filters can be connected to the primary side of the 11:2 kV transformer.

Initially, the dominant harmonics generated by the D-STATCOM are determined. Characteristic harmonics are related to the pulse number of the D-STATCOM. Since we are using the 12-pulse D-STATCOM the general characteristic harmonics equation is $12n\pm1$, where n is an integer having values of 1, 2, 3 etc [9].

The dominant harmonics generated by the D-STATCOM are the 11^{th}, 13^{th}, 23^{rd} and 25^{th}. To find the values of L and C, the following equation is used,

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}, \qquad (4)$$

where ω_0 = resonant frequency.

The values calculated for L and C for 11th, 13th, 23rd and 25th harmonics are as follows:

$C_{11} = 2.2\mu F$	$L_{11} = 38.1mH$,
$C_{13} = 2.2\mu F$	$L_{13} = 27.3mH$,
$C_{23} = 2.2\mu F$	$L_{23} = 8.71mH$,
$C_{27} = 2.2\mu F$	$L_{27} = 7.37mH$.

These filters were connected in shunt to the D-STATCOM and the THD of the system was reduced to about 3%. This value is lower than the 5% THD limit [9]. Figure 12 shows the THD when passive filters were connected to the system.

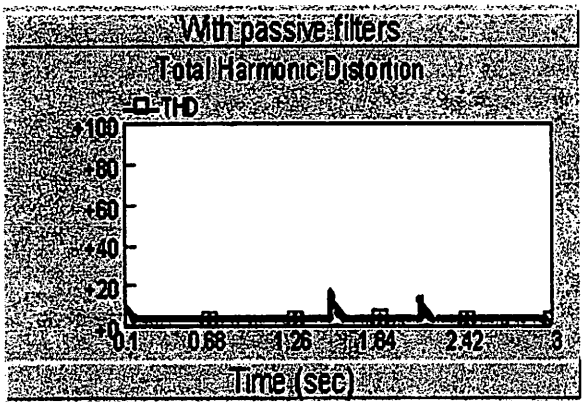


Fig. 12: THD of the system with filters.

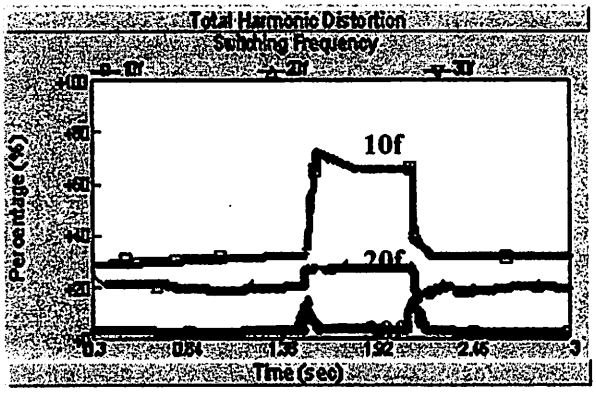


Fig. 13: THD of the system with different switching frequencies.

Figure 13 shows the reduction in THD of the system when the carrier frequency is increased. Here, f denotes the operating frequency of the system, which is 50 Hz. Care has to be taken when using higher switching frequency, for example $40f$, $50f$ etc. The increase in switching frequencies mean greater stresses on the switching devices and therefore derating of the devices and also there is possibility of generation of high frequency harmonics component previously not present [13].

5. CONCLUSIONS

A simulation model of the 12-pulse D-STATCOM has been designed using the PSCAD/EMTDC program. An important aspect considered in the design is the control system. The control strategy for the D-STATCOM was the AC side voltage or reactive power control. PI controller is used to control the flow of reactive power to and from the DC capacitor. Phase Lock Loop components were used in the control to generate the switching signal, i.e. triangular waves, and reference signals, i.e. sinusoidal wave. PWM switching control was used to switch on and off the GTO's. The GTO's were connected inversely and parallel to diodes for commutation purposes and to charge the capacitor. Due to this type of control, the harmonics generated by D-STATCOM are lessened. GTOs are used in this simulation because it is easy to control the switch on and off of their gates and suitable for the designed D-STATCOM system.

From the simulation results, the designed D-STATCOM responded well in mitigating voltage sag caused by three-phase balanced fault. The DC capacitor value is dependent on the percentage of voltage sag. The difference of step drop load current during sag is the amount of reactive current needed to be compensated. For the 12-pulse D-STATCOM, the number of harmonics generated are in the order of $12n \pm 1$, n is an integer from 1, 2, 3, ...etc. The dominant harmonics are the 11th, 13th, 23rd and 25th harmonics. These harmonics are significantly reduced by connecting the passive filters to the system.

Lastly, the D-STATCOM is a promising device and will be a prominent feature in power systems in mitigating power quality related problems in the near future.

A new computational technique based on FMM-MoM for the solution of electromagnetic scattering problem has been proposed in this paper. As we know, MoM forms dense matrix that requires large amount of storage memory and CPU time. On the other hand, FMM generates a sparse matrix, that can save storage memory and CPU time. However, in the accuracy level of MoM is better than FMM. In our proposed method we optimized in between two methods to get the maximum advantages.

Our proposed method is tested for analyzing scattering from a simple conducting cylindrical body and the results are compared with those obtained by MoM and FMM. Results show the appropriateness of our method. For a body with large dimension and complex structure, extra care must be taken for the discretization, choice of expansion function, etc. The proposed method may be applied to other arbitrary shaped 2D as well as 3D electromagnetic problems.

REFERENCES

[1] Dugan Roger C., McGranaghan Mark F., Beaty H Wayne, *Electrical Power Systems Quality*, McGraw Hill Companies, Inc., 1996.

[2] Stump Michael D., Keane Gerald J., Leong Frederick K. S. "The Role of Custom Power products in enhancing power quality at industrial facilities", *Proc. of the International Conference on Energy Management and Power Delivery*, 1998.

[3] Sensarma P. S., Padiyar K. R., Ramanarayanan V. 2001. "Analysis and Performance Evaluation of a Distribution STATCOM for Compensating Voltage Fluctuations", *IEEE Transaction on Power Delivery*, vol. 16, No. 2, April, pp. 259 – 264 .

[4] Reed G. F., Takeda M., Iyoda I., "Improved power quality solutions using advanced solid-state switching and static compensation technologies", *IEEE Power Engineering Society*, Winter Meeting, vol.2. pp: 1132-1137, 31 Jan. – 4 Feb., New York, USA, 1999.

[5] Taylor Gareth A., "Power quality hardware solutions for distribution systems: Custom power", *IEE North Eastern Centre Power Section Symposium*, pp. 11/1-11/9, Durham, UK, 1995.

[6] Sen Kalyan K., "STATCOM - Static synchronous COMpensator: Theory, modeling, and applications", *IEEE Power Engineering Society*, Winter Meeting, USA, 1999.

[7] Hingorani Narain G., Laszlo, *Understanding FACTS:Concepts and Technology of Flexible AC Transmission Systems*, IEEE Press, Inc., 2000.

[8] Carlos A. C. Cavaliere, Edson H. Watanabe, Mauricio Aredes, "Analysis and Operation of STATCOM in Unbalanced Systems", *International Conference on Power Systems Transients*, IPST 2001, Rio de Janeiro, Brasil, 2001.

[9] Syed. M. Peeran, Creg W. P. Cascadden, "Application, Design and Specification of Harmonic Filters for Variable Frequency Drives", in *Proc. of IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition APEC'94*, vol. 2. pp-909-916, 1994.

[10] Haque M. H., "Compensation of Distribution System Voltage Sag by DVR and D-STATCOM", *Proc. IEEE Porto Power Tech Conference*, 10–13 Sept., Porto, Portugal, 2001.

[11] Chin-Yuan Hsu, Horng-Yuan Wu., "A New Single-Phase Active Power Filter with Reduced Energy Storage Capacitor", *Power Electronics Specialists Conference*, vol.1 .pp. 202-208, 18-22 June 1995 Atlanta, GA, USA., 1995.

[12] Arnold R., "Solutions to the Power Quality Problems", *Power Engineering Journal*, pp 65 – 73, 2001.

[13] Zelingher S., Fardanesh B., Shperling B., Dave S., Kovalsky L., Schauder, C., Edris A., "Convertible static compensator project-hardware overview", *IEEE Power Engineering Society*, Winter Meeting, 2000.

PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK
PT. BNI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG
Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

1. Nama : NASRUDIN
2. NIM : 05.12.002
3. Jurusan : Teknik Elektro S-1
4. Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
5. Judul Skripsi : ANALISA OPTIMASI LOKASI PENEMPATAN D-STATCOM MENGGUNAKAN METODE FUZZY PADA SISTEM JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER 20 KV GI POLEHAN PENYULANG BUNUL

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

Hari : Jum'at
Tanggal : 20 Agustus 2010
Dengan Nilai : 82.75 (A)

Panitia Ujian Skripsi

Ketua Majelis Penguji

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

Anggota Penguji

Penguji I

(Ir. Choirul Saleh, MT)
NIP.P.1018800190

Penguji II

(Bambang Prio Hartono, ST, MT)
NIP.Y.1028400082

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

Formulir Perbaikan Ujian Skripsi

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

NAMA : Nasrudin
NIM : 0512002.
Perbaikan meliputi :

- hal 3
- hal 28
- hal 46
- hal 81

Malang, 200

(_____)

PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK
PT. BNI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG
Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

FORMULIR PERBAIKAN SKRIPSI

Nama : NASRUDIN
NIM : 05.12.002
Masa Bimbingan : 11 Maret 2010 s/d 11 Agustus 2010
Judul Skripsi : ANALISA OPTIMASI LOKASI PENEMPATAN D-STATCOM MENGGUNAKAN METODE FUZZY PADA SISTEM JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER 20 KV GI POLEHAN PENYULANG BUNUL

No.	Uraian	Paraf Penguji
1.	Halaman 3	
2.	Halaman 28	
3.	Halaman 46	
4.	Halaman 81	

Disetujui :

Penguji II

(Bambang Prio Hartono, ST, MT)
NIP.Y.1028400082

Mengetahui,

Dosen Pembimbing I

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

Dosen Pembimbing II

(Irrine Budi Sulistiawati ST, MT)
NIP. 19770615.200501.2.002

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
Jl. Raya Karanglo, Km. 2
MALANG

PERMOHONAN PERSETUJUAN SKRIPSI

Yang betanda tangan dibawah ini :

N a m a	: NASRUDIN
N I M	: 05.12.002
Semester	: 8 (Delapan)
Fakultas	: Teknologi Industri
Jurusan	: Teknik Elektro S-1
Konsentrasi	: ~~TEKNIK ELEKTRONIKA~~ **TEKNIK ENERGI LISTRIK** ~~TEKNIK KOMPUTER DAN INFORMATIKA~~
Alamat	: JL. KH. HASYIM ASYARI 122 KEPANJEN 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

(Puji Handayani)

Malang, ...200
Pemohon

(NASRUDIN)

Disetujui
Ketua Jurusan Teknik Elektro

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

Mengetahui
Dosen Wali

(.....)

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. IR. Yog-5 ..... 3.43
2. 137
3. ..... 6/2012

Form S-1a

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FORMULIR PENGAJUAN JUDUL SKRIPSI

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO/T. ENERGI LISTRIK S-1

1. Nama Mahasiswa : NASRUDIN — Nim : 05.12.002

2. Waktu Pengajuan :	Tanggal	Bulan	Tahun

Spesifikasi Judul *)

3.
(a.) Sistem Tenaga Elektrik
b. Energi & Konversi Energi
c. Tegangan Tinggi & Pengukuran
d. Sistem Kendali Industri
e. Elektronika & Komponen
f. Elektro Digital & Komputer
g. Elektronika Komunikasi
h. Lainnya .....

4. Konsultasikan judul sesuai materi bidang ilmu kepada Dosen*) :

Ir. Yusuf Ismail N, MT

Ketua Jurusan,

Ir. Yudi Limpraptono, MT
NIP. Y. 1039500274

5. Judul yang diajukan Mahasiswa : **ANALISA OPTIMASI LOKASI PENEMPATAN D-STATCOM MENGGUNAKAN METODE FUZZY PADA SISTEM JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER 20 KV GI POLEHAN PENYULANG BUNUL**

6. Perubahan Judul yang Disetujui Dosen materi bidang ilmu

7. ***Cacatan :***

8. Persetujuan Judul Skripsi yang dikonsultasikan kepada Dosen materi bidang ilmu

Disetujui, 18-08-2009
Dosen

Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT
NIP. Y. 101 900189

Perhatian :

1. Formulir Pengajuan ini harap dikembalikan ke Jurusan paling lambat ***satu minggu*** setelah disetujui Kelompok Dosen Keahlian dengan dilampirkan Proposal Skripsi berserta persyaratan Skripsi sesuai **Form. S-1**.
2. *, dilingkari a, b, c, ...atau f, sesuai bidang Keahlian.
3. **) diisi oleh Jurusan.

Form.S-2

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

Lampiran : 1 (satu) berkas
Pembimbing Skripsi

Kepada : Yth. ~~Bapak~~/Ibu Irrine Budi S. ST, MT
Dosen Institut Teknologi Nasional
MALANG

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama	: **Nasrudin**
Nim	: **05.12.002**
Jurusan	: **Teknik Elektro S-1**
Konsentrasi	: **Teknik ~~Elektronika~~/Energi Listrik**

Dengan ini mengajukan permohonan, Kiranya Bapak/Ibu bersedia menjadi dosen pembimbing Utama / Pendamping *), untuk penyusunan Skripsi dengan judul (Proposal terlampir) :

ANALISA OPTIMASI LOKASI PENEMPATAN D-STATCOM MENGGUNAKAN METODE FUZZY PADA SISTEM JARINGAN DISTRIBUSI 20 KV GI POLEHAN PENYULANG BUNUL

Adapun tugas tersebut sebagai salah satu syarat untuk menempuh Ujian Akhir Sarjana Teknik.

Demikian permohonan kami dan atas kesediaan Bapak/Ibu kami ucapkan terimah kasih.

Malang, Agustus 2009

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1

Ir. F. Yudi Limpraptono, MT
NIP. Y . 10395900274

Hormat kami,

Nasrudin
NIM. 05.12.002

*) Coret yang tidak perlu

Form S-3a

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

PERNYATAAN KESEDIAAN DALAM PEMBIMBINGAN SKRIPSI

Sesuai permohonan dari mahasiswa/i :

Nama : **Nasrudin**

Nim : **05.12.002**

Semester : **08 (Delapan)**

Jurusan : **Teknik Elektro S-1**

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

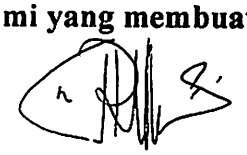
Dengan ini menyatakan bersedia / tidak bersedia*) Membimbing skripsi dari mahasiswa tersebut, dengan judul :

ANALISA OPTIMASI LOKASI PENEMPATAN D-STATCOM MENGGUNAKAN METODE FUZZY PADA SISTEM JARINGAN DISTRIBUSI 20 KV GI POLEHAN PENYULANG BUNUL

Demikian surat pernyataan ini kami buat agar dapat digunakan seperlunya.

Malang, Agustus 2009

Kami yang membuat pernyataan,



Irrine Budi S. ST, MT

NIP. 132314400

Catatan :
Setelah disetujui agar formulir ini
Diserahkan mahasiswa/i yang bersangkutan
Kepada jurusan untuk diproses lebih lanjut
*) Coret yang tidak perlu

Form S-3b

PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

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

PT. BNI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG

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

Malang, 28 September 2009

Nomor : ITN-202/I.TA/2/09
Lampiran : -
Perihal : BIMBINGAN SKRIPSI

Kepada : Yth. Sdr./i **IR. YUSUF ISMAIL NAKHODA, MT**
Dosen Institut Teknologi Nasional Malang

Dosen Pembimbing
Jurusan Teknik Elektro S-1
di
Malang

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

Nama	: NASRUDIN
Nim	: 0512002
Fakultas	: Teknologi Industri
Jurusan	: Teknik Elektro S-1
Konsentrasi	: Teknik **Energi Listrik**

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

11 September 2009 s/d 11 Maret 2010

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

Ketua Jurusan
Teknik Elektro S-1

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

Tembusan Kepada Yth :
1. Mahasiswa Yang Bersangkutan
2. Arsip
3. Coret yang tidak perlu

Form. S 4a

PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

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

PT. BNI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG

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

Malang, 28 September 2009

Nomor : ITN-203/I.TA/2/09
Lampiran : -
Perihal : BIMBINGAN SKRIPSI

Kepada : Yth. Sdr./i **IRRINE BUDI S, ST, MT**
Dosen Institut Teknologi Nasional Malang

Dosen Pembimbing
Jurusan Teknik Elektro S-1
di
Malang

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

Nama	: NASRUDIN
Nim	: 0512002
Fakultas	: Teknologi Industri
Jurusan	: Teknik Elektro S-1
Konsentrasi	: Teknik **Energi Listrik**

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

11 September 2009 s/d 11 Maret 2010

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

Ketua Jurusan
Teknik Elektro S-1

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

Tembusan Kepada Yth :
1. Mahasiswa Yang Bersangkutan
2. Arsip
3. Coret yang tidak perlu

Form. S 4a

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

FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : **NASRUDIN**
Nim : **05.12.002**
Masa Bimbingan : **11 MARET 2009 s/d 11 AGUSTUS 2010**
Judul Skripsi : **ANALISA OPTIMASI LOKASI PENEMPATAN D-STATCOM MENGGUNAKAN METODE FUZZY PADA SISTEM JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER 20 KV GI POLEHAN PENYULANG BUNUL**

NO	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1	14 - 07 - 2010	Bimbingan Bab I,II,III,IV & V	
2	18 - 07 - 2010	Bimbingan Bab III, IV	
3	25 - 07 - 2010	Bimbingan Perbaikan Bab III & IV	
4	29 - 07 - 2010	Bimbingan Perbaikan Metode fuzzy & Penambahan Kesimpulan	
5	04 - 08 - 2010	Bimbingan Perbaikan Metode fuzzy & Program PSCAD	
6	05 - 08 - 2010	Bimbingan Perbaikan Bab IV dan Pengajuan Makalah Seminar	
7	10 - 08 - 2010	Bimbingan Perbaikan Bab V dan Perbaikan Makalah Seminar	
8	13 - 08 - 2010	Acc Makalah Seminar Hasil	
9	19 - 08 - 2010	Konsultasi seluruh Bab	
10	19 - 08 - 2010	Acc Ujian Skripsi	

Malang, Agustus 2010
Dosen Pembimbing I

Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT
NIP. Y. 101 8800 198

Form S-4b

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : NASRUDIN
Nim : 05.12.002
Masa Bimbingan : 11 September 2009 s/d 11 Maret 2010
Judul Skripsi : **ANALISA OPTIMASI LOKASI PENEMPATAN D-STATCOM MENGGUNAKAN METODE FUZZY PADA SISTEM JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER 20 KV GI POLEHAN PENYULANG BUNUL**

No.	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1.	25 September 2009	- Ditambahkan profil dari GI polehan penyulang bunul. - Dijelaskan lebih rinci tujuan dari	
2.		peningkatan profil tegangan - Penjelas metode fuzzy dan software	
3.		yg digunakan. - D statcom pengaruh pd sistem bila ada gangguan	
4.	6 oktober 2009	Dilengkapi penjelasan rumus yg ada serta referensi pd pendahuluan	
5.	13 Oktober 2009	Bab I ok - Pada bab II perbaikan pd gbr trafo, jelaskan yg	
6.		sepadan daya mengacu ke trafo / sebaliknya sehubungan dgn faktor daya. - perbaiki gbr 2.7, serta rumusnya!	
7.		- perbaikan gbr fasor 2.8, cek batasan masalah apakah lagging / leading. - tambahkan perbaikan judul pd bab II	
8.		- tambahkan gbr fungsi keanggotaan D - perhitungan mgi daya sesuai batasan masalah	
9.	27 oktober 2009	- rumus 2.9 ?? representasi seperti apa ? - Cek judul y/ IX V serta Cos φ fakt centers daya nyata & daya semu.	
10.		- penjelasan variasi kapasitas peralatan	

Malang,
Dosen Pembimbing II

Irrine Budi S.ST, MT
NIP. 132 314 400

Form.S-4b

PT. PLN (Persero)
DISTRIBUSI JAWA TIMUR
AREA PELAYANAN JAR INGAN MALANG
JL. BASUKI RACHMAD No. 100 MALANG 651111
Telepon : (0341) 326034 - 035 Facsimile : (0341) 362046 Website : www.pln-jatim.co.id
Kotak Pos : 18 E-mail : plnmlg@pln-jatim.co.id

KAN MGMT.SYS
Certificate No.: QSC 00475

Nomor 0681 / 330 / APJ-MLG / 2009
Surat Sdr.No. : -
Lampiran : -
Perihal : *Ijin Survey*

Malang, 15 MAY 2009

Kepada :
Institut Teknologi Nasional Malang
Fak. Tek. Industri – Jur. Tek. Elektro
Jl. Bend. Sigura-gura No. 2
Malang - 65145

Menindak lanjuti surat Saudara No. ITN-438/III.TA-2/2/09 tanggal 23 Maret 2009 perihal ijin Survey untuk menyusun Tugas Akhir, maka dengan ini kami beritahukan bahwa pada prinsipnya kami tidak keberatan / mengizinkan mahasiswa Saudara atas nama :

1. **Nasrudin** **Nim : 05.12.002**
2. **Makik Mindiantono** **Nim : 05.12.023**

untuk melaksanakan Survey untuk menyusun Tugas Akhir di Bagian ***Operasi Distribusi*** PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur Area Pelayanan dan Jaringan Malang mulai tanggal 18 Mei 2009 sampai dengan tanggal 18 Juni 2009 dengan persyaratan :

1. Mahasiswa tersebut mengisi surat pernyataan (terlampir) dilengkapi dengan pas foto ukuran 3x4 cm (1 lembar) dan di serahkan ke bagian SDM.
2. PLN hanya memberikan data yang **TIDAK BERSIFAT RAHASIA.**
3. Mengirimkan buku laporan hasil Survey / Observasi / Praktek Kerja Nyata ke PT. PLN (Persero) Dist. Jatim APJ Malang 1 (satu) buah. Cq. Bidang SDM.

Demikian agar menjadikan maklum.

ASMAN SDM DAN ADMINISTRASI,

DISTRIBUSI JAWA TIMUR AREA PELAYANAN DAN JARINGAN MALANG

Ir. ABDUL SYUKUR RIDWAN

Tembusan :
1. Manager UP, UJ, & UPJ terkait
2. Supervisor terkait

PT. PLN (PERSERO)
DISTRIBUSI JAWA TIMUR
AREA PELAYANAN DAN JARINGAN MALANG

JL. JENDRAL BASUKI RAHMAD NO. 100 MALANG 65111

Telepon : (0341) 326034 – 35 Facsimile : (0341) 362046
Kotak Pos : 18 E-mail : plnmlg@pln-jatim.co.id

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Surat balasan dari PLN No. / Tgl. : 0681 / 330 / APJ-MLG / 2009
Tempat PKL / Observasi / Riset : ---
Tanggal pelaksanaan : 18 MEI 2009 s/d 18 JUNI 2009
Nama : NASRUDIN
Tempat, tanggal lahir : MALANG, 14 SEPTEMBER 1985
Jenis Kelamin : LAKI-LAKI
Agama : ISLAM
Alamat Asal : JL. KH. HASYIM ASYARI 122 KEPANJEN - MLG
Alamat Sekarang : JL. KH. HASYIM ASYARI 122 KEPANJEN - MLG
Pendidikan : S1
Nama Sekolah/Universitas : ITN MALANG
No. Nim : 05.12.003
No. Telp / HP : (0341) 397211 / 081 330 7111 69

Dengan ini kami menyatakan bahwa :

1. Saya akan mematuhi semua peraturan yang berlaku di PT. PLN (Persero) termasuk larangan melakukan pemotretan data-data spesifikasi peralatan PT. PLN (Persero).
2. Saya akan mematuni semua petunjuk yang diberikan oleh Pejabat/Pegawai PT. PLN (Persero) yang ditugaskan pembimbing saya.
3. Saya setuju PT. PLN (Persero) tidak menanggung sesuatu apapun bila terjadi kecelakaan yang mungkin menimpa diri saya atau kerugian yang mungkin saya derita atas barang-barang saya pada saat melakukan Training/Praktek Kerja/Riset di PT. PLN (Persero) yang langsung maupun tidak langsung yang terjadi karena keadaan ruangan, halaman, instansi dan peralatan PT. PLN (Persero).
4. Saya sanggup segera membayar sepenuhnya segala biaya yang langsung menimbulkan kerugian atau kecelakaan yang disebabkan oleh kelalain saya.
5. Saya sanggup menanggung sendiri segala keperluan Training/Praktek Kerja/Riset, termasuk biaya perjalan, penginapan dan sebagainya yang tidak menjadi tanggungan PT. PLN (Persero).
6. Saya sanggup tidak membocorkan hal-hal yang bersifat rahasia PT. PLN (Persero), dan bahan-bahan yang saya peroleh dalam melakukan Training/Praktek Kerja/Reset di PT. PLN (Persero) ini dan tidak saya pergunakan untuk hal-hal yang dapat merugikan PT. PLN (Persero).

Malang,

Yang Membuat Pernyataan

NASRUDIN