

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



**OPTIMASI PROFIL TEGANGAN PADA JARINGAN DISTRIBUSI TIPE
RADIAL 20 KV UNTUK MENGATASI JATUH TEGANGAN PADA
PENYULANG PUJON DENGAN MENGGUNAKAN VSI DEVICE**

SKRIPSI

Disusun Oleh :
PUGUH HARJO PURWANTO
00.12.054

**MARET
2007**

**MILIK
PERPUSTAKAAN
ITN MALANG**

LEMBAR PERSETUJUAN

**OPTIMASI PROFIL TEGANGAN PADA JARINGAN
DISTRIBUSI TIPE RADIAL 20 KV UNTUK MENGATASI
JATUH TEGANGAN PADA PENYULANG PUJON DENGAN
MENGUNAKAN VSI DEVICE**

SKRIPSI

*Disusun Untuk Melengkapi dan Memenuhi Persyaratan
Guna Mencapai Gelar Sarjana Teknik Elektro Strata Satu (S-1)*

Disusun Oleh :

PUGUH HARJO PURWANTO

NIM : 00.12.054



**Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro**

Ir.F. Yudi Limpraptono, MT

NIP.Y.103 9500 274

**Menyetujui,
Dosen Pembimbing I,**

Ir. H. ALMIZAN ABDULLAH, MSEE
NIP. P. 103 9000 208

**Menyetujui,
Dosen Pembimbing II,**

IRRINE BUDI S, ST, MT
Nip. 132 314 400

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



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

BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

1. **Nama** : PUGUH HARJO PURWANTO
2. **NIM** : 00.12.054
3. **Jurusan** : Teknik Elektro S-1
4. **Konsentrasi** : Teknik Energi Listrik
5. **Judul Skripsi** : OPTIMASI PROFIL TEGANGAN PADA JARINGAN DISTRIBUSI TIPE RADIAL 20 kV UNTUK MENGATASI JATUH TEGANGAN PADA PENYULANG PUJON DENGAN MENGGUNAKAN VSI DEVICE

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

Hari : Rabu
Tanggal : 21 Maret 2007
Dengan Nilai : 79 (B+) *By*



Panitia Ujian Skripsi

Ir. Mochtar Asroni, MSME
Ketua

Ir. F. Yudi Limpraptono, MT
Sekretaris

Anggota Penguji

Ir. Teguh Herbasuki, MT
Penguji Pertama

Ir. Junior Siahaan
Penguji Kedua

A B S T R A K S I

OPTIMASI PROFIL TEGANGAN PADA JARINGAN DISTRIBUSI TIPE RADIAL 20 kV UNTUK MENGATASI JATUH TEGANGAN PADA PENYULANG PUJON DENGAN MENGGUNAKAN VSI DEVICE

(Puguh Harjo Purwanto, Nim 00.12.054, Teknik Elektro/T.Energi Listrik)
(Dosen Pembimbing : Ir. H. Almizan Abdullah, MSEE)

Kata Kunci : Sistem Distribusi Radial, Penempatan VSI Device, Pengurangan Rugi-rugi, , metode *Sequential Quadratic Programming*.

Recent advances in power electronic technology have seen the development of a range of converter based power compensation systems which have the potential to improve supply quality and increase line utilisation in weak distribution networks at relatively low cost. In this paper we investigate the steady-state performance of *Voltage Source Inverter* (VSI) devices connected in parallel to radial distribution networks for the purpose of voltage regulation, including DSTATCOM's and active interfaces for *Distributed Generation* (DG) systems as applied to Pujon feeder of Sengkaling Substation, Malang by means of *Sequential Quadratic Programming* methode.

Kemajuan terbaru dalam tekhnologi elektronika daya telah mengembangkan suatu konverter yang berdasar pada sistem kompensasi daya yang potensial untuk meningkatkan kualitas persediaan energi dan peningkatan penggunaan saluran pada jaringan distribusi yang lemah dengan biaya yang relatif murah. Dalam penelitian ini dipelajari unjuk kerja keadaan tunak (*Steady State*) dari penempatan peralatan VSI (*Voltage Source Inverter*) yang dihubung paralel dengan jaringan distribusi radial termasuk D-STATCOM dan DG (Pembangkitan Tersebar) pada penyulang Pujon di GI Sengkaling Malang dengan menggunakan metode *Sequential Quadratic Programming* (SQP).

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, atas rahmat dan karunia-Nya memungkinkan penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul, “ **OPTIMASI PROFIL TEGANGAN PADA JARINGAN DISTRIBUSI TIPE RADIAL 20 kV UNTUK MENGATASI JATUH TEGANGAN PADA PENYULANG PUJON DENGAN MENGGUNAKAN VSI DEVICE** ”.

Skripsi ini bertujuan untuk memenuhi kurikulum akademik yang harus ditempuh oleh setiap mahasiswa ITN Malang guna mengakhiri pendidikan pada jenjang strata satu jurusan Teknik Elektro konsentrasi Teknik Energi Listrik di Institut Teknologi Nasional Malang.

Atas segala bimbingan, pengarahan dan bantuan yang diberikan, sehingga tersusunnya skripsi ini, maka penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Ayah ibu beserta semua saudara yang telah memberikan Doa dan dukungannya.
1. Bapak Prof. Dr. Ir. Abraham Lomi, MSEE, selaku Rektor ITN Malang.
2. Bapak Ir. F Yudi Limpraptono, MT, selaku Kajur Teknik Elektro ITN Malang.
3. Ir. H. Almizan Abdullah, MSEE, selaku dosen pembimbing utama.
4. Irrine Budi S, ST, MT, selaku dosen pembimbing pendamping.
5. Ugro, ST, sebagai *programmer*.
6. Agus Maftukhin, ST, terima kasih atas buku dan sarananya.

Rekan-rekan elektro energi listrik yang saling membantu dan saling mengisi dalam pengerjaan skripsi ini.

Akhirnya penulis mengharapkan skripsi dapat berguna dan bermanfaat bagi rekan-rekan mahasiswa khususnya pada jurusan Teknik Elektro konsentrasi Teknik Energi Listrik.

Malang, Maret 2007

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman :

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PERSETUJUAN	i
ABSTRAKSI	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR GRAFIK	ix
DAFTAR TABEL	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan	3
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Metodologi Penelitian	4
1.6. Sistematika Penulisan	4
1.7. Kontribusi Penelitian	5
BAB II SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK	6
2.1. Sistem Distribusi Tenaga Listrik	6
2.2. Sistem Distribusi	6
a. Sistem Distribusi Primer	7
b. Sistem Distribusi Sekunder	8
2.3. Pola Dasar Struktur Jaringan Tegangan Menengah	8
2.3.1. Sistem Jaringan Distribusi Radial	9

2.3.2.	Struktur Jaringan <i>Loop/Ring</i>	10
2.3.3.	Struktur Jaringan <i>Mesh/Grid</i>	11
2.3.4.	Analisa Aliran Daya Jaringan	12
2.3.5.	Sistem <i>Distributed Generation (DG)</i>	13
2.3.6.	Metode <i>Sequential Quadratic Programming</i>	15
2.3.7.	Prinsip kerja dan Klasifikasi Peralatan VSI (<i>Voltage Source Inverter</i>)	15
2.4.	Konstruksi Jaringan Distribusi	24
2.4.1.	Sistem Saluran Udara (<i>Over Head Line</i>)	24
2.4.2.	Sistem Saluran Bawah Tanah (<i>UnderGround Line</i>)	25
2.5.	Klasifikasi Bus	26
2.5.1.	Slack Bus (Bus V- δ)	27
2.5.2.	Generator Bus (Bus P-V)	27
2.5.3.	Load Bus (Bus P-Q)	27
2.6.	Tegangan Sistem dan Faktor Daya.....	27
2.7.	Daya Sistem Distribusi	29
2.7.1.	Daya Aktif/Nyata (<i>Real Power</i>)	29
2.7.2.	Daya Reaktif (<i>Reactive Power</i>)	29
2.7.3.	Daya Kompleks (<i>Complex Power</i>)	29
2.8.	Rugi-rugi Daya Saluran Distribusi	30
2.9.	Sistem Per-Unit	31

BAB III. OPTIMASI TEGANGAN DENGAN MENGGUNAKAN METODE SEQUENTIAL QUADRATIC PROGRAMMING

3.1.	Algoritma <i>Sequential Quadratic Programming (SQP)</i> Dalam Penerapannya Pada Jaringan Distribusi Radial.....	32
------	---	----

3.1.1. Metode Analisa Rangkaian D-STATCOM (<i>Distribution Static Compensator</i>)	34
3.1.2. Metode Analisa Rangkaian DG (<i>Distributed Generation</i>)	38
3.2. Data Saluran	41
3.3 Algoritma Program Pemecahan Masalah Secara Umum.....	42

BAB IV ANALISA dan EVALUASI PERBANDINGAN PERALATAN D-STATCOM DAN DISTRIBUTED GENERATION (DG)

4.1. Analisa Dengan Metode Sequential Quadratic Programming	44
4.2. Algoritma Program	45
4.2.1. Algoritma Peralatan VSI dengan menggunakan metode <i>Sequential Quadratic Programming</i>	45
4.2.2. Flowchart Penyelesaian Masalah	46
4.3. Data Program.....	48
4.3.1. Data Perhitungan Program	48
4.3.2. Analisa Perhitungan.....	49
4.4. Tampilan Program	51
4.5. Data dan Analisa Hasil	54

BAB V KESIMPULAN dan SARAN

5.1. Kesimpulan	76
5.2. Saran	77

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar :	Halaman :
2-1. Skema Penyaluran Sistem Tenaga Listrik.....	7
2-2. Jaringan Tegangan Menengah, Jaringan Tegangan Rendah dan Sambungan ke Pelanggan	8
2-3. Bentuk Sederhana Dari Sistem Distribusi Radial	9
2-4. Bagan jaringan Tegangan Menengah Sistem Distribusi Radial	10
2-5. Jaringan Tegangan Menengah struktur Loop yang dipasok dari satu sumber	11
2-6. Jaringan Tegangan Menengah Struktur Mesh	12
2-7. Jaringan Distribusi Konvensional.....	14
2-8. Jaringan Distribusi Dengan Distributed Generation	14
2-9. Skema Single Line Peralatan Distributed Generation	15
2-10. Skema Peralatan-peralatan VSI Beserta Satuannya	16
2-11. Vektor Diagram Sebelum dan Sesudah Pemasangan D-STATCOM Pada Jaringan	18
2-12. Profil dan gradien tegangan pada suatu feeder distribusi dengan atau tanpa Alat Kompensasi (Generator G).....	20
2-13. Saluran dengan beban distribusi	21
2-14. Segitiga Daya.....	28
3-1. Model Steady State dari peralatan VSI	34
3-2. Prinsip Kerja D-STATCOM.....	35
3-3. Konfigurasi dasar peralatan D-STATCOM.....	36
3-4. Skema Single Line Peralatan D-STATCOM	37

3-5.	Gambar Fisik Peralatan D-STATCOM.....	37
3-6.	Skema Single Line Peralatan DG	39
3-7.1.	Gambar Fisik Peralatan DG yang Terhubung dengan Switchgear Line-Up.....	39
3-7.2.	Gambar Fisik Peralatan <i>Distributed Generation</i> (Kincir Angin).....	40
3-8.	Flow Chart Umum Aliran Daya	43
4-1	Flowchart Analisis DG.	46
4-2.	Flowchart Analisis DS-STATCOM.....	47
4-3.	Flowchart Analisis DG vs DS-STATCOM.....	48
4-4.a.	Single Line Diagram Penyulang Pujon dengan Penunjukkan Node yang Mempunyai Profil Tegangan Dibawah Standart	56
4-4.b	Single Line Diagram Penyulang Pujon dengan Penunjukkan Penempatan Kompensator Pada Node.....	66

DAFTAR GRAFIK

Grafik :	Halaman :
4-1. Tampilan Tegangan Tanpa Kompensasi	64
4-2. Tampilan Tegangan Dengan Kompensasi DG	64
4-3. Tampilan Tegangan Dengan Kompensasi D-STATCOM	65
4-4. Perbandingan Sebelum dan Setelah Kompensasi	65
4-5. Perbandingan Total Rugi-rugi Daya Sebelum dan Setelah Kompensasi Pada Kasus 2.....	67
4-6. Perbandingan Total Rugi-rugi Daya Sebelum dan Setelah Kompensasi Per Kasus	68

DAFTAR TABEL

Tabel :	Halaman :
3-1. Data Spesifikasi Rating Peralatan D-STATCOM.....	37
3-2. Data Spesifikasi Rating Peralatan DG.....	40
3-3. Data Penyulang Sistem 20 kV G Sengkaling.....	41
3-4. Data Impedansi Saluran Penyulang Pujon.....	41
3-5. Data Pembebanan Penyulang Pujon.....	42
4-1. Data Pembebanan Penyulang Pujon Beserta Pengubah dalam satuan pu	51
4-2. Data Analisa Aliran Daya Tegangan Pada Bus Ke-n sebelum Optimasi	55
4-3. Penggolongan Problem.....	57
4-4. Tabel Perbandingan Kasus 1 dan Kasus 2	58
4-5. Tabel Perbandingan Kasus 3 dan Kasus 4	60
4-6. Data Perbandingan Kompensasi DG dan D-STATCOM Setelah Optimasi	63
4-7. Data Lokasi Node Penempatan Kompensator DG	72
4-8. Data Spesifikasi Kompensator DG Berdasarkan Tipe dan Aplikasinya ..	73
4-9. Data Pemilihan Genarator DG Pada Lokasi Node (Kasus 2) Berdasarkan Iklim dan Kondisi Daerahnya	74
4-10. Data Spesifikasi Peralatan DG Dengan Aplikasi Harga Pada Kasus 2	74

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Jaringan distribusi tenaga listrik yang memasok daerah pedalaman memiliki ciri lemah secara alami oleh karena melibatkan rasio kabel R/X yang relatif tinggi pada kabel distribusi panjang. Hal ini terjadi bila semakin panjang suatu saluran, maka semakin besar pula rugi-rugi yang terdapat pada saluran tersebut, $P = I^2 \cdot R$, dimana $R+jX$ merupakan Impedansi Saluran. Selain itu dengan permintaan beban semakin tinggi pada jaringan ini, kualitas daya yang disalurkan seperti regulasi tegangan yang lemah, tegangan kedip, dan distorsi harmonik menjadi masalah yang signifikan. Banyak permasalahan yang harus dihadapi dalam memonitoring pengoperasian sistem tersebut, antara lain meliputi pengalihan beban, pemilihan jenis kawat penghantar, pemasangan kapasitor dan lain-lain.

Pengembangan terbaru dalam bidang teknologi elektronika daya adalah pengembangan berbagai sistem kompensasi daya berdasarkan dari converter 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, diantaranya D-STATCOM's (*Distribution Static Compensator*), DVR's (*Dynamic Voltage Restorer*), dan DG (*Distributed Generation*).

Salah satu metode yang dapat dipakai untuk menganalisis aplikasi VSI adalah metode *Sequential Quadratic Programming*, dimana metode tersebut

mempunyai kelebihan dapat digunakan untuk menyelesaikan sub-permasalahan yang berdasar pada pendekatan kuadratik langrangian pada setiap iterasi. Teknik SQP telah berhasil diterapkan pada berbagai permasalahan optimasi sistem tenaga^[6].

1.2. Rumusan Masalah

Variasi pembebanan daya aktif dan reaktif pada sistem akan menyebabkan variasi perubahan profil tegangan yang besar pada sistem jaringan distribusi. Disamping itu permintaan beban sistem distribusi yang tumbuh setiap tahun. Perubahan aliran daya sehingga dapat menimbulkan rugi-rugi daya yang besar. Oleh karena itu persoalan-persoalan yang akan dipecahkan pada skripsi ini antara lain :

1. Bagaimana kestabilan tegangan pada sistem distribusi tipe radial seimbang dapat tercapai dengan menggunakan metode *Sequential Quadratic Programming*.
2. Berapa besar tegangan pada setiap bus jika terhubung dengan berbagai kondisi beban.
3. Bagaimana solusi dari permasalahan yang ada bila pada jaringan diterapkan peralatan VSI.

Sehubungan dengan pembahasan diatas, maka skripsi ini diberi judul :

“OPTIMASI PROFIL TEGANGAN PADA JARINGAN DISTRIBUSI TIPE RADIAL 20 kV UNTUK MENGATASI JATUH TEGANGAN PADA PENYULANG PUJON DENGAN MENGGUNAKAN VSI DEVICE. ”

1.3. Tujuan

Untuk memperoleh suatu metode alternatif dalam penyelesaian masalah jatuh tegangan yang berhubungan dengan penentuan besar tegangan setiap bus, mengetahui perbedaan efisiensi sebelum dan sesudah pemasangan peralatan VSI, menentukan jenis peralatan kompensator yang paling sesuai untuk jaringan distribusi penyulang Pujon. Sebagai tambahan dicari juga Break Even Point (BEP) secara kasar untuk memperkirakan kelayakan ekonomis metode ini dengan perhitungan kestabilan tegangan metode *Sequential Quadratic Programming*.

1.4. Batasan Masalah

Agar permasalahan mengarah sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan, maka permasalahan dalam skripsi ini dibatasi pada hal-hal sebagai berikut :

1. Analisa dilakukan hanya sebatas pengkajian beban suatu penyulang yang telah ada. Analisa perhitungan tidak membahas aspek biaya secara mendetail, hanya memberikan gambaran kasar tentang kelayakannya.
2. Tidak membahas optimasi lokasi penempatan peralatan, hanya membahas injeksi daya untuk lokasi yang telah ditentukan.
3. Hanya membahas analisa perbandingan D-STATCOM dengan DG bila peralatan dihubungkan dengan berbagai kondisi pembebanan.
4. Tidak membahas prinsip kerja peralatan D-STATCOM dan DG secara mendetail.
5. Beban diasumsikan sebagai beban 3 Phasa yang seimbang.
6. Tidak membahas pengontrolan Switching yang dilakukan.

1.5. Metodologi Penelitian

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

- Studi Literatur mengenai hal – hal yang mendukung penyusunan penelitian ini seperti jurnal IEEE “ *Voltage Stability for Radial Distribution* ”, serta mempelajari buku – buku yang berkaitan sebagai referensinya.
- Pengambilan data - data di lapangan yang meliputi data saluran, topologi jaringan dan data pembebanan.
- Proses perhitungan menggunakan metode *Sequential Quadratic Programming* dengan menggunakan software Matlab 6.1.
- Untuk langkah selanjutnya melakukan analisis tegangan dan kemudian menarik kesimpulan dari hasil analisis.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika pembahasan dalam penelitian ini disusun sebagai berikut :

Bab I : Pendahuluan

Menguraikan latar belakang, tujuan penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, metodologi, sistematika penulisan.

Bab II : Sistem Distribusi Tenaga listrik

1. Menguraikan pembahasan sistem distribusi tenaga listrik secara umum.
2. Prinsip Kerja Peralatan VSI.
3. Metode Optimasi dengan menggunakan *Sequential Quadratic Programming (SQP)*.

Bab III : Menguraikan teori dasar metode SQP dengan menggunakan perangkat lunak Matlab versi 6.15 guna mengatasi masalah devisiasi dan optimasi tegangan.

Bab IV : Analisa dan evaluasi hasil menggunakan metode *Sequential Quadratic Programming*.

Menguraikan program hasil perhitungan optimasi tegangan menggunakan metode SQP.

Bab V : Kesimpulan dan saran

Berisikan tentang kesimpulan dan saran dari hasil analisa yang diperoleh.

1.7. Kontribusi Penelitian

Adapun kontribusi dari penelitian ini adalah analisa kestabilan tegangan dengan menggunakan metode *Sequential Quadratic Programming* dapat menjadi salah satu metode alternatif yang digunakan oleh PT. PLN (Persero) dalam menganalisa sistemnya seperti kondisi tegangan dari tiap-tiap node serta dapat meningkatkan kualitas tegangan, yang pada akhirnya nanti bisa menambah keuntungan bagi PLN sebagai perusahaan penyedia energi listrik di Indonesia.

BAB II

SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK

2.1. Sistem Tenaga listrik^[1]

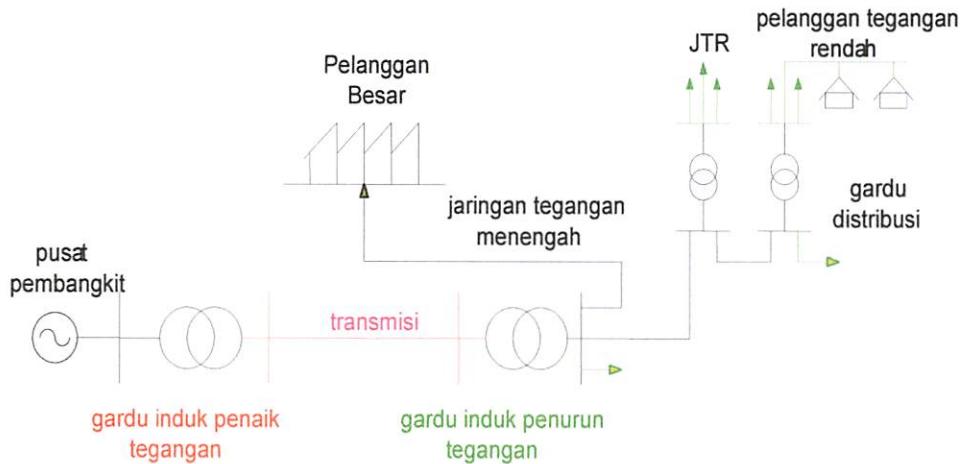
Sistem tenaga listrik merupakan suatu sistem yang terpadu dan terintegrasi yang terbentuk dari hubungan-hubungan peralatan dan komponen komponen listrik. Sistem tenaga listrik mempunyai peranan utama dalam menyalurkan energi listrik yang dibangkitkan oleh generator di pusat pembangkit untuk di salurkan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

Secara garis besar suatu sistem tenaga listrik dapat dikelompokkan menjadi 3 bagian sub sistem antara lain :

1. Sistem Pembangkitan : berperan sebagai sumber tenaga listrik dan biasa disebut juga sebagai produsen energi (*Power Plan*).
2. Sistem Transmisi atau Penyalur : berfungsi sebagai penyalur daya listrik dalam skala besar dari pusat pembangkit ke bagian sistem distribusi (*Power Transmitter*).
3. Sistem Distribusi dan Beban : berfungsi sebagai distributor energi ke konsumen.

2.2 Sistem Distribusi

Jaringan distribusi merupakan akhir dari saluran sistem tenaga listrik, peranannya mendistribusikan tenaga listrik dari Gardu Induk (GI) ke konsumen melalui Gardu Distribusi. Jaringan yang keluar dari GI biasanya disebut jaringan distribusi.



Gambar 2-1
Skema Penyaluran Sistem Tenaga Listrik^[1]

Dalam pendistribusian tenaga listrik ke pelanggan, tegangan yang disalurkan berbeda – beda tergantung dari besar tegangan yang dibutuhkan konsumen. Untuk konsumen industri biasanya digunakan tegangan menengah 20 kV dengan prioritas diberikan saluran khusus. Sedangkan untuk konsumen perumahan digunakan tegangan rendah 220/380 Volt.

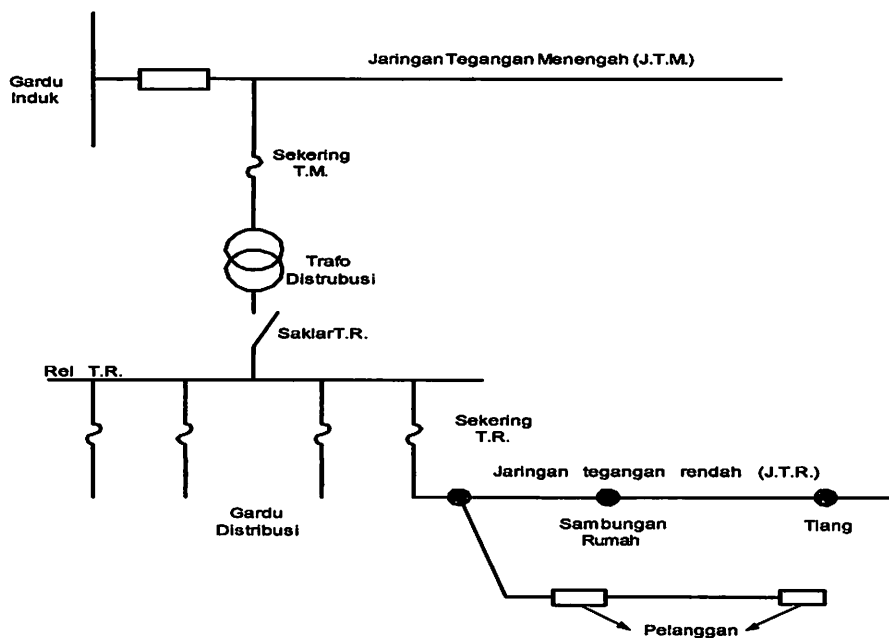
Dengan demikian sistem distribusi tenaga listrik dapat diklasifikasikan menjadi dua bagian sistem yaitu :

a. Sistem Distribusi Primer

Suatu bagian dari sistem distribusi yang terletak diantara sisi sekunder trafo Gardu Induk sampai sisi primer trafo distribusi dengan tingkat tegangan menengah yaitu 20 kV, dan biasa disebut Jaringan Tegangan Menengah (JTM). Selain itu ada pula yang khusus diperuntukkan bagi daerah-daerah tertentu seperti daerah industri dan layanan publik yang vital, misalkan rumah sakit, gedung kepresidenan, instalasi militer, dll.

b. Sistem Distribusi Sekunder

Sistem distribusi sekunder merupakan bagian yang mendistribusikan tenaga listrik secara langsung ke konsumen dengan tegangan rendah 110/170 Volt atau 220/380 Volt dan biasa disebut Jaringan Tegangan Rendah (JTR). Sistem jaringan ini biasanya digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik satu fasa dengan menggunakan dua kawat, sedangkan tiga fasa dengan menggunakan empat kawat.



Gambar 2-2
Jaringan distribusi Tegangan Menengah (JTM), Jaringan Tegangan Rendah (JTR) dan Sambungan ke Pelanggan^[5]

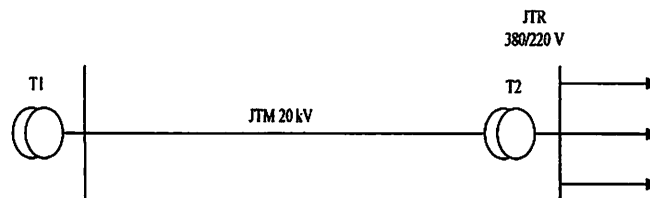
2.3 Pola Dasar Struktur Jaringan Tegangan Menengah

Secara umum dapat dikatakan ada tiga struktur jaringan yang umum digunakan untuk menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik yaitu:

1. Sistem distribusi primer Tipe *Radial*.
2. Sistem distribusi primer Tipe *loop*.
3. Sistem distribusi primer Tipe *mesh/grid*.

2.3.1. Sistem Jaringan Distribusi Radial

Bentuk jaringan ini merupakan bentuk dasar yang paling sederhana dan paling banyak digunakan. Sistem ini dikatakan radial karena kenyataannya di lapangan jaringan ini ditarik secara radial dari GI ke pusat-pusat beban konsumen yang dilayaninya. Pada struktur jaringan ini tidak ada alternatif pasokan tenaga listrik, karena itu tingkat keandalannya relatif rendah.

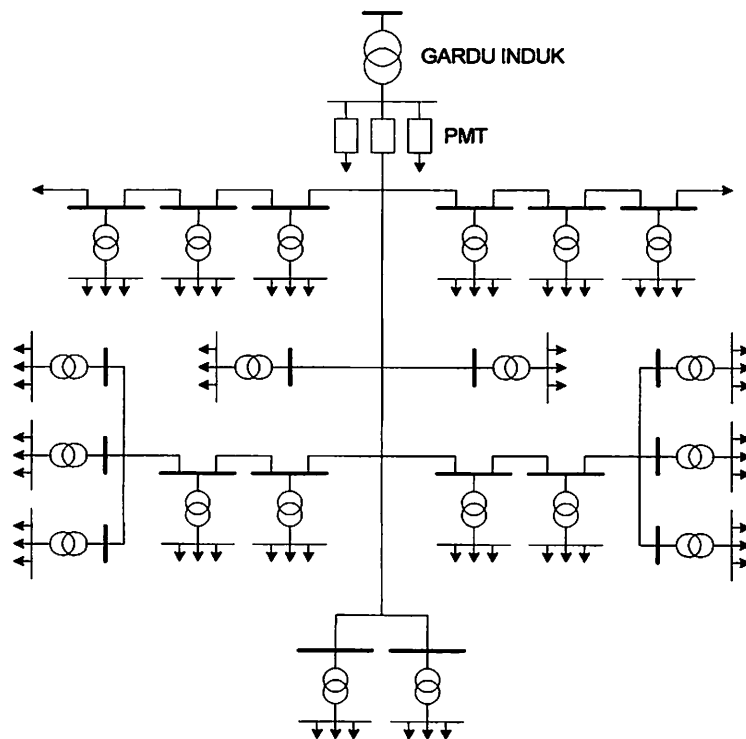


Gambar 2-3
Bentuk sederhana dari sistem distribusi Radial^[1]

Pengaturan tegangan listrik dapat dilakukan untuk kelangsungan suplai tegangan listrik ke pelanggan. Sistem jaringan radial ganda sebagai langkah dalam usaha meningkatkan keandalan jaringan, hal ini terutama bila rute dari sirkuitnya berlainan satu sama lain. Langkah lain untuk mempertinggi tingkat keandalannya dari struktur radial adalah dengan mengupayakan pasokan daya tidak hanya dari satu arah, walaupun pada pengoperasiannya dilaksanakan secara radial.

Bentuk yang paling umum digunakan pada sistem distribusi radial adalah seperti pada gambar 2-4 dibawah ini. Dapat dilihat bahwa sebuah penyulang memasok sejumlah gardu distribusi. Jika terjadi gangguan pada jaringan tegangan menengah, maka pemutus beban yang ada di gardu induk akan terbuka, hal ini

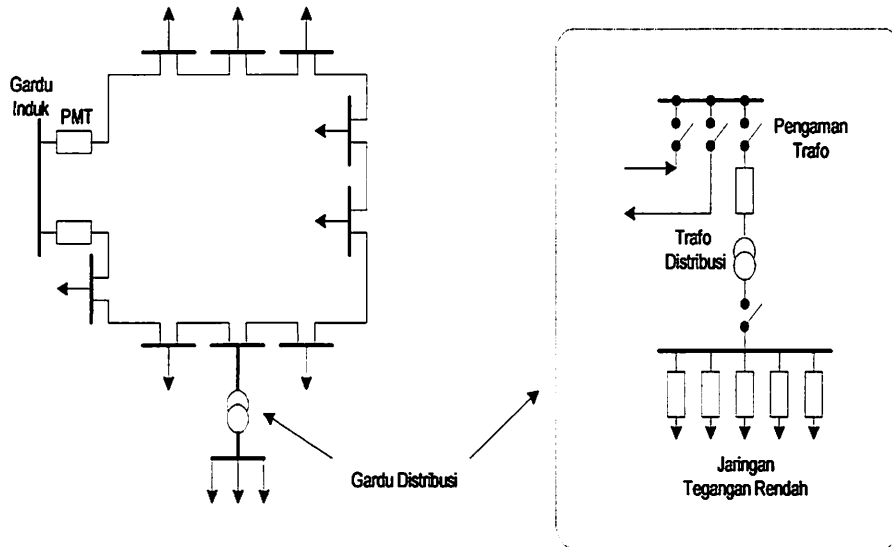
menyebabkan semua gardu distribusinya akan mengalami pemadaman, maka pada penyulang dipasang peralatan pemisah seperti pelebur.



Gambar 2-4
Bagan jaringan Tegangan Menengah Sistem Distribusi Radial^[1]

2.3.2. Sistem Jaringan Distribusi *Loop / Ring*.

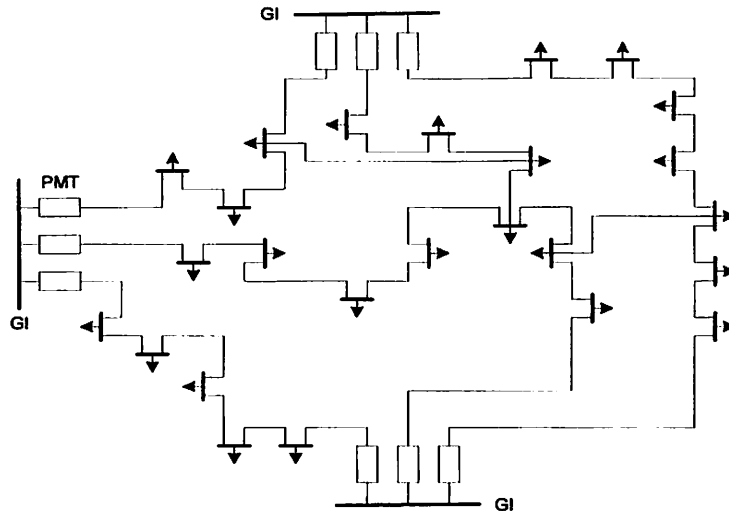
Sistem ini disebut jaringan distribusi loop karena pada saluran primer yang menyalurkan daya sepanjang daerah beban yang dilayani, membentuk suatu rangkaian loop / Ring.



Gambar 2-5
Jaringan Tegangan Menengah struktur Loop yang dipasok dari satu sumber^[1]

2.3.3. Sistem Jaringan Distribusi Mesh / grid

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



Gambar 2-6
Jaringan Tegangan Menengah Struktur Mesh ^[1]

2.3.4. Analisa Aliran Daya Jaringan^[2]

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

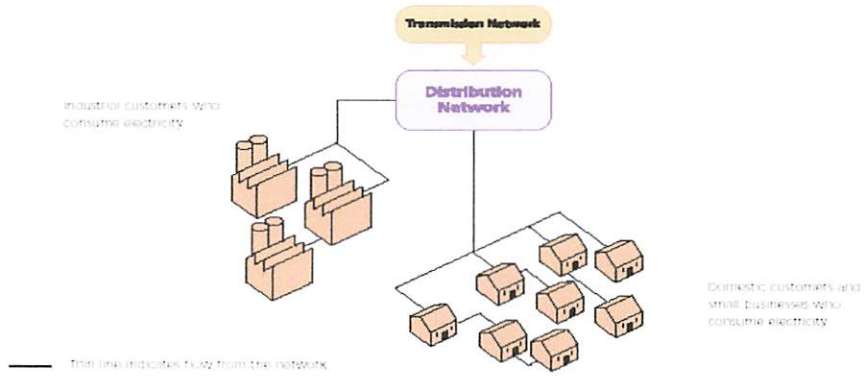
Tujuan dari analisa daya adalah:

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 aktif dan daya reaktif pada setiap saluran.

2.3.5. Sistem *Distributed Generation* (DG)

Distributed Generation terkadang juga sering disebut sebagai pembangkit tempel, adalah pembangkit energi listrik yang terhubung dengan jaringan distribusi dimana tegangannya sedikit lebih rendah dari tegangan jaringan transmisi. Secara khusus ini adalah pembangkit yang lebih kecil seperti sebuah pembangkitan terbaru, termasuk kincir air, kincir angin, sel surya, dan kombinasi yang lebih kecil dari pembangkit panas dan tenaga. Pengembangan pembangkit distribusi ini mempunyai suatu arti yang penting untuk bermain dalam pertemuan pemerintah sebagai target lingkungan jangka panjang. Ini berarti dapat dihubungkan dengan keadaan yang ramah lingkungan dan dapat dipakai dalam jangka waktu yang panjang. Hari ini jaringan distribusi telah dibangun untuk mengirim daya dari jaringan transmisi nasional kepada konsumen terakhir. Bagaimanapun juga, *Distributed Generation* membutuhkan jaringan distribusi lebih sehingga memungkinkan bagi listrik mengalir pada dua arah untuk pelanggan (konsumsi rumah tangga atau bisnis) dan untuk jaringan, sehingga pelanggan juga dapat mengirim kapasitas pembangkitan yang berlebihan. Ini mempunyai arti bahwa pelanggan selain memakai daya listrik, juga dapat mengirim daya listrik yang berlebihan ke dalam jaringan distribusi. Namun dibawah pengaturan arus, generator dapat terbaru yang kecil ini sudah dapat ditemukan, tetapi sulit dan mahal untuk dihubungkan ke jaringan distribusi^[15], pernyataan tersebut dapat di lihat pada gambar berikut :

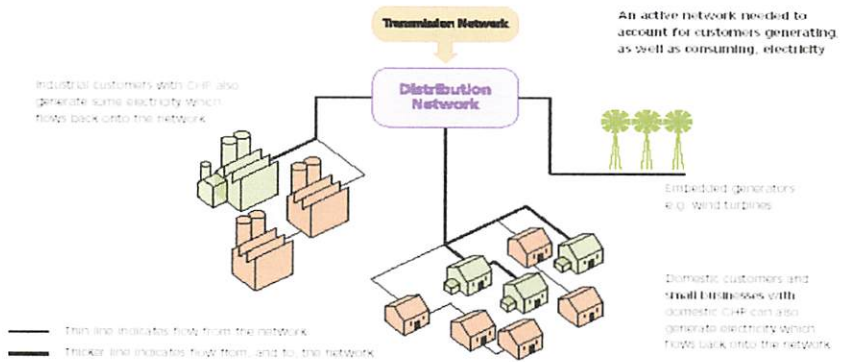
Distribution network – conventional



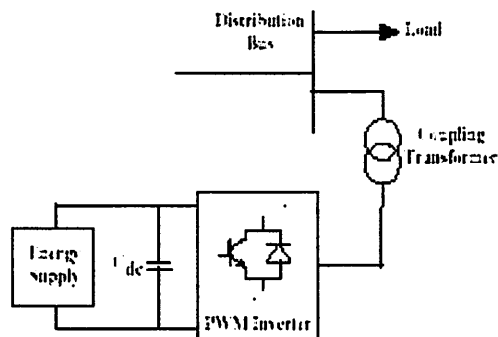
Gambar 2-7
Jaringan Distribusi Konvensional^[15]

Untuk Gambar di bawah merupakan pengembangan dari peralatan DG :

Distribution network – with distributed generation



Gambar 2-8
Jaringan Distribusi Dengan Distributed Generation^[15]



Gambar 2-9
Skema Single Line Peralatan Distributed Generation [6]

2.3.6. Metode *Sequential Quadratic Programming*

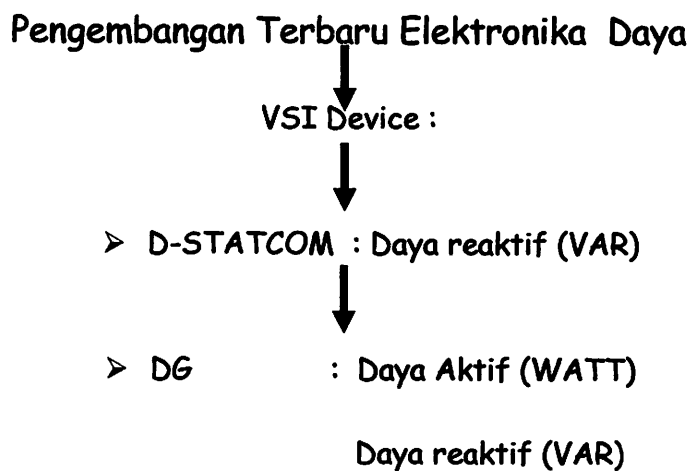
Sequential Quadratic Programming adalah suatu metode optimasi yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan dalam jaringan distribusi dengan memasukkan persamaan-persamaan yang terdapat dalam Matlab Optimization Toolbox ke dalam sistem persamaan Algoritma. *Sequential Quadratic Programming (SQP)* adalah suatu generasi metode Newton's untuk optimasi tak terbatas, bahwa telah menemukan suatu langkah menjauh dari titik arus dengan memperkecil suatu permasalahan model Kuadratik. Dalam format yang paling murninya, algoritma SQP menggantikan fungsi obyektif dengan perkiraan kuadrat. Walaupun pendekatan pertama dapat mendorong kearah perkiraan yang lebih akurat, kebanyakan menggunakan kode pendekatan yang kedua. Pemusatan properties pada dasar metode SQP dapat ditingkatkan dengan penggunaan pencarian diagram satu garis (*Single Line*).

2.3.7. Prinsip Kerja dan Klasifikasi Peralatan VSI (*Voltage Source Inverter*)

Pada sistem VSI terdapat beberapa peralatan, salah satu diantaranya adalah D-STATCOM (*Distribution Static Compensator*) dan DG (*Distribution*

Generation). Secara umum prinsip kerja peralatan VSI digunakan untuk mengatur tegangan bus distribusi yang terhubung dengannya. Untuk D-STATCOM ini akan dicapai dengan mengontrol daya reaktif yang dibangkitkan atau yang diserap oleh peralatan tersebut. Dalam keadaan tunak operasi D-STATCOM adalah analog dengan suatu mesin sinkron. Oleh sebab itu, D-STATCOM memakai model sebuah bus PV pada studi aliran beban. Daya nyata yang diinjeksikan oleh D-STATCOM adalah sama dengan nol (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). Sedangkan DG dengan alat penghubung Grid Aktif dapat menginjeksikan daya aktif (Watt) dan daya reaktif (VAR).

Secara garis besar peralatan VSI dapat di jelaskan dengan skema berikut ini:



Gambar 2-10
Skema Peralatan-peralatan VSI Beserta Satuannya.

Dimana untuk 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 ($Q_{inj} > S_{rat}$). Sedangkan Untuk Distributed Generation diklarifikasikan menjadi dua macam, untuk DG1 di perlakukan sebagai bus PQ jika P_{inj} adalah Konstan, dan $Q_{inj} = 0$. Untuk DG2 berfungsi sebagai bus PV jika permintaan daya kurang dari konverter rating ($S_{inj} < S_{rat}$) dan sebagai bus PQ jika permintaan daya melebihi dari konverter rating ($S_{inj} > S_{rat}$).

Pernyataan umum untuk daya aktif dan reaktif yang nyata pada suatu beban untuk model-model beban adalah sebagai berikut :

$$S_i = P_i + jQ_i = \vec{V} \vec{J}_i^* = \vec{V} \sum_{j=1}^n (\vec{V}_j \vec{Y}_{ij})^* \quad i=1,2,3,\dots,n \quad (2-1)$$

$$P_i = V_i \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \cos(\delta_i - \theta_{ij} - \delta_j) \quad (2-2)$$

$$Q_i = V_i \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \sin(\delta_i - \theta_{ij} - \delta_j) \quad (2-3)$$

Dimana:

S_i = Daya Kompleks yang di Injeksikan ke dalam bus ke-i.

\vec{J}_i = Arus yang di Injeksikan ke dalam bus ke-i.

\vec{V}_i = $V_i \angle \delta_i$ - Tegangan pada bus ke-i.

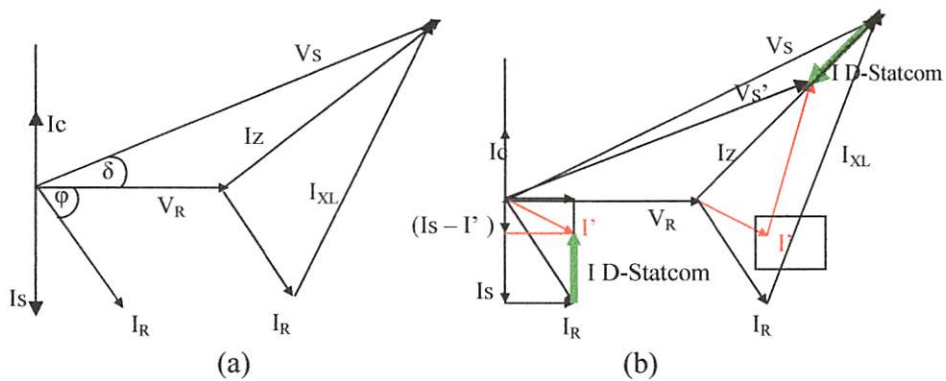
\vec{Y}_{ij} = $Y_{ij} \angle \theta_{ij}$ - ke-ij Komponen Sistem Admitansi Matriks.

Sedangkan ntuk devisiasi tegangan pada bus ke-i di definisikan sebagai berikut:

$$V_{dev,i} = |V_{nom} - V_i| \quad (2-4)$$

Bagaimanapun juga suatu sasaran kedua untuk meminimalisasi biaya modal harus juga dipertimbangkan. Hal ini diasumsikan bahwa biaya modal adalah sebanding dengan kapasitas yang diperlukan peralatan-peralatan VSI diberikan oleh persamaan berikut:

$$S_{conv} = \sqrt{P_{inj}^2 + Q_{inj}^2} \quad (2-5)$$



Gambar 2-11
Vektor Diagram Sebelum (a) dan Sesudah (b) Pemasangan
D-STATCOM Pada Jaringan

Pada dasarnya prinsip kerja D-STATCOM sama dengan prinsip kerja Kapasitor. Kedua alat kompensasi tersebut hanya menginjeksikan daya reaktif ke dalam jaringan distribusi yang tujuannya adalah memperbaiki profil tegangan. Namun disini ada perbedaan tentang fungsi kinerja kedua peralatan. Kapasitor adalah kompensator yang hanya menyerap daya reaktif dalam jaringan distribusi sehingga dapat mengatasi jatuh tegangan dan meningkatkan profil tegangan, namun kapasitor tidak dapat menurunkan tegangan apabila terjadi kenaikan tegangan secara drastis. Disinilah perbedaan prinsip kerja D-STATCOM dengan kapasitor. D-STATCOM dengan karakteristiknya, selain dapat menyerap daya

reaktif juga dapat membangkitkan daya reaktif. Pada saat D-STATCOM diberlakukan sebagai PV Bus, dia menyerap daya reaktif dalam jaringan yang konsekuensinya tegangan akan mengalami kenaikan. Namun jika pada saat tegangan naik melampaui kapasitas rating D-STATCOM yang disebabkan oleh karakteristik pembebanan, maka pada saat itu diberlakukan sebagai PQ Bus, artinya dia akan membangkitkan daya reaktif ke dalam jaringan yang pengaruhnya tegangan akan mengalami penurunan.

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 $\text{Cos } \theta$. Dengan dipasangnya alat kompensasi dalam jaringan distribusi seperti kapasitor dan D-STATCOM ini, sudut simpangan ($\text{Cos } \theta$) yang dibentuk sedapat mungkin diperbesar dengan mendekati nilai 1, karena kita tahu bahwa nilai $\text{cos } \theta$ semakin mendekati nilai satu kualitas daya listriknya akan semakin baik.

Peningkatan atau penurunan tegangan ΔU dalam kaitannya dengan daya masukan dan daya keluaran dapat di dekati oleh^[10,11,12] :

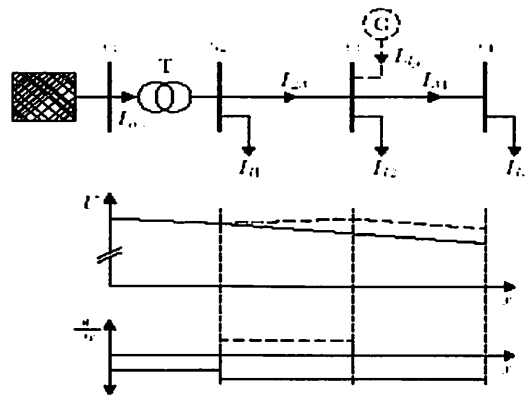
$$\Delta U = \frac{P_{dg} R_{th} + Q_{dg} X_{th}}{U_n} \quad (2-6)$$

Dimana : ΔU : Perubahan (peningkatan / jatuh) tegangan.

U_n : Tegangan nominal dari sistem.

$R_{th} + jX_{th}$: Impedansi Saluran.

$P_{dg} + jQ_{dg}$: Daya yang di injeksikan DG.



Gambar 2-12
Profil dan gradien tegangan pada suatu feeder distribusi
dengan atau tanpa Alat Kompensasi (Generator G)

Saluran utuh: $I_{dg}=0$, $I_{dg} > I_{12} + I_{13}$, Aliran daya balik diantara b2 dan b3.

dimana : I_{mv} : Arus dari jaringan transmisi.

I_{dg} : arus dari alat kompensasi (Generator).

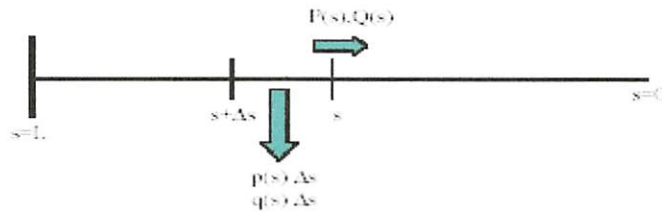
Gambar 2-12 diatas menunjukkan gradien tegangan sepanjang feeder distribusi dengan atau tanpa di sertai pembangkitan. Pada kondisi seperti ini arah aliran daya antara bus b2 dan b3 diubah ke dalam saluran pada bus b3, khususnya dalam kondisi beban yang tinggi atau jaringan yang lemah. Pada saat pembangkitan di lepas juga dapat mempengaruhi profil tegangan. Untuk mengontrol tegangan disini diusulkan dengan menginjeksikan daya reaktif bersama dengan daya aktif. Daya reaktif di kontrol secara terpisah dengan daya aktif, dan tergantung dengan tegangan yang terdapat dalam saluran dekat Inverter PV :

$$q(s) = \alpha (U(s) - U_0) \quad (2-7)$$

Dimana nilai α tergantung dari rating unit generator. Ketika tegangan melebihi dari suatu nilai referensi U_0 , Inverter memakai daya reaktif seperti untuk

menurunkan tegangan. Dengan cara yang lain, suatu terminal tegangan dibawah tegangan referensi mengatur untuk menginjeksikan daya reaktif. Algoritma kontrol ini tidak hanya untuk mereduksi (menurunkan) tegangan lebih selama beban rendah, tapi ini juga membatasi resiko tegangan rendah selama dalam kondisi beban tinggi.

Dengan mempertimbangkan suatu saluran tegangan rendah dengan beban distribusi, seperti yang di tunjukkan oleh gambar di bawah ini :



Gambar 2-13
Saluran dengan beban distribusi^[13]

Kepadatan beban aktif dan reaktif (Kapasitif dan Induktif) pada beberapa lokasi s sepanjang saluran di notasikan dengan $p(s)$ dan $q(s)$ berturut-turut. Sedangkan daya aktif dan daya reaktif pada lokasi s di notasikan dengan $P(s)$ dan $Q(s)$ berturut-turut. Daya terakhir ini menentukan arus dan jatuh tegangan.

Dari gambar 3.7. diatas terdapat tiga persamaan yang berbeda, antara lain sebagai berikut :

$$P(s+\Delta s) = P(s) + p(s)\Delta s \quad (2-8)$$

$$Q(s+\Delta s) = Q(s) + q(s)\Delta s \quad (2-9)$$

$$U(s+\Delta s) = U(s) + rP(s)\Delta s + xQ(s)\Delta s \quad (2-10)$$

Dimana $r + jx$ adalah impedansi saluran per unit panjang, dan semua jumlah di berikan dalam satuan per unit (pu).

Dengan mengambil batasan transisi $\Delta s \rightarrow 0$ pada persamaan (2-8) sampai dengan (2-10) diberikan tiga persamaan differensial :

$$\frac{dP}{ds} = p(s) \quad (2-11)$$

$$\frac{dQ}{ds} = q(s) \quad (2-12)$$

$$\frac{dU}{ds} = rP(s) + xQ(s) \quad (2-13)$$

Dengan membedakan (2-13) dan memasukkan (2-11) dan (2-12) hasil dari suatu persamaan differensial urutan kedua :

$$\frac{d^2U}{ds^2} = rp(s) + xq(s) \quad (2-14)$$

Dengan batasan syarat :

$$\frac{dU}{ds} = 0 \text{ untuk } s = 0 \quad (2-15)$$

$$U(L) = U_0 \quad (2-16)$$

Pemakaian daya aktif dan daya reaktif sepanjang saluran dalam kasus DG ini memakai algoritma pengaturan tegangan :

$$P(s) = -p \quad (2-17)$$

$$Q(s) = \alpha (U(s) - U_0) \quad (2-18)$$

Dengan memasukkan persamaan ini ke dalam persamaan differensial urutan kedua (14) hasilnya adalah sebagai berikut :

$$\frac{d^2U}{ds^2} - \alpha x U(s) = -rP - \alpha x U_0 \quad (2-19)$$

Ini adalah suatu persamaan differensial linier dengan solusi tertentu :

$$U(s) = U_o + \frac{rP}{\alpha x} \quad (2-20)$$

Dan solusi homogen :

$$U(s) = A_1 e^{s\sqrt{\alpha x}} + A_2 e^{-s\sqrt{\alpha x}} \quad (2-21)$$

Dimana A_1 dan A_2 adalah pengintegrasian tetap yang di peroleh dari kondisi batasan persamaan (15) dan (16) :

$$A_1 = A_2 = - \frac{rP}{2\alpha x \cosh(L\sqrt{\alpha x})} \quad (2-22)$$

Dengan mengkombinasikan pers (2-20) dengan pers (2-22) di dapatkan suatu persamaan sederhana untuk profil tegangan sepanjang saluran :

$$U(s) = U_o + \frac{rP}{\alpha x} \left\{ 1 - \frac{\cosh(s\sqrt{\alpha x})}{\cosh(L\sqrt{\alpha x})} \right\} \quad (2-23)$$

Dengan mengetahui bahwa $0 < s < L$ ini adalah mudah untuk menyimpulkan dari pers (2-23), bahwa dengan mengikuti pertidaksamaan untuk tegangan pada titik manapun pada saluran :

$$U_o < U(s) < U_o + \frac{rP}{\alpha x} \quad (2-24)$$

Dengan kata lain : kenaikan tegangan maksimum di berbagai tempat sepanjang saluran adalah :

$$\Delta U_{max} = \frac{rP}{\alpha x} \quad (2-25)$$

Metode pengaturan tegangan membutuhkan suatu rating arus inverter yang lebih tinggi. Dengan mengkombinasikan persamaan untuk tegangan sepanjang saluran (pers.2-23) dengan algoritma untuk menentukan daya reaktif (pers.2-7) yang diserap oleh PV-Inverter sebagai suatu fungsi dari lokasi sepanjang saluran :

$$q(s) = \frac{rP}{x} \left\{ 1 - \frac{\cosh(s\sqrt{\alpha x})}{\cosh(L\sqrt{\alpha x})} \right\} \quad (2-26)$$

Konsumsi daya reaktif maksimum adalah independent dari nilai α :

$$q_{max} = \frac{rP}{x} \quad (2-27)$$

Sedangkan power faktor maksimum hanya ditentukan oleh ratio R/X dari impedansi saluran. Arus maksimumnya adalah :

$$I_{max} = P \sqrt{1 + \left(\frac{r}{x}\right)^2} \quad (2-28)$$

Faktor kedua dari pers (2-28) diberikan untuk meningkatkan rating arus dalam kaitannya untuk pengaturan. Sebuah saluran dengan suatu resistansi yang lebih tinggi akan memberikan arus inverter yang lebih tinggi pula, karena daya reaktif lebih banyak dibutuhkan untuk mengganti kerugian selama kenaikan tegangan dalam kaitannya dengan injeksi daya aktif.

Sedangkan untuk kerugian tegangan yang disebabkan arus beban I_L sebelum pemasangan peralatan adalah :

$$\delta V = I_R R + I_X X_L \quad (2-29)$$

2.4. Konstruksi Jaringan Distribusi.

Jaringan distribusi primer mendapat suplai daya dari gardu induk. Cara penyaluran tenaga listrik pada distribusi primer dapat berupa saluran udara dan saluran bawah tanah tergantung pada sejumlah faktor yang mendukung.

2.4.1. Sistem Saluran Udara (*Over Head Line*)

Saluran udara berfungsi menyalurkan daya listrik melalui kawat penghantar yang dipasang pada tiang listrik. Arus maksimum yang direncanakan

untuk suatu beban bagi setiap saluran udara tidak menimbulkan pemanasan.

Beberapa keuntungan saluran udara :

- Lebih praktis dan mudah dalam pengerjaannya.
- Investasi pembangunan saluran udara jauh lebih murah.
- Sangat fleksibel terhadap perubahan beban dan jaring-jaring.
- Bila terjadi gangguan, pencariannya mudah karena semuanya terlihat secara langsung .

2.4.2. Sistem Saluran Bawah Tanah (*Under ground Line*).

Di kota-kota besar pendistribusian tenaga listrik dengan menggunakan sistem saluran udara jarang digunakan dengan alasan keamanan dan estetika. Saluran distribusi dengan menggunakan kabel bawah tanah mempunyai beberapa keuntungan dibandingkan dengan sistem distribusi saluran udara antara lain :

- Sistem kabel bawah tanah tidak dipengaruhi oleh cuaca seperti hujan, badai, pohon, salju dan sebagainya. Pada saluran udara dipengaruhi oleh kondisi-kondisi diatas yang dapat berakibat terputusnya pelayanan tenaga listrik.
- Kabel bawah tanah tidak terganggu oleh tumbangnya pohon atau obyek lain yang berakibat terputusnya konduktor karena benda yang jatuh diatasnya, begitu juga dengan petir. Sebaliknya gangguan tersebut dapat terjadi pada saluran udara.
- Pada daerah dengan kepadatan yang sangat tinggi, saluran udara kurang aman dan sangat potensial untuk mengakibatkan kecelakaan.

- Berkaitan dengan biaya, karena kemungkinan gangguan pada sistem kabel bawah tanah kecil, maka biaya perawatannya juga kecil, sebaliknya biaya perawatan untuk saluran udara besar karena kemungkinan gangguan besar.

Kerugian dari penggunaan kabel bawah tanah :

- Biaya untuk pengerjaan kabel bawah tanah adalah 2x sampai dengan 4 x lebih besar jika dibandingkan dengan biaya pengerjaan sistem saluran udara.
- Walaupun jarang terjadi gangguan pada sistem kabel bawah tanah, namun saat terjadi gangguan akan lebih sulit untuk menentukan lokasi dan perbaikannya.

2.5. Klasifikasi Bus

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

- Daya nyata, dinyatakan dengan P satuannya Megawatt (MW).
- Daya reaktif, dinyatakan dengan Q satuannya Mega Volt Ampere Reaktif (VAR).
- Besar (magnitude) tegangan mempunyai simbol $|V|$ dengan satuan kiloVolt (kV).
- Sudut fasa tegangan mempunyai simbol δ dengan satuan radian .

Dalam analisis 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 tiga yaitu :

- a) Slack Bus (bus referensi)
- b) Generator Bus (bus generator)
- c) Load Bus (bus beban)

2.5.1. 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.

2.5.2. 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.

2.5.3. 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 nilainya.

2.6. Tegangan Sistem dan Faktor Daya

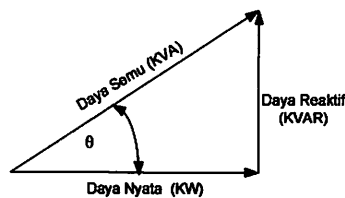
Naik turunnya nilai tegangan dalam jaringan tenaga listrik sulit untuk dihindari karena hal ini terkait dengan besar kecilnya beban terjadi pada konsumen. Tegangan akan mengalami drop apabila nilai beban lebih besar dari

daya yang telah terpasang. Namun dalam kenyataannya tegangan yang terlalu tinggi dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan konsumen, tetapi jika terlalu rendah akan menyebabkan peralatan tidak dapat bekerja dengan baik. Untuk itu perlu adanya batasan tegangan terendah dan tertinggi yang harus diperbolehkan dalam sistem tenaga listrik. Dalam SPLN No.1 thn 1978 di tetapkan variasi tegangan yang diizinkan, yaitu -10 % sampai +5 % dari tegangan nominal atau sekitar 0,95 sampai dengan 1,05 pu.

Segitiga Daya

Faktor daya adalah suatu besaran yang dapat dinyatakan sebagai perbandingan antara daya aktif dan daya semu, sehingga dapat dirumuskan pada persamaan berikut :

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} = \frac{KW}{KVA}$$



Gambar 2-14
Segitiga Daya ^[1]

Faktor daya ($\cos \varphi$) akan mendahului (leading) apabila arus mendahului tegangan dan akan tertinggal (lagging) bila arus terbelakang terhadap tegangan. Dengan diketahui besarnya faktor daya yang terjadi atau $\cos \varphi$, maka berdasarkan gambar diatas dapat ditentukan nilai masing - masing daya yaitu sebagai berikut :

- Daya semu : $S = P + jQ$, dengan satuan KVA
 Daya nyata : $P = S \cos \theta$, dengan satuan KW
 Daya reaktif : $Q = S \sin \theta$, dengan satuan KVAR.

2.7. Daya Sistem Distribusi

2.7.1. Daya Nyata (*Real Power*)

Daya nyata dinyatakan dalam persamaan :

$$P = |V| |I| \cos \varphi \quad (2-30)$$

Daya nyata untuk beban tiga fasa seimbang :

$$P = \sqrt{3} |V_{jala\ jala}| |I_{jala\ jala}| \cos \varphi \quad (2-31)$$

2.7.2. Daya Reaktif (*Reaktif Power*)

Daya reaktif dinyatakan dalam persamaan :

$$Q = |V| |I| \sin \varphi \quad (2-32)$$

Daya reaktif untuk beban 3 fasa seimbang :

$$Q = \sqrt{3} |V_{jala\ jala}| |I_{jala\ jala}| \sin \varphi \quad (2-33)$$

2.7.3. Daya Kompleks (*Complex Power*)

Daya kompleks dinyatakan dalam persamaan:

$$S = |V| |I| \quad (2-34)$$

Daya kompleks untuk beban 3 fasa seimbang :

$$S = \sqrt{3} |V_{jala\ jala}| |I_{jala\ jala}| \quad (2-35)$$

Apabila fasor tegangan dan arus diketahui, untuk perhitungan daya nyata dan daya reaktif akan lebih mudah dalam bentuk kompleks. Apabila tegangan dan daya reaktif akan lebih mudah dalam bentuk kompleks. Apabila tegangan diantara kutub-kutub beban dan arus yang mengalir dalam beban dinyatakan

- Daya semu : $S = P + jQ$, dengan satuan KVA
 Daya nyata : $P = S \cos \theta$, dengan satuan KW
 Daya reaktif : $Q = S \sin \theta$, dengan satuan KVAR.

2.7. Daya Sistem Distribusi

2.7.1. Daya Nyata (*Real Power*)

Daya nyata dinyatakan dalam persamaan :

$$P = |V| |I| \cos \varphi \quad (2-30)$$

Daya nyata untuk beban tiga fasa seimbang :

$$P = \sqrt{3} |V_{jala\ jala}| |I_{jala\ jala}| \cos \varphi \quad (2-31)$$

2.7.2. Daya Reaktif (*Reaktif Power*)

Daya reaktif dinyatakan dalam persamaan :

$$P = |V| |I| \sin \varphi \quad (2-32)$$

Daya reaktif untuk beban 3 fasa seimbang :

$$P = \sqrt{3} |V_{jala\ jala}| |I_{jala\ jala}| \sin \varphi \quad (2-33)$$

2.7.3. Daya Kompleks (*Complex Power*)

Daya kompleks dinyatakan dalam persamaan:

$$S = |V| |I| \quad (2-34)$$

Daya kompleks untuk beban 3 fasa seimbang :

$$S = \sqrt{3} |V_{jala\ jala}| |I_{jala\ jala}| \quad (2-35)$$

Apabila fasor tegangan dan arus diketahui, untuk perhitungan daya nyata dan daya reaktif akan lebih mudah dalam bentuk kompleks. Apabila tegangan dan daya reaktif akan lebih mudah dalam bentuk kompleks. Apabila tegangan diantara kutub-kutub beban dan arus yang mengalir dalam beban dinyatakan

dengan $V = |V| < \alpha$ dan $I = |I| < \beta$ maka hasil kali tegangan dengan konjugate arus adalah :

$$VI^* = |V| < \alpha \cdot |I| < -\beta \quad (2-36)$$

$$VI^* = |V| |I| < (\alpha - \beta) \quad (2-37)$$

Merupakan besarnya daya kompleks dan ditandai dengan S. Dalam non polar dinyatakan sebagai :

$$S = |V| |I| \cos (\alpha - \beta) + j|V| |I| \sin (\alpha - \beta) \quad (2-38)$$

Karena $\alpha - \beta$ merupakan sudut fasa antara tegangan dan arus, atau lebih mudah dikatakan θ , maka sesuai dengan persamaan sebelumnya :

$$S = P + jQ \quad (2-39)$$

Daya reaktif Q bernilai positif apabila sudut $\alpha - \beta$ antara tegangan dan arus positif yaitu bila $\alpha > \beta$ yang berarti arus tertinggal dari tegangan. Sebaliknya daya reaktif Q akan bernilai negatif apabila $\alpha < \beta$ yang menunjukkan arus mendahului tegangan. Hal ini sesuai dengan penilian tanda positif untuk daya reaktif suatu rangkaian induktif dan tanda negatif untuk daya reaktif rangkaian kapasitif. Untuk mendapatkan tanda yang sesuai bagi Q perlu menghitung $S = VI^*$ dan bukan $S = V^* I$ yang akan membalik tanda Q.

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 rugi 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 :

$$[p] = [R] [|I|^2] \quad (2-40)$$

$$[q] = [X] [|I|^2] \quad (2-41)$$

2.9. Sistem Per-unit

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

$$\text{Besaran per-unit} = \frac{\text{Besaran sebenarnya}}{\text{Besaran dasar dengan dimensi yang sama}} \quad (2-42)$$

$$I_d = \frac{KVA \text{ Dasar } 1 \text{ Fasa}}{KVA \text{ Dasar }_{L-N}} \quad (2-43)$$

$$Z_d = \frac{(KVA \text{ Dasar }_{L-N})^2 \times 1000}{KVA \text{ Dasar } 1 \text{ Fasa}} \quad (2-44)$$

BAB III

OPTIMASI TEGANGAN DENGAN MENGGUNAKAN METODE SEQUENTIAL QUADRATIC PROGRAMMING

3.1. Algoritma *Sequential Quadratic Programming* (SQP) Dalam Penerapannya Pada Jaringan Distribusi Radial.

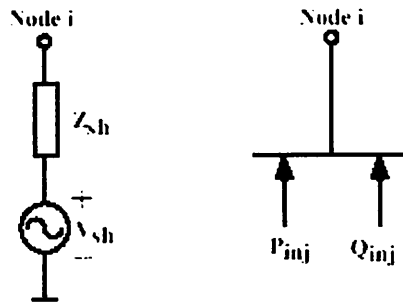
Algoritma optimasi yang dipakai dalam skripsi ini dimaksudkan dapat menjadi suatu alat perencanaan jaringan distribusi *secara off-Line*. Algoritma ini akan menghitung daya aktif dan daya reaktif yang dibutuhkan untuk mencapai suatu profil tegangan yang optimal sepanjang saluran pada lokasi injeksi dan kondisi-kondisi beban yang diberikan. Tujuan dari pengembangan algoritma optimasi disini adalah untuk menghitung parameter-parameter injeksi (P_{inj} dan Q_{inj}) untuk sembarang jumlah dari peralatan VSI yang terhubung shunt, yang dibutuhkan untuk mencapai suatu profil tegangan yang optimal sepanjang jaringan distribusi radial. VSI yang didalamnya terdapat D-STATCOM dan DG yang terhubung dengan Grid aktif bersumber pada tegangan DC. DG dengan alat penghubung aktif berbeda dari D-STATCOM mempunyai suatu sumber energi eksternal yang terhubung bus DC dengan peralatan konverter. Besar daya nyata yang diinjeksikan ke dalam Grid oleh konverter DG tergantung dari sistem pembangkitan, dan pada kasus ini banyak aplikasi energi terbaru hanya merupakan subyek variasi. Bagaimanapun, untuk analisis keadaan mantab umumnya diasumsikan menjadi suatu nilai yang konstan.

Dua Algoritma disini dipertimbangkan untuk injeksi daya reaktif dari suatu sistem DG. Kontrol pertama (DG1) daya diinjeksikan seperti suatu

pemeliharaan kesatuan faktor daya. Algoritma ini dapat dimodelkan pada keadaan mantab oleh suatu bus PQ , dimana $P_{inj} = \text{konstan}$ dan $Q_{inj} = 0$. Algoritma kedua (DG2) menggunakan daya reaktif untuk mengontrol tegangan AC, seperti D-STATCOM yang diuraikan diatas. Pada kasus ini model keadaan tunak dari sistem DG adalah suatu bus PV, sedangkan total permintaan daya, S_{inj} kurang dari rating konverter, S_{rat} dan sebuah bus PQ, jika permintaan daya melebihi dari rating konverter. Analisis aliran beban digunakan dari suatu algoritma pengulangan untuk menyelesaikan jaringan non-linier seperti yang ditunjukkan oleh persamaan (1), (2) dan (3) dibawah.

Dengan menggunakan inverter tegangan searah diubah menjadi tegangan bolak-balik yang kemudian diinjeksikan ke dalam jaringan distribusi. Untuk memperbesar tegangan dapat digunakan transformator step up sebagai penaik tegangan yang terhubung secara paralel dengan PWM Inverter dan reaktor sebagai pembatas tegangan. Sedangkan untuk standard tegangan yang boleh diterapkan adalah -10% sampai $+5\%$ dari tegangan nominal atau $0,95$ sampai dengan $1,05$ pu.

Analisa peralatan VSI (diantaranya D-STATCOM dan DG) adalah untuk menghitung parameter-parameter injeksi P_{inj} dan Q_{inj} untuk sembarang jumlah peralatan VSI terhubung shunt dan banyaknya bus, yang dibutuhkan untuk mencapai suatu profil tegangan yang optimal sepanjang jaringan distribusi radial.



Gambar 3-1
Model Steady State dari peralatan VSI
a) Model Tegangan Sumber b) Model PQ Injeksi^[6]

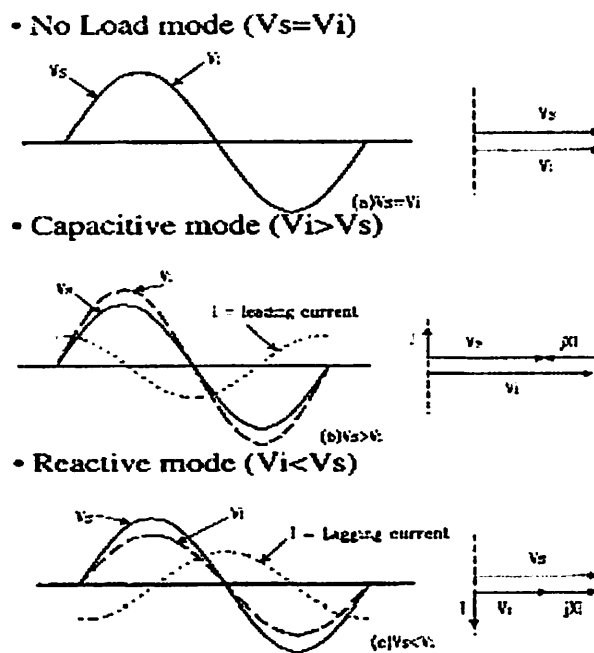
3.1.1. Metode Analisa Rangkaian D-STATCOM (*Distribution Static Compensator*)

Jaringan distribusi radial biasanya dirancang untuk aliran daya tak searah dari pusat pembangkit sampai ke beban. Dengan 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^[9]. Aliran daya balik dapat menjadi suatu permasalahan jika tidak di pertimbangkan dalam perencanaan sistem proteksi. Lebih dari itu, aliran daya balik dapat pula mengakibatkan suatu gradien tegangan balik di sepanjang saluran distribusi radial.

D-STATCOM 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^[3] :

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

Sistem daya distribusi dapat juga di modelkan sebagai suatu sumber tegangan. Dua tegangan sumber dihubungkan dengan suatu reaktor yang mewakili reaktansi bocor dari transformator. Fasa tegangan keluaran dari thyristor-yang berdasar pada inverter, V_i , adalah dikendalikan dengan cara yang sama sebagai tegangan sistem, V_s . Gambar 3.2 berikut menunjukkan prinsip kerja dari arus kaluaran D-STATCOM, yang bervariasi tergantung dari V_i :

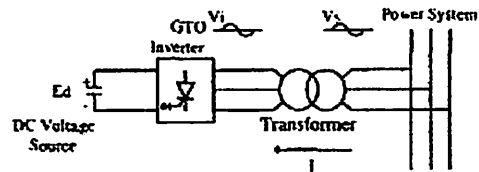


Gambar 3-2
Prinsip Kerja D-STATCOM^[14]

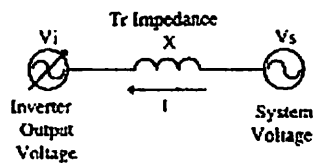
Pada gambar 3-2 diatas, jika V_i sama dengan V_s , maka tidak ada daya reaktif yang di kirim/diinjeksikan ke dalam system. Sedangkan jika V_i lebih besar dari V_s , sudut fasa I_i adalah mendahului sudut fasa dari V_s sebesar 90° . Seperti suatu aliran daya reaktif sebagai beban kapasitif dari D-STATCOM. Jika V_i lebih kecil dari V_s , sudut fasa I_i tertinggal oleh sudut fasa V_s sebesar 90° . Seperti suatu

aliran daya reaktif yang tertinggal sebagai beban Induktif D-STATCOM. Jumlah dari aliran daya reaktif adalah sebanding dengan perbedaan antara V_s dan V_i .

Konfigurasi dasar dari peralatan D-STATCOM dapat diperlihatkan dengan gambar di bawah ini :



(a) Basic Configuration of Compact D-STATCOM

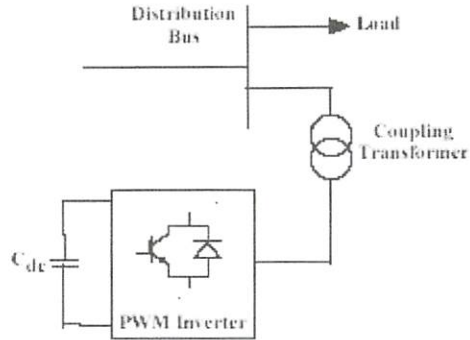


(b) Equivalent Circuit of Compact D-STATCOM

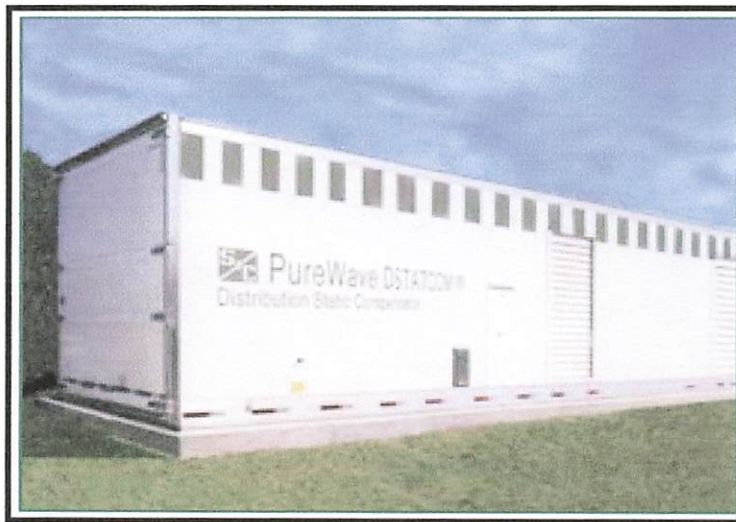
Gambar 3-3

- a) Konfigurasi dasar peralatan D-STATCOM**
- b) Sirkuit Ekuivalen D-STATCOM^[14]**

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



Gambar 3-4
Skema Single Line Peralatan D-STATCOM



Gambar 3-5
Gambar Fisik Peralatan D-STATCOM

Tabel 3-1
Data Spesifikasi Rating Peralatan D-STATCOM

Rated Capacity	± 75 MVAR in low and medium voltage version
Rated Metal-Enclosed Switchgear	4,16 – 34,5 kV
System Operational	Voltage Control and Power Factor Control Application
Switching Frequency	5 Pulse PWM Response time of 1/2 to 1 cycle or 2 to 4 milliseconds

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

3.1.2. Metode Analisa Rangkaian *Distributed Generation* (DG)

Pelepasan pembangkit selalu mengakibatkan dampak terhadap profil tegangan sepanjang saluran distribusi. Disamping hasil kualitas daya, keadaan ini juga dapat menyebabkan suatu pelanggaran batasan tegangan dan menimbulkan stress tegangan terhadap peralatan. Maka untuk mengatasi permasalahan tersebut dibangunlah suatu pembangkit yang kinerjanya dapat bekerja secara terus menerus tanpa harus melepas dan menghubungkan pembangkit dengan jaringan. Berikut ini akan di tampilkan sample rangkaian *Distributed Generation* (DG) tipe kincir angin (*Windmill*), dimana tenaga angin merupakan salah satu energi yang terbaru.

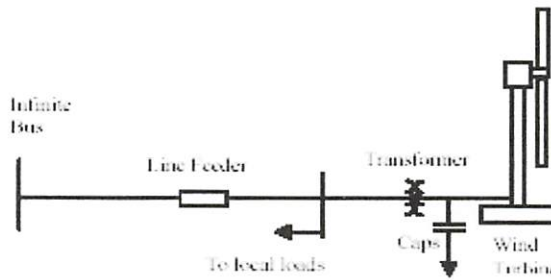
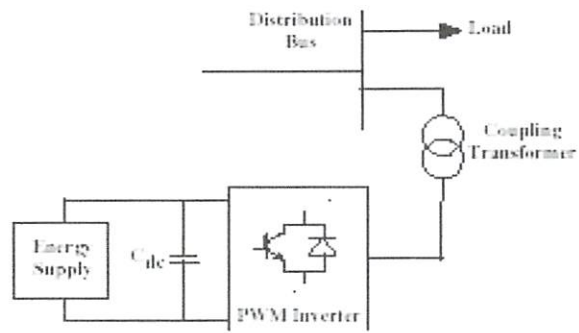


Figure 8. The physical diagram of the system under investigation.

Gambar 3-6
Skema Single Line Peralatan Distributed Generation



Gambar 3-7.1
Gambar Fisik Peralatan *Distributed Generation* (Kincir Angin) yang Terhubung dengan Switchgear Line-up



Gambar 3-7.2
Gambar Fisik Peralatan *Distributed Generation* (Kincir Angin)

Tabel 3-2
Data Spesifikasi Rating Peralatan DG^[1]

1. Rated Capacity	700-kW
2. Rated Switchgear Lineup	25-kV
3. Under/Over Voltage function :	
<i>Acceptable Upper Limit</i>	34,5-kV
<i>Acceptable Lower Limit</i>	4,16-kV
4. System Operational	Metal Enclosed Switchgear
5. Protection Modeled	Circuit Switcher

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

3.2. Data Saluran^[7]

Pada pembahasan skripsi ini data yang diambil adalah dari PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur Area Malang UP-J Batu untuk Penyulang Pujon, Gardu Induk Sengkaling Malang yang melayani 7 (Tujuh) buah penyulang dengan 2 (dua) buah trafo yang masing-masing 150/20 kV – 30 MVA dan 150/20 kV – 30 MVA. Untuk menyalurkan tenaga listrik dari GI Sengkaling ke pelanggan, pada penyulang Pujon digunakan saluran jenis udara, dengan spesifikasi jenis konduktor yang digunakan adalah seperti pada tabel dibawah ini:

**TABEL 3-3
DATA PENYULANG SISTEM 20 kV GI SENKALING**

Jenis Konduktor	Penampang Nominal (mm ²)	Impedansi Saluran (Ω /km)	GMR (mm)	Kapasitas Arus (Amp)
AAAC	35	0.9217 + j 0.3790	2,4227	180
AAAC	50	0.6452 + j 0.3678	2,8957	225
AAAC	70	0.4608 + j 0.3572	3,4262	270
AAAC	120	0.2688 + j 0.3376	4,6837	365
AAAC	150	0.2162 + j 0.3305	5,2365	425

Sumber: PT. PLN (Persero)Distribusi JATIM Area Malang UP - J Batu.

**TABEL 3-4
DATA IMPEDANSI SALURAN PENYULANG PUJON**

No Saluran	Node		Panjang (m)	Impedensi Saluran (Ω)	
	Dari	Ke		R	X
1	1	2	580.3	0.1255	0.1918
2	2	3	1432.6	0.3097	0.4735
3	3	4	863.9	0.1868	0.2855
4	4	5	85.4	0.0185	0.0282
5	4	6	683.3	0.1477	0.2258

Sumber: PT. PLN (Persero)Distribusi JATIM Area Malang UP - J Batu.
Tabel 3-4 selengkapnya dapat dilihat pada lampiran.

TABEL 3-5
DATA PEMBABANAN PENYULANG PUJON

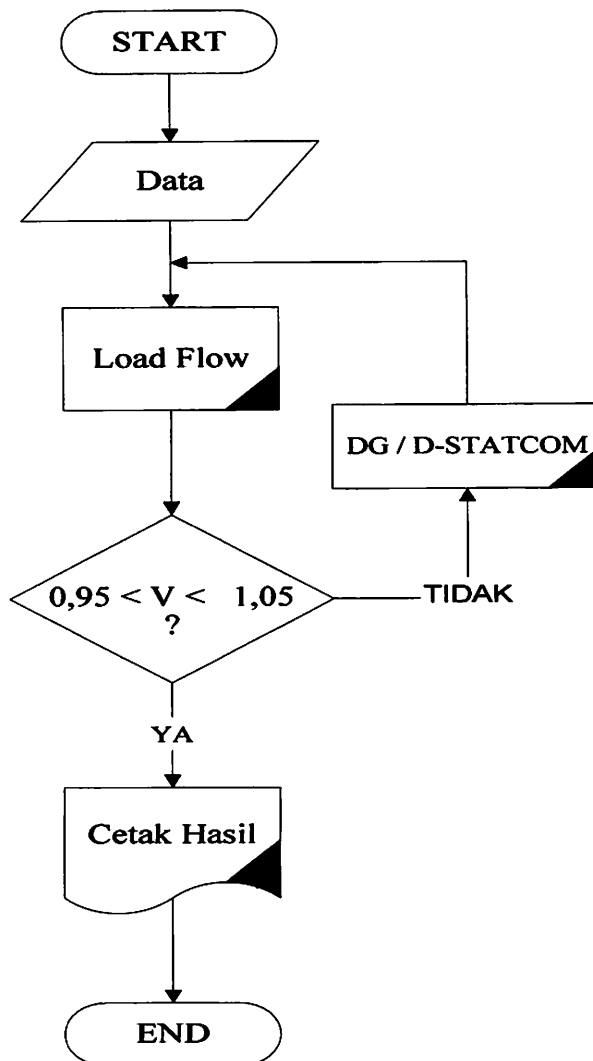
No Node	Tegangan Awal		Pembangkitan		Pembebanan		Type Node
	V (pu)	θ (°)	P (kW)	Q (kVAR)	P (kW)	Q (kVAR)	
1	1.0000	0.0000	-	-	0.0000	0.0000	Slack
2	1.0000	0.0000	-	-	44.5700	26.5200	Load
3	1.0000	0.0000	-	-	96.3200	57.1200	Load
4	1.0000	0.0000	-	-	0.0000	0.0000	Load
5	1.0000	0.0000	-	-	34.4000	20.4000	Load
6	1.0000	0.0000	-	-	27.5200	16.3200	Load
7	1.0000	0.0000	-	-	0.0000	0.0000	Load

Sumber: PT. PLN (Persero) Distribusi JATIM Area Malang UP - J Batu.
Tabel 3-5 selengkapnya dapat dilihat pada lampiran.

3.3. Algoritma Program Pemecahan Masalah Secara Umum

1. Memasukkan inputan data beban yang meliputi tegangan dasar (V), sudut fasa tegangan (δ), daya aktif (P), daya reaktif (Q), data impedansi saluran dan data konduktor.
2. Melakukan proses analisa aliran daya untuk mengetahui batasan tegangan.
3. Melakukan pemeriksaan apakah terdapat pelanggaran tegangan:
 - Jika, Ya melanjutkan ke langkah 4
 - Jika, Tidak langsung ke langkah 5
4. Melakukan proses seleksi peralatan kompensator.
5. Cetak hasil.
6. Selesai.

Gambar 3-8
Flow Chart Umum Aliran Daya



BAB IV

ANALISA dan EVALUASI PERBANDINGAN PERALATAN D-STATCOM DAN DISTRIBUTED GENERATION (DG)

4.1. Analisa Dengan Metode *Sequential Quadratic Programming*

Telah banyak modifikasi yang saat ini bisa menjadi pilihan bagi kita dalam penyelesaian masalah aliran daya. Hal ini sangat dipengaruhi oleh berbagai pertimbangan terhadap beberapa kelebihan dan kekurangan dari masing-masing metode. Suatu metode yang baik dapat memenuhi beberapa kriteria, antara lain tingkat konvergensi, penyimpangan atau kesalahan yang terjadi, kecepatan perhitungan dan memori yang dibutuhkan dalam proses perhitungan.

Dalam penyelesaian masalah ini diperlukan bantuan program komputer dalam perhitungan yang membutuhkan ketelitian dan keakuratan. Program komputer dalam skripsi ini dijalankan dengan menggunakan perangkat lunak Matlab versi 7.05 dan diaplikasikan pada komputer pentium IV prosesor 2,28 GHz, dengan memori 256 Mb.

Untuk solusi dari permasalahan-permasalahan diatas maka digunakan suatu alternative metode yang disebut metode *Sequential Quadratic Programming* dimana kelebihan dari metode ini antara lain :

- Dapat dipakai untuk jaringan radial.
- Perhitungan memerlukan waktu yang lebih cepat dengan menggunakan program komputer dari pada dengan perhitungan secara manual.

Pada prinsipnya penggunaan program komputer dapat menganalisa sebuah sistem distribusi radial dengan jumlah cabang atau jumlah bus yang tidak terbatas

tergantung dari tersedianya jumlah memori yang tersedia pada komputer yang digunakan.

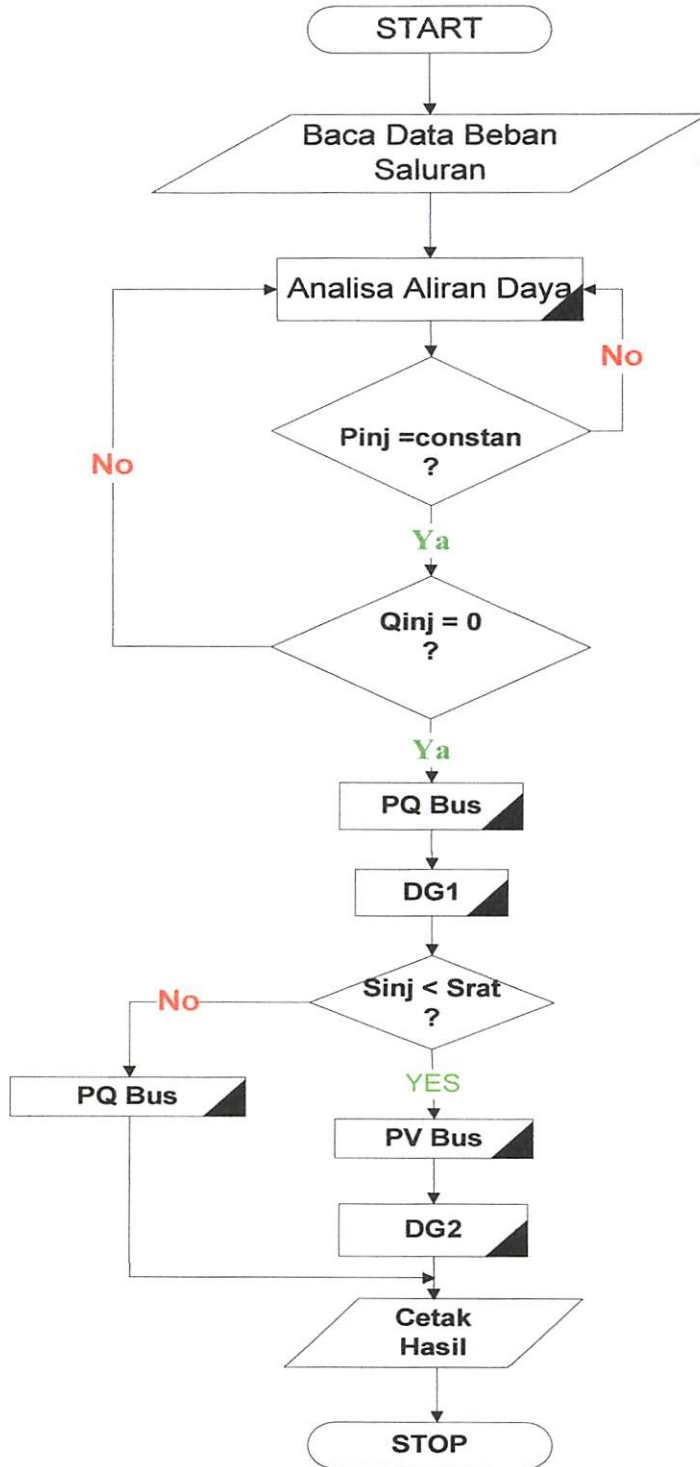
4.2. Algoritma Program

4.2.1 Algoritma peralatan VSI dengan menggunakan metode Sequential Quadratic Programming:

1. Memasukkan inputan data beban yang meliputi :
 - Penentuan lokasi dengan memasukkan posisi Bus secara acak.
 - Daya aktif (P) dan daya reaktif (Q)
 - Data impedansi saluran R/X (Ω).
2. Melakukan Analisa Aliran Daya terhadap jaringan distribusi tipe radial.
3. Identifikasi jaringan dengan parameter peralatan.
4. Melakukan perhitungan aliran daya yang telah ada dengan menggunakan peralatan D-STATCOM.
5. Cetak Hasil.
6. Melakukan perhitungan aliran daya yang telah ada dengan menggunakan peralatan DG.
7. Cetak Hasil.
8. Membandingkan hasil keluaran peralatan D-STATCOM dengan DG.
9. Penerapan peralatan pada jaringan.
10. Proses perhitungan telah selesai.

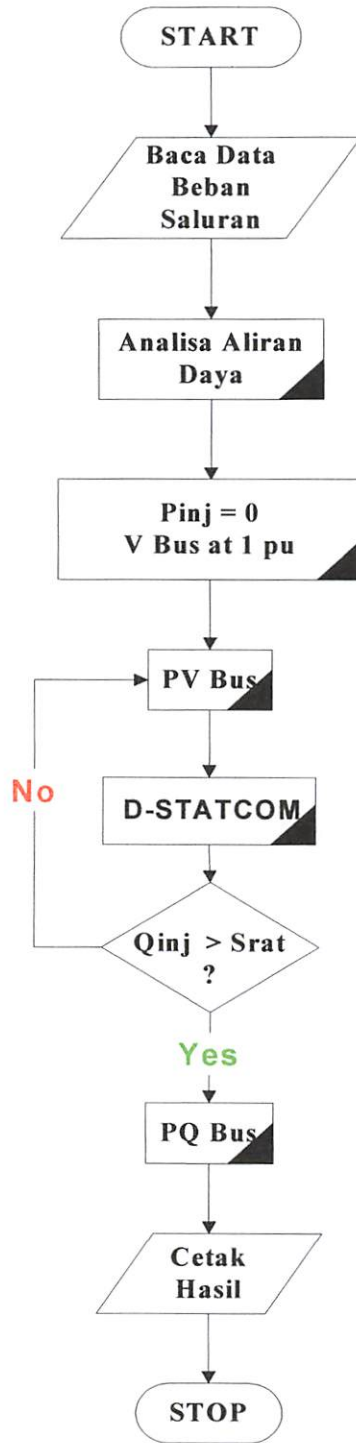
4.2.2. Flowchart Penyelesaian Masalah

» Flowchart Penyelesaian Masalah Untuk Kompensator DG :



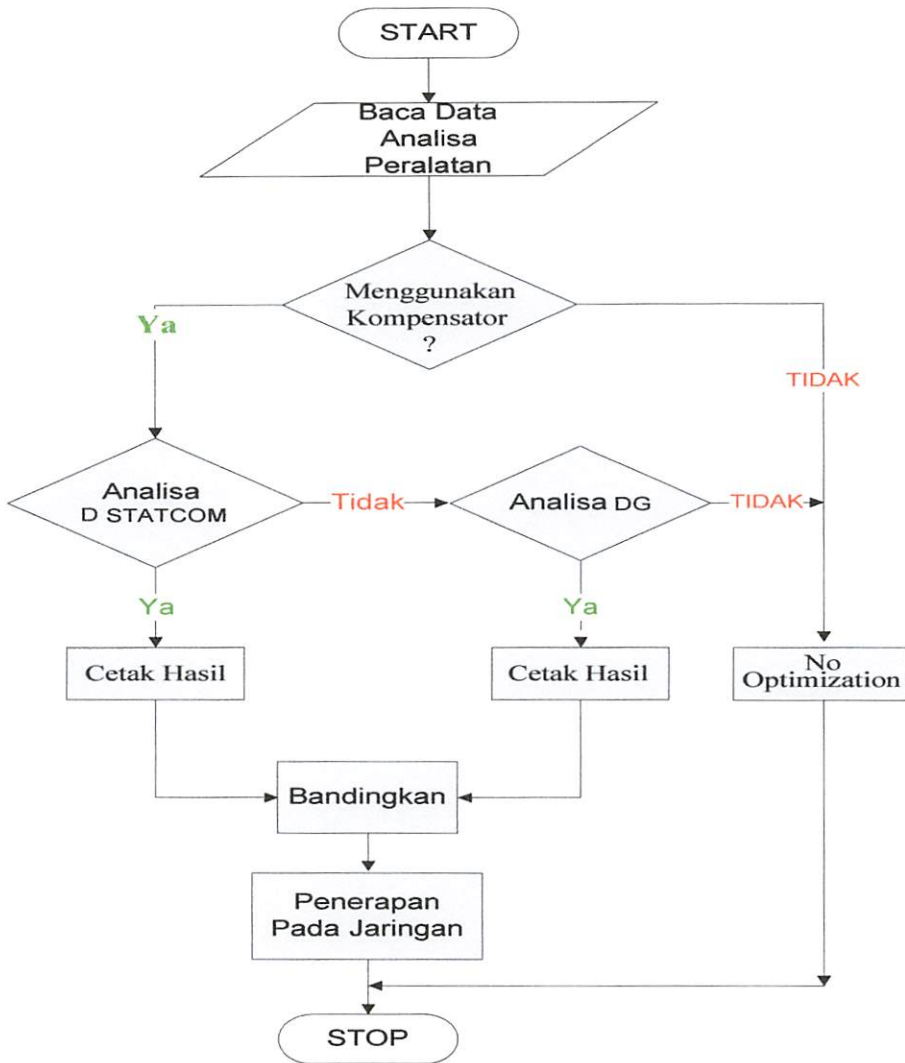
Gambar 4-1. Flowchart Analisis DG

» Flowchart Penyelesaian Masalah Untuk Kompensator D-STATCOM :



Gambar 4-2. Flowchart Analisis D-STATCOM

» **Flowchart analisis DG vs D-STATCOM (Manual) :**



Gambar 4-3. Flowchart Analisis DG vs D-STATCOM

4.3. Data Program

4.3.1. Data Perhitungan Program

Dalam perhitungan aliran daya data yang diambil dari PT.PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur Area Malang UP-J Batu untuk Penyulang Pujon, Gardu Induk Sengkaling Malang yang melayani 7 (Tujuh) buah penyulang dengan 2 (dua) buah trafo yang masing-masing 150/20 kV – 30 MVA dan 150/20 kV – 30 MVA.

Namun dalam skripsi ini hanya menganalisa satu penyulang saja, yaitu pada penyulang pujan . Sistem distribusi radial GI sengkaling memakai tegangan distribusi 20 kV. Untuk menyelesaikan perhitungan aliran daya terlebih dahulu ditetapkan *single line diagram* yang akan dianalisis, agar mempermudah perhitungan maka digunakan sistem per-unit (pu), dimana dasar yang digunakan penyulang Pujan adalah sebagai berikut :

- Tegangan dasar : 20 kV
- Daya dasar : 30 MVA

Selanjutnya bus-bus yang ada diklasifikasikan, yaitu bus bar GI sengkaling diasumsikan sebagai *slack bus*, sedangkan bus-bus yang lain sepanjang saluran radial dipandang sebagai *load bus*. Pada penyulang ini jumlah bus dan jumlah saluran masing –masing adalah :

- *Slack bus* : 1
- *Load bus* : 100
- Jumlah saluran : 100

4.3.2. Analisa Perhitungan

Perhitungan diawali dengan studi aliran daya dengan metode Newton Rapshon. Studi aliran daya dilakukan untuk mengetahui harga tegangan dan sudut fasa ditiap-tiap *node*.

Untuk memudahkan perhitungan dan analisa pada sistem tenaga, biasanya dipakai harga-harga dalam satuan per-unit (pu) adalah harga yang sebenarnya dibagi dengan harga dasar. Harga dasar pada studi ini adalah 20 kV dan 30 MVA sebagai harga tegangan dasar dan daya dasar.

Ditentukan :

$$V_{\text{dasar}} = 20 \text{ kV}$$

$$P_{\text{dasar}} = 30 \text{ MVA}$$

Untuk mencari Z (impedansi) dasar :

$$Z = \frac{V_{\text{dasar}}^2}{P_{\text{dasar}}} = \frac{(KV)^2}{MVA}$$

$$Z_{\text{dasar}} = \frac{20^2}{30} = 13,33 \text{ pu}$$

Untuk merubah impedansi dalam pu :

Dari hasil perhitungan impedansi saluran pada tabel 3-4, pada node 1 ke node 2 diketahui nilai :

$$R = 0,1255 \Omega$$

$$X = 0,1918 \Omega$$

Untuk merubah Z_{1-2} (impedansi pada saluran 1) dalam pu

$$Z_{1-2} = \frac{0,1255 + j0,1918}{13,33} = 0,00941 + j0,0143 \text{ pu}$$

Dengan cara yang sama pada contoh diatas akan diperoleh hasil perhitungan seperti pada tabel Data Pembebanan Penyulang Pujon pada lampiran :

Untuk merubah P (beban aktif) dan Q (beban reaktif) ke dalam bentuk per unit (pu)

Dari hasil perhitungan pembebanan pada tabel 4-5, pada node 2 diketahui nilai :

$$P_2 = 44,57 \text{ kW} \quad Q_2 = 26,52 \text{ kVAR}$$

Untuk merubah beban aktif (P) dan beban reaktif (Q) dalam pu :

$$P = \frac{P \text{ (kW)}}{P_{\text{dasar}}}$$

$$Q = \frac{Q \text{ (kVAR)}}{P_{\text{dasar}}}$$

Maka :

$$P_2 = \frac{44,57}{30} = 1,485 \text{ pu} \quad Q_2 = \frac{26,52}{30} = 0,884 \text{ pu}$$

Dengan cara yang sama pada contoh diatas maka diperoleh hasil perhitungan seperti pada berikut:

TABEL 4-1
DATA PEMBABANAN PENYULANG PUJON BESERTA PENGUBAH
DALAM SATUAN pu

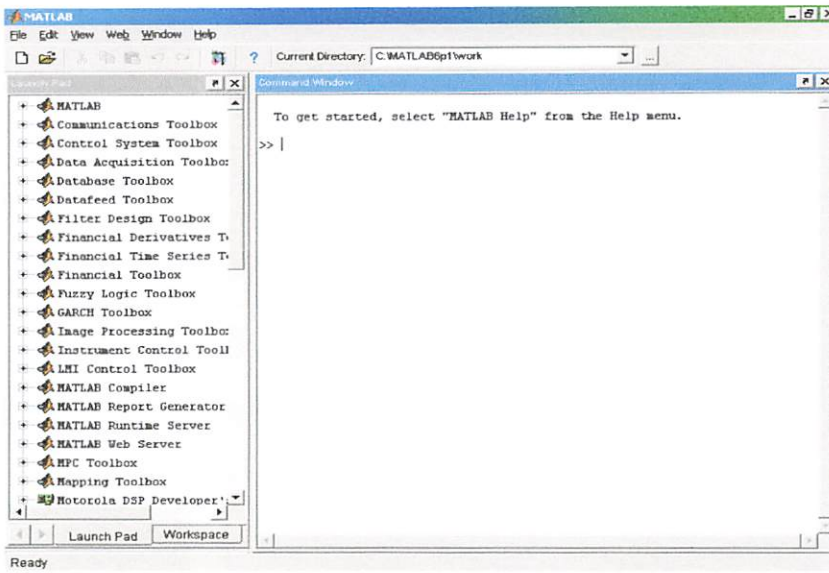
No Node	Tegangan Awal		Pembebanan				Type Node
	V (pu)	θ (°)	P (kW)	Q (kVAR)	P (pu)	Q (pu)	
1	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.485667	0.884	Slack
2	1.0000	0.0000	44.5700	26.5200	0.321067	1.904	Load
3	1.0000	0.0000	96.3200	57.1200	0	0	Load
4	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.146667	0.68	Load
5	1.0000	0.0000	34.4000	20.4000	0.917333	0.544	Load
6	1.0000	0.0000	27.5200	16.3200	0	0	Load

Tabel 4-1 selengkapnya dapat dilihat pada lampiran.

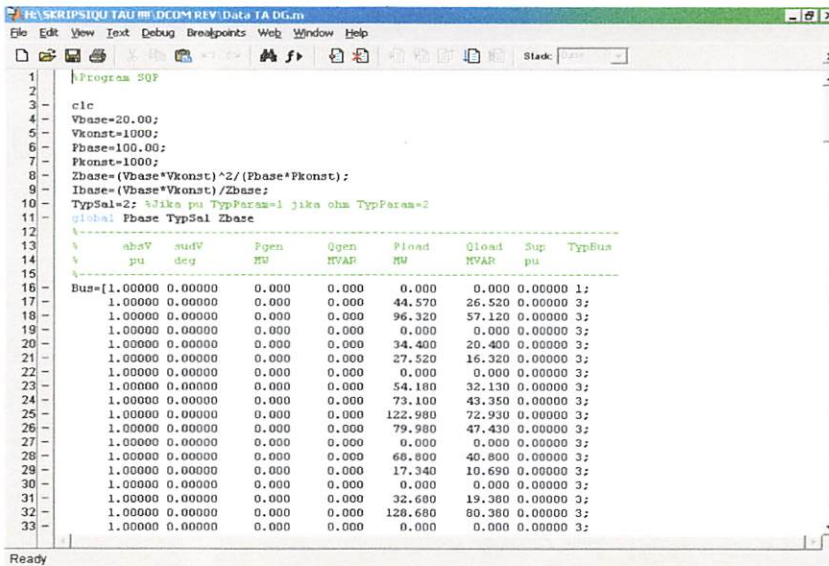
4.4. Tampilan Program

Program dalam skripsi ini dijalankan dengan menggunakan perangkat lunak Matlab versi 7.05 dan diaplikasikan pada komputer dengan prosesor Pentium IV 2,28 GHz, memori 256 Mb. Mengenai jalannya program adalah dengan mengikuti prosedur program sebagai berikut :

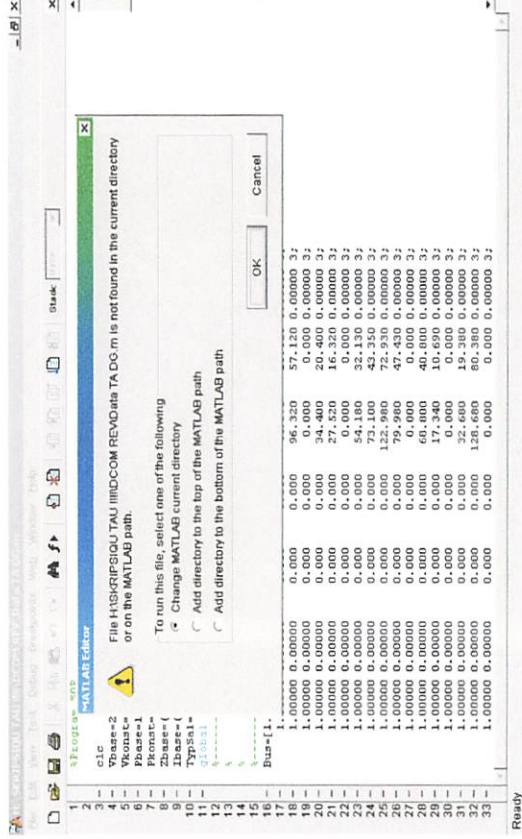
1. Menu utama program Matlab :



2. Pilih data TA DG / DSTATCOM.m dengan meng-klik Open File :

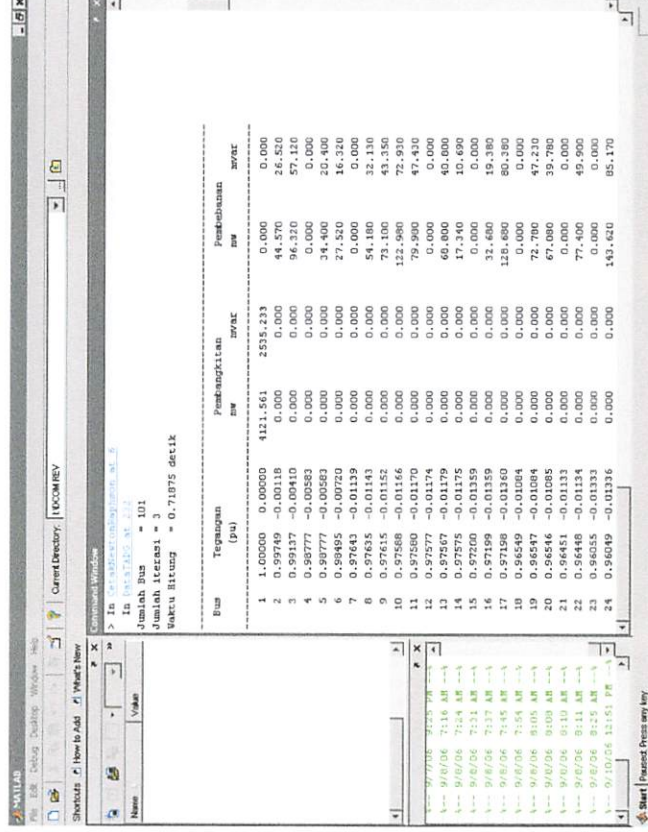


3. Tekan F5 lalu OK untuk menjalankan program.

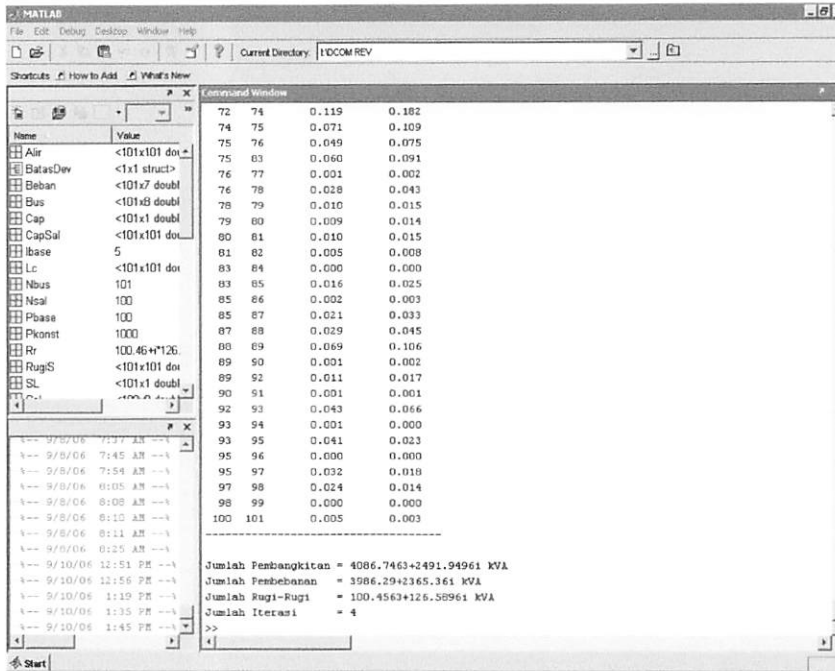


4. Untuk mendapatkan hasil optimasi, kita dapat menekan tombol Enter satu kali, maka dengan proses dan tampilan yang sama akan di dapatkan hasil setelah optimasi.

- Untuk awal program :



- Untuk akhir program :



4.5. DATA DAN ANALISA HASIL

Sebelum perhitungan dilakukan, terlebih dahulu ditetapkan dari *single line diagram*, bahwa yang dijadikan *slack bus* adalah *bus bar* dari gardu induk Sengkaling, sedangkan node-node yang ada sepanjang saluran dipandang sebagai *load bus*. Data yang ada, terlebih dahulu dirubah kedalam satuan per-unit untuk mempermudah proses perhitungan.

Nilai dasar yang digunakan adalah :

1. Tegangan Dasar = 20 kV.
2. Daya Dasar = 30 MVA.

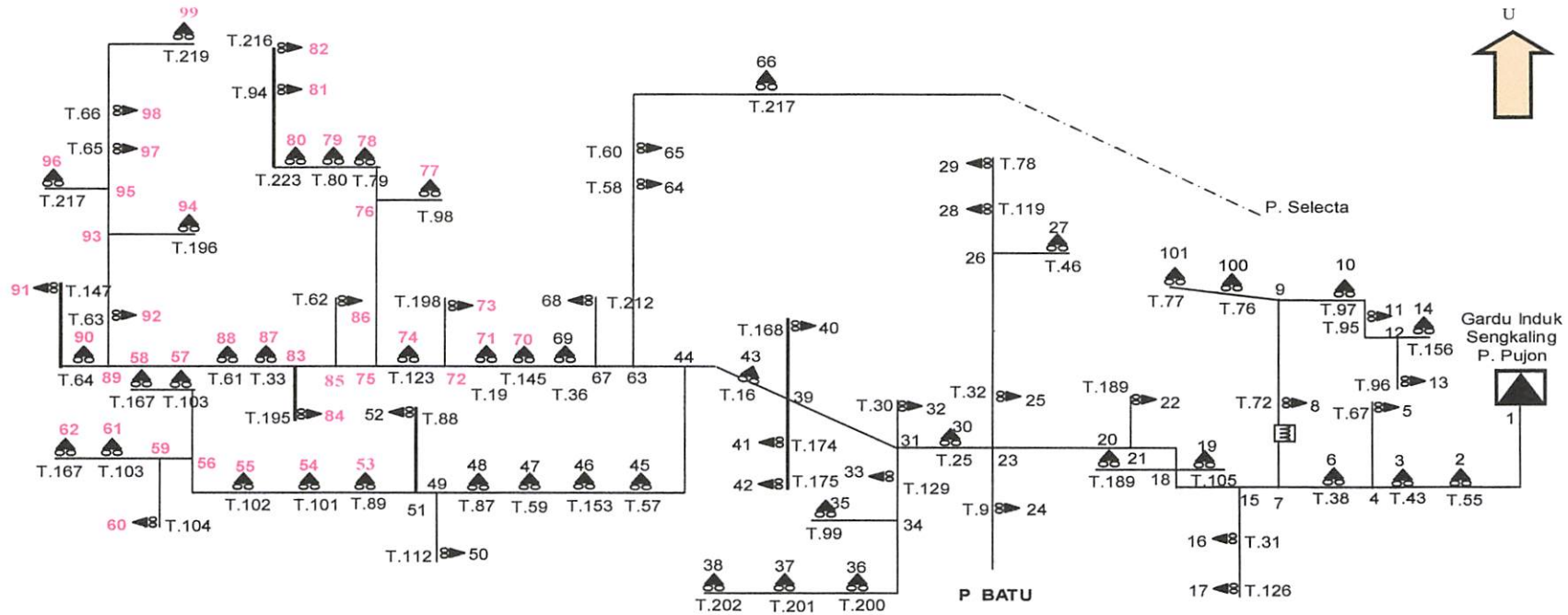
Mengingat bahwa pada jaringan tidak dilakukan pengukuran faktor daya maka pada perhitungan program disini hanya dipilih sejumlah 4 peralatan untuk pemasangan di empat lokasi node yang dipilih secara acak.

1. Data Hasil Analisa Program

TABEL 4-2
DATA ANALISA ALIRAN DAYA UNTUK TEGANGAN PADA BUS Ke-n
SEBELUM OPTIMASI

Node (n)	TEGANGAN (pu)
1	1.00000
2	0.99749
3	0.99137
4	0.98777
5	0.98777
6	0.98495
7	0.97643
8	0.97635
9	0.97615
10	0.97588
11	0.97580
12	0.97577
13	0.97567
14	0.97575
15	0.97200
16	0.97199
17	0.97198
18	0.96549
19	0.96547
20	0.96546
21	0.96451
22	0.96448
23	0.96055
24	0.96049
25	0.96053
26	0.96017
27	0.96017
28	0.96017
29	0.95981
30	0.95822
31	0.95784
32	0.95781
33	0.95774
34	0.95755
35	0.95753
36	0.95752
37	0.95752
38	0.95752
39	0.95553
40	0.95553
41	0.95548
42	0.95548
43	0.95544
44	0.95169
45	0.95115
46	0.95094
47	0.95050
48	0.95022
49	0.95007
50	0.95003
51	0.95005
52	0.95004
53	0.94973
54	0.94903
55	0.94861
56	0.94845
57	0.94839
58	0.94838
59	0.94842
60	0.94841
61	0.94836
62	0.94833
63	0.95090
64	0.95081
65	0.95070
66	0.95068
67	0.95071
68	0.95070
69	0.95056
70	0.94939
71	0.94863
72	0.94860
73	0.94859
74	0.94831
75	0.94810
76	0.94755
77	0.94752
78	0.94741
79	0.94732
80	0.94723
81	0.94711
82	0.94701
83	0.94789
84	0.94788
85	0.94782
86	0.94780
87	0.94771
88	0.94747
89	0.94717
90	0.94714
91	0.94711
92	0.94711
93	0.94685
94	0.94681
95	0.94667
96	0.94665
97	0.94652
98	0.94627
99	0.94626
100	0.97600
101	0.97595

Single Line Diagram Penyulang Pujon



Keterangan :

— : Node Yg Mempunyai Tegangan Di Bawah Standar

▲ : Trafo

▲ : GARDU INDUK

Gambar 4-4.a Single Line Diagram penyulang Pujon Dengan Penunjukkan Node yang Mempunyai Profil Tegangan Dibawah Standar

Dengan melihat tabel 4-2 diatas kita dapat menentukan lokasi penempatan peralatan kompensator VSI dengan cara menempatkannya pada node-node yang letaknya paling jauh dari trafo distribusi atau node-node yang mempunyai profil tegangan di bawah standar, yakni di bawah 0,95 pu seperti yang ditunjukkan pada tabel 4-2 dengan warna merah. Dengan memakai acuan tersebut kita dapat menggolongkannya ke dalam beberapa kasus seperti yang di tunjukkan pada tabel 4-3 berikut ini :

**TABEL 4-3
PENGGOLOGAN PROBLEM**

Jenis Permasalahan	NODE (n)
KASUS 1	53, 62, 73, 99
KASUS 2	53, 62, 85, 99
KASUS 3	73, 77, 84, 99
KASUS 4	73, 82, 91, 99

Kita tahu bahwa jaringan distribusi tipe radial adalah struktur jaringan listrik dimana pada jaringan tersebut tidak terdapat alternatif pasokan tenaga listrik yang lain karena hanya di supply oleh satu sumber, oleh sebab itu tingkat keandalannya relatif rendah. Dengan ditempatkannya alat kompensasi pada jaringan distribusi radial adalah pilihan yang tepat guna memperbaiki profil tegangan yang ada. Penempatannya-pun dapat dilakukan disembarang lokasi berdasarkan besar tegangan yang ada pada suatu bus/node.

Pada pembahasan ini bus dengan nomor yang tinggi tidak selalu merupakan bus yang terjauh, ini hanya soal penomoran bus tersebut. Oleh karena itu harus kita pahami bahwa penempatan alat kompensasi tidak hanya dapat dilakukan pada bus yang terjauh, tetapi juga dapat ditempatkan pada bus yang

letaknya dekat dengan trafo distribusi. Berikut ini merupakan tabel perbandingan kasus 1 dan kasus 2 berdasarkan besar tegangan pada setiap node yang telah di optimasi.

TABEL 4-4
TABEL PERBANDINGAN KASUS 1 DAN KASUS 2

Node	Tegangan Sebelum Optimasi (pu)	Tegangan Setelah Optimasi (pu)			
		Kasus 1		Kasus 2	
		DG	D-STATCOM	DG	D-STATCOM
1	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
2	0.99749	0.99780	0.99769	0.99786	0.99776
3	0.99137	0.99243	0.99207	0.99265	0.99231
4	0.98777	0.98929	0.98877	0.95701	0.98912
5	0.98777	0.98929	0.98877	0.98960	0.98911
6	0.98495	0.98683	0.98619	0.98722	0.98662
7	0.97643	0.97940	0.97839	0.98001	0.97907
8	0.97635	0.97932	0.97831	0.97993	0.97899
9	0.97615	0.97913	0.97811	0.97973	0.9788
10	0.97588	0.97885	0.97784	0.97946	0.97852
11	0.9758	0.97877	0.97776	0.97938	0.97844
12	0.97577	0.97875	0.97773	0.97936	0.97842
13	0.97567	0.97865	0.97763	0.97926	0.97832
14	0.97575	0.97873	0.97771	0.97934	0.9784
15	0.972	0.97563	0.97440	0.97637	0.97523
16	0.97199	0.97562	0.97438	0.97636	0.97522
17	0.97198	0.97561	0.97438	0.97635	0.97522
18	0.96549	0.96964	0.96802	0.97080	0.96891
19	0.96547	0.96962	0.96801	0.97078	0.96889
20	0.96546	0.96960	0.96799	0.97077	0.96888
21	0.96451	0.96881	0.96715	0.97001	0.96807
22	0.96448	0.96878	0.96712	0.96998	0.96804
23	0.96055	0.96552	0.96363	0.96685	0.96471
24	0.96049	0.96546	0.96357	0.96678	0.96465
25	0.96053	0.96550	0.96361	0.96682	0.96469
26	0.96017	0.96515	0.96326	0.96647	0.96433
27	0.96017	0.96514	0.96325	0.96647	0.96433
28	0.96017	0.96515	0.96326	0.96647	0.96433
29	0.95981	0.96479	0.96290	0.96611	0.96398
30	0.95822	0.96364	0.96160	0.96505	0.96279
31	0.95784	0.96334	0.96127	0.96477	0.96248
32	0.95781	0.96331	0.96124	0.96474	0.96245
33	0.95774	0.96324	0.96117	0.96466	0.96237
34	0.95755	0.96305	0.96098	0.96446	0.96218
35	0.95753	0.96303	0.96096	0.96447	0.96217
36	0.95752	0.96302	0.96095	0.96445	0.96216
37	0.95752	0.96302	0.96095	0.96445	0.96215
38	0.95752	0.96302	0.96095	0.96445	0.96215
39	0.95553	0.96153	0.95930	0.96305	0.96061
40	0.95553	0.96152	0.95929	0.96304	0.96061
41	0.95548	0.96147	0.95924	0.96299	0.96056

42	0.95548	0.96147	0.95924	0.96299	0.96056
43	0.95544	0.96145	0.95921	0.96298	0.96054
44	0.95169	0.95857	0.95604	0.96026	0.95719
45	0.95115	0.95814	0.95557	0.95996	0.95757
46	0.95094	0.95798	0.95539	0.95986	0.95729
47	0.9505	0.95767	0.95503	0.95967	0.95702
48	0.95022	0.95747	0.95480	0.95957	0.95693
49	0.95007	0.95737	0.95468	0.95953	0.9569
50	0.95003	0.95733	0.95464	0.95949	0.95686
51	0.95005	0.95736	0.95466	0.95953	0.9569
52	0.95004	0.95736	0.95466	0.95952	0.95689
53	0.94973	0.95718	0.95442	0.95950	0.95689
54	0.94903	0.95667	0.95379	0.95925	0.95652
55	0.94861	0.95637	0.95342	0.95914	0.95632
56	0.94845	0.95629	0.95330	0.95919	0.95636
57	0.94839	0.95623	0.95324	0.95913	0.9563
58	0.94838	0.95622	0.95322	0.95922	0.95629
59	0.94842	0.95629	0.95328	0.95912	0.95638
60	0.94841	0.95627	0.95326	0.95923	0.95639
61	0.94836	0.95631	0.95326	0.95938	0.95653
62	0.94833	0.95636	0.95326	0.95956	0.9567
63	0.9509	0.95797	0.95538	0.95963	0.95685
64	0.95081	0.95788	0.95529	0.95954	0.95676
65	0.9507	0.95777	0.95518	0.95943	0.95665
66	0.95068	0.95774	0.95516	0.95940	0.95668
67	0.95071	0.95783	0.95523	0.95948	0.95662
68	0.9507	0.95781	0.95522	0.95947	0.95654
69	0.95056	0.95771	0.95510	0.95936	0.95666
70	0.94939	0.95688	0.95417	0.95847	0.9555
71	0.94863	0.95634	0.95356	0.95789	0.95482
72	0.9486	0.95632	0.95354	0.95787	0.95479
73	0.94859	0.95635	0.95357	0.95786	0.95435
74	0.94831	0.95608	0.95327	0.95765	0.9538
75	0.9481	0.95592	0.95308	0.95751	0.95377
76	0.94755	0.95537	0.95253	0.95696	0.95478
77	0.94752	0.95534	0.95250	0.95693	0.95453
78	0.94741	0.95523	0.95239	0.95682	0.95366
79	0.94732	0.95515	0.95231	0.95674	0.95358
80	0.94723	0.95505	0.95221	0.95664	0.95348
81	0.94711	0.95493	0.95209	0.95653	0.95337
82	0.94701	0.95483	0.95199	0.95643	0.95418
83	0.94789	0.95577	0.95289	0.95739	0.95326
84	0.94788	0.95576	0.95289	0.95739	0.95413
85	0.94782	0.95573	0.95284	0.95736	0.95327
86	0.9478	0.95570	0.95281	0.95733	0.9541
87	0.94771	0.95566	0.95274	0.95730	0.95404
88	0.94747	0.95553	0.95255	0.95719	0.95385
89	0.94717	0.95541	0.95232	0.95709	0.95363
90	0.94714	0.95538	0.95229	0.95706	0.9536
91	0.94711	0.95535	0.95226	0.95703	0.95357
92	0.94711	0.95539	0.95227	0.95708	0.97859
93	0.94685	0.95534	0.95210	0.95707	0.95338
94	0.94681	0.95530	0.95206	0.95703	0.95342
95	0.94667	0.95526	0.95195	0.95702	0.95327
96	0.94665	0.95525	0.95193	0.95701	0.95326

97	0.94652	0.95520	0.95183	0.95699	0.95315
98	0.94627	0.95527	0.95168	0.95717	0.95302
99	0.94626	0.95528	0.95168	0.95718	0.95302
100	0.976	0.97898	0.97796	0.97959	0.97865
101	0.97595	0.97892	0.97791	0.97953	0.97859

Keterangan :

— : Sebelum optimasi

— : Optimasi dengan menggunakan DG

— : Optimasi dengan menggunakan D-STATCOM

TABEL 4-5
TABEL PERBANDINGAN KASUS 3 DAN KASUS 4

Node	Tegangan Sebelum Optimasi	Tegangan Setelah Optimasi			
		Kasus 3		Kasus 4	
		DG	D-STATCOM	DG	D-STATCOM
1	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
2	0.99749	0.99791	0.99769	0.99785	0.99785
3	0.99137	0.99283	0.99205	0.99263	0.99262
4	0.98777	0.98985	0.98874	0.98957	0.98956
5	0.98777	0.98985	0.98874	0.98957	0.98956
6	0.98495	0.98752	0.98616	0.98718	0.98717
7	0.97643	0.98050	0.97834	0.97995	0.97995
8	0.97635	0.98042	0.97826	0.97987	0.97987
9	0.97615	0.98023	0.97806	0.97967	0.97967
10	0.97588	0.97995	0.97779	0.97940	0.97940
11	0.9758	0.97987	0.97771	0.97932	0.97932
12	0.97577	0.97985	0.97769	0.97930	0.97930
13	0.97567	0.97975	0.97758	0.97920	0.97919
14	0.97575	0.97983	0.97766	0.97928	0.97927
15	0.972	0.97697	0.97434	0.97630	0.97630
16	0.97199	0.97696	0.97432	0.97628	0.97629
17	0.97198	0.97695	0.97432	0.97628	0.97629
18	0.96549	0.97127	0.96796	0.97072	0.97004
19	0.96547	0.97125	0.96794	0.97070	0.97002
20	0.96546	0.97124	0.96793	0.97069	0.97001
21	0.96451	0.97050	0.96708	0.96993	0.96925
22	0.96448	0.97048	0.96705	0.96990	0.96922
23	0.96055	0.96746	0.96356	0.96675	0.96609
24	0.96049	0.96740	0.96349	0.96669	0.96602
25	0.96053	0.96743	0.96353	0.96673	0.96606
26	0.96017	0.96708	0.96318	0.96638	0.96571
27	0.96017	0.96708	0.96318	0.96638	0.96571
28	0.96017	0.96708	0.96318	0.96638	0.96571
29	0.95981	0.96673	0.96282	0.96602	0.96535
30	0.95822	0.96574	0.96152	0.96495	0.96430
31	0.95784	0.96547	0.96119	0.96466	0.96401
32	0.95781	0.96544	0.96116	0.96463	0.96398
33	0.95774	0.96537	0.96108	0.96456	0.96391

34	0.95755	0.96518	0.96090	0.96437	0.96372
35	0.95753	0.96516	0.96088	0.96435	0.96370
36	0.95752	0.96515	0.96087	0.96435	0.96369
37	0.95752	0.96515	0.96087	0.96434	0.96369
38	0.95752	0.96515	0.96087	0.96434	0.96369
39	0.95553	0.96384	0.95920	0.96294	0.96229
40	0.95553	0.96383	0.95920	0.96293	0.96229
41	0.95548	0.96378	0.95915	0.96288	0.96224
42	0.95548	0.96378	0.95914	0.96288	0.96224
43	0.95544	0.96377	0.95912	0.96287	0.96222
44	0.95169	0.96120	0.95593	0.96013	0.95951
45	0.95115	0.96067	0.95540	0.95959	0.95898
46	0.95094	0.96046	0.95519	0.95938	0.95877
47	0.9505	0.96003	0.95475	0.95895	0.95834
48	0.95022	0.95975	0.95448	0.95868	0.95806
49	0.95007	0.95960	0.95432	0.95852	0.95791
50	0.95003	0.95956	0.95428	0.95849	0.95787
51	0.95005	0.95958	0.95430	0.95850	0.95789
52	0.95004	0.95957	0.95430	0.95850	0.95788
53	0.94973	0.95926	0.95398	0.95818	0.95757
54	0.94903	0.95857	0.95329	0.95750	0.95688
55	0.94861	0.95815	0.95287	0.95708	0.95646
56	0.94845	0.95800	0.95271	0.95692	0.95631
57	0.94839	0.95794	0.95265	0.95686	0.95624
58	0.94838	0.95792	0.95264	0.95685	0.95623
59	0.94842	0.95796	0.95268	0.95689	0.95627
60	0.94841	0.95795	0.95266	0.95687	0.95626
61	0.94836	0.95791	0.95262	0.95683	0.95622
62	0.94833	0.95788	0.95259	0.95680	0.95618
63	0.9509	0.96077	0.95532	0.95964	0.95904
64	0.95081	0.96068	0.95523	0.95955	0.95895
65	0.9507	0.96057	0.95511	0.95944	0.95884
66	0.95068	0.96054	0.95509	0.95942	0.95881
67	0.95071	0.96067	0.95517	0.95953	0.95893
68	0.9507	0.96066	0.95516	0.95952	0.95892
69	0.95056	0.96059	0.95505	0.95945	0.95884
70	0.94939	0.96006	0.95419	0.95882	0.95824
71	0.94863	0.95972	0.95363	0.95842	0.95785
72	0.9486	0.95971	0.95361	0.95841	0.95783
73	0.94859	0.95974	0.95364	0.95844	0.95785
74	0.94831	0.95955	0.95336	0.95822	0.95767
75	0.9481	0.95944	0.95319	0.95810	0.95757
76	0.94755	0.95910	0.95278	0.95768	0.95728
77	0.94752	0.95913	0.95279	0.95765	0.95725
78	0.94741	0.95897	0.95264	0.95758	0.95722
79	0.94732	0.95889	0.95256	0.95754	0.95722
80	0.94723	0.95879	0.95246	0.95750	0.95724
81	0.94711	0.95867	0.95234	0.95746	0.95729
82	0.94701	0.95857	0.95224	0.95748	0.95743
83	0.94789	0.95934	0.95299	0.95799	0.95746
84	0.94788	0.95930	0.95300	0.95799	0.95745
85	0.94782	0.95930	0.95293	0.95796	0.95742
86	0.9478	0.95927	0.95290	0.95793	0.95740
87	0.94771	0.95923	0.95282	0.95792	0.95738
88	0.94747	0.95910	0.95258	0.95786	0.95733

89	0.94717	0.95897	0.95229	0.95785	0.95731
90	0.94714	0.95895	0.95226	0.95788	0.95736
91	0.94711	0.95892	0.95223	0.95801	0.95753
92	0.94711	0.95896	0.95223	0.95783	0.95728
93	0.94685	0.95891	0.95197	0.95776	0.95718
94	0.94681	0.95886	0.95193	0.95772	0.95713
95	0.94667	0.95882	0.95179	0.95770	0.95705
96	0.94665	0.95881	0.95178	0.95769	0.95704
97	0.94652	0.95876	0.95164	0.95766	0.95696
98	0.94627	0.95881	0.95140	0.95777	0.95690
99	0.94626	0.95882	0.95140	0.95779	0.95691
100	0.976	0.98008	0.97791	0.97953	0.97952
101	0.97595	0.98002	0.97786	0.97947	0.97947

Keterangan :

— : Sebelum optimasi

— : Optimasi dengan menggunakan DG

— : Optimasi dengan menggunakan D-STATCOM

TABEL 4-6
DATA PERBANDINGAN KOMPENSASI DG vs D-STATCOM
SETELAH OPTIMASI

Type Alat Kompensasi	Bus/Node	Total Pembangkitan (kVA)	Total Rugi-rugi (kVA)
SEBELUM	Semua Node	4121.5609+2535.2334i	135.2709+169.8734i
DG	KASUS 1	4094.2687+2501.2096i	107.9787+135.8496i
	KASUS 2	4082.5677+2486.6751i	96.27774+121.3151i
	KASUS 3	4083.2743+2487.3910i	96.98432+122.0310i
	KASUS 4	4082.5853+2486.5016i	96.29527+121.1416i
D-STATCOM	KASUS 1	4107.701+2517.96060i	121.411+152.60060i
	KASUS 2	4103.9926+2513.4383i	117.7026+148.0783i
	KASUS 3	4108.0408+2518.3537i	121.7508+152.9937i
	KASUS 4	4099.1487+2507.2949i	112.8587+141.9349i

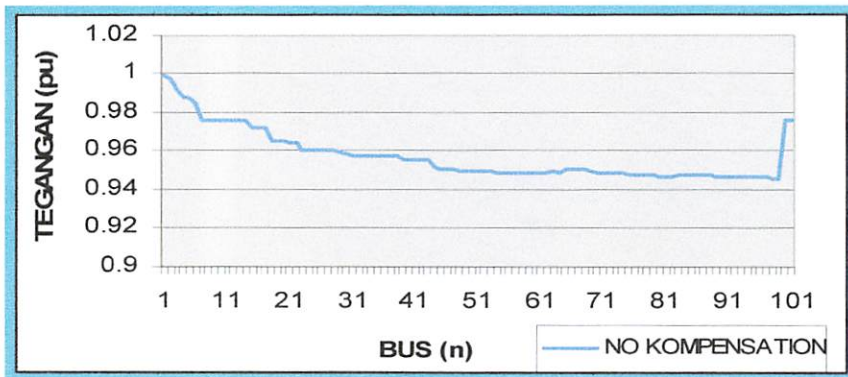
Pada tabel 4-6 diatas menunjukkan bahwa dengan menggunakan kompensator DG yang paling optimal terletak pada kasus 2 (node 53,62,85,99). Sedangkan jika menggunakan peralatan D-STATCOM di dapat hasil paling optimal pada kasus 4 (node 73,82,91,99). Dengan membandingkan kedua kasus tersebut dapat kita buktikan bahwa optimalisasi saluran dapat dilakukan dengan menerapkan kompensator DG pada node 53,62,85,dan 99, baik dari segi optimasi tegangan untuk setiap node maupun minimalisasi rugi-rugi, karena DG mempunyai beberapa karakteristik yang tidak ditemui pada kompensator lainnya dimana antara lain :

1. Rating beban maksimum DG lebih kecil dari pada pembangkit tenaga listrik (kompensator) lainnya.
2. DG sering dipakai secara pribadi.
3. DG dapat dihubungkan ke jaringan distribusi tegangan rendah (TR) maupun tegangan menengah (TM).
4. DG tidak berperan untuk pengaturan frekuensi.

Setelah dilakukan perhitungan dengan memperhatikan beberapa pengelompokkan kasus diatas (Tabel 4-3) di dapatkan hasil seperti yang ditunjukkan oleh tabel 4-6. Pemilihan Sample ditentukan pada kasus 2 karena pada kasus tersebut (bus 53,62,85,99) adalah hasil perhitungan yang paling optimal dari beberapa percobaan yang telah dilakukan.

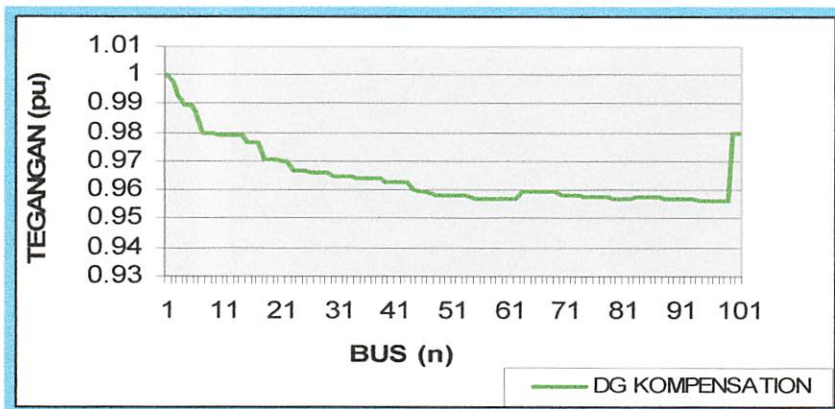
2. Tampilan Grafik Tegangan

- Sebelum Optimasi :



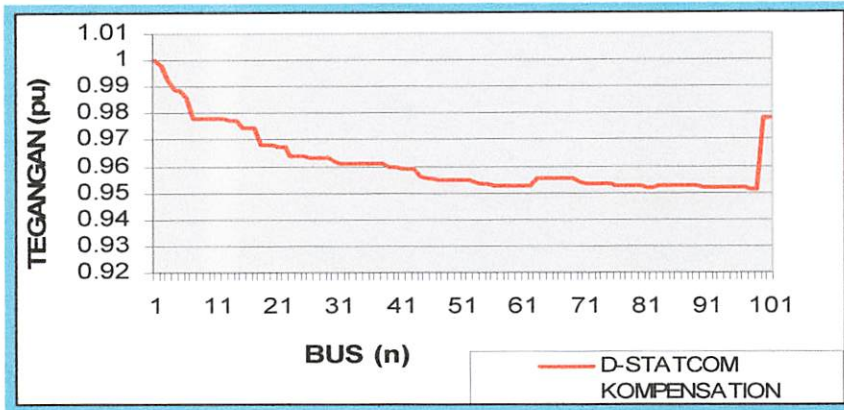
Grafik 4-1
Tampilan Tegangan Tanpa Kompensasi

- Setelah Optimasi Dengan kompensasi peralatan *Distributed Generation* pada kasus 2 :



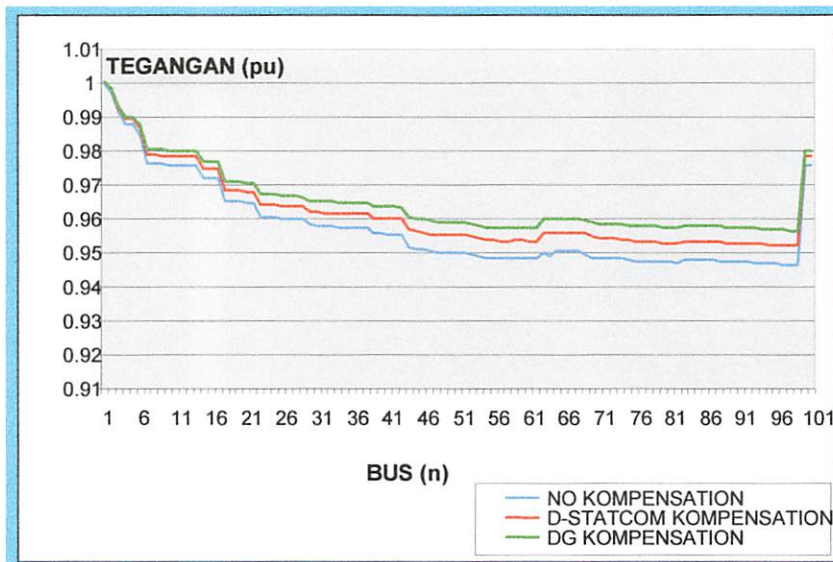
Grafik 4-2
Tampilan Tegangan Dengan Kompensasi DG

- Setelah Optimasi Dengan kompensasi peralatan *D-STATCOM* pada kasus 2 :



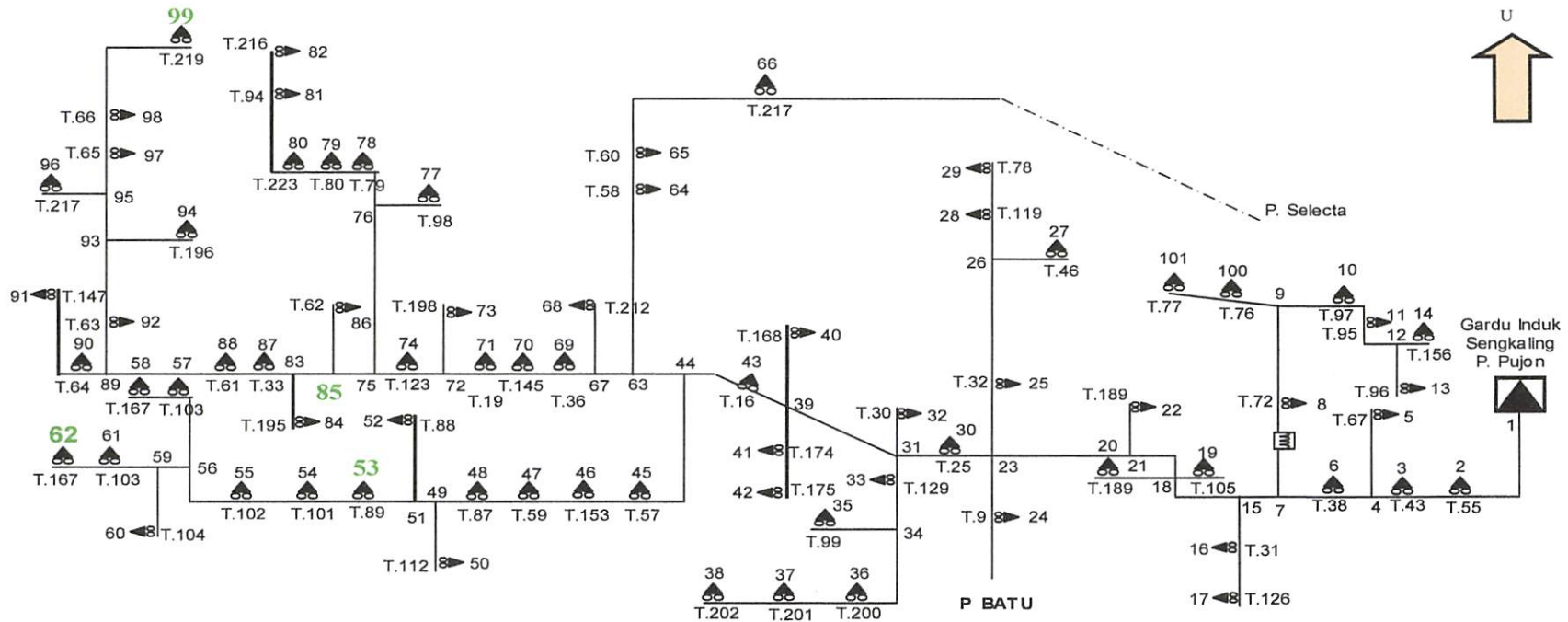
Grafik 4-3
Tampilan Tegangan Dengan Kompensasi D-STATCOM

- Perbandingan sebelum dan setelah optimasi dengan kompensasi peralatan DG dan D-STATCOM pada kasus 2 :



Grafik 4-4
Perbandingan Sebelum dan setelah Kompensasi

Single Line Diagram Penyulang Pujon

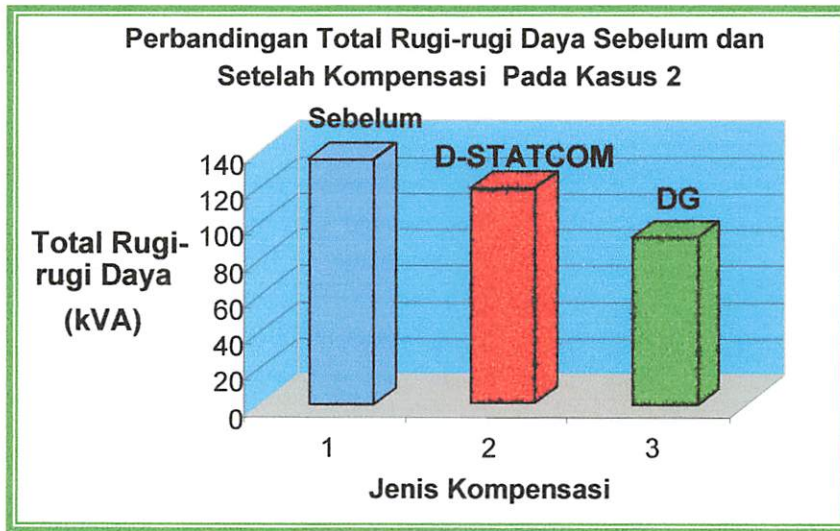


Keterangan :

- : Penempatan Peralatan Pada Node
- : Trafo
- : GARDU INDUK

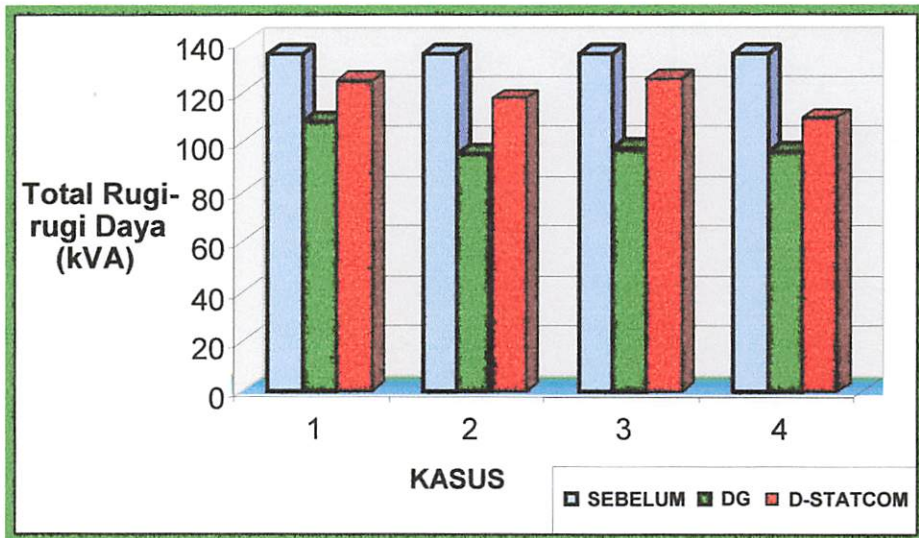
Gambar 4-4.b Single Line Diagram Penyulang Pujon Dengan Penunjukkan Penempatan Kompensator Pada Node

Dari hasil analisa aliran daya untuk tegangan menunjukkan bahwa optimasi tegangan diantara peralatan DG dan D-STATCOM terdapat perbedaan yang signifikan. Hasil tersebut membuktikan bahwa peralatan DG ternyata dapat lebih mengoptimalkan tegangan pada jaringan distribusi karena mempunyai profil tegangan yang lebih baik dari pada D-STATCOM. Sedangkan total rugi-rugi daya setelah dilakukan optimasi ditunjukkan oleh grafik 4-5 berikut ini :



Grafik 4-5
Perbandingan Total Rugi-rugi Daya Sebelum dan Setelah kompensasi Pada Kasus 2

Setelah dilakukan analisa perbandingan alat kompensasi DG vs D-STATCOM terhadap total rugi-rugi daya seperti yang telah ditunjukkan oleh tabel 4-5 diatas dan dengan mengacu pada penggolongan problem kasus 2 pada tabel 4-3 didapatkan hasil perbandingan total rugi-rugi daya sebelum dan setelah kompensasi per kasus seperti yang dtunjukkan oleh grafik 4-6 dibawah ini :



Grafik 4-6
Perbandingan Total Rugi-rugi Daya Sebelum dan Setelah kompensasi Per Kasus

Pada grafik 4-6 diatas ditunjukkan bahwa pada masing-masing kasus, ternyata kasus 2 terbukti dapat menekan rugi-rugi paling besar dibandingkan dengan kasus lainnya. Dengan melihat balok warna hijau pada kolom kedua kita dapat melihat bahwa balok tersebut berada pada posisi yang paling rendah yang menunjukkan angka total rugi-rugi daya paling kecil, yaitu dibawah 100 kVA. Balok tersebut membuktikan bahwa DG dengan karakteristik yang dimiliki ternyata dapat menekan rugi-rugi daya pada jaringan distribusi lebih besar yang tujuannya adalah untuk mendapatkan hasil optimasi yang paling optimal.

Setelah dilakukan analisis perhitungan pada jaringan menengah 20 kV sistem distribusi radial tiga fasa pada penyulang Pujon, didapat hasil optimasi sebagai berikut :

- **Sebelum optimasi :**

$$\text{Jumlah Pembangkitan} = 4121.5609 + 2535.2334i \text{ kVA}$$

$$\text{Jumlah Pembebanan} = 3986.29 + 2365.36i \text{ kVA}$$

$$\text{Jumlah Rugi-Rugi} = 135.2709 + 169.8734i \text{ kVA}$$

$$\text{Jumlah Iterasi} = 3$$

- **Optimasi menggunakan peralatan D-STATCOM :**

$$\text{Jumlah Pembangkitan} = 4099.1487 + 2507.2949i \text{ kVA}$$

$$\text{Jumlah Pembebanan} = 3986.29 + 2365.36i \text{ kVA}$$

$$\text{Jumlah Rugi-Rugi} = 112.8587 + 141.9349i \text{ kVA}$$

$$\text{Jumlah Iterasi} = 5$$

- **Optimasi menggunakan peralatan DG :**

$$\text{Jumlah Pembangkitan} = 4082.5677 + 2486.6751i \text{ kVA}$$

$$\text{Jumlah Pembebanan} = 3986.29 + 2365.36i \text{ kVA}$$

$$\text{Jumlah Rugi-Rugi} = 96.27774 + 121.3151i \text{ kVA}$$

$$\text{Jumlah Iterasi} = 5$$

Effisiensi Saluran

Untuk mendapatkan effisiensi saluran yang optimal kita dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\eta_{\text{Saluran}} = \frac{P_{3\phi \text{ Pembangkitan}} - P_{\text{rugi-rugi}}}{P_{3\phi \text{ Pembangkitan}}} \times 100\%$$

- **Sebelum optimasi :**

$$\begin{aligned}\eta_{\text{Saluran}} &= \frac{4121.5609 - 135.2709}{4121.5609} \times 100\% \\ &= 96,717\%\end{aligned}$$

- **Optimasi menggunakan peralatan D-STATCOM (pada kasus 4) :**

$$\begin{aligned}\eta_{\text{Saluran}} &= \frac{4099.1487 - 112.8587}{4099.1487} \times 100\% \\ &= 97,246\%\end{aligned}$$

- **Optimasi menggunakan peralatan DG (pada kasus 2) :**

$$\begin{aligned}\eta_{\text{Saluran}} &= \frac{4082.5677 - 96.2777}{4082.5677} \times 100\% \\ &= 97,641\%\end{aligned}$$

Dengan melihat effisiensi saluran pada perhitungan diatas kita dapat membuktikan bahwa optimasi dengan menggunakan *Distributed Generation* ternyata dapat meningkatkan profil yang lebih baik dari pada D-STATCOM dan lebih dapat menekan rugi-rugi pada saluran.

Sedangkan untuk menghitung daya aktif digunakan rumus sebagai berikut :

$$\cos \phi = \frac{P}{S}$$

Dimana : P = Daya aktif.....(kW)

S = Daya Semu.....(kVA)

Dengan mengasumsikan $\cos \phi = 0,86$ maka :

- Sebelum Kompensasi :

$$0,86 = \frac{P_{\text{Sebelum Kompensasi}} \dots (kW)}{135,2709 \text{ (kVA)}}$$

$$P_{\text{Sebelum Kompensasi}} = 135,2709 \text{ kVA} \times 0,86 = 116,3329 \text{ kW}$$

- Dengan kompensasi DG :

$$0,86 = \frac{P_{DG} \dots (kW)}{96,2777 \text{ kVA}}$$

$$P_{\text{rugi-rugi DG}} = 96,2777 \text{ kVA} \times 0,86 = 82,7988 \text{ kW}$$

- Dengan kompensasi D-STATCOM :

$$0,86 = \frac{P_{D-STATCOM} \dots (kW)}{112,8587 \text{ (kVA)}}$$

$$P_{\text{rugi-rugi D-STATCOM}} = 112,8587 \text{ kVA} \times 0,86 = 97,0584 \text{ kW}$$

Setelah didapatkan hasil rugi-rugi dalam kW, maka :

$$\begin{aligned} P_{\text{Selisih DG}} &= P_{\text{Sebelum Kompensasi}} - P_{\text{rugi-rugi DG}} \dots (kW) \\ &= 116,3329 - 82,7988 \\ &= 33,5341 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{\text{Selisih D-STATCOM}} &= P_{\text{Sebelum Kompensasi}} - P_{\text{rugi-rugi D-STATCOM}} \dots (\text{kW}) \\
&= 116,3329 - 97,0584 \\
&= 19,2745 \text{ kW}
\end{aligned}$$

Menurut SPLN untuk 1 kWh adalah senilai \$ sen 8,- sehingga dengan mengambil \$ 1 = Rp 9.500,- senilai Rp 760,- maka penghematan yang dapat dilakukan adalah sebesar :

$$\begin{aligned}
\text{Penghematan DG} &= 33,5341 \cdot 24 \cdot 365 \cdot \text{Rp } 760 \\
&= \text{Rp } 223.256.624,2,- / \text{Unit} / \text{Thn.}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Penghematan D-STATCOM} &= 19,2745 \cdot 24 \cdot 365 \cdot \text{Rp } 760 \\
&= \text{Rp } 128.321.911,2,- / \text{Unit} / \text{Thn.}
\end{aligned}$$

Setelah ditentukan jenis kompensator yang paling sesuai untuk penyulang Pujon, selanjutnya akan kita tentukan pula jenis power supply peralatan DG yang paling sesuai dengan iklim dan kondisi alam daerah tersebut. Berikut ini akan ditunjukkan data lokasi node pada kasus 2 yang akan ditempatkan peralatan DG beserta iklim dan kondisinya :

TABEL 4-7
DATA LOKASI NODE PENEMPATAN KOMPENSATOR DG

No Node	Kode Trafo	Lokasi	Iklim dan kondisi Alam
53	T89	Ds. Pujon Kidul	Pegunungan dengan beberapa air terjun
62	T167	Dk. Dadapan	Perkampungan dengan kondisi persawahan/Ladang, Berangin
85	-	Percabangan	Perkotaan dekat jalan raya
99	T129	Ds.Mantung	Perkampungan dengan kondisi berbukit, Berangin

Dengan melihat data diatas kita dapat menentukan jenis power supply peralatan DG yang paling sesuai untuk iklim dan kondisi alam pada kasus 2. Sedangkan untuk spesifikasi peralatan DG akan ditunjukkan oleh tabel berikut ini:

TABEL 4-8
DATA SPESIFIKASI DG BERDASARKAN TIPE dan APLIKASINYA

Jenis Peralatan DG	Kapasitas	Gambar	Bahan Bakar/ Sumber	Harga (\$/kW)+ Installed
Photovoltaic	5 kW		Sinar Matahari	25,000
Wind Turbine	10 kW		Hembusan Angin	12,000+400
Microturbine	250 kW		Gas Alam, bisa juga di pakai propane	250,000
Fuel Cell	100 kW		Hidrogen, bisa juga di kombinasikan dengan gas alam,propane, Proton exchange membrane (PEM) dan phosphoric acid fuel cells	200,000+400
Micro Hydro	10 kW – Atau Lebih Tergantung tipe dan aplikasinya		100 % Air	12,000

Dengan melihat tabel 4-7 dan tabel 4-8 diatas kita dapat menentukan jenis power supply yang paling sesuai dengan kondisi daerah tersebut, dimana akan dilakukan pemilihan jenis generator seperti ditunjukkan oleh tabel berikut ini :

TABEL 4-9
DATA PEMILIHAN GENERATOR DG PADA LOKASI NODE (Kasus 2)
BERDASARKAN IKLIM dan KONDISI DAERAHNYA

No Node	Lokasi	Iklm dan kondisi Alam	Generator DG
53	Ds. Pujon Kidul	Pegunungan dengan beberapa air terjun	Micro Hydro
62	Dk. Dadapan	Perkampungan dengan kondisi persawahan/Ladang, Berangin	Wind Turbine
85	Percabangan	Perkotaan dekat jalan raya	Fuel Cell
99	Ds.Mantung	Perkampungan dengan kondisi berbukit	Wind Turbine

Untuk selanjutnya kita dapat mengasumsikan berapa besar biaya yang harus di keluarkan untuk mengaplikasikan sistem DG tersebut ke penyulang Pujon. Berikut ini rincian pembiayaan optimasi DG :

TABEL 4-10
DATA SPESIFIKASI PERALATAN DG DENGAN APLIKASI
HARGA PADA KASUS 2

GENERATOR DG	KAPASITAS YANG DIPASANG	HARGA (\$)
Micro Hydro Pujon Kidul	100 kW	120,000
Wind Turbine Dadapan	100 kW	120,000
Fuel Cell percabangan	100 kW	200,400
Wind Turbine Mantung	100 kW	120,000
	Total	560,400 *

Keterangan * : Belum termasuk biaya pengaman (Proteksi), biaya konduktor, Engineer, Interkoneksi.

Sehingga pengeluaran yang harus dilakukan untuk membeli jenis generator peralatan DG adalah sebagai berikut :

Harga pokok = Total Pembelian Generator DG (\$) . Kurs dalam Rupiah
 = \$ 560,400. Rp 9.500,-
 = Rp 5.323.800.000,-

Untuk mengembalikan biaya pembelian peralatan tersebut dapat di rinci sebagai berikut :

Jika diasumsikan tingkat bunga 10% dalam 1 tahun, dan kita meminjam biaya di Bank sebesar Rp = 5.323.800.000,- maka untuk jangka waktu 1 tahun dapat digunakan rumus sebagai berikut :

$$F = P (1 + i)^n$$

Dimana :

- F = Jumlah biaya yang harus dikembalikan (Rp).
- P = Jumlah biaya semula yang kita pinjam (Rp).
- i = Tingkat bunga yang diberikan oleh Bank (%).
- n = Jumlah tahun selama uang tersebut dipinjam.

Perhitungan biaya untuk 1 tahun (Total Cost):

$$\begin{aligned} F &= \text{Rp } 5.323.800.000 \times 10\% + \text{Rp } 5.323.800.000 \\ &= \text{Rp } 5.323.800.000 \times (1 + 10\%) \\ &= \text{Rp } 5.856.180.000,- \end{aligned}$$

Total Revenue (TR) = Rp 223.256.624,2,- / Unit / Thn.

BEP : TC = TR

Maka perumusan Break Event Point / BEP-nya adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{BEP} &= \frac{\text{Total Cost}}{\text{Total Revenue}} \\ &= \frac{5.856.180.000}{223.256.624,2 * (4)} \\ &= \frac{5.856.180.000}{893.026.496,8} \\ &= 6,55 \text{ Tahun.} \end{aligned}$$

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Setelah dilakukan analisis perhitungan pada jaringan menengah 20 kV sistem distribusi radial tiga fasa pada penyulang Pujon, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil analisa aliran daya untuk tegangan menunjukkan bahwa optimasi tegangan diantara peralatan DG dan D-STATCOM terdapat perbedaan yang signifikan. Hasil tersebut membuktikan bahwa peralatan DG ternyata dapat lebih mengoptimalkan tegangan pada jaringan distribusi karena mempunyai profil tegangan yang lebih baik dari pada D-STATCOM.
2. Besar total rugi-rugi daya aktif dan daya reaktif sebelum optimasi adalah $135.2709+169.8734i$ kVA dengan Effisiensi sebesar 96,717 %, setelah optimasi dengan menggunakan peralatan DG pada bus 53,62,85,99 (kasus 2) adalah $96.27774+121.3151i$ kVA dengan Effisiensi sebesar 97,641 %, dan untuk D-STATCOM adalah $112.8587+141.9349i$ kVA dengan Effisiensi sebesar 97,246 % pada bus 73,82,91,99 (kasus 4).
3. Dengan demikian penempatan peralatan DG ditentukan sesuai dengan kasus 2 karena pada kasus tersebut (bus 53,62,85,99) memberikan hasil perhitungan yang paling optimal dari beberapa percobaan yang telah dilakukan.
4. Penghematan yang bisa diperoleh dari segi biaya adalah:
 - Penghematan_{DG} = Rp 223.256.624,2,- /Unit/Thn
 - Penghematan_{D-STATCOM} = Rp 128.321.911,2,- /Unit/Thn

5. Dengan mengamati hasil diatas dapat disimpulkan bahwa optimasi dengan menggunakan peralatan DG (*Distributed Generation*) terbukti dapat menekan rugi-rugi yang cukup besar, sehingga kompensasi yang paling optimal untuk penyulang Pujon adalah dengan menerapkan peralatan DG (*Distributed Generation*).

6. Biaya Pembelian (BP) peralatan DG sebesar Rp 5.856.180.000,- maka untuk

Break Event Point / BEP- nya adalah :

$$\text{BEP} = \frac{5.856.180.000}{223.256.624,2 * (4)}$$

$$= 6,55 \text{ Tahun.}$$

(Biaya di cover dari efisiensi/penghematan DG pada penyulang Pujon saja).

5.2. Saran

Dengan memperhatikan dari beberapa percobaan yang telah dilakukan, kita dapatkan hasil bahwa pemasangan peralatan kompensator dengan menggunakan *Distributed Generation* (DG) ternyata dapat mengoptimalkan profil tegangan pada saluran penyulang Pujon, dan berdasarkan perhitungan kasar dicapai BEP (Break Event Point) atau titik pulang pokok dalam selang waktu 6,55 tahun, maka penelitian ini dapat dipertimbangkan oleh PT. PLN (PERSERO) sebagai cara untuk lebih dapat meningkatkan efisiensi, baik dari segi biaya maupun dari segi kualitas daya yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hasan Basri “ Sistem Distribusi Tenaga Listrik”.
- [2] William D. Stevenson JR, “Analisa Sistem Tenaga”, Edisi keempat, Erlangga 1994, Jakarta
- [3] Erika Twining & Grahame Holmes, “*Power Electronics Group Departement of Electrical and Computer Systems Engineering*” Monash University, Clayton, Jurnal IEEE, 2002.
- [4] Data PT.PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur Area Malang UP-J Batu, Penyulang Pujon.
- [5] SPLN 1981 PT.PLN (Persero)
- [6] Martin Geidl, “Protection of Power Systems with Distributed Generation : State of The Art”. Swiss Federal Institute of Technology (ETH) Zurich, Journal of IEEE, 20th July, 2005.
- [7] M.H.J. Bollen, A. Sannino, *Senior Member* “*Voltage Control with Inverter-Based Distributed Generation*”, Dept. of Electric Power Engineering, Chalmers University of Technology, 412 96 Gothenburg, Journal of IEEE, Sweden, 2002.
- [8] Gregory F. Reed, Ph.D., Masatoshi Takeda, Ph.D. Isao Iyoda, Ph.D. Senior Member “*IMPROVED POWER QUALITY SOLUTIONS USING ADVANCED SOLID-STATE SWITCHING AND STATIC COMPENSATION TECHNOLOGIES*”, Mitsubishi Electric Power Products, Inc.,jurnal IEEE, 2002.
- [9] Distributed Generation, “*The Way Forward*”, ofgem factsheet 15, Journal of IEEE, February, 2002.
- [10] Olimpo Anaya-Lara and E. Acha, “Modeling and Analysis of Custom Power Systems by PSCAD/EMTDC”, IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL. 17, NO. 1, Journal of IEEE, January 2002
- [11] Submission to the Ministerial Council on Energy Standing Committee of Officials, **Impediments to the Uptake of Renewable and Distributed Generation– Discussion Paper**, 40 Blackall Street, Barton ACT 2600, Journal of IEEE, 31 March 2006.
- [12] Distributed Generation for Energy Consumers by Patricia Dijak, Power Measurement, Victoria, Journal of IEEE, BC, October 12, 2001.
- [13] *Kari Mäki, Sami Repo, Pertti Järventausta*, “**IMPACTS OF DISTRIBUTED GENERATION AS A PART OF DISTRIBUTION NETWORK PLANNING**”, *Tampere University of Technology, Institute of Power Engineering kari.maki@tut.fi*. Journal of IEEE.
- [14] N Jenkins, **UK Overview of Research and Development Progress, Outlook and Needs Ways forward for Connecting Renewables and Distributed Generation: UK and European perspectives**, Journal of IEEE, 18th October 2004.
- [15] Gaudenz Kouppel, *Distributed Generation – Literature Review and Outline Of The Swiss situation*, Zurich, Journal of IEEE, November 2003.

- [16] Distributed Resource Generation, Northern Indiana Public Service Company, Journal of IEEE, July 1st, 2000.
- [17] Nikos Hatziargyriou, nh@Power.ece.ntua.gr, POWER SYSTEM OPERATION AND CONTROL INCLUDING DEMAND RESPONSE AND MICROGRIDS, National Technical University Of Athens, Journal of IEEE, Dec 4-6 2007.
- [18] RULES FOR INTERCONNECTING DISTRIBUTED GENERATION FACILITIES, Journal of IEEE, No. 577, January, 2004

LAMPIRAN A



PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI

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

Hari : Rabu
Tanggal : 21 Maret 2007
Telah dilakukan perbaikan skripsi oleh :

1. Nama : Puguh Harjo Purwanto
2. NIM : 00.12.054
3. Jurusan : Teknik Elektro
4. Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
5. Judul Skripsi : **OPTIMASI PROFIL TEGANGAN PADA JARINGAN DISTRIBUSI TIPE RADIAL 20 kV UNTUK MENGATASI JATUH TEGANGAN PADA PENYULANG PUJON DENGAN MENGGUNAKAN VSI DEVICE**

Perbaikan meliputi :

No	Materi Perbaikan	Paraf
1.	Seyogyanya Tujuan disesuaikan dg Kesimpulan atau sebaliknya.	

Disetujui :

(Ir. Teguh Herbasuki, MT)
Penguji Pertama

(Ir. Yunion Siahaan)
Penguji Kedua

Mengetahui :

Dosen Pembimbing I

Ir. H. Almizan Abdullah, MSEE
NIP.P. 103 9000 208

Dosen Pembimbing II

Irrine Budi S, ST MT
NIP. 132 314 400

: 0341 - 326034 (Hunting)
: 211

Facsimile : 0341 - 362046

Nomor : 0876 /330/ APJ-MLG/ 2006
Surat Sdr.No : ITN-1654/III.TA/2/06
Lampiran : -
Perihal : Survey

Malang, 20 Juni 2006

Kepada
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Nasional Malang
Jl. Raa Karanglo, Km 2
Di
MALANG

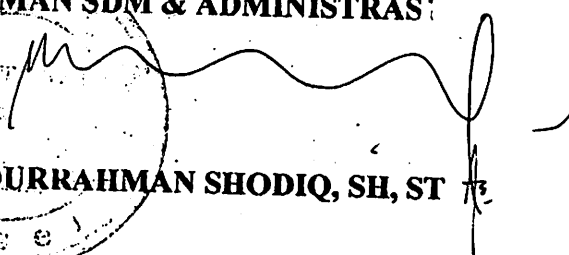
Dengan Hormat,
Menindak lanjuti surat Saudara nomor ITN-1654/III.TA/2/06 tanggal 15 Mei 2006 perihal tersebut di atas, maka dengan ini kami beritahukan bahwa pada prinsipnya kami tidak keberatan / mengizinkan mahasiswa saudara atas nama :

PUGUH HARJO PURWANTO NIM : 00.12.054

Untuk melaksanakan Survey di PT. PLN (PERSERO) Area Pelayanan dan Jaringan Malang mulai tanggal 21 Juni 2006 sampai dengan 21 Juli 2006 dengan catatan PLN hanya memberikan data yang **TIDAK BERSIFAT RAHASIA**.

Sebelumnya diminta agar mahasiswa tersebut mengisi surat pernyataan, dilengkapi dengan pas photo ukuran 3 X 4 Cm di SDM & Administrasi PT. PLN (Persero) Area Pelayanan dan Jaringan Malang.

Demikian agar menjadikan maklum.

ASMAN SDM & ADMINISTRASI

ABDURRAHMAN SHODIQ, SH, ST

Tembusan

1. Supervisor Terkait
2. Manajer UP & UPJ Terkait

* LAMPIRAN B

**DATA PEMBEBANAN PENYULANG PUJON BESERTA
PENGUBAH DALAM SATUAN pu**

No Node	Tegangan Awal		Pembebanan				Type Node
	V (pu)	θ (°)	P (kW)	Q (kVAR)	P (pu)	Q (pu)	
1	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0	Slack
2	1.0000	0.0000	44.5700	26.5200	1.485667	0.884	Load
3	1.0000	0.0000	96.3200	57.1200	0.321067	1.904	Load
4	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0	Load
5	1.0000	0.0000	34.4000	20.4000	1.146667	0.680	Load
6	1.0000	0.0000	27.5200	16.3200	0.917333	0.544	Load
7	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0	Load
8	1.0000	0.0000	54.1800	32.1300	1.806	1.071	Load
9	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0	Load
10	1.0000	0.0000	122.9800	72.9300	4.099333	2.431	Load
11	1.0000	0.0000	79.9800	47.4300	2.666	1.581	Load
12	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0	Load
13	1.0000	0.0000	68.8000	40.8000	2.293333	1.36	Load
14	1.0000	0.0000	17.3400	10.6900	0.578	0.356333	Load
15	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0	Load
16	1.0000	0.0000	32.6800	19.3800	1.089333	0.646	Load
17	1.0000	0.0000	128.6800	80.3800	4.289333	2.679333	Load
18	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0	Load
19	1.0000	0.0000	72.7800	47.2300	2.426	1.574333	Load
20	1.0000	0.0000	67.0800	39.7800	2.236	1.326	Load
21	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0	Load
22	1.0000	0.0000	77.4000	49.9000	2.580	1.663333	Load
23	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0	Load
24	1.0000	0.0000	143.6200	85.1700	4.787333	2.839	Load
25	1.0000	0.0000	72.2400	44.8400	2.408	1.494667	Load
26	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0	Load
27	1.0000	0.0000	97.1800	57.6300	3.239333	1.921	Load
28	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0	Load
29	1.0000	0.0000	104.9200	62.2200	3.497333	2.074	Load
30	1.0000	0.0000	22.3600	13.2600	0.745333	0.442	Load
31	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0	Load
32	1.0000	0.0000	33.5400	19.8900	1.118	0.663	Load
33	1.0000	0.0000	94.6000	56.1000	3.153333	1.87	Load
34	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0	Load
35	1.0000	0.0000	57.6200	34.1700	1.920667	1.139	Load
36	1.0000	0.0000	8.6000	5.1000	0.286667	0.17	Load
37	1.0000	0.0000	6.8800	4.0800	0.229333	0.136	Load
38	1.0000	0.0000	1.7200	1.0200	0.057333	0.034	Load
39	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0	Load
40	1.0000	0.0000	10.3200	6.1200	0.344	0.204	Load
41	1.0000	0.0000	80.8400	47.9400	2.694667	1.598	Load
42	1.0000	0.0000	13.7600	8.1600	0.458667	0.272	Load
43	1.0000	0.0000	61.0600	36.2100	2.035333	1.207	Load
44	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0	Load
45	1.0000	0.0000	55.9000	33.1500	1.863333	1.105	Load
46	1.0000	0.0000	71.3800	42.3300	2.379333	1.411	Load
47	1.0000	0.0000	59.3400	35.1900	1.978	1.173	Load
48	1.0000	0.0000	55.9000	33.1500	1.863333	1.105	Load

49	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0	Load
50	1.0000	0.0000	47.3000	28.0500	1.576667	0.935	Load
51	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0	Load
52	1.0000	0.0000	29.2400	17.3400	0.974667	0.578	Load
53	1.0000	0.0000	88.5800	52.5300	2.952667	1.751	Load
54	1.0000	0.0000	28.3800	16.8300	0.946	0.561	Load
55	1.0000	0.0000	70.5200	41.8200	2.350667	1.394	Load
56	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0	Load
57	1.0000	0.0000	32.6800	19.3800	1.089333	0.646	Load
58	1.0000	0.0000	10.3200	6.1200	0.344	0.204	Load
59	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0	Load
60	1.0000	0.0000	38.7000	22.9500	1.29	0.765	Load
61	1.0000	0.0000	19.7800	11.7300	0.659333	0.391	Load
62	1.0000	0.0000	33.5400	9.8900	1.118	0.329667	Load
63	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0	Load
64	1.0000	0.0000	30.9600	18.3600	1.032	0.612	Load
65	1.0000	0.0000	103.2000	61.2000	3.440	2.040	Load
66	1.0000	0.0000	12.0400	7.1400	0.401333	0.238	Load
67	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0	Load
68	1.0000	0.0000	13.7600	8.1600	0.458667	0.272	Load
69	1.0000	0.0000	92.8800	55.0800	3.096	1.836	Load
70	1.0000	0.0000	40.4200	23.9700	1.347333	0.799	Load
71	1.0000	0.0000	71.3800	42.3300	2.379333	1.411	Load
72	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0	Load
73	1.0000	0.0000	47.3000	28.0500	1.576667	0.935	Load
74	1.0000	0.0000	90.3000	53.5500	3.010	1.785	Load
75	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0	Load
76	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0	Load
77	1.0000	0.0000	60.2000	35.7000	2.006667	1.190	Load
78	1.0000	0.0000	105.7800	62.7300	3.526	2.091	Load
79	1.0000	0.0000	40.4200	23.9700	1.347333	0.799	Load
80	1.0000	0.0000	13.7600	8.1600	0.458667	0.272	Load
81	1.0000	0.0000	46.4400	27.5400	1.548	0.918	Load
82	1.0000	0.0000	66.2200	39.2700	2.207333	1.309	Load
83	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0	Load
84	1.0000	0.0000	24.9400	14.7900	0.831333	0.493	Load
85	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0	Load
86	1.0000	0.0000	98.0400	58.1400	3.268	1.938	Load
87	1.0000	0.0000	113.52	67.3200	3.784	2.244	Load
88	1.0000	0.0000	61.9200	36.7200	2.064	1.224	Load
89	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0	Load
90	1.0000	0.0000	30.9600	18.3600	1.032	0.612	Load
91	1.0000	0.0000	24.9400	14.7900	0.831333	0.493	Load
92	1.0000	0.0000	36.9600	21.9300	1.232	0.731	Load
93	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0	Load
94	1.0000	0.0000	13.7600	8.1600	0.458667	0.272	Load
95	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0	Load
96	1.0000	0.0000	12.0400	7.1400	0.401333	0.238	Load
97	1.0000	0.0000	105.7800	62.7300	3.526	2.091	Load
98	1.0000	0.0000	54.1800	32.1300	1.806	1.071	Load
99	1.0000	0.0000	39.5600	23.4600	1.318667	0.782	Load
100	1.0000	0.0000	37.840	22.450	1.26133	0.748	Load
101	1.0000	0.0000	86.0000	51.0000	2.866667	1.700	Load

**DATA PEMBEBANAN PENYULANG PUJON BESERTA
PENUNJUKKAN COS θ (°)**

No Node	Tegangan Awal		Pembebanan				Cos θ	Type Node
	V (pu)	θ (°)	P (kW)	Q (kVAR)	P (pu)	Q (pu)		
1	1	0	0	0	0	0	0	Slack
2	1	0	44.57	26.52	1.485667	0.884	0.8594	Load
3	1	0	96.32	57.12	0.321067	1.904	0.8601	Load
4	1	0	0	0	0	0	0	Load
5	1	0	34.4	20.4	1.146667	0.68	0.8602	Load
6	1	0	27.52	16.32	0.917333	0.544	0.8602	Load
7	1	0	0	0	0	0	0	Load
8	1	0	54.18	32.13	1.806	1.071	0.8601	Load
9	1	0	0	0	0	0	0	Load
10	1	0	122.98	72.93	4.099333	2.431	0.8601	Load
11	1	0	79.98	47.43	2.666	1.581	0.8601	Load
12	1	0	0	0	0	0	0	Load
13	1	0	68.8	40.8	2.293333	1.36	0.8602	Load
14	1	0	17.34	10.69	0.578	0.356333	0.8512	Load
15	1	0	0	0	0	0	0	Load
16	1	0	32.68	19.38	1.089333	0.646	0.8602	Load
17	1	0	128.68	80.38	4.289333	2.679333	0.8481	Load
18	1	0	0	0	0	0	0	Load
19	1	0	72.78	47.23	2.426	1.574333	0.8388	Load
20	1	0	67.08	39.78	2.236	1.326	0.8602	Load
21	1	0	0	0	0	0	0	Load
22	1	0	77.4	49.9	2.58	1.663333	0.8404	Load
23	1	0	0	0	0	0	0	Load
24	1	0	143.62	85.17	4.787333	2.839	0.8601	Load
25	1	0	72.24	44.84	2.408	1.494667	0.8496	Load
26	1	0	0	0	0	0	0	Load
27	1	0	97.18	57.63	3.239333	1.921	0.8601	Load
28	1	0	0	0	0	0	0.8619	Load
29	1	0	104.92	62.22	3.497333	2.074	0.8601	Load
30	1	0	22.36	13.26	0.745333	0.442	0.8603	Load
31	1	0	0	0	0	0	0	Load
32	1	0	33.54	19.89	1.118	0.663	0.8602	Load
33	1	0	94.6	56.1	3.153333	1.87	0.8601	Load
34	1	0	0	0	0	0	0	Load
35	1	0	57.62	34.17	1.920667	1.139	0.8602	Load
36	1	0	8.6	5.1	0.286667	0.17	0.8601	Load
37	1	0	6.88	4.08	0.229333	0.136	0.8602	Load
38	1	0	1.72	1.02	0.057333	0.034	0.8643	Load
39	1	0	0	0	0	0	0	Load
40	1	0	10.32	6.12	0.344	0.204	0.8607	Load
41	1	0	80.84	47.94	2.694667	1.598	0.8601	Load
42	1	0	13.76	8.16	0.458667	0.272	0.8605	Load
43	1	0	61.06	36.21	2.035333	1.207	0.8602	Load
44	1	0	0	0	0	0	0	Load
45	1	0	55.9	33.15	1.863333	1.105	0.8601	Load
46	1	0	71.38	42.33	2.379333	1.411	0.8602	Load
47	1	0	59.34	35.19	1.978	1.173	0.8602	Load
48	1	0	55.9	33.15	1.863333	1.105	0.8601	Load


49	1	0	0	0	0	0	0	0	Load
50	1	0	47.3	28.05	1.576667	0.935	0.8601	0.8601	Load
51	1	0	0	0	0	0	0	0	Load
52	1	0	29.24	17.34	0.974667	0.578	0.8602	0.8602	Load
53	1	0	88.58	52.53	2.952667	1.751	0.8601	0.8601	Load
54	1	0	28.38	16.83	0.946	0.561	0.8602	0.8602	Load
55	1	0	70.52	41.82	2.350667	1.394	0.8602	0.8602	Load
56	1	0	0	0	0	0	0	0	Load
57	1	0	32.68	19.38	1.089333	0.646	0.8602	0.8602	Load
58	1	0	10.32	6.12	0.344	0.204	0.8607	0.8607	Load
59	1	0	0	0	0	0	0	0	Load
60	1	0	38.7	22.95	1.29	0.765	0.8601	0.8601	Load
61	1	0	19.78	11.73	0.659333	0.391	0.8603	0.8603	Load
62	1	0	33.54	9.89	1.118	0.329667	0.9593	0.9593	Load
63	1	0	0	0	0	0	0	0	Load
64	1	0	30.96	18.36	1.032	0.612	0.8602	0.8602	Load
65	1	0	103.2	61.2	3.44	2.04	0.8601	0.8601	Load
66	1	0	12.04	7.14	0.401333	0.238	0.8606	0.8606	Load
67	1	0	0	0	0	0	0	0	Load
68	1	0	13.76	8.16	0.458667	0.272	0.8605	0.8605	Load
69	1	0	92.88	55.08	3.096	1.836	0.8601	0.8601	Load
70	1	0	40.42	23.97	1.347333	0.799	0.86	0.86	Load
71	1	0	71.38	42.33	2.379333	1.411	0.8602	0.8602	Load
72	1	0	0	0	0	0	0	0	Load
73	1	0	47.3	28.05	1.576667	0.935	0.8601	0.8601	Load
74	1	0	90.3	53.55	3.01	1.785	0.8601	0.8601	Load
75	1	0	0	0	0	0	0	0	Load
76	1	0	0	0	0	0	0	0	Load
77	1	0	60.2	35.7	2.006667	1.19	0.8602	0.8602	Load
78	1	0	105.78	62.73	3.526	2.091	0.8599	0.8599	Load
79	1	0	40.42	23.97	1.347333	0.799	0.8601	0.8601	Load
80	1	0	13.76	8.16	0.458667	0.272	0.8605	0.8605	Load
81	1	0	46.44	27.54	1.548	0.918	0.8601	0.8601	Load
82	1	0	66.22	39.27	2.207333	1.309	0.8602	0.8602	Load
83	1	0	0	0	0	0	0	0	Load
84	1	0	24.94	14.79	0.831333	0.493	0.8602	0.8602	Load
85	1	0	0	0	0	0	0	0	Load
86	1	0	98.04	58.14	3.268	1.938	0.8601	0.8601	Load
87	1	0	113.52	67.32	3.784	2.244	0.8601	0.8601	Load
88	1	0	61.92	36.72	2.064	1.224	0.8602	0.8602	Load
89	1	0	0	0	0	0	0	0	Load
90	1	0	30.96	18.36	1.032	0.612	0.8602	0.8602	Load
91	1	0	24.94	14.79	0.831333	0.493	0.8602	0.8602	Load
92	1	0	36.96	21.93	1.232	0.731	0.8601	0.8601	Load
93	1	0	0	0	0	0	0	0	Load
94	1	0	13.76	8.16	0.458667	0.272	8605	8605	Load
95	1	0	0	0	0	0	0	0	Load
96	1	0	12.04	7.14	0.401333	0.238	0.8606	0.8606	Load
97	1	0	105.78	62.73	3.526	2.091	0.8599	0.8599	Load
98	1	0	54.18	32.13	1.806	1.071	0.8601	0.8601	Load
99	1	0	39.56	23.46	1.318667	0.782	0.8601	0.8601	Load
100	1	0	37.84	22.45	1.26133	0.748	0.8601	0.8601	Load
101	1	0	86	51	2.866667	1.7	0.8601	0.8601	Load

Data Pembebanan Penyulang Pujon Beserta Lokasi.

Nomer Node	Kode Trafo	Lokasi	Pembebanan		Type Bus	Nomer Node	Kode Trafo	Lokasi	Pembebanan		Type Bus
			P (kW)	Q (kVAR)					P (kW)	Q (kVAR)	
1			0.000	0.000	Slack	52	T88	Ds.Pujon Kidul	29.24	17.34	Load
2	T55	Jl.Ngandat	44.57	26.52	Load	53	T89	Ds.Pujon Kidul	88.58	52.53	Load
3	T43	Jl.Raya Mojorejo	96.32	57.12	Load	54	T101	Dk.iyan	28.38	16.83	Load
4			0.000	0.000	Load	55	T102	Dk.Bakir	70.52	41.82	Load
5	T63	Ds.Beji	34.4	20.4	Load	56			0.000	0.000	Load
6	T38	Jl.Raya Beji	27.52	16.32	Load	57	T103	Dk.Cual	32.68	19.38	Load
7			0.000	0.000	Load	58	T167	Dk.Dadapan	10.32	6.120	Load
8	T72	Emanuel Temas	54.18	32.13	Load	59			0.000	0.000	Load
9			0.000	0.000	Load	60	T104	Ds.Cukal	38.70	22.95	Load
10	T97	Ds.Temas Klerk	122.98	72.93	Load	61	T166	Dk.Tretes	19.78	11.73	Load
11	T95	Ds.Torong Rejo	79.98	47.43	Load	62	T167	Dk.Dadapan	33.54	9.890	Load
12			0.000	0.000	Load	63			0.000	0.000	Load
13	T156	Ds.Wukir	68.8	40.8	Load	64	T58	Dk.Pandemas	30.96	18.36	Load
14	T96	Ds.torong Rejo Tutup	17.34	10.69	Load	65	T60	Ds.Jurang	103.2	61.20	Load
15			0.000	0.000	Load	66	T217	Ds.Brau	12.04	7.140	Load
16	T31	Jl.Sudiro	32.68	19.38	Load	67			0.000	0.000	Load
17	T126	Jl.Sudiro	128.6	80.38	Load	68	T212	Dk.Don Bayi	13.76	8.160	Load
18			0.000	0.000	Load	69	T36	Ds.Pandesari	92.88	55.08	Load
19	T105	Rs Paru-paru	72.78	47.23	Load	70	T145	Dk.Watu	40.42	23.97	Load
20	T189	Jl.Kasiman	67.08	39.78	Load	71	T19	Jl.Raya Pujon	71.38	42.33	Load
21			0.000	0.000	Load	72			0.000	0.000	Load
22	T188	Jl.Lesti	77.4	49.9	Load	73	T198	Pasar Baru	47.30	28.05	Load
23			0.000	0.000	Load	74	T123	Jl.Raya Pujon	90.30	53.55	Load
24	T9	Jl. Hasanudin	143.6	85.17	Load	75			0.000	0.000	Load
25	T32	Jl. Indragiri	72.24	44.84	Load	76			0.000	0.000	Load
26			0.000	0.000	Load	77	T98	Dk.Kalangan	60.20	35.70	Load
27	T46	Ds.Sumerrejo	97.18	57.63	Load	78	T79	Ds.Wiyun R	105.7	62.73	Load
28	T199	Ds.Sumerrejo	3.87	2.296	Load	79	T80	Ds.Madirejo	40.42	23.97	Load
29	T78	Ds.Satrehan	104.92	62.22	Load	80	T223	Dk.Sobo	13.76	8.160	Load
30	T25	Jl.Trunojoyo	22.36	13.26	Load	81	T94	Dk.Delik	46.44	27.54	Load
31			0.000	0.000	Load	82	T216	Dk.Delik	66.22	39.27	Load
32	T30	Ds.Songgoriti	33.54	19.89	Load	83			0.000	0.000	Load
33	T129	Jl.Flamboyan	94.6	56.1	Load	84	T195	KOP SAE	24.94	14.79	Load
34			0.000	0.000	Load	85		Percabangan	0.000	0.000	Load
35	T99	Jl.Flamboyan	57.62	34.17	Load	86	T62	KOP SAE	98.04	58.14	Load
36	T200	Ds.Tanbuh	8.6	5.1	Load	87	T33	Ds.Ngroto	113.5	67.32	Load
37	T201	Ds.Tanbuh	6.88	4.08	Load	88	T61	Ds.Ngroto	61.92	36.72	Load
38	T202	Ds.Tanbuh	1.72	1.02	Load	89			0.000	0.000	Load

39			0.000	0.000	Load	90	T64	Dk.Lebaksari	30.96	18.36	Load
40	T168	Bukit Pinus	10.32	6.12	Load	91	T147	Dk.Terong	24.94	14.79	Load
41	T174	Jl.Songgoriti	80.84	47.94	Load	92	T63	Dk.Mantung	36.96	21.93	Load
42	T175	Jl.Songgoriti	13.76	8.16	Load	93			0.000	0.000	Load
43	T16	Jl.Songgoriti	61.06	36.21	Load	94	T196	Dk.Bunder	13.76	8.160	Load
44			0.000	0.000	Load	95			0.000	0.000	Load
45	T57	Dk.Sebaluh	55.9	33.15	Load	96	T197	Dk.Ngebrong	12.04	7.140	Load
46	T153	Dk.Sebaluh	71.38	42.33	Load	97	T65	Ds.Ngaab	105.7	62.73	Load
47	T59	Dk.Maroon	59.34	35.19	Load	98	T66	Ds.Ngabab	54.18	32.13	Load
48	T87	Dk.Maroon	55.9	33.15	Load	99	T219	Ds.Mantung	39.56	23.46	Load
49			0.000	0.000	Load	100	T76	Ds.Mantung	37.84	22.45	Load
50	T112	Ds.Gunung Sari	47.30	28.050	Load	101	T77	Dk.Gerih	86.00	51.00	Load
51			0.000	0.000	load						

Keterangan :

 : Lokasi pemasangan Kompensator

Data Impedansi Saluran Penyulang Pujon.

Saluran	Dari Node	Ke Node	Panjang (m)	Impedansi Saluran	
				R (Ω)	X (Ω)
1	1	2	580.3	0.1255	0.1918
2	2	3	1432.6	0.3097	0.4735
3	3	4	863.9	0.1868	0.2855
4	4	5	85.4	0.0185	0.0282
5	5	6	683.3	0.1477	0.2258
6	6	7	2082.8	0.4503	0.6884
7	7	8	154.4	0.0334	0.051
8	8	9	414.5	0.0896	0.137
9	9	10	896.5	0.1938	0.2963
10	10	11	463.5	0.1002	0.1532
11	11	12	452	0.0097	0.1494
12	12	13	1424.5	0.308	0.4708
13	12	14	1233	0.2666	0.4075
14	7	15	1244.8	0.2691	0.4114
15	15	16	90.5	0.0196	0.0299
16	16	17	20.4	0.0044	0.0067
17	15	18	338	0.0731	0.1117
18	18	19	182.2	0.049	0.0615
19	18	20	402.8	0.1083	0.136
20	18	21	304.3	0.0658	0.1006
21	21	22	293.7	0.079	0.0992
22	21	23	1257.4	0.2719	0.4156
23	23	24	406.5	0.0879	0.1344
24	23	25	154.2	0.0995	0.0567
25	25	26	627.4	0.5783	0.2378
26	26	27	6.4	0.0059	0.0024
27	26	28	204.2	0.1882	0.0774
28	28	29	1145.9	1.0562	0.4343
29	23	30	868.2	0.1877	0.2869
30	30	31	141.2	0.0305	0.0467
31	31	32	848.8	0.1835	0.2805
32	31	33	272.5	0.1758	0.1002
33	33	34	1127.05	0.7272	0.4145
34	34	35	102.2	0.0659	0.0376
35	34	36	496.35	0.1073	0.164
36	36	37	282.5	0.0611	0.0934
37	37	38	294.5	0.0637	0.0973
38	31	39	943.3	0.2039	0.3118
39	39	40	302.31	0.1951	0.1112
40	39	41	548.11	0.1185	0.1812
41	41	42	105.9	0.0229	0.035
42	39	43	40.5	0.0088	0.0134
43	43	44	1653.6	0.3575	0.5465
44	44	45	785.2	0.1698	0.2595
45	45	46	335.9	0.0726	0.111
46	46	47	793.2	0.1715	0.2622
47	47	48	571	0.1235	0.1887
48	48	49	365.5	0.079	0.1208

49	49	50	729	0.1578	0.2412
50	49	51	54.10	0.0117	0.0179
51	51	52	121.8	0.0263	0.0403
52	51	53	940.35	0.2033	0.3108
53	53	54	1715.3	0.7904	0.6127
54	54	55	1192.7	0.5496	0.426
55	55	56	1123.5	0.2429	0.3713
56	56	57	1353.3	0.2926	0.4473
57	57	58	1067.1	0.2307	0.3527
58	56	59	396.5	0.0857	0.131
59	59	60	296.8	0.0642	0.0981
60	59	61	1093.4	0.2364	0.3614
61	61	62	1162.6	0.2514	0.3842
62	44	63	497.1	0.1075	0.1643
63	63	64	570.4	0.1233	0.1885
64	64	65	907	0.1961	0.2996
65	65	66	1769.8	0.3826	0.5849
66	63	67	135.2	0.0292	0.0447
67	67	68	821.6	0.1776	0.2715
68	67	69	110.15	0.0238	0.0364
69	69	70	891.3	0.1927	0.2946
70	70	71	603.2	0.1304	0.1994
71	71	72	27.3	0.0059	0.009
72	72	73	233.1	0.0504	0.077
73	72	74	258.7	0.0559	0.0855
74	74	75	198.1	0.0428	0.0655
75	75	76	1538.1	0.3325	0.5083
76	76	77	381.43	0.0895	0.1261
77	76	78	472	0.1021	0.156
78	78	79	449.6	0.0972	0.1486
79	79	80	721.4	0.156	0.2384
80	80	81	940.5	0.2033	0.3108
81	80	82	1428.3	0.3088	0.4721
82	75	83	322.1	0.0696	0.1065
83	83	84	186.4	0.0403	0.0616
84	83	85	98.5	0.0213	0.0326
85	85	86	243.9	0.0527	0.0806
86	85	87	205.3	0.0444	0.0679
87	87	88	590.3	0.1276	0.1951
88	88	89	856.6	0.1852	0.2831
89	89	90	458.3	0.0991	0.1515
90	90	91	1162.2	0.2513	0.3841
91	89	92	207.4	0.0448	0.0686
92	92	93	1061.5	0.2295	0.3508
93	93	94	1321.52	0.8527	0.4861
94	93	95	385.1	0.2485	0.1416
95	95	96	478.3	0.3086	0.1759
96	95	97	332.6	0.2146	0.1223
97	97	98	1161.5	0.7494	0.4272
98	98	99	100.4	0.0217	0.0332
99	99	100	785.8	0.507	0.289
100	100	101	285.3	0.1841	0.1049

SEBELUM OPTIMASI

Jumlah Bus = 101
 Jumlah iterasi = 3
 Waktu Hitung = 0.764 detik

Bus	Tegangan (pu)		Pembangkitan		Pembebanan	
			mw	mvar	mw	mvar
1	1.00000	0.00000	4121.561	2535.233	0.000	0.000
2	0.99749	-0.00118	0.000	0.000	44.570	26.520
3	0.99137	-0.00410	0.000	0.000	96.320	57.120
4	0.98777	-0.00583	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0.98777	-0.00583	0.000	0.000	34.400	20.400
6	0.98495	-0.00720	0.000	0.000	27.520	16.320
7	0.97643	-0.01139	0.000	0.000	0.000	0.000
8	0.97635	-0.01143	0.000	0.000	54.180	32.130
9	0.97615	-0.01152	0.000	0.000	73.100	43.350
10	0.97588	-0.01166	0.000	0.000	122.980	72.930
11	0.97580	-0.01170	0.000	0.000	79.980	47.430
12	0.97577	-0.01174	0.000	0.000	0.000	0.000
13	0.97567	-0.01179	0.000	0.000	68.800	40.800
14	0.97575	-0.01175	0.000	0.000	17.340	10.690
15	0.97200	-0.01359	0.000	0.000	0.000	0.000
16	0.97199	-0.01359	0.000	0.000	32.680	19.380
17	0.97198	-0.01360	0.000	0.000	128.680	80.380
18	0.96549	-0.01084	0.000	0.000	0.000	0.000
19	0.96547	-0.01084	0.000	0.000	72.780	47.230
20	0.96546	-0.01085	0.000	0.000	67.080	39.780
21	0.96451	-0.01133	0.000	0.000	0.000	0.000
22	0.96448	-0.01134	0.000	0.000	77.400	49.900
23	0.96055	-0.01333	0.000	0.000	0.000	0.000
24	0.96049	-0.01336	0.000	0.000	143.620	85.170
25	0.96053	-0.01333	0.000	0.000	72.240	44.840
26	0.96017	-0.01327	0.000	0.000	0.000	0.000
27	0.96017	-0.01327	0.000	0.000	97.180	57.630
28	0.96017	-0.01327	0.000	0.000	0.000	0.000
29	0.95981	-0.01322	0.000	0.000	104.920	62.220
30	0.95822	-0.01452	0.000	0.000	22.360	13.260
31	0.95784	-0.01472	0.000	0.000	0.000	0.000
32	0.95781	-0.01473	0.000	0.000	33.540	19.890
33	0.95774	-0.01471	0.000	0.000	94.600	56.100
34	0.95755	-0.01471	0.000	0.000	0.000	0.000
35	0.95753	-0.01471	0.000	0.000	57.620	34.170
36	0.95752	-0.01472	0.000	0.000	8.600	5.100
37	0.95752	-0.01472	0.000	0.000	6.880	4.080
38	0.95752	-0.01472	0.000	0.000	1.720	1.020
39	0.95553	-0.01590	0.000	0.000	0.000	0.000
40	0.95553	-0.01590	0.000	0.000	10.320	2.870
41	0.95548	-0.01593	0.000	0.000	80.840	47.940
42	0.95548	-0.01593	0.000	0.000	13.760	8.160
43	0.95544	-0.01595	0.000	0.000	61.060	36.210
44	0.95169	-0.01789	0.000	0.000	0.000	0.000
45	0.95115	-0.01817	0.000	0.000	55.900	33.150
46	0.95094	-0.01828	0.000	0.000	71.380	42.330
47	0.95050	-0.01852	0.000	0.000	59.340	35.190
48	0.95022	-0.01867	0.000	0.000	55.900	33.150
49	0.95007	-0.01875	0.000	0.000	0.000	0.000
50	0.95003	-0.01877	0.000	0.000	47.300	28.050
51	0.95005	-0.01876	0.000	0.000	0.000	0.000
52	0.95004	-0.01876	0.000	0.000	29.240	17.340
53	0.94973	-0.01894	0.000	0.000	88.580	52.530
54	0.94903	-0.01905	0.000	0.000	28.380	16.830
55	0.94861	-0.01912	0.000	0.000	70.520	41.820
56	0.94845	-0.01922	0.000	0.000	0.000	0.000
57	0.94839	-0.01925	0.000	0.000	32.680	19.380
58	0.94838	-0.01926	0.000	0.000	10.320	6.120
59	0.94842	-0.01924	0.000	0.000	0.000	0.000
60	0.94841	-0.01925	0.000	0.000	38.700	22.950

61	0.94836	-0.01928	0.000	0.000	19.780	11.730
62	0.94833	-0.01931	0.000	0.000	33.540	9.890
63	0.95090	-0.01829	0.000	0.000	0.000	0.000
64	0.95081	-0.01834	0.000	0.000	30.960	18.360
65	0.95070	-0.01839	0.000	0.000	103.200	61.200
66	0.95068	-0.01841	0.000	0.000	12.040	7.140
67	0.95071	-0.01839	0.000	0.000	0.000	0.000
68	0.95070	-0.01839	0.000	0.000	13.760	8.160
69	0.95056	-0.01847	0.000	0.000	92.880	55.080
70	0.94939	-0.01907	0.000	0.000	40.420	23.970
71	0.94863	-0.01946	0.000	0.000	71.380	42.330
72	0.94860	-0.01948	0.000	0.000	0.000	0.000
73	0.94859	-0.01948	0.000	0.000	47.300	28.050
74	0.94831	-0.01963	0.000	0.000	90.300	53.550
75	0.94810	-0.01973	0.000	0.000	0.000	0.000
76	0.94755	-0.02002	0.000	0.000	0.000	0.000
77	0.94752	-0.02003	0.000	0.000	60.200	35.700
78	0.94741	-0.02009	0.000	0.000	105.780	62.730
79	0.94732	-0.02014	0.000	0.000	40.420	23.970
80	0.94723	-0.02019	0.000	0.000	13.760	8.160
81	0.94711	-0.02025	0.000	0.000	46.440	27.540
82	0.94701	-0.02030	0.000	0.000	66.220	39.270
83	0.94789	-0.01984	0.000	0.000	0.000	0.000
84	0.94788	-0.01985	0.000	0.000	24.940	14.790
85	0.94782	-0.01988	0.000	0.000	0.000	0.000
86	0.94780	-0.01989	0.000	0.000	98.040	58.140
87	0.94771	-0.01993	0.000	0.000	113.520	67.320
88	0.94747	-0.02006	0.000	0.000	61.920	36.720
89	0.94717	-0.02021	0.000	0.000	0.000	0.000
90	0.94714	-0.02023	0.000	0.000	30.960	18.360
91	0.94711	-0.02025	0.000	0.000	24.940	14.790
92	0.94711	-0.02025	0.000	0.000	36.960	21.930
93	0.94685	-0.02038	0.000	0.000	0.000	0.000
94	0.94681	-0.02038	0.000	0.000	13.760	8.160
95	0.94667	-0.02038	0.000	0.000	0.000	0.000
96	0.94665	-0.02038	0.000	0.000	12.040	7.140
97	0.94652	-0.02037	0.000	0.000	105.780	62.730
98	0.94627	-0.02037	0.000	0.000	54.180	32.130
99	0.94626	-0.02037	0.000	0.000	39.560	23.460
100	0.97600	-0.01152	0.000	0.000	0.000	0.000
101	0.97595	-0.01152	0.000	0.000	86.000	51.000

Aliran Daya Antar Saluran

Bus				Bus			
from	to	Daya mw	mvar	from	to	Daya mw	mvar
1	2	4121.561	2535.233	2	1	-4114.215	-2524.006
2	3	4069.645	2497.486	3	2	-4051.903	-2470.361
3	4	3955.583	2413.241	4	3	-3945.381	-2397.649
4	5	34.400	20.400	5	4	-34.400	-20.400
4	6	3910.981	2377.249	6	4	-3903.054	-2365.130
6	7	3875.534	2348.810	7	6	-3851.703	-2312.378
7	8	502.565	298.599	8	7	-502.535	-298.553
7	15	3349.138	2013.779	15	7	-3338.362	-1997.304
8	9	448.355	266.423	9	8	-448.291	-266.326
9	10	289.173	171.965	10	9	-289.116	-171.877
9	100	86.018	51.010	100	9	-86.005	-51.003
10	11	166.136	98.947	11	10	-166.126	-98.932
11	12	86.146	51.502	12	11	-86.145	-51.498
12	13	68.805	40.808	13	12	-68.800	-40.800
12	14	17.340	10.690	14	12	-17.340	-10.690
15	16	161.362	99.763	16	15	-161.360	-99.760
15	18	3177.000	1897.541	18	15	-3150.511	-1893.493
16	17	128.680	80.380	17	16	-128.680	-80.380
18	19	72.781	47.231	19	18	-72.780	-47.230
18	20	67.082	39.782	20	18	-67.080	-39.780
18	21	3010.649	1806.480	21	18	-3008.473	-1803.154
21	22	77.402	49.902	22	21	-77.400	-49.900

21	23	2931.071	1753.252	23	21	-2922.548	-1740.223
23	24	143.627	85.180	24	23	-143.620	-85.170
23	25	72.242	44.841	25	23	-72.240	-44.840
23	26	202.229	119.903	26	23	-202.143	-119.868
23	30	2504.450	1490.299	30	23	-2500.130	-1483.696
26	27	97.180	57.630	27	26	-97.180	-57.630
26	29	104.963	62.238	29	26	-104.920	-62.220
30	31	2477.770	1470.436	31	30	-2477.081	-1469.381
31	32	33.541	19.891	32	31	-33.540	-19.890
31	33	169.455	100.490	33	31	-169.436	-100.480
31	39	2274.085	1349.000	39	31	-2270.201	-1343.060
33	34	74.836	44.380	34	33	-74.821	-44.371
34	35	74.821	44.371	35	34	-74.820	-44.370
35	36	17.200	10.200	36	35	-17.200	-10.200
36	37	8.600	5.100	37	36	-8.600	-5.100
37	38	1.720	1.020	38	37	-1.720	-1.020
39	40	10.320	2.870	40	39	-10.320	-2.870
39	41	94.604	56.106	41	39	-94.600	-56.100
39	43	2165.276	1284.083	43	39	-2165.124	-1283.851
41	42	13.760	8.160	42	41	-13.760	-8.160
43	44	2104.064	1247.641	44	43	-2098.205	-1238.685
44	45	642.565	371.816	45	44	-642.307	-371.421
44	63	1455.640	866.869	63	44	-1454.788	-865.568
45	46	586.407	338.271	46	45	-586.315	-338.131
46	47	514.935	295.801	47	46	-514.768	-295.545
47	48	455.428	260.355	48	47	-455.334	-260.211
48	49	399.434	227.061	49	48	-399.388	-226.991
49	50	47.301	28.052	50	49	-47.300	-28.050
49	51	352.086	198.939	51	49	-352.081	-198.931
51	52	29.240	17.340	52	51	-29.240	-17.340
51	53	322.841	181.590	53	51	-322.764	-181.472
53	54	234.184	128.942	54	53	-234.027	-128.821
54	55	205.647	111.991	55	54	-205.564	-111.926
55	56	135.044	70.106	56	55	-135.028	-70.082
56	57	43.002	25.503	57	56	-43.000	-25.500
56	59	92.026	44.579	59	56	-92.023	-44.575
57	58	10.320	6.120	58	57	-10.320	-6.120
59	60	38.700	22.951	60	59	-38.700	-22.950
59	61	53.323	21.625	61	59	-53.321	-21.621
61	62	33.541	9.891	62	61	-33.540	-9.890
63	64	146.220	86.730	64	63	-146.210	-86.715
63	67	1308.568	778.837	67	63	-1308.381	-778.551
64	65	115.250	68.355	65	64	-115.240	-68.340
65	66	12.040	7.140	66	65	-12.040	-7.140
67	68	13.760	8.160	68	67	-13.760	-8.160
67	69	1294.621	770.391	69	67	-1294.472	-770.162
69	70	1201.592	715.082	70	69	-1200.549	-713.488
70	71	1160.129	689.518	71	70	-1159.470	-688.511
71	72	1088.090	646.181	72	71	-1088.064	-646.141
72	73	47.300	28.051	73	72	-47.300	-28.050
72	74	1040.764	618.090	74	72	-1040.536	-617.742
74	75	950.236	564.192	75	74	-950.091	-563.970
75	76	333.023	197.680	76	75	-332.884	-197.468
75	83	617.068	366.290	83	75	-616.968	-366.137
76	77	60.201	35.702	77	76	-60.200	-35.700
76	78	272.683	161.766	78	76	-272.654	-161.723
78	79	166.874	98.993	79	78	166.864	98.977
79	80	126.444	75.007	80	79	-126.435	-74.993
80	81	112.675	66.833	81	80	-112.665	-66.818
81	82	66.225	39.278	82	81	-66.220	-39.270
83	84	24.940	14.790	84	83	-24.940	-14.790
83	85	592.028	351.347	85	83	-592.000	-351.304
85	86	98.042	58.143	86	85	-98.040	-58.140
85	87	493.958	293.161	87	85	-493.917	-293.099
87	88	380.397	225.779	88	87	-380.328	-225.673
88	89	318.408	188.953	89	88	-318.337	-188.845
89	90	55.902	33.153	90	89	-55.901	-33.151
89	92	262.436	155.692	92	89	-262.424	-155.674
90	91	24.941	14.791	91	90	-24.940	-14.790
92	93	225.464	133.744	93	92	-225.420	-133.677
93	94	13.761	8.160	94	93	-13.760	-8.160

93	95	211.659	125.517	95	93	-211.617	-125.493
95	96	12.040	7.140	96	95	-12.040	-7.140
95	97	199.577	118.353	97	95	-199.545	-118.334
97	98	93.765	55.604	98	97	-93.740	-55.590
98	99	39.560	23.460	99	98	-39.560	-23.460
100	101	86.005	51.003	101	100	-86.000	-51.000

Rugi Daya Antar Saluran

Bus		Rugi	
from	to	mw	mvar
1	2	7.346	11.227
2	3	17.741	27.125
3	4	10.202	15.592
4	5	0.000	0.000
4	6	7.927	12.119
6	7	23.831	36.432
7	8	0.030	0.046
7	15	10.776	16.475
8	9	0.064	0.098
9	10	0.058	0.088
9	100	0.013	0.008
10	11	0.010	0.015
11	12	0.000	0.004
12	13	0.005	0.008
12	14	0.000	0.000
15	16	0.002	0.003
15	18	26.488	4.048
16	17	0.000	0.000
18	19	0.001	0.001
18	20	0.002	0.002
18	21	2.175	3.326
21	22	0.002	0.002
21	23	8.524	13.028
23	24	0.007	0.010
23	25	0.002	0.001
23	26	0.087	0.036
23	30	4.320	6.602
26	27	0.000	0.000
26	28	0.000	0.000
26	29	0.043	0.018
30	31	0.689	1.056
31	32	0.001	0.001
31	33	0.019	0.011
31	39	3.884	5.940
33	34	0.015	0.009
34	35	0.001	0.001
35	36	0.000	0.000
36	37	0.000	0.000
37	38	0.000	0.000
39	40	0.000	0.000
39	41	0.004	0.006
39	43	0.153	0.233
41	42	0.000	0.000
43	44	5.858	8.956
44	45	0.258	0.395
44	63	0.852	1.302
45	46	0.092	0.141
46	47	0.167	0.256
47	48	0.094	0.144
48	49	0.046	0.071
49	50	0.001	0.002
49	51	0.005	0.008
51	52	0.000	0.000
51	53	0.077	0.118
53	54	0.157	0.121
54	55	0.084	0.065
55	56	0.016	0.024

56	57	0.002	0.003
56	59	0.002	0.004
57	58	0.000	0.000
59	60	0.000	0.001
59	61	0.002	0.003
61	62	0.001	0.001
63	64	0.010	0.015
63	67	0.187	0.287
64	65	0.010	0.015
65	66	0.000	0.000
67	68	0.000	0.000
67	69	0.149	0.228
69	70	1.042	1.594
70	71	0.659	1.007
71	72	0.026	0.040
72	73	0.000	0.001
72	74	0.228	0.348
74	75	0.145	0.222
75	76	0.139	0.212
75	83	0.100	0.153
76	77	0.001	0.002
76	78	0.029	0.044
78	79	0.010	0.016
79	80	0.009	0.014
80	81	0.010	0.015
81	82	0.005	0.008
83	84	0.000	0.000
83	85	0.028	0.043
85	86	0.002	0.003
85	87	0.041	0.062
87	88	0.069	0.106
88	89	0.071	0.108
89	90	0.001	0.002
89	92	0.012	0.018
90	91	0.001	0.001
92	93	0.044	0.067
93	94	0.001	0.000
93	95	0.042	0.024
95	96	0.000	0.000
95	97	0.032	0.018
97	98	0.025	0.014
98	99	0.000	0.000
100	101	0.005	0.003

Jumlah Pembangkitan = 4121.5609+2535.2334i kVA
 Jumlah Pembebanan = 3986.29+2365.36i kVA
 Jumlah Rugi-Rugi = 135.2709+169.8734i kVA
 Jumlah Iterasi = 3

Optimasi D-STATCOM Pada Kasus 4 (bus 73,82,91,99) :

Hasil Perhitungan Aliran Daya
Dengan Metode Newton-Raphson

Jumlah Bus = 101
Jumlah iterasi = 5
Waktu Hitung = 0.57813 detik

Bus	Tegangan (pu)		Pembangkitan		Pembebanan	
	Real	Imaginer	kw	kvar	kw	kvar
1	1.00000	0.00000	4099.149	1800.502	0.000	0.000
2	0.99785	-0.00140	0.000	0.000	44.570	26.520
3	0.99262	-0.00486	0.000	0.000	96.320	57.120
4	0.98956	-0.00692	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0.98956	-0.00692	0.000	0.000	34.400	20.400
6	0.98717	-0.00855	0.000	0.000	27.520	16.320
7	0.97995	-0.01353	0.000	0.000	0.000	0.000
8	0.97987	-0.01357	0.000	0.000	54.180	32.130
9	0.97967	-0.01366	0.000	0.000	73.100	43.350
10	0.97940	-0.01380	0.000	0.000	122.980	72.930
11	0.97932	-0.01384	0.000	0.000	79.980	47.430
12	0.97930	-0.01387	0.000	0.000	0.000	0.000
13	0.97919	-0.01392	0.000	0.000	68.800	40.800
14	0.97927	-0.01388	0.000	0.000	17.340	10.690
15	0.97630	-0.01620	0.000	0.000	0.000	0.000
16	0.97629	-0.01621	0.000	0.000	32.680	19.380
17	0.97629	-0.01621	0.000	0.000	128.680	80.380
18	0.97004	-0.01486	0.000	0.000	0.000	0.000
19	0.97002	-0.01486	0.000	0.000	72.780	47.230
20	0.97001	-0.01487	0.000	0.000	67.080	39.780
21	0.96925	-0.01547	0.000	0.000	0.000	0.000
22	0.96922	-0.01548	0.000	0.000	77.400	49.900
23	0.96609	-0.01796	0.000	0.000	0.000	0.000
24	0.96602	-0.01759	0.000	0.000	143.620	85.170
25	0.96606	-0.01796	0.000	0.000	72.240	44.840
26	0.96571	-0.01791	0.000	0.000	0.000	0.000
27	0.96571	-0.01791	0.000	0.000	97.180	57.630
28	0.96571	-0.01791	0.000	0.000	0.000	0.000
29	0.96535	-0.01785	0.000	0.000	104.920	62.220
30	0.96430	-0.01950	0.000	0.000	22.360	13.260
31	0.96401	-0.01975	0.000	0.000	0.000	0.000
32	0.96398	-0.01976	0.000	0.000	33.540	19.890
33	0.96391	-0.01974	0.000	0.000	94.600	56.100
34	0.96372	-0.01974	0.000	0.000	0.000	0.000
35	0.96370	-0.01974	0.000	0.000	57.620	34.170
36	0.96369	-0.01974	0.000	0.000	8.600	5.100
37	0.96369	-0.01975	0.000	0.000	6.880	4.080
38	0.96369	-0.01975	0.000	0.000	1.720	1.020
39	0.96229	-0.02130	0.000	0.000	0.000	0.000
40	0.96229	-0.02130	0.000	0.000	10.320	2.870
41	0.96224	-0.02133	0.000	0.000	90.840	47.940
42	0.96224	-0.02133	0.000	0.000	13.760	8.160
43	0.96222	-0.02137	0.000	0.000	61.060	36.210
44	0.95951	-0.02396	0.000	0.000	0.000	0.000
45	0.95898	-0.02424	0.000	0.000	55.900	33.150
46	0.95877	-0.02435	0.000	0.000	71.380	42.330
47	0.95834	-0.02458	0.000	0.000	59.340	35.190
48	0.95806	-0.02473	0.000	0.000	55.900	33.150
49	0.95791	-0.02481	0.000	0.000	0.000	0.000
50	0.95787	-0.02483	0.000	0.000	47.300	28.050
51	0.95789	-0.02482	0.000	0.000	0.000	0.000
52	0.95788	-0.02482	0.000	0.000	29.240	17.340
53	0.95757	-0.02499	0.000	0.000	88.580	52.530
54	0.95688	-0.02511	0.000	0.000	28.380	16.830
55	0.95646	-0.02518	0.000	0.000	70.520	41.820
56	0.95631	-0.02527	0.000	0.000	0.000	0.000
57	0.95624	-0.02530	0.000	0.000	32.680	19.380
58	0.95623	-0.02530	0.000	0.000	10.320	6.120
59	0.95627	-0.02529	0.000	0.000	0.000	0.000
60	0.95626	-0.02530	0.000	0.000	38.700	22.950
61	0.95622	-0.02533	0.000	0.000	19.780	11.730
62	0.95618	-0.02536	0.000	0.000	33.540	9.890

63	0.95904	-0.02456	0.000	0.000	0.000	0.000
64	0.95895	-0.02461	0.000	0.000	30.960	18.360
65	0.95884	-0.02466	0.000	0.000	103.200	61.200
66	0.95881	-0.02468	0.000	0.000	12.040	7.140
67	0.95893	-0.02471	0.000	0.000	0.000	0.000
68	0.95892	-0.02472	0.000	0.000	13.760	8.160
69	0.95884	-0.02484	0.000	0.000	92.880	55.080
70	0.95824	-0.02580	0.000	0.000	40.420	23.970
71	0.95785	-0.02643	0.000	0.000	71.380	42.330
72	0.95783	-0.02646	0.000	0.000	0.000	0.000
73	0.95785	-0.02649	0.000	138.907	47.300	28.050
74	0.95767	-0.02670	0.000	0.000	90.300	53.550
75	0.95757	-0.02687	0.000	0.000	0.000	0.000
76	0.95728	-0.02733	0.000	0.000	0.000	0.000
77	0.95725	-0.02734	0.000	0.000	60.200	35.700
78	0.95722	-0.02745	0.000	0.000	105.780	62.730
79	0.95722	-0.02755	0.000	0.000	40.420	23.970
80	0.95724	-0.02768	0.000	0.000	13.760	8.160
81	0.95729	-0.02785	0.000	0.000	46.440	27.540
82	0.95743	-0.02807	0.000	198.373	66.220	39.270
83	0.95746	-0.02705	0.000	0.000	0.000	0.000
84	0.95745	-0.02705	0.000	0.000	24.940	14.790
85	0.95742	-0.02710	0.000	0.000	0.000	0.000
86	0.95740	-0.02711	0.000	0.000	98.040	58.140
87	0.95738	-0.02720	0.000	0.000	113.520	67.320
88	0.95733	-0.02745	0.000	0.000	61.920	36.720
89	0.95731	-0.02779	0.000	0.000	0.000	0.000
90	0.95736	-0.02786	0.000	0.000	30.960	18.360
91	0.95753	-0.02801	0.000	199.994	24.940	14.790
92	0.95728	-0.02784	0.000	0.000	36.960	21.930
93	0.95718	-0.02808	0.000	0.000	0.000	0.000
94	0.95713	-0.02808	0.000	0.000	13.760	8.160
95	0.95705	-0.02819	0.000	0.000	0.000	0.000
96	0.95704	-0.02819	0.000	0.000	12.040	7.140
97	0.95696	-0.02829	0.000	0.000	105.780	62.730
98	0.95690	-0.02863	0.000	0.000	54.180	32.130
99	0.95691	-0.02864	0.000	169.519	39.560	23.460
100	0.97952	-0.01366	0.000	0.000	0.000	0.000
101	0.97947	-0.01366	0.000	0.000	86.000	51.000

Aliran Daya Antar Saluran

Bus		Daya		Bus		Daya	
from	to	kw	kvar	from	to	kw	kvar
1	2	4099.149	1800.502	2	1	-4092.860	-1790.891
2	3	4048.290	1764.371	3	2	-4033.125	-1741.186
3	4	3936.805	1684.066	4	3	-3928.115	-1670.785
4	5	34.400	20.400	5	4	-34.400	-20.400
4	6	3893.715	1650.384	6	4	-3886.971	-1640.074
6	7	3859.451	1623.754	7	6	-3839.198	-1592.792
7	8	502.564	298.597	8	7	-502.534	-298.552
7	15	3336.635	1294.195	15	7	-3327.662	-1280.478
8	9	448.354	266.422	9	8	-448.291	-266.325
9	10	289.173	171.965	10	9	-289.115	-171.877
9	100	86.018	51.010	100	9	-86.005	-51.003
10	11	166.135	98.947	11	10	-166.126	-98.932
11	12	86.146	51.502	12	11	-86.145	-51.498
12	13	68.805	40.808	13	12	-68.800	-40.800
12	14	17.340	10.690	14	12	-17.340	-10.690
15	16	161.362	99.763	16	15	-161.360	-99.760
15	18	3166.300	1180.714	18	15	-3144.405	-1177.369
16	17	128.680	80.380	17	16	-128.680	-80.380
18	19	72.781	47.231	19	18	-72.780	-47.230
18	20	67.082	39.782	20	18	-67.080	-39.780
18	21	3004.542	1090.355	21	18	-3002.756	-1087.625
21	22	77.402	49.902	22	21	-77.400	-49.900
21	23	2925.355	1037.723	23	21	-2918.383	-1027.067
23	24	143.627	85.180	24	23	-143.620	-85.170
23	25	72.242	44.841	25	23	-72.240	-44.840
23	26	202.228	119.903	26	23	-202.142	-119.867
23	30	2500.287	777.143	30	23	-2496.840	-771.875
26	27	97.180	57.630	27	26	-97.180	-57.630
26	29	104.962	62.237	29	26	-104.920	-62.220
30	31	2474.480	758.615	31	30	-2473.931	-757.774

31	32	33.541	19.891	32	31	-33.540	-19.890
31	33	169.455	100.490	33	31	-169.436	-100.479
31	39	2270.936	637.393	39	31	-2267.884	-632.726
33	34	74.836	44.379	34	33	-74.821	-44.371
34	35	74.821	44.371	35	34	-74.820	-44.370
35	36	17.200	10.200	36	35	-17.200	-10.200
36	37	8.600	5.100	37	36	-8.600	-5.100
37	38	1.720	1.020	38	37	-1.720	-1.020
39	40	10.320	2.870	40	39	-10.320	-2.870
39	41	94.604	56.106	41	39	-94.600	-56.100
39	43	2162.960	573.750	43	39	-2162.841	-573.569
41	42	13.760	8.160	42	41	-13.760	-8.160
43	44	2101.781	537.359	44	43	-2097.238	-530.415
44	45	642.549	371.794	45	44	-642.295	-371.406
44	63	1454.689	158.621	63	44	-1454.064	-157.665
45	46	586.395	338.256	46	45	-586.305	-338.117
46	47	514.925	295.787	47	46	-514.760	-295.536
47	48	455.420	260.346	48	47	-455.328	-260.204
48	49	399.428	227.054	49	48	-399.382	-226.985
49	50	47.301	28.052	50	49	-47.300	-28.050
49	51	352.081	198.933	51	49	-352.076	-198.925
51	52	29.240	17.340	52	51	-29.240	-17.340
51	53	322.836	181.585	53	51	-322.760	-181.469
53	54	234.180	128.939	54	53	-234.026	-128.819
54	55	205.646	111.989	55	54	-205.563	-111.926
55	56	135.043	70.106	56	55	-135.028	-70.082
56	57	43.002	25.503	57	56	-43.000	-25.500
56	59	92.026	44.579	59	56	-92.023	-44.575
57	58	10.320	6.120	58	57	-10.320	-6.120
59	60	38.700	22.951	60	59	-38.700	-22.950
59	61	53.323	21.625	61	59	-53.321	-21.621
61	62	33.541	9.891	62	61	-33.540	-9.890
63	64	146.219	86.730	64	63	-146.210	-86.715
63	67	1307.844	70.936	67	63	-1307.708	-70.727
64	65	115.250	68.355	65	64	-115.240	-68.340
65	66	12.040	7.140	66	65	-12.040	-7.140
67	68	13.760	8.160	68	67	-13.760	-8.160
67	69	1293.948	62.567	69	67	-1293.840	-62.401
69	70	1200.960	7.321	70	69	-1200.204	-6.165
70	71	1159.784	-17.805	71	70	-1159.306	18.535
71	72	1087.926	-60.865	72	71	-1087.907	60.894
72	73	47.302	-110.854	73	72	-47.300	110.857
72	74	1040.605	49.960	74	72	-1040.440	-49.707
74	75	950.140	-3.843	75	74	-950.034	4.004
75	76	333.008	-0.716	76	75	-332.907	0.870
75	83	617.027	-3.288	83	75	-616.954	3.398
76	77	60.201	35.702	77	76	-60.200	-35.700
76	78	272.706	-36.572	78	76	-272.685	36.604
78	79	166.905	-99.334	79	78	-166.895	99.349
79	80	126.475	-123.319	80	79	-126.462	123.339
80	81	112.702	-131.499	81	80	-112.685	131.525
81	82	66.245	-159.065	82	81	-66.220	159.103
83	84	24.940	14.790	84	83	-24.940	-14.790
83	85	592.014	-18.189	85	83	-591.994	18.220
85	86	98.042	58.143	86	85	-98.040	-58.140
85	87	493.952	-76.363	87	85	-493.922	76.409
87	88	380.402	-143.729	88	87	-380.344	143.817
88	89	318.424	-180.537	89	88	-318.357	180.640
89	90	55.932	-166.794	90	89	-55.924	166.807
89	92	262.424	-13.846	92	89	-262.416	13.859
90	91	24.964	-185.167	91	90	-24.940	185.204
92	93	225.456	-35.789	93	92	-225.423	35.839
93	94	13.761	8.160	94	93	-13.760	-8.160
93	95	211.663	-43.999	95	93	-211.631	44.017
95	96	12.040	7.140	96	95	-12.040	-7.140
95	97	199.591	-51.157	97	95	-199.566	51.171
97	98	93.786	-113.901	98	97	-93.741	113.927
98	99	39.561	-146.057	99	98	-39.560	146.059
100	101	86.005	51.003	101	100	-86.000	-51.000

Rugi Daya Antar Saluran

Bus		Rugi	
from	to	kw	kvar
1	2	6.289	9.611
2	3	15.164	23.185
3	4	8.690	13.281
4	5	0.000	0.000
4	6	6.744	10.310
6	7	20.253	30.962
7	8	0.030	0.045
7	15	8.973	13.718
8	9	0.063	0.097
9	10	0.057	0.087
9	100	0.013	0.008
10	11	0.010	0.015
11	12	0.000	0.004
12	13	0.005	0.008
12	14	0.000	0.000
15	16	0.002	0.003
15	18	21.895	3.346
16	17	0.000	0.000
18	19	0.001	0.001
18	20	0.002	0.002
18	21	1.786	2.731
21	22	0.002	0.002
21	23	6.971	10.656
23	24	0.007	0.010
23	25	0.002	0.001
23	26	0.086	0.035
23	30	3.447	5.268
26	27	0.000	0.000
26	28	0.000	0.000
26	29	0.042	0.017
30	31	0.549	0.841
31	32	0.001	0.001
31	33	0.018	0.010
31	39	3.052	4.667
33	34	0.015	0.008
34	35	0.001	0.001
35	36	0.000	0.000
36	37	0.000	0.000
37	38	0.000	0.000
39	40	0.000	0.000
39	41	0.004	0.006
39	43	0.119	0.181
41	42	0.000	0.000
43	44	4.543	6.945
44	45	0.254	0.388
44	63	0.625	0.955
45	46	0.090	0.138
46	47	0.164	0.251
47	48	0.093	0.141
48	49	0.045	0.069
49	50	0.001	0.002
49	51	0.005	0.008
51	52	0.000	0.000
51	53	0.076	0.116
53	54	0.154	0.119
54	55	0.082	0.064
55	56	0.015	0.023
56	57	0.002	0.003
56	59	0.002	0.004
57	58	0.000	0.000
59	60	0.000	0.001
59	61	0.002	0.003
61	62	0.001	0.001
63	64	0.010	0.015
63	67	0.136	0.208

64	65	0.010	0.015
65	66	0.000	0.000
67	68	0.000	0.000
67	69	0.109	0.166
69	70	0.756	1.155
70	71	0.478	0.730
71	72	0.019	0.029
72	73	0.002	0.003
72	74	0.165	0.253
74	75	0.105	0.161
75	76	0.101	0.154
75	83	0.072	0.111
76	77	0.001	0.002
76	78	0.021	0.032
78	79	0.010	0.015
79	80	0.013	0.020
80	81	0.017	0.025
81	82	0.025	0.038
83	84	0.000	0.000
83	85	0.020	0.031
85	86	0.002	0.003
85	87	0.030	0.046
87	88	0.058	0.088
88	89	0.068	0.103
89	90	0.008	0.013
89	92	0.008	0.013
90	91	0.024	0.037
92	93	0.033	0.050
93	94	0.001	0.000
93	95	0.032	0.018
95	96	0.060	0.000
95	97	0.025	0.014
97	98	0.045	0.025
98	99	0.001	0.002
100	101	0.005	0.003

 Jumlh Pmbangkitn = 4099.1487+2507.2949i kVA
 Jumlah Pembebanan = 3986.29+2365.36i kVA
 Jumlah Rugi-Rugi = 112.8587+141.9349i kVA
 Jumlah Iterasi = 5

Tampilan Hasil Program DG Pada Kasus 2 (Bus Ke 53,62,85,99) :

Hasil Perhitungan Aliran Daya
Dengar. Metode Newton-Raphson

Jumlah Bus = 101
Jumlah iterasi = 5
Waktu Hitung = 0.57813 detik

Bus	Tegangan (pu)		Pembangkitan		Pembebanan	
			kw	kvar	kw	kvar
1	1.00000	0.00000	3682.582	2052.532	0.000	0.000
2	0.99786	-0.00112	0.000	0.000	44.570	26.520
3	0.99265	-0.00389	0.000	0.000	96.320	57.120
4	0.98960	-0.00553	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0.98960	-0.00553	0.000	0.000	34.400	20.400
6	0.98722	-0.00682	0.000	0.000	27.520	16.320
7	0.98001	-0.01076	0.000	0.000	0.000	0.000
8	0.97993	-0.01080	0.000	0.000	54.180	32.130
9	0.97973	-0.01090	0.000	0.000	73.100	43.350
10	0.97946	-0.01103	0.000	0.000	122.980	72.930
11	0.97938	-0.01107	0.000	0.000	79.980	47.430
12	0.97936	-0.01111	0.000	0.000	0.000	0.000
13	0.97926	-0.01116	0.000	0.000	68.800	40.800
14	0.97934	-0.01112	0.000	0.000	17.340	10.690
15	0.97637	-0.01281	0.000	0.000	0.000	0.000
16	0.97636	-0.01282	0.000	0.000	32.680	19.380
17	0.97635	-0.01282	0.000	0.000	128.680	80.380
18	0.97080	-0.01084	0.000	0.000	0.000	0.000
19	0.97078	-0.01084	0.000	0.000	72.780	47.230
20	0.97077	-0.01085	0.000	0.000	67.080	39.730
21	0.97001	-0.01129	0.000	0.000	0.000	0.000
22	0.96998	-0.01130	0.000	0.000	77.400	49.900
23	0.96685	-0.01314	0.000	0.000	0.000	0.000
24	0.96678	-0.01317	0.000	0.000	143.620	85.170
25	0.96682	-0.01314	0.000	0.000	72.240	44.840
26	0.96647	-0.01308	0.000	0.000	0.000	0.000
27	0.96647	-0.01308	0.000	0.000	97.180	57.630
28	0.96647	-0.01308	0.000	0.000	0.000	0.000
29	0.96611	-0.01303	0.000	0.000	104.920	62.220
30	0.96505	-0.01423	0.000	0.000	22.360	13.260
31	0.96477	-0.01440	0.000	0.000	0.000	0.000
32	0.96474	-0.01442	0.000	0.000	33.540	19.890
33	0.96466	-0.01440	0.000	0.000	94.600	56.100
34	0.96447	-0.01440	0.000	0.000	0.000	0.000
35	0.96446	-0.01440	0.000	0.000	57.620	34.170
36	0.96445	-0.01440	0.000	0.000	8.600	5.100
37	0.96445	-0.01440	0.000	0.000	6.880	4.080
38	0.96445	-0.01440	0.000	0.000	1.720	1.020
39	0.96305	-0.01547	0.000	0.000	0.000	0.000
40	0.96304	-0.01547	0.000	0.000	10.320	2.870
41	0.96299	-0.01550	0.000	0.000	80.840	47.940
42	0.96299	-0.01550	0.000	0.000	13.760	8.160
43	0.96298	-0.01552	0.000	0.000	61.060	36.210
44	0.96026	-0.01725	0.000	0.000	0.000	0.000
45	0.95996	-0.01749	0.000	0.000	55.900	33.150
46	0.95986	-0.01759	0.000	0.000	71.380	42.330
47	0.95967	-0.01778	0.000	0.000	59.340	35.190
48	0.95957	-0.01790	0.000	0.000	55.900	33.150
49	0.95953	-0.01796	0.000	0.000	0.000	0.000
50	0.95949	-0.01798	0.000	0.000	47.300	28.050
51	0.95953	-0.01797	0.000	0.000	0.000	0.000
52	0.95952	-0.01797	0.000	0.000	29.240	17.340
53	0.95950	-0.01810	99.999	75.859	88.580	52.530
54	0.95925	-0.01836	0.000	0.000	28.380	16.830
55	0.95914	-0.01854	0.000	0.000	70.520	41.820
56	0.95919	-0.01862	0.000	0.000	0.000	0.000
57	0.95913	-0.01866	0.000	0.000	32.680	19.380
58	0.95912	-0.01866	0.000	0.000	10.320	6.120
59	0.95923	-0.01865	0.000	0.000	0.000	0.000
60	0.95922	-0.01865	0.000	0.000	38.700	22.950

61	0.95938	-0.01868	0.000	0.000	19.780	11.730
62	0.95956	-0.01871	99.991	148.536	33.540	9.890
63	0.95963	-0.01762	0.000	0.000	0.000	0.000
64	0.95954	-0.01766	0.000	0.000	30.960	18.360
65	0.95943	-0.01772	0.000	0.000	103.200	61.200
66	0.95940	-0.01773	0.000	0.000	12.040	7.140
67	0.95948	-0.01771	0.000	0.000	0.000	0.000
68	0.95947	-0.01771	0.000	0.000	13.760	8.160
69	0.95936	-0.01778	0.000	0.000	92.880	55.080
70	0.95847	-0.01832	0.000	0.000	40.420	23.970
71	0.95789	-0.01867	0.000	0.000	71.380	42.330
72	0.95787	-0.01868	0.000	0.000	0.000	0.000
73	0.95786	-0.01869	0.000	0.000	47.300	28.050
74	0.95765	-0.01881	0.000	0.000	90.300	53.550
75	0.95751	-0.01891	0.000	0.000	0.000	0.000
76	0.95696	-0.01919	0.000	0.000	0.000	0.000
77	0.95693	-0.01920	0.000	0.000	60.200	35.700
78	0.95682	-0.01926	0.000	0.000	105.780	62.730
79	0.95674	-0.01930	0.000	0.000	40.420	23.970
80	0.95664	-0.01935	0.000	0.000	13.760	8.160
81	0.95653	-0.01941	0.000	0.000	46.440	27.540
82	0.95643	-0.01946	0.000	0.000	66.220	39.270
83	0.95739	-0.01900	0.000	0.000	0.000	0.000
84	0.95739	-0.01900	0.000	0.000	24.940	14.790
85	0.95736	-0.01903	99.999	9.750	0.000	0.000
86	0.95733	-0.01904	0.000	0.000	98.040	58.140
87	0.95730	-0.01909	0.000	0.000	113.520	67.320
88	0.95719	-0.01923	0.000	0.000	61.920	36.720
89	0.95709	-0.01940	0.000	0.000	0.000	0.000
90	0.95706	-0.01942	0.000	0.000	30.960	18.360
91	0.95703	-0.01943	0.000	0.000	24.940	14.790
92	0.95708	-0.01944	0.000	0.000	36.960	21.930
93	0.95707	-0.01960	0.000	0.000	0.000	0.000
94	0.95703	-0.01960	0.000	0.000	13.760	8.160
95	0.95702	-0.01969	0.000	0.000	0.000	0.000
96	0.95701	-0.01969	0.000	0.000	12.040	7.140
97	0.95699	-0.01977	0.000	0.000	105.780	62.730
98	0.95717	-0.02006	0.000	0.000	54.180	32.130
99	0.95718	-0.02007	99.996	199.999	39.560	23.460
100	0.97959	-0.01089	0.000	0.000	0.000	0.000
101	0.97953	-0.01089	0.000	0.000	86.000	51.000

Aliran Daya Antar Saluran

Bus		Daya		Bus		Daya	
from	to	kw	kvar	from	to	kw	kvar
1	2	3682.582	2052.532	2	1	-3677.006	-2044.009
2	3	3632.436	2017.489	3	2	-3619.011	-1996.964
3	4	3522.691	1939.844	4	3	-3515.026	-1928.130
4	5	34.400	20.400	5	4	-34.400	-20.400
4	6	3480.626	1907.730	6	4	-3474.686	-1898.649
6	7	3447.166	1882.329	7	6	-3429.347	-1855.088
7	8	502.564	298.597	8	7	-502.534	-298.552
7	15	2926.784	1556.491	15	7	-2919.086	-1544.724
8	9	448.354	266.422	9	8	-448.291	-266.325
9	10	289.173	171.964	10	9	-289.115	-171.877
9	100	86.018	51.010	100	9	-86.005	-51.003
10	11	166.135	98.947	11	10	-166.126	-98.932
11	12	86.146	51.502	12	11	-86.145	-51.498
12	13	68.805	40.808	13	12	-68.800	-40.800
12	14	17.340	10.690	14	12	-17.340	-10.690
15	16	161.362	99.763	16	15	-161.360	-99.760
15	18	2757.724	1444.960	18	15	-2739.143	-1442.121
16	17	128.680	80.380	17	16	-128.680	-80.380
18	19	72.781	47.231	19	18	-72.780	-47.230
18	20	67.082	39.782	20	18	-67.080	-39.780
18	21	2599.280	1355.108	21	18	-2597.780	-1352.815
21	22	77.402	49.902	22	21	-77.400	-49.900

21	23	2520.378	1302.912	23	21	-2514.563	-1294.023
23	24	143.627	85.180	24	23	-143.620	-85.170
23	25	72.242	44.841	25	23	-72.240	-44.840
23	26	202.228	119.903	26	23	-202.142	-119.867
23	30	2096.467	1044.100	30	23	-2093.713	-1039.891
26	27	97.180	57.630	27	26	-97.180	-57.630
26	29	104.962	62.237	29	26	-104.920	-62.220
30	31	2071.353	1026.631	31	30	-2070.915	-1025.961
31	32	33.541	19.891	32	31	-33.540	-19.890
31	33	169.455	100.490	33	31	-169.436	-100.479
31	39	1867.920	905.580	39	31	-1865.560	-901.971
33	34	74.836	44.379	34	33	-74.821	-44.371
34	35	74.821	44.371	35	34	-74.820	-44.370
35	36	17.200	10.200	36	35	-17.200	-10.200
36	37	8.600	5.100	37	36	-8.600	-5.100
37	38	1.720	1.020	38	37	-1.720	-1.020
39	40	10.320	2.870	40	39	-10.320	-2.870
39	41	94.604	56.106	41	39	-94.600	-56.100
39	43	1760.636	842.995	43	39	-1760.546	-842.857
41	42	13.760	8.160	42	41	-13.760	-8.160
43	44	1699.486	806.647	44	43	-1696.075	-801.433
44	45	441.887	146.508	45	44	-441.788	-146.356
44	63	1254.188	654.925	63	44	-1253.604	-654.034
45	46	385.888	113.206	46	45	-385.856	-113.157
46	47	314.476	70.827	47	46	-314.427	-70.753
47	48	255.087	35.563	48	47	-255.065	-35.529
48	49	199.165	2.379	49	48	-199.157	-2.366
49	50	47.301	28.052	50	49	-47.300	-28.050
49	51	151.855	-25.686	51	49	-151.855	25.687
51	52	29.240	17.340	52	51	-29.240	-17.340
51	53	122.614	-43.027	53	51	-122.605	43.042
53	54	134.024	-19.713	54	53	-133.985	19.744
54	55	105.605	-36.574	55	54	-105.586	36.588
55	56	35.066	-78.408	56	55	-35.061	78.415
56	57	43.002	25.503	57	56	-43.000	-25.500
56	59	-7.941	-103.919	59	56	7.943	103.922
57	58	10.320	6.120	58	57	-10.320	-6.120
59	60	38.700	22.951	60	59	-38.700	-22.950
59	61	-46.644	-126.873	61	59	46.655	126.891
61	62	-66.435	-138.621	62	61	66.451	138.646
63	64	146.219	86.730	64	63	-146.210	-86.715
63	67	1107.385	567.304	67	63	-1107.262	-567.116
64	65	115.250	68.355	65	64	-115.240	-68.340
65	66	12.040	7.140	66	65	-12.040	-7.140
67	68	13.760	8.160	68	67	-13.760	-8.160
67	69	1093.502	558.956	69	67	-1093.405	-558.807
69	70	1000.525	503.727	70	69	-999.868	-502.723
70	71	959.448	478.753	71	70	-959.040	-478.129
71	72	887.660	435.799	72	71	-887.644	-435.775
72	73	47.300	28.051	73	72	-47.300	-28.050
72	74	840.344	407.724	74	72	-840.211	-407.521
74	75	749.911	353.971	75	74	-749.830	-353.848
75	76	333.019	197.674	76	75	-332.883	-197.466
75	83	416.812	156.174	83	75	-416.774	-156.117
76	77	60.201	35.702	77	76	-60.200	-35.700
76	78	272.682	161.764	78	76	-272.654	-161.722
78	79	166.874	98.992	79	78	-166.864	-98.976
79	80	126.444	75.006	80	79	-126.435	-74.992
80	81	112.675	66.832	81	80	-112.665	-66.818
81	82	66.225	39.278	82	81	-66.220	-39.270
83	84	24.940	14.790	84	83	-24.940	-14.790
83	85	391.834	141.327	85	83	-391.824	-141.311
85	86	98.042	58.143	86	85	-98.040	-58.140
85	87	393.781	92.918	87	85	-393.761	-92.888
87	88	280.241	25.568	88	87	-280.214	-25.526
88	89	218.294	-11.194	89	88	-218.269	11.231
89	90	55.902	33.153	90	89	-55.901	-33.151
89	92	162.368	-44.384	92	89	-162.364	44.389
90	91	24.941	14.791	91	90	-24.940	-14.790
92	93	125.404	-66.319	93	92	-125.392	66.339
93	94	13.761	8.160	94	93	-13.760	-8.160

93	95	111.631	-74.499	95	93	-111.619	74.506
95	96	12.040	7.140	96	95	-12.040	-7.140
95	97	99.579	-81.646	97	95	-99.569	81.651
97	98	-6.211	-144.381	98	97	6.254	144.406
98	99	-60.434	-176.536	99	98	60.436	176.539
100	101	86.005	51.003	101	100	-86.000	-51.000

Rugi Daya Antar Saluran

Bus		Rugi					
from	to	kw	kvar				
1	2	5.577	8.523	49	50	0.001	0.002
2	3	13.425	20.525	49	51	0.001	0.001
3	4	7.665	11.715	51	52	0.000	0.000
4	5	0.000	0.000	51	53	0.009	0.014
4	6	5.940	9.081	53	54	0.039	0.031
6	7	17.819	27.240	54	55	0.019	0.014
7	8	0.030	0.045	55	56	0.005	0.007
7	15	7.697	11.768	56	57	0.002	0.003
8	9	0.063	0.097	56	59	0.003	0.004
9	10	0.057	0.087	57	58	0.000	0.000
9	100	0.013	0.008	59	60	0.000	0.001
10	11	0.010	0.015	59	61	0.012	0.018
11	12	0.000	0.004	61	62	0.016	0.025
12	13	0.005	0.008	63	64	0.010	0.015
12	14	0.000	0.000	63	67	0.123	0.188
15	16	0.002	0.003	64	65	0.010	0.015
15	18	18.582	2.839	65	66	0.000	0.000
16	17	0.000	0.000	67	68	0.000	0.000
18	19	0.001	0.001	67	69	0.097	0.149
18	20	0.002	0.002	69	70	0.657	1.004
18	21	1.500	2.293	70	71	0.408	0.624
21	22	0.002	0.002	71	72	0.016	0.024
21	23	5.816	8.889	72	73	0.000	0.001
23	24	0.007	0.010	72	74	0.133	0.203
23	25	0.002	0.001	74	75	0.080	0.123
23	26	0.085	0.035	75	76	0.136	0.208
23	30	2.754	4.209	75	83	0.038	0.058
26	27	0.000	0.000	76	77	0.001	0.002
26	28	0.000	0.000	76	78	0.028	0.043
26	29	0.042	0.017	78	79	0.010	0.015
30	31	0.438	0.670	79	80	0.009	0.014
31	32	0.001	0.001	80	81	0.010	0.015
31	33	0.018	0.010	81	82	0.005	0.008
31	39	2.360	3.609	83	84	0.000	0.000
33	34	0.015	0.008	83	85	0.010	0.015
34	35	0.001	0.001	85	86	0.002	0.003
35	36	0.000	0.000	85	87	0.020	0.030
36	37	0.000	0.000	87	88	0.028	0.042
37	38	0.000	0.000	88	89	0.024	0.037
39	40	0.000	0.000	89	90	0.001	0.002
39	41	0.004	0.006	89	92	0.003	0.005
39	43	0.090	0.138	90	91	0.001	0.001
41	42	0.000	0.000	92	93	0.013	0.019
43	44	3.411	5.214	93	94	0.001	0.000
44	45	0.100	0.152	93	95	0.012	0.007
44	63	0.583	0.892	95	96	0.000	0.000
45	46	0.032	0.049	95	97	0.010	0.006
46	47	0.048	0.074	97	98	0.043	0.024
47	48	0.022	0.034	98	99	0.002	0.003
48	49	0.009	0.013	100	101	0.005	0.003

Jumlah Pembangkitan = 4082.5677+2486.6751i kVA
 Jumlah Pembebanan = 3986.29+2365.36i kVA
 Jumlah Rugi-Rugi = 96.27774+121.3151i kVA
 Jumlah Iterasi = 5