

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



**ANALISA PENEMPATAN KAPASITOR PADA JARINGAN DISTRIBUSI
PRIMER 20KV DENGAN METODE *REDUCED SIZE GENETIC
ALGORITHM* PADA G.I SENGKALING PENYULANG PUJON**

SKRIPSI

Disusun Oleh :
HADI SUPRAYITNO
00.12.072



SEPTEMBER 2006

THE NATIONAL ARCHIVES
COLLEGE PARK, MARYLAND
SERIALS ACQUISITION
1100 COLLEGE PARK DRIVE
COLLEGE PARK, MD 20740-6001
TEL: 301 837 2000
FAX: 301 837 2001

THE NATIONAL ARCHIVES
COLLEGE PARK, MARYLAND
SERIALS ACQUISITION
1100 COLLEGE PARK DRIVE
COLLEGE PARK, MD 20740-6001
TEL: 301 837 2000
FAX: 301 837 2001

NOV 19 1994

NOV 19 1994
SERIALS ACQUISITION
1100 COLLEGE PARK DRIVE
COLLEGE PARK, MD 20740-6001

NOV 19 1994

LEMBAR PERSETUJUAN

**ANALISA PENEMPATAN KAPASITOR PADA JARINGAN DISTRIBUSI
PRIMER 20 kV DENGAN MENGGUNAKAN METODE *REDUCED SIZE
GENETIC ALGORITHM* PADA G.I SENGKALING PENYULANG PUJON
MALANG**

SKRIPSI

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

**Disusun Oleh :
HADI SUPRAYITNO
NIM 00.12.072**



Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro

Ir. F. YUDI LIMPRAPTONO, MT
NIP.Y. 103 9500 274

Diperiksa dan disetujui,
Dosen Pembimbing

Ir. H. TAUFIK HIDAYAT, MT
NIP.Y. 101 8700 0154

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

A B S T R A K S I

ANALISA PENEMPATAN KAPASITOR PADA JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER 20 kV DENGAN METODE *REDUCED SIZE GENETIC ALGORITHM* PADA G.I SENGKALING PENYULANG PUJON

(Hadi Suprayitno, Nim 00.12.072)
Ir. H. Taufik Hidayat, MT

Kata Kunci : Penentuan Letak Kapasitor, Pengurangan Rugi-rugi Daya, Profil Tegangan, Metode Reduced Size GA.

Dengan meningkatnya usaha disektor industri dan meningkatnya taraf hidup masyarakat maka kebutuhan akan energi listrik semakin meningkat pula, sehingga diperlukan penyediaan energi listrik beserta jaringan dan penyaluran yang sangat baik. Bertambahnya industri-industri menyebabkan kebutuhan daya reaktif induktif meningkat. Daya reaktif yang semakin besar akan memperbesar komponen rugi-rugi daya, disamping itu dapat memperburuk kondisi tegangan.

Untuk mereduksi rugi daya digunakan kapasitor. Dalam skripsi ini digunakan *Metode Reduced Size Genetic Algorithm* untuk penempatan kapasitor dan besar kapasitas kapasitor yang optimal pada jaringan. Perhitungan aliran daya menggunakan *Metode Newton Raphson* yang diterapkan untuk mengetahui perubahan hasil dari pemasangan kapasitor pada G.I Sengkaling Penyulang Pujon.

ABSTRACTION

CAPACITOR PLACEMENT ANALYSIS AT 20 Kv PRIMARY DISTRIBUTION NETWORK USING REDUCED SIZE GENETIC ALGORITHM METHOD AT G.I SENGKALING PENYULANG PUJON

(Hadi suprayitno, Nim 00.12.072)

Ir. H. Taufik Hidayat, MT

Keywords : Capacitor Place Determination, Power Loss Decrease, Profit Voltage, Reduced Size GA Method

The increase of industry sector enterprise and the increase of society life level increase the electric energi need, therefore it needed electric energy supply and the network and the distribution. The increase of industry load needs many inductive reactive power toascen. The power loss component also bigger, and it will make the voltage condition worse. To reduct power lost it used capacitor.

This thesis use Reduced Size Genetic Algorithm Method to put the capacitor and the optimal capacitor size at network. Newton-Raphson Method used in Power flow calculation to know exchange result and capacitor placement to G.I Sengkaling Penyulang Pujon.

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas rahmat dan karunia-Nya memungkinkan penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul, “ANALISA PENEMPATAN KAPASITOR PADA JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER 20 kV DENGAN *METODE REDUCED SIZE GENETIC ALGORITHM* PADA G.I SENGKALING PENYULANG PUJON”.

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. **Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE**, selaku Rektor ITN Malang.
2. **Ir. Mochtar Asroni, MSME**, selaku Dekan FTI ITN Malang.
3. **Ir. F Yudi Limpraptono, MT**, selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro (S1) ITN Malang.
4. **Ir. H. Taufik Hidayat, MT**, selaku bapak dan dosen pembimbing.
5. **Ugro Wiseno, ST**, sebagai dosen analisis Program Dhelipi V 7.
6. Kedua orang tuaku **Ayahnda H. Mardi Surip, Ibunda Hj. Sukinem** yang telah membesarkan, mendidik dan selalu mendo'akanku sampai terwujud cita-citaku serta kakak-kakakku **Yon Sugiyono,SE, Supriyono,ST**, keponakanku semua

yang ada di Handil, Balikpapan, Tarakan, and from Malang *thank's* ya atas doa dan bantuannya.

7. Temen-temen Elektro Energi Listrik 2000 yang telah memberikan masukan-masukan, bantuannya, dorongan dan dukungannya *thank's* banget.

Akhirnya penulis mengharapkan skripsi dapat berguna dan bermanfaat bagi rekan-rekan mahasiswa khususnya pada jurusan Teknik Elektro S-1 konsentrasi Teknik Energi Listrik.

Malang, September 2006

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman:
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
ABSTRAKSI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GRAFIK	xiv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan	2
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Metodologi Penelitian	3
1.6. Sistematika Penulisan	4
BAB II SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK DAN APLIKASI KAPASITOR	
2.1. Sistem Tenaga Listrik	6
2.2. Sistem Distribusi Tenaga Listrik.....	7

2.2.1. Sistem Distribusi Primer (Jaringan Tegangan Menengah)	8
2.2.2. Sistem Distribusi Sekunder (Jaringan Tegangan Rendah).....	8
2.3. Struktur Jaringan Distribusi Tenaga Listrik.....	9
2.3.1. Sistem Jaringan Distribusi Radial	9
2.3.2. Sistem Jaringan Distribusi Tertutup (Loop)	10
2.3.3. Sistem Jaringan Distriobusi <i>Mesh</i>	11
2.4. Macam-Macam Struktur Jaringan Distribusi Radial.....	11
2.4.1. Sistem Radial Pohon	12
2.4.2. Sistem Radial Dengan <i>Tie</i> dan <i>Switch</i> Pemisah.....	13
2.4.3. Sistem Radial Dengan Pembagian <i>Pase Area</i>	14
2.4.4. Sistem Radial Dengan Beban Terpusat.....	15
2.5. Daya Dalam Sistem Tenaga Listrik	16
2.5.1. Daya Nyata (<i>Real Power</i>)	16
2.5.2. Daya Reaktif (<i>Reactive Power</i>).....	17
2.5.3 Daya Semu (<i>Apparentl Power</i>).....	17
2.6. Daya Reaktif dan Faktor Daya.....	17
2.7. Kapasitor Daya.....	20
2.7.1. Kapasitor Seri dan Kapasitor <i>Shunt</i>	20
2.7.2. Faktor-Faktor Pemilihan Kapasitor Seri dan Kapasitor Shunt..	21
2.8. Pengaruh Pemasangan Kapasitor <i>Shunt</i>	22
2.8.1. Pengurangan Rugi-Rugi Saluran dengan Kapasitor <i>Shunt</i>	23
2.8.2. Perbaikan Tegangan	25
2.8.3. Perbaikan Faktor Daya dan Kenaikan Kapasitas Sistem	26

2.8.4. Perhitungan Pengaruh Perbaikan Faktor Daya	27
2.8.5. Penentuan Rating Kapasitor untuk Perbaikan Faktor Daya Beban	28
2.9. Sistem <i>Per-Unit</i>	29

BAB III ANALISIS PENENTUAN LETAK DAN KAPASITAS KAPASITOR PADA JARINGAN DISTRIBUSI 20 kV TIPE RADIAL DENGAN METODE *REDUCED SIZE GENETIC ALGORITHM*

3.1. Analisa Aliran Daya Jaringan Radial.....	31
3.1.1 Tujuan	31
3.1.2. Metode <i>Newton Raphson</i>	31
3.1.3. Algoritma Aliran Daya <i>Newton Raphson</i>	34
3.1.4. <i>Flowchart</i> Algoritma Aliran Daya <i>Newton Rahpson</i>	35
3.2. Penyelesaian Metode	36
3.2.1. Algoritma Genetika.....	36
3.2.1.1. Istilah-istilah Algoritma Genetika.....	37
3.2.1.2. Proses Algoritma Genetika	40
3.2.1.3. Elitism	44
3.2.1.4. Crossover.....	45
3.2.1.5. Mutasi.....	47
3.3. Implementasi <i>Genetic Algorithm</i>	48
3.3.1. Pengenalan <i>Genetic Algorithm</i>	48
3.3.2. Pengkodean dan <i>Fitness Evaluasi</i>	49
3.3.3. Seleksi dari Individu	50

3.3.4. Evaluasi Populasi	51
3.3.5. Objective Function	51
3.3.6. Algoritma Pemecahan Masalah.....	53
3.3.7. Algoritma Program Solusi Resize Genetic Algorithm.....	53
3.3.8. <i>Flowchart</i> Algoritma Pemecahan Masalah.....	55
3.3.9. <i>Flowchart</i> Algoritma Solusi <i>Resize Genetic Algorithm</i>	56

BAB IV ANALISA PENENTUAN LETAK, KAPASITAS KAPASITOR, JUMLAH PADA JARINGAN DISTRIBUSI 20 kV TIPE RADIAL PENYULANG PUJON

4.1. Sistem Distribusi Tenaga Listrik 20 kV G.I Sengkaling Penyulang Pujon	57
4.2. Data Saluran	59
4.3. Pembebanan Sistem 20kV Penyulang Pujon	61
4.4. Prosedur Pelaksanaan Program Perhitungan.....	63
4.5. Analisa Perhitungan	69

BAB V KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan	78
-----------------------	----

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar :	Halaman :
2.1 Skema Penyaluran Energi Listrik.....	6
2.2. Jaringan Distribusi Tegangan Menengah (JTM), Jaringan Tegangan Rendah (JTR) dan Sambungan Rumah ke Pelanggan.....	7
2.3. Jaringan Tegangan Menengah Sistem Distribusi Radial	9
2.4. Jaringan Tegangan Menengah Struktur Loop yang dipasok dari satu sumber	10
2.5. Jaringan Tegangan Menengah Struktur <i>Mesh</i>	11
2.6. Sistem radial jaringan pohon.....	13
2.7. Sistem Radial Dengan <i>Tie</i> dan <i>Switch</i> Pemisah.....	14
2.8. Sistem Radial Dengan Pembagian <i>Phase Area</i>	15
2.9. Sistem Radial Dengan Beban Terpusat.....	16
2.10. Segi Tiga Daya.....	18
2.11. Segi Tiga Arus.....	19
2.13. Saluran Primer Dengan Beban Tepusat	19
2.14. Vektor arus dan tegangan sebelum dan setelah pemasangan kapasitor	24
2.15. Diagram vector pada rangkaian dengan pf <i>lagging</i> (a) dan (c) tanpa kapasitor shunt, (b) dan (d) dengan kapasitor <i>shunt</i>	25
2.16. Perbaikan Faktor Daya.....	26
2.17. Diagram Fasor dan Sudut Daya Beban Distribusi	28

3.1.	<i>Flowchart</i> Algoritma Aliran Daya <i>Newton Raphson</i>	35
3.2.	Roulette-Wheel	43
3.3.	Pembentukan Next Generation dalam Algoritma Genetika.....	45
3.4.	Ilustrasi Operator Dengan One Point Crossover	46
3.5.	Ilustrasi Operator Dengan Two Point Crossover	46
3.6.	Ilustrasi Operator Dengan Uniform Crossover	46
3.7.	Ilustrasi Operator Mutasi Untuk Representasi String Binner	47
3.8.	Ilustrasi Operator Mutasi Untuk Representasi String integer	47
3.9.	Skema Ilustrasi dari <i>Genetic Algorithm</i>	49
3.10.	Ilustrasi <i>Flowchart Evaluasi Fitness</i>	50
3.11.	<i>Flowchart</i> Algoritma Pemecahan Masalah.....	55
3.12.	<i>Flowchart</i> Algoritma Solusi <i>Resize Genetic Algorithm</i>	56
4.1.	<i>Single Line Diagram</i> Penyulang Pujon Sebelum Penempatan Kapasitor .	58
4.2.	Tampilan Utama Program	63
4.3.	Tampilan Inputan Data (General)	64
4.4.	Tampilan Inputan Data (Data Pembebanan)	64
4.5.	Tampilan Inputan Data (Data Saluran)	65
4.6.	Tampilan Hasil Aliran Daya Untuk Mengetahui Harga Tegangan Dan Sudut Fasa Tiap-tiap Bus Sebelum Kompensasi.....	65
4.7.	Tampilan Hasil Aliran Daya Untuk Arus yang Mengalir pada Saluran dan Daya tiap Saluran Sebelum Kompensasi	66
4.8.	Tampilan Total Pembangkitan, Pembebanan, dan Rugi-rugi Sebelum Kompensasi	66
4.9.	Tampilan Parameter Yang Digunakan	67

4.10.	Tampilan Hasil Aliran Daya Untuk Mengetahui Harga Tegangan Dan Sudut Fasa Tiap-tiap Bus Setelah Kompensasi	67
4.11.	Tampilan Hasil Aliran Daya Untuk Arus yang Mengalir pada Saluran dan Daya tiap Saluran Setelah Kompensasi	68
4.12.	Tampilan Total Pembangkitan, Pembebanan, dan Rugi-rugi Setelah Kompensasi	68
4.13.	Hasil Penempatan Metode <i>Reduced Size Genetic Algorithm</i>	69
4.14.	Hasil Program Penempatan Metode <i>Reduced Size Genetic Algorithm</i>	72
4.15.	<i>Single Line Diagram</i> Penempatan Kapasitor Metode <i>Reduced Size Genetic Algorithm</i>	73

DAFTAR TABEL

Tabel :	Halaman :
2-1 Kapasitor Seri dan Kapasitor Shunt	21
3-1 Istilah Yang Digunakan Dalam Algoritma Genetika	38
4-1. Spesifikasi Saluran	59
4-2. Data Hasil Perhitungan Saluran Penyulang Pujon	61
4-3. Data Hasil Perhitungan Pembebanan Sistem 20kV Penyulang Pujon	63
4-4. Profil Tegangan dan Sudut Fasa Tiap Bus Penyulang Pujon Sebelum Kompensasi	71
4-5. Aliran Daya Tiap Saluran Penyulang pujon Sebelum Kompensasi	71
4-6 Profil Tegangan Dan Sudut Fasa Tiap Bus Penyulang Pujon Setelah Kompensasi	74
4-7. Aliran Arus Tiap Saluran Penyulang Pujon Setelah Kompensasi	74
4-8. Hasil Program Metode <i>Resize Genetic Algorithm</i>	75

DAFTAR GRAFIK

Grafik :	Halaman :
4-1 Tegangan Tiap-tiap Bus Terhadap Assumsi Tegangan Awal, Tegangan Sebelum Dan Setelah Kompensasi.....	75
4-2 Rugi-rugi Saluran Sebelum Dan Sesudah Kompensasi	76
4-3 Harga Rugi Energi Sebelum Dan Sesudah Kompensasi.....	76

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dengan meningkatnya usaha di sektor industri dan meningkatnya taraf hidup masyarakat maka kebutuhan akan energi listrik semakin meningkat pula, sehingga diperlukan penyediaan energi listrik beserta jaringan dan penyaluran yang sangat baik. Bertambahnya industri-industri menyebabkan peran penggunaan alat-alat listrik akan semakin luas, misalnya motor-motor listrik, trafo, AC, lampu-lampu penerangan dan lain lain. Beban industri sangat banyak membutuhkan daya reaktif induktif. Dengan meningkatnya beban-beban induktif, maka memperbesar komponen rugi-rugi daya, disamping itu dapat memperburuk kondisi tegangan.

Alternatif yang sering dipakai untuk memperbaiki kondisi jaringan akibat adanya rugi-rugi tersebut adalah memasang daya reaktif tambahan disisi beban salah satunya adalah pemasangan kapasitor.

Banyak metode yang dipakai dalam menganalisa masalah penentuan penempatan dan besar kapasitor pada jaringan distribusi, pada umumnya banyak teknik untuk membahas masalah alokasi kapasitor dengan menggunakan metode-metode konvensional tetapi pembahasan-pembahasan yang dilakukan masih kurang dan masih dilakukan analisa yang lebih mendalam lagi.

Hal ini mendorong penulis untuk mengangkat permasalahan dengan menggunakan metode *Reduced Size Genetic Algorithm* dapat menjadi salah satu alternatif yang efektif untuk penempatan kapasitor dalam jaringan distribusi primer.

1.2. Rumusan Masalah

Salah satu cara pemasangan sumber daya reaktif tambahan disisi beban adalah dengan pemasangan kapasitor pada jaringan distribusi primer, sehingga dapat mengurangi rugi-rugi disaluran. Yang menjadi permasalahan adalah bagaimana cara menentukan letak dan kapasitas kapasitor yang optimal pada jaringan distribusi radial agar rugi-rugi yang dihasilkan menjadi seminim mungkin dan juga menghemat biaya instalasi kapasitor tersebut yang semaksimal mungkin.

Oleh karena itu pada skripsi ini akan menganalisa hal tersebut dengan suatu alternatif metode *Reduced Size Genetic Algorithm* merupakan suatu algoritma yang dapat menentukan lokasi, jumlah, kapasitas dan biaya pemasangan kapasitor yang dipasang pada jaringan distribusi.

Dari permasalahan yang timbul diatas, maka skripsi ini berjudul:

**“ANALISA PENEMPATAN KAPASITOR PADA JARINGAN
DISTRIBUSI 20kV DENGAN METODE *REDUCED SIZE GENETIC
ALGORITHM* PADA G.I SENGKALING PENYULANG PUJON”**

1.3. Tujuan

Adapun tujuan penulisan skripsi ini adalah

1. Menentukan letak dan kapasitas kapasitor yang optimal pada sistem distribusi radial penyulang Pujon.

1. Kajian literatur

Yaitu kajian pustaka untuk mempelajari teori-teori yang terkait melalui literatur yang ada, yang berhubungan dengan permasalahan.

2. Pengumpulan Data

Bentuk data yang digunakan adalah:

- Data kuantitatif, yaitu data yang dapat dihitung atau data yang berbentuk angka-angka.

- Data kualitatif, yaitu data yang berbentuk diagram. Dalam hal ini single line diagram penyulang.

3. Simulasi dan pembahasan masalah

Analisa perhitungan tegangan, sudut fasa tegangan, rugi-rugi daya dan aliran daya tiap saluran menggunakan metode *Newton Raphson*, untuk menentukan penempatan kapasitor yang optimal menggunakan Metode *Reduced Size Genetic Algorithm* yang disimulasikan dengan program komputer.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika dari pembahasan di dalam skripsi ini adalah sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

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

BAB II : SISTEM DISTRIBUSI DAN APLIKASI KAPASITOR

Disini akan dibahas masalah sistem jaringan distribusi, pengertian jatuh tegangan, pengaruh rendahnya jatuh daya, penjelasan teori tentang kapasitor serta faktor daya.

BAB III : ANALISA PENENTUAN LETAK DAN KAPASITAS KAPASITOR PADA JARINGAN DISTRIBUSI 20 kV TIPE RADIAL DENGAN METODE *REDUCED SIZE GENETIC ALGORITHM*

Pada bab ini akan dibahas metode aliran daya *Newton Raphson*, teori GA (*Genetic Algorithms*) dan teori-teori mengenai metode *Resize Genetic Algorithm* untuk menentukan penempatan dan kapasitas kapasitor.

BAB IV : ANALISA PENENTUAN LETAK, KAPASITAS KAPASITOR, JUMLAH PADA JARINGAN DISTRIBUSI 20Kv TIPE RADIAL PENYULANG PUJON

Pada bab ini akan dibahas mengenai penentuan letak dan kapasitas kapasitor menggunakan metode *Resize Genetic Algorithm* perbandingan profil tegangan, rugi daya dan nilai biaya sebelum dan setelah penempatan kapasitor.

BAB V : KESIMPULAN

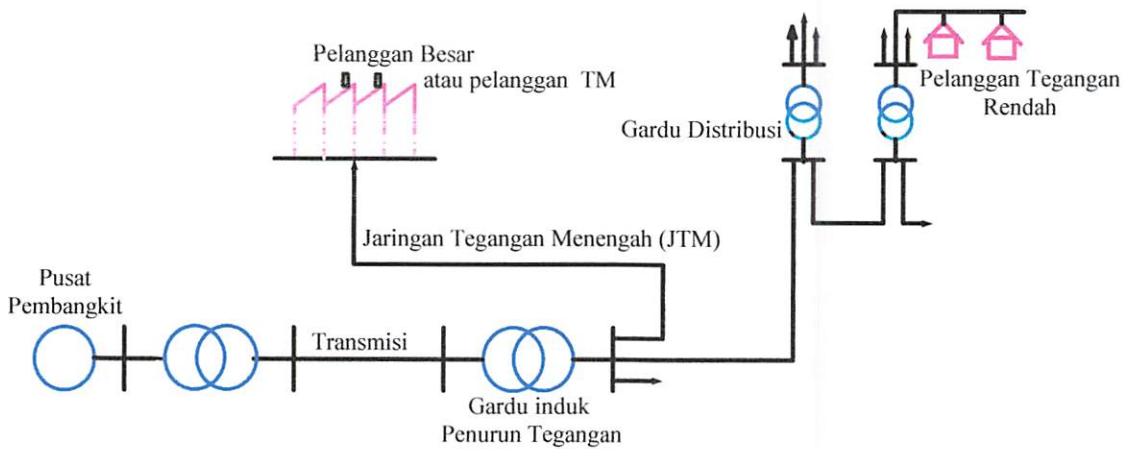
Merupakan bab terakhir yang memuat intisari dari hasil pembahasan, yang berisikan kesimpulan dan saran yang dapat digunakan sebagai pertimbangan untuk pengembangan penulisan selanjutnya.

BAB II

SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK DAN APLIKASI KAPASITOR

2.1. Sistem Tenaga Listrik^[1]

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



Gambar 2.1. Skema Penyaluran Energi Listrik^[1]

Sumber : Hasan Basri, "Sistem Distribusi Tenaga Listrik."

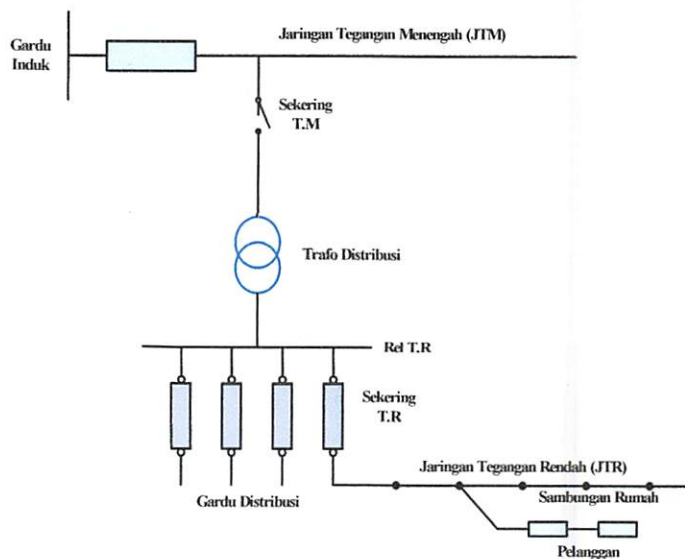
Secara garis besar suatu sistem tenaga listrik dapat dikelompokkan menjadi 3 sub sistem, yaitu :

1. Sistem Pembangkitan : Berperan sebagai sumber daya tenaga listrik dan disebut juga prodaktor energi.

2. Sistem Transmisi atau Penyaluran : Berfungsi sebagai penyalur daya listrik secara besar-besaran dari pembangkit ke bagian sistem distribusi atau konsumen.
3. Sistem Distribusi dan Beban : Berperan sebagai distributor energi ke konsumen yang memerlukan energi tersebut.

2.2. Sistem Distribusi Tenaga Listrik^[2]

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



Gambar 2.2. Jaringan Distribusi Tegangan Menengah (JTM), Jaringan Tegangan Rendah (JTR) dan Sambungan Rumah ke Pelanggan^[2]

Sumber : Ir. Djiteng Marsudi, "Operasi Sistem Tenaga Listrik".

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

1. Sistem Distribusi Primer (Jaringan Tegangan Menengah)
2. Sistem Distribusi Sekunder (Jaringan Tegangan Rendah)

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

2.2.1. Sistem Distribusi Primer (Jaringan Tegangan Menengah)

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

2.2.2. Sistem distribusi Sekunder (Jaringan Tegangan Rendah)

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

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

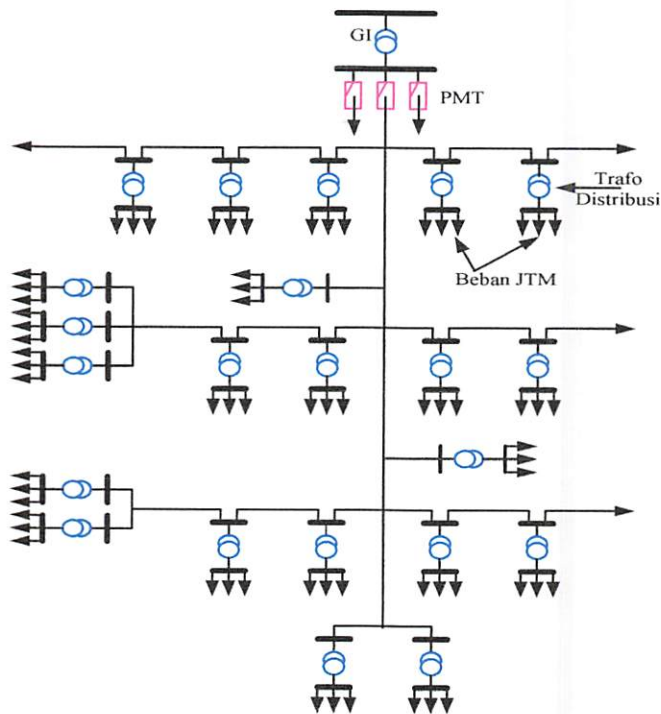
2.3. Struktur Jaringan Distribusi Tenaga Listrik^[1]

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

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

2.3.1. Sistem Jaringan Distribusi Radial

Bentuk jaringan ini merupakan bentuk dasar yang paling sederhana dan paling banyak dipergunakan. Sistem ini dikatakan radial karena dari kenyataannya bahwa jaringan ini ditarik secara radial dari gardu induk ke pusat-pusat beban atau konsumen yang dilayani. Sistem ini terdiri dari saluran utama (*tunk line*) dan saluran cabang (*lateral*) seperti pada gambar 2.3.



Gambar 2.3. Jaringan Tegangan Menengah Sistem Distribusi Radial^[1]

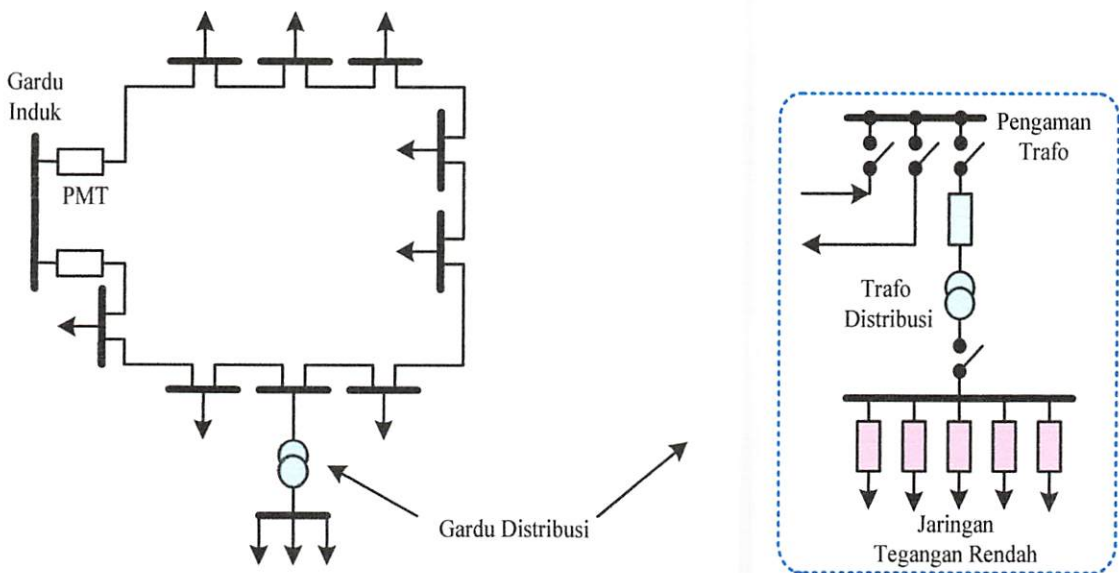
Sumber : Hasan Basri, "Sistem Distribusi Tenaga Listrik."

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

Kelemahan yang dimiliki oleh sistem radial adalah jatuh tegangan yang cukup besar dan bila terjadi gangguan pada salah satu *feeder* maka semua pelanggan yang terhubung pada *feeder* tersebut akan terganggu.

2.3.2. Sistem Jaringan Distribusi Tertutup (Loop).

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

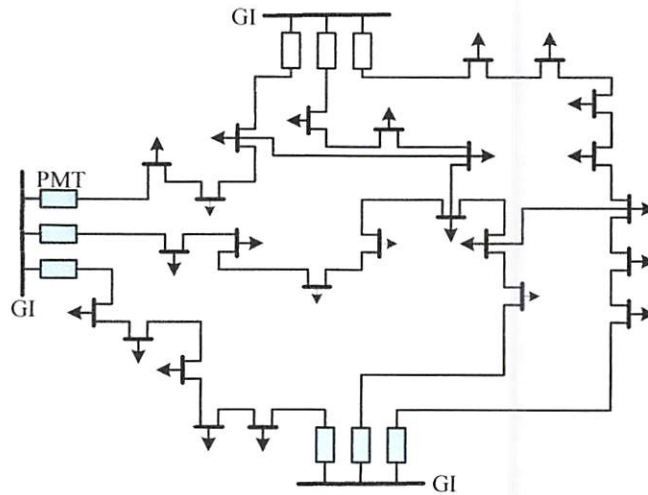


Gambar 2.4. Jaringan Tegangan Menengah Struktur Loop yang dipasok dari satu sumber^[1]

Sumber : Hasan Basri, "Sistem Distribusi Tenaga Listrik."

2.3.3. Sistem Jaringan Distribusi *Mesh*.

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



Gambar 2.5. Jaringan Tegangan Menengah Struktur *Mesh*^[1]

Sumber : Hasan Basri, "Sistem Distribusi Tenaga Listrik."

2.4. Macam-macam Struktur Jaringan Distribusi Radial^[3]

Tipe jaringan ini merupakan bentuk dasar, susunan maupun kebutuhan alat-alat penunjangnya paling sedikit dan paling sederhana. Tipe ini paling banyak digunakan untuk melayani konsumen terutama beban-beban rumah tangga yang tidak menuntut tingkat kontinuitas pelayanan yang tinggi. Sumber daya pada tipe ini hanya dari satu titik. Salurannya dicabang-cabang menuju ke titik-titik beban, dan antara titik sumber dengan titik beban hanya ada satu pilihan. Dengan demikian bila salah satu saluran cabang mengalami gangguan maka seluruh beban yang ada di saluran tersebut akan mengalami pemadaman total.

Jaringan distribusi radial mempunyai beberapa keuntungan dan kelemahan sebagai berikut :

Keuntungan jaringan radial :

1. Bentuknya sederhana dibandingkan dengan bentuk lain.
2. Biaya investasinya relatif lebih murah, karena saluran menuju ke tiap beban hanya tersedia satu jalur.

Kelemahan jaringan radial :

1. Kualitas pelayanan (penyaluran daya) dibanding dengan tipe yang lain lebih jelek, sebab jatuh tegangan dan rugi-rugi daya relatif besar. Kerugian ini terjadi pada saluran.
2. Kontinuitas penyaluran daya tidak terjamin. Dengan hanya mengandalkan satu saluran, maka bila terjadi gangguan pada saluran tersebut tidak dapat diharapkan *supply* melalui saluran ini.

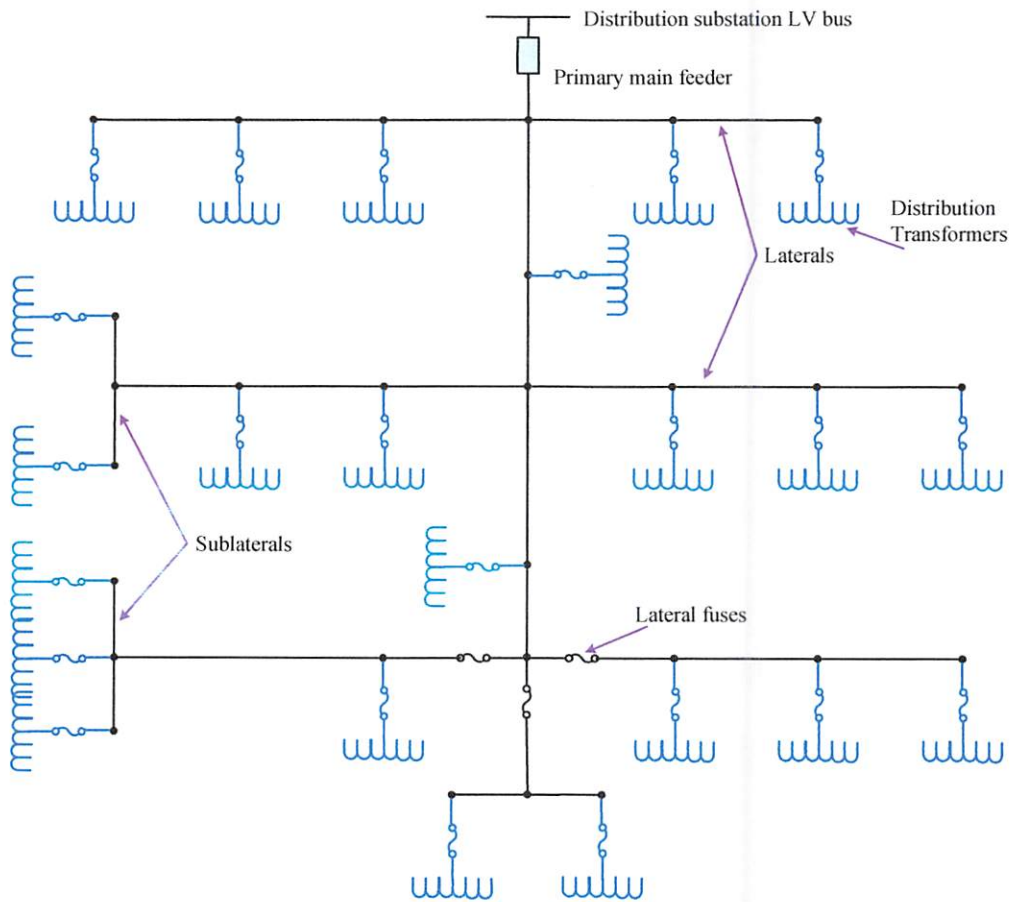
Jaringan radial ini dalam perkembangannya mengalami beberapa bentuk modifikasi sehingga dikenal beberapa macam jaringan distribusi radial, yaitu :

1. Sistem Radial Pohon
2. Sistem Radial dengan *Tie* dan *Swicth* Pemisah
3. Sistem Radial dengan Pusat Beban
4. Sistem Radial dengan pembagian Daerah Phasa (*Phase Area*)

2.4.1. Sistem Radial Pohon

Sistem radial jaringan pohon ini merupakan bentuk yang paling dasar dari sistem jaringan radial. Saluran utama (*main feeder*) ditarik dari suatu Gardu Induk sesuai dengan kebutuhan kemudian di cabangkan malalui saluran cabang (*lateral*

feeder), selanjutnya di cabangkan lagi melalui saluran anak cabang (*sub lateral feeder*). Ukuran dari masing-masing saluran tergantung dari besar arus yang ditanggung. Dari gambar 2.6, *main feeder* merupakan saluran yang dialiri arus terbesar, selanjutnya arus mengecil pada setiap cabang dari besarnya beban.



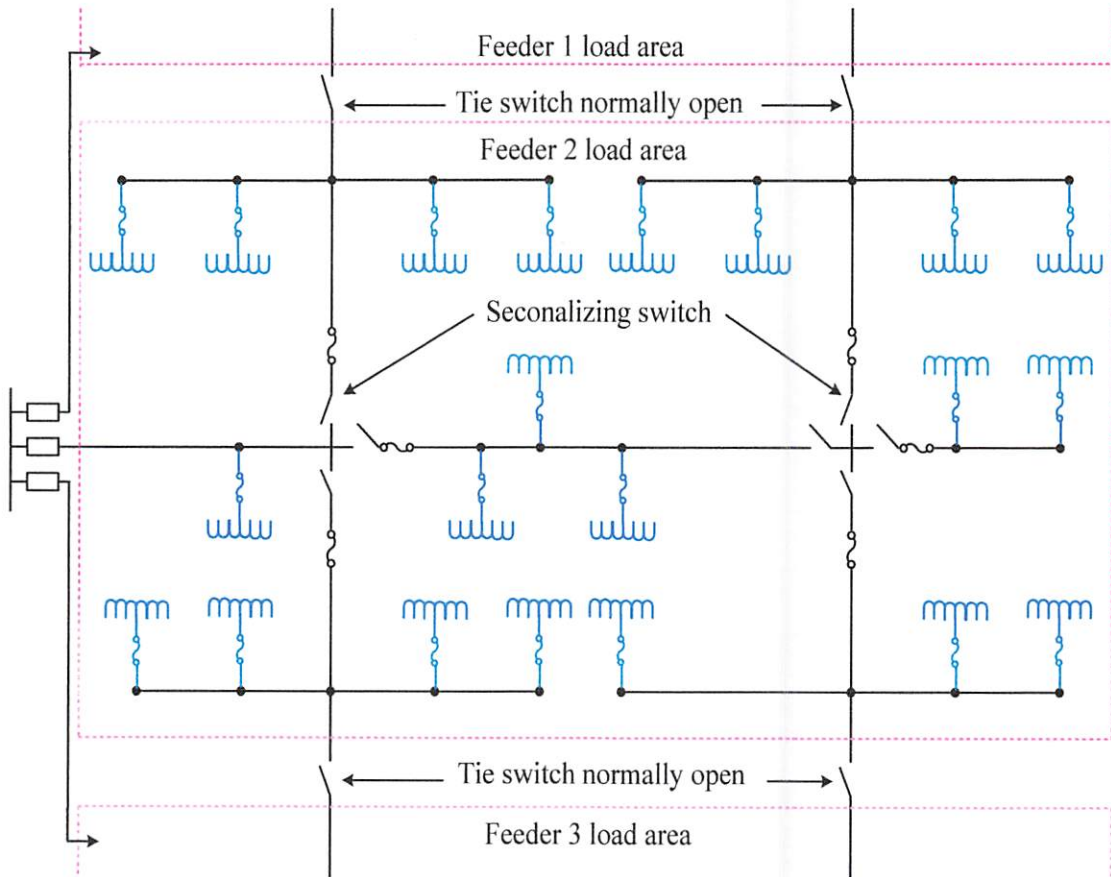
Gambar 2.6. Sistem radial jaringan pohon^[3]

Sumber : Turan Gonen, "Electric Power Distribution System Engineering."

2.4.2. Sistem Radial Dengan *Tie* dan *Switch* Pemisah

Sistem ini merupakan pengembangan dari sistem radial pohon, untuk meningkatkan keandalan sistem saat terjadi gangguan maka *feeder* yang terganggu akan dilokalisir sedangkan area yang semula dilayani *feeder* tersebut

pelayanannya dialihkan pada *feeder* yang sehat atau yang tidak terganggu. Sistem radial dengan *Tie* dan *Switch* pemisah dapat dilihat pada gambar 2.7.

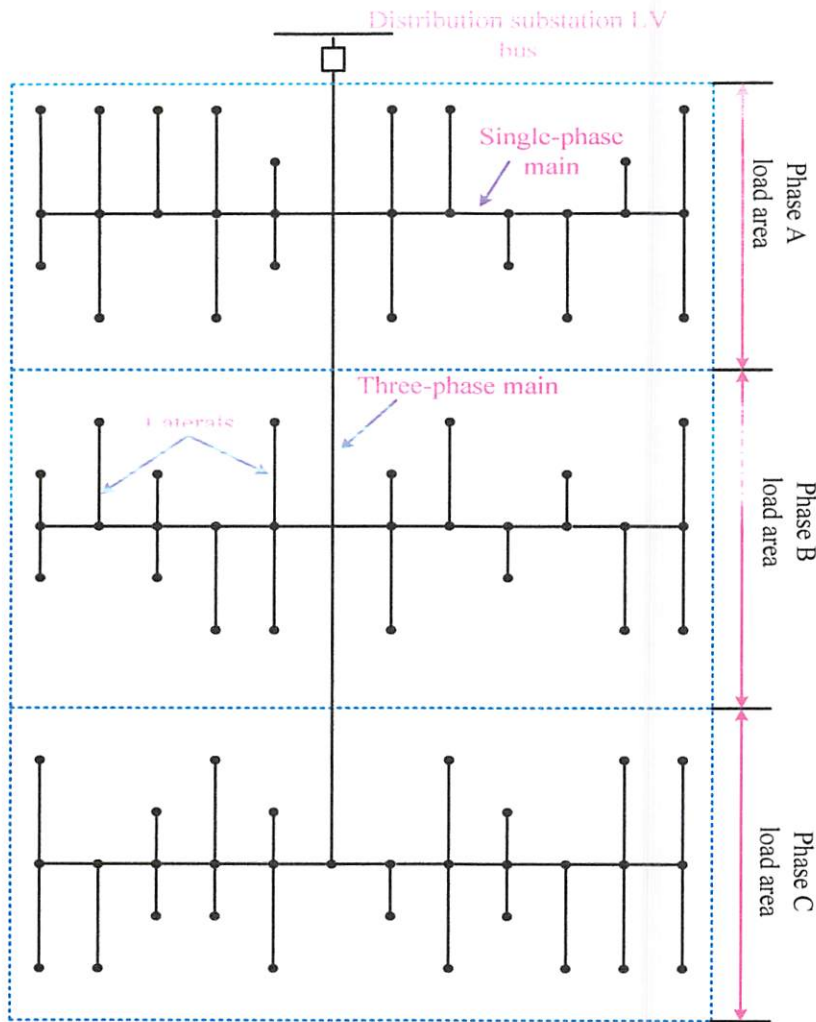


Gambar 2.7. Sistem Radial Dengan *Tie* dan *Switch* Pemisah^[31]

Sumber : Turan Gonen, "Electric Power Distribution System Engineering."

2.4.3. Sistem Radial Dengan Pembagian *Phase Area*

Pada bentuk ini masing-masing fasa dari jaringan bertugas melayani daerah beban yang berlainan. Bentuk ini dapat menimbulkan kondisi sistem tiga fasa yang tidak seimbang (simetris), bila digunakan pada daerah beban yang baru dan belum mantap pembagian bebannya. Contoh dari sistem jaringan ini dapat dilihat pada gambar 2.8.

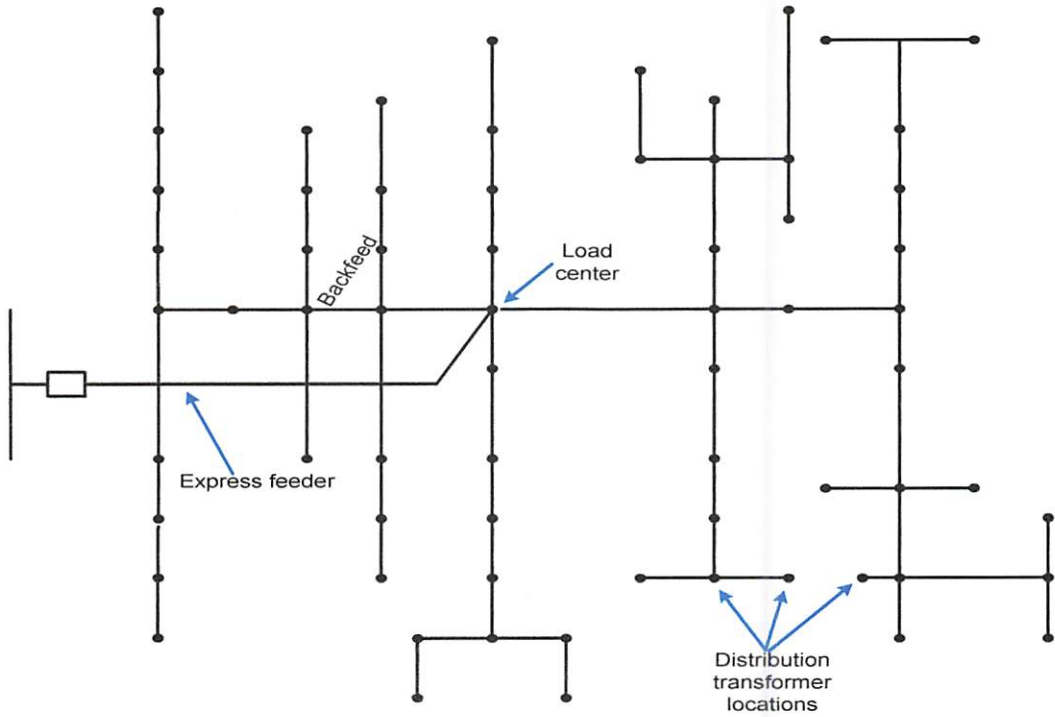


Gambar 2.8. Sistem Radial Dengan Pembagian *Phase Area* ^[3]

Sumber : Turan Gonen, "Electric Power Distribution System Engineering."

2.4.4. Sistem Radial Dengan Beban Terpusat

Bentuk dari sistem ini mensuplai daya dengan menggunakan *main feeder* yang disebut *express feeder* langsung ke pusat beban dan dari titik pusat beban ini disebut dengan menggunakan *back feeder* radial seperti terlihat pada gambar 2.9.



Gambar 2.9. Sistem Radial Dengan Beban Terpusat^[3]

Sumber : Turan Gonen, "Electric Power Distribution System Engineering."

2.5. Daya Dalam Sistem Tenaga Listrik^{[3][4]}

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

Daya listrik yang dibangkitkan dikenal dengan istilah:

2.5.1. Daya Nyata (Real Power)

Daya Nyata dinyatakan dalam persamaan :

$$P = [V] [I] \cos \varphi \dots\dots\dots(2.1)$$

Daya nyata untuk beban 3 fasa seimbang

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

2.5.2. Daya Reaktif (*Reactive power*)

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

Daya reaktif dinyatakan dalam persamaan :

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

Daya reaktif untuk beban 3 fasa seimbang :

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

2.5.3. Daya Semu (*Apparent Power*)

Daya semu dinyatakan dalam persamaan :

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

Daya semu untuk beban 3 fasa seimbang :

$$S = \sqrt{3} | V_{\text{jala-jala}} | | I_{\text{jala-jala}} | \dots\dots\dots (2.6)$$

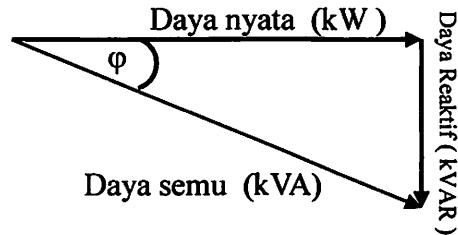
2.6. Daya Reaktif dan Faktor Daya^[1]

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

$$\text{Faktor daya} = \frac{\text{DayaNyata}(kW)}{\text{Dayasemu}(kVA)} \dots\dots\dots(2.7)$$

Untuk daya semu sendiri dibentuk oleh dua kompoen daya nyata (kW) dan komponen daya reaktif (kVAR).

Hubungan ini dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2.10. Segitiga Daya^[1]

Sumber : Hasan Basri, "Sistem Distribusi Tenaga Listrik."

Dengan Faktor daya = $\cos \varphi = \frac{P}{S}$

$$\cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q_1^2}} \dots\dots\dots(2.8)$$

P = Daya Nyata (kW)

S = Daya semu (kVA)

Q = Daya reaktif (kVar)

φ = Sudut Phase

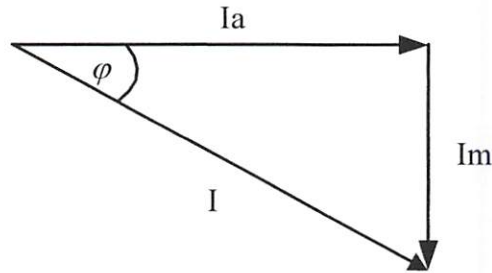
Dari gambar 2.10 daya semu terdiri dari komponen daya nyata dan daya reaktif.

Suatu beban akan membutuhkan suplai daya aktif jika beban tersebut bersifat induktif dan suatu beban membutuhkan suplai daya reaktif jika beban tersebut bersifat kapasitif. Jadi faktor daya dapat dilihat dari hubungan antara arus nyata, arus magnetisasi dan arus total.

- Arus nyata (I_a) adalah arus yang dibeban dan diubah kedalam energi panas.

- Arus magnetisasi (I_m) adalah arus yang mengalir dibeban untuk menimbulkan medan magnet.
- Arus total (I) adalah arus yang mengalir di jaringan dan merupakan penjumlahan vektor dari arus nyata dengan arus magnetisasi.

Dalam bentuk vektor hubungan tersebut digambarkan sebagai berikut :



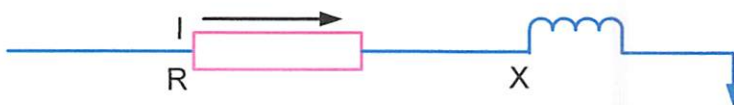
Gambar 2.11. Segitiga Arus ^[1]

Sumber : Hasan Basri, "Sistem Distribusi Tenaga Listrik."

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

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

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



Gambar 2.12. Saluran Primer Dengan Beban Tepusat ^[1]

Sumber : Hasan Basri, "Sistem Distribusi Tenaga Listrik."

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

$$P_L = I^2 R \\ = (I \cos \theta)^2 R + (I \sin \theta)^2 R \dots\dots\dots (2.9)$$

dimana : I_R adalah arus aktif

I_X adalah arus reaktif

2.7. Kapasitor Daya^[1]

Secara sederhana kapasitor terdiri dari dua buah plat logam yang dipisahkan oleh suatu bahan elektrik dan kapasitor ini mempunyai sifat menyimpan muatan listrik. Pada beberapa tahun lalu kebanyakan kapasitor terbuat dari dua buah plat alumunium murni yang dipisahkan oleh tiga atau lebih lapisan kertas yang dilapisi oleh bahan kimia. Kapasitor daya telah mengalami perkembangan yang begitu cepat selama 30 tahun terakhir. Karena bahan elektrik yang digunakan lebih efisien serta teknologi pembuatan kapasitor lebih baik.

2.7.1. Kapasitor Seri dan Kapasitor *Shunt*

Kapasitor daya terdiri atas 2 bagian yaitu kapasitor seri dan kapasitor *shunt*:

a. Kapasitor Seri

Kapasitor seri adalah kapasitor yang dihubung seri dengan impedansi saluran yang bersangkutan, pemakaiannya amat dibatasi pada saluran distribusi, karena peralatan pengamannya cukup rumit. Jadi secara umum dikatakan biaya untuk pemasangan kapasitor seri lebih mahal daripada biaya pemasangan kapasitor paralel atau biasa disebut kapasitor *shunt*.

b. Kapasitor *Shunt*

Kapasitor *shunt* adalah kapasitor yang dihubungkan paralel dengan saluran dan secara intensif digunakan pada saluran distribusi. Kapasitor *shunt* mencatu daya reaktif atau arus yang menentang komponen arus beban induktif.

Dengan dipasangnya kapasitor *shunt* pada jaringan distribusi akan dapat memperbaiki profil tegangan, memperbaiki faktor daya dan menaikkan kapasitas sistem serta dapat mengurangi rugi saluran.

2.7.2. Faktor-faktor pemilihan kapasitor Seri dan kapasitor *shunt*^[5] :

Faktor-faktor yang mempengaruhi pemilihan kapasitor *shunt* dan seri ditabelkan sebagai berikut :

Tabel 2-1
Kapasitor Seri dan Kapasitor *Shunt*

No	Tujuan	Kapasitor	
		Seri	Shunt
1	Memperbaiki faktor daya	Kedua	Pertama
2	Memperbaiki tingkat tegangan pada sistem saluran udara dengan faktor daya normal dan rendah	Pertama	Kedua
3	Memperbaiki tingkat tegangan pada sistem saluran udara dengan faktor daya yang tinggi	Tidak Dipakai	Pertama
4	Memperbaiki tingkat tegangan pada sistem saluran udara bawah tanah dengan faktor daya yang tinggi	Tidak Dipakai	Tidak Dipakai
5	Memperbaiki tingkat tegangan pada sistem saluran bawah tanah dengan	Pertama	Tidak Dipakai

6	faktor daya normal dan rendah Mengurangi rugi-rugi daya dan rugi-rugi energi pada saluran	Kedua	Pertama
7	Mengurangi fluktuasi tegangan	Pertama	Tidak Dipakai

Sumber : AS.Pabla "Sistem Distribusi Daya Listrik"

2.8. Pengaruh Pemasangan Kapasitor *Shunt*^[1]

Kapasitor *shunt* adalah kapasitor yang dihubungkan paralel dengan saluran dan secara intensip digunakan pada sistem distribusi. Kapasitor *shunt* mencatu daya reaktif atau yang menentang komponen arus beban induktif. Dengan dipasang kapasitor *shunt* pada jaringan distribusi akan dapat memperbaiki profil tegangan, memperbaiki faktor daya dan menaikkan kapasitas sistem serta dapat mengurangi rugi saluran.

Adapun dua cara dalam pemakaian kapasitor *shunt* :

- Kapasitor Tetap (*Fixed Capacitor*)
- Kapasitor Saklar (*Switched Capacitor*)

a. Kapasitor Tetap

Adalah kapasitor untuk kompensasi daya reaktif yang kapasitasnya tetap dan selalu terpasang di jaringan. Penggunaan kapasitor jenis ini harus memperhatikan kenaikan tegangan yang terjadi pada saat beban ringan agar tidak melebihi tegangan yang ditetapkan

b. Kapasitor Saklar

Adalah kapasitor untuk kompensasi daya reaktif yang dapat dihubungkan dan di lepaskan dari jaringan dan dapat diatur besar kapasitasnya sesuai dengan kondisi beban.

Proses membuka-menutup dari saklar kapasitor *shunt* dapat dilakukan dengan cara manual maupun dengan cara otomatis. Pengendalian secara manual (Pada lokasi atau lokasi jarak jauh) dapat dilakukan pada G.I.

Untuk pengendalian secara otomatis, termasuk didalamnya peralatan pengendali tegangan, arus dan suhu. Tipe yang paling populer adalah pengendalian saklar waktu (*time-switch control*), pengendali tegangan dan pengendali tegangan arus.

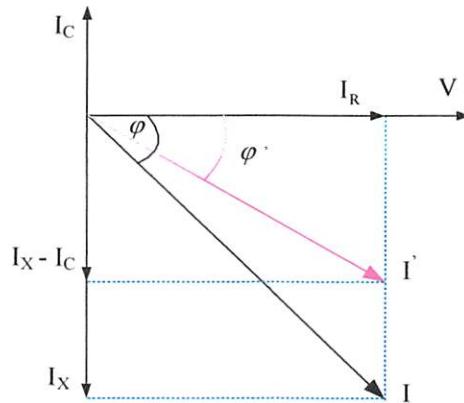
2.8.1. Pengurangan Rugi-Rugi Saluran dengan Kapasitor *Shunt*

Rugi-rugi saluran sebelum ada pengaruh pemasangan kapasitor adalah seperti pada persamaan (2.9) diatas.

Sedangkan setelah pemasangan kapasitor, maka sebagian daya reaktif yang dibutuhkan oleh beban akan disuplai oleh kapasitor tersebut, sehingga arus yang mengalir di jaringan akan lebih kecil. Persamaan rugi daya dan rugi energi setelah pemasangan kapasitor adalah :

$$P_L' = (I \cos \theta)^2 R + (I \sin \theta - I_c)^2 R \dots\dots\dots(2.10)$$

Dalam bentuk diagram vektor adalah :



Gambar 2-14. Vektor arus dan tegangan sebelum dan setelah pemasangan kapasitor^[1]

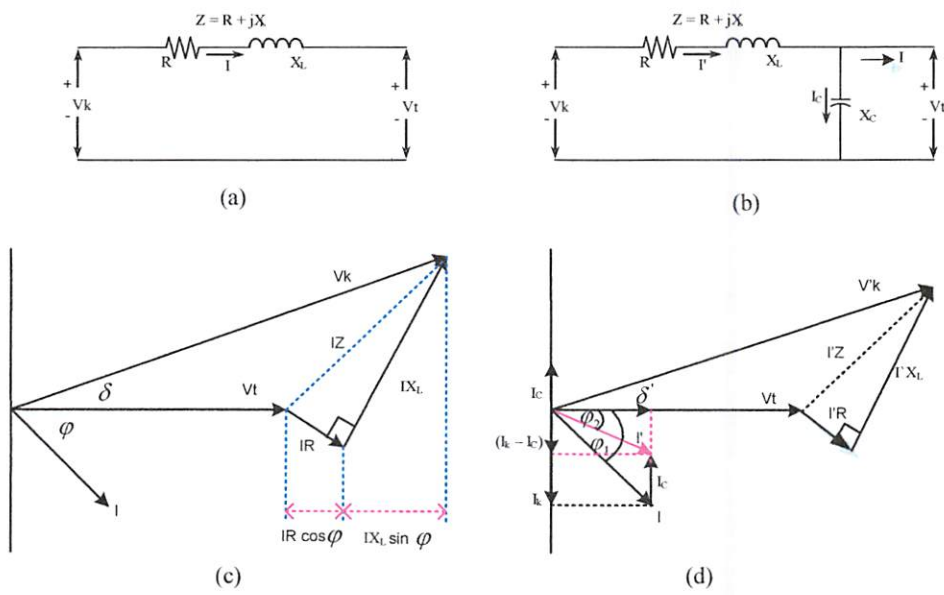
Sumber : Hasan Basri, "Sistem Distribusi Tenaga Listrik."

Sehingga pengurangan rugi daya dengan adanya pemasangan kapasitor *shunt* adalah :

$$\begin{aligned}
 \Delta_{pls} &= I^2R - I_1^2R \\
 &= (I \cos \theta)^2R + (I \sin \theta)^2R - (I \cos \theta)^2R + (I \sin \theta - I_c)^2R \\
 &= 2 (I \sin \theta)I_cR - I_c^2R \dots\dots\dots (2.11)
 \end{aligned}$$

2.8.2. Perbaikan Tegangan^[1]

Pemakaian kapasitor *shunt* dalam sistem tenaga listrik selain untuk perbaikan faktor daya juga bertujuan menaikkan tagangan. Dan secara vektoris dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.15. Diagram vector pada rangkaian dengan pf *lagging* (a) dan (c) tanpa kapasitor shunt, (b) dan (d) dengan kapasitor *shunt*

Sumber : Hasan Basri, "Sistem Distribusi Tenaga Listrik."

Jatuh tegangan pada jaringan dengan pf *lagging* dapat dihitung sebagai berikut :

Sebelum pemasangan kapasitor :

$$\delta V = IR \cos \varphi + IX_L \sin \varphi \quad \text{volt} \dots\dots\dots(2.12)$$

Bila kapasitor dipasang pada ujung penerima dari saluran, seperti yang terlihat pada gambar 2-15b, secara pendekatan jatuh tegangannya menjadi :

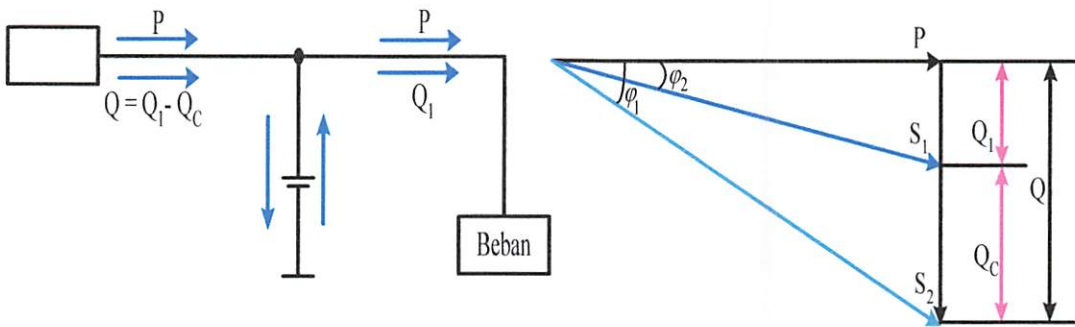
$$\delta V = IR \cos \varphi + (IX_L - I_C) \sin \varphi \quad \text{volt} \dots\dots\dots(2.13)$$

2.8.3. Perbaikan Faktor Daya dan Kenaikan Kapasitas Sistem

Manfaat terbesar yang diperoleh dari perbaikan faktor daya berasal dari pengurangan daya reaktif dalam sistem. Hal ini menghasilkan pengurangan biaya pemakaian daya yang lebih rendah, kenaikan kapasitas sistem, perbaikan tegangan dan pengurangan rugi-rugi dalam sistem. Satu-satunya jalan untuk memperbaiki faktor daya adalah mengurangi daya reaktif di jaringan, Jika komponen arus

reaktif dapat dikurangi, maka total arus akan berkurang sedangkan komponen daya aktif tidak berubah, maka faktor daya akan lebih besar sebagai akibat berkurangnya daya reaktif. Faktor daya akan mencapai 100 % jika komponen daya reaktif sama dengan nol (0).

Dengan menambah kapasitor, daya reaktif Q akan berkurang, gambar 2.16 menunjukkan perbaikan faktor daya pada sistem, kapasitor mensuplai daya reaktif ke beban.



Gambar 2-16. Perbaikan Faktor Daya^[1]

Sumber : Hasan Basri, "Sistem Distribusi Tenaga Listrik."

Diasumsikan bahwa beban disuplai oleh daya nyata P, daya reaktif (Lagging) Q dan daya semu S, pada faktor daya tertinggal $\cos \varphi$

$$\cos \varphi = \frac{P}{S_1} \dots\dots\dots(2.14)$$

Bila suatu kapasitor Q_c kVAR dipaang pada beban, faktor daya dapat diperbaiki dari $\cos \varphi_1$ menjadi $\cos \varphi_2$ dimana:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S_1}$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{(P^2 + Q_1^2)}}$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{P^2 + (Q_1 - Q_c)^2}} \dots\dots\dots(2.15)$$

Sehingga daya semu dan daya reaktif berkurang dari S_1 (kVA) ke S_2 (kVA) dan dari Q_1 (kVAR) Q_2 (kVAR) sehingga kapasitas beban akan meningkat. Dengan demikian dapat diambil kesimpulan bahwa *persentase* pengurangan rugi-rugi daya jaringan

dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

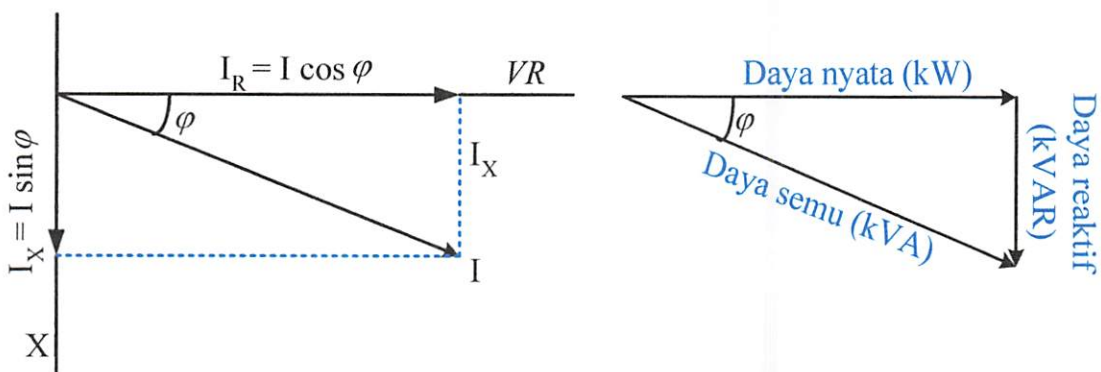
$$\% \text{ Rugi Daya} = 100 \left(\frac{\text{Faktor.daya.mula} - \text{mula}(\cos \varphi_1)}{\text{Faktor.daya.baru}(\cos \varphi_2)} \right) \dots\dots\dots(2.16)$$

%Pengurangan Rugi Daya

$$= 100 \left(1 - \left(\frac{\text{Faktor.daya.mula} - \text{mula}(\cos \varphi_1)}{\text{Faktor.daya.baru}(\cos \varphi_2)} \right)^2 \right) \dots\dots\dots(2.17)$$

2.8.4. Perhitungan Pengaruh Perbaikan Faktor Daya

Diagram *phase* dari dua komponen arus nyata itu arus aktif dan reaktif dapat dilihat pada gambar 2-17 berikut:



Gambar 2-17. Diagram Fasor dan Sudut Daya Beban Distribusi^[1]
 Sumber : Hasan Basri, "Sistem Distribusi Tenaga Listrik."

Penjumlahan secara vektor dari arus aktif dan reaktif menghasilkan arus-arus total yang dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$I = \text{Arus Semu} = \sqrt{(\text{arus.aktif})^2 + (\text{arus.reaktif})^2}$$

$$= \sqrt{(I \cdot \cos \varphi)^2 + (I \cdot \sin \varphi)^2} \dots\dots\dots(2.18)$$

Pada suatu tegangan V, daya aktif, daya reaktif, dan daya nyata, adalah sebanding dengan arus, dimana hubungannya dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\text{Daya Semu (kVA)} = \sqrt{(\text{Daya.aktif})^2 + (\text{Daya.reaktif})^2}$$

$$(VI) = \sqrt{(VI \cdot \cos \varphi)^2 + (VI \cdot \sin \varphi)^2} \dots\dots\dots(2.19)$$

$$\text{Faktor Daya} = \frac{\text{Daya.aktif}}{\text{Daya.Semu}} = \frac{kW}{kVA}$$

$$\text{Daya Aktif} = \text{Daya Semu} \cdot \text{Faktor Daya}$$

$$kW = kVA \cdot \text{Faktor Daya}$$

$$kW = kVA \cos \varphi \dots\dots\dots(2.20)$$

2.8.5. Penentuan Rating Kapasitor untuk Perbaikan Faktor Daya Beban

Dari hubungan fasor diagram daya aktif dan daya reaktif dapat ditulis beberapa persamaan matematis sebagai berikut:

$$\cos \varphi = \frac{\text{Daya.aktif}}{\text{Daya.semua}} = \frac{(kW)}{(kVA)} \dots\dots\dots(2.21)$$

$$\sin \varphi = \frac{\text{Daya.reaktif}}{\text{Daya.semua}} = \frac{(kVAR)}{(kVA)} \dots\dots\dots(2.22)$$

$$\tan \varphi = \frac{(kVAR)}{(kW)} \dots\dots\dots(2.23)$$

sebenarnya dengan harga dasar (base value), sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{Besaran per - unit} = \frac{\text{besaran sesungguhnya}}{\text{besaran dasar dengan dimensi yang sama}} \dots\dots\dots (2.26)$$

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

- Untuk data 1 fasa

Arus dasar:

$$I_d = \frac{\text{kVA dasar 1 fasa}}{\text{kV dasar L - N}} \dots\dots\dots (2.27)$$

Impedansi dasar:

$$\begin{aligned} Z_d &= \frac{(\text{kV dasar L - N})^2 \times 1000}{\text{kVA dasar 1 fasa}} \dots\dots\dots (2.28) \\ &= \frac{(\text{kV dasar L - N})^2}{\text{MVA dasar 1 fasa}} \end{aligned}$$

Dalam persamaan diatas nilai-nilai besaran diberikan untuk rangkaian satu fasa. Jadi tegangannya adalah tegangan antara fasa ke tanah dan daya setiap fasa.

Setelah besaran-besaran dasar telah ditentukan maka besaran-besaran itu dinormalisasikan terhadap besaran dasar. Dengan demikian impedansi per satuan didefinisikan sebagai berikut :

$$Z = \frac{\text{Impedansi sebenarnya } Z (\Omega)}{\text{Impedansi dasar } Z_d} \dots\dots\dots (2.29)$$

BAB III

ANALISA PENENTUAN LETAK DAN KAPASITAS KAPASITOR PADA JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER 20 kV TIPE RADIAL DENGAN METODE *RESIZE GENETIC ALGORITHM*

3.1. Analisa Aliran Daya Jaringan Radial^[2]

Sebelum melakukan optimasi dengan menggunakan metode *Resize Genetic Algorithm* dilakukan suatu proses analisa aliran daya untuk mengetahui kondisi suatu sistem distribusi radial.

3.1.1. Tujuan

Tujuan mempelajari analisa aliran daya pada skripsi ini adalah :

1. Untuk mengetahui keadaan tegangan pada setiap bus dari sistem jaringan.
2. Untuk mengetahui besarnya daya yang mengalir pada setiap cabang dari struktur jaringan.
3. Untuk mengetahui besar rugi-rugi daya aktif dan daya reaktif pada setiap cabang dari saluran.

3.1.2. Metode Newton Raphson^[3]

Secara matematis persamaan aliran daya *Newton Raphson* dapat diselesaikan dengan menggunakan koordinat rektanguler, koordinat polar atau bentuk hibrid (gabungan antara bentuk kompleks dengan bentuk polar). Dalam pembahasan skripsi ini menggunakan bentuk polar.

Hubungan antara arus simpul I_p dengan tegangan simpul V_q pada suatu jaringan dengan n simpul dapat dituliskan :

$$I_p = \sum_{q=1}^n Y_{pq} V_{pq} \dots\dots\dots(3.1)$$

Injeksi daya pada simpul p adalah :

$$S_p = P_p - jQ_p = V_p^* \cdot I_p \dots\dots\dots(3.2)$$

$$= V_p^* \sum_{q=1}^n Y_{pq} V_{pq} \dots\dots\dots(3.3)$$

Dalam penyelesaian aliran daya dengan *Newton Raphson* bentuk persamaan aliran daya yang dipilih adalah polar, dimana tegangan dinyatakan dalam bentuk polar , yaitu :

$$V_p^* = |V_p| e^{-j\delta_p}$$

$$V_q = |V_q| e^{j\delta_q}$$

$$Y_{pq}^* = |Y_{pq}| e^{-j\theta_{pq}}$$

Maka persamaan (3.3) dapat ditulis :

$$P_p - jQ_p = \sum_{q=1}^n |V_p V_q Y_{pq}| e^{-j(\delta_p - \delta_q + \theta_{pq})} \dots\dots\dots(3.4)$$

Dengan memisahkan bagian riil dan bagian imajiner maka diperoleh :

$$P_p = \sum_{q=1}^n |V_p V_q Y_{pq}| \cos (\delta_p - \delta_q + \theta_{pq}) \dots\dots\dots(3.5)$$

$$Q_p = \sum_{q=1}^n |V_p V_q Y_{pq}| \sin (\delta_p - \delta_q + \theta_{pq}) \dots\dots\dots(3.6)$$

Kedua persamaan diatas akan menghasilkan suatu kumpulan persamaan serempak (simultan) yang tidak linier untuk setiap simpul sistem tenaga listrik. Untuk mengetahui magnitude tegangan (V) dan sudut fasa (δ) disetiap simpul dapat

diselesaikan dengan menggunakan persamaan (3.5) dan (3.6) yang dilinierkan dengan metode *Newton Raphson* yang dapat dilihat dari persamaan dibawah ini :

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H & N \\ M & L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \dots\dots\dots(3.7)$$

Dimana :

ΔP = selisih injeksi bersih daya nyata dengan penjumlahan aliran daya nyata tiap saluran yang menghubungkan simpul dengan V yang didapat dari perhitungan iterasi ke-k

ΔQ = selisih injeksi bersih daya reaktif dengan penjumlahan aliran daya reaktif tiap saluran yang menghubungkan simpul dengan V yang didapat dri perhitungan iterasi ke-k

$\Delta \delta$ = vektor koreksi sudut fasa tegangan

$\Delta |V|$ = vektor koreksi magnitudo tegangan

H, L, M, N merupakan elemen-elemen off diagonal dan diagonal dari sub matriks Jaqobian yang dibentuk dengan mendefinisikan persamaan (3.5) dan (3.6), dimana:

$$H_{pq} = \frac{\partial P_p}{\partial \delta_q} \qquad N_{pq} = \frac{\partial P_p}{\partial |V_q|}$$

$$M_{pq} = \frac{\partial Q_p}{\partial \delta_q} \qquad L_{pq} = \frac{\partial Q_p}{\partial |V_q|}$$

Persamaan (3.7) diselesaikan untuk menghitung vektor koreksi magnitudo tegangan $\Delta(|V|)$ dan sudut fasa tegangan ($\Delta\delta$) yang baru. Sehingga diperoleh harga magnitudo tegangan dan sudut fasa yang baru, yaitu :

$$|V|^{k+1} = |V|^k + \Delta|V|^k \dots\dots\dots (3.8)$$

$$\delta^{k+1} = \delta^k + \Delta\delta^k \dots\dots\dots (3.9)$$

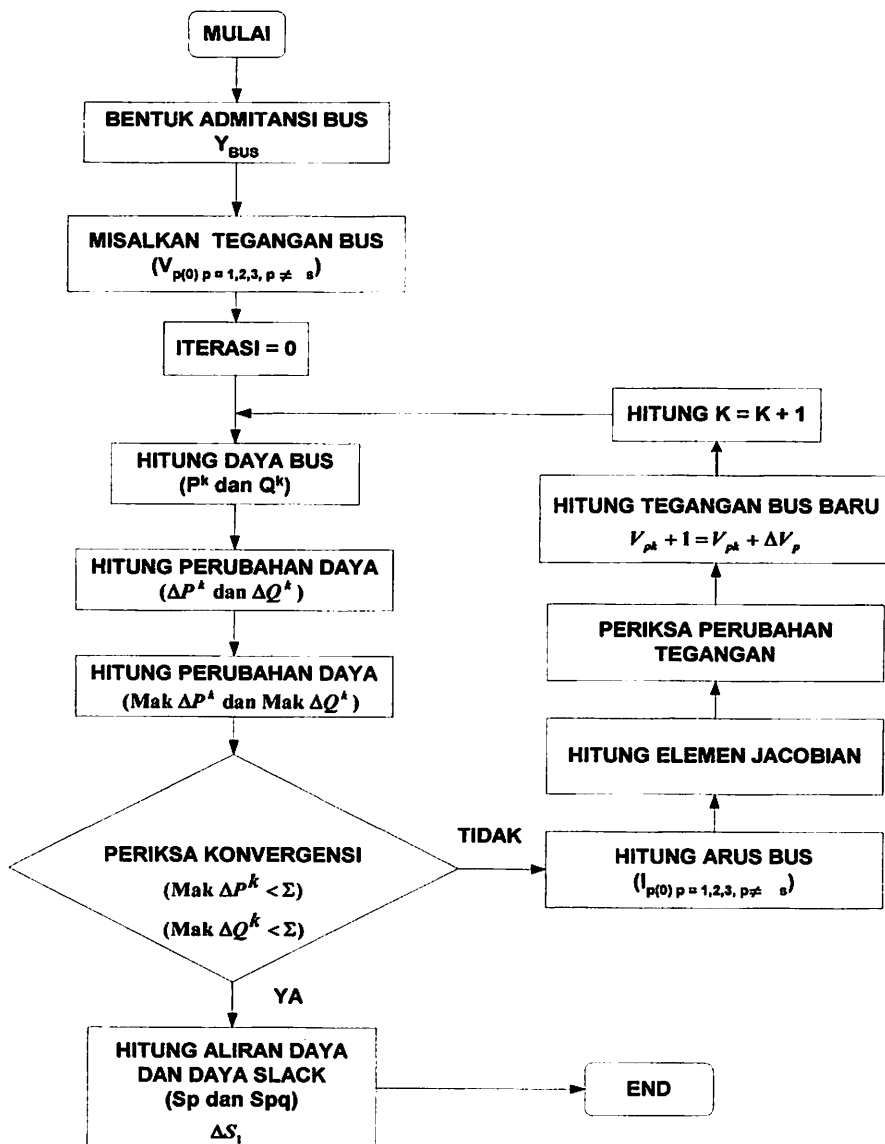
Proses perhitungan akan berulang sampai selisih daya nyata dan daya reaktif antara yang dijadwalkan dengan yang dihitung, yaitu ΔP dan ΔQ untuk semua simpul mendekati nilai toleransi atau proses perhitungan iterasi mencapai konvergen.

3.1.3. Algoritma Aliran Daya *Newton Raphson*

1. Tentukan nilai $P_{p(\text{ditetapkan})}$ dan $Q_{p(\text{ditetapkan})}$ yang mengalir ke dalam sistem pada setiap rel untuk nilai yang ditentukan atau perkiraan dari besar dan sudut tegangan untuk iterasi pertama atau tegangan yang ditentukan paling akhir untuk iterasi berikutnya.
2. Hitung ΔP pada setiap rel.
3. Hitung nilai-nilai matrik Jacobian dengan menggunakan nilai-nilai perkiraan atau yang ditentukan dari besar dan sudut tegangan dalam persamaan untuk turunan parsial yang ditentukan dengan differensiasi persamaan (3.5) dan (3.6).
4. Balikkan Jacobian itu dan hitung koreksi-koreksi tegangan $\Delta\delta_q$ dan $\Delta|V_q|$ pada nilai sebelumnya.
5. Hitung nilai baru dari δ_q dan $|V_q|$ dengan menambahkan $\Delta\delta_p$ dan $\Delta|V_q|$ pada nilai sebelumnya.
6. Kembali ke langkah pertama dan ulangi proses itu dengan menggunakan nilai untuk besar dan sudut tegangan yang ditentukan paling akhir sehingga semua nilai ΔP dan ΔQ atau semua nilai $\Delta\delta$ dan $\Delta|V|$ lebih kecil dari suatu indeks ketetapan yang telah dipilih.

3.1.4. *Flowchart* Algoritma Program Algoritma aliran daya *Newton*

Raphson



Gambar 3.1.
Flowchart Algoritma Aliran Daya *Newton Raphson*

3.2. Algoritma Penyelesaian Metode

3.2.1. Algoritma Genetika^[5]

Algoritma Genetika merupakan metode *adaptive* yang bisa digunakan untuk memecahkan suatu pencarian nilai dalam sebuah masalah optimasi. Algoritma ini didasarkan pada proses genetik yang ada dalam makhluk hidup yaitu perkembangan generasi dalam sebuah populasi yang alami, secara lambat laun mengikuti prinsip seleksi alam “siapa yang kuat, dia yang bertahan (*survive*)”. Dengan meniru proses ini, algoritma genetika dapat digunakan untuk mencari solusi permasalahan-permasalahan dalam dunia nyata.

Algoritma Genetika ditemukan oleh John Holland pada awal tahun 1970 yang dilandasi oleh sifat-sifat evolusi alam. Holland percaya bahwa ini sangat cocok digabungkan dalam sebuah algoritma komputer, menghasilkan sebuah teknik penyelesaian untuk permasalahan-permasalahan yang sulit dengan langkah alami yaitu melalui evolusi. John Holland mulai bekerja dengan algoritma yang dibentuk dari string-string biner 1 dan 0 yang disebut *kromosom*. Seperti halnya alam, algoritma ini menyelesaikan permasalahan-permasalahan dengan menemukan kromosom-kromosom yang baik dengan memanipulasi materi dan sifat (*gene*) kromosom-kromosom. Algoritma ini tidak mengetahui type permasalahan yang akan diselesaikan. Hanya informasi yang telah diberikan dari *evaluasi* berupa nilai fitness setiap kromosom dengan nilai fitness terbaik yang bertahan hidup dan selalu diproduksi.

Sebelum Algoritma Genetika dijalankan, maka sebuah kode yang sesuai (*representasi*) untuk persoalan harus dirancang. Titik solusi dalam ruang

permasalahan dikodekan dalam bentuk kromosom/string yang terdiri dari komponen genetik terkecil yaitu gen. Pemakaian bilangan seperti integer, floating point dan abjad sebagai *allele* (nilai gen) memungkinkan penerapan operator genetika yaitu proses produksi (*reproduction*), pindah silang (*crossover*), mutasi (*mutation*) untuk menciptakan himpunan titik-titik solusi. Untuk memeriksa hasil optimasi, kita membutuhkan fungsi *fitness* yang menandakan gambaran hasil (*solution*) yang sudah dikodekan. Selama proses, induk harus digunakan untuk reproduksi, pindah silang dan mutasi untuk menciptakan keturunan (*offspring*). Jika Algoritma Genetika didesain dengan baik, populasi akan mengalami konvergensi dan akan mendapatkan sebuah solusi yang optimum.

Algoritma Genetika memiliki empat dasar kerja yaitu :

1. Bekerja dengan mengkodekan parameter-parameter permasalahan dan tidak bekerja secara langsung dengan parameter-parameter tersebut.
2. Mencari solusi masalah dari sejumlah populasi kandidat solusi, tidak hanya memproses satu solusi saja.
3. Hanya memperhitungkan fungsi fitness setiap kandidat solusi untuk mendapatkan hasil optimum global.
4. Menggunakan aturan transisi secara probabilistik bukan deterministik.

3.2.1.1. Istilah-Istilah Algoritma Genetika

Algoritma Genetika menggunakan mekanisme genetika yang ada pada proses alami dan sistem buatan. Istilah-istilah yang digunakan adalah gabungan

dari dua disiplin ilmu, yaitu ilmu Biologi dan ilmu computer. Mitsuo Gen dan Runwei Cheng (1997) menjelaskan istilah-istilah yang digunakan dalam Algoritma Genetika sebagai berikut :

Tabel 3.1. Istilah Yang Digunakan Dalam Algoritma Genetika

Istilah	Keterangan
Kromosom	Individu berupa segmen string yang sudah ditentukan
Gen	Bagian dari string
Loci	Posisi dari gen
Allele	Nilai yang dimasukkan dalam gen
Phenotype	String yang merupakan solusi terakhir
Genotype	Sejumlah string hasil perkawinan yang berpotensi sebagai solusi

Terdapat beberapa parameter yang digunakan dalam Algoritma Genetika. Parameter tersebut digunakan untuk melihat kompleksitas dari Algoritma Genetika. Parameter yang digunakan tersebut adalah :

Jumlah Generasi (MAXGEN)

Merupakan jumlah perulangan (iterasi) dilakukannya rekombinasi dan seleksi. Jumlah generasi ini mempengaruhi kestabilan output dan lama iterasi (waktu proses Algoritma Genetika). Jumlah generasi yang besar dapat mengarahkan kearah solusi yang optimal, namun akan membutuhkan waktu yang lama. Sedangkan jika jumlahnya terlalu sedikit maka solusi akan terjebak pada local optimum.

Ukuran Populasi (POPSIZE)

Ukuran populasi mempengaruhi kinerja dan efektifitas dari Algoritma Genetika. Jika ukuran populasi kecil maka populasi tidak menyediakan cukup materi untuk mencakup ruang permasalahan, sehingga pada umumnya kinerja Algoritma Genetika menjadi buruk. Dalam hal ini dibutuhkan ruang yang lebih besar untuk mempersentasikan keseluruhan ruang permasalahan. Selain itu penggunaan populasi yang besar dapat mencegah terjasinya konvergensi pada wilayah local. Zbigniew Michalewics (1996) berpendapat banyak aplikasi Algoritma Genetika mempergunakan populasi pada range 50-100.

Probabilitas Crossover (P_c)

Probabilitas crossover ini digunakan untuk mengendalikan frekuensi operator crossover. Dalam hal ini, dalam populasi terdapat $P_c \times POPSIZE$ struktur (individu) yang melakukan pindah silang. Semakin besar nilai probabilitas crossover maka semakin cepat struktur baru yang diperkenalkan dalam populasi. Namun jika probabilitas crossover terlalu besar maka struktur dengan nilai fungsi obyektif yang baik dapat hilang dengan lebih cepat dari seleksi. Sebaliknya jika probabilitas terlalu kecil akan menghalangi proses pencarian dalam proses Algoritma Genetika. Zbigniew Michalewics (1996) berpendapat banyak aplikasi Algoritma Genetika mempergunakan angka probabilitas crossover pada range 0.65 – 1.

Probabilitas Mutasi (P_m)

Mutasi digunakan untuk meningkatkan variasi populasi digunakan untuk menentukan tingkat mutasi yang terjadi, karena frekuensi terjadinya mutasi tersebut menjadi $P_m \times \text{POPSIZE} \times N$, dimana N adalah panjang struktur / gen dalam satu individu. Probabilitas mutasi yang rendah akan menyebabkan gen-gen yang berpotensi tidak dicoba. Dan sebaliknya, tingkat mutasi yang tinggi akan menyebabkan keturunan akan semakin mirip dengan induknya. Dalam Algoritma Genetika, mutasi menjalankan aturan penting yaitu :

1. Mengganti gen-gen yang hilang sama proses seleksi.
2. Menyediakan gen-gen yang tidak muncul pada saat inisialisasi awal populasi.

Zbigniew Michalewics (1996) berpendapat banyak aplikasi Algoritma Genetika mempergunakan angka probabilitas mutasi pada daerah range 0.001 – 0.01.

Panjang Kromosom ($NVAR$)

Panjang kromosom berbeda-beda sesuai dengan model permasalahan. Titik solusi dalam ruang permasalahan dikodekan dalam bentuk kromosom/string yang terdiri dari komponen genetik terkecil yaitu gen. Pengkodean dapat memakai bilangan seperti string biner, integer, floating point dan abjad

3.2.1.2. Proses Algoritma Genetika

Sangat perlu untuk mengetahui proses dalam Algoritma Genetika. Dibawah ini akan diuraikan mengenai hal itu, dimana uraian ini merupakan penjabaran dari Algoritma Genetika seperti penjelasan pada bagian berikutnya.

A. Pengkodean atau Representasi

Langkah pertama kali yang dilakukan dalam penggunaan Algoritma Genetika adalah melakukan pengkodean atau representasi terhadap permasalahan yang akan dilakukan.

Secara umum Algoritma Genetika dibentuk oleh serangkaian kromosom yang ditandai dengan x_i ($i = 1, 2, \dots, N$). Setiap elemen dalam kromosom ini adalah variabel string yang disebut gen, berisi nilai-nilai atau allele. Variabel-variabel ini dapat dinyatakan dalam bentuk bilangan biner, bilangan real (*floating point*), integer, abjad. Pengkodean string biner merupakan pendekatan klasik yang digunakan dalam penelitian Algoritma Genetika karena sederhana. Meskipun representasi dengan cara ini menyulitkan untuk beberapa permasalahan optimasi, misalnya permasalahan graph coloring. Digunakan teknik pengkodean yang lain seperti representasi real number (*floating point*), representasi *order-based* (untuk *bin-patching*, *graph coloring*), *embedded lists* (untuk permasalahan penjadwalan (*scheduling*), *variable element list* (untuk semi konduktor layout), dan even *LISP S-expressions*.

Selanjutnya beberapa kromosom dibentuk dan berkumpul membentuk populasi. Populasi inilah populasi awal bagi Algoritma Genetika untuk awal melakukan pencarian.

B. Fungsi *Fitness* (Fungsi Evaluasi)

Dalam Algoritma Genetika, sebuah fungsi *fitness* $f(x)$ harus dirancang untuk masing-masing permasalahan yang akan diselesaikan. Dengan

menggunakan kromosom tertentu, fungsi obyektif atau fungsi evaluasi akan mengevaluasi status masing-masing kromosom. Setiap gen x_i ($i = 1, 2, \dots, N$) dipergunakan untuk menghitung $f_k(x)$ ($k = 1, 2, \dots, \text{POPSIZE}$).

Pada permulaan optimasi, biasanya nilai *fitness* masing-masing individu masih mempunyai rentang yang lebar. Seiring dengan bertambah besar generasi, beberapa kromosom mendominasi populasi dan mengakibatkan rentang nilai *fitness* semakin kecil. Hal ini dapat mengakibatkan konvergensi dini (*premature convergence*).

Permasalahan klasik dalam Algoritma Genetika adalah beberapa kromosom dengan nilai *fitness* yang tinggi (tetap bukan nilai optimum) mendominasi populasi dan mengakibatkan Algoritma Genetika konvergen pada lokal optimum. Ketika mencapai konvergen, kemampuan Algoritma Genetika untuk mencari solusi yang lebih baik menghilang. Tukar silang antara kromosom induk yang hampir identik. Dalam hal ini hanya operasi mutasi yang mampu menghasilkan kromosom yang relatif baru dan merupakan cara untuk menghindari kromosom tertentu mendominasi populasi.

C. Seleksi

Pada Algoritma Genetika terdapat proses seleksi yaitu proses pemilihan kromosom yang akan di-crossover-kan dengan kromosom dari individu lain. Masalah yang paling mendasar pada proses ini adalah bagaimana proses penyeleksiannya. Menurut teori Darwin proses seleksi individu adalah : "*individu terbaik akan tetap hidup dan menghasilkan keturunan*". Pada proses seleksi ini

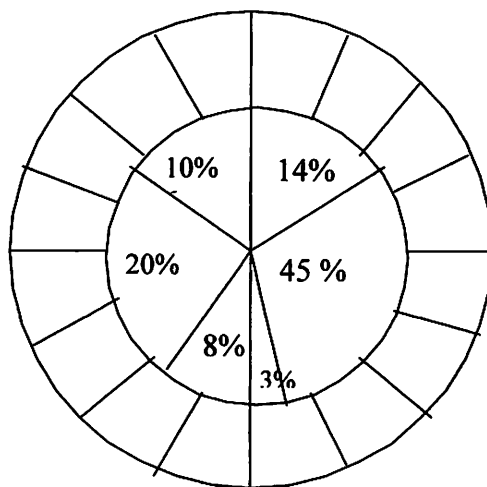
dapat menggunakan banyak metode seperti *rouleete wheel selection*, *rank selection*, *elitesm* dan lain sebagainya.

➤ **Roulette Wheel Selection**

Dimana setiap individual memiliki harga fitness sehingga didapatkan probabilitas individual $(f(t)/\sum f(t))$ tersebut dicopykan pada populasi yang baru. Untuk individual yang memiliki probabilitas 20% untuk jumlah populasi 10 maka kemungkinan individual tersebut dapat terpilih sebanyak dua kali. Ilustrasi kerja operator ini dapat digambarkan seperti pada gambar 3.2.

Adapun algoritma dari *roulette-wheel* adalah sebagai berikut :

1. Menjumlahkan fitness dari seluruh anggota populasi.
2. Membangkitkan nilai k, suatu nilai random antara 0 dan total fitnessnya.
3. Menjumlahkan fitness dari kromosom-kromosom dari populasi mulai 0 hingga total fitness lebih besar atau sama dengan nilai k lalu ambil kromosom tersebut.



Gambar 3.2. Roulette Wheel

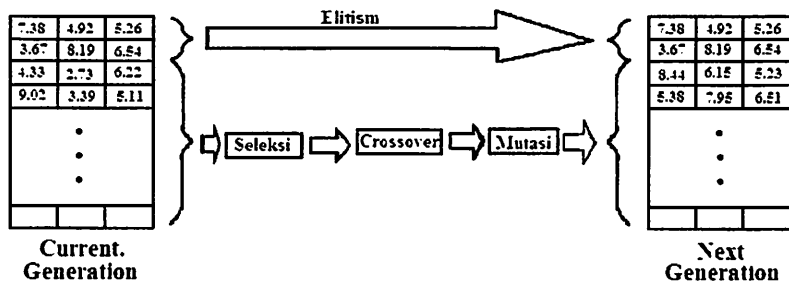
Sumber : Mitsuo Gen, Runwei Cheng, "*Genetic Algorithm And Engineering Design*",

Apabila fitness yang dimiliki oleh suatu kromosom dalam populasi berbeda terlalu jauh dari kromosom lainnya maka hal ini dapat menjadi permasalahan. Misalnya bila kromosom terbaik mempunyai fitness yang menyebabkan besarnya tempat yang dimilikinya dalam *roulette wheel* sebesar 90% maka kromosom-kromosom yang lain akan mempunyai peluang yang terlalu kecil untuk diseleksi.

Rank selection pertama kali merangking populasi dan kemudian setiap kromosom diberi nilai fitness baru berdasarkan hasil rangking tersebut. Yang pertama akan mempunyai *fitness* 1, yang kedua akan mempunyai fitness 2 dan seterusnya sampai yang terakhir akan mempunyai *fitness* N. Dengan demikian semua kromosom akan mempunyai peluang untuk diseleksi..

3.2.1.3. *Elitism*

Selama membuat populasi baru dengan *crossover* dan mutasi, kemungkinan akan terjadi kehilangan kromosom terbaik (*best/few best*). *Elitism* adalah metode yang pertama kali meng-copy-kan kromosom terbaik (*best/few best*) kedalam populasi baru. Sisanya dikerjakan dengan cara biasa, yaitu melalui seleksi, *crossover* dan mutasi. *Elitism* dapat secara cepat meningkatkan performansidari Algoritma Genetika karena *elitism* menghindarkan hilangnya hilangnya solusi terbaik (*best / few best*) yang telah ditemukan. Ilustrasi kerja operator ini dapat digambarkan seperti pada gambar 3.3.



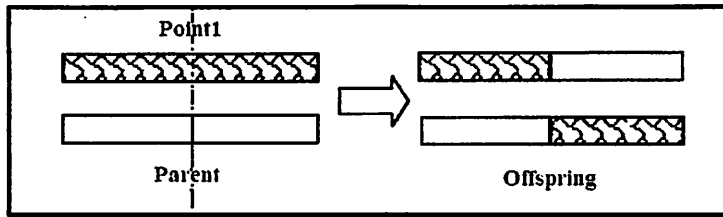
Gambar 3.3. Pembentukan *Next Generation* dalam Algoritma Genetika

Sumber : Mitsuo Gen, Runwei Cheng, “*Genetic Algorithm And Engineering Design*”,

3.2.1.4. *Crossover* (Pindah Silang)

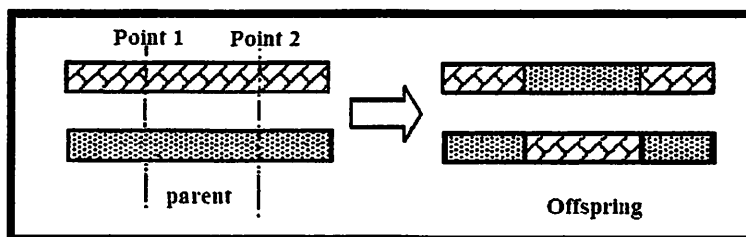
Fungsi dari *crossover* adalah menghasilkan kromosom anak dari kombinasi materi-msteri gen dua kromosom induk. Cara kerjanya dengan membangkitkan sebuah nilai random r_k dimana $k = 1, 2, \dots, \text{POPSIZE}$. Probabilitas *crossover* (P_c) ditentukan dan digunakan untuk mengendalikan frekuensi operator *crossover*. Apabila nilai $r_k < P_c$ maka kromosom ke- k terpilih untuk mengalami *crossover*. *Crossover* yang paling sederhana adalah *one point crossover*. Posisi titik persilangan (point) ditentukan secara random pada range satu sampai panjang kromosom. Kemudian nilai *offspring* diambil dari dua parent tersebut dengan batas titik persilangan tersebut. Ilustrasi kerja operator ini digambarkan seperti pada gambar 3.4.

Kemudian ditingkatkan lagi dengan menggunakan *two point crossover*. Penentuan posisi titik persilangan sama seperti sama seperti *one point crossover* sebelumnya. Pemilihan secara random dilakukan 2 kali. Kemudian nilai *offspring* diambil dari dua parent tersebut dengan batas dua titik persilangan tersebut. Ilustrasi kerja operator ini digambarkan seperti pada gambar 3.4.



Gambar 3.4. Ilustrasi operator dengan *One Point Crossover*

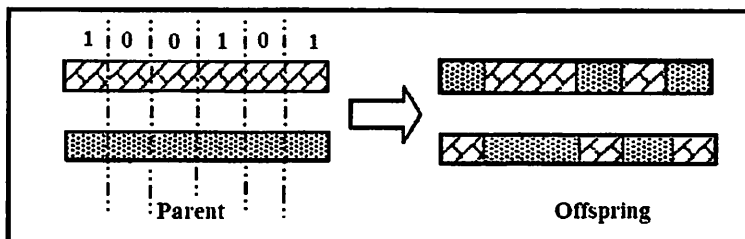
Sumber : Mitsuo Gen, Runwei Cheng, "*Genetic Algorithm And Engineering Design*",



Gambar 3.5. Ilustrasi operator dengan *Two Point Crossover*

Sumber : Mitsuo Gen, Runwei Cheng, "*Genetic Algorithm And Engineering Design*",

Untuk *crossover* uniform dibangkitkan suatu nilai random 0 dan 1 sepanjang jumlah kromosom untuk nilai loci. Jika nilai yang dibangkitkan mempunyai nilai 1 maka *allele* parent 2 dan offspring 2 untuk loci tersebut diambil dari *allele* parent 1 dan offspring 2 untuk loci tersebut diambil dari allele parent 2. Ilustrasi kerja operator ini digambarkan seperti pada gambar 3.6.

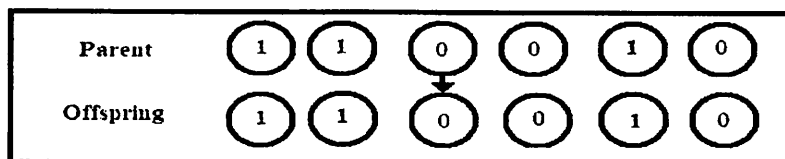


Gambar 3.6. Ilustrasi operator *crossover* dengan *uniform crossover*

Sumber : Mitsuo Gen, Runwei Cheng, "*Genetic Algorithm And Engineering Design*",

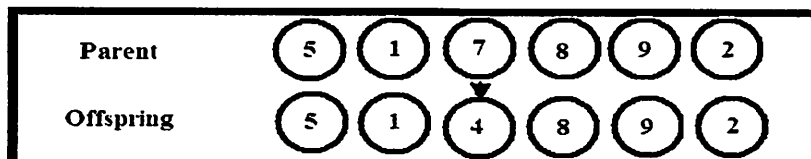
3.2.1.5. Mutation (Mutasi)

Operator mutasi digunakan untuk memodifikasi satu atau lebih nilai gen dalam satu individu. Cara kerjanya dengan membangkitkan sebuah nilai random r_k dimana $k = 1, 2, \dots, NVAR$ (panjang kromosom). Probabilitas mutasi (P_m) ditentukan dan digunakan untuk mengendalikan frekuensi operator mutasi. Apabila nilai random $r_k < P_m$ maka gen ke-k kromosom tersebut terpilih untuk mengalami mutasi. Mutasi dengan mengganti gen 0 dengan 1 atau sebaliknya gen 1 dengan 0. Biasanya disebut flip yaitu membalik nilai ke 1 atau 1 ke 0. Ilustrasi kerja operator untuk representasi string biner digambarkan pada gambar 3.7. Untuk bentuk representasi integer atau floating point, atau selain string biner, seperti gambar 3.8, proses mutasi terjadi apabila nilai $r_k < P_m$ memenuhi maka gen ke-k digantikan oleh suatu nilai random yang dibangkitkan pada range tertentu sesuai dengan pembentukan populasi awal.



Gambar 3.7. Ilustrasi operator mutasi untuk representasi string biner

Sumber : Mitsuo Gen, Runwei Cheng, "Genetic Algorithm And Engineering Design",



Gambar 3.8. Ilustrasi operator mutasi untuk representasi integer

Sumber : Mitsuo Gen, Runwei Cheng, "Genetic Algorithm And Engineering Design",

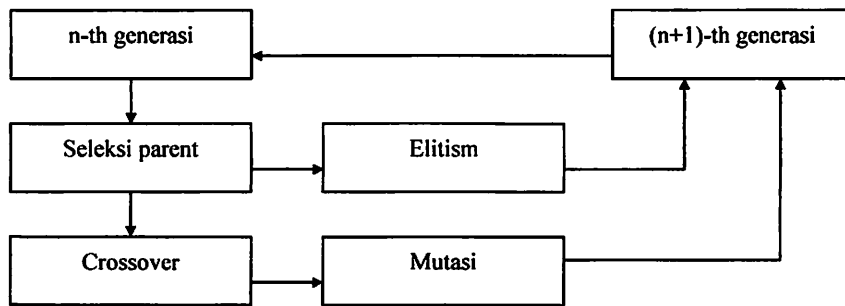
Untuk kromosom induk seperti gambar 3.7 diatas yaitu 5-1-7-8-9-2, proses mutasi adalah dibangkitkan sebuah nilai random r_k , [$k = 1 \dots NVAR$]. Misalkan pada saat $k = 3$ nilai $r_3 < P_m$ maka gen ke-3 yang bernilai 7 akan bermutasi dengan gen hasil random pada range $\{1 \dots x\}$ dan diperoleh nilai 4. Maka bentuk kromosom barunya adalah 5-1-4-8-9-2. Dimana x adalah nilai sembarang integer.

Fungsi dari operator mutasi adalah untuk menghindari agar solusi masalah yang diperoleh bukan merupakan solusi optimum lokal. Seperti halnya pada operator *crossover*, tipe dan implementasi dari operator mutasi bergantung pada jenis pengkodean dan permasalahan yang dihadapi. Seberapa sering mutasi dilakukan dinyatakan dengan suatu probabilitas mutasi, P_m . Posisi elemen pada kromosom yang akan mutasi ditentukan secara random. Mutasi dikerjakan dengan cara melakukan perubahan pada elemen tersebut.

3.3. Implementasi *Genetic Algorithm* ^[7]

3.3.1. Pengenalan *Genetic Algorithm*

Genetic algorithm adalah teknik optimasi yang cepat yang khusus diadaptasi untuk menemukan solusi global yang optimal untuk masalah non konvex. Mekanisme pencarian didasarkan pada prinsip dari seleksi natural yang diaplikasikan untuk petunjuk evolusi dari sebuah inisial populasi dari sebuah string binary yang bisa digambarkan sebagai kumpulan dari gen yang mengandung kromosom. Pasangan dari individu diseleksi dan dikombinasikan dengan proses crossover dan mutasi memberikan pertumbuhan pada generasi berikutnya. Elitism parsial adalah kemungkinan dari individu terbaik untuk ditransfer ke generasi berikutnya.



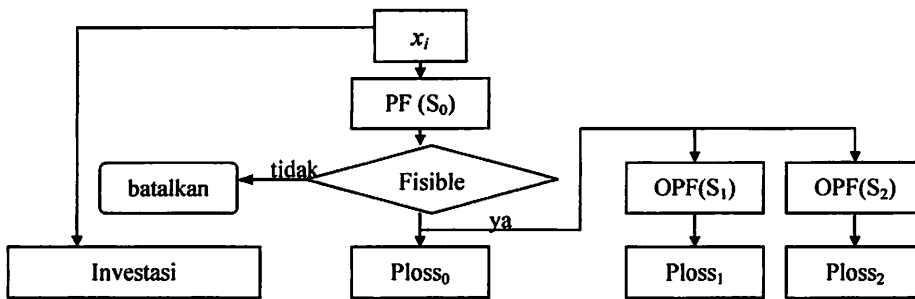
Gambar 3.9. Skema Ilustrasi dari *Genetic Algorithm*

Sumber : J. Riquelme, A. Gomez Exposito, J.L. Martinez Ramos.: “*A Reduced-Size Genetic Algorithm For Optimal Capacitor Placement On Distribution Feeder*”,

3.3.2. Pengkodean dan *Fitness* Evaluasi

Diberikan set dari b kandidat bus dan l scenario loading, pendekatan yang ada untuk masalah optimasi kapasitor sebagai string dengan lebar $b \cdot l \log_2 n$, dimana n adalah maksimum jumlah dari step kapasitor yang bisa dikoneksikan ke setiap bus. Batasan elektrikal ditambahkan sebagai *term penalty* dan sebuah LF *Newton Raphson* dijalankan untuk menemukan status jaringan pada setiap *fitness* individu.

Skema yang diadopsi pada skripsi ini didasarkan pada observasi bahwa pemberian sebuah kapasitor pada scenario beban puncak. Kalau beban puncak memungkinkan maka baru diperhitungkan beban rata-rata dan beban rendah, kalau tidak maka scenario tersebut tidak memungkinkan dan dibatalkan.



Gambar 3.10. Ilustrasi Flowchart Evaluasi Fitness

Sumber : J. Riquelme, A. Gomez Exposito, J.L. Martinez Ramos: "A Reduced-Size Genetic Algorithm For Optimal Capacitor Placement On Distribution Feeder",

Tentukan x_i adalah susunan kromosom dari sebuah individu dimana nilai *fitness* dan *feasibility* adalah ditentukan. Proses perhitungan nilai *fitness* pada setiap individu adalah sebagai berikut :

1. Hasilkan LF dari solusi pada keadaan scenario beban puncak. Kemudian hitung *Ploss* dan *feasibility* dari x_i dicek. Batalan x_i jika *infeasible* dan ulangi pencarian x_i lagi. Jika *feasible* teruskan.
2. Untuk setiap scenario beban yang tersisa hitung *Ploss* masing-masing dan periksa setiap konstrainnya.
3. Nilai *fitness* dari x_i dihasilkan dengan menambahkan *Ploss* masing-masing scenario dan diaplikasikan kerumus (3.10) dan (3.11).

3.3.3. Seleksi dari Individu

Proses seleksi adalah untuk menentukan individu mana dari generasi sekarang yang akan dicrossover dan dimutasi untuk menghasilkan turunan yang lebih baik pada generasi berikutnya. Ada dua metode yang berbeda dinamakan *roulette wheel* dan turnamen yang diaplikasikan untuk menyeleksi *parent*, dan yang satu yaitu turnamen dipakai ketika terjadi nilai negatif dari fungsi merit.

Seleksi turnamen adalah memilih fungsi terbaik dari sekumpulan parent yang dipilih secara random.

Untuk menghasilkan populasi yang beragam dan untuk mencegah genetic algorithm dari konvergen yang premature, sebuah skala preliminary diaplikasikan ke fungsi fitness dengan mengambil ini untuk dipangkatkan dengan k . Pada permulaan, $k < 1$ adalah untuk mencegah individu yang jelek masuk ke generasi berikutnya. Nilai k diambil untuk sekripsi ini adalah $k = (g_{\max} + g)/(1.5.g_{\max})$ jika $g < g_{\max}/2$, dan $k = (g_{\max} + 0.5.g)/(g_{\max})$ jika $g > g_{\max}/2$, dimana g adalah counter generasi dan g_{\max} adalah generasi maksimum yang diijinkan.

3.3.4. Evaluasi Populasi

Berdasarkan seleksi parent sebuah generasi baru dihasilkan dengan mengaplikasikan operator crossover dan mutasi.

Crossover adalah proses penciptaan dua kromosom baru dengan melakukan swap dari dua bagian dari dua kromosom parent yang diseleksi, titik crossover dipilih secara random.

Mutasi adalah proses untuk mengubah bit kromosom secara random dari dua kromosom baru yang dihasilkan oleh proses crossover. Proses ini dilakukan dengan prosentase yang rendah untuk menghindari proses yang terlalu random.

Elitism juga dipakai untuk memasukkan hanya individu-individu yang terbaik yang masuk ke generasi berikutnya.

3.3.5. Objective Function

Hampir selalu masalah diformulasikan sebagai minimalisasi ongkos investasi ditambah dengan rugi daya. Kemudian ketika ongkos keuntungan

investasi diperhitungkan, maka perlu untuk menghitung peralatan selama dia masih dipakai, dimana hal ini disebut *Net Present Value (NPV)*, dimana rumusnya adalah :

$$NPV = \frac{r(1-r^t)}{1-r} \cdot N(x) - IC(x) \dots\dots\dots (3.10)$$

Dimana :

- N_k = Net cash flow pada tahun k
- r = $\frac{1}{1+i}$
- i = Discount rate (capital cost)
- t = jumlah tahun umur kapasitor
- $IC(x)$ = Investasi awal kapasitor

Profil beban adalah pengulangan pada bentuk harian dan mingguan. Dalam satu tahun bisa dibagi menjadi tiga kategori yaitu beban puncak, rata-rata dan rendah. Ukuran dari setiap periode beban juga diperhitungkan karena setiap periode beban menghasilkan profil tegangan dan kebutuhan daya reaktif yang berbeda-beda.

Ongkos investasi dipertimbangkan sebagai ongkos dari kapasitor bank. Disini setiap node dimana dipasang kapasitor maka harus ditambahkan untuk $IC(x)$,

$$C_n = K_f + n \cdot K_s \dots\dots\dots (3.11)$$

Dimana :

- K_f = Ongkos instalasi kapasitor
- n = *Number* dari periode beban
- K_s = Ongkos setiap periode beban

3.3.6. Algoritma Pemecahan Masalah

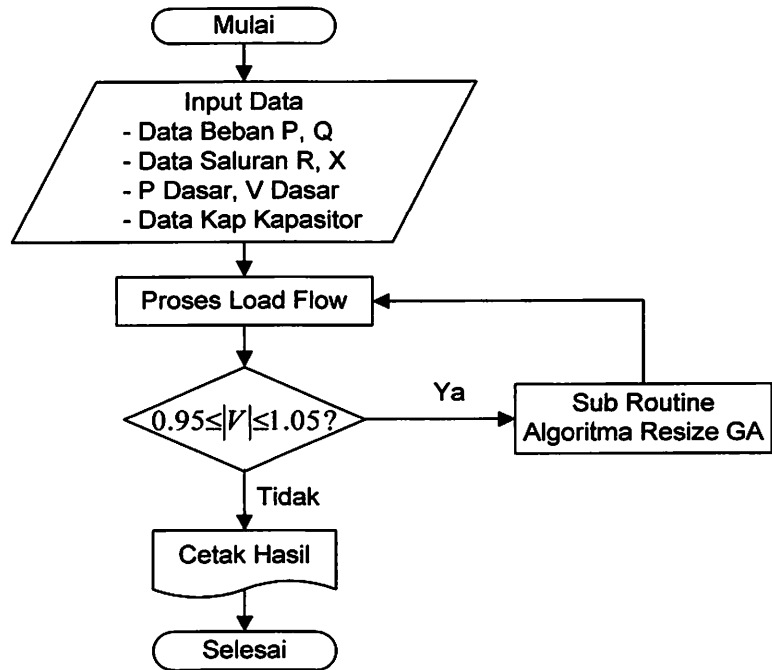
1. Masukan Data Beban P, Q, Data Saluran R, X, Daya Dasar (P) dan Tegangan Dasar (V) dan Data Kapasias Kapasitor
2. Melakukan proses Aliran Daya dengan Menggunakan Metode Newton Raphson
3. Mengecek apakah ada pelanggaran tegangan
 - a. 'Ya' lanjutkan ke langkah 4
 - b. 'Tidak' Langsung ke langkah 5
4. Melakukan Sub Routine *Resize Genetic Algorithm*
5. Cetak hasil
6. Stop

3.6.7. Algoritma Program Pemecahan Masalah Penentuan Penempatan Kapasitor pada Sistem Jaringan Distribusi Penyulang Pujon

1. Start
2. Menentukan Parameter algoritma genetika yaitu Jumlah populasi (Pop Size), Maksimum Generasi (Max Gen), nilai kemungkinan Crossover (Pc), Nilai Kemungkinan Mutasi (Pm), dan panjang kromosom tiap inividu (NVAR)
3. Melakukan Pengkodean Proses Inisialisasi Parrent dan Hitung fitness Parrent
4. Melakukan Proses Statistik

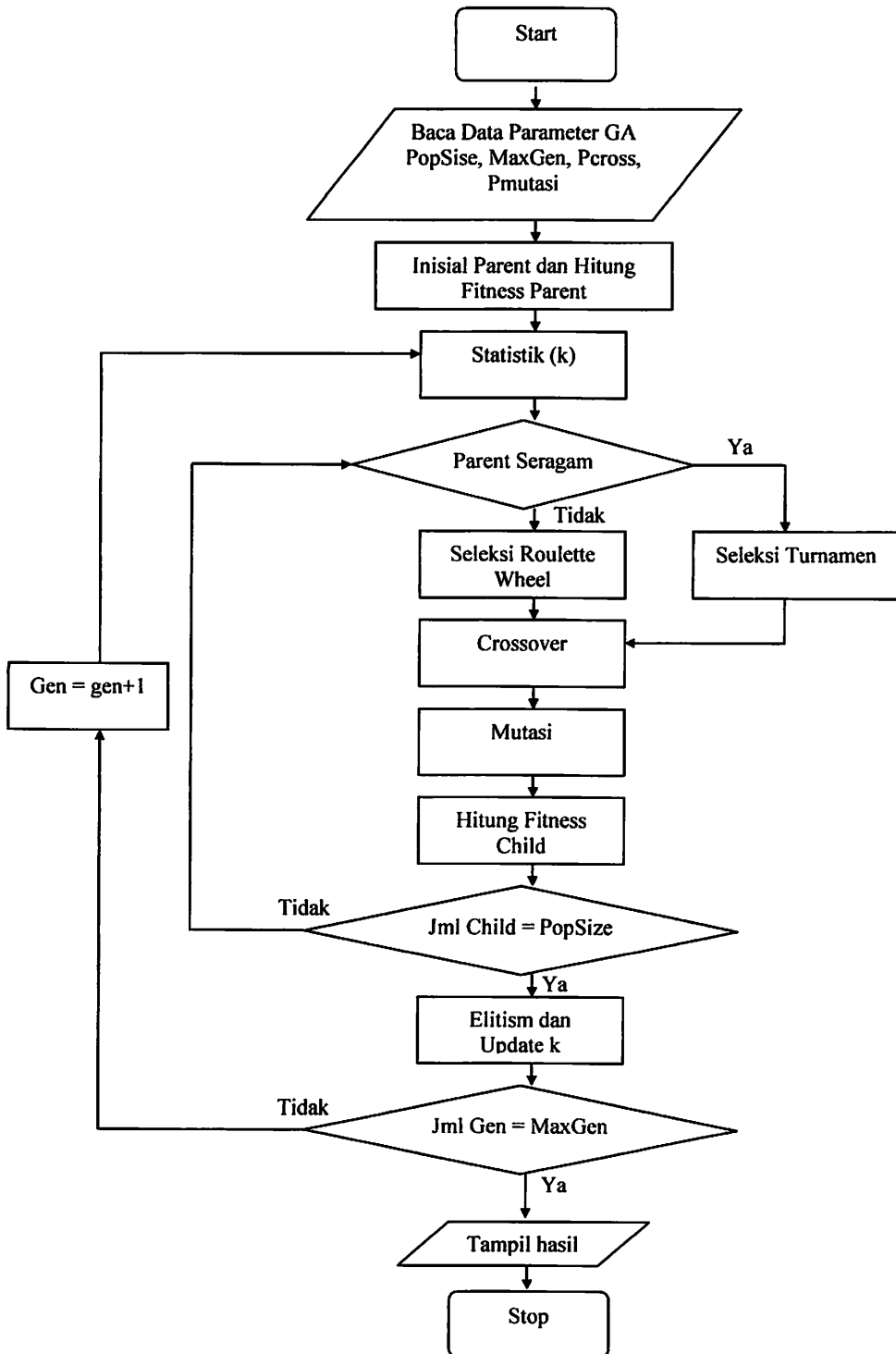
5. Apakah Parent Seragam Sudah Terpenuhi
 - Jika 'Ya' Lanjutkan ke Langkah 8
 - Jika 'Tidak' Lanjutkan ke Langkah 7
6. Melakukan Proses Seleksi Roulette Wheel
7. Melakukan Proses Crossover
8. Melakukan Proses Mutasi
9. Melakukan Proses Perhitungan Fitness Child
10. Apakah Jumlah Child Sama dengan Pop Size
 - Jika 'Tidak' Maka Melakukan Proses 6,7,8,9,10
 - Jika 'Ya' Maka Melakukan Elitism dan Update k
11. Melakukan Proses Apakah Jumlah Gen Sama dengan Max Gen Sudah Terpenuhi
 - Jika 'Ya' Cetak Hasil
 - Jika 'Tidak' Hitung POP+1 dan Lakukan Pengulangan ke Langkah 5,6,7,8,9,10,11, Sampai ke Jumlah Gen Sama dengan Max Gen

3.6.8. Flowchart Algoritma Pemecahan Masalah



Gambar 3.11.
Flowchart Algoritma Pemecahan Masalah

3.6.9. Flowchart Algoritma Program Pemecahan Masalah Penentuan Kapasitor Pada Sistem Jaringan Distribusi 20 kV Penyulang Pujon



Gambar 3.12.
Flowchart Program Resize Genetic Algorithm

BAB IV

ANALISA PENENTUAN LETAK, KAPASITAS KAPASITOR, JUMLAH PADA JARINGAN DISTRIBUSI RADIAL PENYULANG PUJON

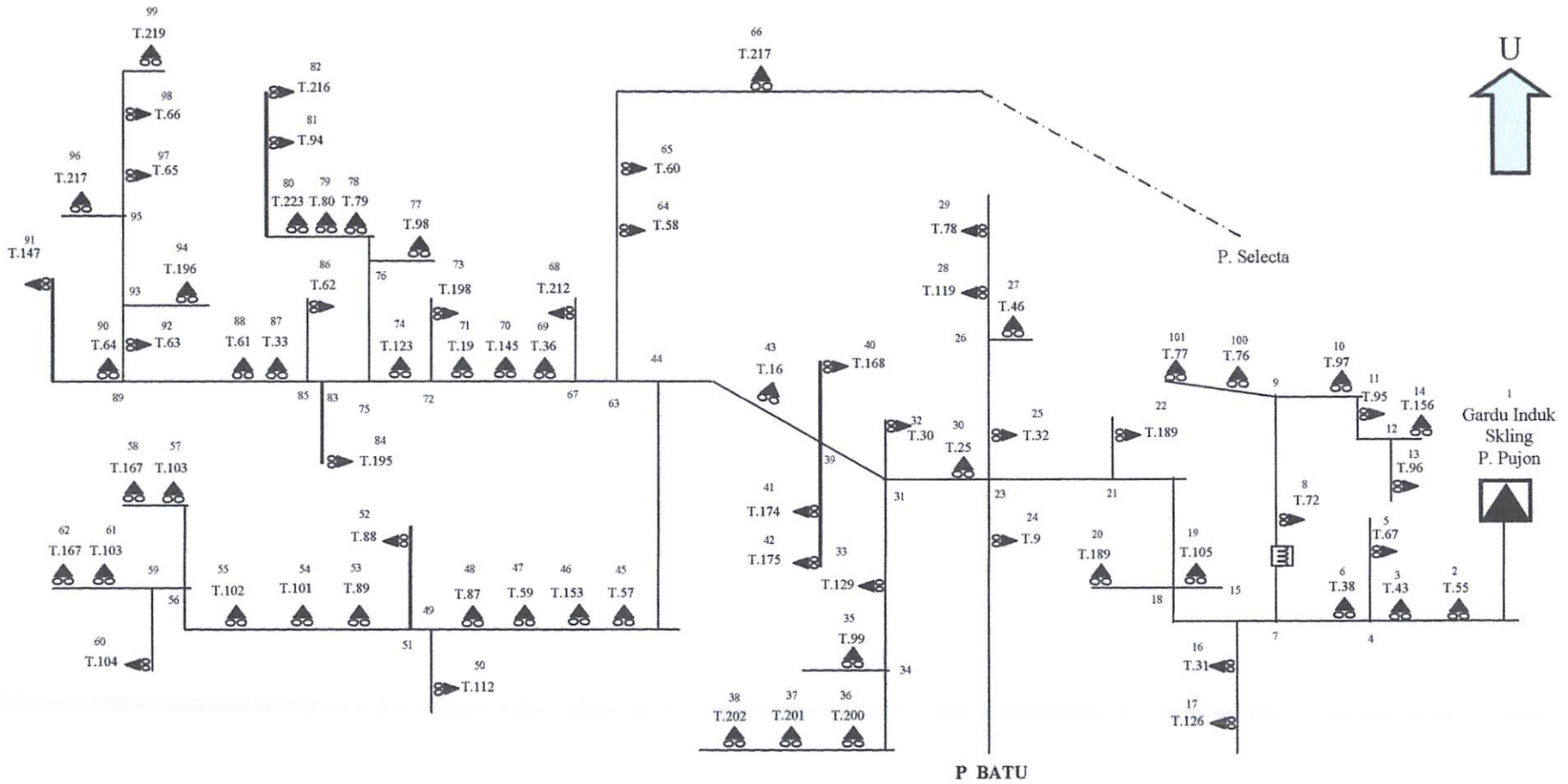
Dalam penyelesaian masalah ini maka diperlukan bantuan program computer dalam perhitungan yang membutuhkan sesuatu ketelitian. Program komputer dalam skripsi ini dijalankan dengan menggunakan bahasa pemrograman Borland Delphi versi 7.0 dan diaplikasikan pada komputer Pentium 4, dengan Prosesor 1,8A GHz, dengan Memori 256 Mb.

4.1. Sistem Distribusi Tenaga listrik 20kV GI Sengkaling Penyulang Pujon



Dalam perhitungan aliran daya Data yang diambil dari GI Sengkaling Malang yang melayani 6 (enam) buah penyulang dengan 2 (dua) buah Trafo yang masing-masing 150/20kV-30MVA dan 150/20kV-30MVA.

Namun pada skripsi ini hanya menganalisa satu penyulang saja, yaitu pada penyulang Pujon. Sistem Distribusi Radial GI Sengkaling yang memakai tegangan Distribusi 20kV. Untuk menyelesaikan perhitungan Aliran Daya terlebih dahulu ditetapkan *single line diagram* sesuai dengan gambar 4.1 yang akan dianalisis. Agar memudahkan perhitungan maka digunakan system per-unit (pu), dimana dasar yang digunakan:

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



Keterangan

-  : GARDU INDUK
-  : TRAFU

Gambar 4.1. *Single Line Diagram* Penyulang Pujon Sebelum Penempatan Kapasitor

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

4.2. Data Saluran

Jaringan distribusi Penyulang Pujon menggunakan kabel saluran udara dengan spesifikasi yang seperti pada tabel 4.1.

Tabel 4.1
Spesifikasi Saluran

Jenis Konduktor	Penampang nominal (mm ²)	Impedansi saluran (Ω /km)
AAAC	150	0.2162 + j 0.3305
AAAC	120	0.2688 + j 0.3376
AAAC	70	0.4608 + j 0.3572
AAAC	50	0.6452 + j 0.3678
AAAC	35	0.9217 + j 0.3790

Dengan mengacu pada gambar 4.1 *single line diagram* penyulang Pujon, perhitungan saluran yang diperoleh dari data hasil Perhitungan panjang saluran pada Tabel Lampiran A-1.1

Dari data spesifikasi saluran pada penyulang pujon diketahui bahwa jenis konduktor yang digunakan adalah AAAC (*all-aluminium-alloyconductors*) dengan penampang nominal 150 mm² dan impedansi saluran 0.2162 + j0.3305 Ω /km.

Untuk perhitungan Impedansi saluran diberikan contoh pada node 1 ke 2 sebagai berikut:

Jarak antara node dari 1 ke 2 dengan panjang = 580.3 m = 0.5803 km

$$R = 0.5803 \text{ km} \times 0.2162 \text{ } \Omega/\text{km} = 0.1255 \text{ } \Omega$$

$$X = 0.5803 \text{ km} \times 0.3305 \text{ } \Omega/\text{km} = 0.1918 \text{ } \Omega$$

Selanjutnya untuk contoh perhitungan impedansi saluran dalam Per-Unit (pu) pada node 1 ke 2 sebagai berikut:

Diketahui :

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

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

Untuk mencari Z (impedansi) dasar :

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

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

Untuk merubah impedansi dalam pu

Dari hasil perhitungan impedansi saluran diatas, pada node 1 ke node 2 diketahui nilai :

$$R = 0,1255 \text{ } \Omega$$

$$X = 0,1918 \text{ } \Omega$$

Untuk merubah Z_{1-2} (impedansi pada no saluran 1) dalam pu maka didapat:

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

Dengan cara yang sama seperti pada contoh diatas maka diperoleh hasil seperti pada tabel 4.2.

Tabel 4.2
Data Hasil Perhitungan Saluran Penyulang Pujon

No Saluran	Node		Panjang (m)	Impedansi Saluran			
	Dari	Ke		R (Ω)	X (Ω)	R (pu)	X (pu)
1	1	2	580.3	0.1255	0.1918	0.0094	0.0144
2	2	3	1432.6	0.3097	0.4735	0.0232	0.0355
3	3	4	863.9	0.1868	0.2855	0.0140	0.0214
4	4	5	85.4	0.0185	0.0282	0.0014	0.0021
5	4	6	683.3	0.1477	0.2258	0.0111	0.0169
6	6	7	2082.8	0.4503	0.6884	0.0338	0.0516
7	7	8	154.4	0.0334	0.051	0.0025	0.0038
8	8	9	414.5	0.0896	0.137	0.0067	0.0103
9	9	10	896.5	0.1938	0.2963	0.0145	0.0222
10	10	11	463.5	0.1002	0.1532	0.0075	0.0115
11	11	12	452	0.0977	0.1494	0.0073	0.0112
12	12	13	1424.5	0.308	0.4708	0.0231	0.0353
13	12	14	1233	0.2666	0.4075	0.0200	0.0306
14	7	15	1244.8	0.2691	0.4114	0.0202	0.0309
15	15	16	90.5	0.0196	0.0299	0.0015	0.0022
16	16	17	20.4	0.0044	0.0067	0.0003	0.0005
17	15	18	338	0.0731	0.1117	0.0055	0.0084
18	18	19	182.2	0.049	0.0615	0.0037	0.0046
19	18	20	402.8	0.1083	0.136	0.0081	0.0102
20	18	21	304.3	0.0658	0.1006	0.0049	0.0075

Tabel 4.2. Selanjutnya untuk No saluran 21-100 Dapat dilihat pada Lampiran A-1

4.3. Pembebanan Sistem 20 kVPenyulang Pujon

Pembebanan diperoleh dengan mengambil data dari masing-masing trafo distribusi, dimana besarnya beban pada masing-masing fasa diasumsikan seimbang. Jika besarnya pembebanan adalah nol, maka pada node tidak terdapat trafo distribusi tetapi hanya merupakan simpul. Pada tahap ini rugi-rugi yang terjadi pada trafo distribusi diabaikan, dengan mengasumsi factor daya 0,86. Dibawah ini diberikan contoh perhitungan pembebanan pada *Node 2*, Dengan melihat gambar 4.1 dan mengambil data dari masing-masing trafo pada lampiran A-2

Kapasitas Trafo	= 150 kVA
Beban Gardu	= 35%
Factor Daya	= $\text{Cos } \theta = 0,86$ $\text{Sin } \theta = 0,5102$
Pembebanan	= $150 \times 35\% = 52 \text{ kVA}$
Beban Aktif (P ₂)	= $52 \times \text{Cos } \theta = 52 \times 0,86 = 44,7200 \text{ kW}$
Beban Reaktif (Q ₂)	= $52 \times \text{Sin } \theta = 52 \times 0,5102 = 26,5304 \text{ kVAR}$

Untuk hasil perhitungan diatas maka node 3 sampai dengan 10 terlihat seperti pada tabel 4.3.

Dan selanjutnya untuk merubah P (daya aktif) dan Q (daya reaktif) kedalam bentuk per-unit (pu):

Dari hasil perhitungan pembebanan diatas, pada node 2 diketahui nilai :

$$P_2 = 44,72 \text{ kW} \quad Q_2 = 26,83 \text{ kV}$$

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

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

Maka :

$$P_2 = \frac{44,72}{30} = 1,490 \text{ pu} \quad Q_2 = \frac{26,53}{30} = 0,884 \text{ pu}$$

Dengan cara yang sama pada contoh diatas maka diperoleh hasil perhitungan seperti pada tabel 4.3 dibawah ini

Tabel 4.3

Data Hasil Perhitungan Pembebanan Sistem 20kV Penyulang Pujon

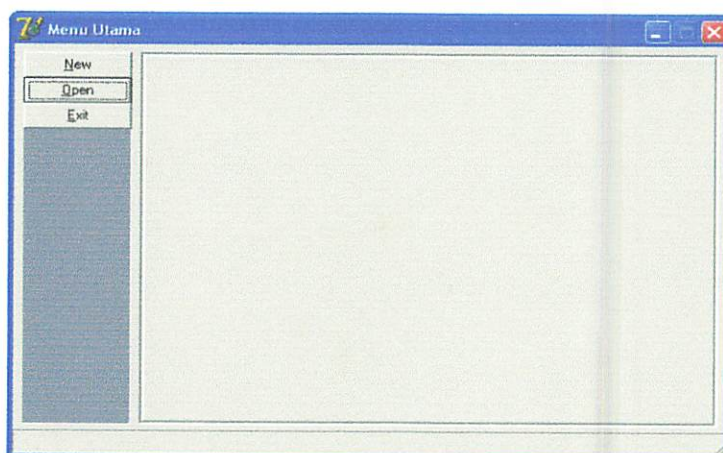
No Node	Kode Trafo	Lokasi	Pembebanan					Type Node
			S (kVA)	P (kW)	Q (kVAR)	P (pu)	Q (pu)	
1	-	-	0	0.000	0.000	0.000	0.000	Slack
2	T55	Jl Raya Ngandat	52	44.720	26.530	1.491	0.884	Load
3	T43	Jl Raya Mojorejo	70	60.200	35.714	2.007	1.190	Load
4	-	-	0	0.000	0.000	0.000	0.000	Load
5	T67	Dk Beji	43	36.980	21.939	1.233	0.731	Load
6	T38	Jl Raya Beji	32	27.520	16.326	0.917	0.544	Load
7	-	-	0	0.000	0.000	0.000	0.000	Load
8	T72	Emanuel temas	63	54.180	32.143	1.806	1.071	Load
9	-	-	0	0.000	0.000	0.000	0.000	Load
10	T97	Ds Temas Klerek	142	122.120	72.448	4.071	2.415	Load

Tabel 4.3. Selanjutnya untuk No Node 11-101 Dapat dilihat pada Lampiran A-1

4.4. Prosedur Pelaksanaan Program Perhitungan

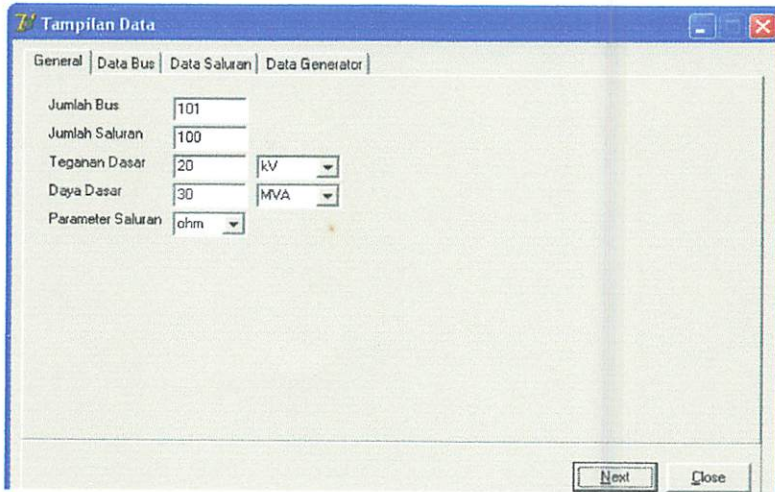
Prosedur menjalankan program perhitungan dengan menggunakan bahasa pemrograman Borland Delphi versi 7.0 dapat dilakukan sebagai berikut :

1. Tampilan Utama Program

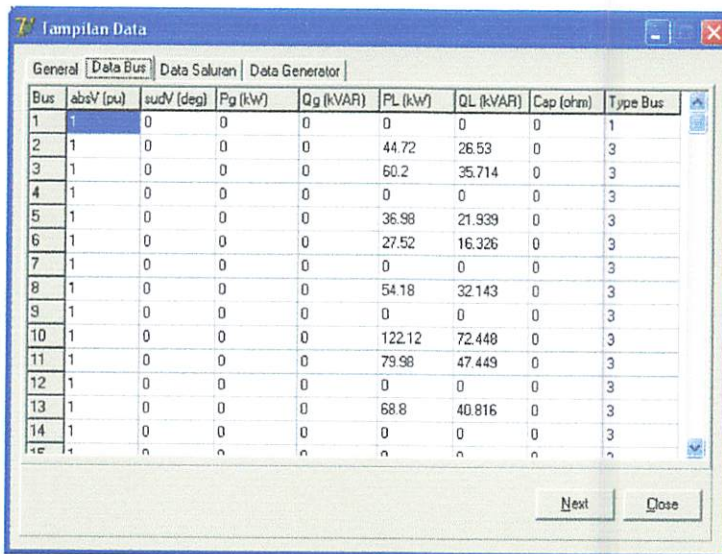


Gambar 4.2. Tampilan Utama Program

2. Tekan tombol *New* untuk memasukkan data baru atau tekan *Open* untuk data yang tersimpan



Gambar 4.3. Tampilan Inputan Data (General)



Gambar 4.4. Tampilan Inputan Data (Data Pembebanan)

No	Dari	Ke	R (ohm)	X (ohm)	Lc (ohm)	Tr	Tu	Su (deg)	Kap (KVA)
1	1	2	0.1255	0.1918	0	0	0	0	10000
2	2	3	0.3097	0.4735	0	0	0	0	10000
3	3	4	0.1868	0.2855	0	0	0	0	10000
4	4	5	0.0185	0.0262	0	0	0	0	10000
5	4	6	0.1477	0.2258	0	0	0	0	10000
6	6	7	0.4503	0.6884	0	0	0	0	10000
7	7	8	0.0334	0.051	0	0	0	0	10000
8	8	9	0.0896	0.137	0	0	0	0	10000
9	9	10	0.1938	0.2963	0	0	0	0	10000
10	10	11	0.1002	0.1532	0	0	0	0	10000
11	11	12	0.0977	0.1494	0	0	0	0	10000
12	12	13	0.308	0.4708	0	0	0	0	10000
13	12	14	0.2668	0.4075	0	0	0	0	10000
14	7	15	0.2691	0.4114	0	0	0	0	10000

Gambar 4.5. Tampilan Inputan Data (Data Saluran)

3. Tekan Tombol *Next* kemudian tekan tombol **LF Awal** untuk melihat hasil perhitungan aliran daya *Newton Raphson* sebelum kompensasi.

Bus	absV (pu)	sudV (deg)	Pg (kW)	Qg (KVAR)	PL (kW)	QL (KVAR)	Sups (pu)	Type Bus
1	1.00000	0.00000	3949.982	2427.659	0.000	0.000	0.000	1
2	0.99760	-0.06503	0.000	0.000	44.720	26.530	0.000	3
3	0.99174	-0.22509	0.000	0.000	60.200	35.714	0.000	3
4	0.98826	-0.32095	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3
5	0.98826	-0.32104	0.000	0.000	36.980	21.939	0.000	3
6	0.98554	-0.39650	0.000	0.000	27.520	16.326	0.000	3
7	0.97732	-0.62770	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3
8	0.97725	-0.62962	0.000	0.000	54.180	32.143	0.000	3
9	0.97710	-0.63411	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3
10	0.97684	-0.64148	0.000	0.000	122.120	72.448	0.000	3
11	0.97677	-0.64357	0.000	0.000	79.980	47.449	0.000	3
12	0.97674	-0.64452	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3
13	0.97663	-0.64750	0.000	0.000	68.800	40.816	0.000	3
14	0.97674	-0.64452	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3
15	0.97295	-0.75206	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3

Gambar 4.6. Tampilan Hasil Aliran Daya Untuk Mengetahui Harga Tegangan Dan Sudut Fasa Tiap-tiap Bus Sebelum Kompensasi

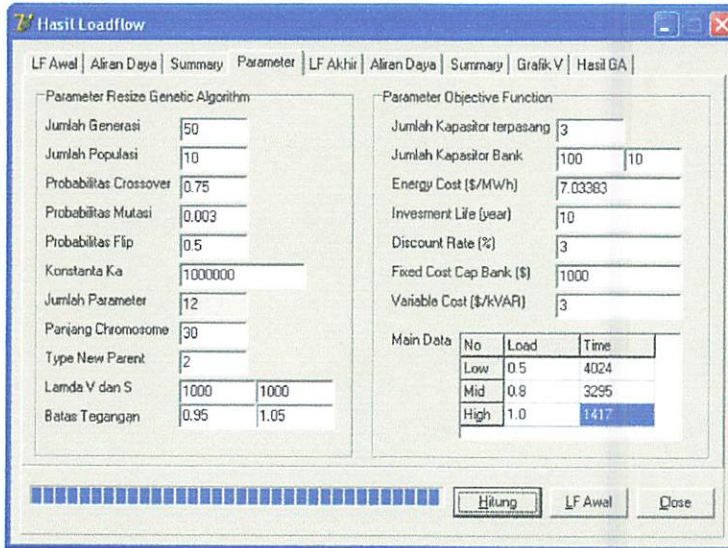
No	Dari	Ke	P (kW)	Q (kVAR)	Arus re (A)	Arus im (A)	Dari	Ke	P (kW)	Q
1	1	2	3943.982	2427.659	197.499	121.383	2	1	-3943.238	-2
2	2	3	3898.518	2390.822	195.259	120.051	3	2	-3882.247	-2
3	3	4	3822.047	2330.231	192.231	118.238	4	3	-3812.532	-2
4	4	5	36.980	21.939	1.865	1.120	5	4	-36.980	-
5	4	6	3775.552	2293.750	190.367	117.118	6	4	-3768.174	-2
6	6	7	3740.654	2266.144	188.976	116.280	7	6	-3718.484	-2
7	7	8	411.223	244.078	20.900	12.717	8	7	-411.204	-2
8	8	9	357.024	211.905	18.146	11.042	9	8	-356.983	-2
9	9	10	270.965	160.812	13.774	8.382	10	9	-270.915	-1
10	10	11	148.795	88.287	7.565	4.604	11	10	-148.787	-
11	11	12	68.807	40.826	3.498	2.129	12	11	-68.805	-
12	12	13	68.805	40.824	3.498	2.129	13	12	-68.800	-
13	12	14	-0.000	0.000	-0.000	0.000	14	12	0.000	-
14	7	15	3307.261	1988.174	168.076	103.563	15	7	-3256.773	-1

Gambar 4.7. Tampilan Hasil Aliran Daya Untuk Arus yang Mengalir pada Saluran Daya tiap Saluran Sebelum Kompensasi

Summary Loadflow		
Jumlah Pembangkitan	3943.982 + j2427.659	kVA
Jumlah Pembebanan	3820.120 + j2266.297	kVA
Jumlah Rugi-Rugi	129.862 + j161.362	kVA
Iterasi	3	
Waktu Hitung	0.0:0.234	

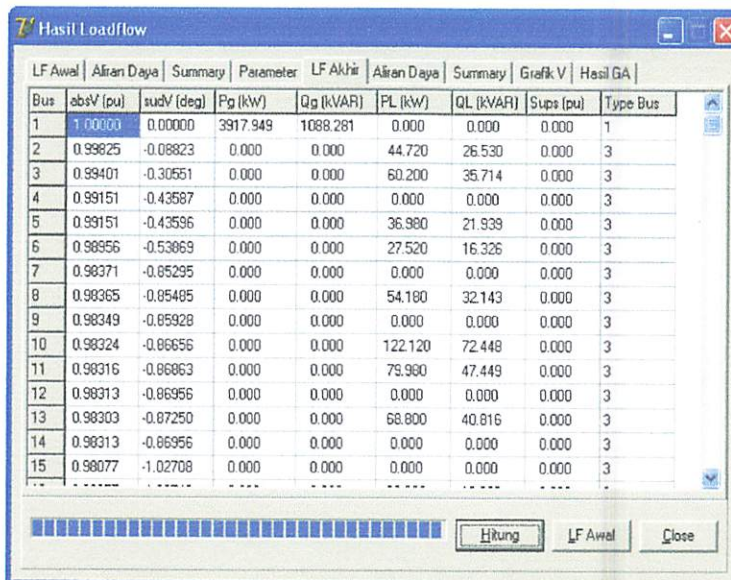
Gambar 4.8. Tampilan Total Pembangkitan, Pembebanan, dan Rugi-rugi Sebelum Kompensasi

4. Kemudian tekan tombol **Parameter** untuk melihat parameter dari *Genetics Algorithm* dan parameter *Objective Function* yang digunakan.



Gambar 4.9. Tampilan Parameter Yang Digunakan

5. Kemudian pilih tombol **Hitung** untuk memperoleh hasil perhitungan Aliran Daya dengan *Metode Newton Raphson* setelah kompensasi.



Gambar 4.10. Tampilan Hasil Aliran Daya Untuk Mengetahui Harga Tegangan Dan Sudut Fasa Tiap-tiap Bus Setelah Kompensasi

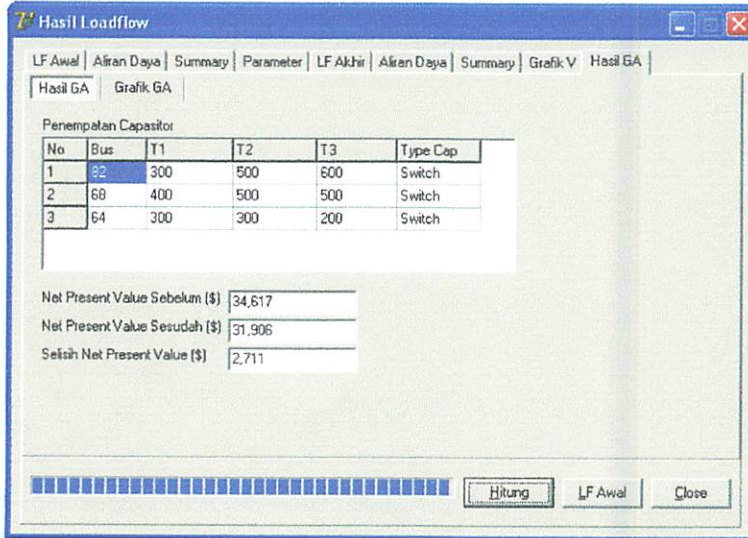
No	Dari	Ke	P (kW)	Q (KVAR)	Arus re (A)	Arus im (A)	Dari	Ke	P (kW)	Q
1	1	2	3917.949	1088.281	195.897	54.414	2	1	-3912.761	-1
2	2	3	3868.041	1053.823	193.660	53.082	3	2	-3855.553	-1
3	3	4	3795.353	999.017	190.641	51.269	4	3	-3788.073	-9
4	4	5	36.980	21.939	1.856	1.121	5	4	-36.980	-9
5	4	6	3751.093	965.951	188.785	50.149	6	4	-3745.458	-9
6	6	7	3717.938	941.009	187.402	49.311	7	6	-3701.028	-9
7	7	8	411.222	244.075	20.715	12.716	8	7	-411.202	-2
8	8	9	357.022	211.902	17.985	11.041	9	8	-356.982	-2
9	9	10	270.964	160.811	13.651	8.381	10	9	-270.914	-1
10	10	11	148.794	88.287	7.498	4.604	11	10	-148.787	-4
11	11	12	68.807	40.826	3.467	2.129	12	11	-68.805	-4
12	12	13	68.805	40.824	3.467	2.129	13	12	-68.800	-4
13	12	14	0.000	-0.000	0.000	-0.000	14	12	-0.000	-
14	7	15	3289.807	671.084	166.687	36.595	15	7	-3281.970	-5

Gambar 4.11. Tampilan Hasil Aliran Daya Untuk Arus yang Mengalir pada Saluran dan Daya tiap Saluran Setelah Kompensasi

Summary Loadflow	
Jumlah Pembangkitan	3917.949+ j2388.281 kVA
Jumlah Pembebanan	3820.120+ j2266.297 kVA
Jumlah Rugi-Rugi	97.829+ j121.984 kVA
Iterasi	3
Waktu Hitung	0.4:8.172

Gambar 4.12. Tampilan Total Pembangkitan, Pembebanan, dan Rugi-rugi Setelah Kompensasi

6. Kemudian pilih tombol **Hasil Program** untuk mengetahui hasil penempatan kapasitor pada saluran.



Gambar 4.13. Hasil Penempatan Metode *Resize Genetic Algorithm*

4.5. Analisa Perhitungan

Perhitungan penempatan kapasitor diawali dengan melakukan studi aliran daya dengan menggunakan metode *Newton Raphson*. Studi aliran daya dilakukan untuk mengetahui harga tegangan dan sudut fasa tiap-tiap bus, arus yang mengalir pada saluran, dan aliran daya tiap saluran. Setelah studi aliran daya dilakukan, barulah dilakukan perhitungan rugi-rugi daya pada saluran.

Untuk menentukan lokasi, kapasitas, dan setting kapasitor terlebih dahulu menentukan rugi daya saluran terbesar yang digunakan sebagai input untuk menjalankan metode *Resize Genetic Algorithm* akan pada lokasi yang memberikan profil tegangan yang paling optimum. Sedangkan untuk pencarian

grafik yang optimal secara random ditentukan oleh program komputer demikian pula untuk perhitungan besar nilai penghematan.

Untuk memudahkan perhitungan dan analisis pada sistem tenaga, biasanya dipakai harga-harga dalam per-unit. Harga per-satuan adalah harga sebenarnya dibagi dengan harga dasar, dimana harga dasar ini dapat dipilih sembarang. Harga yang dipilih pada analisa ini adalah 20 kV dan 30 MVA sebagai harga tegangan dasar dan daya dasar. Mengingat bahwa pada jaringan tidak dilakukan pengukuran faktor daya maka pada perhitungan ini mengasumsikan nilai faktor daya sebesar 0.86.

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

- Slack bus = 1
- Load bus = 101
- Jumlah saluran = 100

Setelah dilakukan analisis aliran daya dengan menggunakan metode *Newton Raphson* maka diperoleh profil tegangan tiap-tiap bus, dan rugi-rugi daya saluran seperti pada table 4.4 sampai tabel 4.5.

Tabel 4.4
Profil Tegangan dan Sudut Fasa Tiap Bus Penyulang Pujon
Sebelum Kompensasi

No Node	Tegangan abs (pu)	Sudut Fasa (rad)
1	1.0000	-0.0000
2	0.99760	-0.06503
3	0.99174	-0.22509
4	0.98826	-0.32095
5	0.98826	-0.32104
6	0.98554	-0.39650
7	0.97732	-0.62770
8	0.97725	-0.62962
9	0.97710	-0.63411
10	0.97684	-0.64148

Tabel 4.4. Selanjutnya untuk Bus 11-101 Dapat dilihat pada Lampiran A-1

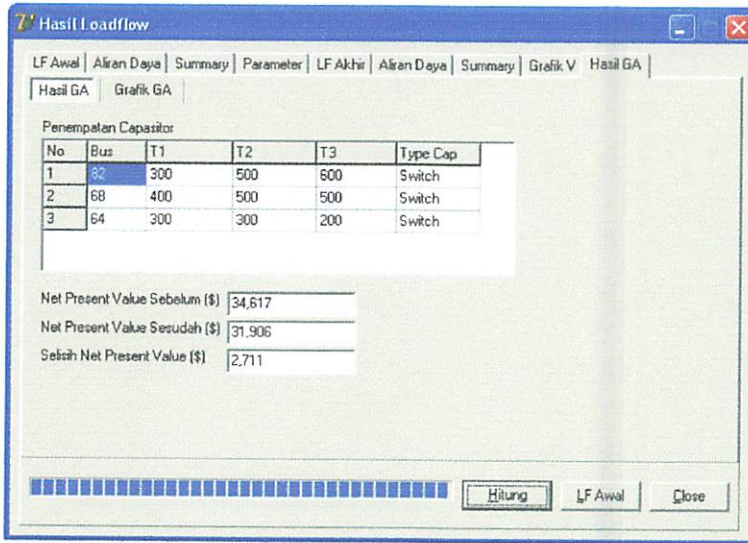
Tabel 4.5
Rugi-rugi Daya Tiap Saluran Penyulang Pujon
Sebelum Kompensasi

No Saluran	Node		P (Kw)	Q (kVAR)	Arus re (A)	Arus im (A)
	Dari	Ke				
1	1	2	3949.982	2427.659	197.499	121.383
2	2	3	3898.518	2390.822	195.259	120.051
3	3	4	3822.047	2330.231	192.231	118.238
4	4	5	36.980	21.939	1.865	1.120
5	4	6	3775.552	2293.750	190.367	117.118
6	6	7	3740.654	2266.144	188.976	116.280
7	7	8	411.223	244.078	20.900	12.717
8	8	9	357.024	211.905	18.146	11.042
9	9	10	270.965	160.812	13.774	8.382
10	10	11	148.795	88.287	7.565	4.604

Tabel 4.5. Selanjutnya Untuk No Saluran 11-100 Dapat dilihat pada Lampiran A-1

Dari hasil analisa diatas dapat disimpulkan bahwa penyulang Pujon perlu dipasang kapasitor untuk menaikan profil tegangan yang dianggap kritis yang beroperasi diluar batas yang diijinkan oleh PLN (0.95% - 1.05%) yang terjadi pada

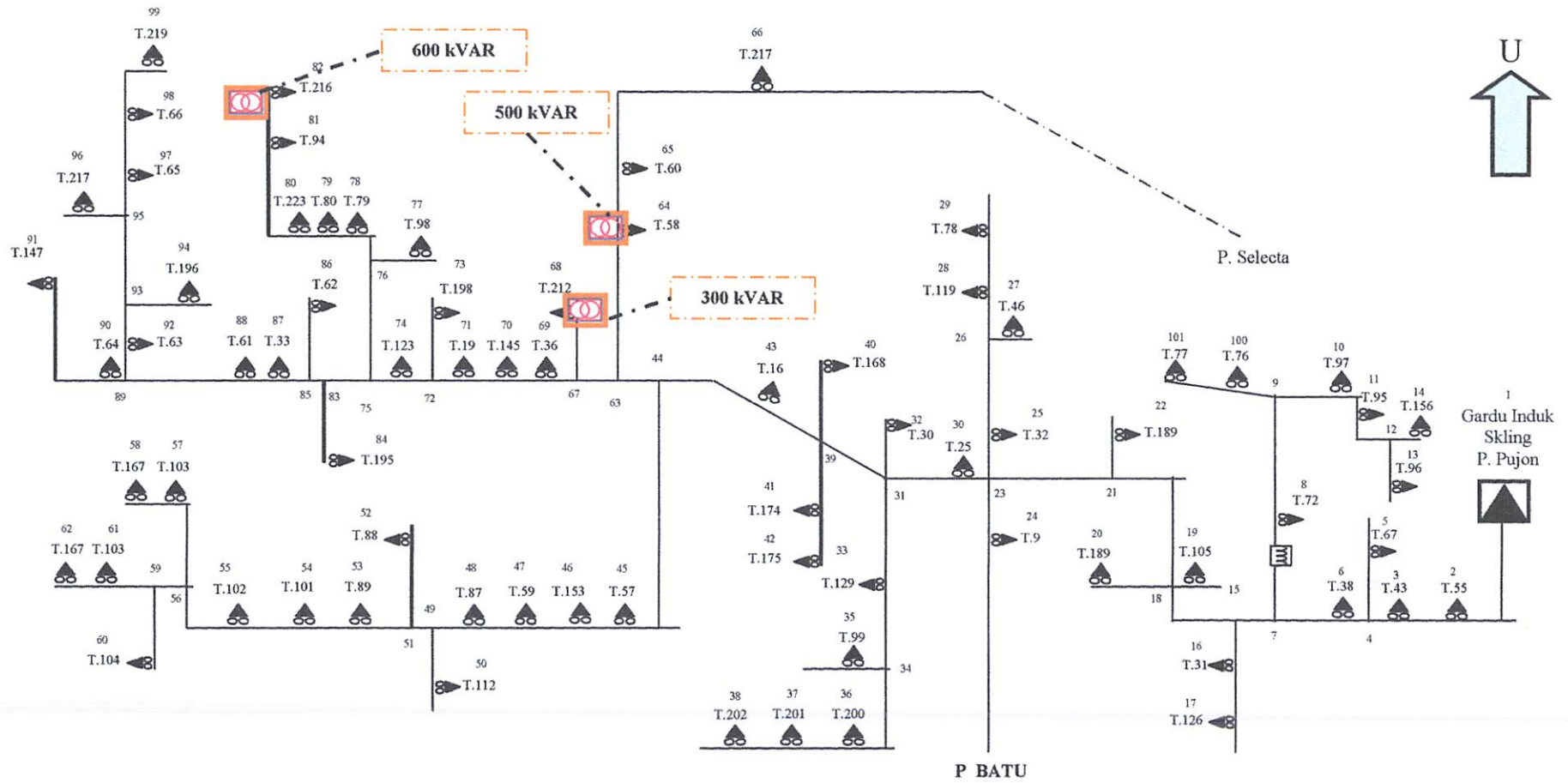
bus 70-99, Mengurangi rugi-rugi saluran, dan untuk mengurangi biaya seminim mungkin. Seperti terlihat pada gambar 4.14 dibawah ini tampilan hasil perhitungan dengan metode *Resize Genetic Algorithm*.



Gambar 4.14. Hasil Program Penempatan Metode *Resize Genetic Algorithm*

Dari gambar 4.14 diatas dapat dilihat bahwa kapasitor dipasang pada bus 83 dengan kapasitas 600 kVAR tipe *Switch*, bus 48 dengan kapasitas 600 kVAR tipe *Switch*, bus 14 dengan kapasitas 200 kVAR tipe *Switch*, seperti yang terlihat pada gambar 4.15 *single line Diagram* penempatan kapasitor metode *Resize Genetic Algorithm*. Dimana besar biaya yang dikeluarkan adalah sebesar 31,906 US \$ atau Sebesar Rp.290.344.600 ,- (dengan asumsi 1 US \$ adalah Rp. 9.100,-).

Setelah dilakukan pemasangan kapasitor diperoleh perbaikan profil tegangan, penurunan batas pembebanan saluran serta pengurangan rugi-rugi daya saluran. Data dapat dilihat pada tabel 4.6 sampai tabel 4.7.



Keterangan

-  : GARDU INDUK
-  : TRAFO
-  : Penempatan Kapasitor Metode Interactive Trade-Off

Gambar 4.15. Single Line Diagram Penempatan Kapasitor Metode Resize Genetic Algorithm

Tabel 4.6
Profil Tegangan dan Sudut Fasa Tiap Bus Penyulang Pujon
Setelah Kompensasi

No Node	Tegangan abs (pu)	Sudut Fasa (rad)
1	1.00000	0.00000
2	0.99825	-0.08823
3	0.99151	-0.30551
4	0.99151	-0.43587
5	0.99956	-0.43596
6	0.98956	-0.53869
7	0.98371	-0.85295
8	0.98365	-0.85485
9	0.98349	-0.85928
10	0.98324	-0.86656

Tabel 4.6. Selanjutnya untuk No Node 11-101 Dapat dilihat pada Lampiran A-1

Tabel 4.7
Rugi-rugi Daya Tiap Saluran Penyulang Pujon
Setelah Kompensasi

No Saluran	Node		P (Kw)	Q (kVAR)	Arus re (A)	Arus im (A)
	Dari	Ke				
1	1	2	3917.949	1088.281	195.897	54.414
2	2	3	3868.041	1053.823	193.660	53.082
3	3	4	3795.353	999.017	190.641	51.269
4	4	5	36.980	21.939	1.856	1.121
5	4	6	3751.093	965.951	188.785	50.149
6	6	7	3717.938	941.009	187.402	49.311
7	7	8	411.222	244.075	20.715	12.716
8	8	9	357.022	211.902	17.985	11.041
9	9	10	270.964	160.811	3.651	8.381

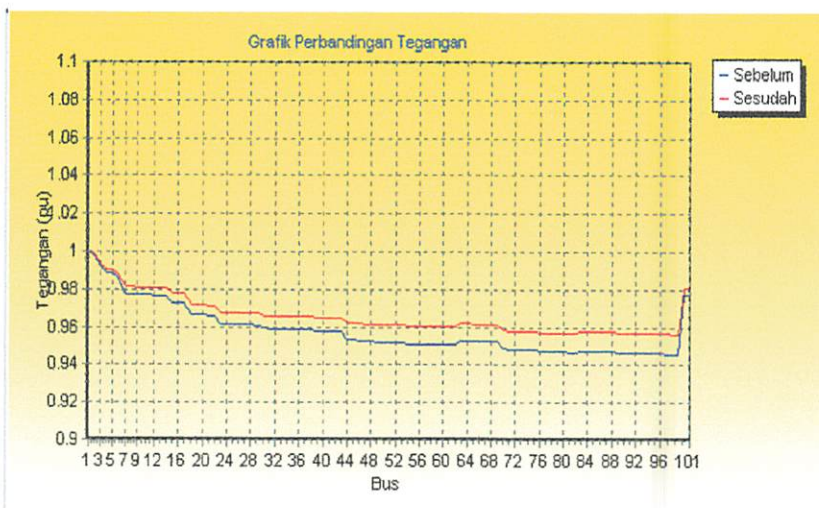
Tabel 4.7. Selanjutnya untuk No Saluran 10-100 Dapat dilihat pada Lampiran A-1

Setelah ditentukan penempatan kapasitor pada jaringan 20 kV Sistem Distribusi Radial Penyulang Pujon Gardu Induk Sengkaling dengan menggunakan metode *Resize Genetic Algorithm*, maka didapatkan beberapa hasil pada tabel 4.8.

Tabel 4.8
Hasil Program Metode *Resize Genetic Algorithm*

No		Sebelum	Sesudah			
			Bus	Setting		
			L	M	H	
1	Lokasi, kapasitas, dan setting kapasitor yang akan dipasang		82	300	500	600
			68	400	500	500
			64	300	300	200
2	Tegangan Terendah Pada Bus 99 (pu)	0.94572	0.96201			
3	Rugi Daya: Aktif (kW)	129.862	97.862			
	Pengurangan (%)		24.64%			
3	Reaktif (kVAR)	161.362	121.489			
	Pengurangan (%)		24.17%			
4	Total Biaya (Rp/Tahun)	315.014.700	290.344.600			
	Selisih (Rp/Tahun)		24.670.100			
	Penghematan (%)		7.83 %			

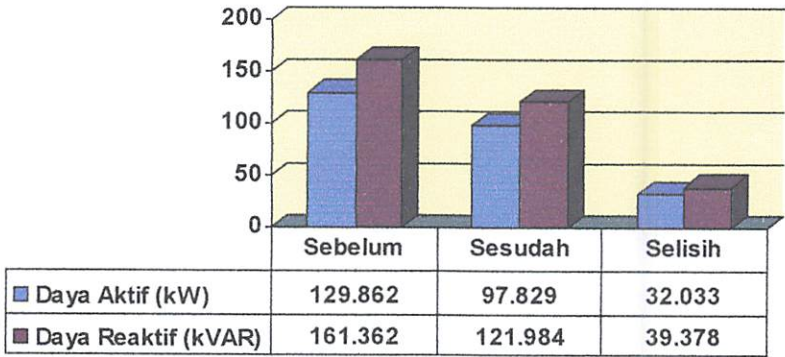
Grafik 4.1. Tegangan Tiap-Tiap Bus Terhadap Asumsi Tegangan Awal, Tegangan Sebelum dan Setelah Kompensasi.



Dari grafik 4.1 terlihat bahwa tegangan terendah terjadi pada bus 99 sebesar 0.94572 pu dan setelah kompensasi naik menjadi 0.96201 pu. Batas

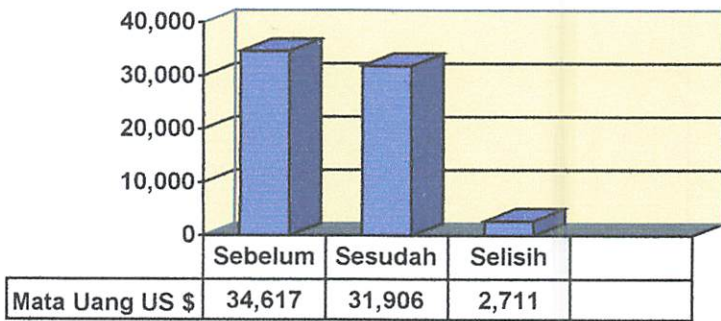
tegangan yang diijinkan oleh PLN adalah sebesar 0.95 pu sampai 1.05 pu. Sedangkan rugi-rugi daya sebelum dan setelah kompensasi dapat ditunjukkan seperti pada grafik 4.2.

Grafik 4.2. Rugi-Rugi Saluran Sebelum dan Setelah Kompensasi



Dari grafik 4.2 terlihat bahwa penurunan rugi daya aktif adalah 32.003 kW dari 129.862 kW menjadi 97.829 kW sehingga terjadi penurunan sebesar 24.64 %, Sedangkan untuk daya reaktif juga terjadi penurunan sebesar 39.378 kVAR dari 161.362 kVAR menjadi 121.984 kVAR sehingga terjadi penurunan sebesar 24.17 %.

Grafik 4.3. Harga Rugi Energi Sebelum dan Sesudah Kompensasi



Dari grafik 4.3 diatas dapat lihat bahwa biaya yang dikeluarkan sebelum kompensasi sebesar 34,617 \$/Tahun atau sebesar Rp.315.014.700,-/Tahun dan besar biaya yang dikeluarkan sesudah kompensasi adalah sebesar 31,906 US \$ atau sebesar Rp.290.344.600,-/Tahun sehingga diperoleh nilai penghematan sebesar 7.83 % atau sebesar Rp.24.670.100,-/Tahun (dengan asumsi 1 US \$ adalah Rp. 9.100,-).

BAB V

KESIMPULAN

Setelah dilakukan analisa mengenai penentuan letak dan kapasitas kapasitor pada jaringan distribusi radial dengan menggunakan metode Resize Genetic Algorithm, maka dapat diambil kesimpulan :

1. Berdasarkan hasil perhitungan dengan metode, letak kapasitor yang optimal terletak pada node 82, 68 dan 64. serta kapasitas kapasitor masing-masing adalah 600, 500 dan 300 kVAR
2. Dari hasil perhitungan aliran daya pada penyulang Pujon sebelum dikompensasi, tegangan paling rendah terjadi pada node ke 99, yang besarnya 0,94572 atau 18.9144 kV. Setelah kompensasi profil tegangan pada semua node penyulang Pujon bertambah baik, untuk node ke 99 menjadi 0,96201 atau 19.24 kV.
3. Besar rugi daya mengalami penurunan yaitu untuk daya aktif sebesar 32.033 kW dari 129.862 kW menjadi 97.829 kW. Sedangkan untuk daya reaktif sebesar 39.378 kVar dari 161.362 kVAR menjadi 121.984 kVAR.
4. Dengan memperhitungkan harga dan banyaknya kapasitor, modal awal, suku bunga pertahun, serta rugi-rugi daya maka penghematan pertahun yang di peroleh setelah pemasangan kapasitor pada bus 82, 68, dan 64 adalah 2.711 US\$ yaitu Rp 24.670.100,-/Tahun (dengan asumsi 1 US \$ adalah Rp 9.100,-)

DAFTAR PUSTAKA

- Si Tambah Pakigafar
- [1]. Djiteng Marsudi, 1990," **Operasi sistem tenaga Listrik**", Balai Penerbit Dan Humas ISTN
 - [2]. Hasan Basri, "**Sistem Distribusi Tenaga Listrik**".
 - [3]. William D Stevenson, Jr. "**Analisa Sistem Tenaga Listrik**". Edisi ke empat, Erlangga, Jakarta, 1993.
 - [4]. Y.baghzouz, *Shunt Capacitor Sizing For Radial Distribusi Feeders With Distorted Substation Voltages*, vol.5, no 2, April 1990.
 - [5]. Mitsuo Gen, Runwei Cheng, "*Genetic Algorithm And Engineering Design*", (John Wiley & Son, Inc., 1994) p-7
 - [6]. J. Riquelme, A. Gomez Exposito, J.L. Martinez Ramos: "*A Reduced-Size Genetic Algorithm For Optimal Capacitor Placement On Distribution Feeder*", IEEE MELCON 2004, May 12-15, 2004.
 - [7]. Mesut E. Baran, Felix F. Wu, "*Optimal Capacitor Placementon Radial Distribution System*", IEEE Transaction on PowerDdelivery,Vol 4, no 1, January 1989
 - [8]. Sulasno, "**Analisa Sistem Tenaga Listrik**", Cetakan Kesatu, Satya Wacana, Semarang, 1993.
 - [9]. Turan Gonen,"*Electric Power Distribution System Engineering*,"Mc Graw Hill, 1986

LAMPIRAN

A1

Tabel 4.2
Data Hasil Perhitungan Saluran Penyulang Pujon

No Saluran	Node		Panjang (m)	Impedansi Saluran			
	Dari	Ke		R (Ω)	X (Ω)	R (pu)	X (pu)
1	1	2	580.3	0.1255	0.1918	0.0094	0.0144
2	2	3	1432.6	0.3097	0.4735	0.0232	0.0355
3	3	4	863.9	0.1868	0.2855	0.0140	0.0214
4	4	5	85.4	0.0185	0.0282	0.0014	0.0021
5	4	6	683.3	0.1477	0.2258	0.0111	0.0169
6	6	7	2082.8	0.4503	0.6884	0.0338	0.0516
7	7	8	154.4	0.0334	0.051	0.0025	0.0038
8	8	9	414.5	0.0896	0.137	0.0067	0.0103
9	9	10	896.5	0.1938	0.2963	0.0145	0.0222
10	10	11	463.5	0.1002	0.1532	0.0075	0.0115
11	11	12	452	0.0977	0.1494	0.0073	0.0112
12	12	13	1424.5	0.308	0.4708	0.0231	0.0353
13	12	14	1233	0.2666	0.4075	0.0200	0.0306
14	7	15	1244.8	0.2691	0.4114	0.0202	0.0309
15	15	16	90.5	0.0196	0.0299	0.0015	0.0022
16	16	17	20.4	0.0044	0.0067	0.0003	0.0005
17	15	18	338	0.0731	0.1117	0.0055	0.0084
18	18	19	182.2	0.049	0.0615	0.0037	0.0046
19	18	20	402.8	0.1083	0.136	0.0081	0.0102
20	18	21	304.3	0.0658	0.1006	0.0049	0.0075
21	21	22	293.7	0.079	0.0992	0.0059	0.0074
22	21	23	1257.4	0.2719	0.4156	0.0204	0.0312
23	23	24	406.5	0.0879	0.1344	0.0066	0.0101
24	23	25	154.2	0.0995	0.0567	0.0075	0.0043
25	23	26	627.4	0.5783	0.2378	0.0434	0.0178
26	26	27	6.4	0.0059	0.0024	0.0004	0.0002
27	26	28	204.2	0.1882	0.0774	0.0141	0.0058
28	28	29	1145	1.0562	0.4343	0.0792	0.0326
29	23	30	868.2	0.1877	0.2869	0.0141	0.0215
30	30	31	141.2	0.0305	0.0467	0.0023	0.0035
31	31	32	848.8	0.1835	0.2805	0.0138	0.0210
32	31	33	272.5	0.1758	0.1002	0.0132	0.0075
33	33	34	1127.05	0.7272	0.4145	0.0546	0.0311
34	34	35	102.2	0.0659	0.0376	0.0049	0.0028
35	34	36	496.35	0.1073	0.164	0.0080	0.0123
36	36	37	282.5	0.0611	0.0934	0.0046	0.0070
37	37	38	294.5	0.0637	0.0973	0.0048	0.0073
38	31	39	943.3	0.039	0.3118	0.0029	0.0234
39	39	40	302.31	0.1951	0.1112	0.0146	0.0083

40	39	41	648.11	0.1185	0.1812	0.0089	0.0136
41	41	42	105.9	0.0229	0.035	0.0017	0.0026
42	39	43	40.5	0.0088	0.0134	0.0007	0.0010
43	43	44	1653.6	0.3575	0.5465	0.0268	0.0410
44	44	45	785.2	0.1698	0.2595	0.0127	0.0195
45	45	46	335	0.0726	0.111	0.0054	0.0083
46	46	47	793.2	0.1715	0.2622	0.0129	0.0197
47	47	48	571	0.1235	0.1887	0.0093	0.0142
48	48	49	365.5	0.079	0.1208	0.0059	0.0091
49	49	50	729.8	0.1578	0.2412	0.0118	0.0181
50	49	51	54.1	0.0117	0.0179	0.0009	0.0013
51	51	52	121.8	0.0263	0.0403	0.0020	0.0030
52	51	53	940.35	0.2033	0.3108	0.0153	0.0233
53	53	54	1715.3	0.7904	0.6127	0.0593	0.0460
54	54	55	1192.7	0.5496	0.426	0.0412	0.0320
55	55	56	1123.5	0.2429	0.3713	0.0182	0.0279
56	56	57	1353.3	0.2926	0.4473	0.0220	0.0336
57	57	58	1067.1	0.2307	0.3527	0.0173	0.0265
58	56	59	396.5	0.0857	0.131	0.0064	0.0098
59	59	60	296.8	0.0642	0.0981	0.0048	0.0074
60	59	61	1093.4	0.2364	0.3614	0.0177	0.0271
61	61	62	1162.6	0.2514	0.3842	0.0189	0.0288
62	44	63	497.1	0.1075	0.1643	0.0081	0.0123
63	63	64	570.4	0.1233	0.1885	0.0092	0.0141
64	64	65	907	0.1961	0.2998	0.0147	0.0225
65	65	66	1769.8	0.3826	0.5849	0.0287	0.0439
66	63	67	135.2	0.0292	0.0447	0.0022	0.0034
67	67	68	821.6	0.1776	0.2715	0.0133	0.0204
68	67	69	110.15	0.0238	0.0364	0.0018	0.0027
69	69	70	891.3	0.927	0.2946	0.0695	0.0221
70	70	71	603.2	0.1304	0.1994	0.0098	0.0150
71	71	72	27.3	0.0059	0.0009	0.0004	0.0001
72	72	73	233.1	0.0504	0.077	0.0038	0.0058
73	72	74	258.7	0.0559	0.0855	0.0042	0.0064
74	74	75	198.1	0.0428	0.0655	0.0032	0.0049
75	75	76	1538.1	0.3325	0.5083	0.0249	0.0381
76	76	77	381.43	0.0895	0.1261	0.0067	0.0095
77	76	78	472	0.1021	0.156	0.0077	0.0117
78	78	79	449.6	0.0972	0.1486	0.0073	0.0111
79	79	80	721.4	0.156	0.2384	0.0117	0.0179
80	80	81	940.5	0.2033	0.3108	0.0153	0.0233
81	81	82	1428.3	0.3088	0.4721	0.0232	0.0354
82	75	83	322.1	0.0696	0.1065	0.0052	0.0080
83	83	84	186.4	0.0403	0.0616	0.0030	0.0046

84	83	85	98.5	0.0213	0.326	0.0016	0.0245
85	85	86	243.9	0.0527	0.0806	0.0040	0.0060
86	85	87	205.3	0.0444	0.0679	0.0033	0.0051
87	87	88	590.3	0.1276	0.1951	0.0096	0.0146
88	88	89	856.6	0.1852	0.2831	0.0139	0.0212
89	89	90	458.3	0.0991	0.1515	0.0074	0.0114
90	90	91	1162.2	0.2513	0.3841	0.0189	0.0288
91	89	92	207.4	0.0448	0.0686	0.0034	0.0051
92	92	93	1061.5	0.225	0.3508	0.0169	0.0263
93	93	94	1321.52	0.8527	0.4861	0.0640	0.0365
94	93	95	385.1	0.2485	0.1416	0.0186	0.0106
95	95	96	478.3	0.3086	0.1759	0.0232	0.0132
96	95	97	332.6	0.2146	0.1223	0.0161	0.0092
97	97	98	1161.5	0.7494	0.4272	0.0562	0.0320
98	98	99	100.4	0.0217	0.0332	0.0016	0.0025
99	9	100	785.8	0.507	0.289	0.0380	0.0217
100	100	101	285.3	0.1841	0.1049	0.0138	0.0079

Tabel 4.3
Data Hasil Perhitungan Pembebanan Sistem 20kV Penyulang Pujon

No Node	Kode Trafo	Lokasi	Pembebanan					Type Node
			S (kVA)	P (kW)	Q (kVAR)	P (pu)	Q (pu)	
1	-	-	0	0.000	0.000	0.000	0.000	Slack
2	T55	Jl Raya Ngandat	52	44.720	26.530	1.491	0.884	Load
3	T43	Jl Raya Mojorejo	70	60.200	35.714	2.007	1.190	Load
4	-	-	0	0.000	0.000	0.000	0.000	Load
5	T67	Dk Beji	43	36.980	21.939	1.233	0.731	Load
6	T38	Jl Raya Beji	32	27.520	16.326	0.917	0.544	Load
7	-	-	0	0.000	0.000	0.000	0.000	Load
8	T72	Emanuel temas	63	54.180	32.143	1.806	1.071	Load
9	-	-	0	0.000	0.000	0.000	0.000	Load
10	T97	Ds Temas Klerek	142	122.120	72.448	4.071	2.415	Load
11	T95	Ds Torong Rejo	93	79.980	47.449	2.666	1.582	Load
12	-	-	0	0.000	0.000	0.000	0.000	Load
13	T96	Ds Torong Rejo tutup	80	68.800	40.816	2.293	1.361	Load
14	T156	Ds wukir	0	0.000	0.000	0.000	0.000	Load
15	-	-	0	0.000	0.000	0.000	0.000	Load
16	T31	Jl Sudiro	38	32.680	19.388	1.089	0.646	Load
17	T126	Jl Sudiro	138	118.680	70.408	3.956	2.347	Load
18	-	-	0	0.000	0.000	0.000	0.000	Load
19	T105	R.s Paru-paru	73	62.780	37.245	2.093	1.241	Load
20	T189	Jl Kasiman	78	67.080	39.796	2.236	1.327	Load
21	-	-	0	0.000	0.000	0.000	0.000	Load
22	T188	Jl Lesti	90	77.400	45.918	2.580	1.531	Load
23	-	-	0	0.000	0.000	0.000	0.000	Load
24	T9	jl Hasanudin	167	143.620	85.203	4.787	2.840	Load
25	T32	Jl Indragiri	84	72.240	42.857	2.408	1.429	Load
26	-	-	0	0.000	0.000	0.000	0.000	Load
27	T46	Ds. Sumberejo	113	97.180	57.653	3.239	1.922	Load
28	119	Ds. Sumberejo	0	0.000	0.000	0.000	0.000	Load
29	78	Ds Satrehan	122	104.920	62.244	3.497	2.075	Load
30	25	Jl Trunojoyo	26	22.360	13.265	0.745	0.442	Load
31	-	-	0	0.000	0.000	0.000	0.000	Load
32	30	Ds Songgoriti	39	33.540	19.898	1.118	0.663	Load
33	T129	Jl Flamboyan	110	94.600	56.122	3.153	1.871	Load
34	-	-	0	0.000	0.000	0.000	0.000	Load
35	99	Jl Flamboyan	67	57.620	34.183	1.921	1.139	Load
36	200	Ds Tanbuh	10	8.600	5.102	0.287	0.170	Load
37	201	Ds Tanbuh	8	6.880	4.082	0.229	0.136	Load

38	202	Ds Tanbuh	2	1.720	1.020	0.057	0.034	Load
39	-	-	0	0.000	0.000	0.000	0.000	Load
40	168	Bukit Pinus	12	10.320	6.122	0.344	0.204	Load
41	174	Jl Songgoriti	94	80.840	47.959	2.695	1.599	Load
42	175	Jl Songgoriti	16	13.760	8.163	0.459	0.272	Load
43	16	Jl Songgoriti	71	61.060	36.224	2.035	1.207	Load
44	-	-	0	0.000	0.000	0.000	0.000	Load
45	57	Dk Sebaluh	65	55.900	33.163	1.863	1.105	Load
46	153	Dk Sebaluh	83	71.380	42.347	2.379	1.412	Load
47	59	Dk Maron	69	59.340	35.204	1.978	1.173	Load
48	87	Dk Maron	65	55.900	33.163	1.863	1.105	Load
49	-	-	0	0.000	0.000	0.000	0.000	Load
50	112	Ds Gunung Sari	55	47.300	28.061	1.577	0.935	Load
51	-	-	0	0.000	0.000	0.000	0.000	Load
52	88	Ds Pujon Kidul	34	29.240	17.347	0.975	0.578	Load
53	89	Ds Pujon Kidul	103	88.580	52.551	2.953	1.752	Load
54	101	Dk Biyan	33	28.380	16.837	0.946	0.561	Load
55	102	Dk Bakir	82	70.520	41.836	2.351	1.395	Load
56	-	-	0	0.000	0.000	0.000	0.000	Load
57	103	Dk Cukal	38	32.680	19.388	1.089	0.646	Load
58	167	Dk dadapan	12	10.320	6.122	0.344	0.204	Load
59	-	-	0	0.000	0.000	0.000	0.000	Load
60	104	Ds Cukal	45	38.700	22.959	1.290	0.765	Load
61	166	Dk Tretes	23	19.780	11.735	0.659	0.391	Load
62	167	Dk Dadapan	12	10.320	6.122	0.344	0.204	Load
63	-	-	0	0.000	0.000	0.000	0.000	Load
64	58	Dk Pandemas	36	30.960	18.367	1.032	0.612	Load
65	60	Ds Jurang Rejo	120	103.200	61.224	3.440	2.041	Load
66	217	Ds Brau	14	12.040	7.143	0.401	0.238	Load
67	-	-	0	0.000	0.000	0.000	0.000	Load
68	212	Dk Don Bayi	16	13.760	8.163	0.459	0.272	Load
69	36	Ds Pandesari	108	92.880	55.102	3.096	1.837	Load
70	145	Dk Watu Gong	47	40.420	23.979	1.347	0.799	Load
71	19	Jl Raya Pujon	83	71.380	42.347	2.379	1.412	Load
72	-	-	0	0.000	0.000	0.000	0.000	Load
73	198	Pasar Baru	55	47.300	28.061	1.577	0.935	Load
74	123	Jl Raya Pujon	105	90.300	53.571	3.010	1.786	Load
75	-	-	0	0.000	0.000	0.000	0.000	Load
76	-	-	0	0.000	0.000	0.000	0.000	Load
77	98	Dk Kalangan	70	60.200	35.714	2.007	1.190	Load
78	79	Ds Wiyun Rejo	123	105.780	62.755	3.526	2.092	Load
79	80	Ds Madirejo	47	40.420	23.979	1.347	0.799	Load
80	223	Dk Sobo	16	13.760	8.163	0.459	0.272	Load
81	94	Dk Delik	54	46.440	27.551	1.548	0.918	Load

82	216	Dk Delik	77	66.220	39.285	2.207	1.310	Load
83	-	-	0	0.000	0.000	0.000	0.000	Load
84	195	KOP SAE	29	24.940	14.796	0.831	0.493	Load
85	-	-	0	0.000	0.000	0.000	0.000	Load
86	62	KOP SAE	114	98.040	58.163	3.268	1.939	Load
87	33	Ds Ngroto	132	113.520	67.346	3.784	2.245	Load
88	61	Ds Ngroto	72	61.920	36.734	2.064	1.224	Load
89	-	-	0	0.000	0.000	0.000	0.000	Load
90	64	Dk lebaksari	36	30.960	18.367	1.032	0.612	Load
91	147	Dk Torong	29	24.940	14.796	0.831	0.493	Load
92	63	Dk Mantung	43	36.980	21.939	1.233	0.731	Load
93	-	-	0	0.000	0.000	0.000	0.000	Load
94	196	Dk Bunder	16	13.760	8.163	0.459	0.272	Load
95	-	-	0	0.000	0.000	0.000	0.000	Load
96	197	Dk Ngebrong	16	13.760	8.163	0.459	0.272	Load
97	65	Ds Ngabab	123	105.780	62.755	3.526	2.092	Load
98	66	Ds Ngabab	63	54.180	32.143	1.806	1.071	Load
99	219	Ds Manting	46	39.560	23.469	1.319	0.782	Load
100	76	Ds Manting	0	0.000	0.000	0.000	0.000	Load
101	77	Dk Gerih	100	86.000	51.020	2.867	1.701	Load

Tabel 4.4
Profil Tegangan dan Sudut Fasa Tiap Bus Penyulang Pujan
Sebelum Kompensasi

No Node	Tegangan abs (pu)	Sudut Fasa (rad)
1	1.0000	-0.0000
2	0.99760	-0.06503
3	0.99174	-0.22509
4	0.98826	-0.32095
5	0.98826	-0.32104
6	0.98554	-0.39650
7	0.97732	-0.62770
8	0.97725	-0.62962
9	0.97710	-0.63411
10	0.97684	-0.64148
11	0.97677	-0.64357
12	0.97674	-0.64452
13	0.97663	-0.64750
14	0.97674	-0.64452
15	0.97295	-0.75206
16	0.97294	-0.75248
17	0.97294	-0.75255
18	0.96651	-0.59598
19	0.96650	-0.59630
20	0.96648	-0.59672
21	0.96553	-0.62396
22	0.96550	-0.62458
23	0.96160	-0.73713
24	0.96154	-0.73896
25	0.96157	-0.73711
26	0.96122	-0.73384
27	0.96122	-0.73382
28	0.96122	-0.73384
29	0.96086	-0.73071
30	0.95928	-0.80431
31	0.95890	-0.81519
32	0.95887	-0.81609
33	0.95880	-0.81508
34	0.95861	-0.81489

No Node	Tegangan abs (pu)	Sudut Fasa (rad)
35	0.95859	-0.81487
36	0.95858	-0.81514
37	0.95858	-0.81521
38	0.95858	-0.81523
39	0.95758	-0.81658
40	0.95757	-0.81657
41	0.95752	-0.91821
42	0.95752	-0.91826
43	0.95748	-0.91931
44	0.95376	-1.02832
45	0.95323	-1.04379
46	0.95303	-1.04981
47	0.95261	-1.06225
48	0.95234	-1.07012
49	0.95219	-1.07451
50	0.95125	-1.07561
51	0.95217	-1.07508
52	0.95217	-1.07520
53	0.95187	-1.08408
54	0.95123	-1.08887
55	0.95084	-1.09176
56	0.95071	-1.09578
57	0.95064	-1.09765
58	0.95063	-1.09800
59	0.95068	-1.09666
60	0.95066	-1.09703
61	0.95064	-1.09771
62	0.95063	-1.09810
63	0.95297	-1.05144
64	0.95288	-1.05410
65	0.95277	-1.05744
66	0.95275	-1.05812
67	0.95278	-1.05711
68	0.95277	-1.05747

No Node	Tegangan abs (pu)	Sudut Fasa (rad)
69	0.95263	-1.06168
70	0.94913	-1.01277
71	0.94837	-1.03530
72	0.94835	-1.03484
73	0.94834	-1.03520
74	0.94806	-1.04353
75	0.94786	-1.04960
76	0.94731	-1.06636
77	0.94728	-1.06706
78	0.94717	-1.07051
79	0.94708	-1.07293
80	0.94698	-1.07588
81	0.94686	-1.07898
82	0.94676	-1.08204
83	0.94764	-1.05603
84	0.94763	-1.05618
85	0.94729	-1.08516
86	0.94726	-1.08593
87	0.94718	-1.08845
88	0.94693	-1.09573
89	0.94663	-1.10459
90	0.94660	-1.10542
91	0.94657	-1.10636
92	0.94657	-1.10637
93	0.94631	-1.11426
94	0.94627	-1.11422
95	0.94612	-1.11406
96	0.94611	-1.11404
97	0.94597	-1.11390
98	0.94572	-1.11364
99	0.94572	-1.11377
100	0.97695	-0.63396
101	0.97689	-0.63392

Tabel 4.5
Rugi-Rugi Daya Tiap Saluran Penyulang Pujon
Sebelum Kompensasi

Saluran		P (kW)	Q (kVAR)	Saluran		P (kW)	Q (kVAR)
Dari	Ke			Dari	Ke		
1	2	3949.982	2427.659	2	1	-3943.238	-2417.352
2	3	3898.518	2390.822	3	2	-3882.247	-2365.945
3	4	3822.047	2330.231	4	3	-3812.532	-2315.690
4	5	36.980	21.939	5	4	-36.980	-21.939
4	6	3775.552	2293.750	6	4	-3768.174	-2282.470
6	7	3740.654	2266.144	7	6	-3718.484	-2232.252
7	8	411.223	244.078	8	7	-411.204	-244.048
8	9	357.024	211.905	9	8	-356.983	-211.843
9	10	270.965	160.812	10	9	-270.915	-160.735
10	11	148.795	88.287	11	10	-148.787	-88.275
11	12	68.807	40.826	12	11	-68.805	-40.824
12	13	68.805	40.824	13	12	-68.800	-40.816
12	14	0.000	0.000	14	12	0.000	0.000
7	15	3307.261	1988.174	15	7	-3296.773	-1972.140
15	16	1515.362	89.799	16	15	-151.360	-89.796
16	17	118.680	70.408	17	16	-118.680	-70.408
15	18	3145.411	1882.341	18	15	-3119.471	-1878.378
18	19	62.781	37.246	19	18	-62.780	-37.245
18	20	67.082	39.798	20	18	-67.080	-39.796
18	21	2989.608	1801.333	21	18	-2987.463	-1798.054
21	22	77.402	45.920	22	21	-77.400	-45.918
21	23	2910.061	1752.133	23	23	-2901.648	-1739.268
23	24	143.627	85.213	24	23	-143.620	-85.203
23	25	72.242	42.858	25	23	-72.240	-42.857
23	26	202.229	119.950	26	23	-202.143	-119.915
26	27	97.180	57.653	27	26	-97.180	-57.653
26	28	0.000	0.000	28	26	0.000	0.000
26	29	104.963	62.262	29	26	-104.920	-62.244
23	30	2483.550	1491.246	30	23	-2479.292	-1484.737
30	31	2456.932	1471.472	31	30	-2456.252	-1470.431
31	32	33.541	19.899	32	31	-33.540	-19.898
31	33	169.455	100.529	33	31	-169.436	-100.519
33	34	74.836	44.397	34	33	-74.821	-44.388
34	35	74.821	44.388	35	34	-74.820	-44.387
35	36	17.200	10.204	36	35	-17.200	-10.204
36	37	8.600	5.102	37	36	-8.600	-5.102
37	38	1.720	1.020	38	37	-1.720	-1.020
31	39	2253.256	1350.003	39	31	-2252.525	-1344.154

39	40	10.320	6.122	40	39	-10.320	-6.122
39	41	94.604	56.128	41	39	-94.600	-56.122
41	42	13.760	8.163	42	41	-13.760	-8.163
39	43	2147.601	1281.904	43	39	-2147.451	-1281.675
43	44	2086.391	1245.451	44	43	-2080.635	-1236.652
44	45	619.240	368.051	45	44	-618.998	-367.681
45	46	563.098	334.521	46	45	-563.012	-334.390
46	47	491.632	292.043	47	46	-491.478	-291.807
47	48	432.138	256.603	48	47	-432.052	-256.472
48	49	376.152	223.309	49	48	-376.110	-223.245
49	50	47.301	28.063	50	49	-47.300	-28.061
49	51	328.809	195.182	51	49	-328.804	-195.175
51	52	29.240	17.347	52	51	-29.240	-17.347
51	53	299.564	177.827	52	51	-299.496	-177.723
53	54	210.916	125.172	54	53	-210.785	-125.071
54	55	182.405	108.234	55	54	-182.336	-108.181
55	56	111.816	66.351	56	55	-111.805	-66.333
56	57	43.002	25.513	57	56	-43.000	-25.510
57	58	10.320	6.122	58	57	-10.320	-6.122
56	59	68.803	40.820	59	56	-68.801	-40.818
59	60	38.700	22.960	60	59	-38.700	-22.959
59	61	30.101	17.868	61	59	-30.100	17.857
61	62	10.320	6.122	62	61	-10.320	-6.122
44	63	1461.395	868.601	63	44	1460.541	-867.296
63	64	146.220	86.760	64	63	-146.210	-86.745
64	65	115.250	68.378	65	64	-115.240	-68.363
65	66	12.040	7.143	66	65	-12.040	-7.143
63	67	1314.321	780.536	67	63	-1314.133	-780.249
67	68	13.760	8.163	68	67	-13.760	-8.163
67	69	1300.373	772.085	69	67	-1300.223	-771.856
69	70	1207.343	716.754	70	69	-1202.309	-715.154
70	71	1161.889	691.175	71	70	-1161.228	-690.164
71	72	1089.848	647.817	72	71	-1089.821	-647.813
72	73	47.300	28.062	73	72	-47.300	-28.061
72	74	1042.521	619.751	74	72	-1042.292	-619.402
74	75	951.992	565.831	75	74	-951.846	-565.607
75	76	333.021	197.757	76	75	-332.886	-197.545
76	77	60.201	35.716	77	76	-60.200	-35.714
76	78	272.684	161.829	78	76	-272.656	-161.786
78	79	166.876	99.031	79	78	-166.866	-99.015
79	80	126.446	75.036	80	79	-126.436	-75.022
80	81	112.676	66.859	81	80	112.665	-66.844
81	82	66.225	39.293	82	81	-66.220	-39.285
75	83	618.825	367.850	83	75	-618.725	-367.696

83	84	24.940	14.796	84	83	-24.940	-14.796
83	85	593.784	352.900	85	83	-593.743	-352.467
85	86	98.042	58.166	86	85	-98.040	-58.163
85	87	495.701	294.301	87	85	-495.660	-294.238
87	88	382.140	226.892	88	87	-382.070	-226.785
88	89	320.150	190.051	89	88	320.078	-189.942
89	90	55.902	33.166	90	89	-55.901	-33.164
90	91	24.941	14.797	91	90	-24.940	-14.796
89	92	264.176	156.776	92	89	-264.165	-156.758
92	93	227.185	134.819	93	92	-227.141	-134.751
93	94	13.761	8.163	94	93	-13.760	-8.163
93	95	213.380	126.587	95	93	-213.338	-126.563
95	96	13.760	8.163	96	95	-13.760	-8.163
95	97	199.577	118.400	97	95	-199.545	-118.381
97	98	93.765	55.626	98	97	-93.740	-55.612
98	99	39.560	23.469	99	98	-39.560	-23.469
9	100	86.018	51.030	100	9	-86.005	-51.023
100	101	86.005	51.023	101	100	-86.000	51.020

Tabel 4.6
Profil Tegangan dan Sudut Fasa Tiap Bus Penyulang Pujon
Setelah Kompensasi

No Node	Tegangan abs (pu)	Sudut Fasa (rad)
1	1.00000	0.00000
2	0.99825	-0.08823
3	0.99151	-0.30551
4	0.99151	-0.43587
5	0.99956	-0.43596
6	0.98956	-0.53869
7	0.98371	-0.85295
8	0.98365	-0.85485
9	0.98349	-0.85928
10	0.98324	-0.86656
11	0.98316	-0.86863
12	0.98313	-0.86956
13	0.98303	-0.87250
14	0.98313	-0.86956
15	0.98077	-1.02708
16	0.98075	-1.02749
17	0.98075	-1.02757
18	0.97477	-1.01712
19	0.97476	-1.01743
20	0.97474	-1.01785
21	0.97414	-1.05751
22	0.97411	-1.05812
23	0.97165	-1.22200
24	0.97159	-1.22380
25	0.97162	-1.22198
26	0.97128	-1.21877
27	0.97127	-1.21876
28	0.97128	-1.21877
29	0.97092	-1.21571
30	0.97032	-1.32479
31	0.97011	-1.34146
32	0.97008	-1.34233
33	0.97000	-1.34135
34	0.96982	-1.34116

No Node	Tegangan abs (pu)	Sudut Fasa (rad)
35	0.96980	-1.34114
36	0.96979	-1.34140
37	0.96979	-1.34148
38	0.96979	-1.34149
39	0.96985	-1.44797
40	0.96984	-1.44796
41	0.96979	-1.44957
42	0.96979	-1.44961
43	0.96980	-1.45237
44	0.96797	-1.62924
45	0.96745	-1.64426
46	0.96725	-1.65011
47	0.96683	-1.66218
48	0.96657	-1.66982
49	0.96642	-1.67409
50	0.96638	-1.67516
51	0.96640	-1.67464
52	0.96640	-1.67475
53	0.96610	-1.68338
54	0.96547	-1.68803
55	0.96509	-1.69083
56	0.96496	-1.69473
57	0.96490	-1.69655
58	0.96488	-1.69689
59	0.96493	-1.69558
60	0.96492	-1.69594
61	0.96489	-1.69661
62	0.96488	-1.69698
63	0.96774	-1.67302
64	0.96775	-1.67937
65	0.96780	-1.68860
66	0.96777	-1.68926
67	0.96768	-1.68342
68	0.96767	-1.68377

No Node	Tegangan abs (pu)	Sudut Fasa (rad)
69	0.96763	-1.69185
70	0.96466	-1.72988
71	0.96422	-1.76373
72	0.96420	-1.76384
73	0.96419	-1.76418
74	0.96405	-1.77740
75	0.96395	-1.78724
76	0.96341	-1.80344
77	0.96338	-1.80411
78	0.96327	-1.80745
79	0.96319	-1.80979
80	0.96309	-1.81264
81	0.96297	-1.81564
82	0.96287	-1.81860
83	0.96390	-1.79989
84	0.96389	-1.80004
85	0.96355	-1.82805
86	0.96353	-1.82879
87	0.96344	-1.83122
88	0.96320	-1.83826
89	0.96291	-1.84682
90	0.96288	-1.84762
91	0.96285	-1.84853
92	0.96285	-1.84854
93	0.96260	-1.85612
94	0.96255	-1.85612
95	0.96241	-1.85597
96	0.96240	-1.85596
97	0.96226	-1.85582
98	0.96202	-1.85557
99	0.96201	-1.85569
100	0.98334	-1.85913
101	0.98329	-1.85910

Tabel 4.7
Rugi-Rugi Daya Tiap Saluran Penyulang Pujon
Setelah Kompensasi

No Saluran	Node		P (Kw)	Q (kVAR)	Node		P (Kw)	Q (kVAR)
	Dari	Ke			Dari	Ke		
1	1	2	3917.949	1088.281	2	1	-3912.761	-1080.353
2	2	3	3868.041	1053.823	3	2	-3855.553	-1034.731
3	3	4	3795.353	999.017	4	3	-3788.073	-987.890
4	4	5	36.980	21.939	5	4	-36.980	-21.939
5	4	6	3751.093	965.951	6	4	-3745.458	-957.335
6	6	7	3717.938	941.009	7	6	-3701.028	-915.159
7	7	8	411.222	244.075	8	7	-411.202	-244.045
8	8	9	357.022	211.902	9	8	-356.982	-211.841
9	9	10	270.964	160.811	10	9	-270.914	-160.735
10	10	11	148.794	88.287	11	10	-148.787	-88.275
11	11	12	68.807	40.826	12	11	-68.805	-40.824
12	12	13	68.805	40.824	13	12	-68.8	-40.816
13	12	14	-	-	14	12	-	-
14	7	15	151.362	671.084	15	7	-3281.97	-659.102
15	15	16	118.68	89.799	16	15	-151.36	-89.796
16	16	17	3130.608	70.408	17	16	-118.68	-70.408
17	15	18	62.781	569.304	18	15	-3111.372	-566.364
18	18	19	67.082	37.264	19	18	-62.78	-37.245
19	18	20	2981.509	39.798	20	18	-67.08	-39.796
20	18	21	77.402	489.32	21	18	-2979.929	-486.904
21	21	22	2902.527	45.92	22	21	-77.4	-45.918
22	21	23	143.626	440.984	23	21	-2896.253	-431.542
23	23	24	143.626	85.213	24	23	-143.62	-85.203
24	23	25	72.242	42.858	25	23	-72.24	-42.857
25	23	26	202.227	11.949	26	23	-202.142	-119.914
26	26	27	97.18	57.653	27	26	-97.18	-57.653
27	26	28	-	-	28	26	-	-
28	28	29	104.962	62.261	29	28	-104.92	-62.244
29	23	30	2478.258	183.522	30	23	-2475.189	-178.831
30	30	31	2452.829	165.566	31	30	-2452.339	-164.816
31	31	32	33.541	19.899	32	31	-33.54	-19.898
32	31	33	169.454	100.529	33	31	-169.436	-100.518
33	33	34	74.836	44.396	34	33	-74.821	-44.388
34	34	35	74.821	44.388	35	34	-74.82	-44.387
35	34	36	17.2	10.204	36	34	-17.2	-10.204
36	36	37	8.6	5.102	37	36	-8.6	-5.102
37	37	38	1.72	1.02	38	37	-1.72	-1.02
38	31	39	2249.345	44.388	39	31	-2248.82	-40.196

39	39	40	10.32	6.122	40	39	-10.32	-6.122
40	39	41	94.604	56.128	41	39	-94.6	-56.122
41	41	42	13.76	8.163	42	41	-13.76	-8.163
42	39	43	2143.896	-22.054	43	39	-2143.789	22.218
43	43	44	2082.729	-58.442	44	43	-2078.603	64.748
44	44	45	619.213	368.015	45	44	-618.978	-367.656
45	45	46	563.078	334.496	46	45	-562.995	-334.369
46	46	47	491.615	292.022	47	46	-491.465	-291.793
47	47	48	432.125	256.589	48	47	-432.042	-256.461
48	48	49	376.142	223.298	49	48	-376.101	-223.236
49	49	50	47.301	28.063	50	49	-47.3	-28.061
50	49	51	328.8	195.173	51	49	-320.796	-195.166
51	51	52	29.24	17.347	52	51	-29.24	-17.347
52	51	53	299.555	177.819	53	51	-299.484	-177.718
53	53	54	210.909	125.167	54	53	-210.782	-125.069
54	54	55	182.402	108.232	55	54	-182.336	-108.18
55	55	56	111.816	66.35	56	55	-111.805	-66.333
56	56	57	43.002	25.513	57	56	-43	-25.51
57	57	58	10.32	6.122	58	57	-10.32	-6.122
58	56	59	68.803	40.82	59	56	-68.801	-40.818
59	59	60	38.7	22.96	60	59	-38.7	-22.959
60	59	61	30.101	17.858	61	59	-30.1	-17.857
61	61	62	10.32	6.122	62	61	-10.32	-6.122
62	44	63	1459.39	-432.763	63	44	-1458.725	433.779
63	63	64	146.227	-113.228	64	63	-146.216	113.245
64	64	65	115.256	-131.612	65	64	-115.24	131.637
65	65	66	12.04	7.143	66	65	-12.04	-7.143
66	63	67	1312.498	-320.551	67	63	-1312.356	320.769
67	67	68	13.76	8.163	68	67	-13.76	-8.163
68	67	69	1298.596	-328.932	69	67	-1298.481	329.106
69	69	70	1205.601	115.792	70	69	-1201.971	-114.638
70	70	71	1161.551	90.659	71	70	-1161.075	-89.932
71	71	72	1089.695	47.585	72	71	-1089.676	-47.582
72	72	73	47.3	28.062	73	72	-47.3	-28.061
73	72	74	1042.376	19.52	74	72	-1042.213	-19.27
74	74	75	951.913	-34.301	75	74	-951.808	34.46
75	75	76	333.015	197.747	76	75	-332.883	-197.542
76	76	77	60.201	35.716	77	76	-60.2	-35.714
77	76	78	272.682	161.826	78	76	-272.655	-161.784
78	78	79	166.875	99.029	79	78	-166.865	-99.014
79	79	80	126.445	75.035	80	79	-126.436	-75.021
80	80	81	112.676	66.858	81	80	-122.665	-66.844
81	81	82	66.225	39.293	82	81	-66.22	-39.285
82	75	83	618.793	-232.207	83	75	-618.712	232.333

83	83	84	24.94	14.796	84	83	-24.94	-14.796
84	83	85	593.772	352.871	85	83	-593.731	-352.453
85	85	86	98.042	58.166	86	85	-98.04	-58.163
86	85	87	495.69	294.287	87	85	-495.65	-294.226
87	87	88	382.13	226.88	88	87	-382.062	-226.776
88	88	89	320.142	190.042	89	88	-320.075	-189.937
89	89	90	55.902	33.166	90	89	-55.901	-33.164
90	90	91	24.941	14.797	91	90	-24.94	-14.796
91	89	92	264.171	156.771	92	89	-264.16	-156.754
92	92	93	227.18	134.815	93	92	-227.137	-134.779
93	93	94	13.761	8.163	94	93	-13.76	-8.163
94	93	95	213.377	126.585	95	93	-213.336	-126.562
95	95	96	13.76	8.163	96	95	-13.76	-8.163
96	95	97	199.575	118.399	97	95	-199.544	-118.381
97	97	98	93.764	55.526	98	97	-93.74	-55.612
98	98	99	39.56	23.469	99	98	-39.56	-23.469
99	9	100	86.018	51.03	100	9	-86.005	-51.023
100	100	101	86.005	51.023	101	100	-86	-51.02

PERBANDINGAN

Untuk melakukan uji Validasi program ini tidak bisa menggunakan data-data pada jurnal Mesut E. Baran, Felix F. Wu, " Optimal Capacitor Placement On Radial Distribution System " IEEE, Vol 4, No 1, January 1989, karena foto copy jurnal tersebut yang diperoleh LMK Jakarta sebagian data-datanya tidak jelas. Maka salah satu cara melakukan uji Validasi metode Reduced Size Genetic Algorithm ini adalah dengan membandingkan hasil yang diperoleh menggunakan program dengan Genetika Algoritma Dasar untuk data yang sama pada Penyulang Pujon Malang.

Dimana membandingkan hasil yang diperoleh dengan kedua metode tersebut diperoleh data setelah kompensasi yang selisihnya sangat kecil.

Untuk Profil Tegangan pada Node 2 :

$$\begin{aligned}\text{Selisih} &= \frac{\text{Resize GA} - \text{GA}}{\text{Resize GA}} \\ &= \frac{0.99825 - 0.99812}{0.99825} \\ &= 1.3 \times 10^{-4} \%\end{aligned}$$

Untuk Profil Tegangan pada Node 3 :

$$\begin{aligned}\text{Selisih} &= \frac{\text{Resize GA} - \text{GA}}{\text{Resize GA}} \\ &= \frac{0.99151 - 0.99130}{0.99151} \\ &= 2.2 \times 10^{-4} \%\end{aligned}$$

Untuk Profil Tegangan pada Node 99 :

$$\begin{aligned}\text{Selisih} &= \frac{\text{Resize GA} - \text{GA}}{\text{Resize GA}} \\ &= \frac{0.96201 - 0.96112}{0.96201} \\ &= 9.251 \times 10^{-4} \%\end{aligned}$$

Selisih untuk Node lainnya semua dibawah $9.251 \times 10^{-4} \%$, sehingga disimpulkan bahwa Metode Resize Genetic Algorithm yang digunakan Valid.

❖ **Data Setelah Kompensasi Menggunakan Metode Genetika Algoritma**

Profil Tegangan dan Sudut Fasa Tiap Bus Penyulang Pujon Setelah Kompensasi

No Node	Tegangan abs (pu)	Sudut Fasa (rad)
1	1.00000	0.00000
2	0.99812	-0.08823
3	0.99130	-0.30551
4	0.99131	-0.43585
5	0.99943	-0.43590
6	0.98950	-0.53855
7	0.98365	-0.85562
8	0.98359	-0.85485
9	0.98349	-0.85928
10	0.98334	-0.86652
11	0.98326	-0.86842
12	0.98313	-0.86956
13	0.98303	-0.87250
14	0.98313	-0.86956
15	0.98077	-1.02708
16	0.98075	-1.02749
17	0.98075	-1.02755
18	0.97466	-1.01712
19	0.97456	-1.01743
20	0.97444	-1.01785
21	0.97414	-1.05751
22	0.97411	-1.05812
23	0.97165	-1.22200
24	0.97159	-1.22380
25	0.97162	-1.22195
26	0.97128	-1.21877
27	0.97127	-1.21876
28	0.97128	-1.21877
29	0.97082	-1.21571
30	0.97021	-1.32469
31	0.97011	-1.34145
32	0.97008	-1.34222
33	0.97000	-1.34132
34	0.96982	-1.34110

No Node	Tegangan abs (pu)	Sudut Fasa (rad)
35	0.96979	-1.34112
36	0.96976	-1.34137
37	0.96976	-1.34142
38	0.96979	-1.34112
39	0.96985	-1.44797
40	0.96984	-1.44796
41	0.96979	-1.44957
42	0.96979	-1.44961
43	0.96980	-1.45227
44	0.96794	-1.62924
45	0.96745	-1.64426
46	0.96689	-1.65011
47	0.96683	-1.66215
48	0.96656	-1.66980
49	0.96639	-1.67399
50	0.96638	-1.67516
51	0.96640	-1.67464
52	0.96640	-1.67475
53	0.96610	-1.68338
54	0.96547	-1.68803
55	0.96509	-1.69083
56	0.96496	-1.69473
57	0.96490	-1.69655
58	0.96482	-1.69672
59	0.96493	-1.69558
60	0.96492	-1.69594
61	0.96489	-1.69661
62	0.96488	-1.69698
63	0.96774	-1.67302
64	0.96775	-1.67937
65	0.96780	-1.68860
66	0.96777	-1.68926
67	0.96762	-1.68322
68	0.96767	-1.68377

No Node	Tegangan abs (pu)	Sudut Fasa (rad)
69	0.96759	-1.69174
70	0.96448	-1.72988
71	0.96422	-1.76373
72	0.96420	-1.76384
73	0.96409	-1.76418
74	0.96405	-1.77740
75	0.96389	-1.78724
76	0.96338	-1.80344
77	0.96338	-1.80411
78	0.96315	-1.80745
79	0.96309	-1.80979
80	0.96308	-1.81264
81	0.96286	-1.81564
82	0.96270	-1.81860
83	0.96355	-1.79989
84	0.96332	-1.80004
85	0.96324	-1.82805
86	0.96318	-1.82879
87	0.96309	-1.83122
88	0.96321	-1.83826
89	0.96261	-1.84682
90	0.96258	-1.84762
91	0.96255	-1.84853
92	0.96235	-1.84854
93	0.96230	-1.85612
94	0.96219	-1.85612
95	0.96209	-1.85597
96	0.96184	-1.85499
97	0.96162	-1.85497
98	0.96148	-1.85491
99	0.96112	-1.85445
100	0.98334	-1.85476
101	0.98329	-1.85910

PERBANDINGAN RESIZE GA DENGAN GENETIK ALGORITMA

❖ Data Setelah Kompensasi Menggunakan Metode Resize GA

Profil Tegangan dan Sudut Fasa Tiap Bus Penyulang Pujon Setelah Kompensasi

No Node	Tegangan abs (pu)	Sudut Fasa (rad)
1	1.00000	0.00000
2	0.99825	-0.08823
3	0.99151	-0.30551
4	0.99151	-0.43587
5	0.99956	-0.43596
6	0.98956	-0.53869
7	0.98371	-0.85295
8	0.98365	-0.85485
9	0.98349	-0.85928
10	0.98324	-0.86656
11	0.98316	-0.86863
12	0.98313	-0.86956
13	0.98303	-0.87250
14	0.98313	-0.86956
15	0.98077	-1.02708
16	0.98075	-1.02749
17	0.98075	-1.02757
18	0.97477	-1.01712
19	0.97476	-1.01743
20	0.97474	-1.01785
21	0.97414	-1.05751
22	0.97411	-1.05812
23	0.97165	-1.22200
24	0.97159	-1.22380
25	0.97162	-1.22198
26	0.97128	-1.21877
27	0.97127	-1.21876
28	0.97128	-1.21877
29	0.97092	-1.21571
30	0.97032	-1.32479
31	0.97011	-1.34146
32	0.97008	-1.34233
33	0.97000	-1.34135
34	0.96982	-1.34116

No Node	Tegangan abs (pu)	Sudut Fasa (rad)
35	0.96980	-1.34114
36	0.96979	-1.34140
37	0.96979	-1.34148
38	0.96979	-1.34149
39	0.96985	-1.44797
40	0.96984	-1.44796
41	0.96979	-1.44957
42	0.96979	-1.44961
43	0.96980	-1.45237
44	0.96797	-1.62924
45	0.96745	-1.64426
46	0.96725	-1.65011
47	0.96683	-1.66218
48	0.96657	-1.66982
49	0.96642	-1.67409
50	0.96638	-1.67516
51	0.96640	-1.67464
52	0.96640	-1.67475
53	0.96610	-1.68338
54	0.96547	-1.68803
55	0.96509	-1.69083
56	0.96496	-1.69473
57	0.96490	-1.69655
58	0.96488	-1.69689
59	0.96493	-1.69558
60	0.96492	-1.69594
61	0.96489	-1.69661
62	0.96488	-1.69698
63	0.96774	-1.67302
64	0.96775	-1.67937
65	0.96780	-1.68860
66	0.96777	-1.68926
67	0.96768	-1.68342
68	0.96767	-1.68377

No Node	Tegangan abs (pu)	Sudut Fasa (rad)
69	0.96763	-1.69185
70	0.96466	-1.72988
71	0.96422	-1.76373
72	0.96420	-1.76384
73	0.96419	-1.76418
74	0.96405	-1.77740
75	0.96395	-1.78724
76	0.96341	-1.80344
77	0.96338	-1.80411
78	0.96327	-1.80745
79	0.96319	-1.80979
80	0.96309	-1.81264
81	0.96297	-1.81564
82	0.96287	-1.81860
83	0.96390	-1.79989
84	0.96389	-1.80004
85	0.96355	-1.82805
86	0.96353	-1.82879
87	0.96344	-1.83122
88	0.96320	-1.83826
89	0.96291	-1.84682
90	0.96288	-1.84762
91	0.96285	-1.84853
92	0.96285	-1.84854
93	0.96260	-1.85612
94	0.96255	-1.85612
95	0.96241	-1.85597
96	0.96240	-1.85596
97	0.96226	-1.85582
98	0.96202	-1.85557
99	0.96201	-1.85569
100	0.98334	-1.85913
101	0.98329	-1.85910

Perhitungan Durasi Tingkat Beban

Untuk mendapatkan nilai durasi tingkat beban rendah, beban menengah, dan tingkat durasi beban tinggi tiap hari selama 1 tahun dapat dihitung sebagai berikut :

Berikut contoh perhitungan pada tanggal 1 April 2004

Hasil Pengukuran Arus Tiap Jam Penyulang Pujon

Tanggal 1 April 2004

Jam	Arus (Ampere)
0,00	80
1,00	77.5
2,00	75
3,00	75
4,00	85.5
5,00	96
6,00	88
7,00	70
8,00	60
9,00	50
10,00	40
11,00	40

Jam	Arus (Ampere)
12,00	40
13,00	40
14,00	40
15,00	60
16,00	80
17,00	100
18,00	150
19,00	150
20,00	140
21,00	120
22,00	100
23,00	90

Untuk mengetahui batasan durasi tiap beban, diambil nilai yang paling tinggi sebagai referensi, selanjutnya beban menengah 0,8 kalinya dan beban rendah 0,5 kalinya :

$$150 \times 1 = 150$$

$$150 \times 0,8 = 120$$

$$150 \times 0,5 = 75$$

Dengan demikian diketahui batasan untuk durasi beban tinggi (T1), durasi beban menengah (T2), dan durasi beban rendah (T3), yaitu :

$$120 \leq T1 \leq 150$$

$$75 \leq T2 \leq 120$$

$$0 \leq T3 \leq 75$$

Sehingga besarnya nilai T1, T2, T3 pada tanggal 1 April adalah:

TGL	T1	T2	T3
1	4/jam	11/jam	9/jam

Tanggal 2-30 dapat dilihat pada lembar selanjutnya

Untuk menghitung nilai durasi tingkat beban pada tanggal 2-30 April dapat dilakukan seperti pada contoh diatas.

Dari hasil perhitungan data selama 1 tahun maka didapatkan nilai total durasi tingkat beban seperti pada tabel dibawah ini :

T1.	1417/jam
T2	3295/jam
T3	4024/jam

Hasil Perhitungan T1, T2, T3 Pada Bulan April – Juni 2004

Bulan : April 2004

TGL	T1	T2	T3
1	4	11	9
2	4	9	11
3	4	10	10
4	4	10	10
5	4	10	10
6	4	11	9
7	4	10	10
8	3	9	12
9	4	8	12
10	4	7	13
11	4	10	10
12	4	10	10
13	4	10	10
14	3	10	11
15	4	10	10
16	3	11	10
17	4	10	10
18	4	10	10
19	4	9	11
20	4	9	11
21	4	8	12
22	4	10	10
23	4	10	10
24	5	9	10
25	4	8	12
26	4	10	10
27	4	10	10
28	4	10	10
29	4	10	10
30	4	10	10
Jumlah	118	289	313

Bulan : Mei 2004

TGL	T1	T2	T3
1	5	8	11
2	3	12	9
3	4	11	9
4	4	10	10
5	4	10	10
6	4	10	10
7	4	10	10
8	4	10	10
9	4	10	10
10	4	10	10
11	3	11	10
12	4	9	11
13	4	10	10
14	4	9	11
15	4	8	12
16	4	10	10
17	4	10	10
18	4	12	8
19	4	10	10
20	3	8	13
21	4	7	13
22	4	10	10
23	4	10	10
24	4	10	10
25	5	9	10
26	4	10	10
27	3	9	12
28	4	11	9
29	5	9	10
30	4	12	8
31	3	11	10
Jumlah	122	306	316

Bulan : juni 2004

TGL	T1	T2	T3
1	4	10	10
2	4	8	12
3	5	7	12
4	4	10	10
5	4	11	9
6	4	11	9
7	3	9	12
8	4	8	12
9	4	10	10
10	5	9	10
11	4	10	10
12	3	11	10
13	4	8	12
14	4	10	10
15	4	11	9
16	4	10	10
17	4	9	11
18	4	8	12
19	4	9	11
20	3	7	14
21	4	11	9
22	4	11	9
23	4	9	11
24	4	10	10
25	3	8	13
26	4	12	8
27	4	10	10
28	4	11	9
29	4	11	9
30	4	10	10
Jumlah	118	289	313

Total T1 = 358 jam

Total T2 = 884 jam

Total T3 = 942 jam

Hasil Perhitungan T1, T2, T3 Pada Bulan Juli – September 2004

Bulan : Juli 2004

TGL	T1	T2	T3
1	4	5	15
2	4	10	10
3	4	10	10
4	4	10	10
5	4	11	9
6	4	10	10
7	4	10	10
8	4	5	15
9	4	10	10
10	4	11	9
11	4	10	10
12	4	10	10
13	3	11	10
14	4	10	11
15	5	9	10
16	4	11	9
17	4	9	11
18	5	9	10
19	4	8	12
20	4	10	10
21	4	10	10
22	5	9	10
23	4	10	10
24	4	10	10
25	4	9	11
26	4	7	13
27	4	10	10
28	4	9	11
29	4	10	10
30	4	10	10
31	4	10	10
Jumlah	126	293	325

Bulan : Agustus 2004

TGL	T1	T2	T3
1	5	8	11
2	5	10	9
3	4	9	11
4	4	9	11
5	4	9	11
6	3	7	14
7	4	7	13
8	4	11	9
9	4	9	11
10	4	11	9
11	4	10	11
12	4	10	10
13	4	9	11
14	4	9	11
15	4	10	10
16	4	7	13
17	4	10	10
18	3	9	12
19	3	7	14
20	4	9	11
21	4	9	11
22	4	10	10
23	4	7	13
24	4	8	12
25	4	10	10
26	4	10	10
27	4	10	10
28	4	9	11
29	4	9	11
30	4	8	12
31	4	10	10
Jumlah	123	280	341

Bulan : September 2004

TGL	T1	T2	T3
1	4	10	10
2	4	10	10
3	4	10	10
4	4	8	12
5	4	10	10
6	4	9	11
7	4	9	11
8	4	10	10
9	4	10	10
10	3	11	10
11	4	7	13
12	4	8	12
13	4	9	11
14	3	10	11
15	4	10	10
16	4	10	10
17	4	9	11
18	4	8	12
19	4	10	10
20	4	10	10
21	4	9	11
22	4	8	12
23	4	7	13
24	4	10	10
25	4	4	16
26	4	9	11
27	4	10	10
28	4	10	10
29	4	9	11
30	4	10	10
Jumlah	118	274	328

Total T1 = 367 jam

Total T2 = 847 jam

Total T3 = 994 jam

Hasil Perhitungan T1, T2, T3 Pada Bulan Oktober – Desember 2004

Bulan : Oktober 2004

TGL	T1	T2	T3
1	4	8	12
2	4	10	10
3	4	11	9
4	4	10	10
5	4	7	13
6	4	7	13
7	4	10	10
8	4	8	12
9	4	9	11
10	4	9	11
11	4	8	12
12	4	8	12
13	4	8	12
14	5	8	11
15	4	10	10
16	4	9	11
17	4	9	11
18	4	4	16
19	4	9	11
20	4	8	12
21	4	9	11
22	4	10	10
23	4	5	15
24	4	8	12
25	4	9	11
26	4	9	11
27	4	9	11
28	5	9	10
29	4	8	12
30	4	6	14
31	4	7	13
Jumlah	126	259	359

Bulan : November 2004

TGL	T1	T2	T3
1	4	10	10
2	4	9	11
3	4	9	11
4	2	7	15
5	4	4	16
6	4	10	10
7	4	9	11
8	4	9	11
9	5	8	11
10	3	7	14
11	4	8	12
12	4	8	12
13	5	7	12
14	4	9	11
15	4	9	11
16	4	8	12
17	4	4	16
18	4	9	11
19	4	10	10
20	4	9	11
21	5	8	11
22	3	9	12
23	3	6	15
24	4	10	10
25	5	9	10
26	4	9	11
27	3	7	14
28	4	5	15
29	4	9	11
30	4	7	13
Jumlah	118	242	360

Bulan : Desember 2004

TGL	T1	T2	T3
1	4	10	10
2	4	10	10
3	3	8	13
4	3	9	12
5	4	7	13
6	4	10	10
7	4	8	11
8	5	9	10
9	4	9	11
10	3	5	16
11	4	5	15
12	3	11	10
13	4	7	13
14	4	9	11
15	4	10	10
16	4	8	12
17	4	8	12
18	4	9	11
19	3	11	10
20	4	10	10
21	4	10	10
22	4	7	13
23	4	10	10
24	3	11	10
25	4	10	10
26	4	9	11
27	3	12	9
28	4	9	11
29	3	5	16
30	4	8	12
31	4	3	17
Jumlah	117	268	359

Total T1 = 361 jam
Total T2 = 769 jam
Total T3 = 1078 jam

Hasil Perhitungan T1, T2, T3 Pada Bulan Januari – Maret 2005

Bulan : Januari 2005

TGL	T1	T2	T3
1	5	9	10
2	4	3	17
3	4	6	14
4	3	10	11
5	3	9	12
6	3	11	10
7	4	9	11
8	3	5	16
9	3	9	12
10	4	6	14
11	5	9	10
12	4	10	10
13	5	9	10
14	3	11	10
15	4	9	11
16	4	10	10
17	4	10	10
18	4	9	11
19	3	11	10
20	4	9	11
21	4	10	10
22	4	11	9
23	4	10	10
24	4	10	10
25	4	10	10
26	4	9	11
27	4	9	11
28	4	10	10
Jumlah	108	253	311

Bulan : Februari 2005

TGL	T1	T2	T3
1	3	8	13
2	3	11	10
3	4	10	10
4	4	8	12
5	4	10	10
6	4	10	10
7	4	9	11
8	4	9	11
9	2	9	13
10	3	6	15
11	3	9	12
12	4	9	11
13	4	9	11
14	3	10	11
15	3	12	9
16	3	8	13
17	2	5	17
18	5	9	10
19	3	12	9
20	4	11	9
21	4	6	14
22	3	5	16
23	3	10	11
24	3	10	11
25	4	10	10
26	3	11	10
27	4	6	14
28	4	10	10
29	4	10	10
30	4	10	10
31	4	10	10
Jumlah	109	282	353

Bulan : Maret 2005

TGL	T1	T2	T3
1	4	10	10
2	4	10	10
3	4	10	10
4	4	10	10
5	3	6	15
6	3	11	10
7	4	10	10
8	4	10	10
9	3	11	10
10	4	7	13
11	4	8	12
12	4	9	11
13	4	8	12
14	4	10	10
15	4	10	10
16	4	9	11
17	4	9	11
18	3	9	12
19	4	4	16
20	4	10	10
21	4	8	12
22	3	8	13
23	4	5	15
24	4	7	13
25	4	10	10
26	5	8	11
27	3	10	11
28	3	9	12
29	4	9	11
30	4	5	15
Jumlah	114	260	346

Total T1 = 331 jam
Total T2 = 795 jam
Total T3 = 1010 jam

Sehingga Total T1 = 358+367+361+331 = 1417 jam
Total T2 = 884+847+769+795 = 3295 jam
Total T3 = 942+994+1078+1010 = 4024 jam

LAMPIRAN

A2



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

Konsentrasi : Teknik Energi Listrik/Teknik Elektronika *)

1	Nama Mahasiswa : <u>HADI SUPRAYITNO</u>		Nim : <u>00.12.072</u>	
2	Waktu pengajuan	Tanggal :	Bulan :	Tahun :
3	Spesifikasi judul (berilah tanda silang)			
	<input checked="" type="checkbox"/> a. Sistem Tenaga Elektrik <input type="checkbox"/> b. Energi & Konversi Energi <input type="checkbox"/> c. Tegangan Tinggi & Pengukuran <input type="checkbox"/> d. Sistem Kendali Industri	<input type="checkbox"/> e. Elektronika & Komponen <input type="checkbox"/> f. Elektronika Digital & Komputer <input type="checkbox"/> g. Elektronika Komunikasi <input type="checkbox"/> h. lainnya		
4	Konsultasikan judul sesuai materi bidang ilmu kepada Dosen *) :		Mengetahui, Ketua Jurusan.	
	<u>Ir. H. Taufik Hidayat, MT</u>		 Ir. F. Yudi Limpraptono, MT Nip. Y. 1039500274	
5	Judul yang diajukan mahasiswa :	<u>ANALISIS PENEMPATAN KAPASITOR PADA JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER DENGAN MENGGUNAKAN METODE REDUCED - SIZED GENETIC ALGORITHM</u>		
6	Perubahan Judul yang disetujui Dosen sesuai materi bidang ilmu		
7	Catatan :			
	Persetujuan Judul Skripsi yang dikonsultasikan kepada Dosen materi bidang ilmu		Disetujui, <u>29 NOVEMBER, 2005...</u> Dosen <u>Ir. TAUFIK HIDAYAT, MT.</u>	

Perhatian :

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



BERITA ACARA SEMINAR PROPOSAL SKRIPSI JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1

Konsentrasi : Teknik Energi Listrik/Teknik Elektronika *)

1	Nama Mahasiswa : HADI SUPRAYITNO		Nim : 00.12.072	
2	Keterangan	Tanggal	Waktu	Tempat
	Pelaksanaan	30 DESEMBER 2005	13.00	Ruang : SEMINAR
3	Spesifikasi judul **):			
	a. Sistem Tenaga Elektrik b. Energi & Konversi Energi c. Tegangan Tinggi & Pengukuran d. Sistem Kendali Industri		e. Elektronika & Komponen f. Elektronika Digital & Komputer g. Elektronika Komunikasi h. lainnya	
4	Judul Proposal yang diseminarkan Mahasiswa	ANALISIS PENEMPATAN KAPASITOR PADA JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER DENGAN MENGGUNAKAN METODE REFUSER-SIZE GA...		
5	Perubahan Judul yang diusulkan oleh Kelompok Dosen Keahlian		
6	Catatan :			
7	Persetujuan Judul Skripsi :			
	Disetujui, Dosen Keahlian 	Disetujui, Dosen Keahlian II 		
	Mengetahui, Ketua Jurusan. Ir. F. Yudi Limpraptono, MT Nip. Y. 1039500274	Disetujui, Calon Dosen Pembimbing ybs. 		

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



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

PERNYATAAN KESEDIAAN DALAM PEMBIMBINGAN SKRIPSI

Sesuai dengan Permohonan Mahasiswa/i :

Nama : Hadi Suprayitno
Nim : 00.12.072
Semester : XI (Sebelas)
Jurusan : Teknik Elektro
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik S-I

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

ANALISIS PENEMPATAN KAPASITOR PADA JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER MENGGUNAKAN METODE REDUCED-SIZED GENETIC ALGORITHM

Demikian surat pernyataan ini kami buat agar dapat dipergunakan seperlunya.

Malang, 08 Desember 2005
Yang Membuat Pernyataan,

Ir. H. Taufik Hidayat, MT

NIP: Y 1018700015

Catatan :

Setelah disetujui agar formulir ini
Diserahkan mahasiswa/I yang bersangkutan
Kepada Jurusan untuk diproses lebih lanjut.

*)Coret yang tidak perlu

Form. S - 3b



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

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

II (PESERO) MALANG
 NK NIAGA MALANG

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

Malang, 11 Sept. 2006

Nomor : ITN-1692/I.SKP /2/06
 Lampiran : satu lembar
 Perihal : **BIMBINGAN SKRIPSI**

Kepada : Yth. Sdr. **Ir. H. TAUFIK HIDAYAT, MT ***)
 Dosen Institut Teknologi Nasional
 di – Malang

Dengan Hormat,
 Sesuai dengan permohonan dan persetujuan dalam perpanjangan masa bimbingan skripsi yang telah dilakukan untuk mahasiswa :

Nama : HADI SUPRAYITNO
 Nim : 0112072
 Fakultas : Teknologi Industri
 Jurusan : Teknik Elektro
 Konsentrasi : T. Energi Listrik (S-1)

Dengan ini pembimbingan skripsi tersebut kami serahkan Kembali sepenuhnya kepada Saudara/I, selama masa waktu **6 (Enam) bulan** terhitung mulai tanggal:

01 Juli 2006 s/d 01 Des. 2006

Adapun tugas tersebut merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik, Jurusan Teknik Elektro, apabila lewat dari batas waktu tsb, maka, skripsinya akan digugurkan.
 Demikian atas perhatian serta kerjasamanya yang baik kami ucapkan terima kasih



Ketua
 Jurusan Teknik Elektro

Ir. F. Yudi Limpraptono, MT
 Nip. Y. 1059500274

Tindakan :

- *) Perpanjangan Kontrak
- Mahasiswa yang bersangkutan
- Arsip.

Form. S-4a



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

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

P.T. BNI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG

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

Malang, 16 Jan. 2006

Nomor : ITN-1032/I.TA/2/06
Lampiran : satu lembar
Perihal : **BIMBINGAN SKRIPSI**

Kepada : Yth. Sdr. **Ir. H. TAUFIK HIDAYAT, MT**
Dosen Institut Teknologi Nasional
di -
Malang

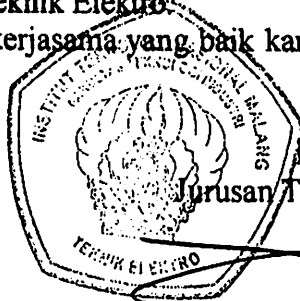
Dengan Hormat,
Sesuai dengan permohonan dan persetujuan dalam proposal skripsi melalui seminar proposal yang telah dilakukan untuk mahasiswa :

Nama : HADI SUPRAYITNO
Nim : 0012072
Fakultas : Teknologi Industri
Jurusan : Teknik Elektro
Konsentrasi : T. Energi Listrik (S-1)

Dengan ini pembimbingan skripsi tersebut kami serahkan sepenuhnya kepada saudara/I selama masa waktu **6 (enam) bulan** terhitung mulai tanggal:

30 Des. 2005 s/d 30 Juni 2006

Adapun tugas tersebut merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik, Jurusan Teknik Elektro.
Demikian atas perhatian serta kerjasamanya yang baik kami ucapkan terima kasih



Ketua
Jurusan Teknik Elektro S-1

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

Tindakan :

1. Mahasiswa yang bersangkutan
2. Arsip.

Form. S-4a



FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : Hadi Suprayitno
Nim : 00.12.072
Masa Bimbingan : 30 Desember 2005 s/d 30 Juni 2006

Judul Skripsi : ANALISIS PENEMPATAN KAPASITOR PADA JARINGAN
DISTRIBUSI PRIMER DENGAN MENGGUNAKAN METODE
REDUCED-SIZE GENETIC ALGORITHM

No.	Tanggal	Uraian	Parap Pembimbing
1.	1-03-2006	kumpulkan Bab I, II, III	Ah
2.	6-03-2006	kumpulkan Bab IV, V	Ah
3.	16-03-2006	Periksa Bab IV & Revisi Bab IV	Ah
4.	18-03-2006	TUGAS mengenai Data penyulang PUGJON	Ah
5.	22-05-2006	periksa Bab IV	Ah
6.	1-6-2006	Revisi Bab IV tentang Sistemika Penulisan	Ah
7.	24-6-2006	Revisi Bab IV tentang Energi dan Daya	Ah
8.	22-7-2006	Revisi Bab IV cari Referensi tentang Daya Dapur	Ah
9.	27-7-2006	Revisi Bab IV flowchart awal	Ah
10.			

Malang, 200
Dosen Pembimbing,


Ir. H. Taufik Hidayat, MT

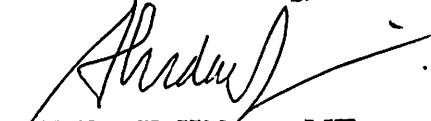


FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : HADI SUPRAYITNO
 Nim : 00.12.072
 Masa Bimbingan : 01 JULI 2006 s/d 01 DESEMBER 2006
 Judul Skripsi : ANALISA PENEMPATAN KAPASITOR PADA JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER 20kV DENGAN METODE *REDUCED SIZE GA* PADA G.I SENGKALING PENYULANG PUJON

No.	Tanggal	Uraian	Parap Pembimbing
1.	12-8-2006	Revisi Bab IV cari Revenensi Daya Dasar	Ah
2.	14-8-2006	Periksa Bab II & Bab IV	Ah
3.	15-8-2006	revisi Total Bab III dan Bab IV flow chart ditaruh pada Bab III	Ah
4.	22-8-2006	Revisi Program di bab IV, Revisi Bab IV pd tabel & Time pada parameter	Ah
5.	24-8-2006	Revisi BAB IV muncul keun / tambahkan pada Data perhitungan dalam pu.	Ah
6.	26-8-2006	Revisi bab V kesimpulan harus sesuai dengan Tujuan pada Bab I	Ah.
7.	28-8-2006	Revisi Total Bab I, II, III, IV & V	Ah
8.	04-9-2006	Revisi Bab II teori dasar tentang segi tiga Daya dan faktor skinesa	Ah
9.	11-9-2006	Acc Makalah Seminar Hasil	Ah
10.			

Malang 2006
 Dosen Pembimbing,


Ir.H Taufik Hidayat, MT
 Nip.Y. 101. 8700 151



PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI

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

Hari : Senin
Tanggal : 25 September 2006

Telah dilakukan perbaikan skripsi oleh :

Nama Mahasiswa : HADI SUPRAYITNO
NIM : 00.12.072
Jurusan : Teknik Elektro
Konsentrasi : Energi Listrik
Judul Skripsi :

ANALISA PENEMPATAN KAPASITOR PADA JARINGAN DISTRIBUSI
PRIMER DENGAN METODE RESIZE GA PADA G.I SENGKALING
PENYULANG PUJON

No.	Materi perbaikan	Keterangan
1.	<ul style="list-style-type: none">☐ Penegasan GA Dasar Dg Reduced Size GA☐ Validasi☐ Urutan Pustaka☐ Bagaimana faktor² L,M,H & apa gunanya	
2.	<ul style="list-style-type: none">☐ Abstraksi☐ Gambar Phasor☐ Sub bab 2.8.5 perhitungannya dimana	

Disetujui/Diperiksa

Ir. H. Almizan Abdullah, MSEE
Penguji Pertama

Irrine Budi S. ST, MT
Penguji Kedua

Mengetahui/menyetujui
Dosen Pembimbing

Ir. H. Taufik Hidayat, MT



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

LEMBAR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : HADI SUPRAYITNO
NIM : 00.12.072
NIRM : 0032021102072
Jurusan : TEKNIK ELEKTRO S-1
Konsentrasi : TEKNIK ENERGI LISTRIK
Judul Skripsi :

ANALISA PENEMPATAN KAPASITOR PADA JARINGAN
DISTRIBUSI PRIMER 20 kV DENGAN METODE *REDUCED SIZE*
GENETIC ALGORITHM PADA G.I SENGKALING PENYULANG
PUJON

Tanggal Mengajukan Skripsi : 30 Desember 2005
Tanggal Menyelesaikan Skripsi : 11 September 2006
Dosen Pembimbing : Ir. H. Taufik Hidayat, MT
Telah dievaluasi dengan nilai : 85 (Delapan Puluh Lima)

Malang, September 2006

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1

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

Disetujui
Dosen Pembimbing

Ir. H. Taufik Hidayat, MT
NIP.Y.10187000151



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

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

Nama : HADI SUPRAYITNO
NIM : 00.12.072
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
Judul Skripsi : **ANALISA PENEMPATAN KAPASITOR PADA JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER 20 kV DENGAN METODE *REDUCED SIZE GENETIC ALGORITHM* PADA G.I SENGKALING PENYULANG PUJON**

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

Hari : Senin
Tanggal : 25 September 2006
Dengan Nilai : 77,80 (B+) *A*



Panitia Ujian Skripsi

Ir. Mochtar Asroni, MSME
NIP.Y. 1018100036

Sekretaris

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

Anggota Penguji

Penguji Pertama

Ir. H. Almizan Abdullah, MSEE
NIP.Y. 1039000208

Penguji Kedua

Irrine Budi S. ST, MT
NIP. 132314400

PT. PLN (PERSERO)

DISTRIBUSI JAWA TIMUR

AREA PELAYANAN & JARINGAN MALANG



Certificate No.: **QSC**
00475

: 0341 - 326034 (Hunting)
s : 211

Facsimile : 0341 - 362046

or : **5184/330/ APJ-MLG/ 2006**
t Sdr.No : **ITN-747/III.TA/2/06**
piran :
ial : **SURVEY**

Malang , 9 Februari 2006

Kepada
INSTITUSI TEKNOLOGI
NASIONAL MALANG
Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2
Di
MALANG

Dengan Hormat.

Menindak lanjuti surat Saudara nomor ITN-747/III.TA/2/06 Tanggal 27 Januari 2006 perihal Survey, maka dengan ini kami beritahukan bahwa pada prinsipnya kami tidak keberatan / mengizinkan siswa saudara atas nama :

HADI SUPRAYITNO NIM 00.12.072

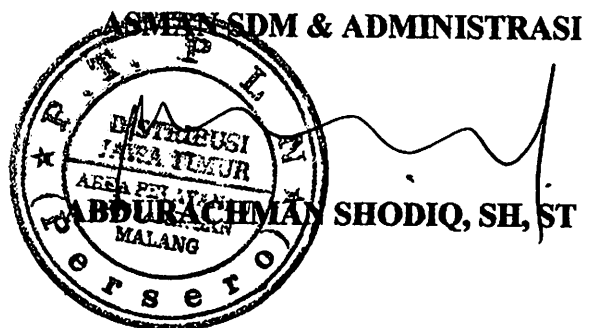
Untuk melaksanakan Survey di APJ Malang PT. PLN (PERSERO) Area Pelayanan dan Jaringan Malang mulai tanggal 20 Februari 2006 sampai dengan 24 Februari 2006 dengan catatan PLN hanya memberikan data yang **TIDAK BERSIFAT RAHASIA**.

Sebelumnya diminta agar siswa 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.

Tembusan:

1. Supervisi terkait
2. Manajer UPJ Batu



A Reduced-Size Genetic Algorithm for Optimal Capacitor Placement on Distribution Feeders

J. Riquelme Santos, A. Gómez Expósito, J.L. Martínez Ramos
 Department of Electrical Engineering, University of Seville, Spain

Abstract— In this paper, a nested procedure is proposed to solve the optimal capacitor placement problem for distribution networks. At the outer level, a reduced-size genetic algorithm is adopted aimed at maximizing the net profit associated with the investment on capacitor banks. The chromosome string is restricted to the number of capacitor steps required by the peak power scenario. At the inner level, power losses are minimized for the remaining loading conditions, taking into account the capacitor steps determined at the outer level. Results are presented of applying the proposed methodology to several distribution systems.

I. INTRODUCTION

Radial distribution feeders typically spread over large urban or rural areas and are responsible for a significant portion of total power losses. In an attempt to alleviate such losses and, at the same time, to keep customer voltages within acceptable limits, shunt capacitors are installed at strategically selected buses.

The problem of optimally locating and sizing capacitor banks so that the total cost (i.e., investment plus cost of losses) is minimized while technical constraints (e.g., voltage levels, power flow limits) are enforced is of a combinatoric nature as a consequence of capacitor sizes and types being discrete variables.

Although earlier attempts to address this problem were made in the sixties, it is not until the eighties when more rigorous approaches can be found [1], [2]. The work reported in [3], [4] constitutes the reference frame from the point of view of classical optimization methods, like mixed-integer linear programming. More recently, several AI-related techniques, such as genetic algorithms [5], [6], simulated annealing [7] and tabu search [8], [9] have been explored.

In this paper a Genetic Algorithm (GA) is proposed aimed at maximizing the net revenue obtained from the investment on capacitor banks throughout a given number of years. A reduced string is adopted to code each individual based on the observation that the number of capacitor steps required during peak loading periods is always the highest. Also, an alternative convergence criterion based on population diversity is proposed.

II. PROBLEM FORMULATION

Almost always the problem has been formulated as that of minimizing the investment cost plus that of power losses. However, when assessing the investment profitability, it is necessary to take into account the whole life of the equipment, which is accomplished by the so-called

Net Present Value (NPV). The NPV is computed from

$$NPV(x, i, t) = \frac{N_1(x)}{1+i} + \dots + \frac{N_t(x)}{(1+i)^t} - IC(x) \quad (1)$$

where

- IC : Initial capital invested
- N_k : Net cash flow at year k
- i : Discount rate (capital cost)
- x : State vector composed of location and size of capacitor banks
- t : Number of years spanned by the investment

The net cash flow N_k is in this case the difference between the cost of base case losses and that of losses resulting when the capacitor banks are present, considering several loading scenarios throughout the year. The objective function values can be either positive or negative, corresponding to profitable or nonprofitable investments respectively. Therefore, the problem reduces to maximizing the NPV.

A particular case arise when load growth along the life of capacitors is ignored, which means that all cash flows are identical. In this case, (1) reduces to

$$NPV = \frac{r(1-r^t)}{1-r} \cdot N(x) - IC(x) \quad (2)$$

with $r = \frac{1}{1+i}$

As load patterns are repetitive on a daily and weekly fashion, it turns out that a year can be divided, from this point of view, into a relatively small number of periods in which load is assumed constant. Typically, three intervals corresponding to valley, flat and peak loading, respectively, are considered. The size of the state vector x is proportional to the number of such periods, as each loading condition leads to a different voltage profile and, hence, different reactive power requirements.

As far as the investment term, $IC(x)$, is concerned, the cost of a capacitor bank comprises a fixed term, corresponding to ancillary equipment, plus a term proportional to the number of steps. Hence, for every node where a capacitor is installed the following cost should be added to $IC(x)$.

$$C_n = K_f + n \cdot K_s \quad (3)$$

where

- K_f is the fixed installation cost
- n is the number of steps
- K_s is the cost of each step, including the switching device

In practice, in order to reduce the problem size and computational requirements, candidate buses where capacitor banks can be installed are preselected by means of sensitivity-based heuristic procedures [10].

The optimization problem is subject to the following electrical constraints:

- Upper and lower limits on bus voltages.
- Reactive power limits of generators connected to the distribution level.
- Thermal ratings of conductors.

The third constraint can be usually relaxed, because it is very unlikely that branch ratings are exceeded when reactive power counter flows are used to minimize power losses.

III. GENETIC ALGORITHM IMPLEMENTATION

Genetic algorithms are robust optimization techniques specially adapted to find nearly globally optimal solutions to non-convex problems in which integer variables are handled [11], [12]. Their search mechanism is based on the principles of natural selection, which are repeatedly applied to guide the evolution of an initial population. Each individual within this population is coded by means of a binary string which can be regarded as the set of genes constituting the chromosomes. Couples of individuals are selected and combined by means of crossover and mutation, giving rise to the next generation. Partial elitism is possible by assuming that the best individual is transferred to the next generation. The population evolution is schematically shown in Figure 1.

A. Coding and fitness evaluation

Given a set of b candidate buses and l loading scenarios, existing approaches to the optimal capacitor problem resort to a string of length $b \cdot l \cdot \log_2 n$, where n is the maximum number of capacitor steps that can be connected to each bus. Electrical constraints are added as penalty terms and a conventional Power Flow (PF), must be run to find the network state each time an individual's fitness has to be evaluated [5], [6].

The scheme adopted in this paper is based on the key observation that, given a capacitor configuration for the peak demand scenario, the remaining scenarios always require a subset of capacitor steps at each bus, provided the evolution of individual loads is characterized by similar patterns, which is usually the case at the medium voltage level. This way, the string characterizing each individual is composed of just the $b \cdot \log_2 n$ bits

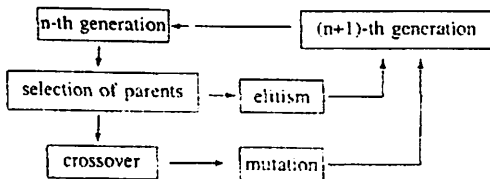


Fig. 1. Schematic illustration of the GA-based evolution.

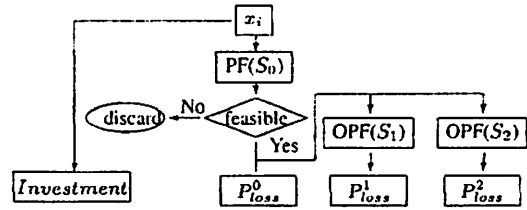


Fig. 2. Illustration of nested approach to fitness evaluation.

representing the peak loading situation, and the population size is decreased accordingly. The overall approach to evaluate fitness values is summarized below.

Let x_i denote an individual whose fitness value and feasibility is to be determined. Such an individual can be either a candidate to enter the initial population or the result of a crossover or mutation. Then proceed as follows:

1. Obtain the PF solution corresponding to the peak demand scenario. As a byproduct, power losses are computed and feasibility of x_i is checked. Discard x_i if it is infeasible and start again. Otherwise, continue.
2. For each of the remaining scenarios determine, in a decoupled manner, the optimal subset of capacitor steps required to minimize losses, keeping in mind the electrical constraints.
3. The fitness value corresponding to x_i is obtained by first adding the losses corresponding to all scenarios and then applying (1) or (2).

Figure 2 schematically illustrates the above procedure for three scenarios, S_0 being the one corresponding to peak loading.

The following remarks are in order regarding the features distinguishing the proposed approach from existing ones:

- The proposed methodology faces the overall problem in a nested way. At the outer level a master GA is employed whose chromosome information has to do exclusively with the peak loading scenario. Optimal losses corresponding to the remaining scenarios are determined at the inner level for each candidate to enter the current population.
- Note that, while the ultimate goal at the outer level is to maximize the NPV, the optimization problems at the inner level are devoted to minimize power losses for a given set of capacitor banks. This constitutes a much simpler optimization problem for which a conventional Optimal Power Flow (OPF) tool [14] can be employed, as suggested in Figure 2. Alternatively, as many GA's as loading scenarios could be developed to deal with these slave problems. Note that, irrespective of the optimization technique adopted, this stage is fully parallelizable.
- Although the OPF tool is computationally more demanding than an ordinary PF, this additional effort is clearly offset by the significant reduction in population size and number of generations required by the GA for convergence. Removing the electrical

constraints from the objective function is helpful in this regard.

- The fact that the number of steps of a given modular size, rather than the total capacitor size, is coded, helps also in reducing the string size.

B. Selection of individuals

This process determines which individuals of the present generation will be selected to give rise to the next generation. Two different methods, namely the roulette wheel and the tournament, have been employed for the selection of parents, the second one being restricted to situations where negative values of the merit function arise.

The tournament selection consists of choosing the fittest individual among a set of randomly chosen parents.

The roulette wheel, restricted to positive fitness values, proceeds as follows:

- 1) Sum the fitness of all population components. Let F_t be the total fitness computed in this way.
- 2) Generate a random number r between 0 and F_t .
- 3) Select the individual leading to a cumulative fitness greater than or equal to r . In this context the cumulative fitness is obtained by adding its fitness to that of all preceding individuals.

Under this selection technique, the probability for any individual to be selected is directly proportional to its fitness.

In order to promote the population diversity, and to prevent the algorithm from premature convergence, a preliminary scaling is applied to the fitness function by taking it to the k -th power. An exponent k greater than the unity increases fitness diversity, which is good during the last stages. At the beginning, however, $k < 1$ is more convenient in order to prevent poorer individuals from being excessively and prematurely relegated in the presence of dominant individuals. The value of k adopted in this paper is $k = (q_{max} + q)/(1.5 \cdot q_{max})$ if $q < q_{max}/2$, and $k = (q_{max} + 0.5 \cdot q)/(2 \cdot q_{max})$ if $q > q_{max}/2$, where q is the generation counter and q_{max} is the maximum number of generations allowed.

C. Population evolution

Based on selected parents a new generation is obtained by applying crossover and mutation operators.

Crossover is the process of creating two new strings by swapping two portions of two selected strings, the crossover point being randomly chosen.

The mutation operator is intended to introduce population diversity by changing a randomly chosen bit of the selected individual. The probability for this operator to be applied is set to a low value to prevent the GA from becoming a plain random search.

Elitism is also adopted by allowing a given number of better individuals to directly enter the next generation.

D. Stopping criterion

Usually, it is very difficult or impossible to conclude that the GA has reached the optimum. For this reason, the

TABLE I
MAIN DATA OF THE TEST SYSTEMS.

		Test System	
		9 buses	69 buses
Load level	S_0	1.1	1.8
	S_1	0.6	1
	S_2	0.3	0.5
Duration (hours)	T_0	1600	1000
	T_1	6760	6760
	T_2	1000	1000

TABLE II
ECONOMIC AND CAPACITOR DATA.

Energy cost	7.033815/MWh
Investment life	10 years
Discount rate	5%
Fixed cost of each capacitor bank	1000\$
Variable cost	3\$/kvar
Capacitor step size	100 kvar
Max no. steps	20

process is stopped when a given number of generations is exceeded [5], [13]. Many times, however, much earlier than the maximum number of generations is reached, it happens, that the probability for a better solution to arise is very low, as a consequence of the population being composed of very similar individuals.

This possibility is checked in this paper by comparing the best individual with the remaining ones. By means of the XOR logical operator, applied to each bit, the fraction of bits distinguishing the best individual from the others is obtained and used to stop the process.

IV. TEST RESULTS

The proposed procedure has been tested on several distribution networks described elsewhere [2], [3]. Comparison with competing methods is not always possible because different objective functions and/or constraints are adopted. In this paper, results corresponding to the two networks presented in Table I will be reported. The remaining relevant data corresponding to such systems can be found in [3].

Bus voltages are limited to the interval $[0.9, 1.1]$ in both cases. In order to allow comparison with the results presented in [3] the economic data collected in Table II are adopted.

Table III summarizes the relevant data concerning the GA, where the diversity threshold refers to the stopping criterion discussed above.

Candidate buses for the 9-bus system are buses 1 and 5. Table IV shows the number of capacitor steps determined by the proposed method for the three scenarios considered. Note that during valley periods (scenario S_2) reactive power requirements are the lowest.

TABLE III
GENETIC ALGORITHM PARAMETERS

Population size	20
Mutation probability	0.01
Diversity threshold	75
Elitism	50

TABLE IV
CAPACITOR STEPS FOUND FOR THE 9-BUS SYSTEM.

Bus	S ₀	S ₁	S ₂
1	6	4	1
5	14	14	8

Table V compares the initial power losses with those obtained when the proposed method, and that of [3], are applied.

TABLE V
POWER LOSSES FOR THE 9-BUS SYSTEM (KW).

	S ₀	S ₁	S ₂
Base case	896.49	261.67	60.55
Method of [3]	820.45	236.15	55.15
Proposed	801.83	233.55	55.00

Considering the duration of each scenario, such power losses translate for the proposed method into an energy saving of 290 MWh and an NPV of 9421\$, versus 254 MWh and 8830\$ for the method of [3]. Note that these figures slightly differ from those presented in [3], because in this paper capacitors are modeled as constant-impedance, instead of constant-power, elements, which is more realistic.

For the 69-bus system, buses 11, 18, 47, 52 and 69 have been considered as candidates to connect capacitor banks. However, as shown in Table VI, the proposed method (like that of [3]) determines that capacitors should be located only at buses 18 and 52.

TABLE VI
CAPACITOR STEPS DETERMINED FOR THE 69-BUS SYSTEM.

Bus	S ₀	S ₁	S ₂
11	0	0	0
18	4	4	2
47	0	0	0
52	18	14	6
69	0	0	0

Power losses obtained with the proposed method and that of [3] are compared with the initial losses in Table VII.

TABLE VII
POWER LOSSES FOR THE 69-BUS SYSTEM (KW)

	S ₀	S ₁	S ₂
Base case	751.27	225.49	51.06
Method of [3]	515.31	150.43	34.98
Proposed	506.05	148.84	35.04

The overall energy saving and NPV is 780 MWh and 38211\$ respectively when the proposed method is applied, versus 760 MWh and 37524\$ for the numerical method described in [3].

V. CONCLUSIONS

A GA-based methodology has been developed to cope with the optimal capacitor placement problem. The objective function adopted in this paper is directly related to the net investment benefit obtained throughout the equipment life.

The use of a GA is advantageous over conventional numerical methods [1], [2], [3], [4] when control variables

reduce, like in this case, to large steps.

The major difference with other GA's proposed for this purpose [5], [6] is that the genetic string contains information only about the peak power interval. The remaining intervals are dealt with as subsidiary simpler problems, where the goal is simply to minimize losses. An added advantage is that electrical constraints can be more easily handled at this inner level, instead of being included as penalty terms at the more complex outer level. Coding the number of steps for a given modular size, besides being more realistic, leads to strings which are shorter than those required when the whole capacitor rating is coded. The concept of genetic diversity is used to prematurely stop the evolutive process. Preliminary test results are presented showing the adequate performance of the proposed method.

ACKNOWLEDGMENT

The authors would like to acknowledge the financial support provided by the Spanish MCYT and Junta de Andalucía under grants DPI2001-2612 and ACC-1021-TIC-2002 respectively.

REFERENCES

- [1] J.J. Grainger, S. Civanlar, S.H. Lee: Optimum size and location of shunt capacitors for reduction of losses on distribution feeders, IEEE Trans. Power Apparatus and Systems, vol. PAS-100, pp. 1105-1116, March 1981.
- [2] J.J. Grainger and S.H. Lee: Capacity release by shunt capacitor placement on distribution feeders: A new voltage-dependent model, IEEE Trans. Power Apparatus and Systems, vol. PAS-101, no. 15, pp. 1236-1244, May 1982.
- [3] M.E. Baran and F.F. Wu: Optimal capacitor placement on radial distribution Systems, IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 4, pp. 725-734, January 1989.
- [4] M.E. Baran and F.F. Wu: Optimal sizing of capacitors placed on a radial distribution system, IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 4, pp. 735-743, January 1989.
- [5] S. Sundhararajan and A. Pahwa: Optimal selection of capacitors for radial distribution systems using a genetic algorithm, IEEE Trans. Power Systems, vol. 9, no. 3, pp. 1499-1505, Aug. 1994.
- [6] D. Das: Reactive power compensation for radial distribution networks using genetic algorithm Electrical Power and Energy Systems 24 (2002), pp. 573-581.
- [7] H. D. Chiang, J. C. Wang, O. Cockings, and H. D. Shin: Optimal capacitor placement in distribution systems: Part I, Part II, IEEE Trans. Power Delivery, vol. 5, no. 2, pp. 634-649, Apr. 1990.
- [8] Y. C. Huang, H. T. Yang, and C. L. Huang: Solving the capacitor placement problem in a radial distribution system using tabu search approach, IEEE Trans. Power Systems, vol. 11, no. 4, pp. 1868-1873, Nov. 1996.
- [9] R. A. Gallego, A. J. Monticelli, and Ruben Romero: Optimal capacitor placement in radial distribution networks, IEEE Trans. Power Systems, vol. 16, no. 4, pp. 630-637, Nov. 2001.
- [10] A. Venkatramana, J. Carr and R.S. Ramshaw: Optimal reactive power allocation, IEEE Trans. on Power Systems, vol. 2, pp. 138-144, February 1987.
- [11] Goldberg DE: Genetic algorithms in search optimization and learning, Addison-Wesley Pub. Co. Inc, 1989.
- [12] Spillman R: Genetic algorithms, nature's way to search for the best, Dr. Dobbs' J 1993:26-30
- [13] J.J. Grefenstette: Optimization of Control Parameters for Genetic Algorithms, IEEE Trans. On Systems Man, And Cybernetics, vol. SMC-16, pp. 122-128, January/February 1986.
- [14] M.E. El-Hawary (Coordinator): Optimal Power Flow: Solution Techniques, Requirements and Challenges, IEEE Tutorial Course 96 TP 111-0, 1996.

**REDUCED-SIZE GENETIC ALGORITHM UNTUK PENEMPATAN
KAPASITOR OPTIMAL PADA FEEDER DISTRIBUSI**

**J. Riequelme Santos, A. Gomez Exposito, JL Martinez
Ramos, IEEE MELECON 2004, May 12-15, Dubrovnik, Croatia**

Abstrak-Dalam paper ini sebuah prosedur nested diajukan untuk memecahkan problem penempatan kapasitor optimal untuk jaringan distribusi. Pada level luar, reduced-size genetic algorithm (algoritma genetic bentuk sederhana) dengan tujuan memaksimalkan keuntungan jaringan sehubungan dengan investasi pada bank kapasitor. String kromosom dibatasi kepada jumlah langkah-langkah kapasitor yang dibutuhkan oleh skenario daya puncak. Pada bagian dalam, kerugian daya diminimkan atau tetap dalam kondisi loading, memperhitungkan langkah-langkah kapasitor yang ditentukan pada level luar. hasilnya ditampilkan dengan mengaplikasikan metodologi yang diajukan kepada beberapa sistem distribusi.

1. PENDAHULUAN

Feeder distribusi radial secara khusus menyebar pada area urban besar atau rural dan bertanggung jawab

terhadap bagian significant kerugian daya. Dalam rangka menghindari kerugian tersebut, dan pada saat bersamaan, membuat tegangan dari konsumen berada pada limit yang dapat diterima, maka shunt kapasitor dipasang pada bus yang dipilih secara strategis.

Problem penempatan dan pengukuran bank kapasitor secara optimal demikian juga biaya total (investasi plus biaya kerugian) diminimkan sementara tekanan teknis (seperti level tegangan, limit aliran daya) diperkuat dalam bentuk gabungan sebagai konsekuensi dari ukuran kapasitor dan tipe variabel-variabel diskrit.

Walaupun usaha sebelumnya untuk mengalamatkan masalah ini dilakukan pada abad tujuh belas, ini tidak sampai pada abad delapan belas ketika pendekatan lebih kuat ditemukan, [1, 2]. Kerangka kerja yang dilaporkan dalam [3, 4] membentuk sebuah kerangka referensi dari sudut pandang metode optimisasi klasik, seperti pemrograman linear integer campuran. Baru-baru ini, beberapa teknik alternatif, seperti genetic algorithm [5], [6], simulated annealing [7] dan tabu search [8] telah diselidiki.

Dalam paper ini sebuah Genetic Algorithm (GA) diajukan dengan maksud memaksimalkan revenue bersih yang diperoleh dari investasi bank kapasitor pada tahun tertentu. Sebuah string bentuk sederhana diadopsi untuk mengkodekan masing-masing individual didasarkan kepada observasi bahwa jumlah langkah-langkah kapasitor yang dibutuhkan selama periode loading selalu tertinggi. Juga, sebuah kriteria konvergensi alternatif didasarkan pada keragaman populasi juga diajukan.

II. FORMULASI PROBLEM

Sebagian besar problem diformulasikan sebagai minimisasi biaya investasi plus kerugian daya. Namun demikian, ketika menilai profitabilitas investasi, perlu memperhitungkan seluruh kehidupan perlengkapan, di mana dicapai dengan apa yang disebut sebagai net present value (NPV). NPV (nilai bersih sekarang) dihitung dari

(1)

di mana

IC: investasi modal awal

Nk: cash flow uang bersih pada tahun k

I: tingkat diskon (biaya modal)

X: vektor keadaan yang terbentuk dari ukuran lokal dan bank kapasitor

T: jumlah tahun investasi

Cash flow bersih N_k dalam kasus ini adalah perencanaan antara biaya didasarkan pada kerugian kasus dan kerugian yang dihasilkan ketika bank kapasitor ada, dengan memperhatikan beberapa skenario loading di sepanjang tahun. Nilai fungsi sasaran dapat positif atau negatif, berhubungan dengan profitabilitas atau investasi non profitabilitas. Oleh karena itu, problem tersebut disederhanakan untuk memaksimumkan NPV.

Sebuah kasus khusus muncul ketika pertumbuhan beban di sepanjang kapasitor diabaikan, di mana berarti bahwa seluruh cash flow adalah identik. Dalam kasus ini, (1) berkurang menjadi

(2)

dengan $r = 1 / 1+i$

ketika pola beban berulang-ulang secara harian dan mingguan, maka satu tahun dapat dibagi, dari sudut pandang ini, ke dalam jumlah periode relatif kecil di mana diasumsikan konstan. Secara khusus, tiga tipe beban berhubungan dengan lembah, datar, dan puncak juga

dibahas. Ukuran keadaan vektor x adalah proporsional terhadap jumlah periode ketika masing-masing kondisi beban menghasilkan profile tegangan berbeda, dengan demikian menghasilkan ketentuan daya reaktif berbeda.

sepanjang untuk investasi, $IC(x)$ juga diperhatikan, biaya bank kapasitor meliputi tetap, berhubungan dengan perlengkapan lain-lain, plus proporsional terhadap jumlah langkah-langkah. Dengan demikian, untuk setiap node di mana sebuah kapasitor dipasang biayanya dapat ditambahkan kepada $IC(x)$

(3)

di mana

K_f adalah biaya instalasi tetap

n adalah jumlah langkah

K_s adalah biaya dari masing-masing langkah, termasuk peralatan switch

Dalam praktek, untuk mengurangi masalah ukuran dan ketentuan perhitungan, bus kandidat di mana bank kapasitor dipasang dipilih kembali dengan alat prosedur heuristic berbasis sensitivitas [10].

Problem optimisasi adalah subyek dari tekanan listrik sebagai berikut:

- Limit atas dan bawah pada tegangan bus
- Limit daya reaktif generator yang dihubungkan kepada level distribusi.
- Penilaian konduktor panas.

Tekanan ketiga biasanya dilonggarkan karena tidak memungkinkan bahwa penilaian cabang melebihi aliran daya reaktif yang digunakan untuk meminimkan kerugian daya.

III. IMPLEMENTASI GENETIC ALGORITHEM

Genetic algorithm adalah sebuah ekonomi optimisasi kuat yang secara khusus diadaptasikan untuk menemukan solusi optimal secara global untuk problem non cembung di mana variable integer ditangani [11, 12]. Mekanisme pencarian mereka didasarkan pada prinsip-prinsip seleksi alam, di mana secara berulang-ulang diaplikasikan untuk memandu evolusi dari populasi awal. Masing-masing individual di dalam populasi ini dikodekan dengan alat-alat binary string yang dapat dianggap sebagai himpunan gen yang membentuk kromosom. Pasangan individual dipilih dan digabungkan dengan alat-alat persilangan dan mutasi, menghasilkan generasi selanjutnya. Elitism parsial memungkinkan terjadi dengan mengasumsikan bahwa

individual terbaik ditransfer kepada generasi selanjutnya. Evolusi populasi secara skematis ditunjukkan dalam gambar 1.

A. Pengkodean Dan Evaluasi Kesesuaian

Didasarkan pada bus kandidat b dan skenario loading 1, pendekatan yang ada terhadap problem kapasitor optimal didasarkan pada string dengan panjang $b \cdot \lceil \log_2 n \rceil$, di mana n adalah jumlah langkah-langkah kapasitor maksimum yang dapat dihubungkan pada masing-masing bus. Tekanan listrik ditambahkan sebagai bentuk pinalti dan Aliran Daya (PF) konvensional, harus dijalankan untuk menemukan keadaan jaringan pada masing-masing waktu di mana kesesuaian individual harus dievaluasi [5, 6].

Skema yang digunakan dalam paper ini didasarkan pada observasi kunci yaitu, didasarkan pada konfigurasi kapasitor untuk skenario permintaan puncak, skenario sisanya selalu membutuhkan subset langkah-langkah kapasitor pada masing-masing bus, memberikan evolusi beban individual dikarakteristikan dengan pola serupa, di mana biasanya menjadi kasus dalam level tegangan sedang. Dengan cara ini, string mengkarakteristikan

masing-masing individual yang terbentuk dari bit b . $\log_2 n$ yang menampilkan situasi beban puncak, dan ukuran populasi dikurangi seiring itu. Pendekatan keseluruhan terhadap evaluasi nilai kesesuaian diringkas di bawah ini.

Misalnya x_i menunjukkan individual dengan nilai kesesuaian dan kelayakan harus ditentukan. Individual tersebut dapat berbentuk kandidat yang masuk pada populasi awal atau hasil persilangan atau mutasi.

Kemudian diproses sebagai berikut:

1. Dapatkan solusi PF yang berhubungan dengan skenario permintaan beban puncak. Sebagai produk samping, kerugian daya dihitung dan kelayakan x_i diperiksa. Abaikan x_i jika tidak sesuai dan mulai lagi. Jika tidak, lanjutkan.
2. Untuk masing-masing ketentuan skenario sisanya, secara berpasangan, subset langkah-langkah kapasitor optimal dibutuhkan untuk meminimalkan kerugian, ingat tentang tekanan listrik.
3. nilai kesesuaian yang berhubungan dengan x_i diperoleh dengan pertama kali menambahkan kerugian yang berhubungan dengan seluruh skenario dan

kemudian mengalikan seluruh skenario dan mengaplikasikannya kepada (1) atau (2)

Gambar 2 secara skematis mengilustrasikan prosedur di atas untuk tiga skenario, S_0 adalah satu yang berhubungan dengan beban puncak.

Tanda berikut diurut berkaitan dengan ciri-ciri yang membedakan pendekatan yang diajukan dengan pendekatan yang ada.

- Metodologi yang diajukan menghadapi masalah keseluruhan secara nested. Sebuah level terluar dari master GA digunakan di mana informasi kromosom secara eksklusif dikerjakan dengan skenario beban puncak. Kerugian optimal yang berhubungan dengan skenario sisanya ditentukan pada level dalam untuk masing-masing kandidat yang masuk pada populasi sekarang.
- Perlu dicatat bahwa sementara tujuan akhir dari level luar adalah untuk memaksimumkan NPV, problem optimisasi pada level dalam dicurahkan untuk meminimkan kerugian daya pada bank kapasitor tertentu. Ini membentuk problem optimisasi yang lebih sederhana di mana alat

Aliran Daya Optimal (OPF) konvensional [14] dapat digunakan, seperti yang disampaikan dalam gambar 2. Jika tidak, skenario beban GA dapat digunakan untuk menangani masalah ini. Perlu dicatat, terlepas dari teknik optimisasi yang digunakan, tahap ini sepenuhnya diparalelkan.

- Walaupun alat-alat OPF secara perhitungan lebih sulit daripada PF biasa, usaha tambahan ini secara jelas ditutupi oleh pengurangan significant pada ukuran populasi dan jumlah generasi yang dibutuhkan oleh GA untuk memperoleh konvergensi. Membuang tekanan dari fungsi sasaran bermanfaat dalam hal ini.
- Fakta bahwa jumlah langkah pada ukuran modular tertentu, bukannya ukuran kapasitor yang dikodekan, juga membantu mengurangi ukuran string.

B. Seleksi Individual

Proses ini menentukan individual mana dari generasi sekarang yang akan dipilih untuk dimasukkan kepada generasi elan. Dua metode berbeda, yaitu roda rolet dan

turnamen, telah digunakan untuk menyeleksi induk, yang kedua dibatasi pada situasi di mana nilai negatif dari fungsi keuntungan muncul.

Seleksi turnamen terdiri dari memilih individual paling cocok di antara induk yang dipilih secara acak.

Roda rolet dibatasi pada nilai kesesuaian positif, diproses sebagai berikut:

- 1) Jumlahkan kesesuaian dari seluruh populasi. F_t dijadikan total kesesuaian yang dihitung dengan cara ini
- 2) Hasilkan angka r acak antara 0 dan F_t .
- 3) Pilih individual yang menghasilkan kesesuaian kumulatif lebih besar dari atau sama dengan r . Dalam konteks ini kesesuaian kumulatif diperoleh dengan menambahkan kesesuaian kepada seluruh individual sebelumnya.

Di bawah teknik seleksi ini, probabilitas beberapa individual dipilih secara langsung proporsional dengan kesesuaiannya.

Untuk mendorong keragaman populasi, dan untuk mencegah algoritma dari konvergensi prematur, sebuah penskalaan awal perlu diaplikasikan terhadap fungsi

kesesuaian dengan memperhitungkan daya ke k . sebuah eksponen k lebih besar dari satu meningkatkan kesesuaian keragaman di mana adalah bagus selama tahap akhir. Namun demikian, pada awalnya $k < 1$ adalah lebih cocok untuk mencegah individual lebih jelek secara eksklusif dan prematur dipindahkan dengan hadirnya individual dominan. Nilai k yang diadopsi dalam paper ini adalah $k = (g_{max} + g) / (1,5 g_{max})$ jika $g < g_{max}/2$, dan $k = (g_{max} + 0,5) / (g_{max})$ jika $g > g_{max}/2$, di mana g adalah pertemuan generasi dan g_{max} adalah jumlah generasi maksimum yang dibolehkan.

C. Evolusi Populasi

Didasarkan pada seleksi induk sebuah generasi baru diperoleh dengan mengaplikasikan persilangan dan mutasi operator.

persilangan adalah proses menciptakan dua generasi string dengan menukar dua proporsi string yang dipilih, titik persilangan dipilih secara acak.

Operator mutasi dimaksudkan untuk memasukkan keragaman populasi dengan mengubah bit individual yang dipilih secara acak. Probabilitas untuk operator ini

untuk diaplikasikan adalah himpunan nilai rendah pada GA sekarang di mana menjadi landasan bagi pencarian acak.

Elitism juga digunakan dengan memungkinkan individual lebih baik secara langsung masuk ke dalam generasi selanjutnya.

D. Kriteria Penghentian

Biasanya sangat sulit atau tidak mungkin menyimpulkan bahwa GA mencapai optimum. Untuk alasan ini, proses tersebut dihentikan jika jumlah tertentu dari perulangan berlebihan [5, 13]. Namun demikian banyak jumlah generasi maksimum diperoleh pada waktu awal, sehingga barangkali solusi yang lebih baik sangat lambat munculnya, sebagai konsekuensi dari populasi yang terbentuk dari individual serupa.

Probabilitas ini diperiksa dalam paper sekarang dengan membandingkan individual terbaik dengan sisanya. Dengan XOR atau operator logis, diaplikasikan pada masing-masing bit, bagian dari bit yang membedakan individual dari lainnya diperoleh dan digunakan untuk menghentikan proses.

IV. HASIL PENGUJIAN

Prosedur yang diajukan diuji pada beberapa jaringan distribusi yang diuji di tempat lain [2, 3]. Perbandingan dengan metode yang bersaing tidak selalu memungkinkan karena fungsi sasaran berbeda dan/atau tekanan berbeda digunakan. dalam paper ini, hasil yang berhubungan dengan dua jaringan yang ditampilkan pada tabel I akan dilaporkan. Data relevan sisanya yang berhubungan dengan sistem tersebut dapat ditemukan [3].

Tegangan bus dibatasi kepada interval $[0,9; 1,1]$ dalam kedua kasus. Untuk memungkinkan perbandingan dengan hasil yang ditampilkan dalam [3] maka data ekonomi yang ditampilkan dalam tabel II digunakan.

Tabel III meringkas data relevan berkaitan dengan GA, di mana keragaman ambang bats merujuk kepada kriteria penghentian yang dibahas di atas.

Bus kandidat untuk sistem 9 bus adalah bus 1 dan 5. Tabel IV menunjukkan jumlah langkah-langkah kapasitor yang ditentukan oleh metode yang diajukan untuk tiga skenario yang dipertimbangkan. Perlu dicatat bahwa selama periode lembah (skenario S_2) ketentuan daya reaktif adalah terendah.

Tabel V membandingkan kerugian awal dengan yang diperoleh ketika metode diajukan.

Perhatikan durasi masing-masing skenario, kerugian daya tersebut menerjemahkan metode yang diajukan ke dalam penghematan energi 290 MWh dan pada NPV 9421\$, versus 254 MWh dan 8830\$ untuk metode [3]. Untuk sistem 69 bus, bus 11, 18, 18, 47 dan 69 dianggap sebagai kapasitor untuk menghubungkan bank kapasitor. Namun demikian, sebagaimana ditunjukkan oleh tabel VI, metode yang diajukan dalam menentukan kapasitor seharusnya ditempatkan pada bus 18 dan 52.

V KESIMPULAN

Metodologi berbasis GA telah dikembangkan untuk mengatasi penempatan kapasitor optimal. Fungsi sasaran yang diadopsi dalam paper ini secara langsung berhubungan dengan yang diperoleh di sepanjang kehidupan perlengkapan.

Penggunaan GA menguntungkan ketika variable kontrol dikurangi kepada langkah besar.

Perbedaan utama dengan GA yang diajukan untuk metode ini [5, 6] adalah bahwa genetic string berisi informasi hanya tentang interval daya puncak. Interval sisanya berhubungan dengan problem lebih sederhana, di mana tujuannya adalah untuk meminimkan kerugian. Pengkodean jumlah langkah pada ukuran modular tertentu menghasilkan string yang lebih pendek daripada yang dibutuhkan ketika seluruh penilaian kapasitor digunakan. konsep keragaman genetic algorithm digunakan untuk secara prematur menghentikan proses evolusi. Hasil pengujian awal yang ditampilkan menunjukkan kinerja yang memadai dari kinerja yang diajukan.

OPTIMAL CAPACITOR PLACEMENT ON RADIAL DISTRIBUTION SYSTEMS

Mesut E. Baran

Felix F. Wu

Department of Electrical Engineering and Computer Sciences
University of California, Berkeley
Berkeley, CA 94720

Capacitor placement problem on radial distribution systems is formulated and a solution algorithm is proposed. The location, type, and size of capacitors, voltage constraints, and load variations are considered in the problem. The objective of capacitor placement is peak power and energy loss reduction by taking into account the cost of capacitors. The problem is formulated as a mixed integer programming problem. The power flows in the system are explicitly represented and the voltage constraints are incorporated. The proposed solution methodology decomposes the problem into a master problem and a slave problem. The master problem is used to determine the location of the capacitors. The slave problem is used by the master problem to determine the type and size of the capacitors placed on the system. In solving the slave problem, an efficient phase I - phase II algorithm is used. Proposed solution methodology has been implemented and the test results are included in this paper.

I. INTRODUCTION

The general capacitor placement problem consists of determining the location, type, and size of capacitors to be installed in the nodes of a radial distribution system such that the economic benefits due to power and energy loss reduction be weighted against the cost of placement of such capacitors while keeping the voltage profile of the system within defined limits.

The optimal capacitor placement problem as defined above has many parameters, such as; the location, type, and cost of capacitors, voltage constraints, and load variations on the system. These parameters increase the complexity of the problem.

Conventionally, the problem has been formulated by using a voltage-independent reactive current model and solved by fixing some of the parameters and using analytical methods [1-3]. Recently there has been some studies to solve the problem in its general form. There are basically three approaches. The first one is the dynamic programming approach by treating the sizes of capacitors as discrete variables, [4]. The second approach is to combine the conventional analytical methods with heuristics [6-7]. Third approach, pioneered by Grainger et al., is to formulate the problem as a nonlinear programming problem treating the capacitor sizes and the locations as continuous variables [3]. The application of this approach to general problem with the voltage regulator problem is given in [13].

In this paper, a formulation for the general capacitor placement problem as a mixed integer programming problem will be given first. The formulation considers all the parameters of the problem stated above and also the voltage constraints. Furthermore, the ac power flow formulation is used to represent the power flows and the voltage profile in the radial distribution systems.

A solution methodology for the general problem is proposed in this

paper. The solution is based on the decomposition of the problem into hierarchical levels. The problem at the top level, called the *master problem*, is an integer programming problem and is used to place the capacitors (i.e. to determine the number and the location of the capacitors). A search algorithm has been developed for the master problem. The problem at the bottom level is called the *slave problem* and is used by the master problem to determine the types and the settings of the capacitors placed. Decomposition schemes are also used to further decompose the slave problems into *base problems*. Base problems are solved by using the efficient solution algorithm developed for a special capacitor placement problem called the *sizing problem*. The sizing problem and the associated solution algorithm are presented in another paper [14].

This paper consists of seven sections. In section II, the general capacitor placement problem is formulated and its complexity is discussed. In section III, it is shown that the problem can be decomposed into a *master problem* and a *slave problem*. Section IV and V are devoted to the development of solution methodologies for the slave and master problems respectively. Section VI contains the test studies of the solution method applied to two different systems. Conclusions are given in section VII.

II. FORMULATION OF THE PROBLEM

We consider the general capacitor placement problem as determining the places (number and location), types, and settings (capacities) of the capacitors to be placed on a radial distribution system. The objectives are to reduce the power and energy losses on the system and to maintain the voltage regulation while keeping the cost of capacitor addition at a minimum.

Since we are interested in energy loss in the system, it is necessary to take into account the load variations for a given period of time, T . We assume that the load variations can be approximated in discrete levels. Furthermore, the loads are assumed to vary in a conforming way (i.e., all the loads enjoy the same pattern of variations). We let $S(t)$ be the common *Load Duration Curve* as shown in Fig.1. Then a load, say load Q_L , can be represented as

$$Q_L(t) = Q_L^0 S(t) \quad (1)$$

Where, Q_L^0 represents the peak value.

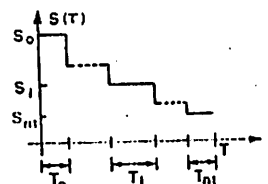


Figure 1: Load Duration Curve

Under these assumptions, the time period, T can be divided into intervals during which the load profile of the system is assumed to be constant. Let there be n such load levels (*load profiles*).

Then for each load level, we have: (i) power flow equations, (ii) voltage constraints as bounds on the magnitude of the system node voltages, (iii) capacity and control constraints on the control variables (capacitors).

We will represent the constraints imposed by power flows on a radial distribution system by a new set of ac power flow equations, called *DistFlow* equations. They substitute for the conventional ac power flow equations. To summarize the idea, consider a 3- ϕ , balanced radial distribution feeder with n branches/nodes, l laterals, and m ac shunt

WM 064-8- A paper recommended and approved by the IEEE Transmission and Distribution Committee at the IEEE Power Engineering Society for presentation at the IEEE/PES 1988 Winter Meeting, New York, New York, January 31 - February 5, 1988. Manuscript submitted September 1, 1987; made available for printing November 13, 1987.

capacitors placed at the nodes of the system. In Fig.2, one-line diagram of a network is shown.

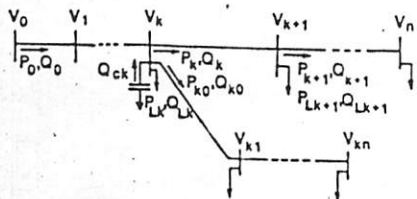


Fig.2 : One line diagram of a Distribution Feeder is shown that power flow through each branch in the lateral can be described by the following recursive equations.

$$P_{k+1} = P_k - r_{k+1} P_k^2 + Q_k^2 / V_k^2 - P_{Lk+1} \quad (2.i)$$

$$Q_{k+1} = Q_k - x_{k+1} P_k^2 + Q_k^2 / V_k^2 - Q_{Lk+1} + Q_{ck+1} \quad (2.ii)$$

$$V_{k+1}^2 = V_k^2 - 2(r_{k+1} P_k + x_{k+1} Q_k) + (r_{k+1}^2 + x_{k+1}^2) P_k^2 + Q_k^2 / V_k^2 \quad (2.iii)$$

Q_k : real and reactive power flows into the receiving end of branch $k+1$ connecting node k and node $k+1$,

V_k : bus voltage magnitude at node k ,

Q_{ck} : reactive power injection from capacitor at node k .

Eq.(2) is called the branch flow equation, has the following form

$$x_{k+1} = f_{k+1}(x_k, u_{k+1}) \quad (3.i)$$

$x_k = [P_k \ Q_k \ V_k^2]^T$ and $u_{k+1} = Q_{ck+1}$.

At node k , if there is no capacitor, then u_k does not appear in Eq.(3.i).

By abusing notation, we will simply use u as an nc dimensional vector containing the capacitor settings, i.e.,

$$u^T = [u_1 \ \dots \ u_{nc}] = [Q_{c1} \ \dots \ Q_{cnc}]$$

In addition to the branch flow equations of (3.i), there are terminal conditions to be satisfied for each lateral (counting the main feeder as the first lateral). For example, for lateral k shown in the figure, we have the following terminal conditions:

At the branching node k where the lateral is connected to the main feeder, we define a dummy variable V_{k0} and let

$$x_{k0} = V_{k0}^2 = V_k^2 = x_{0k} \quad (3.ii)$$

At the end of the lateral, there is no power sent to the other branches,

$$x_{kn} = P_{kn} = 0 \quad ; \quad x_{kn} = Q_{kn} = 0 \quad (3.iii)$$

Therefore, for the general feeder considered, there are $3(n+1)$ DistFlow equations corresponding to Eq.(2) and Eq.(3). They will be described by the following equations.

$$G(x, u) = 0 \quad (4)$$

$$[x_1^T \ \dots \ x_n^T \ x_0^T]^T \cdot x_1 \quad [x_{10}^T \ \dots \ x_n^T]^T$$

The DistFlow equations can be used to determine the operating point, x for a given load profile, $P_{Li}, Q_{Li}, i=1, \dots, n$ and the capacitor settings, u . We prefer to use DistFlow equations over conventional power flow equations because the special structure of the DistFlow equations can be utilized to develop a computationally efficient and robust solution algorithm. The details of such a solution algorithm are presented in [14].

The capacitor placement problem since there are nc different load levels to be considered, the overall DistFlow equations are

$$G^i(x^i, u^i) = 0 \quad i = 0, 1, \dots, nt \quad (5)$$

x^i, u^i represent the state and the control variables corresponding to load profile i respectively.

Voltage constraints can be taken into account by specifying lower bounds on the magnitude of the node voltages as follows,

$$V_{min}^2 \leq V_j^2 = V_j^i(x^i) \leq V_{max}^2 \quad j = 1 \dots n \quad i = 0, 1, \dots, nt \quad (6)$$

These bounds constitute a set of functional inequality constraints of the form,

$$H^i(x^i) \leq 0 \quad i = 0, 1, \dots, nt \quad (7)$$

We will consider two different types of capacitors and represent them as follows:

i) Fixed Capacitors : They will be treated as reactive power sources with the constant magnitude at all load levels, i.e.,

$$u^0 = u^1 = \dots = u^{nt} \quad (8.i)$$

ii) Switched Capacitors: It will be assumed that the settings (capacities) of a switched capacitor, u_k^i can be changed/controlled at every load level considered. Therefore, for each capacitor, there are $nt+1$ settings, $u_k^i, i=0, 1, \dots, nt$ to be determined. We will also assume that the setting of a capacitor for the peak load, u_k^0 will be bigger than the ones for other lower load levels u_k^i . Hence, the sizes (nominal capacities) of capacitors will be determined by u^0 and the relationship between the size and the settings of a capacitor will be as follows.

$$0 \leq u_k^i \leq u_k^0 \quad (8.ii)$$

The objective terms, namely the real power and energy loss, and the capacitor cost, can be formulated as follows. For each load level i , let the power loss in the system be $p_i(x^i)$. Then the total cost of energy loss can be written as

$$k_e \sum_{i=0}^{nt} T_i p_i(x^i) \quad (9)$$

where, T_i is the duration of the load for load level i and the constant k_e is the energy cost per unit. The cost for the real power loss at peak load level can be added to this sum by modifying T_0 accordingly.

The capacitor cost function is usually step like as shown in Fig.3 since in practice capacitors are grouped in banks of standard discrete capacities (usually 300 kvar sizes at 23 kv level).

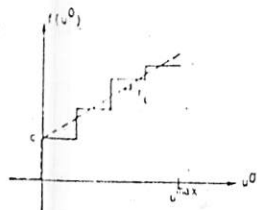


Figure 3 : Capacitor cost functions

Such a function is not easy to handle within this formulation framework; therefore, it will be approximated by a linear function with a fixed charge as shown in Fig.3 by a dotted line. This function can be formulated by using a decision variable $e \in (0, 1)$ as

$$f(u^0) = c_e \cdot e + r_c \cdot u^0 \quad 0 \leq u^0 \leq u^{max} \cdot e \quad (10)$$

Where, u^0 and r_c represent the size and the marginal cost of the capacitor respectively. Note that $e=0$ corresponds to the decision that the capacitor not to be placed.

To summarize, let the types and places of nc "candidate" capacitors, initially considered for installment, be given and let the sets C_1, C_2 contain the switched and the fixed capacitors respectively. Then we can write the general capacitor placement problem as a standard optimization problem as follows.

$$P \quad \min f_o = k_e \sum_{i=0}^{nt} T_i p_i(x^i) + \sum_{k=1}^{nc} (r_{ck} u_k^0 + c_k \cdot e_k)$$

$$s.t. \quad G^i(x^i, u^i) = 0$$

$$H^i(x^i) \leq 0 \quad i=0, 1, \dots, nt$$

$$0 \leq u^0 \leq u^{max} \cdot e$$

$$0 \leq u_k^i \leq u_k^0 \quad k \in C_1 = \{sv. cap.\}$$

$$u_k^i = u_k^0 \quad k \in C_2 = \{fixed cap.\}$$

$$e_k \in (0, 1)$$

This is a *non-linear, mixed integer programming problem*. Decision variables, $e = [e_1 \dots e_n]^T$ are to be used to choose the capacitors among initially designated ones and continuous variables $u^i, i = 0, 1, \dots, nt$ will be used to determine the optimal settings of the capacitors.

Voltage regulators are not explicitly represented in the capacitor placement problem presented here. However, the formulation and the solution algorithm introduced in this paper can be generalized to include voltage regulators in the following fashion:

- Voltage regulators, such as regulating transformers, can be represented by their equivalent circuits in the DistFlow equations.
 - The solution algorithm for sizing problem, proposed in [14] for determining the optimal sizes of capacitors placed on the system, can be generalized to obtain the optimal settings of the voltage regulators placed on the system.
 - Voltage regulation for a given set of capacitors and voltage regulators can be obtained again by using the solution algorithm developed for the sizing problem. This is demonstrated in [14] by using only the capacitors.
 - It seems appropriate to put the voltage regulator placement problem (to find the locations for the voltage regulators) at the top level of hierarchical decomposition scheme proposed in this paper in solving the overall problem.
- Further investigation is required to complete the generalization.

III. DECOMPOSITION OF THE PROBLEM

The problem formulated in the previous section is a non-linear, mixed integer programming problem of the following form,

$$\min_{e, u} \{ f_o(e, u) \mid e \in E; u \in U \} \quad (11)$$

e and u correspond to the decision vector, and the control vector, respectively, and E and U represent the constraint sets imposed on these. We adapt a general solution approach which decomposes the problem by making use of the following property of the optimization

$$\min_{e \in E, u \in U} f_o(e, u) = \min_{e \in E} \left(\inf_{u \in U} f_o(e, u) \right) \quad (12)$$

such that for each decision, e the problem in braces, called the *slave* problem,

$$g(e) = \inf_{u \in U} f_o(e, u) \quad (13)$$

is "easy" to find it. Then the main problem becomes,

$$\min_{e \in E} g(e) \quad (14)$$

called the *master problem*. These problems can be characterized as, *Master Problem (MP) : Integer Programming Problem* and *Slave Problem (SP) : Non-linear Differentiable Optimization Problem*.

The solution for this decomposed problem requires an efficient solution algorithm for the slave problem and a search procedure over E , the set of all the possible decisions, for the master problem. In the next sections, we'll discuss and develop such solution schemes.

IV. SLAVE PROBLEM

As indicated in the previous section, the slave problem assumes that capacitors are placed and it is a special case of the capacitor placement problem. The problem is a non-linear differentiable optimization problem with a large number of equality and inequality constraints. It is still to solve the slave problem. Our aim here is to study the special structure of the problem and to develop an efficient solution methodology by exploiting these features.

In the slave problem, the type of capacitors (fixed or switched), and the diversity of load levels are important parameters that define the structure and the size of the problem. Therefore, we first parameterize the "type" by assuming that they are given. Then the problem becomes a sizing problem (i.e., determining the capacitor settings) and to consider two cases; one with fixed type capacitors and one with switched type capacitors. In the following first two subsections, we'll discuss that for these two cases the problem is either of the *base type* or *switched type* and can be decomposed into the base type subproblems. The

base problems can be solved by the efficient solution method developed for the sizing problem, *PS* in [14]. Finally, in the last subsection, we will come back to the general slave problem and consider the types as well as the settings of the capacitors.

4.1 Fixed Capacitor Problem

When all the capacitors to be placed are of fixed type, the problem becomes

$$\begin{aligned} Pfx \quad \min f_o &= k_e \sum_{i=0}^{nt} T_i p_i(x^i) + \sum_{k \in C_2} r_{ck} u_k \\ \text{s.t.} \quad G^i(x^i, u) &= 0 \quad i=0, 1, \dots, nt \\ H^i(x^i) &\leq 0 \\ 0 &\leq u \leq u^{max} \end{aligned}$$

This general form of fixed capacitor problem, *Pfx* is a base problem because it is essentially the same as the sizing problem, *PS*. Here, because of the consideration of more load levels, the objective function comprises more power loss terms and the constraint set is bigger due to extra DistFlow equations and the corresponding voltage regulation constraints. But this does not change the structure of the problem very much. Therefore, the solution methodology developed for the sizing problem can readily be applied for this problem with small modification.

Note that for this general case, existence of different load levels makes it possible to have both lower bound voltage violation at peak load level and upper bound voltage violation at light load level for a given control u . This is especially true when the load levels are diverse. Such cases are handled in the Phase I - Phase II type solution algorithm of the sizing problem by considering both the lower and the upper voltage constraints in calculating the search direction (for details, see the solution algorithm for the base problem in [14]).

4.2. Switched Capacitor Problem

When all the capacitors to be placed are of the switched type, the slave problem can be re-written as follows.

$$\begin{aligned} Psw \quad \min f_o &= k_e T_{D^0} o(x^0) + \sum_{k \in C_1} r_{ck} u_k^0 + k_e \sum_{i=1}^{nt} T_i p_i(x^i) \\ \text{s.t.} \quad G^0(x^0, u^0) &= 0 \\ H^0(x^0) &\leq 0 \\ 0 &\leq u_k^0 \leq u_k^{max} \quad k \in C_1 \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} G^i(x^i, u^i) &= 0 \quad i=1, \dots, nt \\ H^i(x^i) &\leq 0 \\ 0 &\leq u^i \end{aligned} \quad (16)$$

$$u^i - u^0 \leq 0 \quad i=1, \dots, nt \quad (17)$$

Note that the two constraint sets (15) and (16) are coupled through (17), to indicate that the capacitor sizes, u^0 are the upper bound constraints for capacitor settings at the other load levels, u^i . This weak coupling between u^0 and u^i 's can be exploited to decompose the problem into smaller subproblems. In appendix, it is shown that *Psw* can be decomposed into the following $nt+1$ base problems.

The main problem, *SW₀*

$$\begin{aligned} SW_0 \quad \min_{u^0} f_o &= k_e T_{D^0} o(x^0) + \sum_{k \in C_1} r_{ck} u_k^0 + \sum_{i=1}^{nt} f_i(u^i) \\ \text{s.t.} \quad G^0(x^0, u^0) &= 0 \\ H^0(x^0) &\leq 0 \\ 0 &\leq u_k^0 \leq u_k^{max} \quad k \in C_1 \end{aligned}$$

Subproblems, $SW_i, i = 1 \dots nt$

$$SW_i: f_i(u^0) = \min_k T_i p_i(x^i)$$

$$s.t. G^i(x^i, u^i) = 0$$

$$H^i(x^i) \leq 0$$

$$0 \leq u^i \leq u^0$$

The subproblems, SW_i involve only one load level and therefore, they can be solved by the algorithm developed for the sizing problem for given capacitor sizes, u^0 . The solutions will correspond to the optimal capacitor settings, u^i for the off-peak load levels considered.

The main problem, SW_0 , is also a sizing problem; but computationally it is not of the easy type due to existence of $f_i(u^0)$'s - the extra terms coupled to the subproblems - in the objective function. Updating these terms at each iteration during the solution of SW_0 requires solution of the subproblems. However, we can use a simple, heuristic scheme to update $f_i(u^0)$ and $\nabla f_i(u^0)$ in the main problem SW_0 . To begin with, let the solutions of the subproblems SW_i for a given u^0 be denoted $(u^i)^*$. As we move u^0 from iteration to iteration in SW_0 , $f_i(u^0)$ and $\nabla f_i(u^0)$ should be calculated by solving SW_i with the new u^0 for a new $(u^i)^*$, say $(\bar{u}^i)^*$. We propose, however, instead of solving SW_i for a new $(\bar{u}^i)^*$, to use the old $(u^i)^*$ unless the constraint (17) is violated, i.e., we set the k 'th component of \bar{u}^i

$$\bar{u}_k^i = \begin{cases} \bar{u}_k^0 & \text{if } \bar{u}_k^0 \leq (u_k^i)^* \\ (u_k^i)^* & \text{otherwise} \end{cases} \quad (18)$$

We simply use \bar{u}^i in evaluating $f_i(\bar{u}^0)$ and $\nabla f_i(\bar{u}^0)$ as follows:

$$f_i(\bar{u}^0) = k_e T_i p_i(x^i, \bar{u}^i) \quad (19)$$

$$\nabla_k f_i(\bar{u}^0) = \begin{cases} \nabla_k f_i(\bar{u}^i) & \text{if } \bar{u}_k^0 \leq (u_k^i)^* \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad k = 1, \dots, nc \quad (20)$$

Note that if u^0 and \bar{u}^0 do not differ very much, the approximation will be good. To assure this, we start the procedure by first solving the subproblems with the capacitor sizes set to their maximum, u^{max} .

The overall iterative algorithm is shown in Fig.4. In the algorithm, an iteration comprises the solution of the subproblems, SW_i first and then the main problem, SW_0 . Convergence check at end of an iteration involves checking if there is a status change in the constraint set of Eq.(17). (i.e., a non-binding constraint becomes binding or vice versa). If there is such a status change, then we go back and update the slave problems; otherwise we stop iterating since the solution is converged.

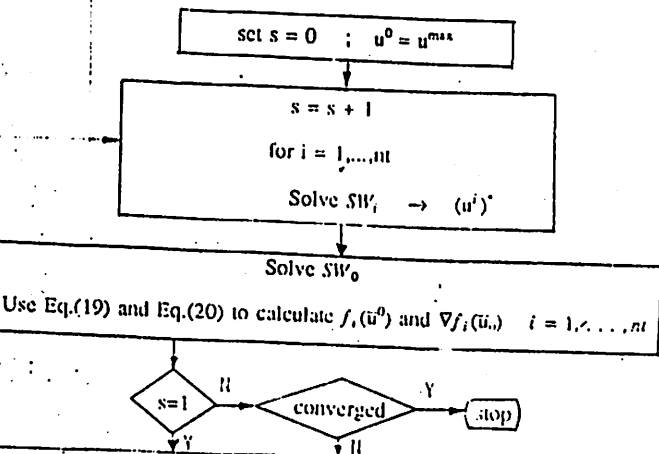


Figure 4 : Block diagram of SW Capacitor Algorithm

4.3. Mixed Type Capacitor Problem

In this section, we go back to consider the general slave problem which it is not known *a priori* which capacitor is of fixed and which one of switched type and one has to determine the types of capacitors in addition to their settings. Note that, in general, the switching capacitors are more expensive in both fixed cost, c and the marginal cost, r_c than the fixed capacitors. Therefore, we propose the following heuristic selection scheme by using the solution methodology developed for the switched capacitor problem.

Step 0 : Assume all the capacitors are of the switched type.

Step 1 : Solve the problem considering only the switched capacitors and keeping the fixed capacitor power injections as constant at their nominal settings, i.e., as loads.

Step 2 : Using the results of step 1, check the settings of switched capacitors at light load level (level nt). For the ones with nonzero light load settings, (i.e., $u_k^m \neq 0$) assign that portion of capacitor as fixed type.

Step 3 : If any fixing occurred, then go to step 1; otherwise, stop.

V. MASTER PROBLEM

We follow a general approach in solving the master problem, which is an integer programming problem, and first construct a decision graph and then develop an efficient search scheme to place the capacitors (i.e., determine their numbers and places).

Let there be nc initially given candidate capacitors. Then, all possible decisions about choosing the capacitors for placement among the candidate capacitors can be arranged as a decision graph assuming one decision is made at a time. Such a graph is shown in Fig.5 for $nc = 3$.

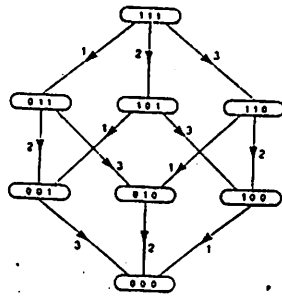


Figure 5 : Decision graph for 3 variable case

In the figure, each node represents a particular decision $e = [e_1 e_2 e_3]^T$; $e_i \in \{0,1\}$. Where, $e_i = 0$ means that the capacitor i is not chosen, and $e_i = 1$ means it is still a candidate. A branch from a node to another indicates how the transition can be achieved: taking out the candidate capacitor whose number is shown on the branch. Such a relationship is indicated in graph theory by calling a node and all the nodes emanating from it, a parent and its children, respectively.

Search starts from the root which corresponds to the case where all candidate capacitors are chosen to be placed at the designated nodes of the system. Then there are two possible search techniques, *depth-first search* and *breadth-first search*, that can be employed to get a local optimum [17]. Here, rather than employing these general search techniques directly the children of a given node (parent) are sorted first according to their contribution to the objective. We propose a *sorting procedure* which works sort of like a "steepest descent" approach in discrete case. The procedure is

- given a node which is identified by its decision vector, e and the solution of the corresponding Slave Problem, (i.e., the control vector $\bar{u} = [\bar{u}_1 \dots \bar{u}_{nc}]^T$ and the objective $f_o(\bar{u})$).
- for all existing capacitors, $k = 1, \dots, nc$ s.t. $e_k = 0$
- construct \bar{u} by removing the capacitor k and keeping the rest, i.e.,

$$\bar{u}_j = \begin{cases} 0 & \text{if } j = k \\ \bar{u}_j & \text{otherwise} \end{cases}$$

- calculate the new objective, $f_o^k(u)$ (This requires only DisFlow solutions).

- let the contribution of the capacitor k to the objective be

$$\Delta f_o^k = f_o^k - f_o$$

- sort the existing capacitors by using the Δf_o^k 's

The Δf_o^k 's can be used to choose the child to branch out (i.e., capacitor to take out) since the child with the smallest Δf_o^k is more likely the one who contributes to the objective the least.

The first procedure, depth-first search, visits the children of a parent node (i.e., solves the associated slave problems) according to the order determined by the sorting procedure and branches out on the first one which gives a lower objective than that of the parent. This search is of order nc and therefore computationally attractive. However the branching criteria is appropriate only for unconstrained case. When the voltage constraints are active, a better criteria would be to check how well the deficiency created by a capacitor removal be compensated by the rest of the capacitors by running the corresponding slave problems. This corresponds to the breadth-first type search which is conducted by visiting all the children first and then branching out on the one with the smallest objective. This search is of order nc^2 and requires at most $nc(nc+1)/2$ slave problem solutions. However, the search can be made much faster by noting that the objectives, f_o^k calculated by sorting procedure will be bigger than the ones calculated by the search. Therefore, in practice, the search can be conducted only on the children with negative Δf_o^k 's.

VI. TEST STUDIES

The proposed solution methodology has been implemented in Fortran 77 on both VAX 11/750 and IBM AT. The program uses the algorithm developed for the sizing problem in [14] as a subroutine to solve the slave problems. We present the test results of two systems in this section to illustrate the performance of the proposed solution scheme.

The first test system, TS1 is a 9-branch main feeder test system developed by Grainger et al., [9]. The second test system, TS2 is a 69-branch, 9-lateral test system derived from a portion of the PG&E distribution system. The network data of this system is given in Table 1.

We adopted the following cost figures: energy cost, $= 0.06$ \$/kWh; capacitor fixed cost, $c = 1000$ \$; capacitor marginal cost, $r_c = 3$ \$/kvar. The load duration data assumed for the systems is given in Table 2. It is also assumed that substations have regulating transformers which are tapped to +5% during peak load and set to nominal otherwise. The substitution voltage without tap is taken as the base kV and lower and upper voltage limits are assumed to be 0.9 and 1.1 p.u. respectively.

Table 1: Network Data of TS2

Br. No.	Sl. No.	Rv. (kV)	Br. No.	Sl. No.	Rv. (kV)	Nd. (KVAR)	Load (KVAR)
1	1	0.0005	0.0012	0	0	0	0
2	2e	0.0005	0.0012	0	0	0	0
3	4	0.0015	0.0036	0	0	0	0
4	5	0.0251	0.0294	0	0	0	0
5	6	0.3660	0.1664	0	2.60	2.70	0
6	7	0.3811	0.1941	0	40.40	30.00	0
7	8	0.0922	0.0470	0	75.00	54.00	0
8	9	0.0493	0.0251	0	30.00	22.00	0
9	10	0.8190	0.2707	0	28.00	19.00	0
10	11	0.1872	0.0619	0	145.00	104.00	0
11	12	0.7114	0.2351	0	145.00	104.00	0
12	13	1.0300	0.3400	0	8.00	5.50	0
13	14	1.0440	0.3450	0	8.00	5.50	0
14	15	1.0580	0.3496	0	0	0	0
15	16	1.1956	0.0650	0	45.50	30.00	0
16	17	0.3744	0.1238	0	60.00	35.00	0
17	18	0.0047	0.0016	0	60.00	35.00	0
18	19	0.3276	0.1083	0	0	0	0
19	20	0.2106	0.0656	0	1.00	0.40	0
20	21	0.2416	0.1179	0	-114.00	81.00	0
21	22	0.0140	0.0244	0	5.30	3.50	0
22	23	0.1591	0.0524	0	0	0	0
23	24	0.3463	0.1145	0	0	0	0
24	25	0.7458	0.2475	0	23.00	20.00	0
25	26	0.3089	0.1021	0	0	0	0
26	26	0.1732	0.0172	0	14.00	10.00	0
26	26	0.1732	0.0172	0	14.00	10.00	0

Table 1: Network Data of TS2

Table 2: Load Duration data for the test systems.

System	Load Levels			Time Intervals		
	S_0	S_1	S_2	T_0	T_1	T_2
TS1	1.	0.8	0.5	1000.	6760.	1000.
TS2	1.8	1.	0.5	1000.	6760.	1000.

1. Fixed Capacitor Placement

We first present two test results that correspond to the solution of general fixed capacitor placement problem for TS1 and TS2. Test System I

The test results of the capacitor placement with fixed capacitors summarized in Table 3. They include the search for the master problem and the slave problems solved during the search. In the table, each corresponds to a node of the search tree and it contains the pertinent information about the solution of the associated slave problem. The first column of a box contains: (i) the net revenue due to the energy loss reduction, rev in dollars, (ii) energy loss reduction, ΔE in MWh, (iii) minimum bus voltage in the system, V_{min} in p.u., and (iv) the total number of iterations, itr . The second column contains the optimal settings of capacitors, Q_c . The number on a branch of the tree identifies the capacitor taken out for branching. The breadth-first type search is used for the solution of the master problem in both tests. Children of a parent are visited (i.e. associated slave problem is solved) in an order determined by the sorting procedure introduced in section 5. In the table, this corresponds to visiting the children from left to right.

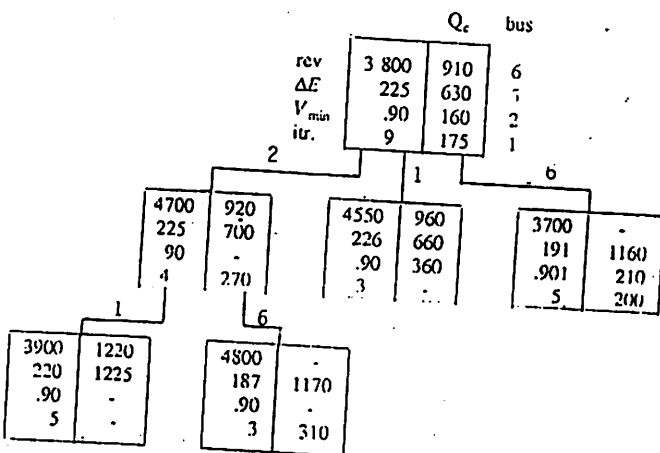


Table 3: Test run results for TS1 - fixed capacitor placement

Table 2: Load Duration data for the test systems.

System	Load Levels			Time Intervals		
	S_0	S_1	S_2	T_0	T_1	T_2
TS1	1.	0.8	0.5	1000.	6760.	1000.
TS2	1.8	1.	0.5	1000.	6760.	1000.

Table 2: Load Duration data for the test systems.

Test run for TS1, summarized in Table 3, starts with 4 capacitors. The solution of the slave problem for the root (initial one) gives the optimal settings for these 4 capacitors. Then the capacitor's contributions to the objective, Δf_o^k 's are calculated by using the sorting procedure. The results indicate that three of the capacitors - Q_{c1} , Q_{c2} , Q_{c6} - have $\Delta f_o^k < 0$; which implies that they are not economically feasible (i.e., their economic contribution due to energy loss reduction is less than their cost). Therefore, the search is conducted only on these three capacitors at the second search level. As a result, Q_{c2} is found to be the least economical and hence is taken out. This corresponds to the branching out on the first child of the root, in the table. Then a new search process resumes from this new node; first sorting out its children by using the sorting procedure and then visiting the ones that are economically infeasible. The solution is obtained at the third level of search when the evaluation of capacitors Q_{c6} and Q_{c1} in the last node by the sorting procedure indicated that they are economically feasible.

The total run time for this test on VAX is about 45 sec. of CPU and 8 sec. of I/O.

Test System 2

Test run for TS2 is summarized in Table 4. The test starts with 5 capacitors. After visiting the root, the capacitor with the zero setting, Q_{c69} is taken out and the other two Q_{c11} and Q_{c47} are found to be economically infeasible by the sorting procedure. The search therefore is conducted only on these two capacitors and as a result the last node containing the capacitors Q_{c18} and Q_{c52} is identified as the solution node. The total run time for this test on VAX is recorded as 165 sec. of CPU and 8 sec. of I/O.

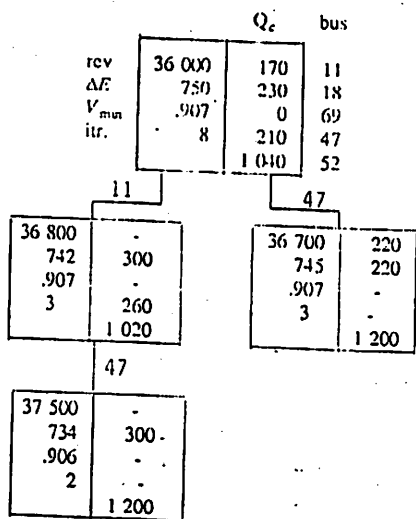


Table 4: Test run results for TS2 - Fixed Capacitor placement

We have the following comments/observations about these test results.

1. Search Procedure :

- The order of search is about nc (number of capacitors placed); which is much less than the worst case bound of nc^2 .
- The search converges to the global optimal point in both tests; although in test 1, for example, there are some other suboptimal solutions with revenues close to each other.
- As search goes further down to higher levels, more capacitors are taken out to increase the revenues. This causes less energy loss reduction and lower voltage profile. This also shows the sensitivity of the optimal point with respect to the cost figures k_e, r_c, c .

2. The slave problem - fixed capacitor problem:

- The convergence of slave problem at the root (the initial one) gets slower as the number of load levels increase (the number of iterations is in the order of 2-3 nc). But the other slave problems converge much faster (in the order of 1-2 nc); mainly because it is easier to find a good initial point for them by simply using the results of the parent node.

• Although there are regulators at the substations, voltage profile both systems are below lower voltage limits at the peak load 1 before the capacitor placement. The solution for TS1 indicates the capacitors are needed to be used for raising the voltage profile for the system at the peak load level ($V_{min} = 0.9$ p.u.) as well as for reduction. The solution for TS2 corresponds to the unconstrained optimal point ($V_{min} = 0.907$ p.u.); indicating that maximum reduction is achieved.

2. Switched Capacitor Case

We now present the test runs for the switched capacitor problem the same test systems. The optimal places obtained from the general capacitor problem tests are used in these tests also to avoid the search.

Test System 1

The first step of the test runs for TS1 is the solution of corresponding slave problems $SW_i, i = 1, 2$ to get the optimal settings the off-peak load levels assuming no limit on the size of the capacitor. Each of such solution is obtained in about less than 2 nc iterations by using the sizing problem subroutine. In the second step of the test, the main problem, SW_0 is solved in about 3 nc iterations by using the solution procedure described in section 5. In the third step, convergence checks indicate that the setting of Q_{c5} for the first load level is binding, i.e., $Q_{c5}^1 = Q_{c5}^0$. This constitutes the end of the first iteration. Another iteration is performed to see if the binding status of the capacitors will change. Convergence is obtained at the second iteration when the capacitor settings, Q_{c1}^1, Q_{c2}^2 , are updated and it is found that there is no binding status change.

The solution is summarized in Table 5. The box in the table is similar to that of fixed capacitor case; except here, in addition to the capacitor sizes, Q_{c1}^0 capacitor settings at the off-peak load levels, Q_{c1}^1, Q_{c2}^2 , are given also. The total run takes about 42 sec. of CPU and 2 sec. of I/O on VAX.

Table 5: Test run results for TS1 - Switched Capacitor case

rev.	Q_c^2	Q_c^1	Q_c^0	bus
5250	600	1170	1170	5
ΔE	195	120	230	1
V_{min}	.90			

Test System 2

Test run for TS2 is similar to that of TS1. The solution is obtained in two iterations and found out that only the setting of Q_{c18} for the first load level is binding, i.e., $Q_{c18}^1 = Q_{c18}^0$. The solution is summarized in Table 6. The total run takes about 82 sec. of CPU and 4 sec. of I/O on VAX.

Table 6: Test run results for TS2 - Switched Capacitor case

rev.	Q_c^2	Q_c^1	Q_c^0	bus
39180	197	330	330	18
ΔE	785	620	240	1700
V_{min}	.909			52

We have the following comments about the test results:

- The performed test runs indicate very good convergence characteristics; the number of iterations between the main problem, SW_0 and the subproblems, SW_i is usually one or two.
- When the fixed capacitor and the switched capacitor test results are compared, it is seen that: (i) switched capacitor placement yields higher revenues and higher capacitor sizes, especially when the cost data is the same for both cases and the load variations are diverse; (ii) the voltage profile is higher (V_{min} is higher) and voltage regulation is better for the switched capacitor case. This is because of the fact that for the switched capacitor case better compensation is achieved by adjusting the value of capacitors as the load changes.

The final point to be noted about the overall test results is about the effect of the regulators on the solution; (i) feasibility becomes less of a problem, (ii) no upper limit voltage violation has been observed for the given test systems, although the load levels were quite diverse, (iii) as exemplified here by test run for TS1, capacitors can be used together with voltage regulators to keep the voltage profile of the system within defined limits.

Analysis of the Results

Consider the starting point of TS2 in Table 4, where the fixed cost of capacitors are not included. The solution of capacitor sizing gives 1040 kvar and 210 kvar on the nodes 52 and 47 of a lateral respectively, and 170 kvar and 230 kvar on the nodes 11 and 18 of the main feeder respectively. In the system, the loads in the laterals are more concentrated whereas the loads in the main feeder are more evenly distributed. The result is that the locations of the capacitors are also more concentrated in the lateral and more evenly distributed in the main feeder. This further reaffirms the fact that the nature of reactive power compensation is rather local.

VII. CONCLUSIONS

In this paper, a general formulation and an efficient solution methodology have been developed for general capacitor placement problem on radial distribution systems.

The general capacitor placement problem consists of placing the capacitors (determining their number and the locations) and determining their types and sizes. The objective is peak power and energy loss reduction while keeping the cost of capacitors at a minimum.

The proposed formulation is comprehensive in the sense that: (i) it considers all the variables of the problem stated above, (ii) it uses the power flow equations to represent the system, (iii) voltage constraints are taken into account.

A solution method has been developed for this general problem by decomposing the problem into two hierarchical levels. The top level problem, called the master problem, is an integer programming problem and is used to place the capacitors (determine their number and locations). An efficient search scheme has been developed for the master problem. The bottom level problem, called the slave problem, is used by the master problem as a subroutine. This problem is further decomposed into two levels: at the top level, the problem consists of determining the type of capacitors and at the bottom level, the problem is to determine the capacitor sizes once the capacitors are placed with their types assigned. These two problems, called the fixed and switched capacitor problems, are known to be either the base type or can be decomposed into base type problems. The base type problem is a capacitor sizing problem and is solved by using an efficient phase I - Phase II type solution method presented in [14].

Test results are presented for the proposed solution scheme. They indicate that the method is computationally efficient and the decomposition scheme performs well.

Although not implemented, it is also shown that the formulation and solution methodology presented in this paper can be generalized to include the voltage regulators in the problem.

Acknowledgements

We thank Mr. Wayne Hong and Dr. Dariush Shirmohammadi of Electric Gas and Electric for their helpful discussions. This research is supported by TUBITAK-TURKEY and by National Science Foundation grant ECS-8715132.

REFERENCES

- [1] *Distribution Systems*, East Pittsburgh, PA.: Westinghouse Electric Corp., 1965.
- [2] R. F. Cook, "Optimizing the Application of Shunt Capacitors for Reactive Volt-Ampere Control and Loss Reduction", *IEEE Trans.*, vol. 80, pp. 430-444, August 1961.
- [3] Y. G. Bae, "Analytical Method of Capacitor Application on Distribution Primary Feeders", *IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems*, vol. 97, pp. 1232-1237, July/Aug. 1978.
- [4] H. Duran, "Optimum Number, Location, and Size of Shunt Capacitors in Radial Distribution Feeders: A Dynamic Programming Approach", *IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems*, vol. 87, pp. 1769-1774, Sept. 1968.

- [5] M. Ponnavaikko and K. S. Prakasa Rao, "Optimal Choice of Fixed and Switched Shunt Capacitors on Radial Distribution Feeders by the Method of Local Variations", *IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems*, vol. 102, pp.1607-1614, June 1983.
- [6] T. H. Fawzi, S. M. El-Sobki, and M. A. Abdel-Haiim, "A New Approach for the Application of Shunt Capacitors to the Primary Distribution feeders", *IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems*, vol. 102, pp.10-13, Jan. 1983.
- [7] M. Kaplan, "Optimization of Number, Location, Size, Control Type, and Control Setting of Shunt Capacitors on Radial Distribution Feeders", *IEEE Trans. on PAS*, vol. 103, pp.2659-2665, Sept. 1984.
- [8] J. J. Grainger, and S. H. Lee, "Optimum Size and Location of Shunt Capacitors for Reduction of Losses on Distribution Feeders", *IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems*, vol. 100, pp. 1105-1118, March 1981.
- [9] J. J. Grainger, and S. H. Lee, "Capacity Release by Shunt Capacitor Placement on Distribution Feeders: a New Voltage Dependent Model", *IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems*, vol. 101, pp. 1236-1244, May 1982.
- [10] J. J. Grainger, S. H. Lee, and A. A. El-Kib, "Design of a Real-Time Switching Control Scheme for Capacitive Compensation of Distribution Feeders", *IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems*, vol. 101, pp. 2420-2428, August 1982.
- [11] J. J. Grainger, S. Civanlar, and K. N. Clinard, L. J. Gale, "Optimal Voltage Dependent Continuous Time Control of Reactive Power on Primary Distribution Feeders", *IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems*, vol. 103, pp. 2714-2723, Sept. 1984.
- [12] A. A. El-Kib, J. J. Grainger, and K. N. Clinard, L. J. Gale, "Placement of Fixed and/or Non-Simultaneously Switched Capacitors on Unbalanced Three-Phase Feeders Involving Laterals", *IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems*, vol. 104, pp. 3298-3305, Nov. 1985.
- [13] S. Civanlar and J. J. Grainger, "Volt/Var Control on Distribution Systems with Lateral Branches Using Shunt Capacitors and Voltage Regulators: Part I, Part II, Part III", *IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems*, vol. 104, pp. 3278-3297, Nov. 1985.
- [14] M. E. Baran and F. F. Wu, "Optimal Sizing of Capacitors Placed on a Radial Distribution System", submitted to IEEE PES winter meeting, 1988.
- [15] A. M. Geoffrion, "Elements of Large Scale Mathematical Programming, Part I: Concepts", *Management Science*, vol. 10, pp. 652-675, July 1970.
- [16] A. M. Geoffrion, "Generalized Benders Decomposition", *JOTA*, vol. 10, pp. 237-260, April 1972.
- [17] E. M. Reingold and W. J. Hansen, *Data Structures*, Little Brown and Comp., 1983.

Appendix: Decomposition of the Switched Capacitor Problem

We shall apply decomposition techniques to the switched capacitor problem introduced in section 4.2. We present first a general scheme, which leads to the Benders Decomposition, and then a simpler, heuristic based decomposition scheme for the special switched capacitor problem.

Decomposition

A general decomposition scheme is given in [15]. To adopt the derivation for the switched capacitor problem, P_{sw} , we first re-group the variables and constraints as follows,

$$u = [u^1 \dots u^m]^T$$

$$U = \{ u \mid \text{Eq. (16) is satisfied} \} ; \quad U_0 = \{ u^0 \mid \text{Eq. (15) is satisfied} \}$$

Similarly, we partition the objective function as,

$$f_{sw}(u^0) = k_0 T_0(x^0(u^0)) + \sum_{i=1}^m r_{i,k} u_i^0 ; \quad f_i(u) = \sum_{j=1}^m k_j \sum_{l=1}^n T_l p_l(x^l(u^l))$$

Then Psw can be re-written as

Here, $F(u^0, u)$ corresponds to the coupling constraints of Eq.(17). We start the decomposition by projecting (partitioning) the problem onto space of u^0 alone as follows.

$$\min_{u^0 \in U_0} \{ \inf_{u \in U} [f_m(u^0) + f_s(u) \mid F(u^0, u) \leq 0] \} \quad (a.2)$$

We assume that the subproblem in the braces,

$$f_s(u^0) = \inf_{u \in U} \{ f_s(u) \mid F(u^0, u) \leq 0 \}$$

can be evaluated for a given u^0 as an optimization problem with respect to the variable u . Then the main problem becomes

$$SW_0 \quad \min_{u^0 \in U_0} f_o(u^0) = f_m(u^0) + f_s(u^0) \quad (a.3)$$

To assure that the above assumption holds, we must avoid the values of u^0 such that $f_s(u^0)$ does not have a feasible solution. For this, we define a new set, V as follows.

$$V = \{ u^0 \mid \exists u \in U \text{ s.t. } F(u^0, u) \leq 0 \}$$

The set V can be thought of as the projection of the constraint set defined by $F(u^0, u)$ and U onto the space defined by u^0 alone as illustrated in Fig.a.1.

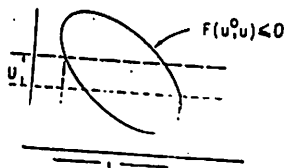


Figure a.1 : Set Projection

Now we generalize the projection by rewriting the problem (a.3) as follows.

$$SW_0 \quad \min_{u^0} \{ f_m(u^0) + f_s(u^0) \mid u^0 \in U_0 \cap V \} \quad (a.4)$$

For the switched capacitor problem, we have a conjecture that $U_0 \subset V$.

Justification of this conjecture will be discussed later.

Assuming that this conjecture holds for the general case, we can use the partitioned problem (a.3) rather than (a.4) for the main problem, SW_0 . The subproblem $f_s(u^0)$ can further be decomposed into nt subproblems of the following form.

$$SW_i \quad f_{s,i}(u^0) = \inf_{u^i} f_{s,i}(u^i) \\ \text{s.t. } u^i - u^0 \leq 0 \\ u^i \in U_i$$

Where, $U_i = \{ u^i \mid \text{Eq.(16)} \}$ and $f_s(u^0) = \sum f_{s,i}(u^0)$.

The explicit form of the main problem SW_0 and the subproblems SW_i $i = 1, \dots, nt$ are given in sec.4.2.

Benders Decomposition

Assuming that the duality conditions holds for the switched capacitor problem of (a.2) [16], the main problem can be transcribed into the following form.

$$SW_0 \quad \min_{u^0, y} f_o(u^0, y) = f_d(u^0) + \sum y_i \\ \text{s.t. } y_i + \lambda^{ijT} (u^0 - u^{0j}) \geq f_{s,i}(u^{0j}) \quad j = 1, \dots, p \quad (a.5.i) \\ u^0 \in U_0, \quad i = 1, \dots, nt \quad (a.5.ii)$$

Here, u^{0j} and λ^{ij} corresponds to the solution of the subproblem SW_i at iteration j .

At each iteration, a set of constraints of the type (a.5.i) is added to SW_0 until the solution converges.

It is noted that the Benders decomposition has the following features: (i) The main problem, SW_0 is not a base type problem. Additional constraints of (a.5.i), called the cuts, are difficult to handle with the standard algorithm used by the base problem; one has to identify which one constraints will be binding during the solution of SW_0 . (ii) The contribution of the subproblems to the objective of the main problem, $f_{s,i}(u^0)$ is approximated by linearizing this term around the previously calculated points, u^{0j} . To see this, let the binding constraint for subproblem i be the k 'th one in Eq.(a.5.i). Then the solution for corresponding y_i will be

$$y_i = f_{s,i}(u^{0k}) - \lambda^{ikT} (u^0 - u^{0k})$$

Therefore, the approximation is good only if the actual solution point, close to the calculated point u^{0k} in solving SW_0 .

A Heuristic Based Decomposition Scheme

Note that the main problem of (a.3) need not be transcribed Benders form, SW_0 if one can estimate the binding constraints in the $u^i - u^0 \leq 0$. We develop a solution algorithm based on this principle. The solution scheme uses the sizing algorithm to solve both the main problem and the subproblems and it also uses a better estimate for the contribution of the subproblems to the objective of the main problem. The details of the algorithm is given in section 4.2.

The idea behind this conjecture is as follows. Let $u^0 \in U_0$. This means that u^0 amount of reactive power compensation from the capacitor is enough to satisfy the voltage constraints for the peak load. But this amount of compensation must suffice to have a feasible point for lower load levels too because the lower the load the higher the voltage profile will be. This observation is due to the strong coupling between the reactive power flow and the voltage profile of the system.

Note that this conjecture was also the underlining idea behind the assumption made when formulating the problem in section 2; where, it was assumed that the capacitor size will be the capacitor setting for the peak load level, u^0 and capacitor settings for all the other lower load levels, u^i will be smaller than u^0 .

Mesut E. Baran received his B.S. and M.S. from Middle East Technical University, Turkey. He is currently a Ph.D. student at the University of California, Berkeley.

Felix E. Wu received his B.S. from National Taiwan University, M.S. from the University of Pittsburgh, and Ph.D. from the University of California, Berkeley. He is a professor of Electrical Engineering and Computer Sciences at the University of California, Berkeley.

Roger C. Dugan (McGraw-Edison Power Systems, Cooper Industries Inc., Canonsburg, PA): The reader will discover in a few moments that I have several objections to the methods presented in this paper. However, I do not wish for my objections to reflect poorly upon the efforts of the authors. It would appear that a great deal of good work has been done and I suspect that this paper was intended to emphasize the application of more sophisticated techniques to the problem. Therefore, it may be unfair to expect the authors to respond to all of my objections because they are based on more practical aspects and also apply to previous investigators in this field who have made similar assumptions.

First, one would hope that a method employing nonlinear programming techniques would be faster than simple exhaustive searches. It is not apparent from the paper that this would be the case, and the times quoted during the paper's presentation and discussion lead me to believe otherwise. The number of discrete solutions to this problem are not necessarily large due to the practical constraints that I will mention below. Therefore, an intelligent exhaustive search method that automatically discards many cases due to its knowledge of the way the feeder operates can be reasonably fast. I have investigated a number of search techniques that give very good, but perhaps not optimal, solutions, and the execution times grow approximately linearly with problem size rather than geometrically.

The method proposed in the paper is based on the assumption that the feeder is discrete and the capacitor size is continuous. Perhaps, a more realistic choice would have been the opposite. There are many nodes in a circuit, but utilities generally wish to consider only two or three different capacitor sizes, for example 600- and 1200-kvar banks. I have generally approached the problem by assuming that both the feeder and capacitor sizes are discrete. When considering such a small number of sizes, a simple search can often be done quickly.

Another assumption I would question is that the capacitor is a source of active power (Q). (I assume that this implies a constant source because I am not able to ascertain otherwise from the paper.) Of course, this will introduce inaccuracies because a capacitor is a constant impedance element. Capacitor placement on a feeder significantly affects the voltage, this assumption weakens any claim that the method results in an optimal solution. It would seem to be a simple matter to correctly represent capacitors and avoid this difficulty.

My examination of this problem has also indicated that line regulator tap position and control characteristics affect the "optimal" solution. It is not clear how the method presented in the paper properly accounts for these effects.

The constant P-Q load model employed in the proposed method also leads to inaccuracies. The P-Q load model is a peculiar bias of transmission systems, and it should not be employed on distribution systems without caution. Frantz *et al.* [1] have clearly shown that distribution system loads are sensitive to voltage. My experimentation with different load models has shown that one will usually get a different "optimal" solution for each load level. The P-Q load model is best employed to establish the base case solution from known load conditions. Then one should switch to a more realistic model when studying capacitor additions. In the absence of better information, I will typically use a load model in which the P varies linearly with voltage and the Q varies by the square of the voltage. Lacking this information, I suspect that a simple constant impedance load model would be better than a constant P-Q model.

Differing economic evaluation criteria among utilities require different approaches to the optimization problem. Utilities using very high values for fixed substation and generation capacity savings may achieve a more economical solution by optimizing the peak load condition first, although I admit to being skeptical of this. Then the load is decremented in steps until the cost of losses is more important, a more economical solution can usually be achieved by first optimizing the location of fixed banks at the peak load and then incrementing the load in steps to determine the optimal location, size, and switching levels of the switched banks.

I believe that the latter approach is more practical for most utilities. One reason is that most feeders operate near minimum or average load levels rather than higher values for substation and generation costs are based on peak load. Another reason is that in many cases, whether values for substation and generation costs are based on peak load or average load, the approach is compatible with assumptions made for capacitor economic evaluation. This approach can be easily programmed using an intuitive algorithm that recognizes how a feeder typically operates. It yields a near-optimal solution that is difficult to improve upon significantly. I will state this in words, giving the reader the freedom of choice in selecting the best method for solving the load flow and making decisions.

Finally, the method proposed in the paper frequently is simply the selection of

the optimal location of the one capacitor bank needed at minimum load:

- 2) Increment the load in steps. At each load level ask the question, "Is more capacitance needed?" If so, then determine optimal switched capacitor locations and sizes based primarily on loss and voltage profile improvement.
- 3) Once peak load is reached, decrement the load to determine switch-off load levels.

This very simplistic method of locating and sizing capacitors incrementally tends to distribute smaller size banks over the feeder where they are needed and when they are needed. Generally, no more than one capacitor is added at a load level and the search for optimum location is trivial. My simulations of the feeder over a year's time considering daily and seasonal load cycles indicate that it is difficult to significantly improve upon this method economically. One can always find a solution that appears to be a few percentage points better, but I do not think that the basic data are known with sufficient accuracy to quibble over a small difference in an off-line analysis. It would require on-line control to take advantage of the small gains possible. We have implemented this method in an interactive program that uses the above algorithm to get close to the most economical solution. Then the user can tweak the solution interactively taking into account practical considerations. The whole process takes but a few minutes using a personal computer (PC).

Differing approaches to the problem of capacitor size and placement will yield differing "optimal" solutions. I suspect that none are truly optimal and most approaches that consider load variation are generally adequate (methods that optimize only peak load sometimes give poor results when the entire load cycle is considered). I would hesitate to defend one approach over another too strongly because feeder load varies somewhat randomly and it would be difficult to prove which is more optimal. However, I think that methods like I have described, which are based on how the feeder operates, are apt to be more optimal more of the time. They are also simple to program and the programs execute quickly. Therefore, I question the practicality of abandoning the simpler approach in favor of a more sophisticated method like the authors have presented.

Reference

- [1] T. Frantz *et al.*, "Load behavior observed in LILCO and RG&E systems," *IEEE Trans. Power App. Syst.*, April 1984, pp. 819-831.

Manuscript received February 19, 1988.

M. E. Baran and F. F. Wu: We would like to thank Mr. Dugan for his interest in the paper and his insightful questions about the capacitor placement problem.

The algorithm outlined by Mr. Dugan is a special case of switched capacitor problem introduced in this paper. In Sec. 4.2 it is shown that assuming all the capacitors are of switched type, and for a given set of capacitors placed on the system, the problem can be decomposed into smaller subproblems each of which corresponds to minimization of losses at each of the load levels considered. However, these subproblems are coupled to each other due to the cost of capacitors. It is easy to show that when the cost of capacitors are neglected the subproblems become independent and hence the optimization for each load level can be carried out independently. Mr. Dugan's algorithm incorporates both placement and sizing problems into this decomposition scheme. It is indeed a good idea especially since he considers the capacitor sizes as discrete. Therefore, his algorithm will work, as he points out, when the objective function is power loss minimization or voltage regulation.

However, for the general case, where the cost of capacitor is important and it affects the number of capacitors to be placed, the method may not give good answers because of the coupling between the subproblems. Hence, in this case, it is not easy to answer the question how capacitors should be added as the load level increases. It seems that the best aid to answer this question would be the use of switched capacitor problem. Starting from a candidate set of capacitors and assuming them all switchable the problem can be solved by using the switched capacitor algorithm introduced in this paper. The solution will give the capacities of the capacitors, u_i^* and their settings at other load levels, $u_i^j, j = 1, \dots, n$, assuming the capacities are continuous variables. These results then can be used in answering the question mentioned above and hence the capacitors can be placed by the method proposed by Mr. Dugan. This way the search intro-

duced in this paper may not need to be carried out any further than the root.

Another point raised by Mr. Dugan is the assumption made in modeling the capacitors. It involves approximating the reactive power injected by a capacitor as constant, independent of the voltage. This assumption is justified based on the fact that $V_c = 1$ p.u. and sizes of capacitors determined by the solution need to be rounded off to get the practical size of capacitors. However, the exact model can be incorporated in the method if needed. This is explained in the closure of [14]. Note that this approximation will most likely affect the sizes, not the location, of capacitors.

The power flow model used in this paper (DistFlow equations) can handle voltage dependent loads and the solution algorithm can be generalized to take into account such loads, as explained again in the closure of [14].

Manuscript received May 2, 1988.

HASIL PENGUKURAN Gardu Malam

SEMESTER II Bulan, Mei s/d Agustus 2004

PENY	GARDU TRAFU				TGL. UKUR	WAKT. UKUR	BEBAN (AMPERE)																				TEGANGAN (VOLT)			BEBAN TRAFU		TEGANGAN UJUNG						
	NO. Gard	ALAMAT	DAYA (KVA)	TRG. (V)			JURUSAN A				JURUSAN B				JURUSAN C				JURUSAN D				PADA TRAFU				R-N	S-N	T-N	(KVA)	(%)	TITIK TUMPU	V	(%)				
							R	S	T	N	R	S	T	N	R	S	T	N	R	S	T	N	R	S	T	N									R-N	S-N	T-N	Thd
Btu	1	Jl. Gajah Mada	160	220/380	020804	20:15	30	14	12	25	97	81	114	12	74	16	39	31	36	53	52	19	237	164	217	26	217	228	220	134	84	B	212	95				
Btu	2	Jl. Panglima Sudirman	100	220/380	020804	19:50					50	48	35	17									13	14	20	6	63	62	55	22	222	222	222	40	40	B	214	97
Sic	3	Ds. Sidomulyo	75	220/380	020804	19:00	0	0	0														0	0	0	21	216	213	218	0	0	A	210	95				
Sic	4	Jl. Ry. Punten	200	220/380	020804	18:46	154	119	122	44					40	73	58	24					204	192	180	51	217	218	217	125	62	A	202	92				
Btu	5	Jl. Patimura	200	220/380	020804	18:20	43	49	45	14					100	120	140	30					143	169	185	40	223	223	222	111	55	A	208	95				
Btu	6	Jl. Trunojoyo	160	220/380	020804	18:00	12	8	5						56	30	29	25	157	162	121	28	225	200	159	63	220	220	221	128	80	D2A10	210	95				
Sic	7	Ds. TI. Rejo	160	220/380	020804	18:15					69	69	108	35					37	40	43	9	106	109	151	43	212	212	212	78	48	B	209	95				
Btu	8	Jl. Panglima Sudirman	160	220/380	020804	19:35					12	105	122	34					31	15	38	19	152	120	160	51	233	233	233	101	63	D	220	100				
Pjn	9	Jl. Hasanudin	250	220/380	050904	19:10	155	150	100	73					109	105	143	30					274	255	252	60	214	214	215	187	67	A	211	96				
Btu	10	Jl. Imam Bonjol Atas	160	220/380	170704	18:35					61	51	47	37					68	48	64	36	150	100	131	47	222	223	222	85	53	D	205	93				
Sic	11	Jl. Selecta	75	220/380	020704	18:10	23	11	23	40					10	5	18	9					33	16	41	29	218	218	220	20	26		210	95				
Btu	12	Jl. Wr. Supratman	160	220/380	050704	18:30	25	20	15	8	21	39	12	25	75	79	53	26	121	57	65	64	243	192	145	112	217	218	219	126	79	D	210	95				
Sic	13	Jl. Ry. Sidomulyo	200	220/380	050704	18:55	44	60	47	18					54	51	82	16	45	46	31	12	143	167	160	49	218	219	219	102	51	B	204	93				
Sic	14	Jl. Ry. Sidomulyo	160	220/380	050704	18:55																	145	151	169	35	215	215	215	100	62	A	205	94				
Sic	15	Jl. Ry. Sidomulyo	200	220/380	120904	18:43	45	139	173	66					61	30	11	8					106	206	242	98	222	222	218	123	61	A	209	95				
Pjn	16	Jl. Songgoh	200	220/380	050704	18:50					42	48	38	12					58	66	74	19	101	107	112	16	222	222	222	71	36	C12	216	95				
Btu	17	Jl. Alkitab	160	220/380	170704	19:45					112	104	97	15					82	70	61	9	194	180	178	30	220	218	219	121	76	D04	205	91				
Pjn	18	Jl. Panglima Sudirman	6930	220/380	050704	18:30																	0	0	0					0	0							
Pjn	19	Jl. Raya Pujon	160	220/380	170704	18:30					32	62	10	15					100	77	24	40	132	129	123	35	215	216	216	83	52	D	173	79				
Btu	20	Jl. Suropas	160	220/380	050704	18:30	51	40	66	23					109	112	117	10					140	152	183	35	220	220	219	105	65	C	204	93				

HASIL PENGUKURAN GARDU MALAM

SEMESTER II Bulan, Mei s/d Agustus 2004

NO	PENY.	GARDU TRAFU				TGL. UKUR	JAM UKUR	BEBAN (AMPERE)																				TEGANGAN (VOLT)			BEBAN TRAFU		TEGANGAN UJUNG		
		NO. Gard	ALAMAT	DAYA (KVA)	TEG. (V)			JURUSAN A				JURUSAN B				JURUSAN C				JURUSAN D				PADA TRAFU				PADA TRAFU			(KVA)	(%)	TITIK TUMBUH	V	(%)
								R	S	T	N	R	S	T	N	R	S	T	N	R	S	T	N	R	S	T	N	R-N	S-N	T-N					
21	Sic	21	Ds. Binangun. B.A.	160	220/380	050604	18:11	54	91	75	31					75	78	70	23					129	169	145	56	218	218	219	97	60	B12	208	95
22	Jrj	22	Ds. Jeding Goret	160	220/380	080704	19:40					76	101	122	56					36	36	52	19	112	137	174	48	224	224	223	95	59	D2C8	219	100
23	Sic	23	Ds. Bumi Aji	100	220/380	050804	18:05					33	39	34	8					14	12	23	11	47	51	57	14	222	220	220	34	34	D	217	99
24	Btu	24	Jl. Panglima. Sudirman	150	220/380	110804	18:20					24	81	63	65					156	117	76	75	180	198	139	55	216	214	218	112	74	D	209	95
25	Pjn	25	Jl. Trunojoyo ✓	75	220/380	050804	18:11													29	52	35	16	29	52	35	16	220	220	220	26	34	D6A2D5	215	98
26	Sic	26	Jl. Brantas	75	220/380	050604	19:20	54	42	76	17													54	42	76	18	216	216	216	37	50	A	215	98
27	Btu	27	Jl. Diponegoro	160	220/380	050804	18:24	52	10	39		59	48	55		2	4	3	6	87	72	83	22	200	134	180	52	206	210	207	106	66	D	205	93
28	Btu	28	Jl. Arjuno	150	220/380	050804	20:21									99	92	91	9					99	92	91	9	219	224	224	62	41	A	212	96
29	Btu	29	Jl. Bromo	200	220/380	050804	19:45					95	106	79	24	30	15	33	16	91	78	28	25	216	199	140	51	229	229	229	127	64	B	219	100
30	Pjn	30	Ds. Senggiriti ✓	160	220/380	050804	18:41	36	25	19	9	4	12	10	5					10	23	36	29	50	60	65	18	224	224	224	39	25	B	203	92
31	Pjn	31	Jl. Suairo ✓	75	220/380	120804	18:05									60	41	69	21					60	41	69	21	221	222	220	38	50	C5D4C	218	99
32	Pjn	32	Jl. Indagiri ✓	160	220/380	050704	19:45	113	122	130	20					7	5	5	3					120	127	135	20	219	219	219	84	52	A	208	95
33	Pjn	33	Ds. Ngrato ✓	250	220/380	020804	18:25					72	116	124	16					127	92	89	22	199	208	213	40	213	213	212	132	53	D	195	89
34	Btu	34	Jl. Dian	160	220/380	050804	19:20					69	121	82	22					47	45	92	24	116	166	174	45	221	220	218	101	63	D3C4	209	95
35	Btu	35	Jl. Stadion	100	220/380	050304	18:20					62	65	51	15					20	5	26	14	82	74	77	22	220	220	220	51	51	B6A4	215	98
36	Pjn	36	Ds. Pandesari ✓	150	220/380	020804	19:00					97	105	36	5					57	105	36	5	194	210	72	70	226	227	229	108	72	B	196	89
37	Sic	37	Jl. Ry. Dieng	50	220/380	050604	20:05					7	5	6	2					22	13	26	9	29	18	31	16	220	220	220	17	34	A	218	99
38	Pjn	38	Jl. Ry. Beji ✓	75	220/380	050604	18:30					10	11	15	6					45	39	32	13	55	41	47	12	224	225	224	32	43	D	215	98
39	Jrj	39	Ds. Junrejo	160	220/380	080804	18:35	49	67	51	24					25	38	41	18					74	105	102	28	225	225	225	63	40	A	213	97
40	Jrj	40	Ds. Jeding	50	220/380	080604	19:45					22	41	68	36									22	41	68	36	228	226	224	30	60	D	218	99

HASIL PENGUKURAN GARDU MALAM

SEMESTER II Bulan, Mei s/d Agustus 2004

NO	PENY.	GARDU TRAFU					TGL	WAKT	BEBAN (AMPERE)																				TEGANGAN (VOLT)			BEBAN TRAFU		TEGANGAN UJUNG					
		NO GD	ALAMAT	DAYA (KVA)	TEG. (V)	UKUR			JURUSAN A				JURUSAN B				JURUSAN C				JURUSAN D				PADA TRAFU				PADA TRAFU			(KVA)	(%)	TTTIK TUMPU	V	(%)			
									R	S	T	N	R	S	T	N	R	S	T	N	R	S	T	N	R	S	T	N	R-N	S-N	T-N								
41	Jrj	41	Ds. Jeding Kulon	160	720/380	020604	19:25					32	15	39	14									67	78	35	19	99	93	74	31	230	231	231	61	38	D21	217	99
42	Slc	42	Jl. Ry. Pustan	200	220/380	050704	18:50	43	45	39	8									105	105	86	20					148	150	125	33	217	217	218	92	46	A	208	95
43	Btu	43	Jl. Ry. Mojorejo	160	220/380	050804	18:40					40	41	21	22									112	127	163	56	152	168	184	42	223	223	223	112	70	D	209	95
44	Jrj	44	Ds. Rejoso	100	220/380	050604	18:50					40	40	12	26									37	56	56	18	77	96	68	39	226	225	225	54	54	D	221	100
45	Slc	45	Ds. Kekep	50	220/380	050704	18:45	26	31	31	18					15	67	10	37									41	98	41	55	226	225	226	41	81	C	221	100
46	Pjn	46	DS.Sumberejo	160	220/380	050704	17:32	142	129	117	23					59	15	12		19	16	15		220	160	144	80	215	215	215	113	70	A12	209	95				
47	Slc	47	Ds. Bumiaji	160	220/380	100804	18:35					45	46	41	8									69	73	69	9	114	119	110	16	227	227	227	78	49	D	215	99
48	Slc	48	Ds. Kliran	160	220/380	100904	18:27	41	43	77	32					20	35	42	24									61	78	119	36	222	222	220	57	36	A13B3	216	98
49	Slc	49	Ds. Benu. B.A.	100	220/380	100804	18:22	5	4	6	3					56	66	69	18									61	70	75	20	219	219	219	45	45	C3B4C5	210	95
50	Slc	50	Ds. Pandan	160	220/380	100804	18:18					120	114	109	15					105	60	91	42	225	183	200	52	218	220	219	133	83	B2C3B4	209	95				
51	Slc	51	Dk. Dadazan	50	220/380	100804	18:22					9	7	6	5					35	30	45	16	44	37	51	16	220	222	219	29	58	D	215	98				
52	Slc	52	Ds. Ngujung	150	220/380	050804	18:45					30	17	59	39					50	81	74	32	80	98	133	49	221	221	219	69	46	B2A16B3	210	95				
53	Slc	53	Ds. Giripurno	200	220/380	240704	22:22					72	80	87	14					125	127	138	15	197	207	225	38	222	219	218	140	70	B2A15B7	205	93				
54	Pjn	54	Jl. Surcsati	160	220/380	050804	18:48					69	89	59	16					85	71	74	18	154	160	133	35	222	222	221	99	62	D	210	95				
55	Pjn	55	Jl. Raya Ngundal	150	220/380	050804	18:11					8	9	7	3					74	58	80	30	82	67	87	16	220	220	220	52	35	D	217	99				
56	Btu	56	Jl. Raya Mojorejo	100	220/380	100804	18:11					15	32	18	17					36	49	18	34	51	81	36	48	225	225	225	38	38	B	218	99				
57	Pjn	57	Dk. Sebahh	150	220/380	020704	18:21					67	57	53	22					30	27	29	13	96	94	112	40	216	216	216	55	43	B	201	91				
58	Pjn	58	Dk. Pandemas	100	220/380	020704	18:11					23	30	38	15					0	32	42	40	23	62	80	34	220	219	219	36	36	B	214	97				
59	Pjn	59	Dk. Maron	100	220/380	020704	18:11					74	61	83	4					32	31	35	13	106	95	118	16	216	218	215	69	69	D	193	88				
60	Pjn	60	Dk. Jurangrejo	160	220/380	020704	18:11	120	140	160	19									60	70	60	2	180	210	160	22	218	217	220	120	75	A	185	85				

HASIL PENGUKURAN GARDU MALAM

SEMESTER II Bulan, Mei s/d Agustus 2004

NO	PENY.	GARDU TRAFU				TGL	JAM	BEBAN (AMPERE)																TEGANGAN (VOLT)			BEBAN TRAFU		TEGANGAN UJUNG									
		NO. Gd	ALAMAT	DAYA (KVA)	TRG. (V)			UKUR	UKUR	JURUSAN A				JURUSAN B				JURUSAN C				JURUSAN D				PADA TRAFU			R-N	S-N	T-N	(KVA)	(*)	TITIK TUMPU	V	(*)		
										R	S	T	N	R	S	T	N	R	S	T	N	R	S	T	N	R	S	T									N	
61	Pjn	61	Ds.Ngrcto ✓	100	220/380	020704	19.00					52	49	83	41					70	45	46	35	122	34	129	75	209	211	210	72	72	B	202	92			
62	Pjn	62	KOP SAE ✓	250	220/380	020704	18.10	166	189	174	7													166	189	174	7	215	215	214	114	45	A	214	97			
63	Pjn	63	Dk.Martung ✓	100	220/380	020704	19.00					58	47	32	19					29	25	13	11	87	72	45	31	213	214	213	43	43	D	201	91			
64	Pjn	64	Dk.Lebaksari ✓	50	220/380	020704	19.20	20	21	17	7									43	20	28	20	69	41	45	8	230	230	230	36	71	U	200	91			
65	Pjn	65	Ds.Ngatzab ✓	160	220/380	020704	18.15					119	87	81	34					78	108	76	33	197	195	157	70	224	224	224	123	77	D	212	96			
66	Pjn	66	Ds.Ngatzab ✓	160	220/380	020704	18.00	79	63	17	52					64	67	10	52					143	130	27	89	211	211	215	63	63	C	168	75			
67	Pjn	67	Ds. Baj ✓	160	220/380	170704	18.45					64	52	60	14									64	52	60	14	227	227	227	40	25	D	224	102			
68	Btu	68	Ds. Oro Oro Ombo	160	220/380	180804	18.40					44	43	45	5									44	43	45	5	231	231	231	30	19	A	229	104			
69	Slc	69	Ds. Tubung Rejo	100	220/380	050804	18.21	9	8	9	2					49	49	45	8					58	57	54	14	215	215	215	36	36	D	208	95			
70	Dny	70	Atat Atat Pedagangan	160	220/380	210804	18.10													47	56	53	15	47	56	53	15	211	211	211	35	22	V	210	95			
71	Btu	71	Jl. Diponegoro	75	220/380	050704	18.30	6	7	21	13					63	76	49	26					69	83	70	15	220	219	220	24	32	D	215	98			
72	Pjn	72	Emanuel Temas ✓	100	220/380	050704	19.00					39	63	104	59					15	23	19	9	54	106	123	25	223	220	220	63	63	B	229	99			
73	Slc	73	Ds. Bayaning	100	220/380	170604	18.15	10	8	9	4					51	60	81	32					61	68	90	34	224	224	224	49	49	V	220	100			
74	Slc	74	Ds. Kungkup	75	220/380	170804	18.59					48	35	40					40	27	45		88	62	85	25	228	228	228	54	71	D	218	96				
75	Slc	75	Ds. Payan	150	220/380	170804	18.49													55	42	60	19	55	42	60	24	218	218	218	34	23	V	215	98			
76	Pjn	76	Ds.Manting ✓	100	220/380	0	18.55													0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	A	0	0			
77	Pjn	77	Dk.Geran ✓	160	220/380	050704	18.15					74	113	116	32					76	20	64	20	150	133	180	59	217	219	220	100	63	B	213	75			
78	Pjn	78	Ds. Satriharjo ✓	160	220/380	050704	17.52	74	81	48									129	128	99	16					203	209	147	65	219	219	219	122	77	VIS	215	98
79	Pjn	79	Ds.Wiyurejo ✓	160	220/380	120804	18.45					126	208	24	111					87	40	63	26	213	248	87	133	224	223	226	123	77	B	190	87			
80	Pjn	80	Ds.Madredo ✓	75	220/380	120804	18.15					30	48	131	58									39	46	131	33	218	217	215	47	63	D	191	87			

HASIL PENGUKURAN GARDU MALAM

SEMESTER II Bulan, Mei s/d Agustus 2004

NO	PENY.	GARDU TRAFU				TGL	JAM	BEBAN (AMPERE)																TEGANGAN (VOLT)			BEBAN TRAFU		TEGANGAN UJUNG										
		NO. Gd	ALAMAT	DAYA (KVA)	TEG. (V)			UKUR	UKUR	JURUSAN A				JURUSAN B				JURUSAN C				JURUSAN D				PADA TRAFU			R-N	S-N	T-N	(KVA)	(-)	TTIK TUMPU	V	(-)			
										R	S	T	N	R	S	T	N	R	S	T	N	R	S	T	N	R	S	T									N		
																										R-N	S-N	T-N											
81	Slc	81	JTV	100	220/380	240804	19:25					53	45	56	15					63	54	60	19	116	99	116	30	219	219	219	72	72	D	211	95				
82	Slc	82	Ds. Junggo, Tulungrejo	75	220/380	120804	18:15																	0	0	0													
83	Btu	83	Ds. Oro Oro Ombo	160	220/380	050804	18:28	153	115	152	48								8	6	17	12																	
84	Btu	84	Ps. Batu	250	220/380	030804	18:00	159	173	47													161	121	169	57	218	218	215	98	61	A24	207	94					
85	Btu	85	TV RI Oro Oro Ombo	160	220/380	050804	18:00													115	106	122	26	28	11	10	21	302	290	179	85	218	218	218	168	67	A3D16	210	95
86	Btu	86	Perum Batu Permai	160	220/380	030804	18:23					63	36	19	46								46	31	31	16	109	67	50	40	221	224	224	50	31	B3C14D8C7	205	93	
87	Pjn	87	Dk. Maran ✓	100	220/380	030804	18:30					7	12	16	5								70	49	42	35	100	64	59	45	222	222	221	50	31	D2A4B2	210	95	
88	Pjn	88	Ds. Pujon Kidul ✓	100	220/380	030804	19:00	22	28	26	8									23	38	22	12																
89	Pjn	89	Us. Pujon Kidul ✓	160	220/380	030804	19:15					112	92	70									46	64	75		158	156	145		224	224	223	103	64	D	199	90	
90	Slc	90	Ds. Giripurno	100	220/380	170704	18:45	17	15	19	7									41	79	60	23																
91	Slc	91	Ds. Giripurno	100	220/380	050704	19:30	32	68	51	29									21	15	16	8																
92	Slc	92	Ds. Sukrama	160	220/380	120804	18:40					48	53	45	11								54	48	32	25	102	101	77	35	221	221	223	45	45	C	218	99	
93	Slc	93	Ds. Pagasung	100	220/380	170804	19:40					29	26	14	16								24	40	10	32	53	66	24	31	216	216	218	31	31	A	208	95	
94	Pjn	94	Dk. Delik ✓	100	220/380	160804	18:00	0	5	1	5									79	83	67	27																
95	Pjn	95	Ds. Torongrejo ✓	160	220/380	050804	20:45					120	133	49	87								36	77	10	65	156	210	59	45	218	220	222	93	53	B	212	94	
96	Pjn	96	Ds. Torongrejo Tutup ✓	160	220/380	290804	19:00					116	105	91	21								33	29	18	12	147	134	99	49	210	210	214	80	50	B	202	92	
97	Pjn	97	Ds. Temat Kterek ✓	200	220/380	050704	18:15					103	59	51	53								151	182	106	78	254	241	157	96	220	220	222	143	72	C	214	97	
98	Pjn	98	Dk. Kalangan ✓	100	220/380	170704	18:00					101	51	32	24								35	54	58	19	136	105	90	45	212	212	213	70	70	B	189	96	
99	Pjn	99	Jl. Flamboyan ✓	100	220/380	050704	18:30					22	70	40	55								58	51	57	9	80	121	97	39	226	225	224	67	67	B	188	96	
100	Btu	100	Jl. Panglima Sudirman	160	220/380	050704	19:35					68	83	60	18								24	50	30	27	92	133	90	26	222	221	222	70	44	D	189	104	

HASIL PENGUKURAN GARDU MALAM

SEMESTER II Bulan, Mei s/d Agustus 2004

GAN UJUNG

NO	PENY.	GARDU TRAFO				TGL. UKUR	JAM UKUR	BEBAN (AMPERE)																				TEGANGAN (VOLT)			BEBAN TRAFO		TEGANGAN UJUNG		
		NO Gd	ALAMAT	DAYA (KVA)	TEG. (V)			JURUSAN A				JURUSAN B				JURUSAN C				JURUSAN D				PADA TRAFO				R-N	S-N	T-N	(KVA)	(%)	TITIK TUMPU	V	(%)
								R	S	T	N	R	S	T	N	R	S	T	N	R	S	T	N	R	S	T	N								
121	Btu	121	Jl. Ry.Kajang Mojorejo	160	220/380	170704	19:00					43	39	71	26					5	55	8		48	94	79	55	217	217	217	48	30	B	206	94
122	Btu	122	Plasa Batu	250	220/380	170704	19:05	33	64	61	22					132	146	114	38					165	210	175	31	221	221	224	122	49	C	217	99
123	Pjn	123	Jl.Raya Pujon ✓	150	220/380	010804	18:25					72	44	80	40					105	110	80	39	177	154	160	42	214	214	214	105	70	D	197	90
124	Pjn	124	kosong	50																				0	0	0					0	0			0
125	Slc	125	Hotel Panama	250	220/380	190804	18:40					60	63	64	8									60	63	64	8	218	218	218	41	16		214	97
126	Pjn	126	Jl. Sudro ✓	150	220/380	120804	18:00	1	1	17						228	202	180	49					229	203	197	55	219	220	219	138	92	C4D4C6	209	95
127	Btu	127	Jl. Arjuna	150	220/380	170804	19:55	169	118	86	64					64	88	77	32					232	206	163	81	225	226	226	135	90	A	207	94
128	Slc	128	Ds. Giripora	150	220/380	240704	20:15					79	92	83	9					62	41	54	22	141	133	137	20	219	219	224	90	60	D	212	96
129	Pjn	129	Jl. Flamboyan ✓	160	220/380	240804	18:23	111	59	114	29					53	110	59	20					164	169	173	31	218	218	218	110	69	A11	213	97
130	Btu	130	Jl. Panglima.Sudirman	150	220/380	110804	18:10					17	21	41	25					68	88	72	22	85	109	113	31	220	221	220	68	45	D	215	98
131	Btu	131	Ds. Beji	150	220/380	120804	18:00	93	100	141						102	90	83						195	190	224	61	222	223	222	135	90	A	206	94
132	Btu	132	Jl. Patimura	160	220/380	170604	18:20					143	190	152	51					26	21	19	7	169	211	171	54	220	218	220	121	76	D04A15	209	95
133	Slc	133	DS. Bore	160	220/380	170704	20:05	70	50	55						35	38	48						105	98	106	16	225	225	225	70	43	C	215	98
134	Slc	134	Belakang Pasar Batu	100	220/380	180504	19:15					40	33	37	9	12	50	13	35					52	83	50	51	220	220	221	41	41		209	95
135	Slc	135	Ds. Junggo. Tulungrejo	50	220/380	170604	17:21	5	2	4						28	3	15						33	5	19	33	229	229	230	13	26	A	219	100
136	Jrj	136	Holtikusura	100	220/380	080804	18:00	55	60	38	12													55	60	38	12	215	214	216	33	33	A8	209	95
137	Slc	137	Jl. Ry.Panten	100	220/380	170704	18:15	22	23	12	7													22	23	12	7	216	216	216	12	12	A	212	96
138	Btu	138	kosong	KO																				0	0	0	12	220	220	220	0	0	A	218	99
139	Btu	139	Hotel Kartika	160	220/380	170704	18:45																	0	0	0	28	216	221	20	0	0	B	220	100
140	Btu	140	Telkom Batu	250	220/380	180804	18:15					47	40	41	7									47	40	41	7	232	232	232	30	12	B	230	105

HASIL PENGUKURAN GARDU MALAM

SEMESTER II Bulan, Mei s/d Agustus 2004

NO	PENY.	GARDU TRAFU				TGL. UKUR	JAM UKUR	BEBAN (AMPERE)																				TEGANGAN (VOLT)			BEBAN TRAFU		TEGANGAN UJUNG		
		NO. Gd	ALAMAT	DAYA (KVA)	TEG. (V)			JURUSAN A				JURUSAN B				JURUSAN C				JURUSAN D				PADA TRAFU				R-N	S-N	T-N	(KVA)	%	TITIK	V	%
								R	S	T	N	R	S	T	N	R	S	T	N	R	S	T	N	R	S	T	N								
41	Sic	141	Ds. Tegal Sari	150	220/380	100704	19:00	59	60	72	14					40	51	35	18					99	111	107	28	228	227	226	72	48	A	212	96
42	Sic	142	Ds. SumberGondo	100	220/380	170704	18:31	46	48	60	16					110	96	78	40					156	144	138	50	218	217	219	95	95	A	205	93
43	Btu	143	Hotel Aside	100	220/380	170704	18:50					35	37	42	9									35	37	42	9	216	216	216	25	25	D	212	96
44	Btu	144	Jl. Raya Baji	160	220/380	170704	19:05					117	108	133	23					47	12	41	33	164	120	174	46	220	220	220	101	63	D02C10	210	95
45	Pjn	145	Dk. Watugong ✓	100	220/380	170704	18:45					19	40	52	15					43	32	37	18	62	72	89	34	212	212	211	47	47	D	204	93
46	Btu	146	Wr. Supratna	160	220/380	170704	18:50					42	47	39	9					98	106	70	26	140	153	109	48	222	221	222	89	56	D	218	99
47	Pjn	147	Dk. Torong ✓	50	220/380	170704	18:00					13	33	1	25					22	32	35	19	35	65	36	27	210	204	206	29	57	D	189	86
48	Jrj	148	Ds. Junrejo	160	220/380	080804	19:10	68	81	64	19					31	33	42	12					99	114	106	25	236	235	235	75	75	A	227	103
49	Sic	149	Ds. Bulukerto	150	220/380	100804	19:20					24	25	13	13					79	51	63	30	103	76	76	36	220	220	218	56	35		210	95
50	Sic	150	Ds. GLang	150	220/380	170804	19:10	98	97	89	12					41	58	37	20					139	155	126	33	217	216	216	91	61	C	207	94
51	Jrj	151	Balai. Dess. Tlekung	160	220/380	080804	18:10	65	87	118	40													66	87	116	40	226	229	226	61	61	D14AS	209	95
52	Jrj	152	Ds. Tlekung	160	220/380	080804	18:20					35	72	96	25					91	29	45	43	176	101	141	68	222	226	224	93	58	D12MD3A4	217	99
53	Pjn	153	Dk. Sebak ✓	160	220/380	080804	18:00					85	142	119	52					14	18	5	14	99	160	124	66	216	214	214	83	52	D	179	81
54	Jrj	154	Ds. Gadang Kulan	160	220/380	080804	18:15					68	51	65	20					26	47	28	18	91	98	93	30	228	225	225	64	64	D	221	100
55	Jrj	155	Ds. Princi	50	220/380	080804	18:15					30	25	39	25					27	23	25	11	57	48	64	37	230	230	230	39	78	B	210	95
56	Pjn	156	Ds. Wukir ✓	100	220/380	100804	18:45					30	36	23	11									30	36	23	11	218	218	218	19	19	C	207	94
57	Sic	157	Hotel Orkid	100	220/380	100804	19:10									64	62	66	7					64	62	66	7	231	231	231	44	44		226	103
58	Btu	158	Kesang Dk. Sbr. Kumpul	800	220/380	08-12																		0	0	0	227	227	227	0	0	J		0	
59	Btu	159	Jl. Ry Moprejo	100	220/380	080804	18:00					05	49	42	26					15	9	11	8	80	58	53	29	220	221	221	42	42	B	213	97
60	Pjn	160	Ds. Gunung Sari ✓	100	220/380	080804	18:20					54	31	48	21					45	81	65	26	99	112	113	33	221	221	219	72	72	B	215	98

HASIL PENGUKURAN GARDU MALAM

SEMESTER II Bulan, Mei s/d Agustus 2004

NO	PENY.	GARDU TRAFU				TGL	JAM	BEBAN (AMPERE)																TEGANGAN (VOLT)			BEBAN TRAFU		TEGANGAN UJUNG								
		NO. GW	ALAMAT	DAYA (KVA)	TEG. (V)			UKUR	UKUR	JURUSAN A				JURUSAN B				JURUSAN C				JURUSAN D				PADA TRAFU				R-N	S-N	T-N	TUMPU	V	(-)		
										R	S	T	N	R	S	T	N	R	S	T	N	R	S	T	N	R	S	T	N								
										PADA TRAFU				PADA TRAFU				PADA TRAFU				PADA TRAFU															
161	Sic	161	Ds. Sumber Brantas	250	220/380	190804	17:05	125	114	150	45					55	54	65	17							180	168	215	42	225	223	223	127	51	C	205	93
162	Btu	162	Ds. Toyo Merto	100	220/380	190804	19:30	36	35	51	17					29	15	12	15						65	50	63	17	222	220	223	40	40	B	215	98	
163	Jrj	163	Ds. Selokerto	100	220/380	190804	18:15					81	75	60	28					14	28	34	15		95	103	94	31	229	228	230	67	67	D	217	99	
164	Pjn	164	Ds. Srebet	30	220/380	190804	19:40								12	14	18	7						12	14	18	81	120	122	120	5	18	D	110	50		
165	Pjn	165	Ds. Pentil	100	220/380	190804	19:20					47	25	33	23	100	43	66	52	2	4	2	3		149	72	101	76	222	226	223	71	71	D6C6B2	210	95	
166	Pjn	166	Dk. Tretas	50	220/380	050704	19:00													38	45	24	18		38	45	24	18	218	218	218	23	47	D	209	95	
167	Pjn	167	Dk. Dadapan	50	220/380	050704	13:15													20	20	16	8		20	20	16	8	216	218	217	12	24	D	216	98	
168	Pjn	168	Bukit Pinus	25	220/380	170704	19:05	10	25	18	15														10	25	18	15	225	223	220	12	48	A	217	99	
169	Sic	169	Ds. Ngujung	160	220/380	170704	19:30					12	9	26	12					81	68	69	34		93	77	95	33	220	222	222	58	36	D	219	95	
170	Sic	170	Ds. Tawang Argo	160	220/380	170704	18:47	109	80	143	45					6	4	8	5						115	84	151	55	218	219	218	76	48	C	210	95	
171	Btu	171	Jl. Sultan Agung	25	220/380	170704	18:40	17	56	20	38														17	56	20	38	229	223	226	21	85	A	219	100	
172	Pjn	172	Ds. Srebet	160	220/380	170704	19:40					28	55	33	25					145	104	29	99		173	159	62	113	222	227	223	87	55	D4	218	99	
173	Btu	173	Jl. Imam Bonjol	250	220/380	170704	18:10					215	210	217	37					64	87	133	46		279	297	350	70	217	217	217	201	80	B7A6	209	95	
174	Pjn	174	Jl. Arumjalu	160	220/380	170704	19:05	102	96	140	44					20	26	48	20						122	122	188	64	217	221	218	94	59	A11	213	97	
175	Pjn	175	Jl. Songgoriti	160	220/380	170704	19:05	32	22	15	15														32	22	15	15	225	225	225	16	10	A	215	98	
176	Sic	176	Ds. Baran BAJ	150	220/380	120504	18:50	71	75	50	16					58	47	87	35						129	122	137	34	219	219	219	85	57	C	209	95	
177	Btu	177	Jl. Arjuna	160	220/380	170504	18:10	124	115	97	48					110	32	49	62						234	147	146	106	218	218	218	115	72	A	204	93	
178	Sic	178	Jl. Ry. Sedomulyo	160	220/380	170504	19:05	5	14	24	16					83	78	113	24						88	92	137	35	219	220	219	69	43	C	215	98	
179	Sic	179	Wonekoyo Rejo Koyo	250	220/380	170504	18:45									115	118	145	33						115	118	145	33	222	222	222	84	34	A	220	100	
180	Pjn	180	Kantor Fos Batu	250	220/380	170504	19:30					90	111	74	45					64	83	37	40		154	194	111	46	219	219	220	101	40	B	212	96	

HASIL PENGUKURAN Gardu Malam

SEMESTER II Bulan, Mei s/d Agustus 2004

NO	PENY.	GARDU TRAFU				TGL. UKUR	JAM UKUR	BEBAN (AMPERE)																				TEGANGAN (VOLT)			BEBAN TRAFU		TEGANGAN UJUNG						
		NO. Grd	ALAMAT	DAYA (KVA)	TEG. (V)			JURUSAN A				JURUSAN B				JURUSAN C				JURUSAN D				PADA TRAFU				PADA TRAFU			(KVA)	(%)	TTTJK TUMPU	V	(%) Th ¹ V _n				
								R	S	T	N	R	S	T	N	R	S	T	N	R	S	T	N	R	S	T	N	R	S	T						N	R	S	T
181	Jrj	181	Ds. Precat	100	220/380	170604	18:00					14	34	36					21	30	18					35	64	54	27	218	219	219	33	33	D	210	95		
182	Stu	182	Pandeman Hill	25	220/380	170604	19:00					4	2	2	5				6	8	6	4				10	10	8	13	218	217	218	6	24	D	216	98		
183	Stu	183	Pandeman Hill	25	220/380	170604	19:05					6	6	7	3				2	4	3	4				8	10	10	5	216	218	216	6	24	D	214	97		
184	Btu	184	Pandeman Hill	25	220/380	170604	19:15					5	7	4	6				3	2	2	4				8	9	6	6	222	222	222	5	20	B	220	100		
185	Btu	185	Pandeman Hill	25	220/380	170604	19:40					2	4	3	4				4	6	5	5				6	10	8	3	222	221	220	5	21	C	219	100		
186	Stu	186	Pandeman Hill	100	220/380	170604	19:50	6	8	8	5					4	3	4	4								10	11	12	6	230	230	230	8	8	A	228	104	
187	Stu	187	Pandeman Hill	100	220/380	170604	20:00	3	4	4	3					3	3	5	6								6	7	9	11	225	226	226	5	5	A	222	101	
188	Pin	188	Jl. Lesti	160	220/380	120804	18:20	83	79	125	52					25	56	37	26								108	135	162	50	221	220	220	90	56	A	218	99	
189	Pjn	189	Jl. Kasiman	160	220/380	120804	18:15					92	94	78	12					23	49	17	34					115	143	95	47	220	221	222	73	49	D	215	98
190	Stc	190	Jl. Brantas	160	220/380	120804	18:25	21	29	37						81	79	37	35								102	108	74	22	221	221	223	63	39	C	215	98	
191	Stu	191	Puri Incah Beji	200	220/380	120804	19:10	103	136	144	45					54	31	54	26								157	167	198	45	218	219	218	114	57	B	206	91	
192	Dny	192	Alat Alat Pertanian	200	220/380	120804	13:20													33	35	33	3					33	35	33	3	225	225	225	23	11	D	228	164
193	Stu	193	Agrowisza	200	220/380	120804	19:20					108	99	96	15												108	99	96	15	225	225	225	68	34	A	220	100	
194	Stu	194	Hotel Panorama	200	220/380	120804																					0	0	0					0	0				
195	Pjn	195	KOP SAE	160	220/380	180804	18:20					36	44	47	8												36	44	47	8	231	231	231	29	13	B	230	105	
196	Pjn	196	Dk. Bundar	25	220/380	180804	18:35					13	0	0	13					37	14	16	17					50	14	16	33	206	215	211	16	66	A	204	93
197	Pjn	197	Dk. Ngebrong	25	220/380	180804	18:35													30	13	32	14					30	13	32	14	213	218	217	16	64	D	209	90
198	Pjn	198	Pasar Baru	100	220/380	180804	18:00	72	93	55	30					8	20	9	13								80	113	64	43	214	214	215	55	55	B	212	95	
199	Stu	199	Kartika (Clab Bunga)	200	220/380	180804	05:30					173	177	159	9												173	177	169	9	224	224	224	116	58		200	100	
200	Pjn	200	Ds. Tazun	100	220/380	180804	18:00					5	5	5						9	12	8	6					14	17	13	2	219	218	219	10	10	B	219	97

HASIL PENGUKURAN GARDU MALAM

SEMESTER II Bulan, Mei s/d Agustus 2004

NO	PENY.	GARDU TRAFU				TGL. UKUR	JAM UKUR	BEBAN (AMPERE)																				TEGANGAN (VOLT)			BEBAN TRAFU		TEGANGAN UJUNG		
		NO. Grd	ALAMAT	DAYA (KVA)	TEG. (V)			JURUSAN A				JURUSAN B				JURUSAN C				JURUSAN D				PADA TRAFU				R-N	S-N	T-N	(KVA)	(*)	TITIK TUMPU	V	(*)
								R	S	T	N	R	S	T	N	R	S	T	N	R	S	T	N	R	S	T	N								
201	Pjn	201	Ds. Tanbuh ✓	25	220/380	180804	18:15					5	5	5	0					6	7	8	1	11	12	13	1	217	218	218	8	31	D5	216	98
202	Pjn	202	Ds. Tanbuh ✓	25	220/380	180804	18:30					2	1	1						2	1	2		4	2	3	2	221	223	223	2	8	B5	220	100
203	Btu	203	Indosiar	160	220/380	180804	18:10									64	73	78	15					64	73	78	15	225	227	227	48	30	D	225	100
204	Pjn	204	Dk.Tulungrejo ✓	25	220/380	180804	18:30									23	13	16	9					23	13	16	9	213	213	212	11	44	C	192	87
205	Sic	205	Junggo TL Rejo	100	220/380	180804	20:30	48	42	42	7													48	42	42	10	225	225	225	30	30	A	220	100
206	Btu	206	Day Lawan	25	220/380	021004		b	e	b	a	n	k	o	s	o	n	g						0	0	0					0	0			0
207	Btu	207	Agrowisata	100	220/380	170804	19:15					22	22	26	4					62	56	55	10	84	78	81	11	220	220	220	53	53	B2A1D2A6	210	95
208	Btu	208	Indopot	160	220/380	170804	19:00	111	120	96	26													111	120	96	26	216	216	216	71	44		210	95
209	Btu	209	Jl. Mojorejo	160	220/380	010804	18:15					75	81	68	19					48	56	50	16	123	137	118	33	219	219	219	83	52	B17	210	95
210	Sic	210	Agro Kencana	160	220/380	010804	17:10					22	20	19	5					52	34	32	14	74	54	51	17	222	222	220	46	25	B	216	98
211	Btu	211	R. S. Batis	160	220/380	170804	18:00								54	50	60	12					54	50	60	12	226	226	226	37	23	B	222	101	
212	Pjn	212	Dk. Bon Bayi ✓	100	220/380	160804	19:00					23	27	24	6					1	0	0	1	24	27	24	5	215	217	217	16	16	B	213	97
213	Pjn	213	Dk. Dadazan ✓	50	220/380	160804	18:30													53	65	66	12	53	55	66	12	213	214	214	39	78	D	202	92
214	Btu	214	Jl. Dewisartika	160	220/380	160804	17:50					51	79	57	25					20	28	32	14	71	107	89	47	213	217	216	58	36	B	206	94
215	Pjn	215	JL. Sakura ✓	50	220/380	160804	19:20								68	71	39	33					68	71	39	33	215	217	221	38	77	C	206	94	
216	Pjn	216	Dk. Delik ✓	100	220/380	160804	18:15					73	42	54	34					69	56	71	18	142	98	125	53	212	212	211	77	77	D	188	85
217	Pjn	217	Ds. Bras ✓	100	220/380	170804	18:30									28	18	16	22					28	18	16	22	225	225	225	14	14		226	160
218	Pjn	218	Ds. Gunung Sari ✓	100	220/380	090704	17:50	54	56	33	24					6	9	7	5					60	65	40	24	225	224	225	37	37	A	209	95
219	Pjn	219	Ds. Manting ✓	100	220/380	120804	19:00	85	64	64	21													85	64	64	22	215	220	218	45	46	C	190	90
220	Sic	220	Ds. Binangun. B.A.	100	220/380	120804	19:00					51	53	38										51	58	38	21	215	215	215	32	32	D	190	90



HASIL PENGUKURAN GARDU MALAM

SEMESTER II Bulan, Mei s/d Agustus 2004

NO	PI:NY.	GARDU TRAFU				TGL- UKUR	JAM UKUR	BEBAN (AMPERE)																TEGANGAN (VOLT)			BEBAN TRAFU		TEGANGAN UJUNG										
		NO. Gnd	ALAMAT	DAYA (KVA)	TEG. (V)			JURUSAN A				JURUSAN B				JURUSAN C				JURUSAN D				PADA TRAFU			R-N	S-N	T-N	(KVA)	(%)	TITIK TUMPU	V	(% Tbd)					
								R	S	T	N	R	S	T	N	R	S	T	N	R	S	T	N	R	S	T													
																								R	S	T													
221	Btu	221	Ds.Sumbersekar Dau	150	220/380	080804	18:50					82	128	75					2	2	1				84	130	76	52	225	220	224	65	44	D	210	95			
222	Btu	222	Jl. Kartika (Jatim Park	200	220/380	170804	09:00																	234	234	235	5	234	234	235	5	230	229	229	162	81		226	103
223	Pjn	223	Dk.Sobo	50	220/380	170804	19:05											10	44	22	36			10	44	22	35	215	213	214	16	33	C	200	91				
224	Btu	224	Jl. Kartika Bunga	100	220/380	170804	19:10																	0	0	0	12	218	219	217	0	0	D	215	93				
225	Slc	225	Perum Agro Kencana	100	220/380	170804	19:00																	0	0	0	11	221	220	222	0	0		210	95				
226	Btu	226	Panderman Hill	100	220/380	170804	19:50	5	7	7		3	2	3	2									8	9	10	10	230	230	230	6	6	A	228	100				
227	Slc	227	Ds. Sumber brantas	160	220/380	170804	17:11	112	97	117	24							19	39	18	12			131	136	135	35	211	214	211	85	53	A	207	94				
228	Slc	228	Kusuma ES f	100	220/380	170804																		0	0	0					0	0							
229	Slc	229	Hotel Wijaya IN	75	220/380	170804	B-OP																	0	0	0					0	0							

Di. Terima :
Sie. Har

Batu, 06 SEPTEMBER 2004
ASMEN TEKNIK

S U J O K O