

**ANALISA PENEMPATAN KAPASITOR DENGAN MENGGUNAKAN METODE
BINARY LINEAR DETERMINISTIC PADA SISTEM KELISTRIKAN DI
POWER & WATER PLANT OPERATION - TEKNIK & PF PERTAMINA UNIT BISNIS EP
. TANJUNG, KALIMANTAN SELATAN**

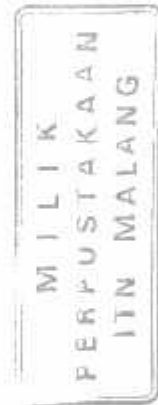
SKRIPSI

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

Disusun Oleh :

DIANA PUSPITA SARI

NIM : 0112115



Dosen Pembimbing :

Ir. Taufik Hidayat, MT.

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2009**

LEMBAR PERSETUJUAN

ANALISA PENEMPATAN KAPASITOR MENGGUNAKAN METODE
BINARY LINEAR DETERMINISTIC PADA SISTEM KELISTRIKAN
POWER PLANT OPERATION PERTAMINA UNIT BISNIS EP
TANJUNG, KALIMANTAN SELATAN

SKRIPSI

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

Disusun Oleh :

DIANA PUSPITA SARI

NIM : 0112115

**Diperiksa dan Disetujui,
Dosen Pembimbing**



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

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1



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

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2009**



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
Jl. Karanglo km 2, Malang


BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

Nama : Diana Puspita Sari
NIM : 0112115
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
Judul Skripsi : ANALISA PENEMPATAN KAPASITOR DENGAN
MENGUNAKAN METODE BINARY LINIER DETERMINISTIC
PADA SISTEM KELISTRIKAN DI POWER & WATER PLANT
OPERATION -TEKNIK&PF PERTAMINA UNIT BISNIS EP
TANJUNG,KALIMANTAN SELATAN

Dipertahankan di hadapan Majelis Penguji Skripsi Jenjang Strata Satu (S-1) pada :
Hari : Rabu
Tanggal : 7 Oktober 2009
Dengan Nilai : 77,4 (B+) ✓

Panitia Ujian Skripsi

Ketua Majelis Penguji


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

Sekretaris Majelis Penguji



Dr. Eng. Aryananto Soetedjo ST, MT.
NIP.Y.1030800417

Anggota Penguji,

Penguji I


Irrine Budi Sulistiawati, ST, MT.
NIP. 197706152005012002

Penguji II


Ir. M. Abdul Hamid, MT.
NIP. Y. 11018800188



PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI

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

Hari : Rabu
Tanggal : 7 Oktober 2009

Telah dilakukan perbaikan skripsi oleh :

1. Nama : Diana Puspita Sari
2. NIM : 01.12.115
3. Jurusan : Teknik Elektro S-1
4. Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
5. Judul Skripsi : ANALISA PENEMPATAN KAPASITOR DENGAN MENGGUNAKAN METODE BINARY LINIER DETERMINISTIC PADA SISTEM KELISTRIKAN DI POWER & WATER PLANT OPERATION TEKNIK & PF PERTAMINA UNIT BISNIS EP TANJUNG, KALIMANTAN SELATAN

No	Materi Perbaikan	Ket
1	Disesuaikan isi BAB II, BAB III dan analisa data apa tujuan skripsi?	
2	Proses pengerjaan teori dan rumus yang digunakan serta data data harus jalan dari mana?!	
3	Buat laporan skripsi bukan PKN	

Disetujui Oleh

Penguji I

Irrine Budi Sulistiawati, ST, MT
NIP. 197706152005012002

Mengetahui
Dosen Pembimbing

Ir. Taufik Hidayat, MT
NIP. Y.10187000151



PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI

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

Hari : Rabu
Tanggal : 7 Oktober 2009

Telah dilakukan perbaikan skripsi oleh :

1. Nama : Diana Puspita Sari
2. NIM : 01.12.115
3. Jurusan : Teknik Elektro S-1
4. Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
5. Judul Skripsi : ANALISA PENEMPATAN KAPASITOR DENGAN MENGGUNAKAN METODE BINARY LINIER DETERMINISTIC PADA SISTEM KELISTRIKAN DI POWER & WATER PLANT OPERATION TEKNIK & PF PERTAMINA UNIT BISNIS EP TANJUNG, KALIMANTAN SELATAN


No	Materi Perbaikan	Ket
1	Data Lampiran yang diperlukan saja	LF
2	Tempat kapasitor sebelum dan sesudah di mana?	AF
3	Penghematan dalam daya	AF
4	Kemampuan person sangat kurang !	AF

Disetujui Oleh

Penguji II


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

Mengetahui
Dosen Pembimbing


Ir. Taufik Hidayat, MT
NIP. Y.10187000151

ABSTRAK

ANALISA PENEMPATAN KAPASITOR DENGAN MENGGUNAKAN METODE BINARY LINEAR DETERMINISTIC PADA SISTEM KELISTRIKAN DI POWER & WATER PLANT OPERATION – TEKNIK & PF PERTAMINA UNIT BISNIS EP TANJUNG, KALIMANTAN SELATAN

(Diana Puspita Sari, Nim. 01.12.115, Teknik Elektro/T.Energi Listrik S-1)

(Dosen Pembimbing : Ir. Taufik Hidayat, MT)

Kata Kunci : Profil Tegangan, Penempatan Kapasitor Faktor Daya, Rugi-Rugi Daya.

Keterbatasan cadangan daya sistem kelistrikan di Power & Water Plant Operation - Teknik & PF Pertamina Unit Bisnis Tanjung, Kalimantan Selatan yang hanya sekitar 76 % atau 637,098 bbl dari total daya mampu produksi sistem kelistrikan di Power & Water Plant Operation - Teknik & PF Pertamina Unit Bisnis Tanjung, Kalimantan Selatan sebesar 2,147,600 (kondisi per April 2009), memaksa Power & Water Plant Operation - Teknik & PF Pertamina Unit Bisnis Tanjung, Kalimantan Selatan untuk berusaha meningkatkan mutu dan efisiensi pada sistem tenaga listrik di wilayahnya. Efisiensi dilakukan dengan berbagai cara, antara lain dengan menekan rugi-rugi daya, rugi energi, memperbaiki faktor daya dan *drop* tegangan mulai dari pembangkit, transmisi dan distribusi. Adapun tujuan dalam penulisan penelitian ini adalah untuk perbaikan profil tegangan dan mereduksi rugi-rugi daya pada penyulang di Power & Water Plant Operation - Teknik & PF Pertamina Unit Bisnis Tanjung, Kalimantan Selatan dengan cara

penempatan kapasitor yang optimal dengan menggunakan bantuan *software MATHLAB*.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisa dengan menggunakan *software MATHLAB* terhadap parameter besar kapasitas kapasitor dan letak penempatan kapasitor. Parameter tersebut disimulasikan sampai didapatkan nilai optimal, sehingga diharapkan hasilnya dapat memperbaiki profil tegangan dan faktor daya serta mengurangi rugi-rugi daya.

Dari hasil analisa dengan menggunakan *software MATHLAB* dapat diketahui bahwa letak kapasitor yang optimal terletak pada bus 8, 10, 13, 17, 18, 20, 29, 33, 37 dan 39. Dengan kapasitas kapasitor masing-masing 300 KVar, 50 KVar, 300 KVar, 50 KVar, 350 Kvar, 350 Kvar, 200 Kvar, 300 Kvar, 400 Kvar dan 300 Kvar, tegangan yang mengalami *under voltage* tidak terjadi pada semua bus. Tegangan terendah terjadi pada bus bus 38 yaitu sebesar 0,8023 pu. tegangan pada bus 14 dan 35 dapat diperbaiki masing-masing menjadi 0,96354 pu dan 0,95172 pu. Batas tegangan yang diijinkan adalah minimum sebesar 0,95 pu dan maksimum 1,05 pu. Dan setelah dilakukan penempatan kapasitor, tegangan bus pada sistem distribusi primer 20 KV di penyulang-penyulang Power & Water Plant Operation – Teknik Dan Pf Pertamina Unit Bisnis Ep Tanjung, Kalimantan Selatan tidak ada yang mengalami kondisi *under voltage*. Dengan penambahan kompensasi kapasitor total sebesar 1200 KVar terjadi kenaikan % faktor daya sistem dari 84,32 menjadi 92,24. Besarnya penurunan rugi daya aktif setelah penempatan kapasitor sebesar 19,57 % atau 38,4 KW dari 196,2 KW menjadi 157,8 KW. Dan penurunan rugi daya reaktif setelah penempatan kapasitor sebesar 20,48 % atau 43,7 KVar dari 213,3 KVar menjadi 169,6 Kvar.

KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat dan karunia-Nya, sehingga penyusun dapat menyelesaikan Skripsi ini tepat pada waktunya. Skripsi ini disusun untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik Elektro di Institut Teknologi Nasional Malang. Penyusun menyadari bahwa penyusun Skripsi ini mungkin masih jauh dari kesempurnaan, sehingga sangat diharapkan adanya saran dan masukan yang bersifat membangun dari semua pihak untuk membantu penyelesaian penyusunan Skripsi ini. Dalam penyusunan laporan Skripsi ini, penulis tak lupa mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Abraham Lomi, MSEE, selaku Rektor ITN Malang.
2. Bapak Ir. ~~E. Yudi Limpraptono~~ ^{Yusuf Ismail M,}, MT, selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1.
3. Bapak Ir. Taufik Hidayat, MT, selaku Ketua Program Studi D III Jurusan Teknik Elektro sekaligus juga sebagai Dosen Pembimbing.
4. Orang Tua yang tercinta yang selalu memberikan semangat, motivasi serta doa.
5. Teman-temanku yang telah memberikan bantuan, motivasi dan doa.
6. Semua pihak yang telah membantu terselesainya Skripsi ini.

Akhirnya penulis mengharapkan skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak, khususnya pada jurusan Teknik Elektro konsentrasi Teknik Energi Listrik.

Malang, Maret 2009

Lembar Persembahan

1. Allah SWT yang telah memberikan anugerah dan hidayah-Nya hingga penulis bisa menyelesaikan skripsi dengan baik.
2. Kedua Orang Tuaku , Ario Machmudi dan Muarifah Machmudi, atas semua dukungan, cinta dan kasih sayangnya selama ini.
3. Ir Taufik Hidayat, MT selaku Ketua Program Study Jurusan Teknik Elektro D III ITN Malang, sekaligus Dosen Pembimbing yang telah banyak-banyak membantu membimbing dalam penyusunan skripsi Diana g akan pernah lulus dr kuliah S1 TANPA BANTUAN,MURAH HATI,BELAS KASIH Bapak.
4. Bapak Bambang Soemargono, ST dan Ibu Hamsiah terima kasih bapak dan Ibu, buat dorongan, motivasi, dan nasehat-nasehat yang telah diberikan, sekaligus menjadi " Dosen Pembimbing II " selalu memberi data untuk keperluan menyelesaikan skripsi ini.
5. Harry Matheris Suhangga,ST.Suami,Sahabat,Teman yang selalu ada mendampingi dengan sabar dan sayang disaat suka maupun duka.yang telah membukakan banyak lembar-lembar dunia yang selama ini aku tidak tahu ada.
6. Putra ku Tersayang Muhammad Hardiwani Aranthza, Putri ku Tersayang Qeysha Aqila Syafiqah.Terimakasih nak buat semua Cinta Dan Sayangnya agar umi mampu menyelesaikan skripsi.Kalian inspirasi,support,motivasi terhebat,dan juga yang telah mengajarkan kebijakan dan kebajikan dengan penuh kasih sayang dan keikhlasan.
Adik-adik ku tersayang Dania Pravita Sari,Dewinta Pumahap Sari,Dhini Paramita Sari,Danang prianggoro.makasih buat segalanya kalian lah yang paling the best buat aku slaku kakak akan bangga memiliki ADIK, SAUDARA,SAHABAT,TEMAN di saat susah maupun senang.
7. Teman-teman seperjuangan Teknik Elektro Energi Listrik ITN Malang : Mas Iim KTI '99/P, Hanang KS '01, Alan Rozy '01, Aditya '99, All crew Lab Transmisi & Distribusi Daya Elektrik.
Ibu Puji Handayani at Recording Teknik Elektro ITN Malang, makasih bu udah susah payah entry ulang DPA, Mas Jayeng at Administrasi Jurusan Teknik Elektro ITN Malang, matur suwun mas !!!

dhi3_poenya@yahoo.com & 081334224411,081945555482

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN..... i

ABSTRAK..... ii

KATA PENGANTAR..... iv

DAFTAR ISI v

DAFTAR GAMBAR..... ix

DAFTAR GRAFIK xi

DAFTAR TABEL xii

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang..... 1

1.2. Rumusan Masalah..... 2

1.3. Tujuan Penelitian..... 3

1.4. Batasan Masalah..... 3

1.5. Metode Penelitian..... 3

1.6. Kontribusi Penelitian..... 4

1.7. Sistematika Penulisan..... 5

BAB II SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK

2.1. Sistem Distribusi Tenaga Elektrik..... 7

 2.1.1. Sistem Distribusi Primer (Jaringan Tegangan Menengah). 8

2.1.2. Sistem Distribusi Sekunder (Jaringan Tegangan Rendah) .	8
2.2. Struktur Jaringan Distribusi Tenaga Listrik	9
2.2.1. Sistem Jaringan Distribusi Radial.....	9
2.2.1.1. Sistem Radial Pohon.....	10
2.2.1.1. Sistem Radial Dengan <i>Tie</i> dan <i>Switch</i> Pemisah..	10
2.2.1.3. Sistem Radial Dengan Beban Terpusat	11
2.2.2. Sistem Jaringan Distribusi Tertutup (<i>Loop</i>).....	12
2.2.3. Sistem Jaringan Distribusi <i>Mesh</i>	13
2.3. Daya Dalam Sistem Tenaga	13
2.3.1. Daya Nyata (<i>Real Power</i>).....	14
2.3.2. Daya Reaktif (<i>Reactive Power</i>)	14
2.3.3. Daya Semu (<i>Apparent Power</i>).....	14
2.4. Kapasitor Daya	15
2.4.1. Kapasitor Seri dan Kapasitor <i>Shunt</i>	15
a. Kapasitor Seri	15
b. Kapasitor <i>Shunt</i>	15
2.4.2. Pemasangan Kapasitor <i>Shunt</i>	16
2.5. Faktor-faktor Pemilihan Kapasitor Seri dan <i>Shunt</i>	18
2.6. Sistem Per-Unit	19
2.7. Pengertian Faktor Daya	20
2.7.1. Faktor Daya <i>Leading</i>	23
2.7.2. Faktor Daya <i>Lagging</i>	24

2.7.3. Sumber Daya Reaktif Untuk Perbaikan Faktor Daya.....	24
2.7.4. Pengurangan Rugi Daya Dengan Kapasitor <i>Shunt</i>	25
2.8. Perbaikan Tegangan	26
2.8.1. Perbaikan Faktor Daya dan Kapasitas Sistem	27
2.8.2. Perhitungan Pengaruh Perbaikan Faktor Daya	29
2.8.3. Penentuan Rating Kapasitor Untuk Perbaikan Faktor Daya Beban	30

BAB III ANALISA ALIRAN DAYA

3.1. Analisa Aliran Daya.....	32
3.1.1 Metode Newton Rhapson.....	32
3.1.2 Algoritma Perhitungan Aliran Daya Dengan Metode Newton Rhapson.....	36
3.2. Metode Binary Linier Deterministic.....	38
3.2.1. Permodelan Pergerakan Garis Busur (Graf).....	38
3.2.2. Bentuk Pergerakan Graf.....	39
3.2.3 Algoritma Pemecahan Masalah.....	40
3.2.4 Algoritma Program Solusi Binary Linier Deterministic....	42
3.3. Algoritma Pemecahan Masalah	44
3.4. <i>Flowchart</i> Pemecahan Masalah.....	45
3.5 Rugi Daya Jaringan Dan Penghematan Biaya Kompen Sasi.....	46

BAB IV ANALISAPENEMPATAN KAPASITOR DENGAN MENGGUNAKAN METODE BINARY LINIER DETERMINISTIC PADA SISTEM KELISTRIKAN DI POWER & WATER PLANT OPERATION-TEKNIK & PF PERTAMINA UNIT BISNIS EP TANJUNG, KALIMANTAN SELATAN

4.1. Data Analisis.....	48
4.1.1. Data Saluran.....	50
4.1.2. Data Pembebanan
4.2. Program Aplikasi Binary Linier Deterministic.....	54
4.2.1 Format Data Input	54
4.2.2 Format Newton Raphson Result.....	54
4.2.3 Format Result Viewer.....	55
4.3. Analisa Perhitungan.....	55
4.3.1 Analisa Aliran Daya Awal.....	55
4.3.2 Hasil Binary Linear Deterministic.....	59
4.4. Analisa Aliran Daya Setelah Penempatan Kapasitor.....	62
4.5. Analisa Hasil Perbandingan Sebelum Penempatan Kapasitor dan Setelah Penempatan Kapasitor.....	63

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan	73
5.2. Saran	74

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Jaringan Distribusi Tegangan Menengah (JTM), Jaringan Distribusi Tegangan Rendah (JTR) dan Sambungan Rumah ke Pelanggan	7
Gambar 2.2	Sistem Jaringan Distribusi Radial	9
Gambar 2.3	Sistem Jaringan Distribusi Radial Dengan <i>Tie</i> Dan <i>Switch</i> Pemisah	11
Gambar 2.4	Jaringan Distribusi Radial Dengan Beban Terpusat	12
Gambar 2.5	Sistem Jaringan Distribusi <i>Loop</i>	12
Gambar 2.6	Sistem Jaringan Distribusi <i>Mesh</i>	13
Gambar 2.7	Kapasitor Yang Dipasang Pada Tiang Saluran Distribusi	17
Gambar 2.8	Kapasitor Yang Dipasang Pada Gardu Induk	17
Gambar 2.9	Segitiga Daya	21
Gambar 2.10	Segitiga Arus	22
Gambar 2.11	Saluran Primer dengan Beban Terpusat	22
Gambar 2.12	Faktor Daya <i>Leading</i>	23
Gambar 2.13	Faktor Daya <i>Lagging</i>	24
Gambar 2.14	Vektor Diagram Sebelum (a), (c) dan Sesudah (b), (d) Pemasangan Kapasitor <i>Shunt</i> Pada Jaringan	26
Gambar 2.15	Perbaikan Faktor Daya	27
Gambar 2.16	Diagram Fasor dan Sudut Daya Beban Pada Jaringan Distribusi	29

Gambar 3.1	<i>Flowchart</i> Aliran Daya Newton Raphson.....	37
Gambar 3.2	Notasi Dengan Graf.....	39
Gambar 3.3	Model Penempatan Kapasitor Pada Jaringan Distribusi.....	39
Gambar 3.4	Model Pergerakan Graf Kombinasi I dan II.....	40
Gambar 3.5	<i>Flowchart</i> Solusi Binary Linear Deterministic.....	41
Gambar 3.6	<i>Flowchart</i> Algoritma Binary Linear Deterministic.....	43
Gambar 3.7	<i>Flowchart</i> Pemecahan Masalah Menggunakan Software <i>MATLAB</i>	45
Gambar 3.8	<i>Flowchart</i> Pemecahan Masalah Menggunakan Software <i>MATLAB</i>	46
Gambar 4.1	Penyulang Old Power Plant dan New Power Plant.....	49

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4-1	Perbandingan Rugi Daya Aktif Sebelum Penempatan Kapasitor Dengan Setelah Penempatan Kapasitor	65
Grafik 4-2	Perbandingan Rugi Daya Reaktif Sebelum Penempatan Kapasitor Dengan Setelah Penempatan Kapasitor	66
Grafik 4-3	Perbandingan Profil Tegangan Sebelum Penempatan Kapasitor Dengan Setelah Penempatan Kapasitor.....	68
Grafik 4-4	Perbandingan Faktor Daya Sebelum Penempatan Kapasitor Dan Setelah Penempatan Kapasitor.....	70

DAFTAR TABEL

Tabel 2-1	Kapasitor Seri dan Kapasitor <i>Shunt</i>	18
Tabel 4-1	Spesifikasi Kabel Saluran Udara	50
Tabel 4-2	Impedansi Saluran Penyulang Power & Water Plant Operation- Teknik & PF Pertamina Unit Bisnis EP Tanjung, Kalimantan Selatan.....	51
Tabel 4-3	Data Pembebanan Penyulang Power & Water Plant Operation- Teknik & PF Pertamina Unit Bisnis EP Tanjung, Kalimantan Selatan.....	53
Tabel 4-4	Profil Tegangan dan Sudut Fasa Tegangan Tiap Node Penyulang Power & Water Plant Operation-Teknik & PF Pertamina Unit Bisnis EP Tanjung, Kalimantan Selatan Sebelum Kompensasi	56
Tabel 4-5	Aliran Daya Tiap Saluran Penyulang Power & Water Plant Operation-Teknik & PF Pertamina Unit Bisnis EP Tanjung, Kalimantan Selatan Sebelum Kompensasi.....	57
Tabel 4-6	Rugi Daya Tiap Saluran Penyulang Power & Water Plant Operation-Teknik & PF Pertamina Unit Bisnis EP Tanjung, Kalimantan Selatan Sebelum Kompensasi.....	58
Tabel 4-7	Profil Tegangan dan Sudut Fasa Tegangan Tiap Node Penyulang Power & Water Plant Operation-Teknik & PF Pertamina Unit Bisnis EP Tanjung, Kalimantan Selatan Sebelum Kompensasi.....	59

Tabel 4-8	Aliran Daya Tiap Saluran Penyulang Power & Water Plant Operation-Teknik & PF Pertamina Unit Bisnis EP Tanjung,Kalimantan Selatan Sesudah Kompensasi.....	60
Tabel 4-9	Rugi Daya Tiap Saluran Penyulang Power & Water Plant Operation-Teknik & PF Pertamina Unit Bisnis EP Tanjung,Kalimantan Selatan Sesudah Kompensasi.....	61
Tabel 4-10	Lokasi Penempatan Kapasitas dan Kapasitor.....	63
Tabel 4-11	Perbandingan Rugi-Rugi Daya Aktif dan Daya Reaktif Sebelum Penempatan Kapasitor Dengan Setelah Penempatan Kapasitor.....	63
Tabel 4-12	Perbandingan Profil Tegangan Sebelum Penempatan Kapasitor Dengan Setelah Penempatan Kapasitor	67
Tabel 4-13	Perbandingan Faktor Daya Sebelum Penempatan Kapasitor Dengan Setelah Penempatan Kapasitor	69
Tabel 4-14	Hasil Analisa Dengan Menggunakan <i>Software MATHLAB</i>	71

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Keterbatasan cadangan daya sistem kelistrikan Power & Water Plant Operation – Teknik & PF Pertamina Unit Bisnis EP Tanjung, Kalimantan Selatan yang hanya sekitar 76 % atau 637,098 bbl dari total daya produksi minyak PF Pertamina Unit Bisnis EP Tanjung, Kalimantan Selatan sebesar 2,147,600 (kondisi per April 2009) , memaksa Power & Water Plant Operation – Teknik & PF Pertamina Unit Bisnis EP Tanjung, Kalimantan Selatan untuk berusaha meningkatkan mutu dan efisiensi pada sistem tenaga listrik di wilayahnya. Efisiensi dilakukan dengan berbagai cara, antara lain dengan menekan rugi-rugi daya, rugi energi, memperbaiki faktor daya dan *drop* tegangan mulai dari pembangkit, transmisi dan distribusi.

Penelitian kali ini dilakukan pada feeder A dan B dari MCC Breaker Power Plant pada SPU Manunggul, yang merupakan bagian dari sistem kelistrikan Power & Water Plant Operation – Teknik & PF Pertamina Unit Bisnis EP Tanjung, Kalimantan Selatan. Melayani 2 power plant, antara lain Power Plant, Old Power Plant, New Power Plant. Power Plant–Power Plant tersebut melayani kawasan industri, kawasan perumahan, kawasan perkantoran dan perbengkelan, dan pusat pembangkit hingga kelapangan station yang sebagian besar bebannya bersifat induktif. Beban yang bersifat induktif ini menyebabkan turunnya faktor daya listrik, turunnya profil tegangan, dan akhirnya menimbulkan rugi-rugi daya yang cukup besar. Pemakaian kapasitor daya pada jaringan tenaga listrik

Adapun tujuan dalam penulisan skripsi ini adalah untuk perbaikan profil tegangan dan mereduksi rugi-rugi daya pada Power & Water Plant Operation – Teknik & PF Pertamina Unit Bisnis EP Tanjung, Kalimantan Selatan dengan cara penempatan kapasitor yang optimal dengan menggunakan bantuan *software MATHLAB*.

1.4 Batasan Masalah

Untuk menyederhanakan masalah yang akan dibahas, maka diberikan asumsi-asumsi serta batasan-batasan sebagai berikut :

1. Sistem yang akan dianalisa adalah Feeder A dan B dari MCC Breaker Power Plant di SPU Manunggul yang meliputi 2 power plant, yaitu Old Power Plant, New Power Plant.
2. Analisa dilakukan menggunakan *software MATHLAB*
3. Analisa dilakukan dengan menganggap sistem tiga fasa dalam keadaan seimbang dan dalam keadaan normal.
4. Analisa dilakukan terhadap beban maksimum, yaitu pada saat beban puncak.
5. Analisa terhadap pengaruh penempatan kapasitor terhadap rugi-rugi daya dan perbaikan profil tegangan
6. Tidak membahas masalah harmonisa.

1.5 Metode Penelitian

Metode yang digunakan untuk menyusun skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Studi literature,

yaitu kajian pustaka dengan mempelajari dan mengumpulkan sumber referensi dari buku-buku ataupun berbagai literatur, makalah atau jurnal ilmiah.

2. Pengumpulan Data

Bentuk data yang digunakan yaitu :

- a. Data kuantitatif, yaitu data yang dapat dihitung atau data yang berbentuk angka-angka.
- b. Data kualitatif, yaitu data yang berbentuk diagram, dalam hal ini adalah single line diagram Power Plant.

2. Pemodelan

Berdasarkan data yang diperoleh, maka disimulasikan dalam *software MATHLAB*

3. Analisa Data

Menganalisa data yang diperoleh dengan menggunakan *software MATHLAB*.

1.6 Kontribusi Penelitian

Dengan menggunakan *software MATHLAB* penempatan kapasitor pada sistem distribusi Power Plant di Power & Water Plant Operation – Teknik & PF Pertamina Unit Bisnis EP Tanjung, Kalimantan Selatan menjadi lebih optimal, dapat mengurangi rugi-rugi daya dan dapat memperbaiki profil tegangan. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat diterapkan oleh Power & Water Plant Operation – Teknik & PF Pertamina Unit Bisnis EP Tanjung, Kalimantan Selatan sehingga

dapat memberikan pelayanan dengan kualitas lebih baik kepada pelanggan dan memberikan keuntungan bagi Power & Water Plant Operation – Teknik & PF Pertamina Unit Bisnis EP Tanjung, Kalimantan Selatan.

1.7 Sistematika Penulisan

Secara garis besar penyusunan skripsi ini mempunyai sistematika sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

Berisi tentang pendahuluan yang membahas mengenai latar belakang penulisan, permasalahan, batasan masalah, tujuan penelitian, metode pemecahan masalah serta sistematika penulisan.

BAB II Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Berisi tentang studi pustaka mengenai masalah sistem jaringan distribusi, daya dalam sistem tenaga listrik, dan kapasitor daya

BAB III Pengaruh Penempatan Kapasitor Terhadap Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Berisi pengaruh pemasangan kapasitor terhadap sistem distribusi, perbaikan profil tegangan dan pengurangan rugi-rugi daya.

BAB IV Simulasi dan Analisa Hasil

Berisi data dan analisa data hasil simulasi menggunakan *software MATLAB*.

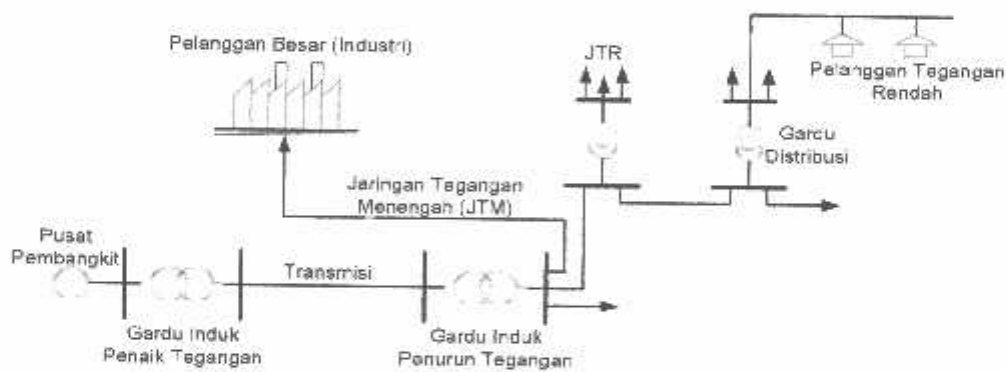
BAB V Kesimpulan

Merupakan bab terakhir yang memuat intisari dari hasil pembahasan yang berisi kesimpulan dan saran.

BAB II SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK

2.1. Sistem Distribusi Tenaga Elektrik

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



Gambar 2.1
Jaringan Distribusi Tegangan Menengah (JTM), Jaringan Distribusi Tegangan Rendah (JTR) dan Sambungan Rumah ke Pelanggan ^[1]

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

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

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

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

2.1.1. Sistem Distribusi Primer (Jaringan Tegangan Menengah)

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

2.1.2. Sistem Distribusi Sekunder (Jaringan Tegangan Rendah)

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

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

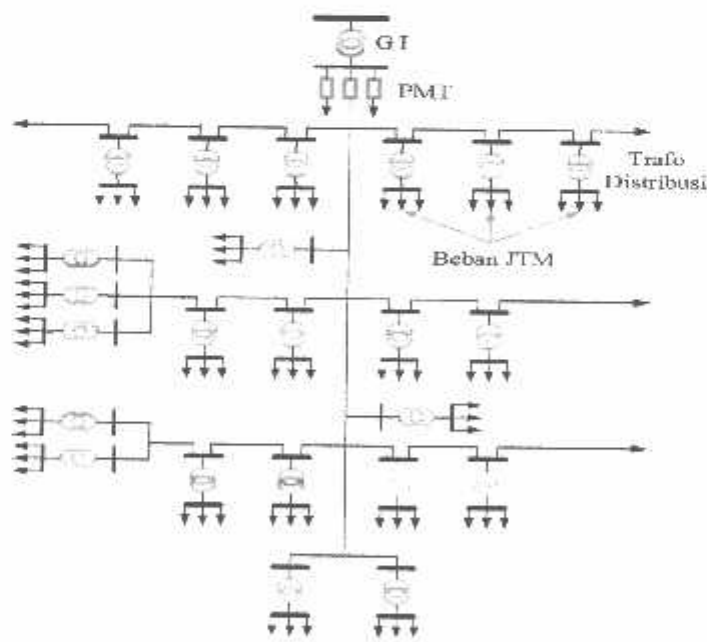
2.2. Struktur Jaringan Distribusi Tenaga Listrik^[1]

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

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

2.2.1. Sistem Jaringan Distribusi Radial

Bentuk jaringan ini merupakan bentuk dasar yang paling banyak digunakan dan yang paling sederhana. Sistem ini dikatakan radial karena dari kenyataan bahwa jaringan ini ditarik secara radial dari gardu induk ke pusat-pusat beban atau konsumen yang dilayaninya. Sistem ini terdiri dari saluran utama (*main feeder*) dan saluran cabang (*lateral*) seperti pada gambar 2.2.



Gambar 2.2
Sistem Jaringan Distribusi Radial^[1]

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

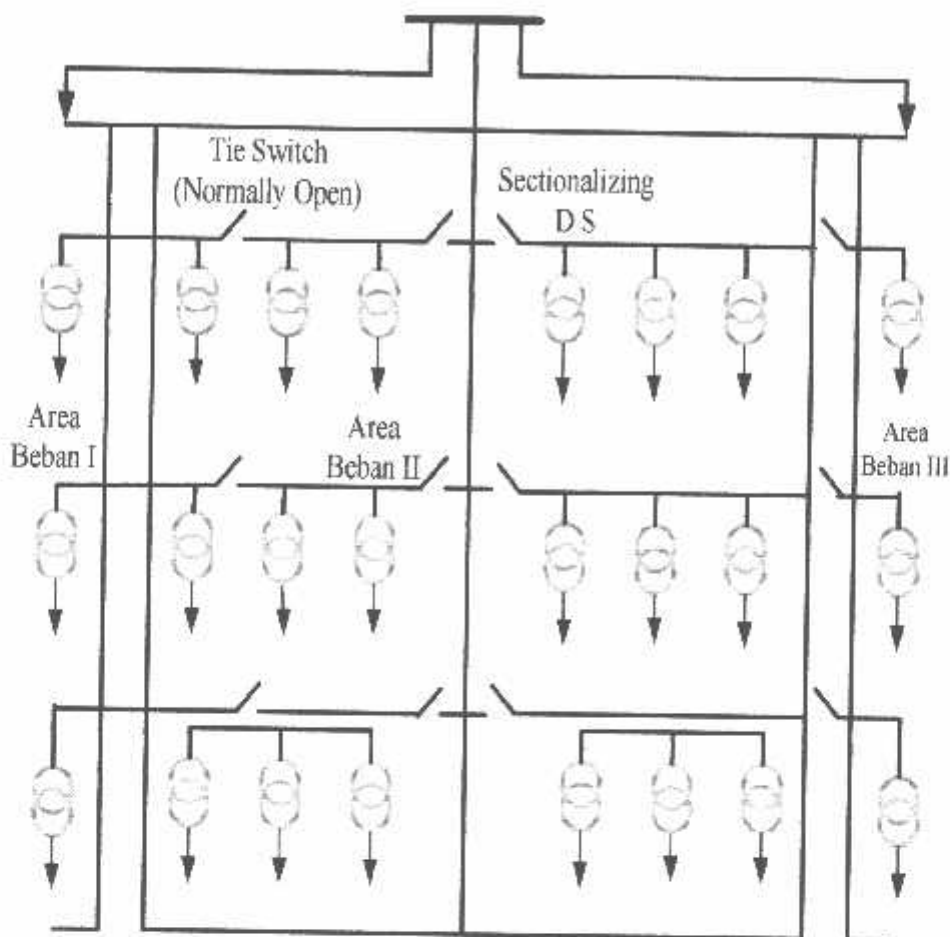
Kelemahan yang dimiliki oleh sistem radial adalah jatuh tegangan yang cukup besar dan bila terjadi gangguan pada sistem akan mengakibatkan jatuhnya sebagian atau bahkan keseluruhan beban sistem.

2.2.1.1. Sistem Radial Pohon

Sistem radial jaringan pohon ini merupakan bentuk yang paling dasar dari sistem jaringan radial. Saluran utama (*main feeder*) ditarik dari suatu gardu induk sesuai dengan kebutuhan kemudian dicabangkan melalui saluran cabang (*lateral feeder*), selanjutnya dicabangkan lagi melalui saluran anak cabang (*sub-lateral feeder*). Ukuran dari masing-masing saluran tergantung dari kerapatan arus yang ada pada sistem. Dari gambar 2.2, *main feeder* merupakan saluran yang dialiri arus terbesar, selanjutnya arus mengecil pada tiap cabang tergantung dari besarnya beban.

2.2.1.2. Sistem Radial dengan Tie dan Switch Pemisah

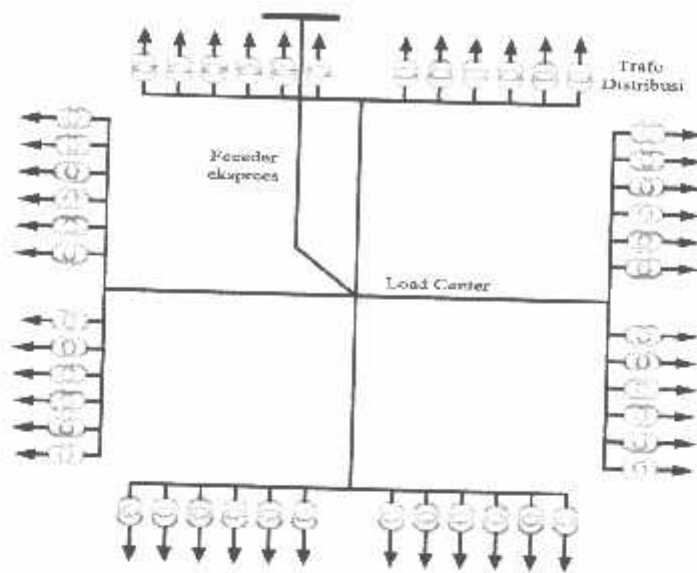
Sistem ini merupakan pengembangan dari sistem radial pohon, untuk meningkatkan keandalan sistem saat terjadinya gangguan maka *feeder* yang terganggu akan dilokalisir sedangkan area yang semula dilayani oleh *feeder* tersebut pelayanannya dialihkan pada *feeder* yang tidak terganggu. Sistem radial dengan *Tie* dan *Switch* Pemisah dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3
Sistem Jaringan Distribusi Radial Dengan *Tie* dan *Switch* Pemisah ^[3]

2.2.1.3. Sistem Radial Dengan Beban Terpusat

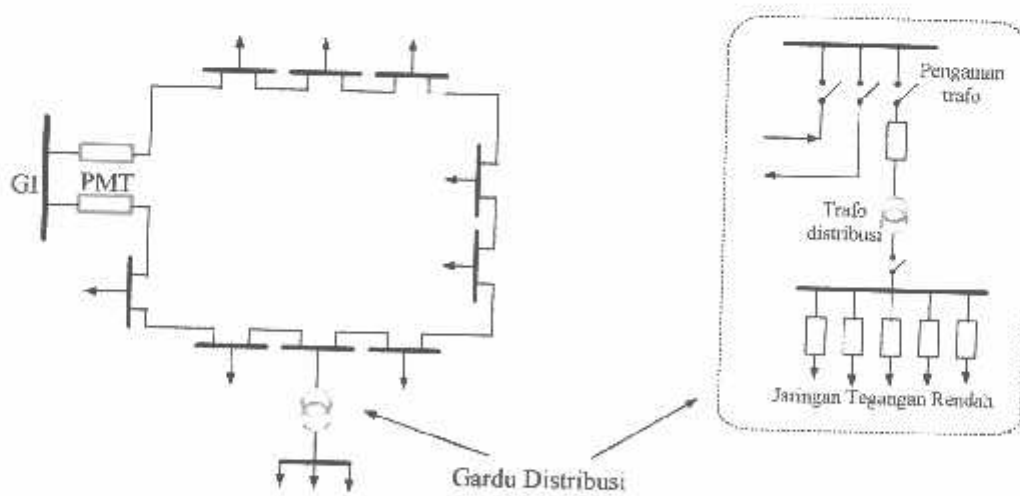
Bentuk dari sistem ini mensuplai daya dengan menggunakan *main feeder* yang disebut *express feeder* langsung ke pusat beban, dan dari titik pusat beban ini dikirim ke beban menggunakan *back feeder* secara radial seperti terlihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4
 Jaringan Distribusi Radial Dengan Beban Terpusat^[3]

2.2.2. Sistem Jaringan Distribusi Tertutup (*Loop*)

Sistem ini disebut jaringan distribusi *loop* karena saluran primer yang menyalurkan daya sepanjang daerah beban yang dilayani membentuk suatu rangkaian *loop*, seperti terlihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5
 Sistem Jaringan Distribusi *Loop*^[1]

2.3.1. Daya Nyata (*Real Power*)

Daya nyata dinyatakan dalam persamaan :

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

Daya nyata untuk beban 3 fasa seimbang

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

2.3.2. Daya Reaktif (*Reactive Power*)

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

Daya reaktif dinyatakan dalam persamaan :

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

Daya reaktif untuk beban 3 fasa seimbang :

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

2.3.3. Daya Semu (*Apparent Power*)

Daya semu dinyatakan dalam persamaan :

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

Daya semu untuk beban 3 fasa seimbang :

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

2.4. Kapasitor Daya^[1]

Secara sederhana kapasitor terdiri dari dua plat logam yang dipisahkan oleh suatu bahan dielektrik dan kapasitor ini mempunyai sifat menyimpan muatan listrik. Pada beberapa tahun lalu kebanyakan kapasitor terbuat dari dua buah plat aluminium 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 dielektrik yang digunakan lebih efisien serta teknologi pembuatan kapasitor lebih baik.

2.4.1. Kapasitor Seri dan Kapasitor *Shunt*

Fungsi utama dari pemakaian kapasitor seri atau kapasitor *shunt*, dalam sistem tenaga adalah untuk membangkitkan daya reaktif, untuk memperbaiki faktor daya dan tegangan, sehingga meningkatkan kapasitas sistem dan mengurangi rugi daya jaringan.

a. Kapasitor Seri

Kapasitor seri adalah kapasitor yang dihubungkan 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 dari pada biaya pemasangan kapasitor *shunt* (paralel).

b. Kapasitor *Shunt* (paralel)

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-rugi saluran.

2.4.2 Pemasangan Kapasitor *Shunt*

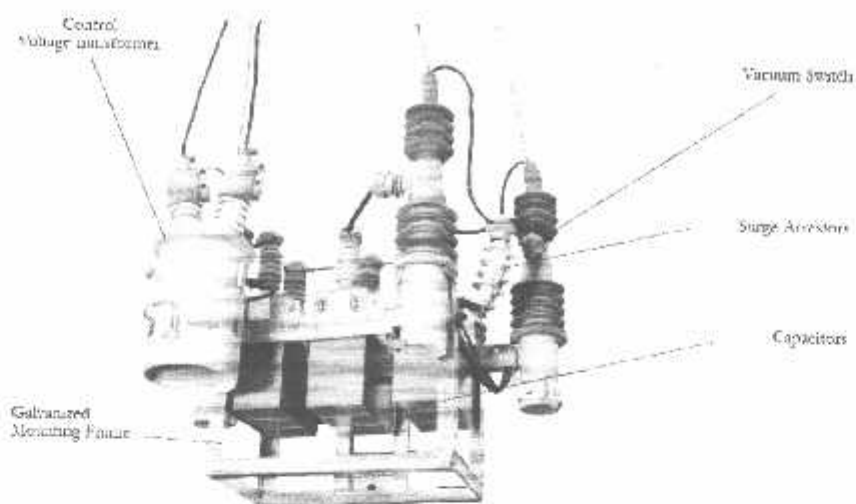
Kapasitor *shunt* adalah kapasitor yang dihubungkan paralel dengan saluran dan secara intensif digunakan pada sistem distribusi. Kapasitor *shunt* mencatu daya reaktif atau arus yang menentang komponen arus beban induktif. Dengan dipasangnya kapasitor *shunt* pada jaringan distribusi akan dapat memperbaiki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

a. Kapasitor Tetap (*Fixed Capacitor*)

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 batas tegangan yang ditetapkan.

b. Kapasitor Saklar (*Switched Capacitor*)

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



Gambar 2.7
Kapasitor Yang Dipasang Pada Tiang Saluran Distribusi



Gambar 2.8
Kapasitor Yang Dipasang Pada Gardu Induk

2.5. Faktor-faktor pemilihan kapasitor seri dan kapasitor *shunt*^[1]

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

Tabel 2.1
Kapasitor Seri dan Kapasitor *Shunt*

No	Tujuan	Kapasitor	
		Seri	<i>Shunt</i>
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 bawah tanah dengan faktor daya yang tinggi	Tidak Dipakai	Tidak Dipakai
5	Memperbaiki tingkat tegangan pada sistem saluran bawah tanah dengan faktor daya normal dan rendah	Pertama	Tidak Dipakai
6	Mengurangi rugi-rugi daya dan rugi-rugi energi pada saluran	Kedua	Pertama
7	Mengurangi fluktuasi tegangan	Pertama	Tidak Dipakai

2.6. Sistem Per-Unit^[1]

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

$$\text{Besaran per unit} = \frac{\text{Besaran sebenarnya}}{\text{Besaran dasar dengan ukuran yang sama}} \dots\dots\dots(2.7)$$

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

➤ Untuk data 1 fasa

Arus dasar

$$I_d = \frac{kVA \text{ dasar 1 fasa}}{kVA \text{ dasar } L-N} \dots\dots\dots(2.8)$$

Impedansi dasar

$$Z_d = \frac{(kV \text{ dasar } L-N)^2 \times 1000}{kVA \text{ dasar 1 fasa}} \dots\dots\dots(2.9)$$

$$= \frac{(kV \text{ dasar } L-N)^2}{MVA \text{ dasar 1 fasa}} \dots\dots\dots(2.10)$$

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

$$Z = \frac{\text{impedansi sebenarnya } Z (\Omega)}{\text{impedansi dasar } Z_d} \dots\dots\dots(2.11)$$

2.7 Pengertian Faktor Daya

Pada sebagian besar peralatan mengandung dua unsur / jenis beban yaitu beban resistif dan beban reaktif. Dalam hal ini maka akan membutuhkan pula komponen arus yang disebut arus I_r (arus beban resistif) dan arus I_x (arus beban reaktif), kedua komponen arus tersebut adalah :

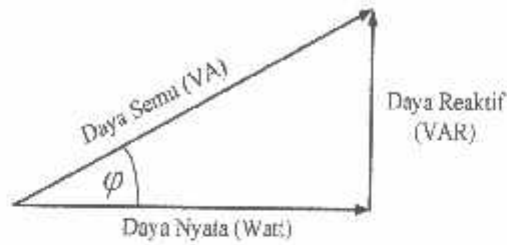
1. Arus beban resistif adalah arus yang dikonversikan menjadi kerja, biasanya dalam bentuk panas, kerja mekanik, cahaya dan bentuk energi lain. Daya yang dihasilkan dari adanya arus ini adalah daya kerja dengan satuan watt, kilowatt, dsb.
2. Arus beban reaktif mengalir pada komponen beban yang tidak dapat dikonversikan menjadi bentuk penggunaan energi lain secara langsung, tetapi keberadaannya tidak dapat dipisahkan dari kebutuhan beban antara lain untuk menghasilkan fluks dalam pengoperasian peralatan elektromagnetis (misalnya : trafo, motor induksi, dsb). Tanpa arus ini maka tidak ada arus magnetisasi dan energi tidak mengalir melalui trafo atau menembus celah udara pada motor induksi.

Setiap pemakaian daya reaktif akan menyebabkan turunnya faktor daya yang 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.

$$\text{Faktor Daya} = \frac{\text{Daya Nyata (kW)}}{\text{Daya Semu (kVA)}} \dots\dots\dots (2.12)$$

Untuk daya semu sendiri dibentuk oleh dua komponen daya nyata (KW) dan daya reaktif (KVA_r).

Hubungan ini dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.9
Segitiga Daya [4]

$$\text{Dengan faktor daya} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \dots\dots\dots(2.13)$$

$$P = \text{daya nyata (KW)} \\ = V \cdot I \cdot \cos \varphi \dots\dots\dots(2.14)$$

$$Q = \text{daya reaktif (KVAr)} \\ = V \cdot I \cdot \sin \varphi \dots\dots\dots(2.15)$$

$$S = \text{daya semu (KVA)} \\ = V \cdot I \dots\dots\dots(2.16)$$

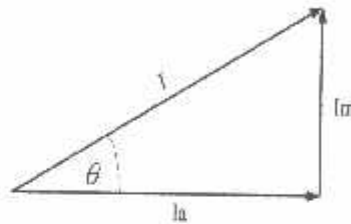
φ = sudut fasa

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 aktif, arus magnetisasi dan arus total.

- Arus nyata (I_a) adalah arus yang dibeban dan ke dalam 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 dan arus magnetisasi.

Dalam bentuk hubungan tersebut digambarkan sebagai berikut :

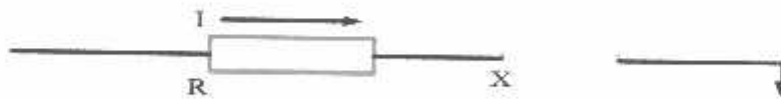


Gambar 2.10
Segitiga Arus^[1]

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 2.11^[1]
Saluran Primer Dengan Beban Terpusat

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

$$P_L = I^2 R$$

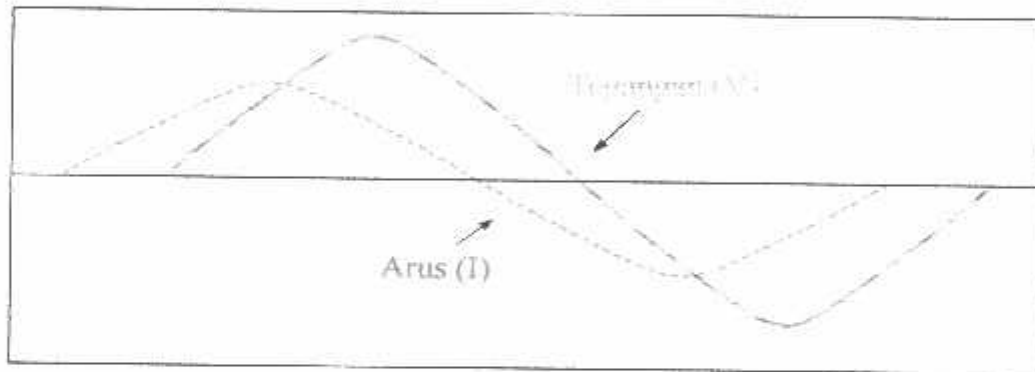
$$= (I \cos \theta)^2 R + (I \sin \theta)^2 R \dots\dots\dots(2.17)$$

dimana : I_R adalah arus aktif

I_X adalah arus reaktif

2.7.1 Faktor Daya *Leading*^[1]

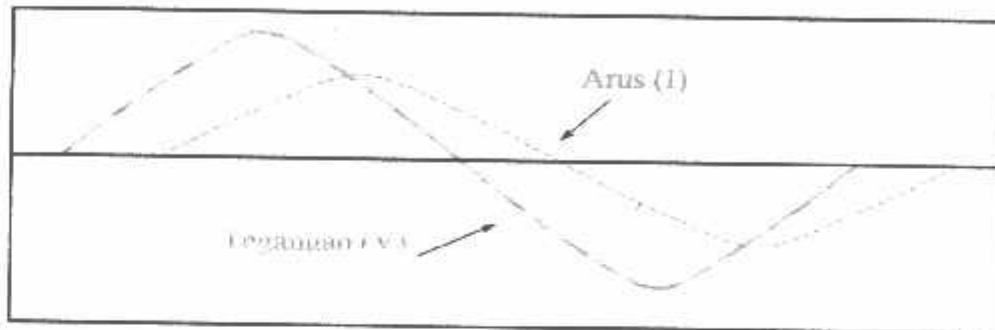
Apabila arus mendahului tegangan, maka faktor daya itu dikatakan *leading*. Faktor daya *leading* ini terjadi apabila bebannya kapasitif, seperti kapasitor, generator sinkron dan motor sinkron.



Gambar 2.12
Faktor Daya *Leading*^[1]

2.7.2 Faktor Daya *Lagging*^[1]

Apabila arus tertinggal dari tegangan, maka faktor daya itu dikatakan *lagging*. Faktor daya *lagging* ini terjadi apabila bebannya induktif, seperti motor induksi (AC) dan transformator.



Gambar 2.13
Faktor Daya *Lagging*^[1]

2.7.3 Sumber Daya Reaktif Untuk Perbaikan Faktor Daya

Perbaikan faktor daya pada umumnya adalah penambahan komponen sebagai pembangkit daya reaktif yang memungkinkan mensuplai kebutuhan KVAR pada beban-beban induktif. Untuk merencanakan suatu sistem dalam memperbaiki faktor daya, dapat dipergunakan suatu konsep yaitu kompensator ideal, dimana sistem ini dapat dihubungkan pada titik penyambungan secara paralel dengan beban dan memenuhi tiga fungsi utama, yaitu :

1. Memperbaiki faktor daya mendekati nilai satu.
2. Mengurangi atau mengeliminasi regulasi tegangan.
3. Menyeimbangkan arus beban dan tegangan fasa.

Untuk memenuhi kebutuhan daya reaktif yang efektif dan efisien, maka perlu dilakukan pemilihan sumber daya reaktif. Terdapat beberapa komponen-

komponen atau peralatan yang menghasilkan daya reaktif yaitu kondensator sinkron, kapasitor seri dan kapasitor *shunt*.

2.7.4 Pengurangan Rugi Daya Dengan Kapasitor Shunt

Rugi-rugi saluran perfasa dari saluran 3 fasa seimbang dengan beban terpusat seperti pada gambar 3.3 adalah $I^2 (R-j X)$ atau dapat dibedakan menjadi:

- Rugi daya aktif

$$(I^2R) = (I_R^2 + I_X^2) R \dots\dots\dots(2.18)$$

- Rugi daya reaktif

$$(I^2X) = (I_R^2 + I_X^2) X \dots\dots\dots(2.19)$$

Dimana: I_R adalah komponen arus aktif

I_X adalah komponen arus reaktif

Rugi daya (I^2R) dapat dibagi menjadi dua komponen yaitu komponen arus aktif dan komponen arus reaktif. Rugi daya karena komponen arus aktif tidak akan mempengaruhi penempatan kapasitor *shunt* pada saluran, hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

Diasumsikan bahwa rugi daya (I^2R) disebabkan oleh arus saluran (*lagging*) I , yang mengalir pada resistansi R , sehingga:

$$I^2R = (I \cos \theta)^2R - (I \sin \theta)^2R \dots\dots\dots(2.20)$$

Setelah dipasang kapasitor *shunt* dengan arus I_c , didapat arus saluran baru I_1 , dan rugi daya I_1^2R sebagai berikut:

$$I_1^2R = (I \cos \theta)^2R + (I \sin \theta - I_c)^2R \dots\dots\dots(2.21)$$

Sehingga pengurangan rugi daya sebagai akibat pemasangan kapasitor didapat:

$$\Delta p_{ls} = I^2R - I_1^2R$$

$$\begin{aligned}
 &= (I \cos \theta)^2 R + (I \sin \theta)^2 R - (I \cos \theta)^2 R + (I \sin \theta - I_c)^2 R \\
 &= 2 ((I \sin \theta) I_c R - I_c^2 R) \dots\dots\dots(2.22)
 \end{aligned}$$

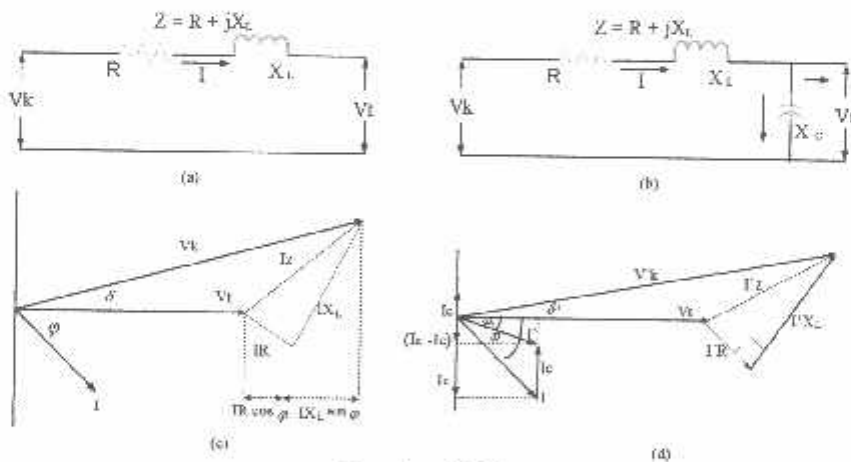
maka hanya komponen arus reaktif ($I \sin \theta$) saja yang berpengaruh terhadap pengurangan rugi daya $I^2 R$ akibat pemasangan kapasitor *shunt* pada saluran distribusi.

Pengurangan rugi daya saluran 3 fasa adalah:

$$\Delta P_{ls} = 3R (2 (I \sin \theta) I_c - I_c^2) \text{ Watt} \dots\dots\dots(2.23)$$

2.8 Perbaikan Tegangan

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



Gambar 2.14
 Vektor Diagram Sebelum (a), (c) dan Sesudah (b), (d) Pemasangan Kapasitor Shunt Pada Jaringan [1]

Jatuh tegangan yang disebabkan arus beban I sebelum kapasitor dipasang:

$$\delta V = I_R R + I_L X \dots \dots \dots (2.24)$$

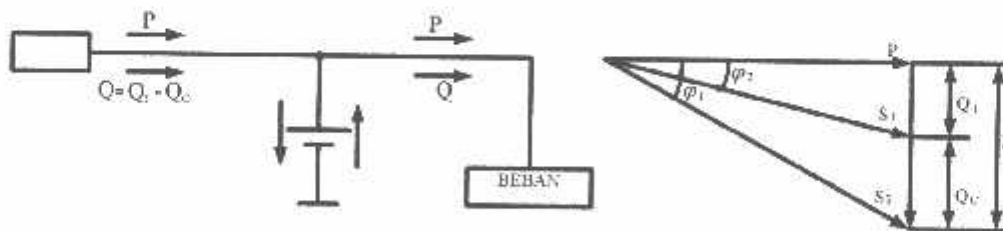
Jatuh tegangan setelah kapasitor dipasang:

$$\delta V = I_R R + I_L X - I_C X \dots \dots \dots (2.25)$$

2.8.1 Perbaikan Faktor Daya dan 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 daya dalam sistem. Satu-satunya cara untuk memperbaiki faktor daya adalah mengurangi daya reaktif pada jaringan. Jika komponen daya reaktif dapat dikurangi, maka total arus akan berkurang, sedang 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 menambahkan kapasitor, daya reaktif komponen Q akan berkurang, gambar 3.7 menunjukkan perbaikan faktor daya pada sistem, kapasitor mensuplai daya reaktif ke beban.



Gambar 2.15

Perbaikan Faktor Daya^[4]

Diasumsikan bahwa beban disuplai oleh daya nyata P, daya reaktif (*lagging*)

Q, dan daya semu S, pada faktor daya tertinggal $\cos \varphi_1$

$$\cos \varphi_1 = \frac{P}{S_1} \dots\dots\dots(2.26)$$

Bila suatu kapasitor Q_c KVAR dipasang pada beban, faktor daya dapat diperbaiki dari $\cos \theta_1$ menjadi $\cos \theta_2$ dimana:

$$\begin{aligned} \cos \varphi_2 &= \frac{P}{S_2} \\ &= \frac{P}{\sqrt{(P^2 + Q^2)}} \\ &= \frac{P}{\sqrt{P^2 + (Q_1 - Q_c)^2}} \dots\dots\dots(2.27) \end{aligned}$$

Sehingga daya semu dan daya reaktif berkurang dari S_1 (KVA) ke S_2 (KVA) dan dari Q_1 (KVAR) ke Q_2 (KVAR) sehingga kapasitas beban akan meningkat. Dengan demikian dapat diambil kesimpulan bahwa persentase pengurangan rugi daya jaringan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

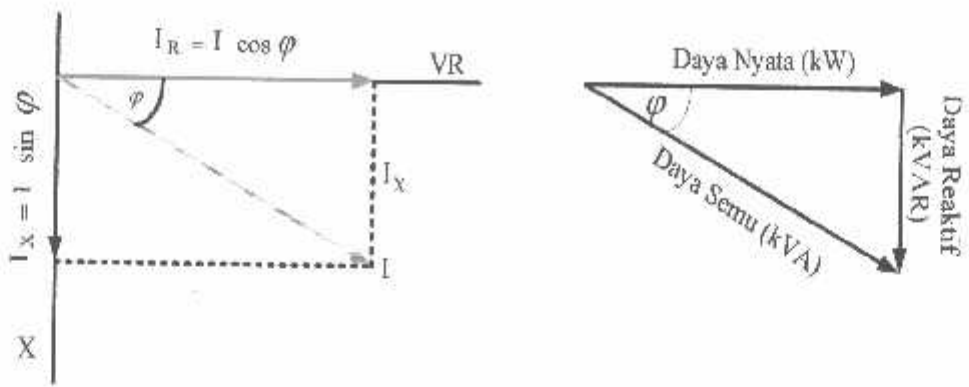
$$\% \text{ Rugi daya} = 100 \left(\frac{\text{Faktor daya mula} - \text{mula}(\cos \varphi_1)}{\text{Faktor daya baru}(\cos \varphi_2)} \right) \dots\dots\dots(2.28)$$

% Pengurangan rugi daya

$$= 100 \left(1 - \left(\frac{\text{Faktor daya mula} - \text{mula}(\cos \varphi_1)}{\text{Faktor daya baru}(\cos \varphi_2)} \right)^2 \right) \dots\dots\dots(2.29)$$

2.8.2 Perhitungan Pengaruh Perbaikan Faktor Daya

Diagram fasor dari dua komponen arus nyata, arus aktif dan arus reaktif dapat dilihat pada gambar 2-11 berikut:



Gambar 2.16
 Diagram Fasor dan Sudut Daya Beban pada Jaringan Distribusi [1]

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

$$\begin{aligned}
 I = \text{Arus Semu} &= \sqrt{(\text{arus aktif})^2 + (\text{arus reaktif})^2} \\
 &= \sqrt{(I \cos \phi)^2 + (I \sin \phi)^2} \dots\dots\dots(2.30)
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 \text{Daya semu (KVA)} &= \sqrt{(\text{Daya aktif})^2 + (\text{Daya reaktif})^2} \\
 (VI) &= \sqrt{(VI \cos \phi)^2 + (VI \sin \phi)^2} \dots\dots\dots(2.31)
 \end{aligned}$$

$$\text{Faktor daya} = \frac{\text{Daya aktif}}{\text{Daya semu}} = \frac{KW}{KVA}$$

$$\text{Daya aktif} = \text{Daya semu} \times \text{Faktor daya}$$

$$KW = KVA \times \text{Faktor daya}$$

$$KW = KVA \cos \phi \dots\dots\dots(2.32)$$

2.8.3 Penentuan Rating Kapasitor Untuk Perbaikan Faktor Daya Beban

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

$$\cos \varphi = \frac{\text{Daya aktif}}{\text{Daya semu}} = \frac{(kW)}{(kVA)} \dots\dots\dots(2.33)$$

$$\sin \varphi = \frac{\text{Daya reaktif}}{\text{Daya semu}} = \frac{(kVAR)}{(kVA)} \dots\dots\dots(2.34)$$

$$\tan \varphi = \frac{\text{Daya reaktif}}{\text{Daya aktif}} = \frac{(kVAR)}{(kW)} \dots\dots\dots(2.35)$$

Karena komponen daya aktif biasanya konstan, dan daya semu serta komponen daya reaktif berubah sesuai dengan faktor daya, maka persamaan yang dinyatakan dalam komponen daya aktif yang paling tepat digunakan. Persamaan ini dapat ditulis sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Daya reaktif pada faktor daya mula-mula} &= \text{Daya aktif} \times \tan \varphi_1 \\ &= (KW) \times \tan \varphi_1 \dots\dots\dots(2.36) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Daya reaktif pada faktor daya baru} &= \text{Daya aktif} \times \tan \varphi_2 \\ &= (KW) \times \tan \varphi_2 \dots\dots\dots(2.37) \end{aligned}$$

Dengan φ_1 = sudut dari faktor daya mula-mula

φ_2 = sudut dari faktor daya yang telah diperbaiki

Rating kapasitor yang dibutuhkan perbaikan faktor daya:

$$\begin{aligned} \text{Daya reaktif (KVAr)} &= \text{Daya aktif} \times (\tan \varphi_1 - \varphi_2) \\ &= (KW) \times (\tan \varphi_1 - \varphi_2) \dots\dots\dots(2.38) \end{aligned}$$

Untuk penyederhanaan ($\tan^{\phi_1} - \tan^{\phi_2}$) sering ditulis $\Delta \tan$, yang merupakan suatu faktor pengali untuk menentukan daya reaktif.

Daya reaktif (KVA_r) = Daya aktif $\times \Delta \tan$

$$= (KW) \times \Delta \tan \dots\dots\dots(2.39)$$

BAB III
ANALISA ALIRAN DAYA

3.1 Analisa Aliran Daya^[3]

Dalam analisis teknis penempatan kapasitor pada jaringan dengan menggunakan Algoritma Pencarian Binary Linear Deterministic dibutuhkan suatu proses awal yaitu studi aliran daya pada jaringan guna mengetahui rugi-rugi daya saluran. Oleh karena itu pembahasan selanjutnya sebelum proses analisa penempatan kapasitor dengan menggunakan metode Algoritma Pencarian Binary Linear Deterministic dilakukan, terlebih dahulu dilakukan proses studi aliran daya dengan menggunakan Metode Newton Raphson.

3.1.1 Metode Newton Raphson^[4]

Secara matematis persamaan aliran daya Newton Raphson dapat diselesaikan dengan menggunakan koordinat rektanguler atau koordinat 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 :

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

$$= V_p^* \sum_{q=1}^n Y_{pq} V_{pq} \dots\dots\dots(3.2)$$

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

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

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

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

Maka persamaan (3.32) 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 :

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

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

Dengan menggunakan persamaan (3.5) dan persamaan (3.6) untuk n buah simpul dalam sistem didapat 2n persamaan, sedangkan di setiap simpul ada 4 variabel. Untuk memecahkan persoalan ini, 2n variabel perlu ditentukan terlebih dahulu, sehingga 2n variabel yang lain dapat dicari dengan menggunakan 2n persamaan yang ada. Penentuan 2n variabel ini dilakukan dengan menentukan beberapa macam simpul dalam sistem, yaitu :

- a. Simpul PQ (Simpul Beban)

Pada simpul ini jumlah netto daya nyata dan daya reaktif P_p dan Q_p diketahui, sedangkan yang dicari adalah $|V_p|$ dan sudutnya δ . Untuk itu,

besarnya beban P_{Bp} ditentukan berdasarkan perkiraan beban sedangkan daya yang dibangkitkan P_{Gp} dan Q_{Gp} ditentukan besarnya. Selanjutnya

$$P_p = P_{Bp} - P_{Gp} \text{ dan } Q_p = Q_{Bp} - Q_{Gp}$$

Simpul beban (P Q) yang murni mempunyai nilai $P_{Gp} = 0$ dan $Q_{Gp} = 0$

- b. Simpul PV atau simpul Generator, atau simpul yang dayanya dapat diatur:

Pada simpul ini nilai P dan $|V|$ diketahui, sedangkan yang dicari adalah nilai Q dan δ .

- c. Simpul Referensi (*Slack Bus*)

Bedanya dengan kedua macam simpul yang terdahulu adalah bahwa pada simpul ini, daya nyata maupun daya reaktif tidak ditentukan. Di lain pihak, yang ditentukan adalah besarnya tegangan $|V_i|$ dan sudutnya δ_p yang biasanya ditentukan = 0, sehingga merupakan sudut referensi bagi tegangan dan sistem. Pada umumnya dalam analisis aliran daya hanya ada sebuah simpul referensi. Simpul referensi ini diperlukan karena nilai P_p dan Q_p untuk setiap simpul tidak ditentukan terlebih dahulu. Nilai P dan Q total dari sistem baru dapat dihitung setelah aliran tidak dapat ditentukan terlebih dahulu. Nilai P dan Q total dari sistem baru dapat dihitung setelah aliran daya antara simpul dihitung, kemudian rugi-rugi pada saluran dihitung. Rugi-rugi pada saluran ini mempunyai nilai daya nyata P_r dan daya reaktif Q_r , hal ini selanjutnya harus diperhitungkan dengan daya nyata dan daya reaktif yang dibangkitkan pada simpul referensi dengan persamaan sebagai berikut:

$$P_i = \sum P_{Bp} + P_r - \sum P_{Gp} \quad (p \neq 1) \dots\dots\dots(3.7)$$

$$Q_i = \sum P_{Bp} + P_r - \sum P_{Qp} \quad (p \neq 1) \dots\dots\dots(3.8)$$

Indeks 1 ($p = 1$) adalah indeks bagi simpul referensi.

Berdasarkan uraian diatas untuk sistem yang terdiri dari n buah simpul, $2n$ variabel telah diketahui, sedangkan $2n$ variabel yang lain harus dicari. Untuk mencari $2n$ variabel ini dipakai persamaan (3.5) dan persamaan (3.6) untuk setiap simpul sehingga didapat $2n$ persamaan yang merupakan syarat untuk mencari $2n$ variabel tersebut yang merupakan syarat untuk mencari $2n$ variabel tersebut.

Dalam metode Newton Rhapson, variabel-variabel yang harus dicari dimisalkan dulu nilainya, jadi untuk setiap simpul ada dua variabel yang diketahui dan dua variabel yang dimisalkan, kecuali untuk simpul referensi yang akan dihitung terakhir. Kemudian digunakan persamaan (3.5) dan persamaan (3.6) untuk menghitung nilai P dan nilai Q pada setiap simpul.

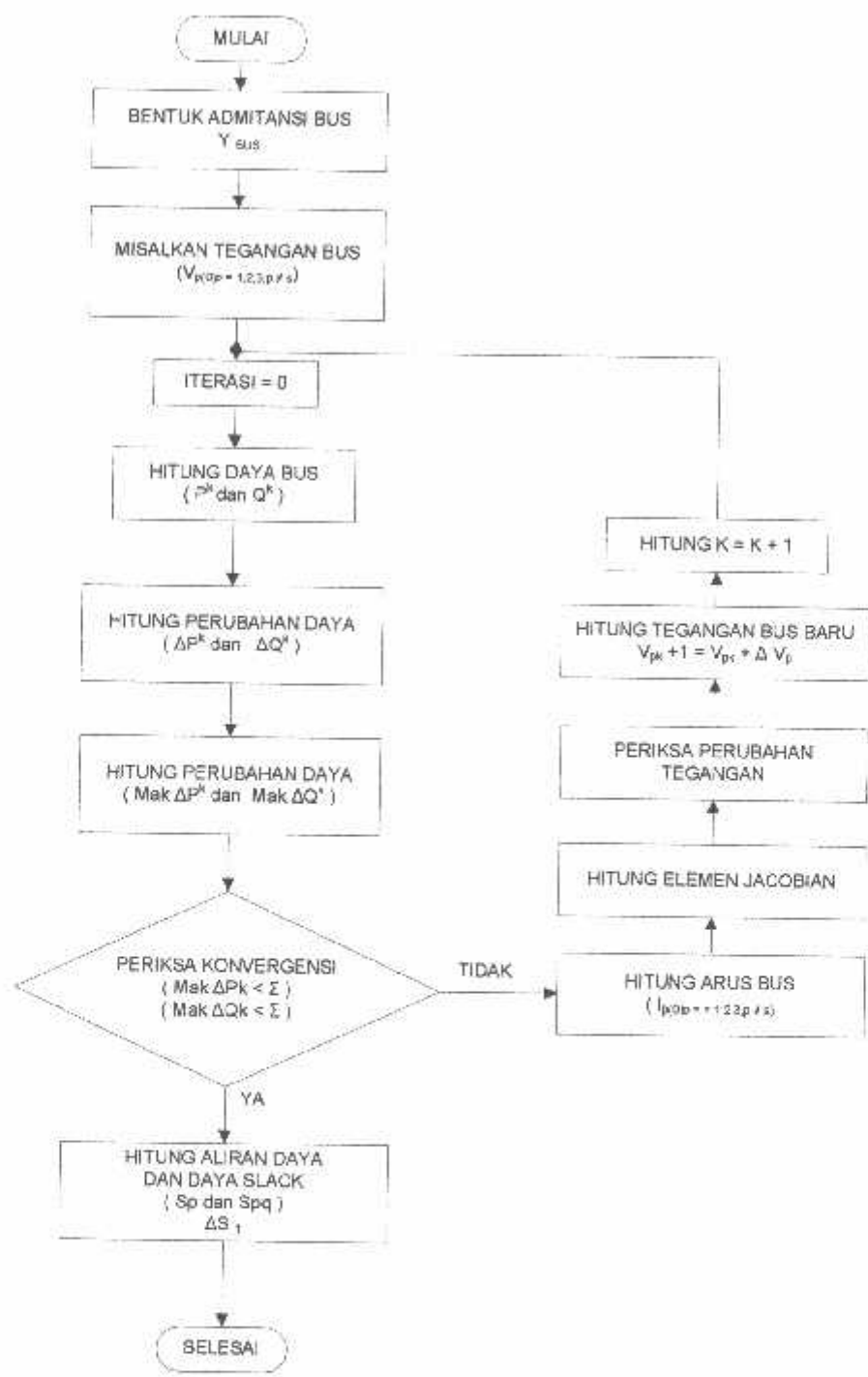
Pada setiap simpul P Q , nilai P dan nilai Q diketahui dan nilai yang diketahui inilah yang dibandingkan dengan nilai hasil perhitungan di atas. Apabila selisih antara nilai yang diketahui dan hasil perhitungan di atas lebih kecil dari pada suatu nilai yang dikeendaki, maka nilai variabel yang dimisalkan tersebut diatas dapat dianggap benar. Apabila selisih tersebut lebih besar dari nilai yang dikehandaki, maka harus dilakukan proses iterasi sampai selisih tersebut mencapai nilai yang dikendaki. Untuk simpul P V yang tidak dibandingkan hanya selisih daya aktif ΔP saja, karena daya reaktif Q yang diketahui, tidak ditentukan, akan merupakan hasil perhitungan. Untuk simpul referensi (*Slack Bus*) dihitung terakhir seperti telah dijelaskan. sedangkan ϵ adalah suatu angka yang ditentukan berdasarkan ketelitian yang diinginkan.

3.1.2 Algoritma Perhitungan Aliran Daya dengan Metode Newton Rhapson

Dalam perhitungan aliran daya dengan metode Newton Rhapson, langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

- A. Kebebasan-kebebasan yang diketahui:
 1. Daya nyata P dan daya reaktif Q pada simpul P Q diketahui
 2. Daya nyata P dan besarnya tegangan $|V|$ pada simpul P V diketahui
 3. Besar tegangan $|V|$ dan sudut fasa tegangan δ dari simpul referensi (*Slack Bus*) diketahui
- B. Kemudian dicoba nilai tertentu bagi besaran sebagai berikut:
 1. Besarnya tegangan $|V|$ beserta sudut fasanya δ pada semua simpul P Q
 2. Besarnya sudut fasa tegangan pada semua simpul P V
- C. Berdasarkan nilai yang dicoba tersebut pada butir B, dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan (3.5) dan persamaan (3.6) untuk mendapatkan:
 1. Nilai P dan Q yang dihitung untuk simpul-simpul P Q
 2. Nilai P yang dihitung untuk simpul P V
- D. Nilai P dan Q yang diketahui pada A dikurangi dengan nilai P dan Q yang didapat dari perhitungan pada C disebut nilai residu dari P dan Q. Nilai residu ini harus mendekati nol, atau $< \epsilon$ (nilai yang dikehendaki berdasarkan suatu ketelitian perhitungan yang diinginkan. Apabila nilai residu P dan Q ini belum $< \epsilon$, maka harus dilakukan iterasi. Proses iterasi dilakukan dengan mengoreksi nilai yang dicoba bagi $|V|$ dan δ seperti yang disebutkan dalam butir B.

Flowchart Aliran Daya Newton Raphson



Gambar 3-1
Flowchart Aliran Daya Newton Raphson

3.2 Metode Binary Linier Deterministic

Binary Linier Deterministic adalah metode analisa linierisasi deterministic yang diterapkan pada distribusi data x terhadap y yang membentuk persamaan garis yang dikonversikan kedalam koordinat kartesian untuk mendapatkan nilai konstanta pengali kumulatif dari persamaan garis non linier.

Dalam memilih suatu metode solusi untuk aplikasi praktis seringkali mengalami kesulitan, pilihan itu memerlukan analisis yang cermat atas kelebihan dan kekurangan dari sekian banyak metode yang ada. Untuk solusi dari permasalahan ini maka digunakan suatu alternative metode yaitu metode Algoritma Pencarian Binary Linier Deterministic.

Metode Algoritma Pencarian Binary Linier Deterministic ini adalah salah satu metode penentuan letak titik atau node penempatan kapasitor beserta kapasitas yang optimal dengan pemodelan satu set titik yang dihubungkan oleh garis busur atau graf. Tiap-tiap pergerakan dari garis busur atau graf mengkombinasikan kapasitas dari sejumlah kapasitor dan lokasi yang memungkinkan untuk ditempatkan disepanjang saluran.

Untuk menyelesaikan permasalahan ini, graf-graf dalam setiap graf ditentukan sedemikian rupa sehingga algoritma dapat bergerak dari satu titik ke titik yang lain dalam mencari solusi yang paling optimal.

3.2.1 Pemodelan Pergerakan Garis Busur (Graf)

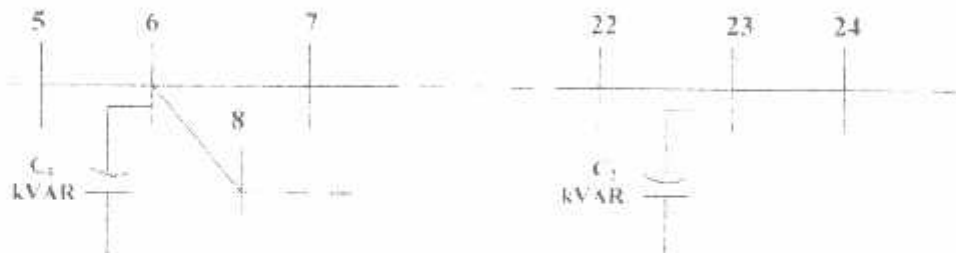
Suatu graf terdiri dari kumpulan node, dan kumpulan arc. Informasi yang disertakan dalam graf menjelaskan batasan-batasan serta kondisi arc dan node dalam graf tersebut. Suatu graf G yang terdiri dari himpunan arc A dan himpunan

node N dinotasikan dengan $G = (N, A)$. Batas kapasitas arc antara node I dan j terdiri dari batas kapasitas maksimum aliran yang diijinkan, dinotasikan dengan lij . Besar aliran komoditas dalam arc dinotasikan dengan xij .



Gambar 3.2 Notasi dengan Graf.

Berikut ditampilkan bentuk atau model jaringan dan titik-titik lokasi sebagai solusi awal penempatan kapasitor seperti pada gambar 3.3 dibawah ini :

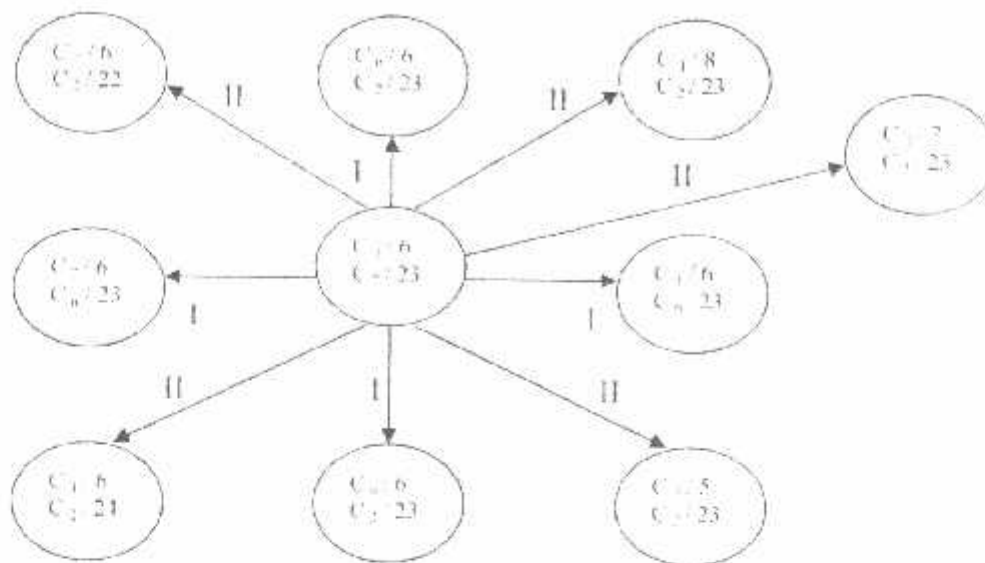


Gambar 3.3 Model Penempatan Kapasitor pada Jaringan Distribusi

3.2.2 Bentuk Pergerakan Graf

Model pergerakan graf kombinasi I menggambarkan pergerakan graf yang memodelkan perubahan hanya pada satu ukuran kapasitas kapasitor saja dengan lokasi bus yang tetap.

Pada pergerakan graf kombinasi II menggambarkan pergerakan graf yang memodelkan perubahan lokasi bus dengan kapasitas kapasitor yang tetap. Untuk perubahan lokasi bus ini hanya dibolehkan pada bus yang terdekat dengan lokasi pada penentuan solusi awal.



Gambar 3.2.2 Model Pergerakan Graf Kombinasi I dan II

3.2.3 Algoritma Pemecahan Masalah

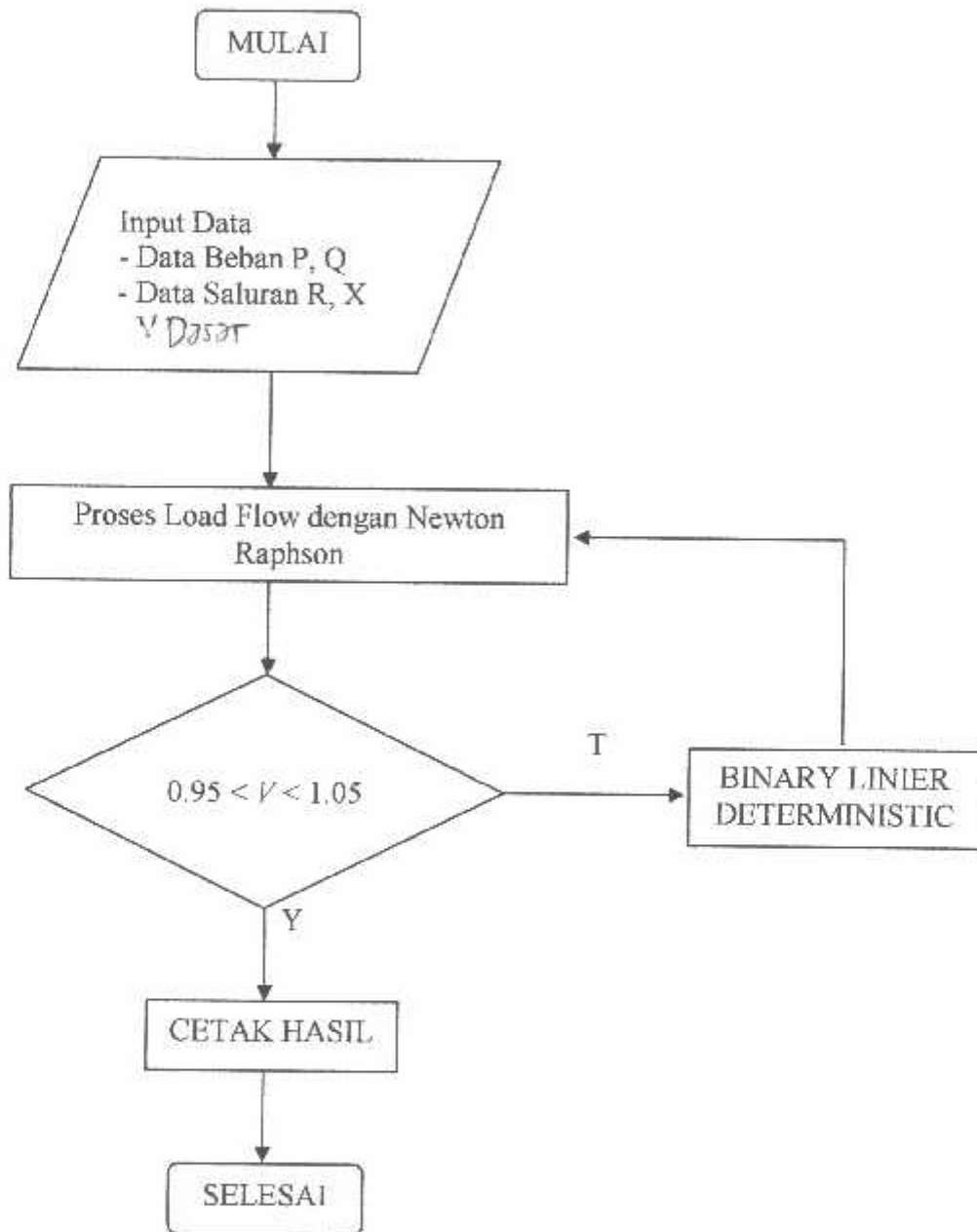
Adapun algoritma pemecahan masalah adalah sebagai berikut :

1. Mulai
2. Memasukkan inputan data beban, yang berupa daya aktif (P), daya reaktif (Q), data saluran, daya dasar, dan tegangan dasar.
3. Aplikasikan metode Newton Raphson untuk pencarian aliran daya awal.
4. Jika tegangan tidak memenuhi syarat dengan batas $0.95 \leq V \leq 1.05$, maka aplikasikan Metode Binary Linier Deterministic, dan kembali ke langkah 3.
5. Jika tegangan telah memenuhi syarat dengan batas $0.95 \leq V \leq 1.05$, maka lanjutkan ke langkah 6

6. Cetak hasil

7. Selesai

Berikut adalah diagram alir dari penjelasan diatas :



Gambar 3.5

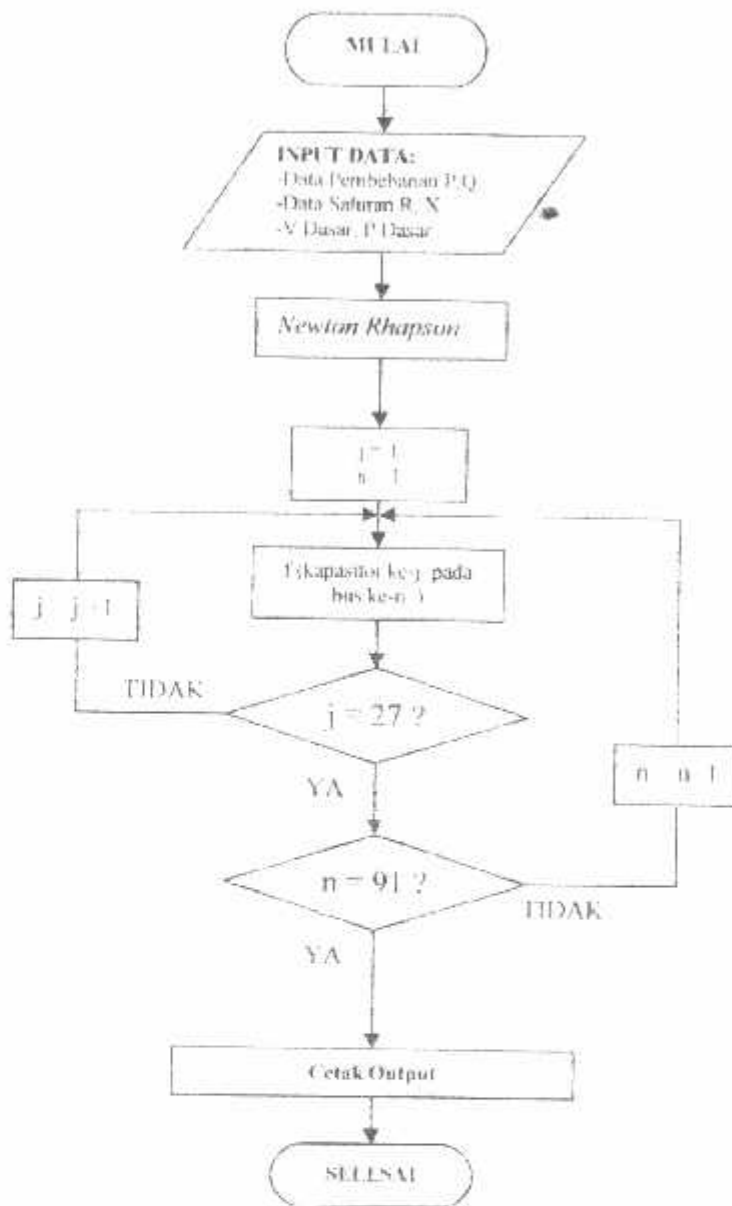
Flowchart Algoritma Pemecahan Masalah

3.2.4 Algoritma Program Solusi Binary Linier Deterministic

Adapun algoritma dari Binary Linier Deterministic adalah sebagai berikut :

1. Mulai
2. Memasukkan inputan data beban, yang berupa daya aktif (P), daya reaktif (Q), tegangan dasar, daya dasar dan data saluran.
3. Aplikasikan Metode Newton Raphson untuk pencarian aliran daya awal.
4. Evaluasi kombinasi kapasitor ke- j pada bus ke- n sampai diperoleh nilai optimum.
5. Apakah $j=27$. Jika diterima, lanjutkan ke langkah berikutnya. Jika tidak, kembali ke langkah 4 dengan $j=j+1$.
6. Apakah $n=91$. Jika diterima maka lanjutkan ke langkah berikutnya, jika tidak kembali ke langkah 4 dengan $n=n+1$
7. Cetak hasil
8. Selesai

Berikut adalah diagram alir dari penjelasan di atas :

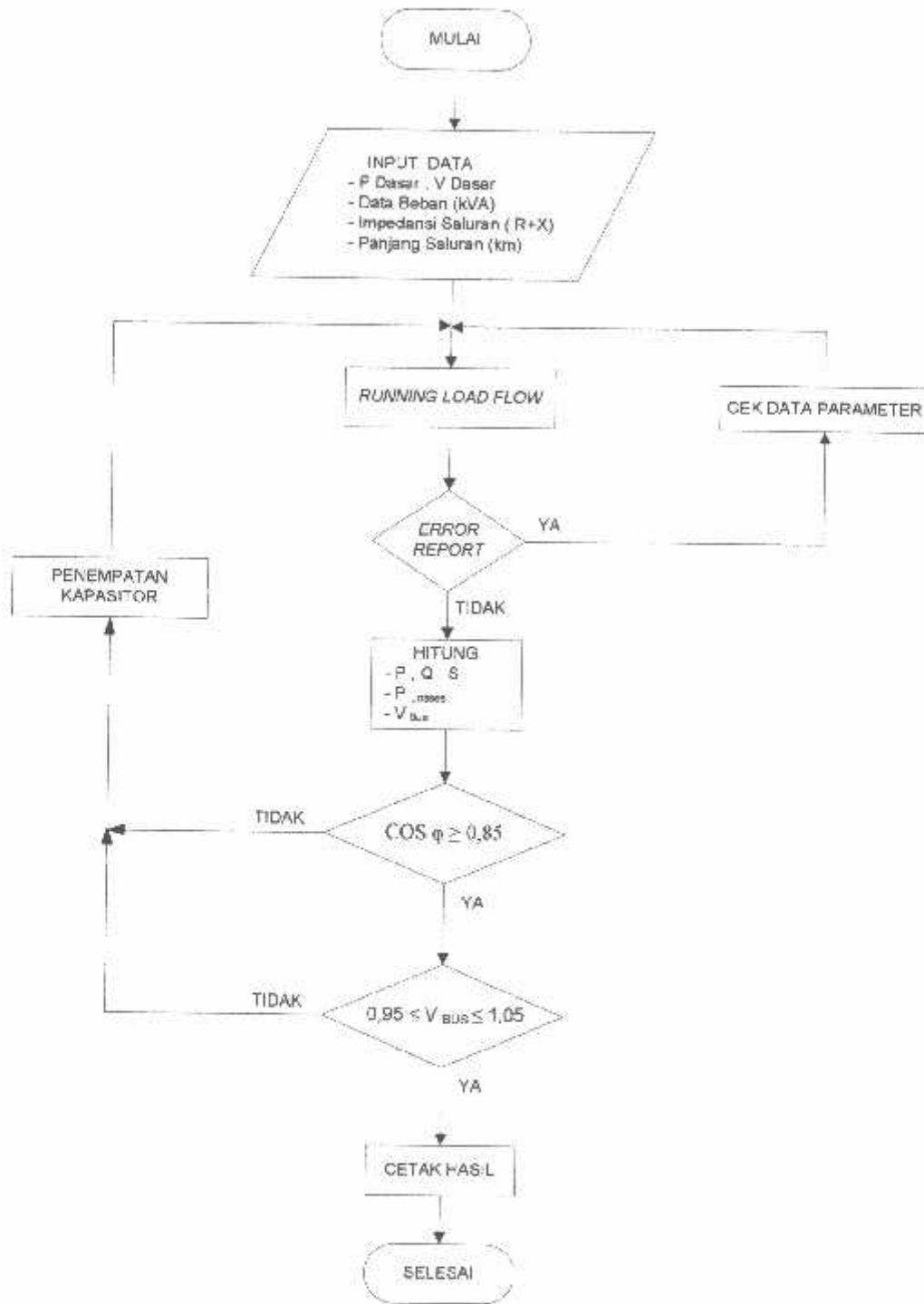


Gambar 3.6 Flowchart Algoritma Binary Linier Deterministic

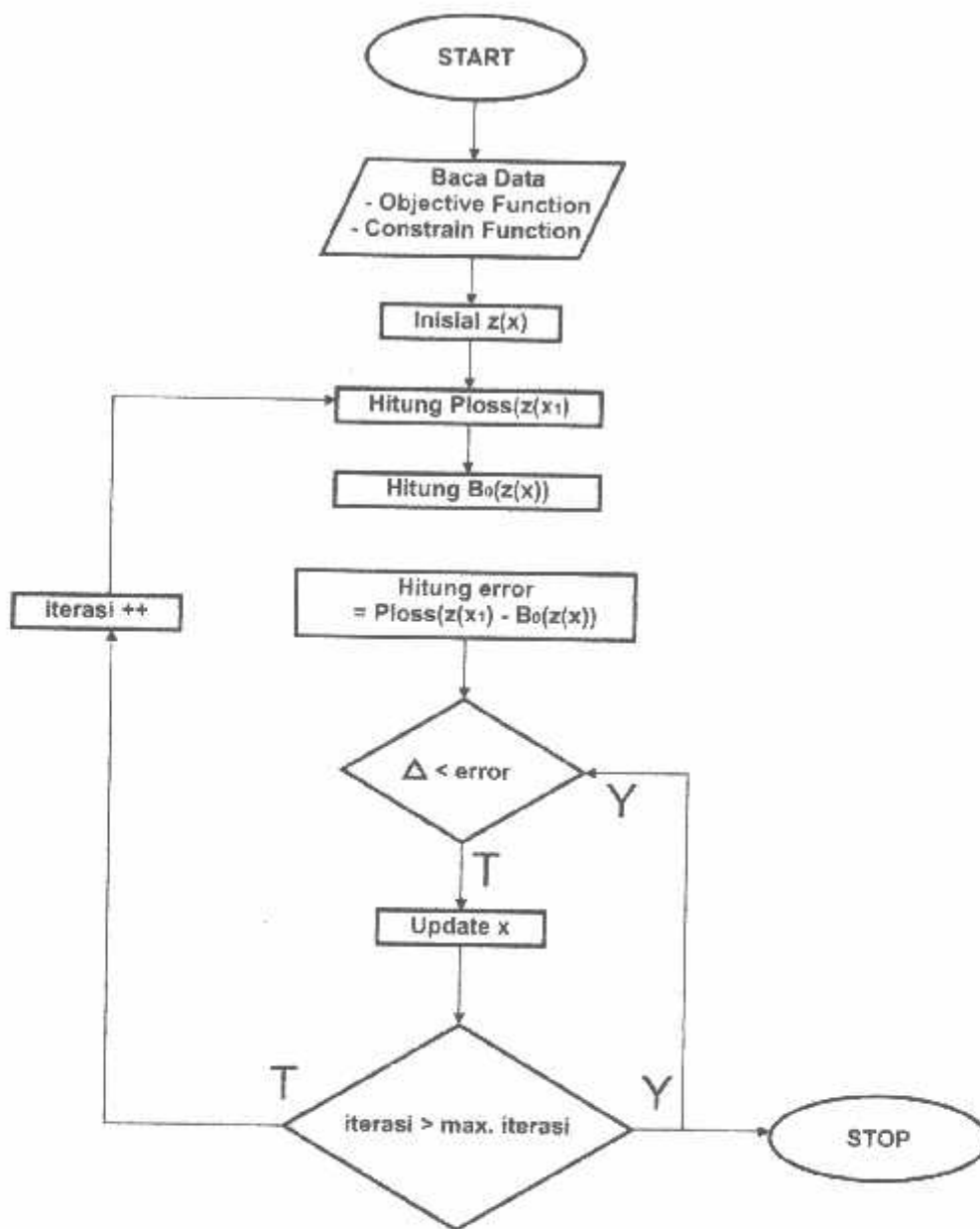
3.3 Algoritma Pemecahan Masalah

1. Mulai.
2. Masukkan Data : P Dasar, V Dasar, Data Beban, Impedansi Saluran, Panjang Saluran.
3. Melakukan proses Aliran Daya dengan menggunakan Metode Newton Raphson.
4. Mengecek apakah terjadi *Error Report* ?
 - a. "Ya" : Cek data parameter lagi.
 - b. "Tidak" : Proses selanjutnya.
5. Menghitung nilai P, Q, S, P_{losses} , dan V_{bus}
6. Mengecek apakah faktor daya / $\cos \phi \geq 0,85$?
 - a. "Ya" : Proses selanjutnya.
 - b. "Tidak" : Melakukan penempatan kapasitor.
7. Mengecek apakah tegangan berada pada batas ($0,95 \leq V_{bus} \leq 1,05$) ?
 - a. "Ya" : Proses selanjutnya.
 - b. "Tidak" : Melakukan penempatan kapasitor.
8. Cetak hasil.
9. Selesai

3.4 Flowchart Pemecahan Masalah



Gambar 3.7
Flowchart Pemecahan Masalah Menggunakan Software MATLAB



Gambar 3.8 *Flowchart* Pemecahan Masalah Menggunakan *Software* **MATLAB**

3.5 Rugi Daya Jaringan dan Penghematan Biaya Kompensasi

Secara teknis, tujuan dari pemasangan kapasitor pada jaringan distribusi adalah untuk memperbaiki profil tegangan dan untuk meminimalkan rugi daya jaringan agar total daya yang dibangkitkan atau yang dikirim sebanding dengan

permintaan daya pada konsumen. Pertimbangan ekonomis juga digunakan dalam hal penghematan biaya tahunan yang diperoleh setelah pemasangan kapasitor.

Secara matematis perhitungan rugi daya dan total keuntungan tahunan yang diperoleh setelah kompensasi dapat dirumuskan dengan persamaan dibawah ini.

Rugi daya :

$$P_{\text{loss}}(t) = \sum_{i=1}^n [I_i(t)]^2 R_i(t) \dots \dots \dots (3.10)$$

$$P_{\text{loss}}(t) = \sum_{i=1}^n P_{\text{loss}}(t) \dots \dots \dots (3.11)$$

Dimana :

- P_{loss} = Rugi-Rugi Daya (kW)
- (t) = 8640 (Jam)
- I_i = Arus Saluran ke-I (Ampere)
- R_i = Resistansi saluran ke-I ()

Penghematan Biaya tahunan :

$$S_{\text{year}} = K_p \Delta P - K_e \Delta E - C_c \dots \dots \dots (3.12)$$

Dimana :

- LP = Pengurangan Rugi Daya (kW)
- LE = Pengurangan Rugi Energi (kWh)
- Cc = Biaya Total Kapasitor (\$/Tahun)
- Kp = Faktor Konversi Rugi Daya (\$ 168/kW/tahun)
- Ke = Faktor Konversi Rugi Energi (\$ 0.06/kWh)

BAB IV

**ANALISA PENEMPATAN KAPASITOR DENGAN MENGGUNAKAN
METODE BINARY LINEAR DETERMINISTIC PADA SISTEM
KELISTRIKAN DI POWER & WATER PLANT OPERATION – TEKNIK
& PF PERTAMINA UNIT BISNIS EP TANJUNG, KALIMANTAN
SELATAN**

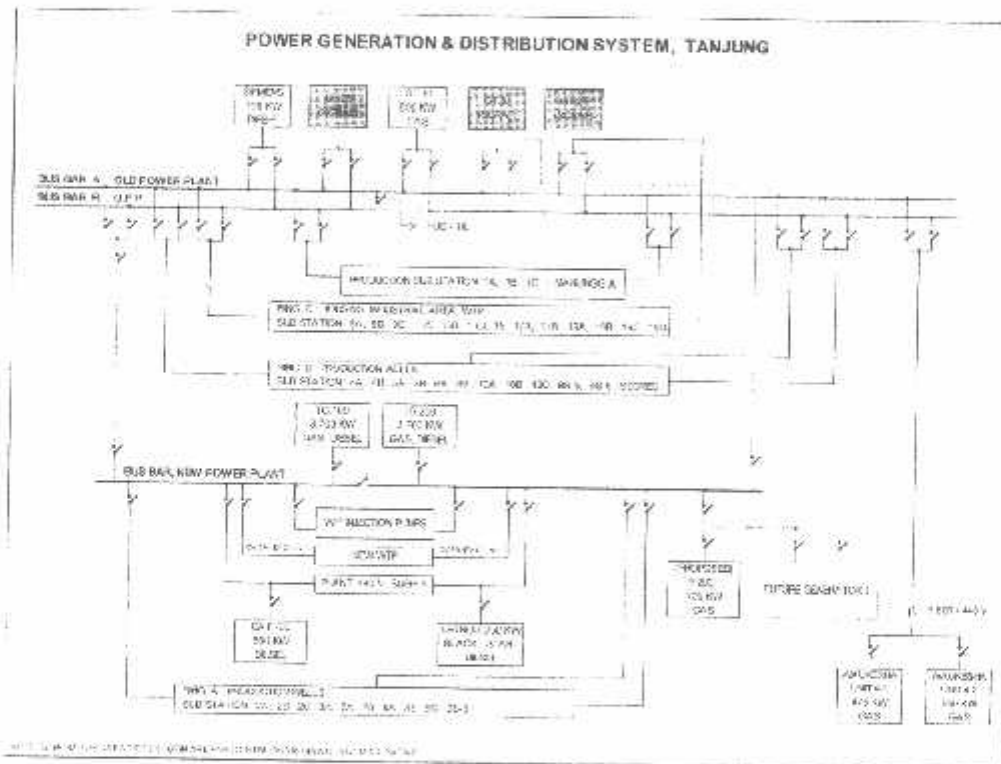
Pada bab ini akan dibahas simulasi dan analisis metode Binary Linear Deterministic yang diterapkan pada pencarian solusi terbaik penempatan kapasitor pada jaringan distribusi radial 20 kV untuk memperbaiki profil tegangan dan mengurangi rugi-rugi saluran agar kondisi tegangan tiap bus tetap pada batas normal. Penerapan metode analisa pada skripsi ini mengambil data dari Power & Water Plant Operation – Teknik & PF Pertamina Unit Bisnis EP Tanjung, Kalimantan Selatan yang melayani 2 (dua) buah penyulang, yaitu penyulang Old Power Plant dan New Power Plant. Untuk menyelesaikan analisa aliran daya terlebih dahulu ditetapkan *single line diagram*, kemudian dianalisis dengan menggunakan *software MATLAB*, dengan tujuan untuk mengetahui keadaan sistem, yaitu tegangan masing-masing *bus*.

4.1 Data Analisis

Pada skripsi ini data analisis yang akan digunakan adalah data jaringan distribusi Power & Water Plant Operation – Teknik & PF Pertamina Unit Bisnis EP Tanjung, Kalimantan Selatan yang melayani 2 (dua) buah penyulang,

sedangkan data penyulang yang digunakan adalah penyulang Old Power Plant, New Power Plant. Sistem distribusi radial Power & Water Plant Operation Teknik & PF Pertamina Unit Bisnis EP Tanjung, Kalimantan Selatan memakai tegangan distribusi 20 Kv. Sebagai penyetaraan satuan pada perhitungan maka digunakan sistem per – unit (pu), dimana nominal dasar yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Tegangan dasar : 20 kV
- Daya dasar : 100 kV



Gambar. 4.1 Gambar Penyulang Old Power Plant dan New Power Plant

Selanjutnya bus-bus yang diklasifikasikan, yaitu busbar Power & Water Plant Operation – Teknik & PF Pertamina Unit Bisnis EP Tanjung, Kalimantan

Selatan diasumsikan sebagai *slack bus* atau *bus* referensi, sedangkan *bus-bus* yang lain sepanjang saluran distribusi dianggap sebagai *load bus*. Secara keseluruhan pada Power & Water Plant Operation – Teknik & PF Pertamina Unit Bisnis EP Tanjung, Kalimantan Selatan

1. *Slack Bus* = 1
2. *Load Bus* = 39
3. *Jumlah Saluran* = 38

4.1.1 Data Saluran

Jaringan distribusi penyulang Old Power Plant, New Power Plant menggunakan kabel saluran udara. Dari data spesifikasi saluran pada penyulang Power & Water Plant Operation – Teknik & PF Pertamina Unit Bisnis EP Tanjung, Kalimantan Selatan diketahui bahwa jenis konduktor yang digunakan adalah AAAC (all-aluminium-alloy conductors), dengan spesifikasi yang seperti pada gambar tabel 4-1

Tabel 4-1
Spesifikasi Kabel Saluran Udara

Jenis Konduktor	Penampang Nominal (mm ²)	Resistansi Konduktor (Ω / km)	Reaktansi Konduktor (Ω / km)	Kuat Hantar Arus (A)
AAAC	35	0,9273	1,48368	240
AAAC	70	0,4591	0,73456	119
AAAC	150	0,2192	0,35072	560

Untuk perhitungan impedansi saluran diberikan contoh pada *node* 1 ke 2 dengan penampang nominal 150 mm, sebagai berikut :

Jarak antara node 1 ke 2 dengan panjang = 2500 m = 0,2500 km

$$R = 0.2500 \text{ km} \times 0.2162 \text{ } \Omega/\text{km} = 1.148 \text{ } \Omega$$

$$X = 0.2500 \text{ km} \times 0.3305 \text{ } \Omega/\text{km} = 1.964 \text{ } \Omega$$

Dengan cara yang sama seperti pada contoh diatas maka diperoleh hasil seperti pada tabel 4-2

Tabel 4-2

Impedansi Saluran Penyulang Power & Water Plant Operation – Teknik & PF Pertamina Unit Bisnis EP Tanjung, Kalimantan Selatan

No. Saluran	Dari	Ke	Jarak (m)	Impedansi Saluran	
				R ohm	X ohm
1	1	2	2500	1.148	1.836
2	2	3	125	0.057	0.092
3	3	4	250	0.115	0.184
4	4	5	500	0.230	0.367
5	5	6	625	0.287	0.459
6	6	7	1250	0.574	0.918
7	7	8	1125	0.516	0.826
8	8	9	500	0.230	0.367
9	9	10	375	0.172	0.275
10	10	11	750	0.344	0.551
11	11	12	750	0.344	0.551
12	12	13	1500	0.689	1.102
13	13	14	375	0.172	0.275
14	14	15	625	0.287	0.459
15	15	16	500	0.230	0.367
16	16	17	250	0.115	0.184
17	17	18	500	0.230	0.367
18	18	19	750	0.344	0.551
19	19	20	125	0.057	0.092
20	20	21	2375	1.090	1.745
21	21	22	250	0.115	0.184
22	22	23	250	0.115	0.184
23	23	24	750	0.344	0.551
24	24	25	625	0.287	0.459
25	25	26	250	0.115	0.184
26	26	27	1750	0.803	1.285
27	27	28	1125	0.516	0.826
28	28	29	375	0.172	0.275
29	29	30	750	0.344	0.551
30	30	31	1750	0.803	1.285
31	31	32	375	0.172	0.275

32	32	33	375	0.172	0.275
33	33	34	250	0.115	0.184
34	34	35	500	0.230	0.367
35	35	36	1000	0.459	0.735
36	36	37	375	0.172	0.275
37	37	38	500	0.230	0.367
38	38	39	3500	1.607	2.571

4.1.2 Data Pembebanan

Pembebanan diperoleh dengan mengambil data dari masing-masing bus distribusi, dimana besarnya beban pada masing-masing fasa diasumsikan seimbang. Jika besarnya pembebanan adalah nol, maka pada node tidak terdapat bus distribusi tetapi hanya merupakan simpul. Pada tahap ini rugi-rugi yang terjadi pada bus distribusi diabaikan, dengan mengasumsi factor daya 0.85. Dibawah ini diberikan contoh perhitungan pembebanan pada node 5 :

$$\text{Faktor Daya} = \cos \varphi = 0,85$$

$$\sin \varphi = 0,526$$

$$\text{Pembebanan} = 250 \times 53,41\% = 133,54 \text{ kVA}$$

$$\text{Beban Aktif (P)} = 133,54 \times \cos \varphi = 133,54 \times 0,85 = 113,509 \text{ kW}$$

$$\text{Beban Reaktif (Q)} = 133,54 \times \sin \varphi = 133,54 \times 0,526 = 70,346 \text{ kW}$$

Adapun data pembebanan seperti pada table 4-3

Tabel 4-3

Data Pembebanan Penyulang Power & Water Plant Operation – Teknik & PF Pertamina Unit Bisnis EP Tanjung, Kalimantan Selatan

No. Node	Nama Stasiun	Pembebanan		Type Bus
		P(kW)	Q(kVAR)	
1	PLTD	143.15	47.025	Slack
2	RMU.1	54.3	74.1	Load
3	ST.1C	498.66	277.884	Load
4	ST.1A	325.95	227.51	Load
5	ST.1B	12.31	11.35	Load
6	ST.8B	67.66	32.77	Load
7	ST.8C	22.47	24.23	Load
8	ST.8A	90.13	57	Load
9	RMU.8	54.3	74.1	Load
10	ST.2	2.91	2.65	Load
11	ST.2A	1.14	1.23	Load
12	ST.2B	16	13.2	Load
13	ST.7C	102.02	146.91	Load
14	ST.7A/B	65.95	43.4	Load
15	ST.3	0.273	0.504	Load
16	ST.3A	59.34	89.97	Load
17	POWERPLAN	2.634	1.041	Load
18	ST.6B/6C	266.55	216.4	Load
19	STSECRET	1.274	3.638	Load
20	ST.6A	1.099	0.652	Load
21	ST.9A	0.273	0.504	Load
22	ST.9B	0.273	0.504	Load
23	ST.9C	0.273	0.504	Load
24	ST.19C	54.30	74.10	Load
25	ST.13B	9.3832	43.0304	Load
26	ST.13A	9.3832	43.0304	Load
27	ST.4	29.7961	93.2735	Load
28	RMU.19	54.30	74.10	Load
29	ST.19D	9.3832	43.0304	Load
30	ST.19B	9.3832	43.0304	Load
31	RMU.10	54.30	74.10	Load
32	ST.10	84.575	142.85	Load
33	ST.10B	198.81	57.985	Load
34	ST.10C	51.333	21.868	Load
35	ST.10A	147.32	87.413	Load
36	ST.5A	116.78	53.204	Load
37	ST.5	109.59	22.254	Load
38	ST.5B	0	0	Load
39	ST.6	47.254	41.674	Load

4.2 Program Aplikasi Binary Linier Deterministic

Program aplikasi ini dibuat menggunakan compiler MATHLAB yang menggunakan Bahasa Pemrograman Pascal sebagai struktur bahasanya. Program ini menggunakan empat format sebagai parent windows dari komponen aplikasi. Seperti program aplikasi lainnya program ini memiliki beberapa fitur sebagai fasilitas user.

4.2.1 Format Data Input

Format Data Input adalah format yang berfungsi sebagai format yang membuat data input berupa data saluran, data beban serta data kapasitor. Pada format ini terdapat fasilitas untuk mengaplikasikan perhitungan aliran daya awal menggunakan metode Newton Raphson yang dikemas dalam fungsi tombol "Newton Raphson".

4.2.2 Format Newton Raphson Result

Format Newton Raphson Result adalah format penampil hasil perhitungan Newton Raphson yang berupa tabel aliran daya awal dan tabel load flow awal. Pada form ini perhitungan menggunakan metode Binary Linier Deterministic dapat diterapkan dengan mengaplikasikan fungsi dari pada tombol "Execute With Binary Linier Deterministic".

4.2.3 Format Result Viewer

Format ini adalah format yang menampilkan hasil perhitungan akhir yang berupa tabel aliran daya akhir dan tabel load flow akhir serta lokasi penempatan kapasitor yang optimal, total rugi saluran, grafik profil tegangan, grafik rugi daya sebelum dan sesudah kompensasi, serta biaya sebelum dan sesudah penempatan kapasitor.

4.3 Analisa Perhitungan

Perhitungan penempatan kapasitor diawali dengan melakukan studi aliran daya 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 tiap saluran. Setelah studi aliran daya dilakukan, berulah dilakukan perhitungan rugi-rugi daya pada saluran.

Untuk menentukan lokasi dan kapasitor, kapasitor terlebih dahulu menentukan rugi daya saluran terbesar yang digunakan sebagai input untuk menjalankan metode Binary Linier Deterministic agar kapasitor dapat diletakkan pada lokasi yang memberikan profil tegangan yang paling optimum. Sedangkan untuk pencarian grafik yang optimal secara random ditentukan oleh program computer demikian pula untuk perhitungan besar nilai penghematan.

4.3.1 Analisa Aliran Daya Awal

Pada tahap awal proses aplikasi akan menjalankan instruksi untuk menerapkan metode Newton Raphson yang diterapkan pada data saluran yang

berupa data impedansi dan besaran nominal dasar untuk mengetahui kondisi awal tegangan pada bus-bus. Kondisi tegangan dan aliran daya awal Newton Raphson adalah sebagai berikut :

Tabel 4-4

Profil Tegangan dan Sudut Fasa Tegangan Tiap Node Penyulang Power & Water Plant Operation – Teknik & PF Pertamina Unit Bisnis EP Tanjung, Kalimantan Selatan Sebelum Kompensasi

Bus	Tegangan abs (pu)	Sudut Fasa (rad)
1	1.00000	0.00000
2	0.97710	-0.01356
3	0.97596	-0.01426
4	0.97370	-0.01562
5	0.96919	-0.01836
6	0.96372	-0.02170
7	0.95381	-0.02805
8	0.94527	-0.03357
9	0.94148	-0.03605
10	0.93864	-0.03793
11	0.93328	-0.04151
12	0.92803	-0.04504
13	0.91776	-0.05201
14	0.91526	-0.05373
15	0.91130	-0.05637
16	0.90831	-0.05836
17	0.90685	-0.05934
18	0.90395	-0.06131
19	0.89974	-0.06414
20	0.89907	-0.06459
21	0.88638	-0.07328
22	0.88505	-0.07421
23	0.88376	-0.07513
24	0.88022	-0.07758
25	0.87770	-0.07942
26	0.87678	-0.08008
27	0.87106	-0.08416
28	0.86811	-0.08657
29	0.86713	-0.08738
30	0.86558	-0.08869
31	0.86272	-0.09118
32	0.86225	-0.09164
33	0.86178	-0.09210
34	0.86156	-0.09231
35	0.86118	-0.09269
36	0.86056	-0.09330
37	0.86039	-0.09346
38	0.86023	-0.09363

39	0.85957	-0.09430
----	---------	----------

Tabel 4-5

**Aliran Daya Tiap Saluran Penyulang Power & Water Plant Operation –
Teknik & PF Pertamina Unit Bisnis EP Tanjung, Kalimantan Selatan
Sebelum Kompensasi**

Saluran		P (kW)	Q (kVAR)
Dari	Ke		
1	2	4508.049	2282.181
2	3	4434.649	2169.969
3	4	4361.649	2164.359
4	5	4354.493	2153.419
5	6	4197.031	2084.491
6	7	3854.279	1831.294
7	8	3653.386	1737.842
8	9	3630.111	1702.262
9	10	3619.767	1686.448
10	11	3414.329	1584.519
11	12	3329.249	1542.547
12	13	3235.129	1505.768
13	14	3129.626	1440.493
14	15	2919.770	1389.823
15	16	2735.269	1318.419
16	17	2662.195	1262.111
17	18	2659.171	1257.487
18	19	2543.531	1225.990
19	20	2418.337	1159.926
20	21	2417.060	1157.974
21	22	2392.791	1120.874
22	23	2342.986	1075.299
23	24	2100.137	1001.451
24	25	1826.399	819.353
25	26	1656.023	758.890
26	27	1457.044	678.847
27	28	1241.191	489.698
28	29	1238.155	485.058
29	30	987.793	369.901
30	31	793.507	285.730
31	32	644.277	195.400
32	33	644.014	194.998
33	34	444.942	136.607
34	35	393.528	114.609
35	36	321.318	96.350
36	37	222.333	68.093
37	38	170.972	46.175
38	39	98.867	28.078

Tabel 4-6

Rugi Daya Tiap Saluran Penyulang Power & Water Plant Operation –
Teknik & PF Pertamina Unit Bisnis EP Tanjung, Kalimantan Selatan
Sebelum Kompensasi

Saluran		P (kW)	Q (kVAR)
Dari	Ke		
1	2	73.400	112.213
2	3	3.670	5.610
3	4	7.156	10.939
4	5	14.312	21.879
5	6	16.803	25.687
6	7	28.183	43.083
7	8	23.275	35.580
8	9	10.344	15.813
9	10	7.758	11.860
10	11	13.869	21.202
11	12	13.331	20.379
12	13	25.502	38.985
13	14	6.077	9.290
14	15	8.971	13.714
15	16	6.383	9.758
16	17	3.025	4.624
17	18	6.049	9.247
18	19	8.415	12.863
19	20	1.277	1.953
20	21	24.269	37.100
21	22	2.555	3.905
22	23	2.439	3.728
23	24	5.978	9.138
24	25	3.717	5.682
25	26	1.238	1.893
26	27	6.764	10.339
27	28	3.035	4.640
28	29	1.012	1.547
29	30	1.276	1.951
30	31	1.910	2.920
31	32	0.263	0.401
32	33	0.263	0.401
33	34	0.084	0.128
34	35	0.130	0.199
35	36	0.174	0.267
36	37	0.031	0.088
37	38	0.024	0.037
38	39	0.057	0.048

Banyaknya Iterasi = 3

Rugi Total Saluran Sebelum Kompensasi = 340.1101 + 519.9315i kVA

4.3.2 Hasil Binary Linier Deterministic

Berdasarkan hasil perhitungan aliran daya dengan Newton Raphson akan dicari penentuan lokasi penempatan kapasitor dan kapasitas kapasitor yang optimal, dalam hal ini efektif untuk memperbaiki kondisi tegangan bus dan mengurangi rugi pada saluran dan ekonomis terhadap alokasi dana yang dibutuhkan. Tabel berikut adalah tabel tegangan tiap-tiap bus dan rugi-rugi saluran sesudah kompensasi.

Tabel 4-7

Profil Tegangan dan Sudut Fasa Tegangan Tiap Node Penyulang Power & Water Plant Operation – Teknik & PF Pertamina Unit Bisnis EP Tanjung, Kalimantan Selatan Sesudah Kompensasi

Bus	Tegangan abs (pu)	Sudut Fasa (rad)
1	1.00000	0.00000
2	0.98844	-0.02039
3	0.98787	-0.02142
4	0.98676	-0.02346
5	0.98455	-0.02754
6	0.98197	-0.03255
7	0.97786	-0.04222
8	0.97457	-0.05070
9	0.97314	-0.05449
10	0.97200	-0.05729
11	0.97004	-0.06272
12	0.96807	-0.06800
13	0.96439	-0.07842
14	0.96354	-0.08099
15	0.96233	-0.08508
16	0.96154	-0.08823
17	0.96119	-0.08978
18	0.96049	-0.09290
19	0.95959	-0.09745
20	0.95947	-0.09819
21	0.95578	-0.11126
22	0.95540	-0.11264
23	0.95506	-0.11401
24	0.95387	-0.11752
25	0.95329	-0.12027
26	0.95294	-0.12118
27	0.95125	-0.12706
28	0.95084	-0.13064
29	0.95070	-0.13184

30	0.95082	-0.13398
31	0.95096	-0.13793
32	0.95113	-0.13872
33	0.95129	-0.13950
34	0.95141	-0.13989
35	0.95172	-0.14065
36	0.95170	-0.14153
37	0.95176	-0.14180
38	0.95189	-0.14213
39	0.95129	-0.14267

Tabel 4-8

**Aliran Daya Tiap Saluran Penyulang Power & Water Plant Operation –
Teknik & PF Pertamina Unit Bisnis EP Tanjung, Kalimantan Selatan
Sesudah Kompensasi**

Saluran		P (kW)	Q (kVAR)
Dari	Ke		
1	2	4437.345	-225.905
2	3	4380.590	-312.672
3	4	4308.422	-317.010
4	5	4302.924	-325.415
5	6	4148.778	-389.275
6	7	3809.953	-636.466
7	8	3614.999	-720.840
8	9	3596.615	-748.943
9	10	3588.445	-661.434
10	11	3384.702	-760.772
11	12	3302.505	-698.338
12	13	3211.271	-730.703
13	14	3111.307	-787.512
14	15	2902.751	-836.193
15	16	2720.156	-904.683
16	17	2648.364	-959.033
17	18	2645.897	-962.804
18	19	2531.373	-992.596
19	20	2407.681	-1056.363
20	21	2406.602	-708.012
21	22	2387.932	-736.553
22	23	2338.717	-781.228
23	24	2096.392	-504.275
24	25	1824.236	-683.955
25	26	1654.577	-343.319
26	27	1455.934	-422.850
27	28	1241.750	-609.447
28	29	1239.014	-613.629
29	30	988.753	-728.633
30	31	794.303	-563.053
31	32	644.873	-653.689
32	33	644.471	-654.304

33	34	445.259	-562.908
34	35	393.765	-585.029
35	36	321.369	-203.571
36	37	222.375	-231.842
37	38	170.996	-253.787
38	39	98.857	28.062

Tabel 4-9

**Rugi Daya Tiap Saluran Penyulang Power & Water Plant Operation –
Teknik & PF Pertamina Unit Bisnis EP Tanjung, Kalimantan Selatan
Sesudah Kompensasi**

Saluran		P (kW)	Q (kVAR)
Dari	Ke		
1	2	56.755	86.767
2	3	2.838	4.338
3	4	5.498	8.405
4	5	10.996	16.810
5	6	12.875	19.682
6	7	22.243	34.003
7	8	18.384	28.103
8	9	8.171	12.490
9	10	6.063	9.269
10	11	10.987	16.795
11	12	10.444	15.965
12	13	19.964	30.519
13	14	4.776	7.301
14	15	7.064	10.799
15	16	5.102	7.800
16	17	2.467	3.771
17	18	4.934	7.543
18	19	6.912	10.566
19	20	1.079	1.650
20	21	18.670	28.541
21	22	1.965	3.004
22	23	1.915	2.927
23	24	4.396	6.720
24	25	2.998	4.584
25	26	0.903	1.381
26	27	5.094	7.787
27	28	2.736	4.182
28	29	0.912	1.394
29	30	1.440	2.201
30	31	2.110	3.226
31	32	0.402	0.615
32	33	0.402	0.615
33	34	0.164	0.250
34	35	0.316	0.483
35	36	0.184	0.281
36	37	0.049	0.075

37	38	0.059	0.091
38	39	0.047	0.072

Banyaknya Iterasi = 3

Rugi Total Saluran setelah Kompensasi = 263.1803 + 402.3276i kVA

4.4 Analisa Aliran Daya Setelah Penempatan Kapasitor

Berdasarkan hasil analisa aliran daya sebelum penempatan kapasitor menggunakan *software MATHLAB*, diketahui bahwa terdapat *bus-bus* dengan kondisi *under voltage* yaitu kurang dari 95% atau 0,95 pu, sehingga perlu dilakukan penempatan kapasitor untuk memperbaiki faktor daya dan juga memperbaiki profil tegangan pada sistem distribusi primer 20 KV di Power & Water Plant Operation – Teknik & PF Pertamina Unit Bisnis EP Tanjung, Kalimantan Selatan. Berdasarkan SPLN 72-1987, batas toleransi tegangan yang diijinkan yaitu untuk batas minimal 0,95 pu dan maksimal 1,05 pu.

Dengan menggunakan bantuan *software MATHLAB* maka didapatkan penempatan kapasitor yang optimal untuk perbaikan profil tegangan, mereduksi rugi-rugi daya, sekaligus memperbaiki faktor daya, yaitu pada *bus* 8, 11, 15, 17, 20, 22, 26, 29, 33, dan 35. Dengan kapasitas kapasitor masing-masing 300 KVar, 200 KVar, 200 KVar, 100 KVar, 250 KVar, 100 KVar, 400 KVar, 400 KVar, 350 KVar dan 400 KVar.

Tabel 4-10
Lokasi Penempatan Dan Kapasitas Kapasitor

<i>Bus</i>	Kapasitas Kapasitor (KVar)
8	300
10	50
13	300
17	50
18	350
20	350
29	200
33	300
37	400
39	300
TOTAL	2600

Setelah dilakukan penempatan kapasitor diperoleh perbaikan profil tegangan dan penurunan rugi-rugi daya tiap saluran. Data hasil perhitungan oleh *software MATHLAB* dapat dilihat pada tabel berikut ini.

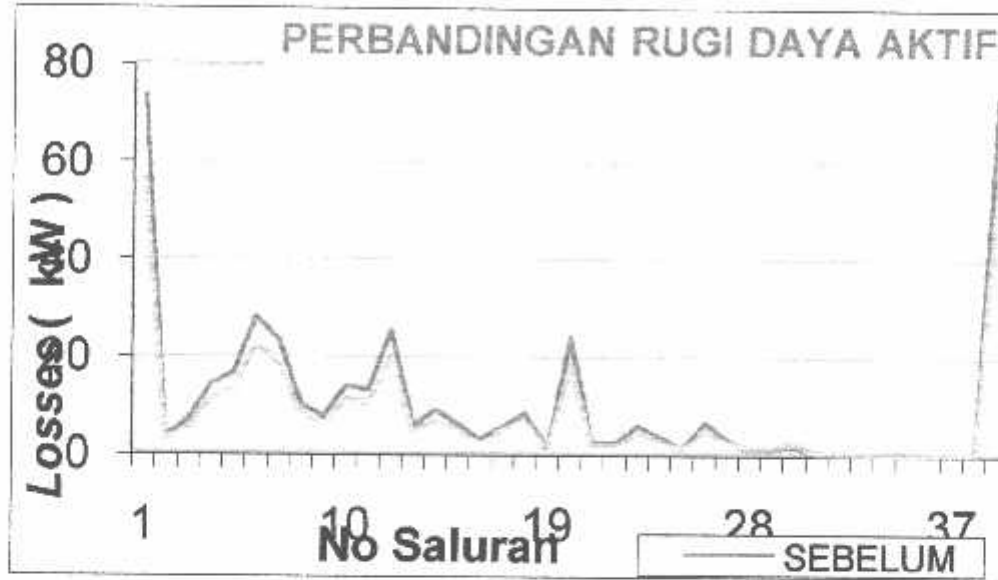
4.5 Analisa Hasil Perbandingan Sebelum Penempatan Kapasitor dan Setelah Penempatan Kapasitor

Tabel 4-11
**Perbandingan Rugi-rugi Daya Aktif Dan Daya Reaktif
Sebelum Penempatan Kapasitor Dengan Setelah Penempatan Kapasitor**

<i>ID</i>	Perbandingan Losses Daya Aktif Dan Daya Reaktif			
	Sebelum Penempatan Kapasitor		Setelah Penempatan Kapasitor	
	<i>Losses</i>		<i>Losses</i>	
	<i>KW</i>	<i>KVar</i>	<i>KW</i>	<i>KVar</i>
<i>Line 1</i>	73.400	112.213	56.755	86.767
<i>Line 2</i>	3.670	5.610	2.838	4.338
<i>Line 3</i>	7.156	10.939	5.498	8.405
<i>Line 4</i>	14.312	21.879	10.996	16.810
<i>Line 5</i>	16.803	25.687	12.875	19.682
<i>Line 6</i>	28.183	43.083	22.243	34.003
<i>Line 7</i>	23.275	35.580	18.384	28.103
<i>Line 8</i>	10.344	15.813	8.171	12.490

<i>Line 9</i>	7.758	11.860	6.063	9.269
<i>Line 10</i>	13.869	21.202	10.987	16.795
<i>Line 11</i>	13.331	20.379	10.444	15.965
<i>Line 12</i>	25.502	38.985	19.964	30.519
<i>Line 13</i>	6.077	9.290	4.776	7.301
<i>Line 14</i>	8.971	13.714	7.064	10.799
<i>Line 15</i>	6.383	9.758	5.102	7.800
<i>Line 16</i>	3.025	4.624	2.467	3.771
<i>Line 17</i>	6.049	9.247	4.934	7.543
<i>Line 18</i>	8.415	12.863	6.912	10.566
<i>Line 19</i>	1.277	1.953	1.079	1.650
<i>Line 20</i>	24.269	37.100	18.670	28.541
<i>Line 21</i>	2.555	3.905	1.965	3.004
<i>Line 22</i>	2.439	3.728	1.915	2.927
<i>Line 23</i>	5.978	9.138	4.396	6.720
<i>Line 24</i>	3.717	5.682	2.998	4.584
<i>Line 25</i>	1.238	1.893	0.903	1.381
<i>Line 26</i>	6.764	10.339	5.094	7.787
<i>Line 27</i>	3.035	4.640	2.736	4.182
<i>Line 28</i>	1.012	1.547	0.912	1.394
<i>Line 29</i>	1.276	1.951	1.440	2.201
<i>Line 30</i>	1.910	2.920	2.110	3.226
<i>Line 31</i>	0.263	0.401	0.402	0.615
<i>Line 32</i>	0.263	0.401	0.402	0.615
<i>Line 33</i>	0.084	0.128	0.164	0.250
<i>Line 34</i>	0.130	0.199	0.316	0.483
<i>Line 35</i>	0.174	0.267	0.184	0.281
<i>Line 36</i>	0.031	0.088	0.049	0.075
<i>Line 37</i>	0.024	0.037	0.059	0.091
<i>Line 38</i>	0.057	0.048	0.047	0.072

Grafik 4-1
Perbandingan Rugi Daya Aktif Sebelum Penempatan Kapasitor
Dengan Setelah Penempatan Kapasitor



Berdasarkan Tabel 4-11 pada halaman 54, maka akan dapat digambarkan menjadi Grafik 4-1. Dari Grafik 4-1 terlihat bahwa setelah penempatan kapasitor, terjadi penurunan rugi daya aktif pada setiap saluran. Rugi daya aktif terbesar pada saluran 1 yaitu 73.400 KW, setelah penempatan kapasitor rugi daya aktif turun menjadi 56.755 KW. Penempatan kapasitor dengan kapasitas total sebesar 2600 KVar juga menyebabkan terjadinya penurunan rugi daya aktif pada sistem secara keseluruhan, yaitu sebesar 16.645 KW dari 73.400 KW menjadi 56.755 KW.

Grafik 4-2
Perbandingan Rugi Daya Reaktif Sebelum Penempatan Kapasitor
Dengan Setelah Penempatan Kapasitor



Berdasarkan Tabel 4-11 pada halaman 54, maka juga akan dapat digambarkan menjadi Grafik 4-2. Dari Grafik 4-2 terlihat bahwa setelah penempatan kapasitor, terjadi penurunan rugi daya reaktif pada setiap saluran. Rugi daya reaktif terbesar pada saluran 1 yaitu 112.213 KVar, setelah penempatan kapasitor rugi daya reaktif turun menjadi 86.767 KVar. Penempatan kapasitor dengan kapasitas total sebesar 2600 KVar juga menyebabkan terjadinya penurunan rugi daya reaktif pada sistem secara keseluruhan, yaitu 25.446 KVar dari 112.213 KVar menjadi 86.767 KVar.

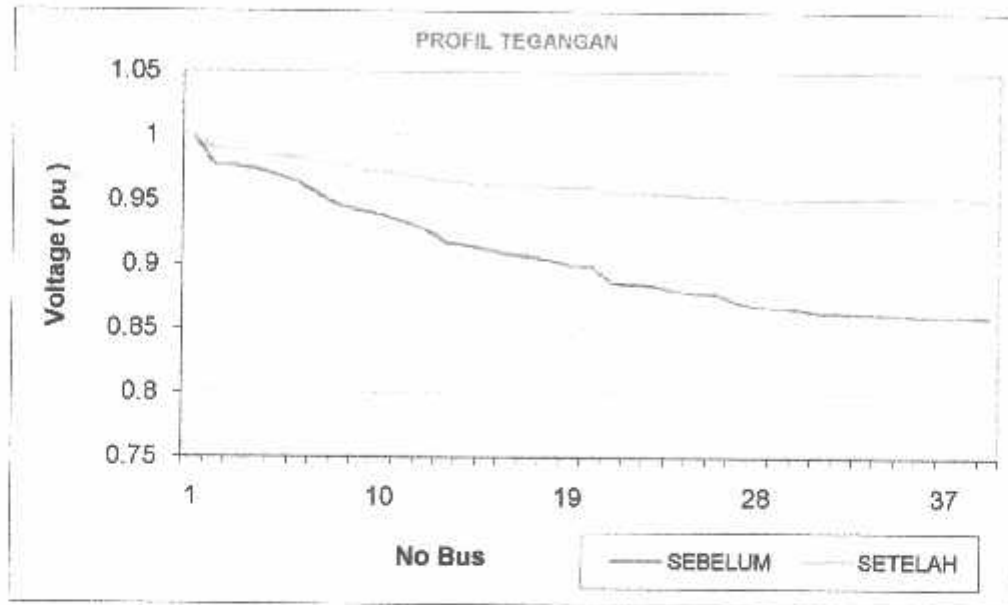
Tabel 4-12

Perbandingan Profil Tegangan

Sebelum Penempatan Kapasitor dan Setelah Penempatan Kapasitor

Perbandingan Profil Tegangan		
ID	Sebelum Penempatan Kapasitor	Setelah Penempatan Kapasitor
	pu	pu
Bus 1	1.00000	1.00000
Bus 2	0.97710	0.98844
Bus 3	0.97596	0.98787
Bus 4	0.97370	0.98676
Bus 5	0.96919	0.98455
Bus 6	0.96372	0.98197
Bus 7	0.95381	0.97786
Bus 8	0.94527	0.97457
Bus 9	0.94148	0.97314
Bus 10	0.93864	0.97200
Bus 11	0.93328	0.97004
Bus 12	0.92803	0.96807
Bus 13	0.91776	0.96439
Bus 14	0.91526	0.96354
Bus 15	0.91130	0.96233
Bus 16	0.90831	0.96154
Bus 17	0.90685	0.96119
Bus 18	0.90395	0.96049
Bus 19	0.89974	0.95959
Bus 20	0.89907	0.95947
Bus 21	0.88638	0.95578
Bus 22	0.88505	0.95540
Bus 23	0.88376	0.95506
Bus 24	0.88022	0.95387
Bus 25	0.87770	0.95329
Bus 26	0.87678	0.95294
Bus 27	0.87106	0.95125
Bus 28	0.86811	0.95084
Bus 29	0.86713	0.95070
Bus 30	0.86558	0.95082
Bus 31	0.86272	0.95096
Bus 32	0.86225	0.95113
Bus 33	0.86178	0.95129
Bus 34	0.86156	0.95141
Bus 35	0.86118	0.95172
Bus 36	0.86056	0.95170
Bus 37	0.86039	0.95176
Bus 38	0.86023	0.95189

Grafik 4-3
Perbandingan Profil Tegangan Sebelum Penempatan Kapasitor
Dengan Setelah Penempatan Kapasitor



Berdasarkan Tabel 4-12 pada halaman 58, maka akan dapat digambarkan menjadi Grafik 4-3. Dari Grafik 4-3 terlihat bahwa sebelum penempatan kapasitor, tegangan yang mengalami *under voltage* dibawah nilai toleransi $0,95 \leq V_{BUS} \leq 1,05$ tidak terjadi pada semua bus. Tegangan terendah terjadi pada bus 38 yaitu sebesar 0,8023 pu. Setelah dilakukan penempatan kapasitor, tegangan pada bus 14 dan 35 dapat diperbaiki masing-masing menjadi 0,96354 pu dan 0,95172 pu. Dan setelah dilakukan penempatan kapasitor, tegangan bus pada sistem distribusi primer 20 KV di penyulang-penyulang tidak ada lagi yang mengalami kondisi *under voltage* dibawah batas $\leq 0,95$.

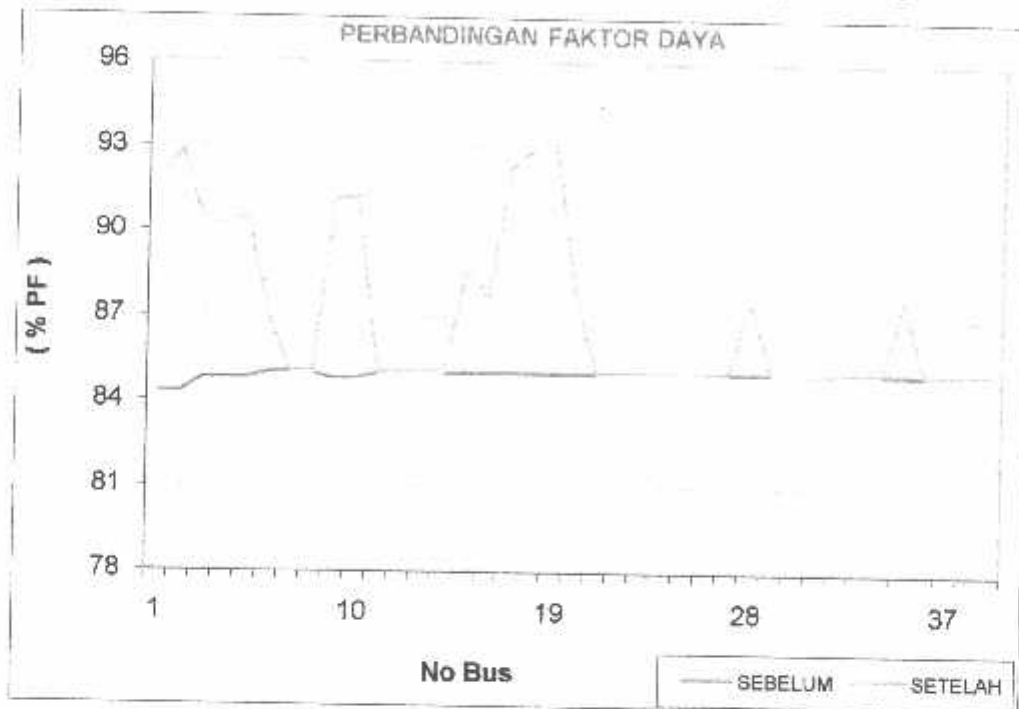
Perbaikan profil tegangan yang telah dilakukan telah memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan oleh PLN, yaitu berdasarkan SPLN 72 – 1987 yang menetapkan

bahwa batas penurunan tegangan adalah 5 % dari tegangan kerja, dan batas kenaikan tegangan 5 % dari tegangan kerja ($0,95 \leq V_{BUS} \leq 1,05$).

Tabel 4-13
Perbandingan Faktor Daya
Sebelum Penempatan Kapasitor dan Setelah Penempatan Kapasitor

ID	Perbandingan Faktor Daya	
	Sebelum Penempatan Kapasitor	Setelah Penempatan Kapasitor
<i>Bus 1</i>	%PF 84.3	%PF 91.8
<i>Bus 2</i>	84.3	92.8
<i>Bus 3</i>	84.8	90.3
<i>Bus 4</i>	84.8	90.3
<i>Bus 5</i>	84.8	90.5
<i>Bus 6</i>	85.0	87.0
<i>Bus 7</i>	85.0	85.0
<i>Bus 8</i>	85.0	85.0
<i>Bus 9</i>	84.8	91.1
<i>Bus 10</i>	84.8	91.2
<i>Bus 11</i>	85.0	85.0
<i>Bus 12</i>	85.0	85.0
<i>Bus 13</i>	85.0	85.0
<i>Bus 14</i>	85.0	85.0
<i>Bus 15</i>	85.0	88.6
<i>Bus 16</i>	85.0	87.7
<i>Bus 17</i>	85.0	92.3
<i>Bus 18</i>	85.0	92.9
<i>Bus 19</i>	85.0	93.2
<i>Bus 20</i>	85.0	87.9
<i>Bus 21</i>	85.0	85.0
<i>Bus 22</i>	85.0	85.0
<i>Bus 23</i>	85.0	85.0
<i>Bus 24</i>	85.0	85.0
<i>Bus 25</i>	85.0	85.0
<i>Bus 26</i>	85.0	85.0
<i>Bus 27</i>	85.0	85.0
<i>Bus 28</i>	85.0	87.6
<i>Bus 29</i>	85.0	85.0
<i>Bus 30</i>	85.0	85.0
<i>Bus 31</i>	85.0	85.0
<i>Bus 32</i>	85.0	85.0
<i>Bus 33</i>	85.0	85.0
<i>Bus 34</i>	85.0	85.0
<i>Bus 35</i>	85.0	87.6
<i>Bus 36</i>	85.0	85.0
<i>Bus 37</i>	85.0	85.0
<i>Bus 38</i>	85.0	85.0
<i>Bus 39</i>	85.0	85.0

Grafik 4-4
Perbandingan Faktor Daya
Sebelum Penempatan Kapasitor dan Setelah Penempatan Kapasitor



Berdasarkan Tabel 4-13 pada halaman 60, maka akan dapat digambarkan menjadi Grafik 4-4. Dari Grafik 4-4 terlihat bahwa dengan adanya penempatan kompensasi kapasitor dengan kapasitas total sebesar 2700 KVar, terjadi peningkatan faktor daya hampir di semua bus. Penempatan kapasitor ini juga meningkatkan % faktor daya sistem secara keseluruhan dari 84,32 menjadi 92,24. Setelah dilakukan analisa menggunakan *software MATHLAB* terhadap kondisi sebelum penempatan kapasitor dan setelah penempatan kapasitor pada sistem distribusi 20 KV penyulang-penyulang di Power & Water Plant Operation – Teknik & PF Pertamina Unit Bisnis EP Tanjung, Kalimantan Selatan, maka secara keseluruhan didapatkan beberapa hasil seperti pada tabel 4-14 berikut ini.

Tabel 4-14

Hasil Analisa Dengan Menggunakan *Software MATHLAB*

No		Sebelum Penempatan Kapasitor	Setelah Penempatan Kapasitor	
			Bus	Kapasitas Kapasitor (KVar)
1	Lokasi Penempatan dan Kapasitas Kapasitor		8	300
			10	50
			13	300
			17	50
			18	350
			20	350
			29	200
			33	300
			37	400
			39	300
2	Tegangan Terendah - Pada bus 29	0,85957 pu	0,95070 pu	
3	Faktor Daya	0,8432	0,9224	
4	Rugi Daya Aktif	196,2 KW	157,8 KW	
	Pengurangan Rugi Daya Aktif		38 KW	
	Rugi Daya Reaktif	213,3 KVar	169,6 KVar	
	Pengurangan Rugi Daya Reaktif		43 KVar	

Berdasarkan Tabel 4-14 maka akan dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Letak kapasitor yang optimal terletak pada bus 8, 10, 13, 17, 18, 20, 29, 33, 37, dan 39. Dengan kapasitas kapasitor masing-masing 300 KVar, 50 KVar, 300 KVar, 50 KVar, 350 KVar, 350 KVar, 200 KVar, 300 KVar, 400 KVar dan 300 KVar,
 - Pada *single line MATHLAB* berada pada bus 8 sebesar 300 KVAR (Bus ST.8A)
 - Pada *single line MATHLAB* berada pada bus 10 sebesar 50KVAR (Bus ST.2)
 - Pada *single line MATHLAB* berada pada bus 13 sebesar 300 KVAR (Bus ST.7C)

- Pada *single line MATHLAB* berada pada *bus 17* sebesar 50 KVAR (*Bus POWERPLANT*)
- Pada *single line MATHLAB* berada pada *bus 18* sebesar 350 KVAR (*Bus ST.6B/6C*)
- Pada *single line MATHLAB* berada pada *bus 20* sebesar 350 KVAR (*Bus ST.6A*)
- Pada *single line MATHLAB* berada pada *bus 29* sebesar 200 KVAR (*Bus ST.13A*)
- Pada *single line MATHLAB* berada pada *bus 33* sebesar 300 KVAR (*Bus ST.10B*)
- Pada *single line MATHLAB* berada pada *bus 37* sebesar 400 KVAR (*Bus ST.5*)
- Pada *single line MATHLAB* berada pada *bus 39* sebesar 300 KVAR (*Bus ST.6*)
- Tegangan terendah terjadi pada *bus 29* yaitu sebesar 0,85957 pu. Setelah dilakukan penempatan kapasitor, tegangan pada *bus 38* dapat diperbaiki masing-masing menjadi 0,95070 pu.
- Dengan penambahan kompensasi kapasitor total sebesar 2600 KVar maka terjadi kenaikan faktor daya sistem dari 0,8432 menjadi 0,9224.
- Besarnya penurunan rugi daya aktif setelah penempatan kapasitor dari 196,2 KW menjadi 157,8 KW adalah sebesar 38,4 KW atau 19,57 %. Penurunan rugi daya reaktif setelah penempatan kapasitor dari 213,3 KVar menjadi 169,6 KVar, adalah sebesar 43,7 KVar atau 20,48 %.

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Setelah dilakukan analisis mengenai penentuan lokasi, dan kapasitas kapasitor yang optimal pada system distribusi 20 kV dengan menggunakan metode Binary Linier Deterministic dari uji coba program, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil perhitungan dengan metode ini, terlihat bahwa tegangan tiap bus sebelum dilakukan kompensasi rata-rata sebesar dibawah 0,98 pu, tetapi setelah dilakukan kompensasi dengan pemasangan kapasitor maka terjadi perbaikan tegangan, rata-rata besar tegangan pada tiap-tiap bus menjadi diatas 0,988 pu.
2. Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa dengan Binary Linier Deterministic, letak dan kapasitas kapasitor yang optimal pada node 23 dengan kapasitas sebesar 2600 kVAR.
3. Nilai penghematan yang diperoleh setelah kompensasi sebesar 25.631.294 US \$/Tahun atau sebesar Rp. 233.244.775,-/Tahun adalah Rp. 9.100,-

5.2. Saran

Penentuan letak dan kapasitor pada jaringan distribusi Power Plant dengan menggunakan *software MATLAB* perlu dikembangkan dan diaplikasikan dalam menganalisa saluran-saluran yang telah ada, maupun untuk perencanaan perluasan jaringan yang kemungkinan akan terjadi penambahan beban dalam jumlah besar, agar kondisi tegangan pada setiap ujung saluran tetap dapat dipertahankan dalam batas-batas toleransi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Basri , Hasan , "*Sistem Distribusi Daya Listrik*" , (1997), ISTN, Jakarta
 - [2] Marsudi Djiteng, "*Operasi Sistem Tenaga Listrik*" , (1990), Balai Penerbit & Humas ISTN, Jakarta.
 - [3] Pabla, AS, Abdul Hadi, "*Sistem Distribusi Daya Listrik*" , (1994), Erlangga, Jakarta.
 - [4] Stevenson Jr, William D , "*Analisis Sistem Tenaga Listrik*" , (1994), Erlangga, Jakarta
 - [5] Suriadi, Syahrizal, Chandra Ronny, "*Penentuan Lokasi Optimal Penggunaan Kapasitor Daya Pada Gardu Hubung Jantho*" , (2006), Jurnal Rekayasa Elektriika Vol.5 No.2 Tahun 2006.
 - [6] Syukri Mahdi, "*Perhitungan Drop Tegangan Pada Jaringan Distribusi Primer Banda Aceh*" , (2005), Jurnal Rekayasa Elektriika Vol 4 No.2 Tahun 2005.
 - [7] Asy"ari Hasyim , Jatmiko, Bachtiar Ivan, "*Perbaikan Tegangan Untuk Konsumen*" , (2003) , Jurnal Teknik Elektro dan Komputer Emitor Vol.3, No.2, September 2003.
 - [8] Hosca Emmy, Nugraha Adi, "*Optimasi Penentuan Lokasi Switched 20 KV Power Capacitors Pada Jaringan Distribusi 20 KV Jawa Timur*" , (2001), Jurnal Teknik Elektro, Vol.1 No.2 September 2001
 - [9] Ngakan Putu Satriya Utama, "*Memperbaiki Profil Tegangan Di Sistem Distribusi Primer Dengan Kapasitor Shunt*" , (2008), Teknologi Elektro, Vol.7 No.1 Januari - Juni 2008.
 - [10] Deni Almanda, Peranan "*Kapasitor Dalam Penggunaan Energi Listrik*" , (2000), Elektro Indonesia No.30, Tahun VI, April 2000
 - [11] General Cable Catalog , www.generalcable.co.nz
 - [12] Schneider Electric Indonesia Catalog , www.schneider.electric.co.id
 - [13] Power Capacitor Catalog, www.abb.com
-

Perhitungan Aliran Daya
dengan Metode Forward-Backward Sweep

Warning: Could not find an exact (case-sensitive) match for 'num2Str'. C:\Program Files\MathWorks\MATLAB704\toolbox\matlab\strfun\num2str.m is a case-insensitive match and will be used instead. You can improve the performance of your code by using exact name matches. We therefore recommend that you update your usage accordingly. Alternatively, you can disable this warning using warning('off','MATLAB:dispatcher:InexactMatch').

takForwardBackward at 15

taTAFixRev at 143

Bus = 39

Saluran = 38

iterasi = 3

Waktu hitung = 0.29688 detik

Tegangan
pu

1.00000	0.00000
0.97710	-0.01356
0.97596	-0.01426
0.97370	-0.01562
0.96919	-0.01836
0.96372	-0.02170
0.95381	-0.02805
0.94527	-0.03357
0.94148	-0.03605
0.93864	-0.03793
0.93328	-0.04151
0.92803	-0.04504
0.91776	-0.05201
0.91526	-0.05373
0.91130	-0.05637
0.90831	-0.05836
0.90685	-0.05934
0.90395	-0.06131
0.89974	-0.06414
0.89907	-0.06459
0.88638	-0.07328
0.88505	-0.07421
0.88376	-0.07513
0.88022	-0.07758
0.87770	-0.07942
0.87678	-0.08008
0.87106	-0.08416
0.86811	-0.08657
0.86713	-0.08738
0.86558	-0.08869
0.86272	-0.09118
0.86225	-0.09164
0.86178	-0.09210
0.86156	-0.09231

0.86023 -0.09363
 0.85957 -0.09430

to	Daya		Rugi Saluran	
	kw	kvar	kw	kvar
2	4508.049	2282.181	73.400	112.213
3	4434.649	2169.969	3.670	5.610
4	4361.649	2164.359	7.156	10.939
5	4354.493	2153.419	14.312	21.879
6	4197.031	2084.491	16.803	25.687
7	3854.279	1831.294	28.183	43.083
8	3653.386	1737.842	23.275	35.580
9	3630.111	1702.262	10.344	15.813
0	3619.767	1686.448	7.758	11.860
1	3414.329	1584.519	13.869	21.202
2	3329.249	1542.547	13.331	20.379
3	3235.129	1505.768	25.502	38.985
4	3129.626	1440.493	6.077	9.290
5	2919.770	1389.823	8.971	13.714
6	2735.269	1318.419	6.383	9.758
7	2662.195	1262.111	3.025	4.624
3	2659.171	1257.487	6.049	9.247
3	2543.531	1225.990	8.415	12.863
3	2418.337	1159.926	1.277	1.953
1	2417.060	1157.974	24.269	37.100
2	2392.791	1120.874	2.555	3.905
1	2342.986	1075.299	2.439	3.728
-	2100.137	1001.451	5.978	9.138
1	1826.399	819.353	3.717	5.682
1	1656.023	758.890	1.238	1.893
	1457.044	678.847	6.764	10.339
	1241.191	489.698	3.035	4.640
	1238.155	485.058	1.012	1.547
	987.793	369.901	1.276	1.951
	793.507	285.730	1.910	2.920
	644.277	195.400	0.263	0.401
	644.014	194.998	0.263	0.401
	444.942	136.607	0.084	0.128
	393.528	114.609	0.130	0.199
	321.318	96.350	0.174	0.267
	222.333	68.093	0.031	0.048
	170.972	46.175	0.024	0.037
	98.867	28.078	0.057	0.088

bangkitan = 4508.0493+2282.1815i kVA

bebanan = 4175.03+1773.09i kVA

i Saluran = 340.1101+519.9315i kVA

ENIS KAPASITOR

ed 2 = Swicth

= 1

5 6 7 8 9 10

Low kvar	Med kvar	Peak kvar
150	150	150
250	250	250
350	350	350
50	50	50
350	350	350
350	350	350
400	400	400
150	150	150
350	350	350
400	400	400

Hasil Perhitungan Aliran Daya
dengan Metode Forward-Backward Sweep:

bus = 39
aliran =
iterasi = 3
waktu = 0.0625 detik

Tegangan pu	
.00000	0.00000
.99022	-0.02151
.98974	-0.02260
.98874	-0.02470
.98676	-0.02892
.98447	-0.03408
.98094	-0.04407
.97817	-0.05283
.97696	-0.05674
.97590	-0.05957
.97409	-0.06504
.97193	-0.07014
.96786	-0.08021
.96691	-0.08270
.96549	-0.08660
.96452	-0.08961
.96407	-0.09109
.96320	-0.09407
.96154	-0.09808
.96130	-0.09874

```

0.95329 -0.12027
0.95294 -0.12118
0.95125 -0.12706
0.95084 -0.13064
0.95070 -0.13184
0.95082 -0.13398
0.95096 -0.13793
0.95113 -0.13872
0.95129 -0.13950
0.95141 -0.13989
0.95172 -0.14065
0.95170 -0.14153
0.95176 -0.14180
0.95189 -0.14213
0.95129 -0.14267
-----

```

```

-----
to      Daya      Rugi Saluran
      kw      kvar      kw      kvar
-----
2      4437.345   -225.905   56.755   86.767
3      4380.590   -312.672    2.838    4.338
4      4308.422   -317.010    5.498    8.405
5      4302.924   -325.415   10.996   16.810
6      4148.778   -389.275   12.875   19.682
7      3809.953   -636.466   22.243   34.003
8      3614.999   -720.840   18.384   28.103
9      3596.615   -748.943    8.171   12.490
10     3588.445   -661.434    6.063    9.269
11     3384.702   -760.772   10.987   16.795
12     3302.505   -698.338   10.444   15.965
13     3211.271   -730.703   19.964   30.519
14     3111.307   -787.512    4.776    7.301
15     2902.751   -836.193    7.064   10.799
16     2720.156   -904.683    5.102    7.800
17     2648.364   -959.033    2.467    3.771
18     2645.897   -962.804    4.934    7.543
19     2531.373   -992.596    6.912   10.566
20     2407.681  -1056.363    1.079    1.650
21     2406.602   -708.012   18.670   28.541
22     2387.932   -736.553    1.965    3.004
23     2338.717   -781.228    1.915    2.927
24     2096.392   -504.275    4.396    6.720
25     1824.236   -683.955    2.998    4.584
26     1654.577   -343.319    0.903    1.381
27     1455.934   -422.850    5.094    7.787
28     1241.750   -609.447    2.736    4.182
29     1239.014   -613.629    0.912    1.394
30     988.753    -728.633    1.440    2.201
31     794.303    -563.053    2.110    3.226
32     644.873    -653.689    0.402    0.615
33     644.873    -653.689    0.402    0.615
-----

```

```

).95484 -0.11744
).95442 -0.12030
).95434 -0.12138
).95442 -0.12844
).95442 -0.13229
).95442 -0.13357
).95427 -0.13550
).95410 -0.13921
).95395 -0.13978
).95380 -0.14034
).95378 -0.14064
).95381 -0.14120
).95398 -0.14220
).95411 -0.14252
).95433 -0.14291
).95373 -0.14345
-----

```

```

-----
to      Daya      Rugi Saluran
      kw      kvar      kw      kvar
-----
2      4437.892    -625.070    57.746    88.281
3      4380.146    -713.351     2.887     4.414
4      4307.928    -567.764     5.541     8.471
5      4302.387    -576.235    11.083    16.942
6      4148.155    -640.227    13.004    19.879
7      3809.200    -887.617    22.690    34.686
8      3613.800    -972.673    18.831    28.787
9      3594.970   -1001.459     8.369    12.794
0      3586.600    -764.253     6.076     9.288
1      3382.844    -863.612    11.039    16.875
2      3300.595    -551.257    10.179    15.560
3      3209.627    -583.217    19.433    29.707
4      3110.194    -639.214     4.641     7.095
5      2901.773    -637.689     6.786    10.374
6      2719.457    -705.752     4.869     7.443
7      2647.898    -759.746     2.345     3.585
8      2645.553    -763.331     4.690     7.170
9      2531.272    -442.751     6.139     9.384
0      2408.353    -505.335     0.941     1.439
1      2407.412    -506.774    17.888    27.346
2      2389.524    -534.120     1.883     2.879
3      2340.391    -578.669     1.827     2.793
4      2098.153    -651.582     4.557     6.966
5      1825.836    -831.508     3.173     4.851
6      1656.003    -891.139     1.116     1.706
7      1457.147    -970.995     6.775    10.357
8      1241.282    -810.162     3.121     4.770
9      1238.162    -814.932     1.040     1.590
0      987.771     -530.133     1.190     1.819
1      793.572     -464.172     1.868     2.855
2      644.384     -204.437     0.217     0.331
-----

```


36	321.497	-303.376	0.247	0.378
37	222.440	-331.744	0.076	0.116
38	171.034	-353.730	0.098	0.149
39	98.857	28.061	0.047	0.071

Pembangkitan = $4437.8916+2174.9304i$ kVA

Pembebanan = $4175.03+1773.09i$ kVA

Rugi Saluran = $264.9423+405.0212i$ kVA

Awal (US\$) = 2949155.083

Akhir (US\$) = 4275048.4497

(US\$) = -1325893.3667

7	222.375	-231.842	0.049	0.075
8	170.996	-253.787	0.059	0.091
9	98.857	28.062	0.047	0.072

embangkitan = 4437.3451+2174.0949i kVA
embebanan = 4175.03+1773.09i kVA
ugi Saluran = 264.614+404.5194i kVA

Awal (US\$) = 2949155.083
Akhir (US\$) = 4273753.4497
(US\$) = -1324598.3667

ANIS KAPASITOR

nd 2 = Swicth

- 2

5 6 7 8 9 10

Low kvar	Med kvar	Peak kvar
250	150	100
150	350	100
250	200	350
400	350	350
350	350	400
50	350	250
150	250	150
200	400	400
100	400	300

Hasil Perhitungan Aliran Daya
dengan Metode Forward-Backward Sweep

bus = 39

saluran =

terasi = 3

hitung = 0.0625 detik

Tegangan
pu

.00000	0.00000
.98844	-0.02039
.98787	-0.02142
.98676	-0.02346
.98455	-0.02754
.98197	-0.03255
.97786	-0.04222
.97457	-0.05070
.97314	-0.05449
.97200	-0.05729
.97004	-0.06272
.96807	-0.06800
.96439	-0.07842
.96354	-0.08099
.96233	-0.08508
.96154	-0.08823
.96119	-0.08978
.96049	-0.09290
.95959	-0.09745
.95947	-0.09819
.95920	-0.10000

```
);
1000;
10.00;
.000;
(base*Vkonst)^2/(Pbase*Pkonst);
(base*Vkonst)/Zbase;
; %Jika pu TypParam=1 jika ohm TypParam=2
```

bsV	sudV	Pgen	Qgen	Pload	Qload	Sup	Type	Bus
0000	0.00000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00000	1;	
0000	0.00000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00000	3;	
0000	0.00000	0.000	0.000	69.330	0.000	0.00000	3;	
0000	0.00000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00000	3;	
0000	0.00000	0.000	0.000	143.150	47.050	0.00000	3;	
0000	0.00000	0.000	0.000	325.950	227.510	0.00000	3;	
0000	0.00000	0.000	0.000	172.710	50.370	0.00000	3;	
0000	0.00000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00000	3;	
0000	0.00000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00000	3;	
0000	0.00000	0.000	0.000	197.680	90.070	0.00000	3;	
0000	0.00000	0.000	0.000	71.210	20.770	0.00000	3;	
0000	0.00000	0.000	0.000	80.790	16.400	0.00000	3;	
0000	0.00000	0.000	0.000	80.000	26.290	0.00000	3;	
0000	0.00000	0.000	0.000	203.780	41.380	0.00000	3;	
0000	0.00000	0.000	0.000	175.530	57.690	0.00000	3;	
0000	0.00000	0.000	0.000	66.690	46.550	0.00000	3;	
0000	0.00000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00000	3;	
0000	0.00000	0.000	0.000	109.590	22.250	0.00000	3;	
0000	0.00000	0.000	0.000	116.780	53.200	0.00000	3;	
0000	0.00000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00000	3;	
0000	0.00000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00000	3;	
0000	0.00000	0.000	0.000	47.250	41.670	0.00000	3;	
0000	0.00000	0.000	0.000	240.410	70.120	0.00000	3;	
0000	0.00000	0.000	0.000	267.760	172.960	0.00000	3;	
0000	0.00000	0.000	0.000	166.660	54.780	0.00000	3;	
0000	0.00000	0.000	0.000	197.740	78.150	0.00000	3;	
0000	0.00000	0.000	0.000	209.090	178.810	0.00000	3;	
0000	0.00000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00000	3;	
0000	0.00000	0.000	0.000	249.350	113.610	0.00000	3;	
0000	0.00000	0.000	0.000	193.010	82.220	0.00000	3;	
0000	0.00000	0.000	0.000	147.320	87.410	0.00000	3;	
0000	0.00000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00000	3;	
0000	0.00000	0.000	0.000	198.810	57.990	0.00000	3;	
0000	0.00000	0.000	0.000	51.330	21.870	0.00000	3;	
0000	0.00000	0.000	0.000	72.080	18.060	0.00000	3;	
0000	0.00000	0.000	0.000	98.810	27.990	0.00000	3;	
0000	0.00000	0.000	0.000	51.330	21.870	0.00000	3;	
0000	0.00000	0.000	0.000	72.080	18.060	0.00000	3;	
0000	0.00000	0.000	0.000	98.810	27.990	0.00000	3];	

```
1, Cap]=DecodeBus (Bus);
```

```
0.0575 0.0879 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 10000;  
0.1150 0.1758 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 10000;  
0.2300 0.3516 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 10000;  
0.2875 0.4395 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 10000;  
0.5750 0.8790 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 10000;  
0.5175 0.7911 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 10000;  
0.2300 0.3516 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 10000;  
0.1725 0.2637 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 10000;  
0.3450 0.5274 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 10000;  
0.3450 0.5274 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 10000;  
0.6900 1.0548 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 10000;  
0.1725 0.2637 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 10000;  
0.2875 0.4395 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 10000;  
0.2300 0.3516 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 10000;  
0.1150 0.1758 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 10000;  
0.2300 0.3516 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 10000;  
0.3450 0.5274 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 10000;  
0.0575 0.0879 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 10000;  
1.0925 1.6701 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 10000;  
0.1150 0.1758 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 10000;  
0.1150 0.1758 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 10000;  
0.3450 0.5274 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 10000;  
0.2875 0.4395 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 10000;  
0.1150 0.1758 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 10000;  
0.8050 1.2306 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 10000;  
0.5175 0.7911 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 10000;  
0.1725 0.2637 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 10000;  
0.3450 0.5274 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 10000;  
0.8050 1.2306 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 10000;  
0.1725 0.2637 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 10000;  
0.1725 0.2637 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 10000;  
0.1150 0.1758 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 10000;  
0.2300 0.3516 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 10000;  
0.4600 0.7032 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 10000;  
0.1725 0.2637 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 10000;  
0.2300 0.3516 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 10000;  
0.6100 2.4613 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 10000];
```

```
ch=1.3;
Wbank CapBank costFixed costSwitch;
capyear growth;
=5;
1.21;
15;
15;
min Vmax;

-----

loadlow sebelum penempatan kapasitor
ed,Ppea,objfunc1]=InitLoadflow();
low Pmed Ppea objfunc1;

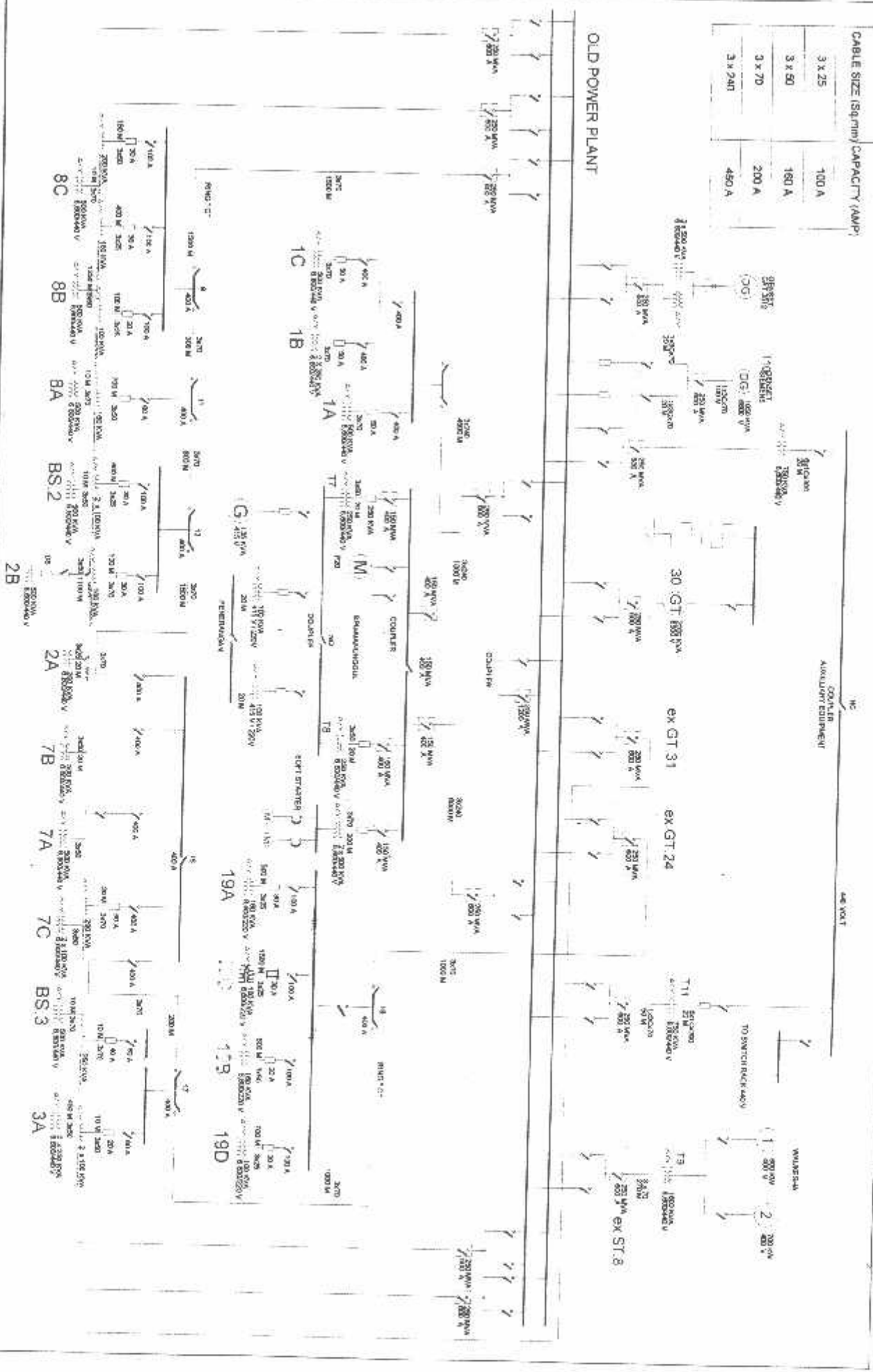
0;
10;
75;
ms;
0;
0000;

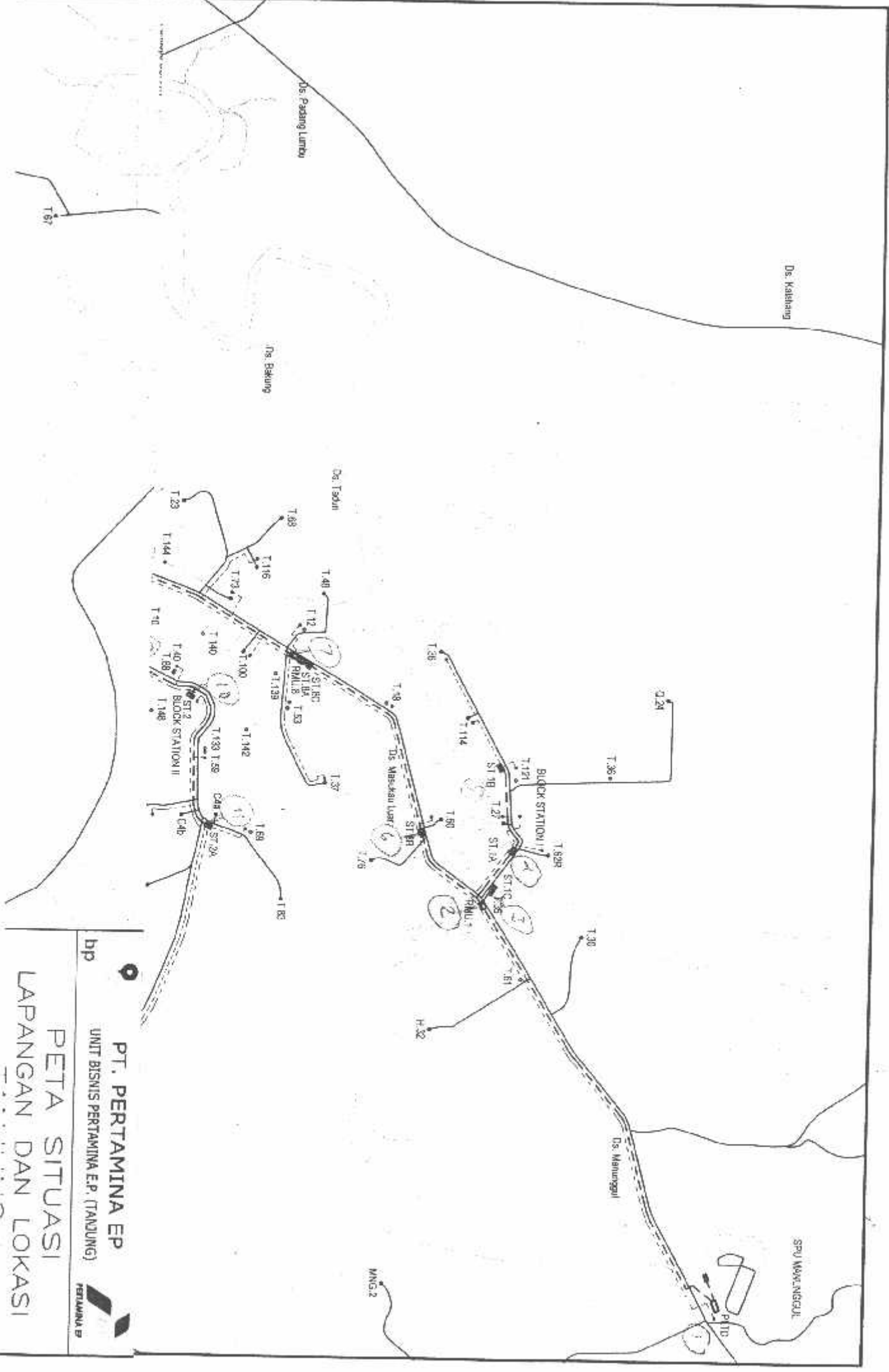
positivitas;
en;
kasitor jika fixed type=1 jika switch type=2
.IH JENIS KAPASITOR');
' Fixed 2 = Swicth');
'PILIHAN = ');

p=1;
--2
p=2;

g,aMax,BestVal]=LinierDet(MaxItr,MaxSize,Alpha,...
    Param,Length,Ka,Ncap,typcap);
=ObjFuncAkhir(BestVal);
```


CABLE SIZE (Sqmm) CAPACITY (AMP)	
3 x 25	100 A
3 x 50	160 A
3 x 70	200 A
3 x 240	450 A

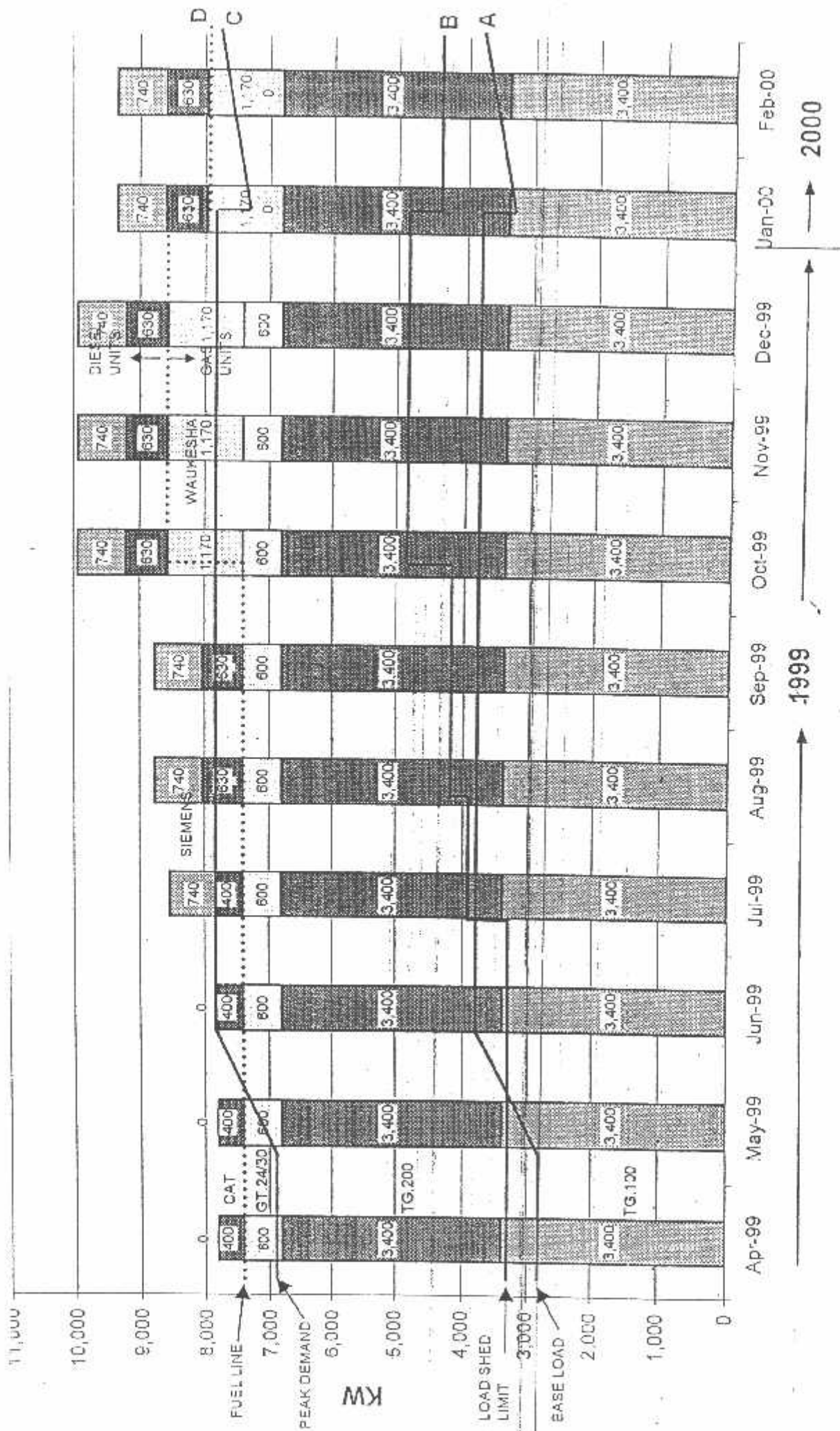


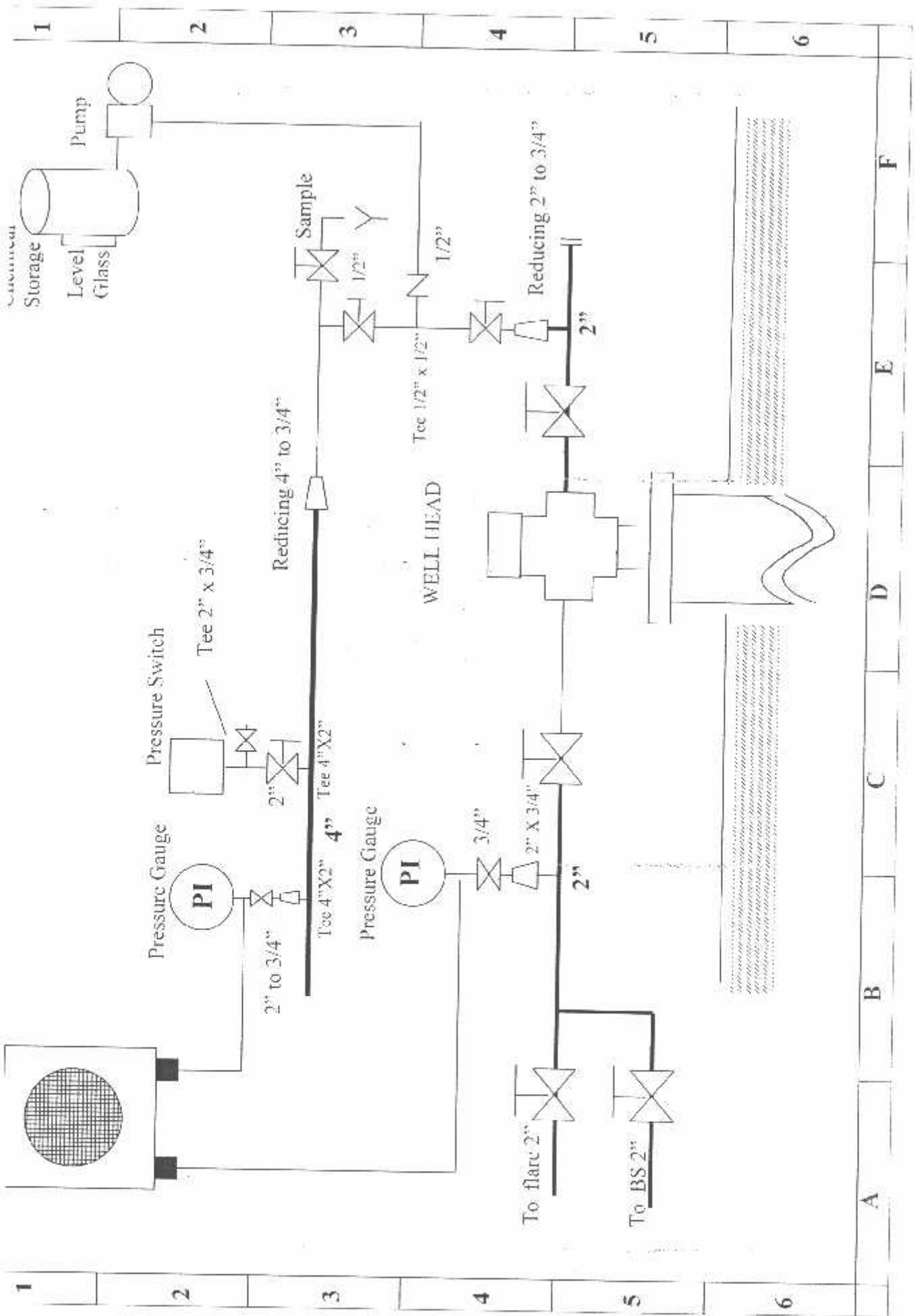



PT. PERTAMINA EP
 UNIT BISNIS PERTAMINA E.P. (TANJUNG)

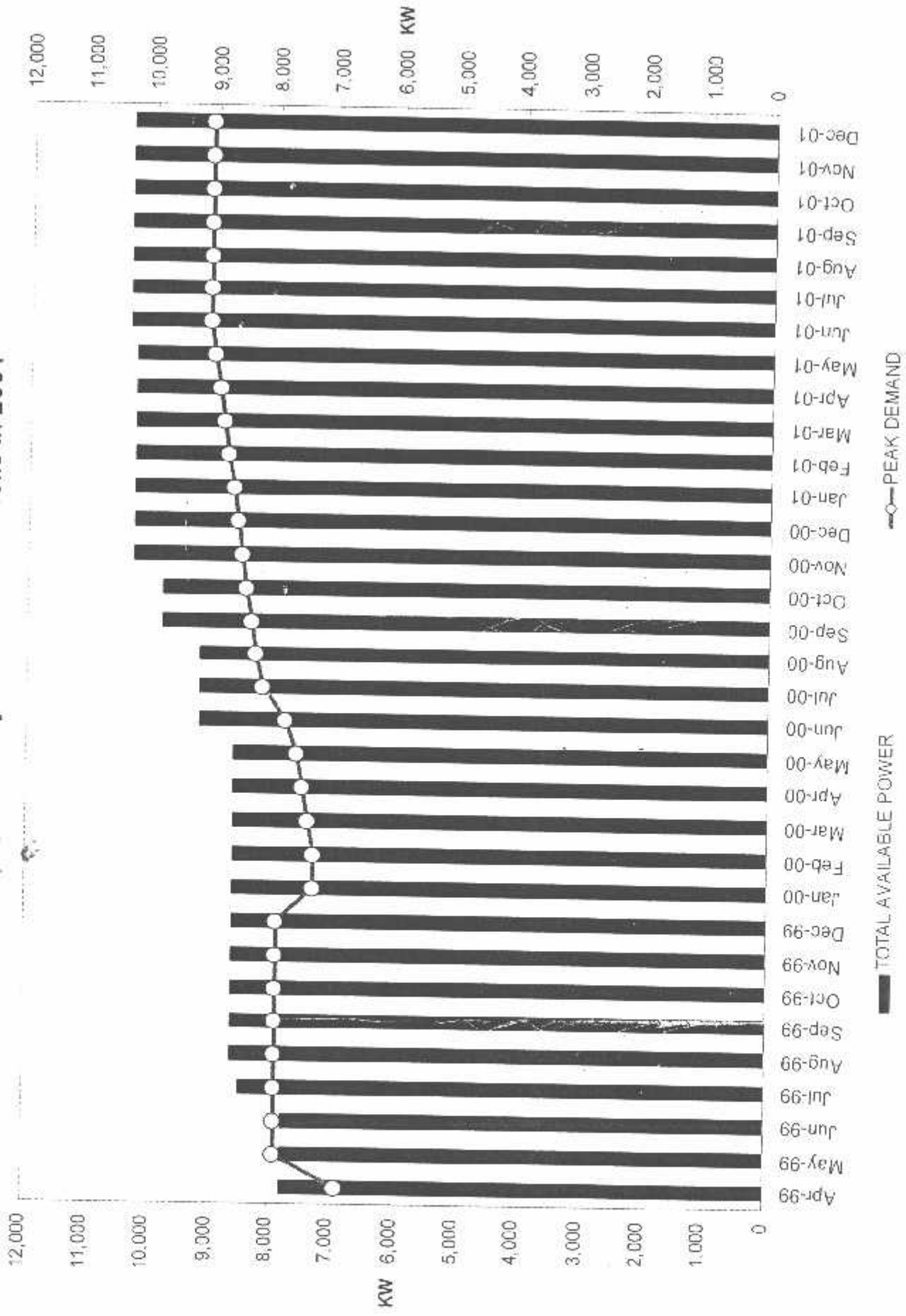
PETA SITUASI
LAPANGAN DAN LOKASI



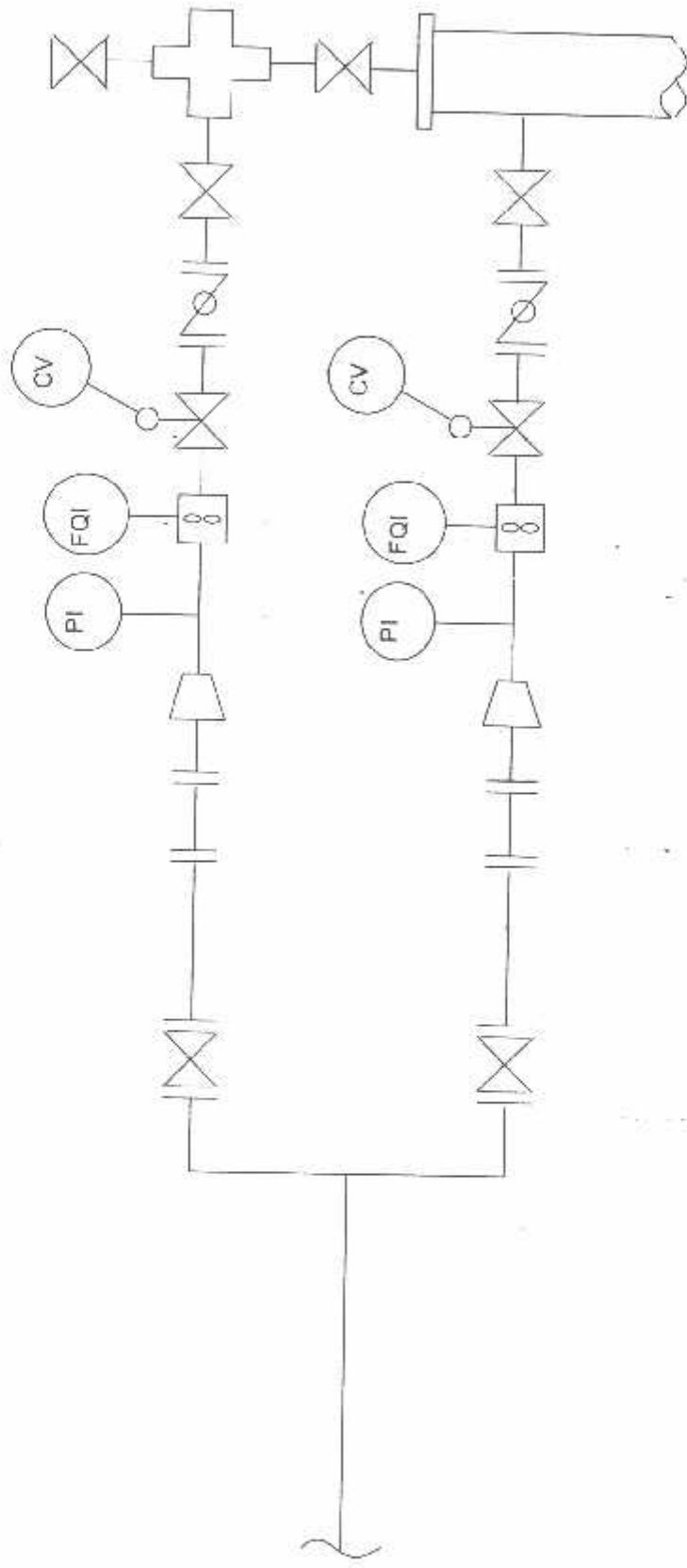


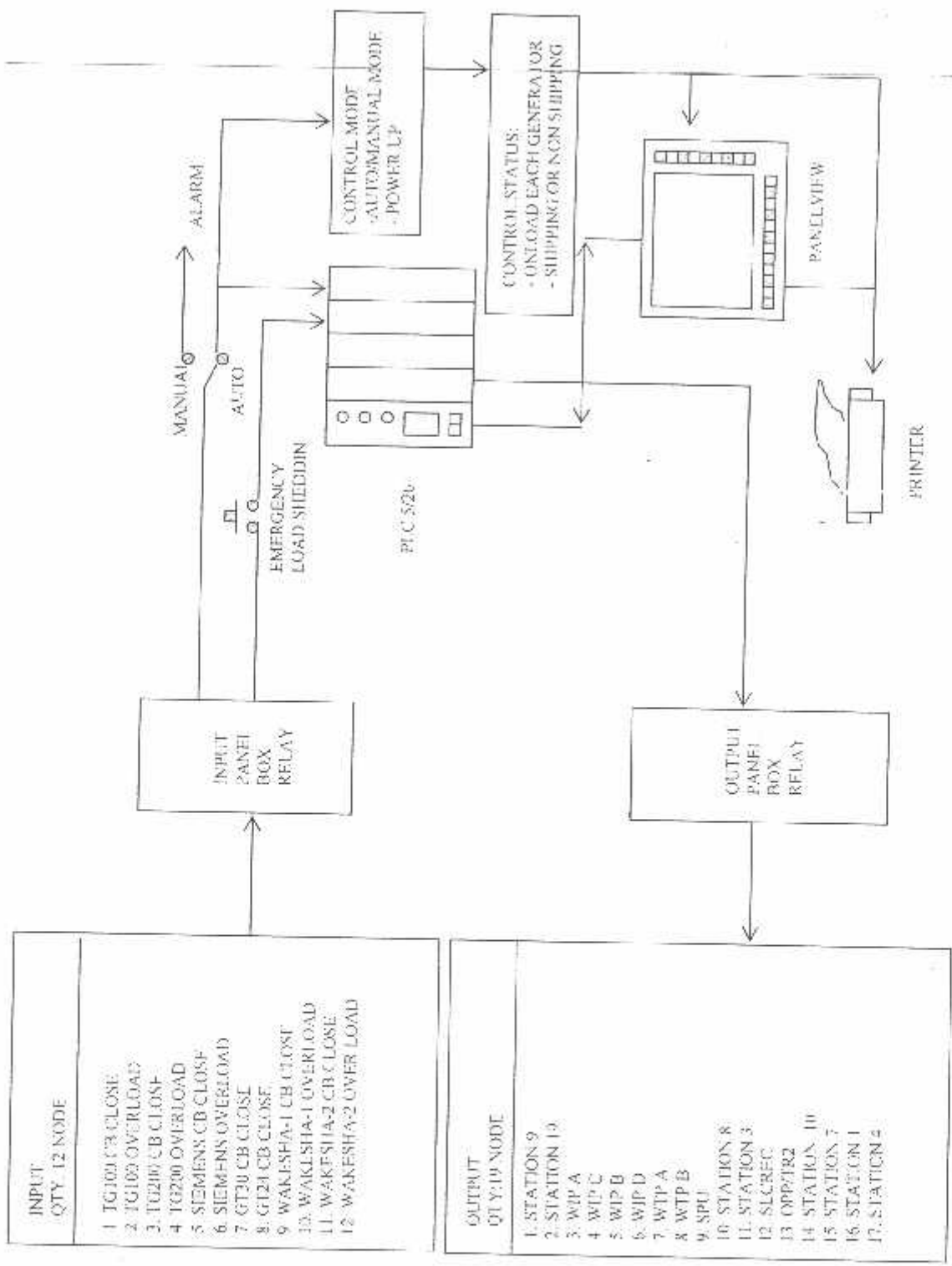


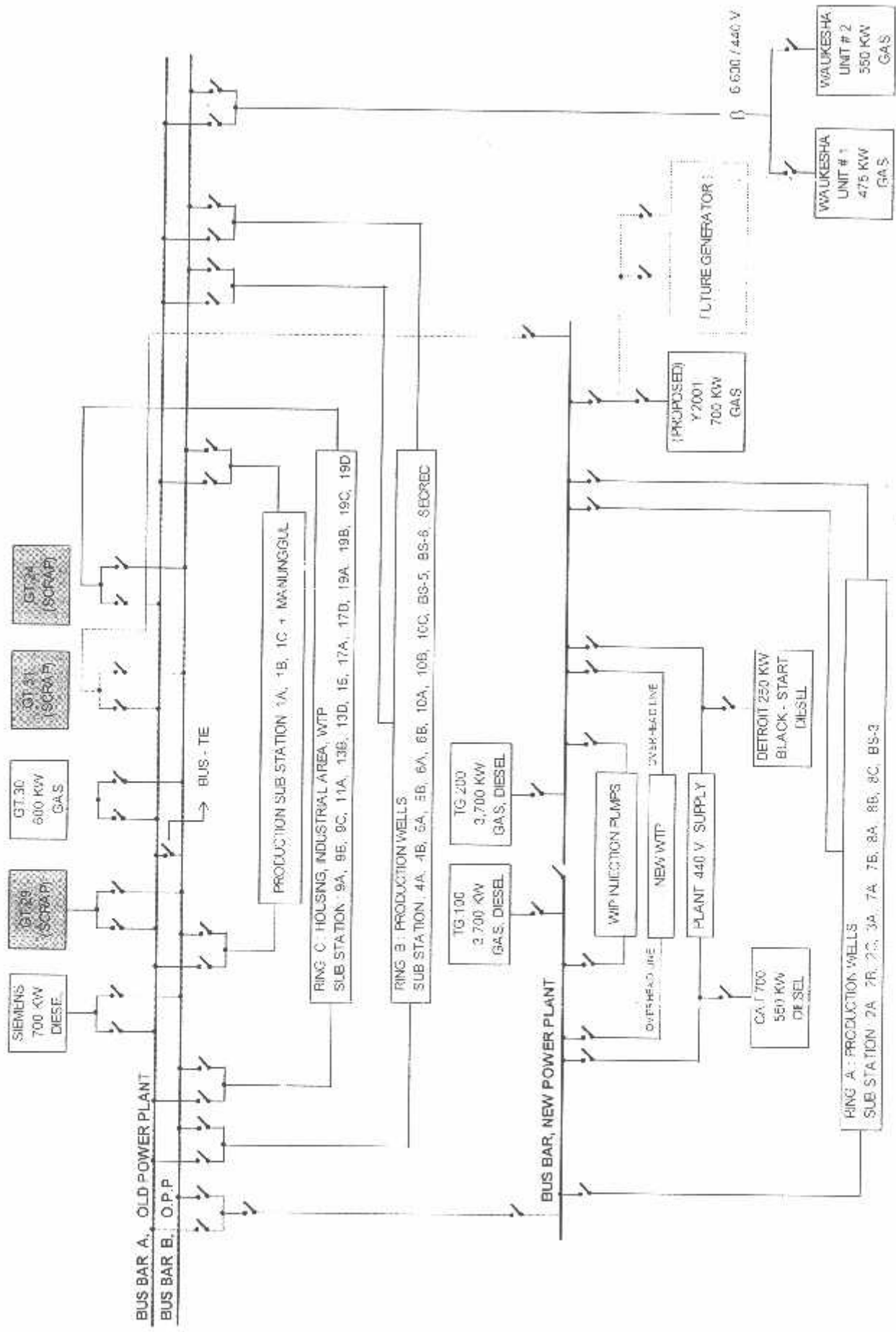
Assumes 100% Injection + 5 New Wells in 2001



INJECTION WELL HEAD DUAL COMPLETION

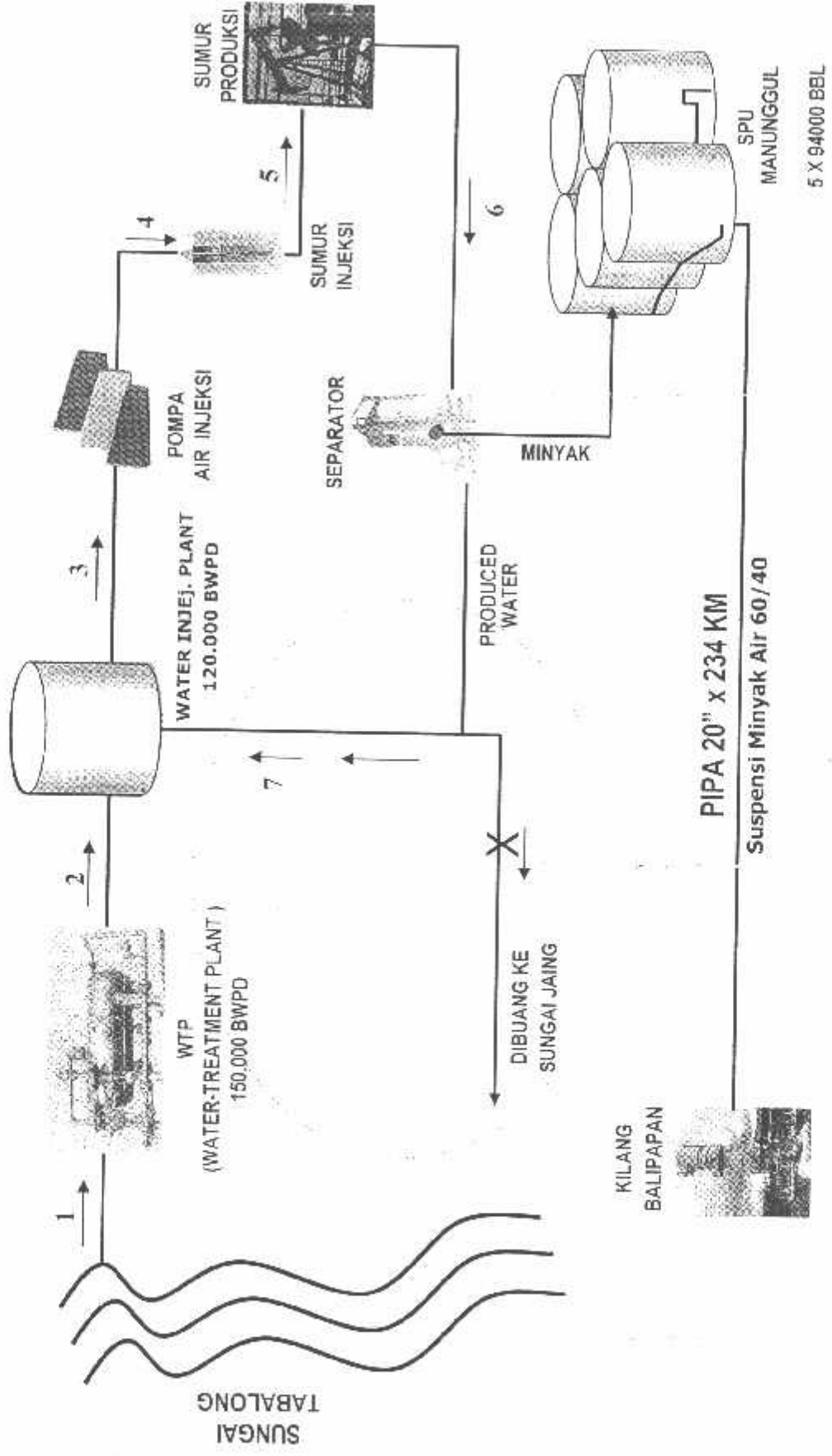




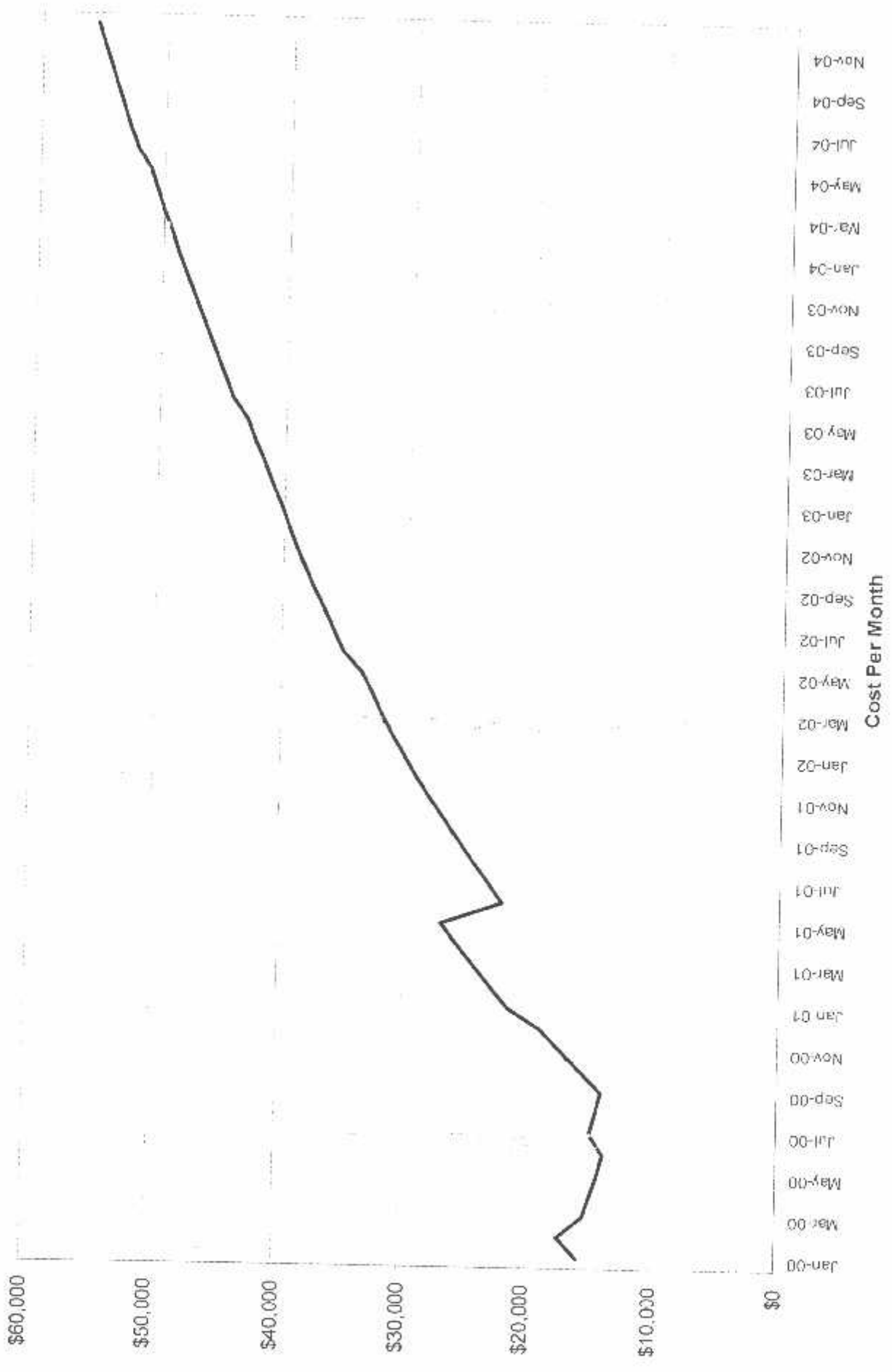


NOTE: GENERATOR CAPACITIES DOWN ARE FOR CONTINUOUS RUNNING, NOT MAX. RATING.

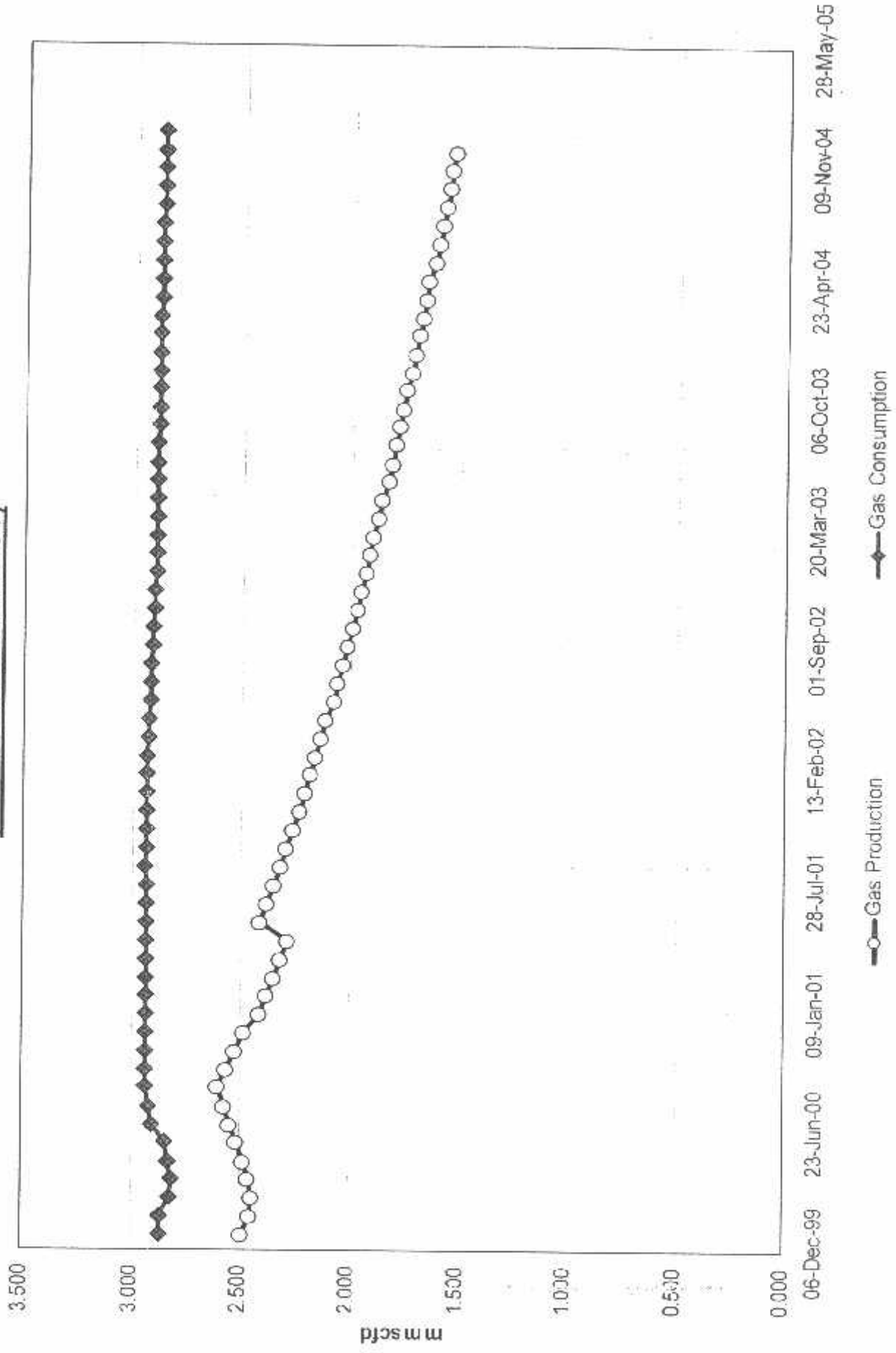
OPERASI PRODUKSI ENHANCED OIL RECOVERY (EOR) JOB PERTAMINA TALISMAN (Tanjung) LTD.



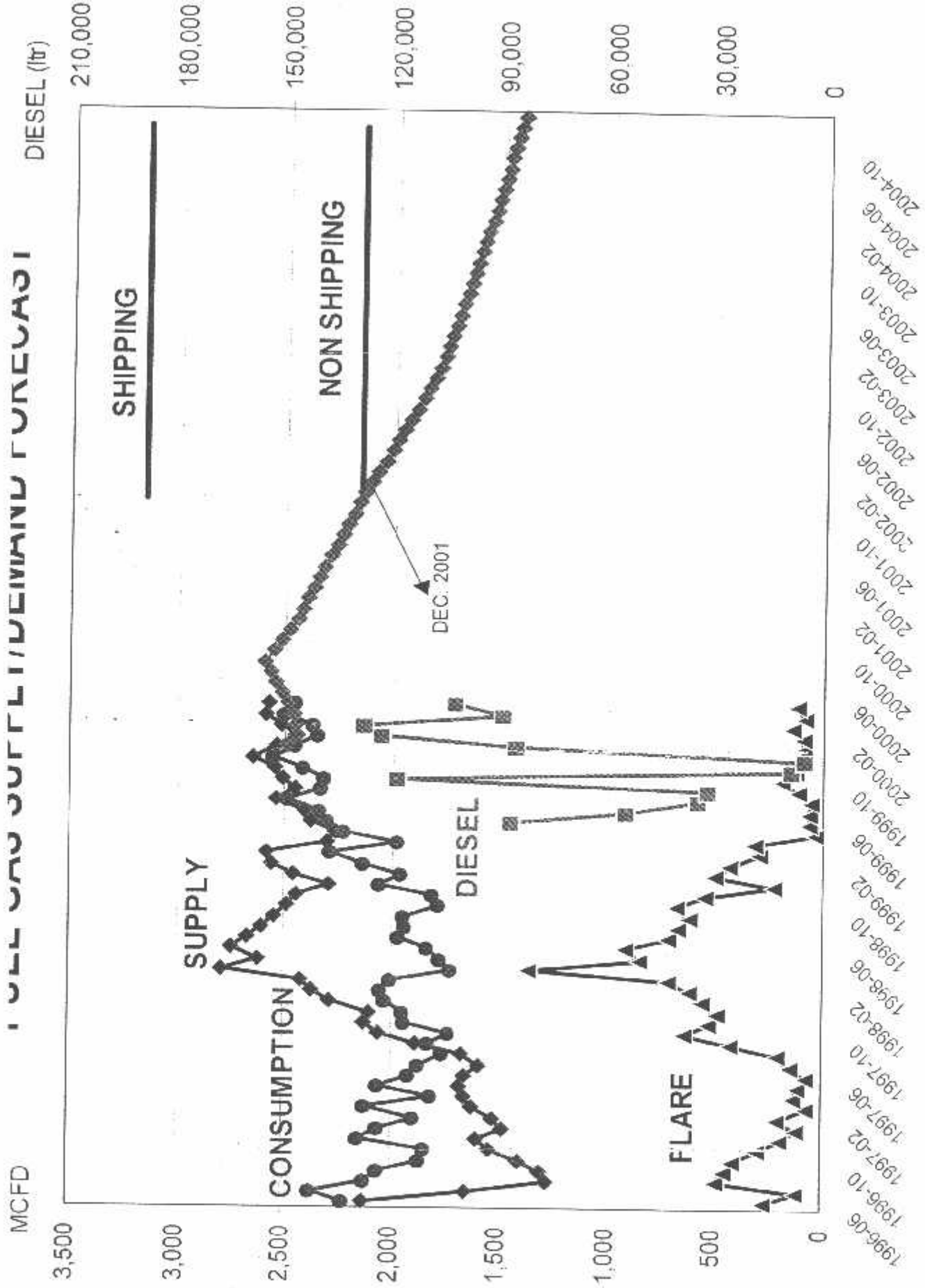
\$/Month



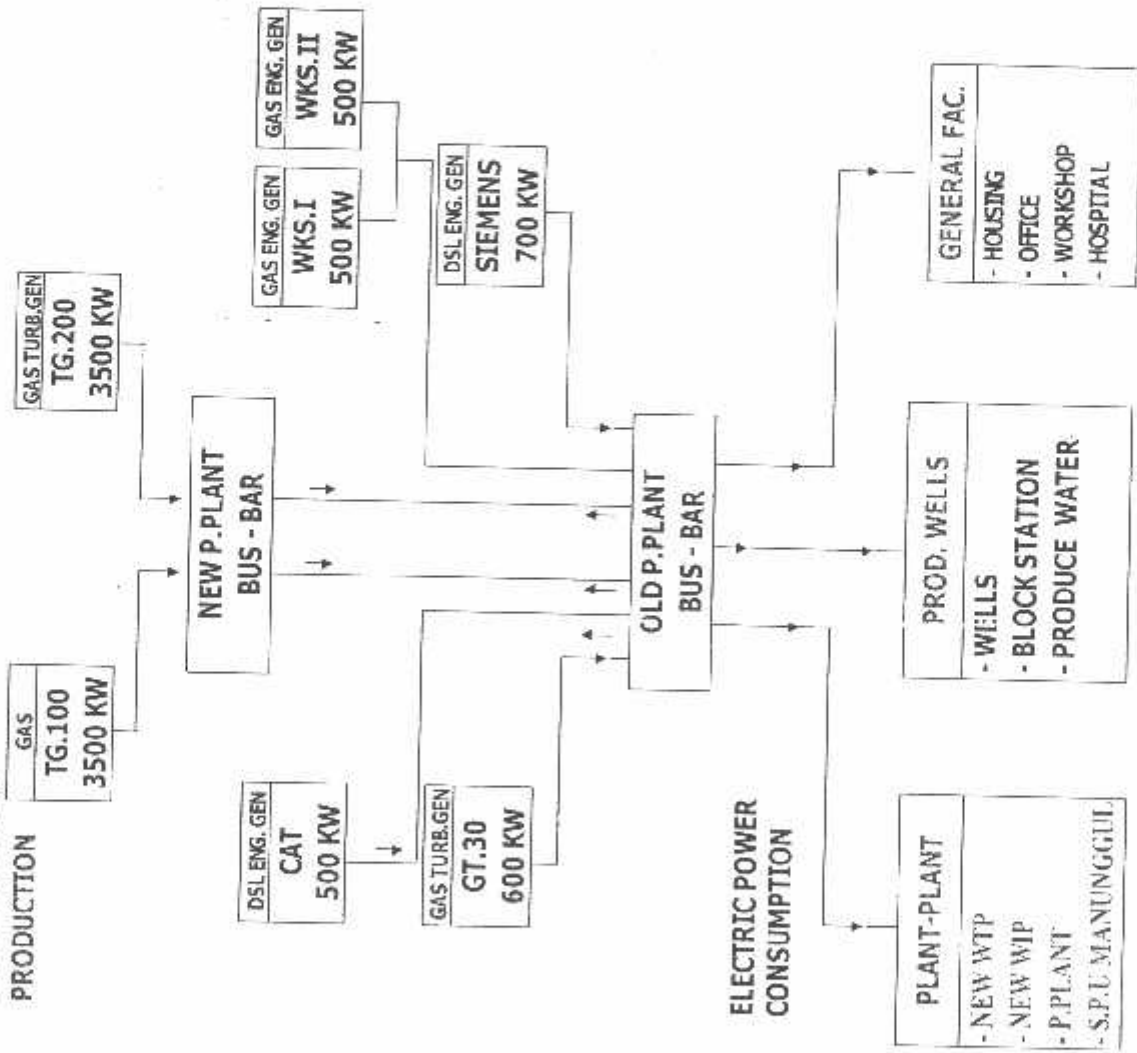
Gas Production and Consumption - Shipping Period
(Based on Scenario 01)



WORLD OUTFL/DIEMAND FORECAST

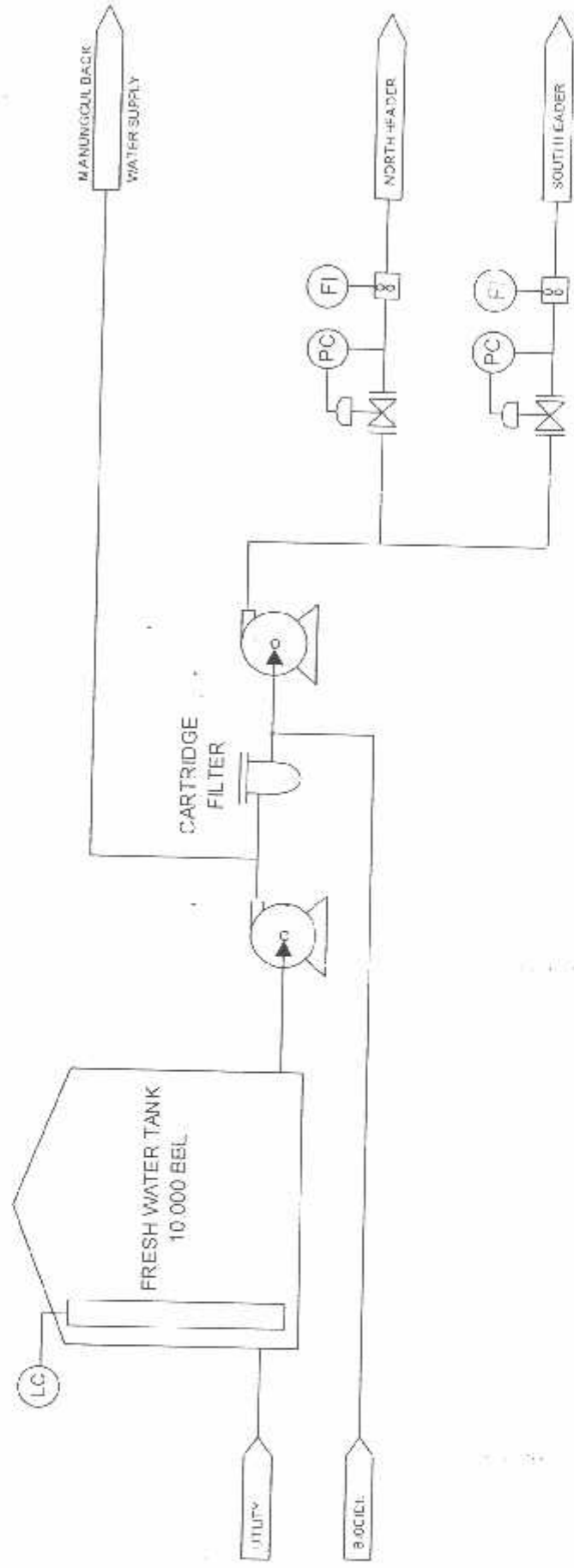


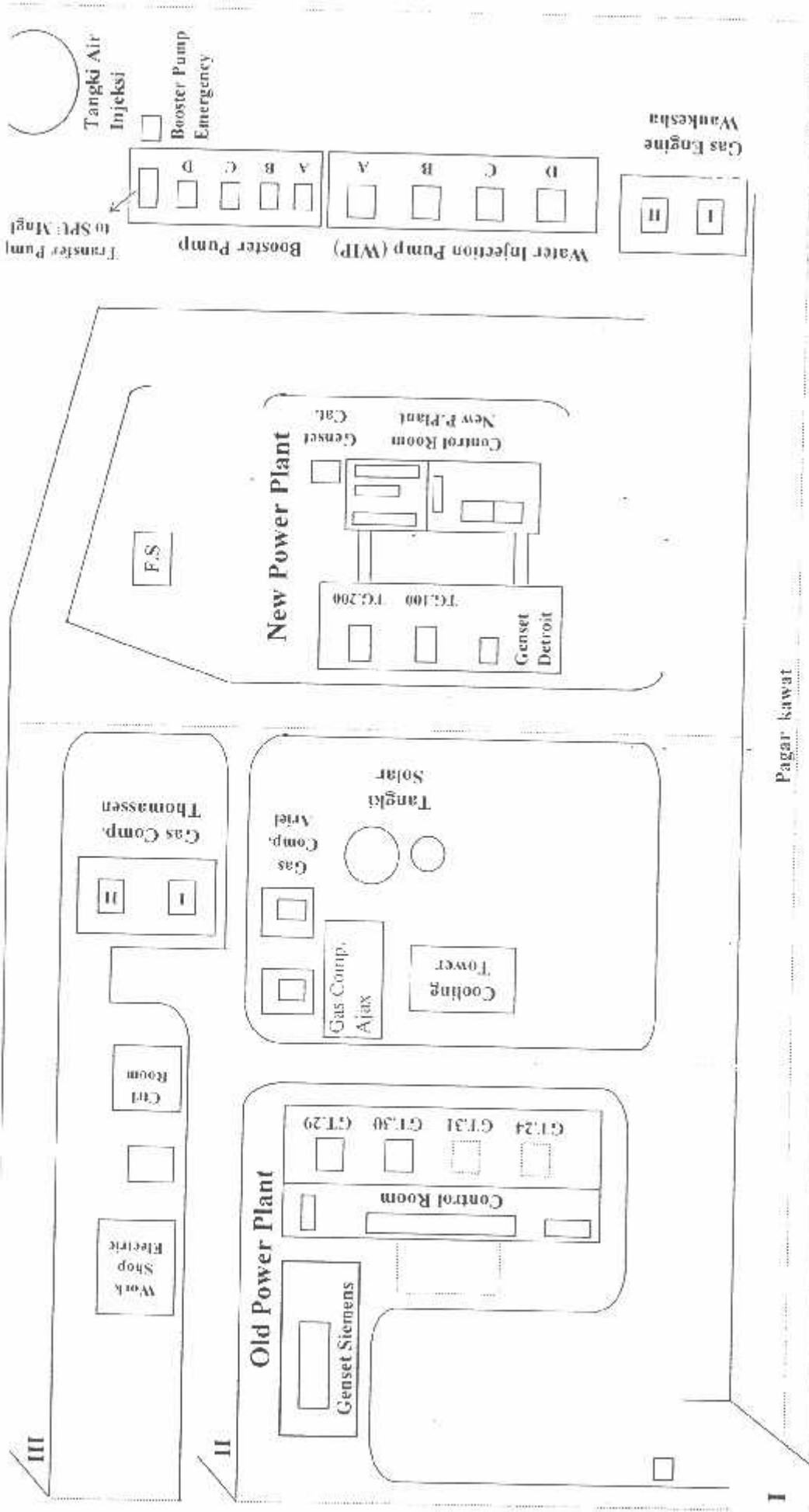
ELECTRIC POWER PRODUCTION



- : GENERATOR ENGINE IS OPERATION
- : SPARE GENERATOR ENGINE
- : ELECTRIC POWER CONSUMPTION
- : BUSBAR OF NEW P. PLANT
- : BUSBAR OF OLD P. PLANT

WATER INJECTION PLANT





Pagar kawat

To Sec-Rec Plant

- Kapasitas Genset :
- TG.100 : 3700 KW,
 - TG.200 : 3700 KW,
 - Siemens : 700 KW
 - Caterpillar : 600 KW
 - Waukesha I : 500 KW
 - Waukesha II : 600 KW

Data Comparisson Before and After Installing PFC											
iT	V	A		kVA		kW		kVAR		PF	
	AVG	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min
n I	6	-28.7	-28.5	-19.8	-19.7	1.5921	1.77	-57.9238	-48.81	0.24	0.24
n II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Plant	2	-28	-35	-20.3	-25.7	13.198	10.4	-64.0811	-61.17	0.19	0.23
	1	-29	-30	-19.8	-20.6	-3.7465	-4.5	-28.3577	-28.57	0.03	0.03
	1	-6	-10	-4.18	-7.28	5.1953	3.1	-25.9485	-24.66	0.05	0.06
II	1	-57	-64	-41.9	-47.3	-20.03	-20	-50.5621	-46.97	0.07	0.08
	2	-16	-33.6	-11.1	-24.1	2.9522	-5.54	-30.4236	-23.44	0.16	0
	3	-11.8	-45.9	-8.56	-35.4	7.9866	-20.5	-38.1955	-36.39	0.18	-0.83
3	2	-32	-29	-23.8	-21.7	-2.0739	-0.64	-43.8909	-28.06	0.19	0.27
	3	-75	-45	-55.7	-33.2	-36.176	-22.8	-67.9479	-24.83	0.07	0.02
	2	-51	-27	-36.5	-19.1	-25.821	-3.63	-34.044	-33.26	0.04	0.09
	2	-55	-63	-41.6	-47.8	3.9751	2.04	-59.2295	-57.83	0.31	0.31
5	2	-57	-86	-40.9	-62.4	-9.5632	14	-73.3442	-70.47	0.2	0.69
	4	-71	-108	-52.6	-81.1	15.471	-2.12	-96.6705	-98.18	0.35	0.42
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	3	-30.6	-23	-21.8	-16.6	-8.6907	1.13	-22.0068	-23.68	0.09	0.44
	1	-38	-62	-27.3	-45.1	-1.1694	0.81	-66.7897	-70.66	0.09	0.2
	2	-52	-50	-36.9	-35.4	1.0299	-1.24	-62.2789	-56.24	0.09	0.08
	2	-9	-64	-5.87	-47.2	16.177	9.12	-46.3466	-68.92	0.12	0.38
	3	-81	-89	-59.9	-65.9	1.5526	-2.97	-110.945	-111.6	0.21	0.21
	2	-52	43	-36.2	32.2	-36.813	81.6	-12.0358	-49.82	-0.03	0.24
	2	-40	-38	-27.9	-26.4	-1.2128	2.65	-54.7726	-55.77	0.08	0.09
	2	-24	-48	-16.7	-34.6	7.2622	-0.28	-47.4307	-61.52	0.1	0.15
A	4	-97	-109	-70	-79.1	0.1382	0.28	-103.776	-102.7	0.25	0.28
B	2	-36	-53	-25.1	-37.9	-3.2357	-6.7	-56.5176	-51.89	0.09	0.17
C	3	-62	-38	-43.6	-26.8	-22.238	9.96	-45.0028	-30.61	0.18	0.49
A	3	-38	-45	-27.5	-32.8	-9.3832	-12.9	-43.0304	-42.62	0.17	0.19

No	LOCATION	P O W E R						5th. Harmonics				7th. Harmonics				KVAR REQUIRED		REMARK		
		VOLTAGE		AMPERES		KW	KVA	KVAR	PF Total Ind.	Phase angle degree	F ₅ Hz	Hz	VOLTAGE		AMPERES		KVAR		Type	
		< VOLT >	peak	rms	peak	rms	< AMPERES >	peak					V Mag.	% Vrms	I Mag.	% Irms				Calculated
1	STATION 1A	419.5	622.2	396.9	580.1	253.33	289.41	122.50	0.86	27	50.16	250.78	25.88	6.12	82.06	23.20	27.87	30	4RF1603-4FF04-0	fixed UNIT
2	STATION 1B	411.8	614.1	103.0	174.6	40.59	73.43	54.25	0.55	46	50.21	251.05	25.88	6.23	35.00	34.01	43.83	50	4RF1535-4FF04-6	Other Informa tion see each attach
3	STATION 3A	429.5	633.0	182.1	279.6	59.34	120.61	88.97	0.48	57	50.16	250.78	25.88	6.02	53.69	39.23	78.52	100	4RF1610-4FF04-6	Other Informa tion see each attach
4	STATION 5A	438.2	647.1	256.2	382.0	131.11	194.46	140.20	0.54	57	50.10	250.10	20.44	4.66	34.69	13.54	141.6	150	4RF1615-4FF04-6	Other Informa tion see each attach
5	STATION 6A	430.7	640.8	226.6	334.2	132.56	169.01	99.18	0.63	49	50.10	250.51	19.41	4.51	43.88	19.37	103.4	100	4RF1610-4FF04-6	Other Informa tion see each attach
6	STATION 6B	432.1	640.1	471.7	714.4	266.55	353.93	216.40	0.68	48	50.16	250.78	30.16	6.96	93.61	19.89	157.25	150	4RF1615-4FF04-6	Other Informa tion see each attach
7	STATION 7A	425.6	622.1	246.6	390.9	102.02	183.08	146.91	0.57	55	50.05	250.23	12.00	2.80	42.94	17.41	102.02	100	4RF1610-4FF05-6	Other Informa tion see each attach
8	STATION 9A	416.0	624.3	402.7	571.6	228.27	290.11	171.18	0.77	39	50.05	250.23	23.56	5.66	65.81	16.35	64.46	75	4RF1507-4FF05-6	Other Informa tion see each attach
9	STATION 9B	427.6	656.8	353.5	518.5	219.06	281.80	120.35	0.81	30	50.16	250.76	29.03	5.79	101.13	28.61	59.15	62.5	4RF1606-4FF04-6	Other Informa tion see each attach

JOB - PTTL

No.	Tanggal	Teg. Rata-rata (V)	Arus Rata-rata (A)	Daya rata-rata		Freq (Hz)	Kwh x ()	Power Factor		
				KW	KVAR			Max	Min	Rata-rata
1	1995	6600	334,51	2.737,71	1.703,48	50	9,11	0,831	0,812	0,821
2	1996	6600	251,40	2.478,76	1.559,65	50	7,60	0,814	0,797	0,802
3	1997 (Jan - July)	6600	242,78	2.368,56	1.472,89	50	7,25	0,802	0,794	0,798
4	1997 (July - Dec)	6600	229,41	2.419,65	1.384,48	50	7,10	0,800	0,774	0,785
5	1998 (Jan - Feb)	6600	258,33	2.495,56	1.686,98	50	7,60	0,786	0,772	0,778

c:\file-data-excel\ESP-Well.xls