

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



**OPTIMASI PENEMPATAN KAPASITOR PADA
JARINGAN DISTRIBUSI UNTUK MENINGKATKAN
KUALITAS DAYA**

SKRIPSI

Disusun Oleh :
MUHAMAD MAHRUS
98.12.020

APRIL 2005

MILIK
PERPUSTAKAAN
ITN MALANG

1954

OFFICE OF
THE ATTORNEY GENERAL
STATE OF TEXAS

MEMORANDUM

RE: [Illegible text]

[Illegible text]

LEMBAR PERSETUJUAN
OPTIMASI PENEMPATAN KAPASITOR PADA
JARINGAN DISTRIBUSI UNTUK
MENINGKATKAN KUALITAS DAYA

SKRIPSI

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

Disusun Oleh :


MUHAMAD MAHRUS
98.12.020


Diperiksa dan disetujui



Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Elektro

Dosen Pembimbing


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


(Ir. I Made Wartana, MT)
Nip. 131991182

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

LEMBAR PERSETUJUAN
OPTIMASI PENEMPATAN KAPASITOR PADA
JARINGAN DISTRIBUSI UNTUK
MENINGKATKAN KUALITAS DAYA
SKRIPSI

Dibaca dan disetujui oleh
Dekan Fakultas Teknik Energi Listrik

Dibaca dan disetujui oleh :

MUHAMMAD MAHRUS
08.12.020

Diperiksa dan disetujui

Dosen Pembimbing

Menggetahui
Dekan Jurusan Teknik Elektro



(Ir. I Made Wicaksa, MT)
Nip. 131001182

(Ir. F. Yudi Limanungtoro, MT)
Nip. 103000274

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

ABSTRAKSI

OPTIMASI PENEMPATAN KAPASITOR PADA JARINGAN DISTRIBUSI UNTUK MENINGKATKAN KUALITAS DAYA

(Muhamad Mahrus, 98.12.020, Maret 2005, 60 hal)
(Dosen Pembimbing : Ir. I. Made Wartana, MT)

Kata kunci : Penempatan kapasitor, koreksi tegangan, pengurangan rugi daya, *Fuzzy set*, *membership function*, *function decision*, sistem distribusi radial.

Skripsi ini mempresentasikan metode Logika *Fuzzy* untuk menentukan penempatan kapasitor shunt serta kapasitasnya pada sistem distribusi radial. Pada metode ini, penempatan kapasitor diaplikasikan untuk koreksi tegangan dan mengurangi rugi-rugi daya pada sistem distribusi radial sehingga didapatkan penghematan biaya operasional semaksimal mungkin.

Algoritma dipresentasikan pada metode *Fuzzy Set* yaitu merupakan teori dasar dari metode Logika *Fuzzy* dimana Metode *Fuzzy Set* OR Operation dua *membership function* didefinisikan oleh tegangan dan rugi daya sebagai *function decision*.

Metode *Fuzzy Set* OR Operation ini dapat menentukan letak dan kapasitas kapasitor namun metode ini bisa mendapatkan solusi pada pengaplikasiannya, dimana metode ini diterapkan pada suatu sistem distribusi radial Penyulang Pujon.

KATA PENGANTAR

Bismillah Hirrohman Nirrohim

Dengan rahmat Allah SWT, dan mengucapkan syukur kehadiran-Nya atas karunia yang dilimpahkan kepada saya sehingga dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “*Optimasi Penempatan Kapasitor Pada Jaringan Distribusi Untuk Meningkatkan Kualitas Daya*”

Skripsi ini bertujuan untuk memenuhi kurikulum akademik yang harus ditempuh oleh setiap mahasiswa ITN Malang dalam menempuh sekaligus mengakhiri pendidikan pada jenjang strata satu pada jurusan Teknik Elektro program studi Teknik Energi Listrik.

Saya menyadari bahwa skripsi ini jauh dari kesempurnaan, karena itu saran dan kritik membangun sangat saya harapkan.

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

1. Bapak DR.Ir.Abraham Lomi, MSEE, selaku Rektor ITN Malang.
2. Bapak Ir.F.Yudi Limpraptono, MT, selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro/T.Energi Listrik.
3. Bapak Ir. I Made Wartana, MT, selaku dosen pembimbing
4. Bapak Ir. Mochtar Asroni, MSME, selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri, ITN Malang.
5. Ibu dan Bapak (Alm) tercinta dan kakak-kakakku tersayang dan adekQU tercinta
6. Rekan-rekan seperjuangan, Teknik Elektro '98.

Akhirnya saya mengharapkan skripsi ini berguna dan bermanfaat bagi rekan-rekan mahasiswa khususnya pada jurusan Teknik Elektro.

Malang, April 2005

Penyusun

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
ABSTRAKSI.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR GRAFIK.....	viii
BAB I	PENDAHULUAN
1.1.	Latar Belakang 1
1.2.	Rumusan Masalah 2
1.3.	Tujuan 3
1.4.	Batasan Masalah..... 3
1.5.	Metodelogi Penelitian 4
1.6.	Sistematika Penulisan 4
1.7.	Kontribusi 6
BAB II	SISTEM JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER DAN PEMASANGAN KAPASITOR
2.1.	Sistem Distribusi Tenaga Listrik..... 7
2.1.1.	Sistem Distribusi Primer 8
2.1.2.	Sistem Distribusi Sekunder 8
2.2.	Struktur Jaringan Distribusi Tenaga Listrik..... 9
2.3.	Sistem Jaringan Distribusi Radial 9
2.3.1.	Sistem Radial Pohon 10
2.3.2.	Sistem Radial Dengan Tie dan Switch Pemisah 11
2.3.3.	Sistem Radial Dengan Pembagian Phase Area 11

2.3.4.	Sistem Radial Dengan Beban Terpusat.....	12
2.4.	Daya Reaktif dan Faktor Daya	13
2.5.	Kapasitor Daya.....	15
2.5.1.	Kapasitor Seri dan Kapasitor Shunt	15
2.5.2.	Faktor Pemilihan Kapasitor Seri dan Kapasitor Shunt....	15
2.6.	Pengaruh Pemasangan Kapasitor Shunt.....	17
2.6.1.	Pengurangan Rugi-Rugi Dengan Kapasitor Shunt	18
2.6.2.	Perbaikan Tegangan.....	19
2.6.3.	Perbaikan Faktor Daya dan Kenaikan Kapasitas Sistem.	20
2.6.4.	Perhitungan Pengaruh Perbaikan Faktor Daya.....	22
2.6.4.	Penentuan Rating Kapasitor untuk Perbaikan Faktor Daya Beban	23
2.7.	Sistem Per Unit	24

BAB III

OPTIMASI PENEMPATAN KAPASITOR PADA JARINGAN DISTRIBUSI RADIAL MENGGUNAKAN METODE LOGIKA FUZZY

3.1.	Analisa Aliran Daya Jaringan Radial	26
3.1.1.	Tujuan Analisa aliran daya.....	26
3.1.2.	Persamaan Aliran Daya Metode Newton Raphson.....	27
3.2.	Dasar-dasar Teori Fuzzy Set	30
3.3.	Metode Logika Fuzzy untuk Penempatan Kapasitor.....	31
3.3.1.	Metode OR Operation	31
3.4.	Penentuan Saving Cost	31
3.5.	Algoritma Program.....	33

BAB IV

PERHITUNGAN PENEMPATAN DAN KAPASITAS KAPASITOR PADA JARINGAN DISTRIBUSI RADIAL PENYULANG PUJON

4.1.	Analisa Penempatan Kapasitor	34
4.2.	Flow Chart Penyelesaian Masalah	35
4.3.	Flow Chart Penyelesaian Metode Fuzzy Set OR Operation	36
4.4.	Data Perhitungan.....	37
4.4.1.	Data Saluran.....	37

4.4.2.	Data Pembebanan.....	39
4.4.3.	Data kapasitas kapasitor dan harga	41
4.5.	Analisa Perhitungan	42
4.5.1	Analisa penempatan kapasitor metode Logika Fuzzy	42
4.5.2	Pehitungan penghematan biaya	43
4.6.	Hasil Program.....	45
4.6.1	Tampilan Program.....	45
4.6.2	Hasil Penempatan Kapasitor Metode Logika Fuzzy	51

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1.	Kesimpulan.....	57
5.2.	Saran.....	58

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2-1 Jaringan Distribusi Tegangan Menengah(JTM), Jaringan Tegangan Rendah(JTR), dan Sambungan Rumah Ke Pelanggan	7
2-2 Contoh Sistem Jaringan Distribusi Radial	9
2-3 Contoh Sistem Jaringan Distribusi Radial Dengan Tie dan Switch Pemisah	11
2-4 Contoh Sistem Jaringan Distribusi Radial Dengan Phase Area	12
2-5 Contoh Sistem Jaringan Distribusi Radial Dengan Beban Terpusat.....	13
2-6 Segitiga Daya	14
2-7 Segitiga Arus	14
2-8 Saluran Primer Dengan Beban Terpusat.....	18
2-9 Vektor Diagram Sebelum dan Sesudah Pemasangan Kapasitor Shunt Pada Jaringan	20
2-10 Perbaikan Faktor Daya	21
2-11 Diagram Fasor dan Sudut Daya Beban Distribusi.....	22
4-1 Flow Chart Algoritma Program	35
4-2 Flow Chart Algoritma Optimasi Penempatan Kapasitor Metode Fuzzy Set OR Operation	36
4-3 Tampilan Utama Program.....	45
4-4 Tampilan Utama Program (Data General).....	45
4-5 Tampilan Utama Program (Data Saluran)	46
4-6 Tampilan Utama Pogram (Data Pembebanan)	46
4-7 Tampilan Utama Pogram (Data Kapasitor)	46
4-8 Nilai Tegangan Tiap Node Sebelum Penempatan	47
4-9 Aliran Daya Sebelum Penempatan.....	47

4-10	Hasil Logika Fuzzy metode OR Operation Penempatan kapasitor dan kapasitas Serta Total Biaya	48
4-11	Hasil Analisa Aliran Daya Setelah Penempatan Metode OR Operation, Nilai Tegangan Tiap Node.....	48
4-12	Hasil Analisa Aliran Daya Setelah Penempatan Metode OR Operation, Nilai Daya dan Rugi-rugi saluran.....	49
4-13	Single Line Diagram Penempatan Kapasitor Metode OR Operation	54

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2-1 Kapasitor Seri dan Kapasitor Shunt	16
4-1 Spesifikasi Saluran	37
4-2 Data Saluran Penyulang PUJON	38
4-3 Data Pembebanan Penyulang PUJON	39
4-4 Data kapasitas kapasitor dan harga.....	41
4-5 Data kapasitas kapasitor dan harga per tahun	41
4-6 Nilai Tegangan Penyulang Pujon Sebelum Dan Setelah Penempatan.	50
4-7 Hasil Optimasi Penempatan Kapasitor Metode Logika Fuzzy.....	51

DAFTAR GRAFIK

Grafik	Halaman
4-1 Profil Tegangan Sebelum dan Setelah Kompensasi.....	55
4-2 Rugi-Rugi Daya Sebelum dan Setelah Kompensasi	55
4-3 Nilai Biaya Sebelum dan Setelah Kompensasi	56

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dengan meningkatnya usaha di sektor industri dan meningkatnya taraf hidup masyarakat maka kebutuhan akan energi listrik semakin meningkat pula, sehingga diperlukan penyediaan energi listrik beserta jaringan dan penyaluran yang baik. Bertambahnya industri-industri menyebabkan peran penggunaan alat-alat listrik akan semakin luas, misalnya motor-motor listrik, trafo, AC, lampu-lampu penerangan dan lain lain. Beban industri sangat banyak membutuhkan daya reaktif induktif. Dengan meningkatnya beban-beban induktif, maka memperbesar komponen rugi-rugi daya, disamping itu dapat memperburuk kondisi tegangan^[1].

Alternatif yang sering dipakai untuk memperbaiki kondisi jaringan akibat adanya rugi-rugi tersebut adalah memasang daya reaktif tambahan disisi beban salah satunya adalah pemasangan kapasitor. Banyak metode yang dipakai dalam menganalisa masalah penentuan penempatan dan besar kapasitor pada jaringan distribusi, teknik untuk masalah alokasi kapasitor bisa dikelompokkan menjadi empat kategori^[4] : Analitis, Pemrograman Numerik, Heuristik, dan berdasarkan metode *Intelegensi Artifisial*. Metode *Intelegensi Artifisial* saat ini merupakan metode yang paling menarik dimana metode ini didalamnya terdapat Algoritma Genetik, Simulated Annealing, *Experd System*, *Artifical Neural Network* dan *Fuzzy Set Teory* dari metode Logika Fuzzy^[4]. Salah satu metode yang akan dibahas dalam skripsi ini adalah metode Logika Fuzzy.

1.2. Rumusan Masalah

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

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

Dari permasalahan yang timbul diatas, maka skripsi ini di beri judul:

**“OPTIMASI PENEMPATAN KAPASITOR PADA JARINGAN
DISTRIBUSI UNTUK MENINGKATKAN KUALITAS DAYA”**

1.3. Tujuan.

Adapun tujuan penulisan skripsi ini adalah untuk menentukan letak dan kapasitas kapasitor yang optimal pada sistem Distribusi Radial Penyulang Pujon dengan menggunakan Metode Logika *Fuzzy* sehingga dapat memperbaiki profil tegangan, mengurangi rugi-rugi daya serta memaksimalkan nilai penghematan biaya penempatan kapasitor.

1.4. Batasan Masalah

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

1. Jaringan yang akan dianalisa adalah jaringan distribusi radial 20 kV di penyulang Pujon.
2. Hanya Kapasitor *Shunt* yang digunakan dalam perbaikan tegangan dan pengurangan rugi daya.
3. Analisa penentuan letak kapasitor dan pemilihan kapasitas kapasitor menggunakan metode Logika *Fuzzy* yaitu *OR Operation*
4. Tidak membahas secara detail metode aliran daya yang digunakan yaitu metode Newton Raphson.
5. Power Faktor diasumsikan 0,86

1.5. Metodologi Penelitian

Metodologi yang digunakan dalam penyusunan skripsi ini adalah:

1. Kajian literatur

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

2. Pengumpulan Data

Bentuk data yang digunakan adalah:

- Data kuantitatif, yaitu data yang dapat dihitung atau data yang berbentuk angka-angka.
 - Data kualitatif, yaitu data yang berbentuk diagram. Dalam hal ini single line diagram penyulang.
- #### 3. Simulasi dan pembahasan masalah
- Analisa perhitungan tegangan, sudut fasa tegangan, rugi-rugi daya dan aliran daya tiap saluran menggunakan metode Newton Raphson, untuk menentukan penempatan kapasitor yang optimal menggunakan metode Logika *Fuzzy* yang disimulasikan dengan program komputer.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika dari pembahasan di dalam skripsi ini adalah sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

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

BAB II : SISTEM JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER DAN PEMASANGAN KAPASITOR

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

BAB III : OPTIMASI PENEMPATAN KAPASITOR PADA JARINGAN DISTRIBUSI RADIAL DENGAN MENGGUNAKAN METODE FUZZY

Pada bab ini akan dibahas metode aliran daya Newton Raphson, teori-teori mengenai metode Logika *Fuzzy* untuk menentukan penempatan dan kapasitas kapasitor, penentuan *saving cost* serta algoritma metode Logika *Fuzzy*.

BAB IV : PERHITUNGAN PENEMPATAN DAN KAPASITAS KAPASITOR PADA JARINGAN DISTRIBUSI RADIAL PENYULANG PUJON

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

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

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

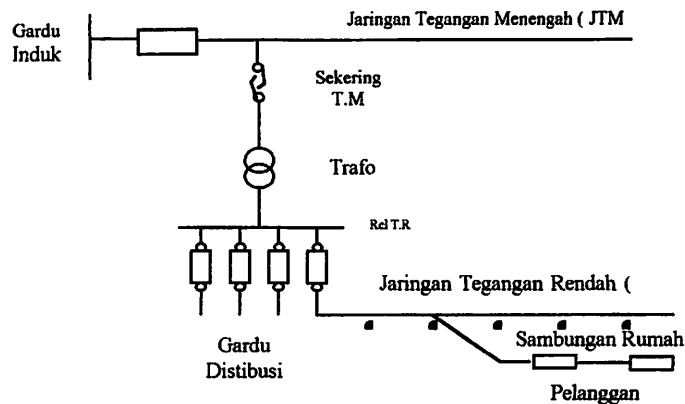
1.7. Kontribusi

Dengan diperkenalkannya metode Logika *Fuzzy*, maka akan menambah alternatif pilihan terhadap metode yang dapat digunakan dalam penyelesaian masalah penempatan kapasitor. Dimana metode tersebut merupakan metode dengan proses penyelesaian lebih tepat yaitu dalam perhitungannya di arahkan hanya ke titik yang memberikan hasil dengan biaya yang rendah untuk penempatan kapasitor.

BAB II

SISTEM JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER DAN PEMASANGAN KAPASITOR

2.1. Sistem Distribusi Tenaga Listrik



Gambar 2-1. Jaringan Distribusi Tegangan Menengah (JTM), Jaringan Tegangan Rendah dan Sambungan Rumah Ke Pelanggan

Sumber : Djiteng Maesudi, 1990, "Operasi sistem tenaga Listrik", Balai Penerbit Dan Humas ISTN ^[3]

Jaringan setelah keluar dari gardu induk (G.I) disebut jaringan distribusi. Setelah tenaga listrik disalurkan melalui jaringan distribusi primer kemudian tenaga listrik di turunkan tegangannya dalam gardu-gardu distribusi menjadi tegangan rendah, kemudian disalurkan melalui Jaringan Tegangan Rendah untuk selanjutnya disalurkan kerumah- rumah atau pelanggan (konsumen) PLN melalui sambungan rumah.

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.

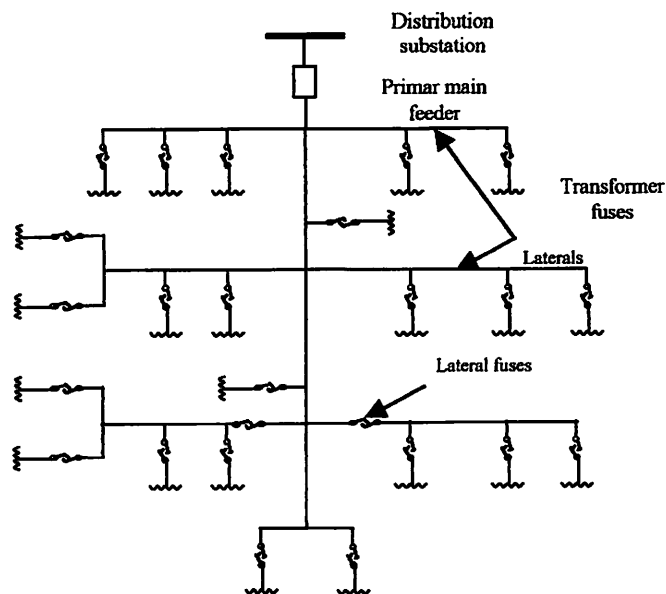
2.2. Struktur Jaringan Distribusi Tenaga Listrik

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

1. Sistem Jaringan Distribusi Radial
2. Sistem Jaringan Distribusi Tertutup (Loop)
3. Sistem Jaringan Distribusi Mesh

2.3. Sistem Jaringan Distribusi Radial

Bentuk jaringan ini merupakan bentuk dasar yang paling sederhana dan paling banyak dipergunakan. Sistem ini dikatakan radial karena dari kenyataannya bahwa jaringan ini ditarik secara radial dari gardu induk ke pusat-pusat beban atau konsumen yang dilayani. Sistem ini terdiri dari aluran utama (tunk line) dan saluran cabang (lateral) seperti pada gambar 2-2.



Gambar 2-2. Contoh Sistem Distribusi Radial

Sumber : Turan Gonen, "Electric Power Distribution System Engineering", University of Missouri at Columbia

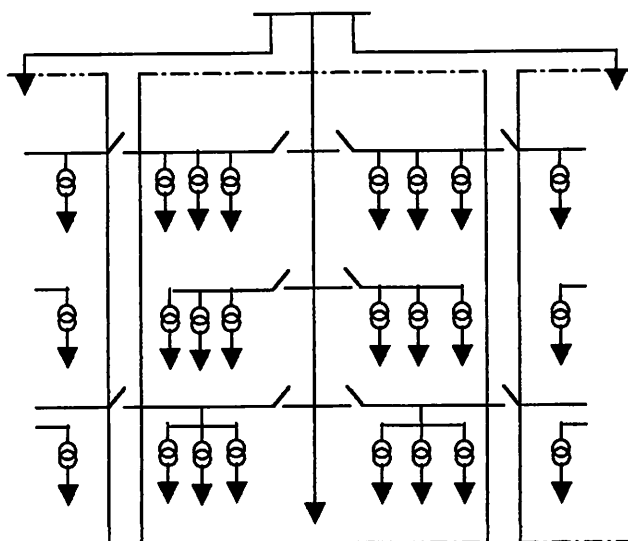
Pelayanan tenaga listrik untuk suatu daerah beban tertentu dilaksanakan dengan memasang transformator pada sembarang titik pada jaringan yang sedekat mungkin dengan daerah beban yang dilayani. Untuk daerah beban yang menyimpang jauh dari saluran utama maupun saluran cabang, maka akan ditarik lagi saluran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

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

2.3.1. 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). Ukuran dari masing-masing saluran tergantung dari kerapatan arus yang di tanggung. Dari gambar 2-2, main feeder merupakan saluran yang dialiri arus terbesar, selanjutnya arus mengecil pada tiap cabang tergantung dari besarnya beban.

2.3.2. Sistem Radial dengan Tie dan Switch Pemisah.



Gambar 2-3. Contoh Jaringan Distribusi Radial Dengan Tie dan Switch Pemisah

Sumber : Turan Gonen, "Electric Power Distribution System Engineering", University of Missouri at Columbia

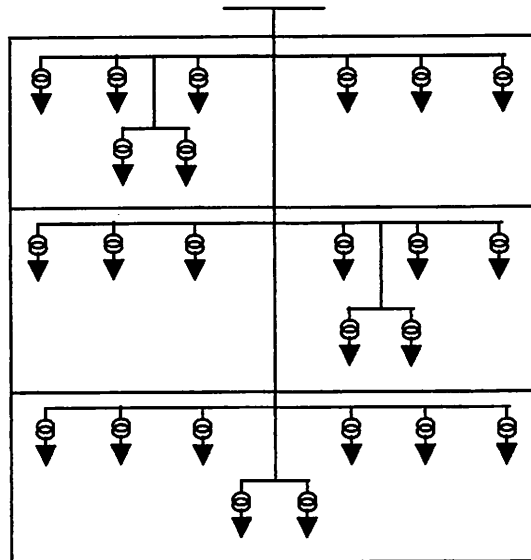
Sistem ini merupakan pengembangan dari sistem radial pohon, untuk meningkatkan keandalan sistem saat terjadinya gangguan maka feeder yang terganggu akan dialokasikan sedangkan

Area yang semula dilayani feeder tersebut pelayanannya dialihkan pada feeder yang sehat atau yang tidak terganggu. Sistem radial dengan Tie dan Switch pemisah dapat dilihat pada gambar 2-3.

2.3.3. Sistem Radial dengan Pembagian Phase Area

Pada bentuk ini masing-masing fasa dari jaringan bertugas melayani daerah beban yang berlainan. Bentuk ini akan dapat menimbulkan kondisi sistem tiga fasa yang tidak seimbang (simetris), bila digunakan pada daerah beban yang baru

dan belum mantap pembagian bebannya. Contoh dari sistem jaringan ini dapat dilihat pada gambar 2-4.

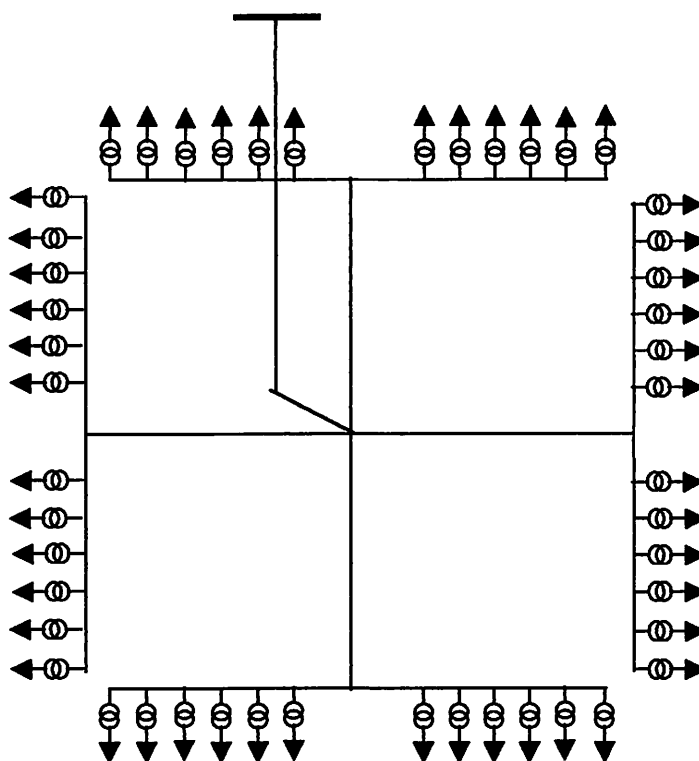


Gambar 2-4. Contoh Jaringan Distribusi Radial Dengan Phase Area

Sumber : Turan Gonen, "Electric Power Distribution System Engineering", University of Missouri at Columbia

2.3.4. Sistem Radial dengan Beban Tepas

Bentuk dari sistem ini mensuplai daya dengan menggunakan main feeder yang disebut express feeder langsung ke pusat beban, dan dari titik pusat beban ini disebut dengan menggunakan back feeder radial seperti terlihat pada gambar 2-5.



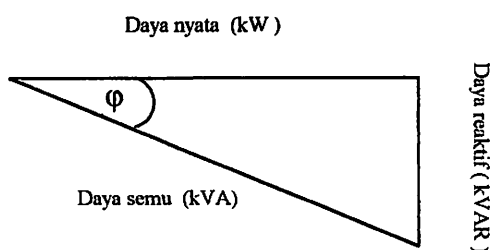
Gambar 2-5. Contoh Jaringan Distribusi Radial Dengan Beban Terpusat
 Sumber : Turan Gonen, "Electric Power Distribution System Engineering", University of Missouri at Columbia

2.4. Daya Reaktif dan Faktor Daya^[5]

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

$$\text{Faktor daya} = \frac{\text{DayaNyata}(kW)}{\text{Dayasemu}(kVA)} \dots\dots\dots (2.1)$$

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



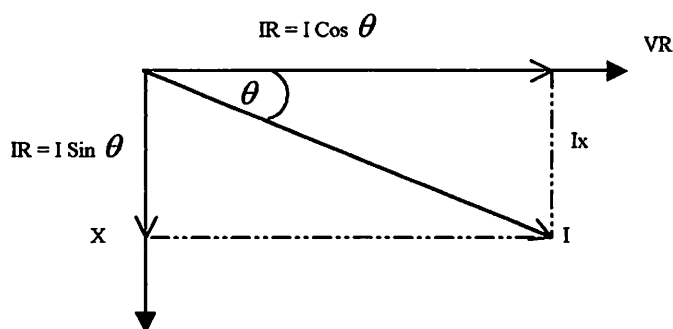
Gambar 2-6. Segitiga Daya
 Sumber Hasan Basri, "Sistem Distribusi Tenaga Listrik"

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

$$P = \text{Daya Nyata (kW)} \quad Q = \text{Daya Reaktif (kVAR)}$$

$$S = \text{Daya semu (kVA)} \quad \varphi = \text{Sudut Phase}$$

Faktor daya dapat pula dilihat hubungannya dengan arus nyata dan arus total. Arus nyata (I_R) adalah arus yang mengalir ada beban yang diubah menjadi tenaga. Sedangkan arus total (I) adalah arus yang mengalir pada jaringan dan merupakan jumlah vektor antara arus magnetisasi dan arus nyata. Arus magnetisasi (I_x) merupakan arus yang mengalir pada beban dan menimbulkan medan magnet. Arus yang terbaca dalam ampere meter adalah arus total (I) hubungan ketiga arus tersebut seperti pada gambar 2-7 sebagai berikut :



Gambar 2-7. Segitiga Arus
 Sumber Hasan Basri, "Sistem Distribusi Tenaga Listrik"

2.5. Kapasitor Daya ^[5]

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

2.5.1. Kapasitor seri dan Kapasitor shunt

Kapasitor daya terdiri atas 2 bagian yaitu kapasitor seri dan kapasitor shunt, dalam sistem tenaga membangkitkan daya reaktif untuk memperbaiki faktor daya dan tegangan, sehingga meningkatkan kapasitas sistem dan mengurangi rugi-rugi jaringan

Biaya pemasangan kapasitor seri lebih tinggi dari pada biaya pemasangan kapasitor shunt, hal ini disebabkan karena peralatan pelindung untuk kapasitor seri lebih banyak, biasanya kapasitor seri di desain untuk daya yang lebih besar dari pada kapasitor shunt dengan tujuan untuk mengatasi kanaikan beban.

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

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

Tabel 2-1

Kapasitor seri dan kapasitor Shunt

No	Kebutuhan	Kapasitor	
		Seri	Shunt
1	Memperbaiki faktor daya	Kedua	Pertama
2	Memperbaiki tingkat tegangan pada sistem saluran udara dengan faktor daya normal dan rendah	Pertama	Kedua
3	Memperbaiki tingkat tegangan pada sistem saluran udara dengan faktor daya yang tinggi	Tidak Dipakai	Pertama
4	Memperbaiki tingkat tegangan pada sistem saluran udara bawah tanah dengan faktor daya yang tinggi	Tidak Dipakai	Tidak Dipakai
5	Memperbaiki tingkat tegangan pada sistem saluran bawah tanah dengan faktor daya normal dan rendah	Pertama	Tidak Dipakai
6	Mengurangi rugi-rugi saluran	Kedua	Pertama
7	Mengurangi fluktuasi tegangan	Pertama	Tidak Dipakai

2.6. Pengaruh Pemasangan Kapasitor Shunt^[5]

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

Adapun dua cara dalam pemakaian kapasitor shunt :

- Kapasitor Tetap
- Kapasitor Saklar

a. Kapasitor Tetap

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

b. Kapasitor Saklar

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

Proses membuka-menutup dari saklar kapasitor shunt dapat dilakukan dengan cara manual maupun dengan cara otomatis. Pengendalian secara manual (Pada lokasi atau lokasi jarak jauh) dapat dilakukan pada G.I. Untuk pengendalian secara otomatis, termasuk didalamnya peralatan pengendali

tegangan, arus, dan suhu. Type yang paling populer adalah pengendalian saklar waktu (time-switch control), pengendali tegangan dan pengendali tegangan arus.

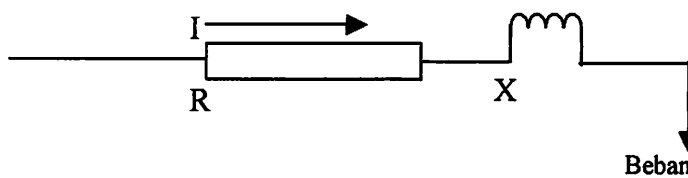
2.6.1. Pengurangan Rugi-Rugi dengan Kapasitor Shunt^[5]

Rugi-rugi saluran per fase dari saluran 3 fase seimbang dengan beban terpusat seperti pada gambar 2-5 adalah $I^2(R-jX)$ atau dapat dibedakan menjadi :

- rugi daya aktif $(I^2R) = (I_R^2 + I_X^2)R$
- rugi daya Reaktif $(I^2X) = (I_R^2 + I_X^2)X$

dimana : I_R adalah komponen arus aktif

I_X adalah komponen arus reaktif



Gambar 2-8. Saluran Primer Dengan Beban Terpusat
 Sumber Hasan Basri, "Sistem Distribusi Tenaga Listrik"

Rugi-rugi daya (I^2R) dapat dibagi menjadi dua komponen yaitu komponen arus aktif dan komponen arus reaktif.

Rugi-rugi karena komponen arus aktif tidak akan mempengaruhi penempatan kapasitor shunt pada saluran, hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut :

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

$$I^2R = (I \cos \theta)^2R + (I \sin \theta)^2R \dots\dots\dots (2.2)$$

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

$$I_1^2 R = (I \cos \theta)^2 R + (I \sin \theta - I_c)^2 R \dots\dots\dots (2.3)$$

Sehingga pengurangan rugi daya sebagai akibat pemasangan kapasitor didapat :

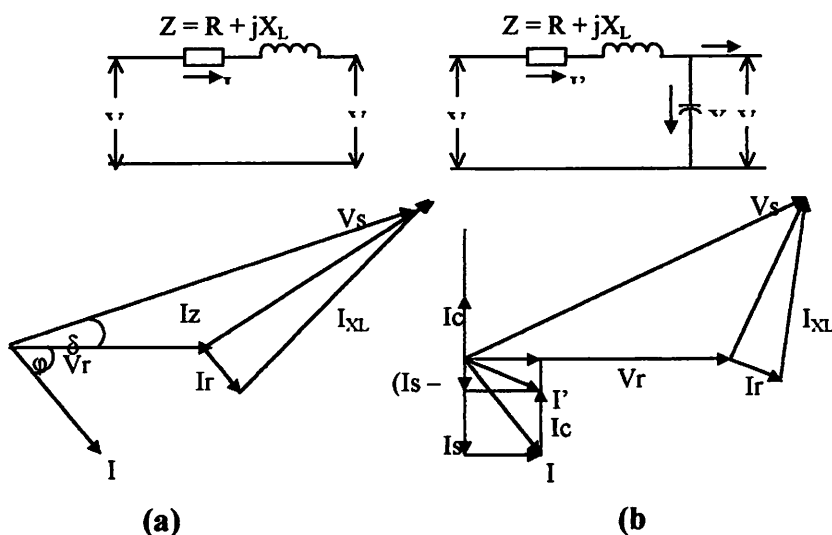
$$\begin{aligned} \Delta_{pls} &= I^2 R - I_1^2 R \\ &= (I \cos \theta)^2 R + (I \sin \theta)^2 R - (I \cos \theta)^2 R + (I \sin \theta - I_c)^2 R \\ &= 2 (I \sin \theta) I_c R - I_c^2 R \dots\dots\dots (2.4) \end{aligned}$$

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. Sehingga pengurangan rugi daya saluran 3 fasa adalah :

$$3R[2(I \sin \theta)I_c - I_c^2] \text{ Watt} \dots\dots\dots (2.5)$$

2.6.2. Perbaikan Tegangan ^[5]

Pemakaian kapasitor shunt dalam sistem tenaga listrik selain untuk perbaikan faktor daya juga bertujuan menaikkan tegangan. Dan secara vektor dapat dilihat pada gambar 2-9 :



Gambar 2-9. Vektor Diagram Sebelum (a) dan Sesudah (b) Pemasangan Kapasitor Shunt Pada Jaringan
 Sumber Hasan Basri, "Sistem Distribusi Tenaga Listrik"

Kerugian jaringan disebabkan arus beban I sebelum kapasitor dipasang :

$$E = RI_r + XI_L \dots\dots\dots (2.6)$$

Kerugian tegangan setelah kapasitor dipasang :

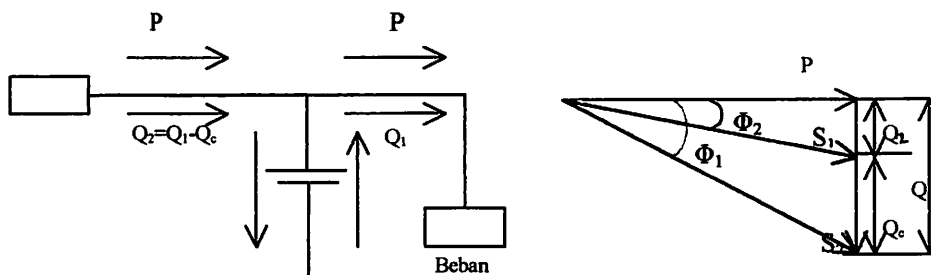
$$E = RI_r + XI_L - Xic \dots\dots\dots (2.7)$$

2.6.3. Perbaikan Faktor Daya dan Kenaikan Kapasitas Sistem^[5]

Manfaat terbesar yang diperoleh dari perbaikan faktor daya berasal dari pengurangan daya reaktif dalam sistem. Hal ini menghasilkan pengurangan biaya pemakaian daya yang lebih rendah, kenaikan kapasitas sistem, perbaikan tegangan dan pengurangan rugi-rugi dalam sistem. Satu-satunya jalan untuk memperbaiki faktor daya adalah mengurangi daya reaktif di jaringan, Jika komponen arus reaktif dapat dikurangi, maka total arus akan berkurang sedangkan komponen daya aktif tidak berubah, maka faktor daya akan lebih besar sebagai akibat

berkurangnya daya reaktif. Faktor daya akan mencapai 100 % jika komponen daya reaktif sama dengan nol (0).

Dengan menambah kapasitor, daya reaktif Q akan berkurang, gambar 2.10 menunjukkan perbaikan faktor daya pada sistem, kapasitor mensuplai daya reaktif ke beban.



Gambar 2-10. Perbaikan Faktor Daya
 Sumber Hasan Basri, " Sistem Distribusi Tenaga Listrik "

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

$$\cos \theta = \frac{P}{S_1} \dots\dots\dots(2.8)$$

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

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

$$\cos \theta = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}$$

$$\cos \theta = \frac{P}{\sqrt{P^2 + (Q_1 - Q_c)^2}} \dots\dots\dots(2.9)$$

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

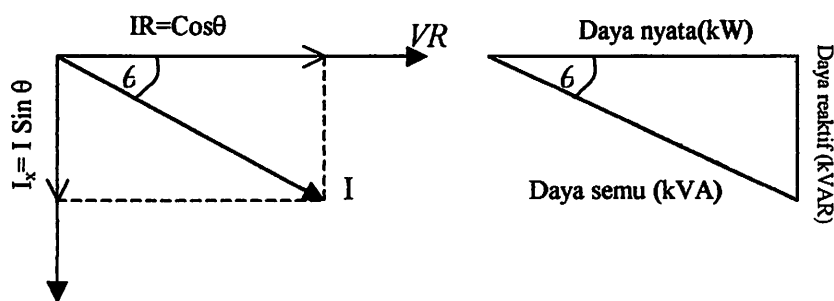
$$\% \text{ Rugi Daya} = 100 \left(\frac{\text{Faktor.daya.mula} - \text{mula}(\cos \theta_1)}{\text{Faktor.daya.baru}(\cos \theta_2)} \right) \dots\dots\dots(2.10)$$

%Pengurangan Rugi Daya

$$= 100 \left(1 - \left(\frac{\text{Faktor.daya.mula} - \text{mula}(\cos \theta_1)}{\text{Faktor.daya.baru}(\cos \theta_2)} \right)^2 \right) \dots\dots\dots(2.11)$$

2.6.4. Perhitungan Pengaruh Perbaikan Faktor Daya ^[5]

Diagram phase dari dua komponen arus nyata itu arus aktif dan reaktif dapat dilihat pada gambar 2-11 berikut;



Gambar 2-11. Diagram Fasor dan Sudut Daya Beban Distribusi
Sumber Hasan Basri, "Sistem Distribusi Tenaga Listrik"

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

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

$$= \sqrt{(I.\text{Cos}.\theta)^2 + (I.\text{Sin}\theta)^2}$$

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

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

$$(VI) = \sqrt{(VI.\text{Cos}\theta)^2 + (VI.\text{Sin}\theta)^2}$$

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

$$\text{Daya Aktif} = \text{Daya semu} * \text{Faktor Daya}$$

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

$$kW = kVA \text{ Cos } \theta$$

2.6.5. Penentuan Rating Kapasitor untuk Perbaikan Faktor Daya Beban ^[5]

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

$$\text{Cos } \theta = \frac{\text{Daya aktif}}{\text{Daya semu}} = \frac{(kW)}{(kVA)}$$

$$\text{Sin } \theta = \frac{\text{Daya reaktif}}{\text{Daya semu}} = \frac{(kVAR)}{(kVA)}$$

$$\text{Tan } \theta = \frac{\text{Daya reaktif}}{\text{Daya aktif}} = \frac{(kVAR)}{(kW)}$$

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

$$\begin{aligned} \text{Daya reaktif pada daya mula-mula} &= \text{Daya aktif} \times \tan \theta_1 \\ &= (\text{kW}) \times \tan \theta_1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Daya reaktif pada factor daya baru} &= \text{Daya aktif} \times \tan \theta_2 \\ &= (\text{kW}) \times \tan \theta_2 \end{aligned}$$

Dengan θ_1 = sudut dari factor daya mula-mula

θ_2 = sudut dari factor daya yang telah diperbaiki

Rating kapasitor yang dibutuhkan perbaikan factor daya :

$$\begin{aligned} \text{Daya reaktif (kVAR)} &= \text{Daya aktif} \times (\tan \theta_1 - \theta_2) \\ (\text{kVAR}) &= (\text{kW}) \times (\tan \theta_1 - \theta_2) \end{aligned}$$

Untuk penyederhanaan ($\tan \theta_1 - \theta_2$) sering ditulis $\Delta \tan$, yang merupakan suatu factor pengali untuk menentukan daya reaktif.

$$\text{Daya reaktif (kVAR)} = \text{Daya aktif} \times \Delta \tan$$

$$(\text{kVAR}) = (\text{kW}) \times \Delta \tan$$

2.7. Sistem Per-Unit ^[6]

Untuk memudahkan perhitungan-perhitungan dalam sistem tenaga listrik digunakan sistem per p.u. (per unit) yang didefinisikan sebagai perbandingan

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

$$\text{Besaran per-unit} = \frac{\text{besaran.sesungguhnya}}{\text{besaran dasar dengan dimensi yang sama}} \dots\dots\dots(2.12)$$

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

- Untuk data satu fasa

Arus dasar

$$I_d = \frac{kVA.dasar.1.fasa}{kV.dasar.L - N} \dots\dots\dots(2.13)$$

Impedansi dasar

$$Z_d = \frac{(kV.dasar.L - N)^2 * 1000}{kVA.dasar.1.fasa} \dots\dots\dots(2.14)$$

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

Dalam persamaan diatas nilai-nilai besaran diberikan untuk rangkaian satu phasa. Jadi tegangan adalah antara phasa dengan tanah dan daya setiap phasa.

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

$$Z = \frac{\text{Impedansi sebenarnya } Z(\Omega)}{\text{Impedansi Dasar } Z_d} pu \dots\dots\dots(2.15)$$

BAB III

OPTIMASI PENEMPATAN KAPASITOR PADA JARINGAN DISTRIBUSI RADIAL DENGAN MENGGUNAKAN METODE LOGIKA *FUZZY*

3.1. Analisis Aliran Daya Sistem Distribusi Radial

Sebelum melakukan optimasi dengan menggunakan metode Logika *Fuzzy* terlebih dahulu dilakukan suatu proses analisis aliran daya untuk mengetahui kondisi suatu sistem distribusi radial.

Oleh karena itu pembahasan selanjutnya sebelum proses analisa penempatan kapasitor metode Logika *Fuzzy* terlebih dahulu dilakukan proses analisis aliran daya dengan menggunakan metode Newton Raphson.

3.1.1. Tujuan Analisa Aliran Daya

Tujuan mempelajari analisa aliran daya ini adalah :

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

3.1.2. Persamaan Aliran Daya Metode Newton Raphson.

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

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

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

Injeksi daya pada simpul p adalah :

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

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

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

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

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

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

Maka persamaan (3.2) dapat ditulis :

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

Dengan memisahkan bagian riil dan bagian imajiner maka diperoleh :

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

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

Kedua persamaan diatas akan menghasilkan suatu kumpulan persamaan serempak (simultan) yang tidak linier untuk setiap simpul sistem tenaga listrik. Untuk mengetahui magnitudo tegangan (V) dan sudut fasa (δ) disetiap simpul dapat diselesaikan dengan menggunakan persamaan (3.5) dan (3.6) yang dilinierkan dengan metode Newton Raphson yang dapat dilihat dari persamaan dibawah ini :

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

Dimana :

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

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

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

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

H, L, M, N merupakan elemen-elemen off diagonal dan diagonal dari sub matriks

Jaobian yang dibentuk dengan mendefinisikan persamaan (3.5) dan (3.6), dimana

$$H_{pq} = \frac{\partial P_p}{\partial \delta_q}$$

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

$$M_{pq} = \frac{\partial Q_p}{\partial \delta_q}$$

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

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

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

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

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

3.2. Dasar-dasar Teori Fuzzy Set^[2]

Fuzzy set merupakan teori dasar dari Fuzzy logic, Fuzzy Set didefinisikan dengan menentukan nilai untuk kemungkinan elemen lain pada suatu membership. Beberapa dasar operator-operator fuzzy set diperkenalkan pada bagian ini.

1. *AND Operation* (intersection/titik potong pada fungsi-fungsi membership)

: misalkan A dan B menjadi fuzzy set dengan fungsi membership $\mu_A(\chi)$ dan $\mu_B(\chi)$, dengan berurutan, dan X menjadi universal set. Fungsi membership pada perpotongan (AND) adalah didefinisikan sebagai

$$\mu_{A \cap B}(\chi) = \min(\mu_A(\chi), \mu_B(\chi)) \quad \chi \in X \quad \dots\dots\dots(3.10)$$

2. *OR Operation* (Union/perpaduan dari fungsi membership):

misalkan A dan B menjadi dua fuzzy set dengan fungsi membership $\mu_A(\chi)$ dan $\mu_B(\chi)$, secara berurutan, dan X menjadi set universal. Fungsi membership pada union (OR) adalah didefinisikan sebagai :

$$\mu_{A \cup B}(\chi) = \max(\mu_A(\chi), \mu_B(\chi)) \quad \chi \in X \quad \dots\dots\dots(3.11)$$

- 3 *Product of two Fuzzy set (Product Operation):*

Hasil dari dua fuzzy set memiliki fungsi membership yang didefinisikan sebagai hasil perkalian dari dua membership.

$$\mu_{A,B}(\chi) = \mu_A(\chi) * \mu_B(\chi) \quad \chi \in X \quad \dots\dots\dots(3.12)$$

3.3. Metode Logika Fuzzy untuk Menentukan Penempatan Kapasitor pada Sistem Ditribusi Radial^[2]

3.3.1. Metode OR Operation

Dalam metode ini bentuk fungsi membership pada tegangan dan rugi-rugi daya. Mereka didefinisikan sebagai berikut :

$$\mu_v(i) = \frac{1}{1 + \left[\frac{V_i - 1}{V_{\max} - V_{\min}} \right]^2} \quad i=1,2,\dots,n \quad \dots\dots\dots(3.13)$$

$$\begin{aligned} \mu_p(i) &= 1 - \frac{P_{loss}(i, i+1)}{C_p} \quad i=1,2,\dots,n; P_{loss} \leq C_p \\ \mu_p(i) &= 0, i=1,2,\dots,n; P_{loss} > C_p \quad \dots\dots\dots(3.14) \end{aligned}$$

dimana C_p adalah konstan yang nilainya adalah membawa 70 sampai 80% dari total rugi-rugi daya

Fungsi membership *fuzzy decision* pada union (OR) adalah didefinisikan sebagai :

$$\mu_{s(i)} = \max \{ \mu_v(i), \mu_p(i) \} \quad i= 1,2,\dots,n \quad \dots\dots\dots(3.15)$$

3.4. Penentuan Saving Cost (S) ^[2]

Objektivitas pada penempatan kapasitor adalah untuk mengurangi rugi-rugi daya dan menjaga tegangan dengan batas yang diijinkan dengan biaya yang minimum. Rugi-rugi daya total P diberikan rumus :

$$P = \sum_{i=0}^{n-1} P_{loss(i,i+1)} \quad \dots\dots\dots(3.16)$$

Pertimbangan biaya investasi, terdapat nomor bilangan terbatas pada ukuran kapasitor standart yaitu perkalian integer pada ukuran Q_c yang paling

kecil. Cost per kV bervariasi dari ukuran satu ke ukuran yang lain. Umumnya ukuran yang lebih besar lebih murah dari ukuran yang lebih kecil, Memasukkan ukuran maksimum kapasitor yang diijinkan menjadi batasan untuk :

$$Q_{\max}^c = L * Q_0 \quad \dots\dots\dots(3.17)$$

Dimana L adalah integer, pada lokasi yang telah di pilih lainnya, terdapat L ukuran sebagai pilihan. Masukkan . $K_1^c, K_2^c, \dots, K_L^c$ menjadi modal infestasi yang sesuai. per kVar. Mengasumsikan bahwa hanya kapasitor bank digunakan untuk perbaikan tegangan , fungsi cost S bisa diperoleh sebagai

$$S = K_p * P_{\text{loss}} + \sum_{j=1}^k K_j^c Q_j^c \quad \dots\dots\dots(3.18)$$

Dimana K_p adalah biaya daya yaitu biaya investasi ditambah biaya operasi dan biaya pemeliharaan (nilai investasi) adalah *cost* per rugi daya (\$/kW/Tahun), nilai K_p sudah ditentukan yaitu U.S.\$ 168/kW/tahun. dan $j = 1,2,3,\dots,k$ menggambarkan bus yang telah dipilih. Fungsi objektif adalah untuk meminimalkan subject ke batas tegangan.

$$V_{\min} \leq V_i \leq V_{\max} \quad \dots\dots\dots(3.19)$$

Dimana

$$V_{\min} 0.9 \text{ p.u. Dan } V_{\max} 1 \text{ p.u}$$

3.5. Algoritma Program^[2]

Langkah langkah algoritma yang digunakan dalam menentukan penempatan kapasitor dengan menggunakan metode Fuzzy Logic:

1. Buat program *loadflow* untuk menghitung tegangan bus sebagai dan rugi-rugi setempat (*sectional – losses*).
2. Cari fungsi membership dari tegangan (3.13), rugi daya aktif (3.14) dan *decision* untuk fuzzy set (3.15).
3. Identifikasi kandidat node pada bus dengan fungsi membership μ_s bus K (*bus.yang.telah.dipilih*).
4. Instal kapasitor pada bus K dengan merubah ukuran dalam *integer steps*. Pilih Q_c yang memiliki *cost* lebih rendah tanpa melanggar batas (Q_c .max) (3.17).
5. Tambah Q_c pada bus K dan melakukan aliran daya kembali. Keluar jika tidak terdapat pelanggaran tegangan, menuju ke langkah 2. Nilai batasan tegangan adalah (3.19)
6. Mengasumsikan bahwa M busses telah dipilih untuk menempatkan kapasitor baru, mengatur kapasitor pertama ($i = 1$) dalam *integer step* saat memasang yang lain. Pilih Q_c untuk bagian pertama yang memiliki *cost* terendah.
7. Ulangi langkah 6 jika fungsi *cost* masih tinggi, fungsi *cost* adalah biaya operasi dalam setahun (3.18).

BAB IV

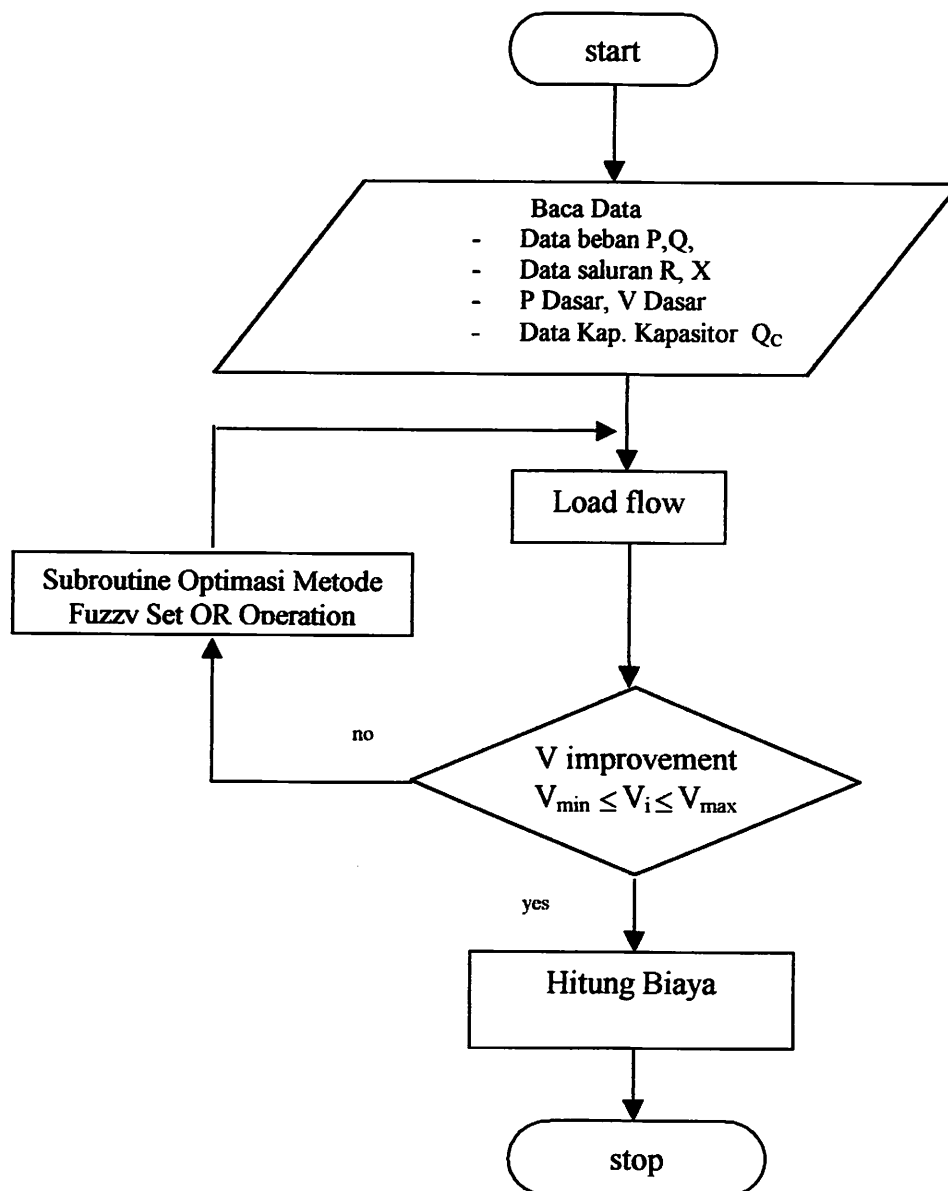
PERHITUNGAN PENEMPATAN DAN KAPASITAS KAPASITOR PADA JARINGAN DISTRIBUSI RADIAL PENYULANG PUJON

4.1. Analisa Penempatan Kapasitor

Pemilihan suatu metode solusi untuk aplikasi praktis tidaklah mudah, pilihan itu memerlukan analisis yang cermat atas kelebihan dan kekurangan pada berbagai metode yang tersedia. Untuk solusi dari permasalahan diatas maka dipergunakan suatu alternatif metode yang tersedia, alternatif metode *Fuzzy Set* yang merupakan teori dasar metode Logika *Fuzzy*, menyediakan cara dalam menganalisa penempatan kapasitor. Analisa menggunakan aturan-aturan *Fuzzy Set*, diharapkan agar perbaikan profil tegangan mencapai nilai maksimum, mengurangi rugi-rugi sehingga didapatkan penghematan biaya.

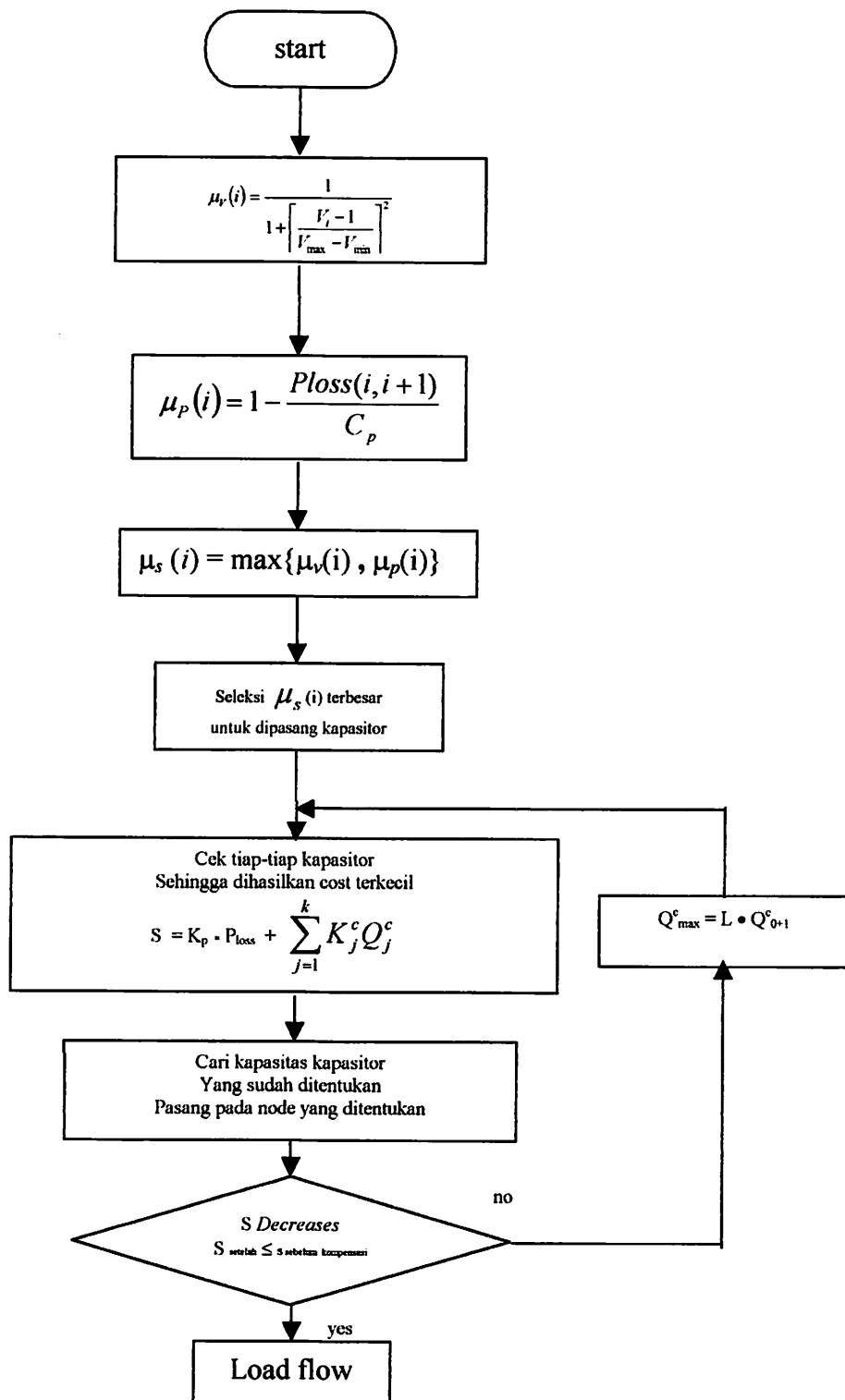
Dalam perhitungan analisa penempatan kapasitor, menggunakan program komputer. Pada prinsipnya penggunaan program komputer dapat menganalisa sebuah distribusi radial dengan jumlah bus yang tidak terbatas tergantung dari tersedianya jumlah memori yang tersedia di komputer yang digunakan.

4.2. Flowchart Penyelesaian Masalah



Gambar 4-1. Flow Chart Algoritma Program

4.3. Flowchart Subroutine Optimasi Metode Fuzzy Set OR Operation



Gambar 4-2. Flow Chart Algoritma Optimasi Penempatan Kapasitor Dengan Metode Fuzzy Set OR Operation

4.4. Data Perhitungan

Dalam analisa ini digunakan data saluran distribusi radial Penyulang Pujon. Data diperoleh dari PT. PLN (PERSERO) Distribusi Area Malang UP-J – Batu Malang,.

Untuk menyelesaikan perhitungan aliran daya terlebih dahulu ditetapkan single line diagram yang akan dianalisa. *Single line* penyulang Pujon dapat dilihat pada lampiran. Agar memudahkan perhitungan maka digunakan sistem per-unit (pu), dimana dasar yang digunakan :

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

4.4.1. Data Saluran

Jaringan distribusi Penyulang Pujon menggunakan kabel saluran udara dengan spesifikasi pada tabel.1

Tabel 4-1
Spesifikasi saluran

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

Data saluran penyulang Pujon dapat dilihat pada tabel 4.2

Tabel 4-2
DATA SALURAN PENYULANG PUJON

No saluran	Dari Node	ke Node	Panjang (m)	Impedensi Saluran	
				R(C)	X(C)
1	1	2	580.3	0.1255	0.1918
2	2	3	1432.6	0.3097	0.4735
3	3	4	863.9	0.1868	0.2855
4	4	5	85.4	0.0185	0.0282
5	4	6	683.3	0.1477	0.2258
6	6	7	2082.8	0.4503	0.6884
7	7	8	154.4	0.0334	0.051
8	8	9	414.5	0.0896	0.137
9	9	10	896.5	0.1938	0.2963
10	10	11	463.5	0.1002	0.1532
11	11	12	452	0.0977	0.1494
12	12	13	1424.5	0.308	0.4708
13	12	14	1233	0.2666	0.4075
14	7	15	1244.8	0.2891	0.4114
15	15	16	90.5	0.0196	0.0299
16	16	17	20.4	0.0044	0.0067
17	15	18	338	0.0731	0.1117
18	18	19	182.2	0.049	0.0615
19	18	20	402.8	0.1083	0.136
20	18	21	304.3	0.0658	0.1006
21	21	22	293.7	0.079	0.0992
22	21	23	1257.4	0.2719	0.4156
23	23	24	408.5	0.0879	0.1344
24	23	25	154.2	0.0695	0.0567
25	25	26	627.4	0.0783	0.2378
26	26	27	6.4	0.0059	0.0024
27	26	28	204.2	0.1882	0.0774
28	28	29	114.5	1.0562	0.4343
29	23	30	868.2	0.1877	0.2869
30	30	31	141.2	0.0305	0.0467
31	31	32	848.8	0.1835	0.2805
32	31	33	272.5	0.1758	0.1002
33	33	34	1127.05	0.7272	0.4145
34	34	35	102.2	0.0859	0.0376
35	34	36	496.35	0.1073	0.164
36	36	37	282.5	0.0611	0.0934
37	37	38	294.5	0.0837	0.0973
38	31	39	943.3	0.039	0.3118
39	39	40	302.31	0.1951	0.1112
40	39	41	648.11	0.1185	0.1812
41	41	42	105.9	0.0229	0.035
42	39	43	40.5	0.0088	0.0134
43	43	44	1653.6	0.3575	0.5465
44	44	45	785.2	0.1698	0.2595
45	45	46	335	0.0726	0.111
46	46	47	793.2	0.1715	0.2622
47	47	48	571	0.1235	0.1887
48	48	49	365.5	0.079	0.1208
49	49	50	729.8	0.1578	0.2412
50	49	51	54.1	0.0117	0.0179

No saluran	Dari Node	ke Node	Panjang (m)	Impedensi Saluran	
				R(C)	X(C)
51	51	52	121.8	0.0263	0.0403
52	51	53	940.35	0.2033	0.3108
53	53	54	1715.3	0.7904	0.6127
54	54	55	1192.7	0.5496	0.426
55	55	56	1123.5	0.2429	0.3713
56	56	57	1353.3	0.2926	0.4475
57	57	58	1067.1	0.2307	0.3527
58	56	59	396.5	0.0857	0.131
59	59	60	296.8	0.0642	0.0981
60	59	61	1093.4	0.2364	0.3614
61	61	62	1162.6	0.2514	0.3842
62	44	63	497.1	0.1075	0.1643
63	63	64	570.4	0.1233	0.1885
64	64	65	907	0.1961	0.2998
65	65	66	1769.8	0.3626	0.5848
66	63	67	135.2	0.0292	0.0447
67	67	68	821.6	0.1776	0.2715
68	67	69	110.15	0.0238	0.0364
69	69	70	891.3	0.927	0.2946
70	70	71	803.2	0.1304	0.1994
71	71	72	27.3	0.0059	0.0009
72	72	73	233.1	0.0504	0.077
73	72	74	258.7	0.0559	0.0855
74	74	75	198.1	0.0428	0.0685
75	75	76	1538.1	0.3325	0.5083
76	76	77	381.43	0.0895	0.1261
77	76	78	472	0.1021	0.156
78	78	79	449.6	0.0972	0.1486
79	79	80	721.4	0.156	0.2384
80	80	81	940.5	0.2033	0.3108
81	81	82	1428.3	0.3088	0.4721
82	75	83	322.1	0.0596	0.1085
83	83	84	186.4	0.0403	0.0616
84	83	85	98.5	0.0213	0.326
85	85	86	243.9	0.0527	0.0806
86	85	87	205.3	0.0444	0.0679
87	87	88	590.3	0.1276	0.1951
88	88	89	856.6	0.1852	0.2831
89	89	90	458.3	0.0991	0.1515
90	90	91	1162.2	0.2513	0.3841
91	89	92	207.4	0.0448	0.0666
92	92	93	1061.5	0.225	0.3508
93	93	94	1321.52	0.8527	0.4861
94	93	95	385.1	0.2485	0.1416
95	95	96	478.3	0.3086	0.1759
96	95	97	332.6	0.2146	0.1223
97	97	98	1161.5	0.7494	0.4272
98	98	99	100.4	0.0217	0.0332
99	9	100	785.8	0.507	0.289
100	100	101	285.3	0.1841	0.1049

Sumber PT. P. I. N (Persero) Distribusi JATIM
Area Malang UP - J Batu

4.4.2. Data Pembebanan

Data pembebanan diperoleh dengan mengambil data dari masing-masing trafo distribusi, data pembebanan dapat dilihat pada tabel 3.4

Tabel 4-3

DATA PEMBEBANAN SISTEM 20 kV PENYULANG PUJON

No	Kode	Lokasi	Pembebanan		type
Node	Trafo		P (kW)	Q (kVAR)	Node
1			0.0000	0.0000	Slack
2	T55	Jl Raya Ngandat	42	24.9167	Load
3	T43	Jl Raya Mojorejo	105	62.2919	Load
4			0	0.0000	Load
5	T63	Dk Mantung	0	0.0000	Load
6	T38	Jl Raya Beji	25	14.8314	Load
7			0	0.0000	Load
8	T72	emanuel temas	59	35.0021	Load
9	T115	Jl.Wukir Temas	0	0.0000	Load
10	T97	Ds Temas Klerek	88	52.2065	Load
11	T95	Ds Torong Rejo	87	51.6133	Load
12			0	0.0000	Load
13	T96	Ds Torong Rejo tutup	79	46.8672	Load
14	T156	Ds wukir	0	0.0000	Load
15			0	0.0000	Load
16	T31	Jl Sudiro	36	21.3572	Load
17	T126	Jl Sudiro	129	76.5300	Load
18			0	0.0000	Load
19	T105	R.s Paru-paru	61	36.1886	Load
20	T189	Jl Kasiman	76	45.0874	Load
21			0	0.0000	Load
22	T188	Jl Lesti	70	41.5279	Load
23			0	0.0000	Load
24	T9	jl Hasanudin	159	94.3277	Load
25	T32	Jl Indragiri	79	46.8672	Load
26			0	0.0000	Load
27	T46	Ds. Sumberejo	107	63.4784	Load
28	119	Ds. Sumberejo	4	2.3730	Load
29	78	Ds Satrehan	119	70.5974	Load
30	25	Jl Trunojoyo	22	13.0516	Load
31			0	0.0000	Load
32	30	Ds Songgoriti	37	21.9505	Load
33	T129	Jl Flamboyan	97	57.5458	Load
34			0	0.0000	Load
35	99	Jl Flamboyan	64	37.9684	Load
36	200	Ds Tanbuh	2	1.1865	Load
37	201	Ds Tanbuh	1.935	1.1480	Load
38	202	Ds Tanbuh	1.29	0.7653	Load
39	0		0	0.0000	Load
40	168	Bukit Pinus	5	2.9663	Load
41	174	Jl Songgoriti	76	45.0874	Load

42	175	Jl Songgoriti	21	12.4584	Load
43	16	Jl Songgoriti	64	37.9684	Load
44			0	0.0000	Load
45	57	Dk Sebaluh	65	38.5616	Load
46	153	Dk Sebaluh	90	53.3930	Load
47	59	Dk Maron	64	37.9684	Load
48	87	Dk Maron	63	37.3751	Load
49			0	0.0000	Load
50	112	Ds Gunung Sari	49	29.0695	Load
51			43.1152	25.5784	Load
52	88	Ds Pujon Kidul	35	20.7640	Load
53	89	Ds Pujon Kidul	104	61.6986	Load
54	101	Dk Biyan	29	17.2044	Load
55	102	Dk Bakir	82	48.6470	Load
56			0	0.0000	Load
57	103	Dk Cukal	52	30.8493	Load
58	167	Dk dadapan	39	23.1370	Load
59			0	0.0000	Load
60	104	Ds Cukal	41	24.3235	Load
61	166	Dk Tretes	103	61.1053	Load
62	167	Dk Dadapan	39	23.1370	Load
63			0	0.0000	Load
64	58	Dk Pandemas	37	21.9505	Load
65	60	Ds Jurang Rejo	120	71.1907	Load
66	217	Ds Brau	14	8.3056	Load
67			0	0.0000	Load
68	212	Dk Don Bayi	25.85	15.3357	Load
69	36	Ds Pandesari	117	69.4109	Load
70	145	Dk Watu Gong	50	29.6628	Load
71	19	Jl Raya Pujon	89	52.7998	Load
72			0	0.0000	Load
73	198	Pasar Baru	58	34.4088	Load
74	123	Jl Raya PuJon	103	61.1053	Load
75			0	0.0000	Load
76			0	0.0000	Load
77	98	Dk Kalangan	76	45.0874	Load
78	79	Ds Wiyun Rejo	132	78.3098	Load
79	80	Ds Madirejo	41	24.3235	Load
80	223	Dk Sobo	16.12	9.5633	Load
81	94	Dk Delik	54	32.0358	Load
82	216	Dk Delik	73.26	43.4619	Load
83			0	0.0000	Load
84	195	KOP SAE	12	7.1191	Load
85			0	0.0000	Load
86	62	KOP SAE	55	32.6291	Load
87	33	Ds Ngroto	149	88.3951	Load
88	61	Ds Ngroto	66	39.1549	Load
89			0	0.0000	Load
90	64	Dk lebaksari	32	18.9842	Load
91	147	Dk Torong	14	8.3056	Load
92	63	Dk Mantung	32	18.9842	Load
93			0	0.0000	Load
94	196	Dk Bunder	15	8.8988	Load
95			0	0.0000	Load
96	197	Dk Ngebrong	16	9.4921	Load
97	65	Ds Ngabab	118	70.0042	Load
98	66	Ds Ngabab	60	35.5953	Load
99	219	Ds Manting	48.18	28.5831	Load
100	76	Ds Manting	45	26.6965	Load
101	77	Dk Gerih	85	50.4267	Load

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

4.4.3. Data Kapasitas Kapasitor dan Harga (Cost/ kVAR)^[2].

Pada analisa menentukan nilai biaya, nilai kapasitas kapasitor dan harga sudah ditentukan dalam U.S.\$ /kVAR/th. Tabel 4.4 menunjukkan data yang tersedia oleh *suplier* untuk *feeder* distribusi. 27 kapasitas kapasitor sebagai pilihan ditunjukkan pada tabel 4.5 berdasarkan Cost/kVAR/th, nilai berasal dari tabel 4.4 dengan asumsi *life expectancy* selama 10 th

Tabel 4-4
Ukuran dan Harga Kapasitor Yang Tersedia^[2]

Size kVAR	150	300	450	600	900	1200
Cost \$	750	975	1140	1320	1650	2040

Tabel 4-5
Data Kapasitas kapasitor dan harga^[2]

No	Kapasitas (Kvar)	Harga (\$/kVAR)
1	150	0.5000
2	300	0.3500
3	450	0.2500
4	600	0.2200
5	750	0.2000
6	900	0.1830
7	1050	0.2280
8	1200	0.1700
9	1350	0.2070
10	1500	0.2010
11	1650	0.1930
12	1800	0.2110
13	1950	0.1760
14	2100	0.1970
15	2250	0.1700
16	2400	0.1890
17	2550	0.1890
18	2700	0.1870
19	2850	0.1830
20	3000	0.1830
21	3150	0.1800
22	3300	0.1950
23	3450	0.1740
24	3600	0.1880
25	3750	0.1700
26	3900	0.1830
27	4050	0.1820

Sumber S.F. Mekhamer, S.a. Soliman, M.A Moustofa, and M.E. El-Hawary, "Applikasion of Fuzzy Logic or Reactive-Power Com[penation of Radial Distribution Feeder," IEEE Trans on Power System. Vol 1. no.1. pp 26-213, Februari 2003.

4.5. Analisa Perhitungan

4.5.1. Analisa Penempatan Kapasitor Menggunakan Metode Logika Fuzzy

Sebelum melakukan optimasi dengan menggunakan metode Logika Fuzzy terlebih dahulu dilakukan proses analisis aliran daya untuk mengetahui kondisi sistem distribusi radial. Dalam analisa ini digunakan data saluran distribusi radial Penyulang Pujon. *Single line* penyulang Pujon dapat dilihat pada lampiran. Data diperoleh dari PT. PLN (PERSERO) Distribusi Area Malang UP-J – Batu Malang.

Tujuan mempelajari analisis aliran daya ini adalah untuk menganalisa nilai tegangan dan menganalisa rugi daya aktif dan rugi daya reaktif pada saluran. Metode yang digunakan untuk menganalisa aliran daya pada sistem distribusi radial adalah metode Newton Raphson.

Untuk menentukan letak optimal penempatan kapasitor, cari fungsi membership dari tegangan μ_v (3.13), rugi-rugi μ_p (3.14) dan *decision* untuk Fuzzy Set μ_s (3.15), Identifikasi kandidat node pada bus dengan *membership function* μ_s pada bus K (*bus.yang.telah.dipilih*). Tentukan kapasitas kapasitor dengan kapasitas yang telah ditentukan Q_c (3.20), letakkan pada lokasi yang sudah ditentukan. Nilai total biaya didapat dari fungsi *cost S* (3.21). Fungsi objektif adalah untuk meminimalkan subject ke batas tegangan (22).

Lakukan *proses load flow* untuk mengetahui nilai tegangan dan rugi-rugi setelah penempatan kapasitor. Langkah-langkah selengkapnya dapat dilihat pada algoritma program dan *flow chart* penempatan kapasitor metode Logika Fuzzy.

4.5.2. Perhitungan Penghematan Biaya (*Saving Cost*)

Nilai biaya saving cost merupakan nilai pengurangan biaya sebelum penempatan dan setelah biaya setelah penempatan, yaitu merupakan biaya penghematan yang diperoleh PT. PLN selaku distributor. Nilai total biaya adalah :

$$S = K_p \cdot P_{\text{loss}} + \sum_{j=1}^k K_j^c Q_j^c$$

Dimana : K_p adalah cost per power loss (\$/kW/Tahun).

K_c adalah harga kapasitor (\$/kVAR/Tahun).

Q_c adalah kapasitas kapasitor (kVAR).

P_{loss} adalah nilai rugi-rugi daya aktif total pada system.

Nilai K_p sudah ditentukan yaitu \$168 /kW/Tahun^[2], Dengan asumsi nilai kurs adalah U.S.\$ 1 = Rp 9.000,00.

➤ nilai biaya total sebelum penempatan adalah

$$S = K_p \cdot P_{\text{loss}} + \sum_{j=1}^k K_j^c Q_j^c$$

$$S = 168 \cdot 105.214 + \sum_{j=1}^k K_0^c Q_0^c$$

$$= \$ 17.675.95 / \text{th}$$

$$= \text{Rp. } 159.083.568 / \text{th}$$

➤ nilai biaya total setelah penempatan metode Fuzzy Set OR Operation adalah

$$S = K_p \cdot P_{\text{loss}} + \sum_{j=1}^k K_j^c Q_j^c$$

$$\begin{aligned} S &= 168 \cdot 77.813 + (1800 \cdot 0.2110 + 150 \cdot 0.5000) \\ &= \$ 13.527.384 / \text{th} \\ &= \text{Rp } 121.746.456 / \text{th} \end{aligned}$$

Saving cost metode Fuzzy Set OR Operation

$$\begin{aligned} &= \text{biaya sebelum penempatan} - \text{biaya setelah penempatan} \\ &= \text{Rp. } 159.083.568 / \text{th} - \text{Rp}121.746.456 / \text{th} \\ &= \text{Rp } 37.337.112 / \text{th} \end{aligned}$$

4.6. Hasil Program

4.6.1. Tampilan Program

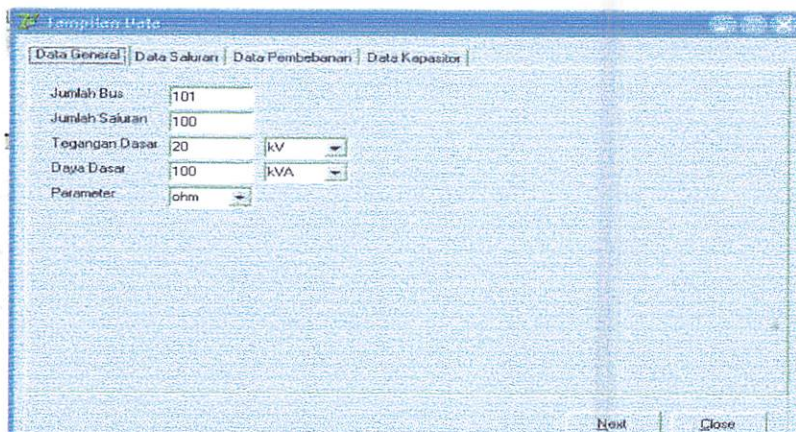
Dalam Skripsi ini menggunakan bantuan bahasa pemrograman Borland Delphi versi 7.0 dan diaplikasikan pada komputer AMD 2200 MHz, dengan memory 256 Mb. Mengenai jalannya program, prosedur program sebagai berikut:

1. Tampilan Utama Program



Gambar 4-3. Tampilan utama Program

2. Tekan tombol New untuk memasukkan data baru atau tekan open untuk data yang sudah tersimpan



Gambar 4-4. Tampilan utama Program (Data general)

Tampilan Data

Data General | Data Saluran | Data Pembebanan | Data Kapasitor

No	Dari	Ke	R (pu)	X (pu)	Lo (pu)	Tr
1		2	0.1255	0.1918	0	0
2	2	3	0.3097	0.4735	0	0
3	3	4	0.1069	0.2055	0	0
4	4	5	0.0185	0.0282	0	0
5	4	6	0.1477	0.2258	0	0
6	6	7	0.4503	0.6884	0	0
7	7	8	0.0334	0.051	0	0
8	8	9	0.0896	0.137	0	0
9	9	10	0.1938	0.2963	0	0
10	10	11	0.1002	0.1532	0	0
11	11	12	0.0977	0.1494	0	0
12	12	13	0.308	0.4708	0	0
13	12	14	0.2866	0.4075	0	0
14	7	15	0.2691	0.4114	0	0
15	15	16	0.0196	0.0299	0	0

Next Close

Gambar 4-5. Tampilan utama Program (Data saluran)

Tampilan Data

Data General | Data Saluran | Data Pembebanan | Data Kapasitor

No	Abs V (pu)	Sud V (deg)	Pgen (MW)	Qgen (MVAR)	Pload (MW)	Qload (MVAR)	Cap	Typ Bus
1	0	0	0	0	0	0	0	1
2	1	0	0	0	36.12	21.428	0	3
3	1	0	0	0	90.3	53.571	0	3
4	1	0	0	0	0	0	0	3
5	1	0	0	0	27.52	16.326	0	3
6	1	0	0	0	21.25	12.755	0	3
7	1	0	0	0	0	0	0	3
8	1	0	0	0	50.74	30.102	0	3
9	1	0	0	0	0	0	0	3
10	1	0	0	0	75.68	44.898	0	3
11	1	0	0	0	74.82	44.387	0	3
12	1	0	0	0	0	0	0	3
13	1	0	0	0	67.94	40.306	0	3
14	1	0	0	0	0	0	0	3
15	1	0	0	0	0	0	0	3

Next Close

Gambar 4-6. Tampilan utama Program (Data Pembebanan)

Tampilan Data

Data General | Data Saluran | Data Pembebanan | Data Kapasitor

Jumlah Kapasitor: 27

Annual Cost of Losses (Rp/kWh): 168.00

No	Cap (KVAR)	Harga (KVAR/%)
1	300	0.50000
2	300	0.35000
3	450	0.25000
4	600	0.22000
5	750	0.20000
6	900	0.18300
7	1050	0.22800
8	1200	0.17000
9	1350	0.20700
10	1500	0.20100
11	1650	0.19300
12	1800	0.21100
13	1950	0.17600
14	2100	0.19700
15	2250	0.17000

Next Close

Gambar 4-7. Tampilan utama Program (Data Kapasitor)

3. Tekan tombol Next kemudian tekan tombol Hitung NR (Nowton Raphson) Untuk melihat hasil perhitungan aliran daya sebelum dilakukan penempatan kapasitor.

Bus	Abs V (pu)	Sud V (deg)	Pgen (kW)	Qgen (kVAr)	Pload (kVAr)	Qload (kVAr)
1	1.00000	0.00000	3851.661	2336.376	0.000	0.000
2	0.99767	-0.06397	0.000	0.000	36.120	21.428
3	0.99198	-0.22169	0.000	0.000	90.300	53.571
4	0.98864	-0.31533	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0.98864	-0.31540	0.000	0.000	27.520	16.326
6	0.98602	-0.38929	0.000	0.000	21.250	12.755
7	0.97807	-0.61590	0.000	0.000	0.000	0.000
8	0.97803	-0.61715	0.000	0.000	50.740	30.102
9	0.97793	-0.61990	0.000	0.000	0.000	0.000
10	0.97773	-0.62583	0.000	0.000	75.680	44.898
11	0.97766	-0.62784	0.000	0.000	74.820	44.387
12	0.97762	-0.62877	0.000	0.000	0.000	0.000
13	0.97752	-0.63170	0.000	0.000	67.940	40.306

Gambar 4-8. Nilai Tegangan tiap node sebelum penempatan Menggunakan metode aliran daya Newton Raphson

No	Dari	Ke	P (kWatt)	Q (kVAR)	Aru
1	1	2	3851.661	2336.376	190
2	2	1	-3845.294	-2326.645	-190
3	2	3	3809.174	2305.217	190
4	3	2	-3793.754	-2281.641	-190
5	3	4	3703.454	2228.070	180
6	4	3	-3694.589	-2214.521	-180
7	4	5	27.520	16.326	1
8	4	6	3667.069	2198.195	180
9	5	4	-27.520	-16.326	-1
10	6	4	-3660.163	-2187.638	-180
11	6	7	3638.913	2174.883	180
12	7	6	-3618.103	-2143.070	-180

Summary Result

Total Pembangkitan
3851.661 + j2336.376 kVA

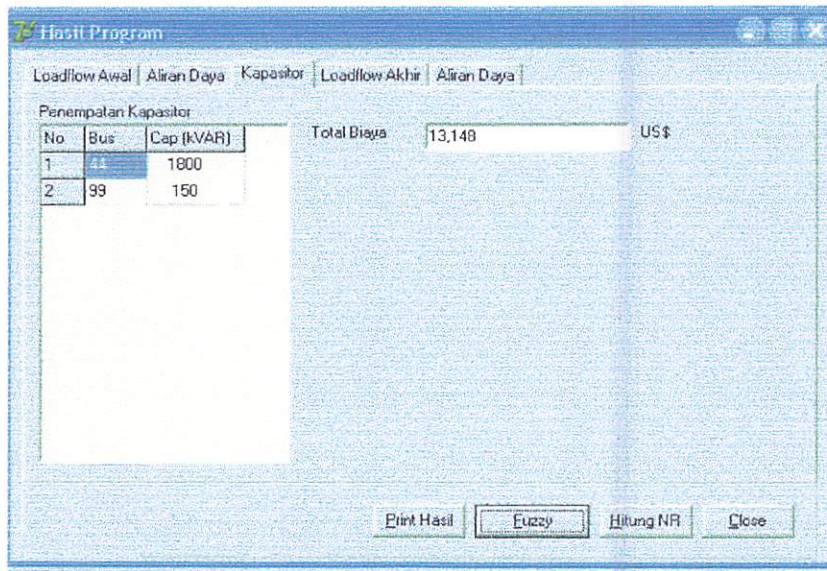
Total Pembebanan
3746.447 + j2176.416 kVA

Total Rugi-Rugi Saluran
105.214 + j159.960 kVA

Iterasi
3.0

Waktu Komputasi (jam:menit:detik:mdetik)
0.0.0.703

Gambar 4-9. Hasil aliran daya sebelum penempatan Menggunakan metode aliran daya Newton Raphson



Gambar 4-10. Hasil fuzzy logic metode OR Operation dalam menentukan lokasi dan Kapasitas kapasitor serta total biaya

4. Pilih tombol loadflow akhir dan aliran daya untuk melihat nilai tegangan dan aliran daya setelah penempatan kapasitor pada metode OR Operation

Bus	Abs V (pu)	Sud V (deg)	Pgen (kW)	Qgen (kW)	Pload (kVAR)	Qload (kVAR)
1	1.00000	0.00000	3824.260	344.589	0.000	0.000
2	0.99864	-0.09901	0.000	0.000	36.120	21.428
3	0.99534	-0.34307	0.000	0.000	90.300	53.571
4	0.99344	-0.48871	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0.99343	-0.48877	0.000	0.000	27.520	16.326
6	0.99196	-0.60373	0.000	0.000	21.250	12.755
7	0.98752	-0.95522	0.000	0.000	0.000	0.000
8	0.98748	-0.95645	0.000	0.000	50.740	30.102
9	0.98738	-0.95914	0.000	0.000	0.000	0.000
10	0.98718	-0.96496	0.000	0.000	75.690	44.898
11	0.98711	-0.96693	0.000	0.000	74.820	44.387
12	0.98708	-0.96784	0.000	0.000	0.000	0.000
13	0.98698	-0.97072	0.000	0.000	67.940	40.306

Buttons: Print Hasil, Fuzzy, Hitung NR, Close

Gambar 4-11. Hasil analisa aliran daya Newton Rahson setelah penempatan kapasitor metode OR Operation nilai tegangan tiap node

No	Dari	Ke	P (kWatt)	Q (kVAR)	Arus
1	1	2	3824.260	344.589	191
2	2	1	-3819.634	-337.519	-191
3	2	3	3783.514	316.091	189
4	3	2	-3772.323	-298.981	-189
5	3	4	3682.023	245.410	184
6	4	3	-3675.604	-235.599	-184
7	4	5	27.520	16.326	1
8	4	6	3648.084	219.273	183
9	5	4	-27.520	-16.326	-1
10	6	4	-3643.086	-211.633	-183
11	6	7	3621.836	198.878	182
12	7	6	-3606.793	-175.866	-182

Summary Result

Total Pembangkitan
3824.260 + j2294.589 kVA

Total Pembebanan
3746.447 + j2176.416 kVA

Total Rugi-Rugi Saluran
77.813 + j118.173 kVA

Iterasi
3.0

Waktu Komputasi (jam:menit:detik:mdetik)
0.0:5:828

Gambar 4-12. Hasil analisa aliran daya Newton Rahson setelah penempatan kapasitor metode OR Operation nilai daya dan rugi-rugi pada saluran

Dari analisa aliran daya Newton Raphson didapat nilai tegangan tiap node sebelum dan setelah penempatan kapasitor, seperti pada table 4-6.

Tabel 4-6
Nilai Tegangan Penyulang Pujon
Sebelum dan Setelah Kompensasi

No Node	Tegangan Sebelum Kompensasi	Tegangan setelah Kompensasi Met. OR Operation	No Node	Tegangan Sebelum Kompensasi	Tegangan setelah Kompensasi Met. OR Operation
	V pu	V pu		V pu	V pu
1	1.00000	1.00000	51	0.95641	0.97739
2	0.99767	0.99864	52	0.95640	0.97739
3	0.99198	0.99534	53	0.95598	0.97697
4	0.98864	0.99344	54	0.95498	0.97599
5	0.98864	0.99343	55	0.95433	0.97536
6	0.98602	0.99196	56	0.95405	0.97508
7	0.97807	0.98752	57	0.95393	0.97497
8	0.97803	0.98748	58	0.95390	0.97493
9	0.97793	0.98738	59	0.95398	0.97502
10	0.97773	0.98718	60	0.95397	0.97501
11	0.97766	0.98711	61	0.95384	0.97488
12	0.97762	0.98708	62	0.95380	0.97484
13	0.97752	0.98698	63	0.95756	0.97858
14	0.97762	0.98708	64	0.95747	0.97849
15	0.97369	0.98524	65	0.95736	0.97838
16	0.97367	0.98522	66	0.95733	0.97836
17	0.97367	0.98522	67	0.95737	0.97841
18	0.97255	0.98467	68	0.95735	0.97839
19	0.97253	0.98466	69	0.95721	0.97827
20	0.97251	0.98464	70	0.95605	0.97725
21	0.97156	0.98420	71	0.95530	0.97659
22	0.97154	0.98417	72	0.95527	0.97656
23	0.96756	0.98233	73	0.95525	0.97655
24	0.96750	0.98227	74	0.95498	0.97632
25	0.96747	0.98224	75	0.95478	0.97614
26	0.96710	0.98187	76	0.95428	0.97565
27	0.96710	0.98187	77	0.95425	0.97563
28	0.96704	0.98181	78	0.95416	0.97554
29	0.96669	0.98147	79	0.95408	0.97546
30	0.96517	0.98141	80	0.95398	0.97537
31	0.96479	0.98126	81	0.95387	0.97526
32	0.96479	0.98123	82	0.95378	0.97516
33	0.96470	0.98118	83	0.95455	0.97596
34	0.96455	0.98103	84	0.95455	0.97596
35	0.96454	0.98102	85	0.95449	0.97591
36	0.96455	0.98103	86	0.95447	0.97590
37	0.96455	0.98103	87	0.95436	0.97581
38	0.96455	0.98103	88	0.95406	0.97560
39	0.96239	0.98046	89	0.95369	0.97535
40	0.96239	0.98046	90	0.95367	0.97533
41	0.96234	0.98042	91	0.95366	0.97531
42	0.96234	0.98041	92	0.95361	0.97529
43	0.96229	0.98043	93	0.95323	0.97506
44	0.95835	0.97929	94	0.95319	0.97502
45	0.95773	0.97868	95	0.95295	0.97484
46	0.95748	0.97844	96	0.95294	0.97482
47	0.95697	0.97794	97	0.95272	0.97466
48	0.95663	0.97761	98	0.95218	0.97429
49	0.95643	0.97742	99	0.95216	0.97429
50	0.95640	0.97738	100	0.95196	0.97410
			101	0.95192	0.97405

4.5.2. Hasil Penempatan Kapasitor Menggunakan Metode Logika Fuzzy

Setelah ditentukan letak optimal penempatan kapasitor pada jaringan 20 kV Sistem Distribusi Radial Penyulang Pujon Gardu Induk Sengkaling menggunakan metode Logika Fuzzy, maka didapatkan beberapa hasil pada tabel 4-7.

Tabel 4-7
Hasil Optimasi penempatan kapasitor
Metode Fuzzy Logic

	Sebelum Penempatan	Setelah Penempatan Metode OR Operation
1. Penempatan dan Kapasitas kapasitor	-	Node : 44 kapasitas 1800 kVAR 99 kapasitas 150 kVAR
2. Tegangan terendah	Node : 101 0.95192 pu atau 19.038 kV	Node : 101 0.97405 pu atau 19.481 kV
3. Rugi Daya Aktif Rugi Daya Reaktif	105.214 kW 159.960 kVAR	77.813 kW pengurangan : 27.401 kW 118.173 kVAR pengurangan : 41.787 kVAR
4. Total biaya	Rp . 159.083.568 / th	Rp121.746.456 / tahun Nilai Penghematan Rp. 37.337.112/ Tahun

Hasil optimasi penempatan kapasitor metode Logika Fuzzy dapat diuraikan sebagai berikut

1. Berdasarkan hasil perhitungan dengan metode *Fuzzy Logic*

□ **Metode *OR Operation***

Penempatan optimal terletak pada node 44 dan 99, pada node 44 kapasitas yang terpasang sebesar 1800kVAR, dan node 99 kapasitas yang terpasang sebesar 150 kVAR.

Penempatan kapasitor yang optimal dapat dilihat pada gambar 4-13 *single line diagram* penempatan kapasitor.

2. Dari hasil perhitungan aliran daya pada penyulang Pujon sebelum kompensasi, tegangan terendah terjadi pada node ke-101, yang besarnya 0.95192 pu atau 19.038 kV. Setelah kompensasi profil tegangan pada semua node penyulang Dinoyo bertambah baik.

Pada metode ini untuk node ke-101 terjadi kenaikan sebesar 0.97405 pu atau 19.481 kV.

Profil tegangan tiap node sebelum dan sesudah penempatan kapasitor dapat dilihat pada grafik 4-1.

3. Dari analisa aliran daya sebelum penempatan kapasitor didapat hasil rugi daya aktif di saluran 105.214 kW dan rugi daya reaktif 159.960 kVAR. Setelah penempatan kapasitor besar rugi daya pada sistem terjadi penurunan, yaitu :

- Rugi daya aktif sebesar 77.813 kW,
terjadi pengurangan rugi-rugi sebesar: 27.401 kW

4.5.2. Hasil Penempatan Kapasitor Menggunakan Metode Logika Fuzzy

Setelah ditentukan letak optimal penempatan kapasitor pada jaringan 20 kV Sistem Distribusi Radial Penyulang Pujon Gardu Induk Sengkaling menggunakan metode Logika Fuzzy, maka didapatkan beberapa hasil pada tabel 4-7.

Tabel 4-7
Hasil Optimasi penempatan kapasitor
Metode Fuzzy Logic

	Sebelum Penempatan	Setelah Penempatan Metode OR Operation
1. Penempatan dan Kapasitas kapasitor	-	Node : 44 kapasitas 1800 kVAR 99 kapasitas 150 kVAR
2. Tegangan terendah	Node : 101 0.95192 pu atau 19.038 kV	Node : 101 0.97405 pu atau 19.481 kV
3. Rugi Daya Aktif Rugi Daya Reaktif	105.214 kW 159.960 kVAR	77.813 kW pengurangan : 27.401 kW 118.173 kVAR pengurangan : 41.787 kVAR
4. Total biaya	Rp . 159.083.568 / th	Rp121.746.456 / tahun Nilai Penghematan Rp. 37.337.112/ Tahun

Hasil optimasi penempatan kapasitor metode Logika Fuzzy dapat diuraikan sebagai berikut

1. Berdasarkan hasil perhitungan dengan metode *Fuzzy Logic*

□ **Metode *OR Operation***

Penempatan optimal terletak pada node 44 dan 99, pada node 44 kapasitas yang terpasang sebesar 1800kVAR, dan node 99 kapasitas yang terpasang sebesar 150 kVAR.

Penempatan kapasitor yang optimal dapat dilihat pada gambar 4-13 *single line diagram* penempatan kapasitor.

2. Dari hasil perhitungan aliran daya pada penyulang Pujon sebelum kompensasi, tegangan terendah terjadi pada node ke-101, yang besarnya 0.95192 pu atau 19.038 kV. Setelah kompensasi profil tegangan pada semua node penyulang Dinoyo bertambah baik.

Pada metode ini untuk node ke-101 terjadi kenaikan sebesar 0.97405 pu atau 19.481 kV.

Profil tegangan tiap node sebelum dan sesudah penempatan kapasitor dapat dilihat pada grafik 4-1.

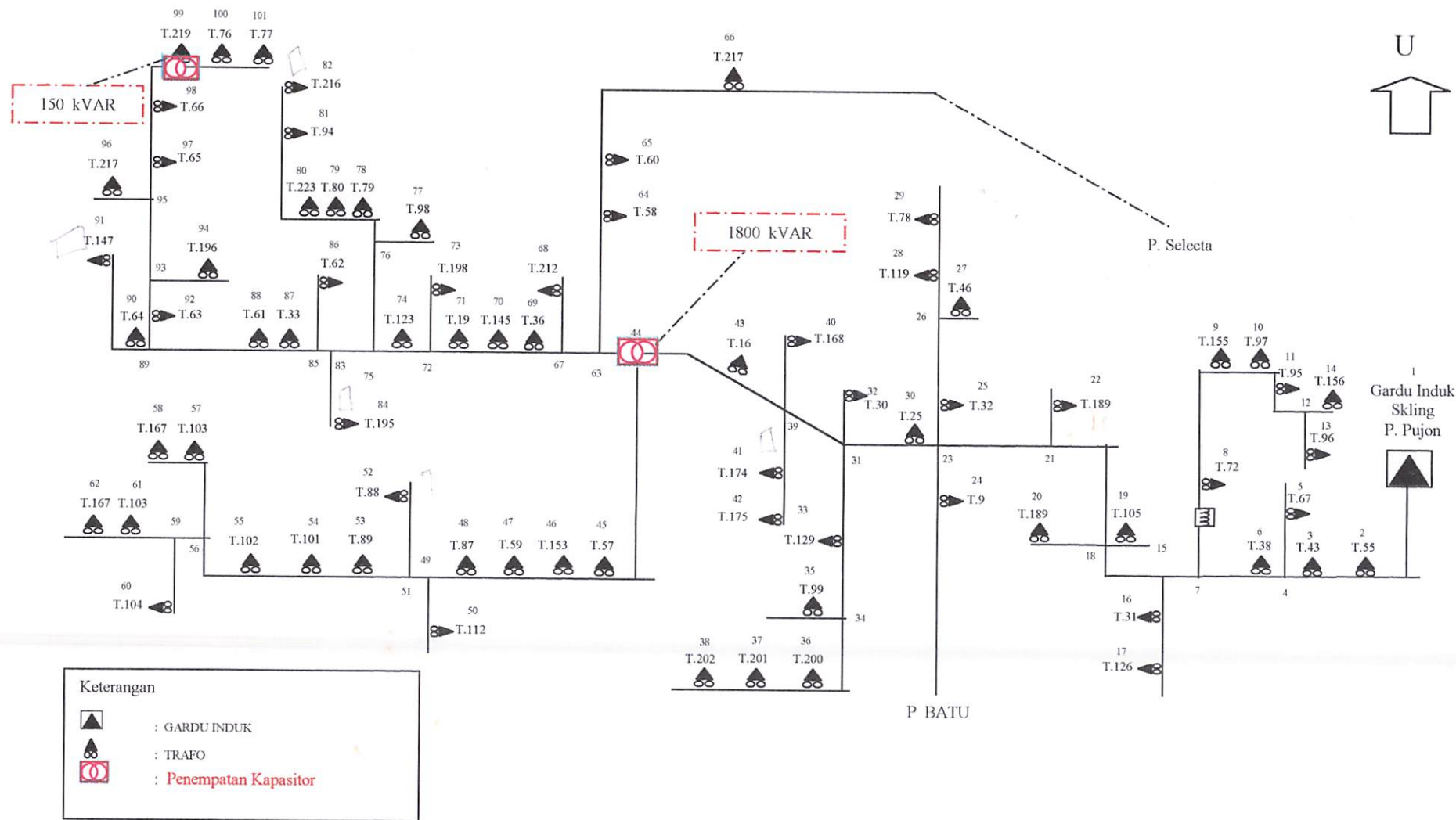
3. Dari analisa aliran daya sebelum penempatan kapasitor didapat hasil rugi daya aktif di saluran 105.214 kW dan rugi daya reaktif 159.960 kVAR. Setelah penempatan kapasitor besar rugi daya pada sistem terjadi penurunan, yaitu :

- Rugi daya aktif sebesar 77.813 kW,
jadi pengurangan rugi-rugi sebesar: 27.401 kW

- Rugi daya reaktif sebesar 118.173 Kvar,
terjadi pengurangan rugi-rugi sebesar : 41.787 kVAR

Nilai rugi-rugi daya dan sesudah penempatan dapat dilihat pada grafik.4-2.

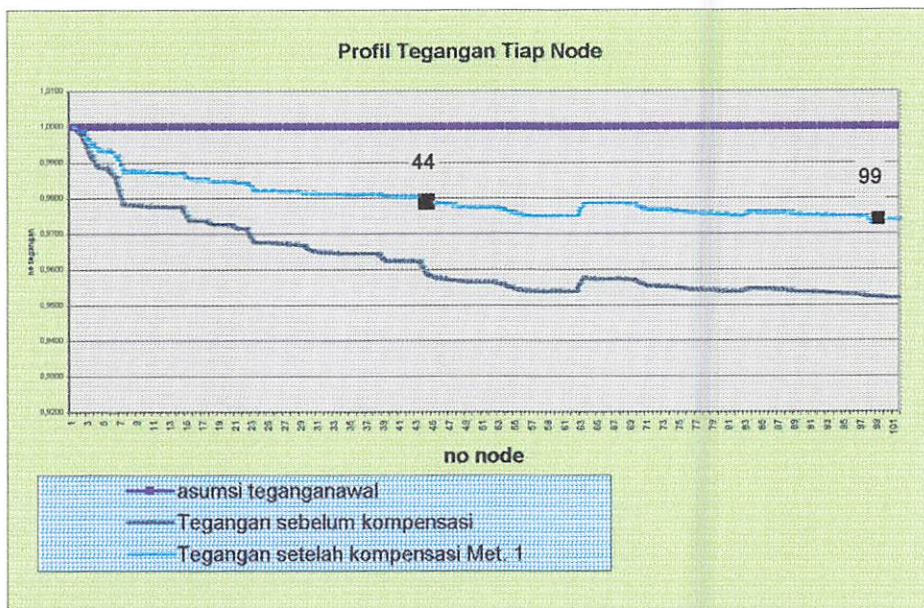
4. Nilai biaya sebelum penempatan sebesar Rp.159.083.568 / th, setelah penempatan kapasitor, nilai penghematan yang dicapai oleh PT. PLN Cabang Batu selaku distributor listrik selama setahun sebesar Rp. 37.337.112 / th dimana total biaya. Rp121.746.456 / th. Nilai penghematan sebelum dan setelah penempatan kapasitor dapat dilihat pada grafik 4-3.



Gambar 4.15
Single Line Diagram Penempatan Kapasitor
Metode Fuzzy Set OR Operation

Grafik 4-1.

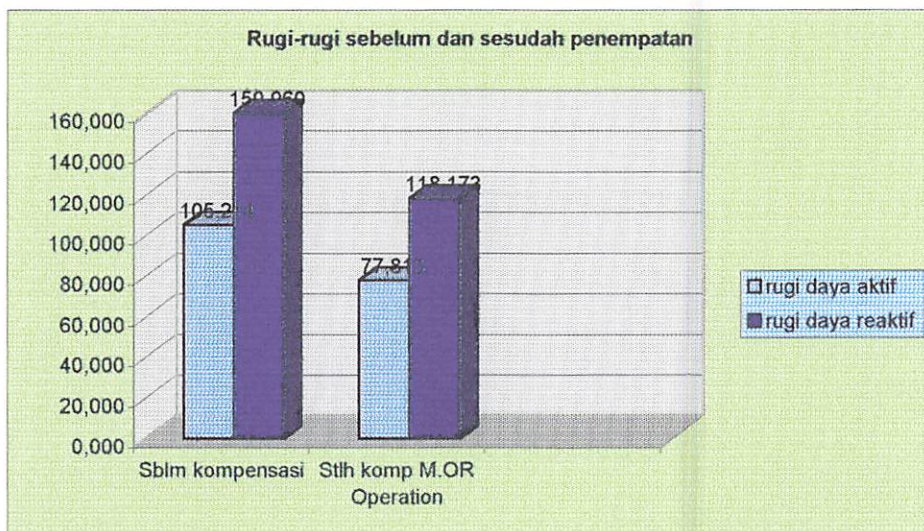
Profil tegangan sebelum dan sesudah penempatan kapasitor



■ Penempatan kapasitor pada node

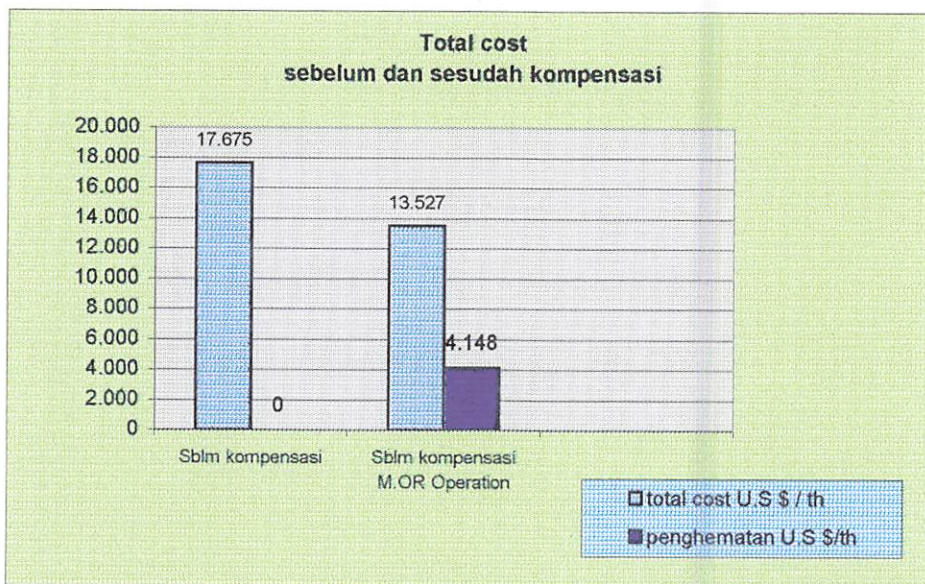
Grafik 4-2.

Rugi-rugi Daya sebelum dan sesudah penempatan kapasitor



Grafik 4-3

Nilai biaya sebelum dan setelah pemasangan kapasitor



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Setelah didapat hasil perhitungan penempatan kapasitor pada jaringan 20 kV sistem distribusi radial penyulang Pujon Gardu Induk Sengkaling menggunakan metode *Fuzzy logic*, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Metode *Fuzzy logic* berhasil diterapkan untuk penempatan kapasitor optimal pada sistem distribusi radial dengan menggunakan Metode *Fuzzy Set OR Operation*
2. Dari hasil perhitungan *load flow* sebelum penempatan kapasitor dengan metode *Newton Rapshon* diperoleh :
 - ❖ Node ke-101 merupakan node dengan nilai tegangan terendah dengan nilai tegangan adalah 0.95192 pu atau 19.038 kV
 - Nilai Rugi Daya Aktif 105.214 kW
 - Nilai Rugi Daya Reaktif 159.960 kVAR
 - Nilai total biaya operasi dan biaya pemeliharaan dalam satu tahun adalah Rp . 159.083.568 / th
3. Setelah penempatan kapasitor menggunakan metode *Fuzzy Set OR Operation* maka diperoleh :
 - ❖ Penempatan terletak pada node 44 kapasitas yang terpasang sebesar 1800 kVAR dan node 99 kapasitas yang terpasang sebesar 150 kVAR

- ❖ Tegangan pada node ke-101 terjadi kenaikan menjadi 0.97405 pu atau 19.481 kV
 - Nilai rugi daya aktif turun menjadi 77.813 kW. Jadi diperoleh nilai pengurangan rugi daya aktif sebesar: 27.401 kW.
 - Nilai rugi daya reaktif turun menjadi 118.173 kVAR. Jadi diperoleh nilai pengurangan rugi daya reaktif sebesar 41.787 kVAR.
 - Nilai total biaya operasi dan biaya pemeliharaan dalam satu tahun adalah Rp.121.746.456 /th jadi nilai penghematan yang dicapai oleh PT. PLN Cabang Batu selaku distributor listrik sebesar Rp. 37.337.112 /th

5.2. Saran

Penentuan letak dan kapasitas kapasitor pada jaringan distribusi primer tipe radial dengan menggunakan metode Logika *Fuzzy* perlu dikembangkan dan diaplikasikan dalam menganalisa saluran-saluran yang telah ada maupun untuk perencanaan perluasan jaringan.

DAFTAR PUSTAKA

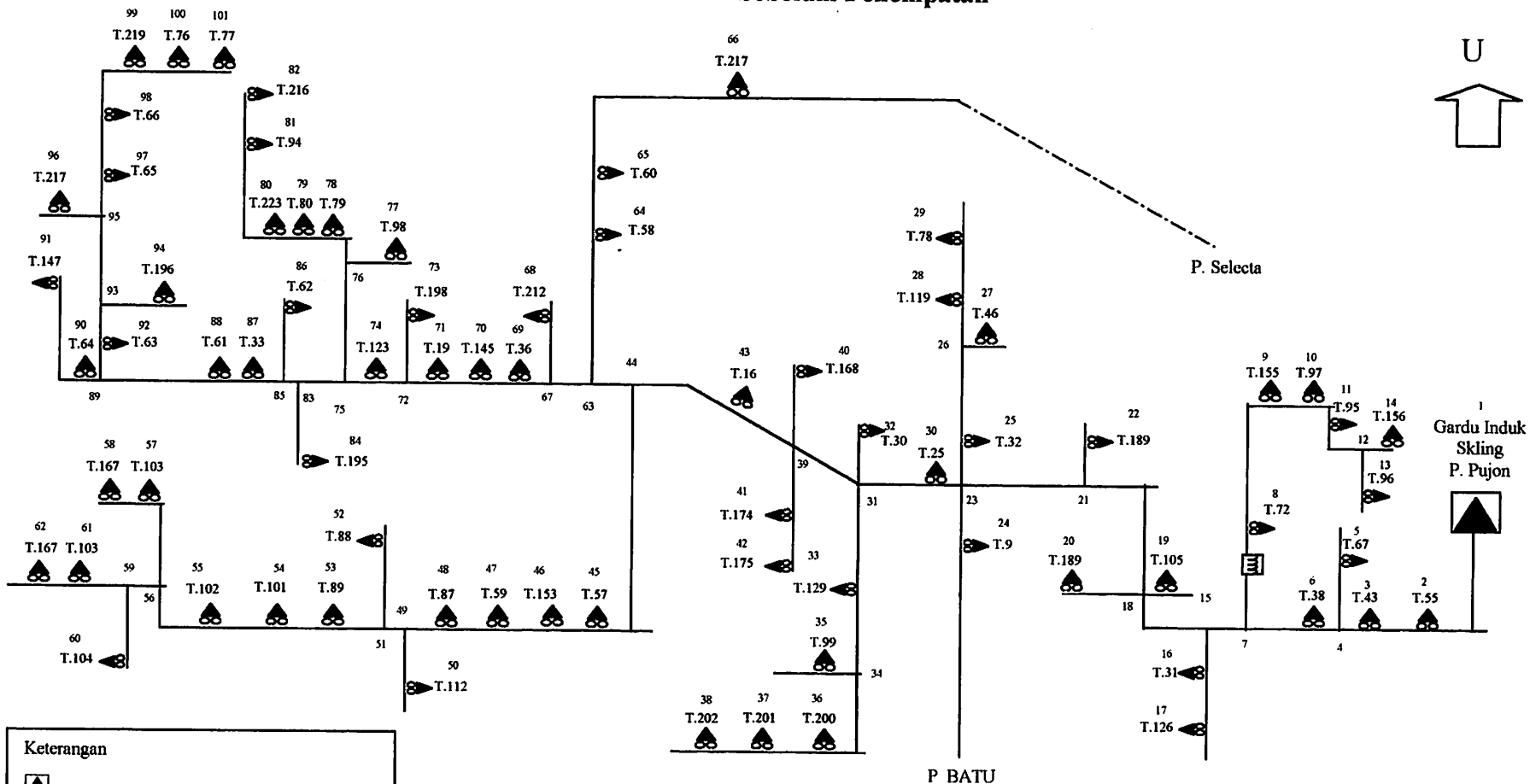
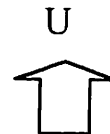
- [1]. Hasan Basri.” Sistem distribusi Tenaga Listrik”
- [2]. S.F. Mekhamer, S.a. Soliman, M.A Moustofa, and M.E. El-Hawary,” Applikasion of Fuzzy Logic or Reactive-Power Compenation of Radial Distibution Feeder,” IEEE Trans on Power System. Vol 1. no.1. pp 26-213, Februari 2003.
- [3]. Djiteng Maesudi,” Operasi Sistem Tenaga Listik”, Balai Penerbit Humas ISTN. 1990.
- [4]. H.N Ng, Studen Member M.M.A. Salama and A.Y. Chihani,” Classifiction of Capasitor Allowcation Technique”, IEEE Transactioion on Power Delivery, vol. 15, no.1, Januari 2000.
- [5] Hand Out Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Nasional Malang, “Sistem Distibusi”.
- [6] William D Stevenson, Jr. “Analisa Sistem Tenaga Listrik”. Edisi ke empat, Erlangga, Jakarta, 1993.






LAMPPIRAN

- ✦ *SINGLE LINE* DIAGRAM PENYULANG PUJON
- ✦ VALIDASI PROGRAM
- ✦ ALIRAN DAYA AKTIF DAN REAKTIF SEBELUM DAN SETELAH PENEMPATAN
- ✦ *LISTING* PROGRAM

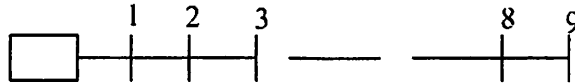
Single Line Diagram Penyalang Pujon Sebelum Penempatan



Keterangan

-  : Gardu Induk
-  : Trafo
-  : Penempatan Kapasitor

Validasi Program



Gambar 1
Jurnal Singel Line Feeder

Tabel 1
Jurnal Test Feeder
Data saluran

No	Dari	Ke	R (pu)	X (pu)
1	1	2	0.1233	0.4127
2	2	3	0.014	0.6051
3	3	4	0.7463	1.205
4	4	5	0.6984	0.6084
5	5	6	1.9831	1.7276
6	6	7	0.9053	0.7886
7	7	8	2.0552	1.164
8	8	9	4.7953	2.716
9	9	10	5.3434	3.0264

Tabel 2
Jurnal Test Feeder
Data Pembebanan

No	Pload (MW)	Qload (MVAR)
1	0	0
2	1840	460
3	980	340
4	1790	446
5	1596	1340
6	1610	600
7	780	110
8	1150	60
9	980	130
10	1640	200

Tabel 3
Data Kapasitas Kapasitor dan Harga

No	Cap (kVAR)	Harga (kVAR/%)
1	150	0.50000
2	300	0.35000
3	450	0.25300
4	600	0.22000
5	750	0.27600
6	900	0.18300
7	1050	0.22800
8	1200	0.17000
9	1350	0.20700
10	1500	0.20100
11	1650	0.19300
12	1800	0.18700
13	1950	0.21100
14	2100	0.17600
15	2250	0.19700
16	2400	0.17000
17	2550	0.18900
18	2700	0.18700
19	2850	0.18300
20	3000	0.18000
21	3150	0.19500
22	3300	0.17400
23	3450	0.18800
24	3600	0.17000
25	3750	0.18300
26	3900	0.18200
27	4050	0.17900

Tabel 4
Result For Methods Fuzzy Logic To The Bus Feeder
Including Original Data

Bus No	No Qc placed	Qc kVAR Using Metode Fuzzy Set
0		
1		
2		
3		
4		900
5		2550
6		
7		
8		
9		450
Real Loss (kW)	783.4	694.3
\$ Cost	131.610	116.926
Min V (Pu)	0.8401	0.8819
Max V (pu)	1.0000	1.0000

Gambar 2
Hasil Analisa Aliran Daya Newton Raphson
Nilai Tegangan dan Beban Tiap Node
Sebelum kompensasi

Bus	Abs V (pu)	Sud V (deg)	Pgen (kW)	Qgen (kW)	Pload (kVAR)	Qload (kVAR)
1	1.00000	0.00000	13151.760	5222.457	0.000	0.000
2	0.99290	-0.52184	0.000	0.000	1840.000	460.000
3	0.98738	-1.26782	0.000	0.000	980.000	340.000
4	0.95341	-2.33055	0.000	0.000	1790.000	446.000
5	0.94802	-2.65192	0.000	0.000	1598.000	1840.000
6	0.91717	-3.72121	0.000	0.000	1610.000	600.000
7	0.90717	-4.13669	0.000	0.000	780.000	110.000
8	0.88896	-4.61842	0.000	0.000	1150.000	60.000
9	0.85870	-5.40358	0.000	0.000	980.000	130.000
10	0.83750	-5.98014	0.000	0.000	1640.000	200.000

Print Hasil Fuzzy Hitung NR Close

Gambar 3
Hasil Analisa Aliran Daya Newton Raphson
Daya Tiap Saluran dan Total Rugi Daya
Sebelum kompensasi

No	Dari	Ke	P (kWatt)	Q (kVAR)	Arus
1	1	2	13151.760	5222.457	571
2	2	1	-13105.087	-5066.237	-571
3	2	3	11265.087	4606.237	491
4	3	2	-11261.111	-4434.378	-491
5	3	4	10281.111	4094.378	446
6	4	3	-10103.894	-3808.240	-446
7	4	5	8313.894	3362.240	366
8	5	4	-8199.496	-3262.583	-366
9	5	6	6601.496	1422.583	296
10	6	5	-6411.276	-1256.871	-296
11	6	7	4801.276	658.872	226
12	7	6	-4753.501	-615.256	-226

Summary Result

Total Pembangkitan
13151.760 + 5222.457 kVA

Total Pembebanan
12368.000 + 4186.000 kVA

Total Rugi-Rugi Saluran
783.760 + 11036.457 kVA

Iterasi
3.0

Waktu Komputasi (jam:menit:detik:mdetik)
0:0:0:0

Print Hasil Fuzzy Hitung NR Close

Gambar 4
Hasil Penempatan Kapasitor , Kapasitas Kapasitor
dan Total Biaya Menggunakan Metode Fuzzy Set

Loadflow Awal | Aliran Daya | Kapasitor | Loadflow Akhir | Aliran Daya |

Penempatan Kapasitor

No	Bus	Cap (kVAR)	Total Biaya	US\$
1	5	900	116.926	
2	6	2550		
3	10	450		

Print Hasil | Fuzzy | Hitung NR | Close

Gambar 5
Nilai Tegangan Setelah Penempatan Metode Fuzzy Set

Loadflow Awal | Aliran Daya | Kapasitor | Loadflow Akhir | Aliran Daya |

Bus	Abs V (pu)	Sud V (deg)	Pgen (kW)	Qgen (kW)	Pload (kVAR)	Qload (kVAR)
1	1.00000	0.00000	13062.328	1186.079	0.000	0.000
2	0.99608	-0.57028	0.000	0.000	1840.000	460.000
3	0.99519	-1.30871	0.000	0.000	980.000	340.000
4	0.98076	-2.66372	0.000	0.000	1790.000	446.000
5	0.97037	-3.28164	0.000	900.000	1598.000	1840.000
6	0.95080	-4.98652	0.000	2550.000	1610.000	600.000
7	0.94193	-5.42110	0.000	0.000	780.000	110.000
8	0.92556	-5.98161	0.000	0.000	1150.000	60.000
9	0.89922	-6.98257	0.000	0.000	980.000	130.000
10	0.88196	-7.84287	0.000	450.000	1640.000	200.000

Print Hasil | Fuzzy | Hitung NR | Close

Gambar 6
Nilai Daya Setelah Penempatan Metode Fuzzy Set

Loadflow Awal		Aliran Daya	Kapasitor	Loadflow Akhir	Aliran Daya
No	Q (KVAR)	Arus re (A)	Arus im (A)		
8	669.948	-367.003	-8.575		
9	-1599.948	297.932	54.722		
10	1758.469	-297.932	-54.722		
11	191.531	216.838	-27.711		
12	-153.847	-216.838	27.711		
13	43.847	181.475	-19.255		
14	-5.081	-181.475	19.255		
15	-54.918	128.041	-10.822		
16	99.764	-128.041	10.822		
17	-229.762	81.773	1.177		
18	250.003	-81.773	-1.177		

Summary Result	
Total Pembangkitan	13062.328 + j6086.079 kVA
Total Pembobanan	12368.000 + j4186.000 kVA
Total Rugi-Rugi Saluran	694.328 + j900.079 kVA
Iterasi	3.0
Waktu Komputasi (jam:menit:detik:mdetik)	0:0:0

Aliran Daya			Sebelum Penempatan		Setelah penempatan	
No	Dari	Ke	P (kWatt)	Q (KVAR)	P (kWatt)	Q (KVAR)
1	1	2	3851.661	2336.376	3824.260	344.589
2	2	1	-3845.294	-2326.645	-3819.634	-337.519
3	2	3	3809.174	2305.217	3783.514	316.091
4	3	2	-3793.754	-2281.641	-3772.323	-298.981
5	3	4	3703.454	2228.070	3682.023	245.410
6	4	3	-3694.589	-2214.521	-3675.604	-235.599
7	4	5	27.520	16.326	27.520	16.326
8	4	6	3667.069	2198.195	3648.084	219.273
9	5	4	-27.520	-16.326	-27.520	-16.326
10	6	4	-3660.163	-2187.638	-3643.086	-211.633
11	6	7	3638.913	2174.883	3621.836	198.878
12	7	6	-3618.103	-2143.070	-3606.783	-175.866
13	7	8	269.250	159.800	269.249	159.798
14	7	15	3348.853	1983.269	3337.535	16.068
15	8	7	-269.242	-159.787	-269.240	-159.785
16	8	9	218.502	129.685	218.500	129.683
17	9	8	-218.487	-129.662	-218.486	-129.661
18	9	10	218.487	129.662	218.486	129.661
19	10	9	-218.454	-129.612	-218.454	-129.612
20	10	11	142.774	84.714	142.774	84.714
21	11	10	-142.767	-84.703	-142.766	-84.703
22	11	12	67.947	40.316	67.946	40.316
23	12	11	-67.945	-40.314	-67.945	-40.314
24	12	13	67.945	40.314	67.945	40.314
25	12	14	0.000	-0.000	0.000	-0.000
26	13	12	-67.940	-40.306	-67.940	-40.306
27	14	12	-0.000	0.000	-0.000	0.000
28	15	7	-3338.200	-1966.983	-3329.850	-4.320
29	15	16	141.902	84.185	141.902	84.185
30	15	18	3196.299	1882.797	3187.948	-79.866
31	16	15	-141.900	-84.183	-141.900	-84.183
32	16	17	110.940	65.816	110.940	65.816
33	17	16	-110.940	-65.816	-110.940	-65.816
34	18	15	-3193.646	-1878.744	-3186.034	82.791
35	18	19	52.460	31.123	52.460	31.123
36	18	20	65.362	38.777	65.362	38.777
37	18	21	3075.824	1808.844	3068.212	-152.691
38	19	18	-52.460	-31.122	-52.460	-31.122
39	20	18	-65.360	-38.775	-65.360	-38.775
40	21	18	-3073.609	-1805.459	-3066.611	155.139
41	21	22	60.201	35.715	60.201	35.715
42	21	23	3013.409	1769.744	3006.410	-190.854
43	22	21	-60.200	-35.714	-60.200	-35.714
44	23	21	-3004.614	-1756.301	-3000.041	200.589
45	23	24	136.746	81.131	136.746	81.131
46	23	25	265.895	157.720	265.890	157.718
47	23	30	2601.973	1517.450	2597.405	-439.437
48	24	23	-136.740	-81.122	-136.740	-81.122
49	25	23	-265.870	-157.705	-265.866	-157.704
50	25	26	197.930	117.399	197.926	117.399
51	26	25	-197.848	-117.366	-197.846	-117.365
52	26	27	92.020	54.591	92.020	54.591

53	26	28	105.828	62.775	105.826	62.774
54	27	26	-92.020	-54.591	-92.020	-54.591
55	28	26	-105.820	-62.771	-105.819	-62.771
56	28	29	102.380	60.730	102.379	60.730
57	29	28	-102.340	-60.714	-102.340	-60.714
58	30	23	-2597.425	-1510.499	-2594.030	444.595
59	30	31	2578.505	1499.275	2575.110	-455.819
60	31	30	-2577.777	-1498.160	-2574.569	456.648
61	31	32	31.821	18.878	31.821	18.878
62	31	33	142.967	84.842	142.966	84.842
63	31	39	2402.989	1394.439	2399.782	-560.368
64	32	31	-31.820	-18.877	-31.820	-18.877
65	33	31	-142.954	-84.835	-142.954	-84.835
66	33	34	59.534	35.346	59.534	35.346
67	34	33	-59.525	-35.340	-59.525	-35.340
68	34	35	55.041	32.653	55.041	32.653
69	34	36	4.484	2.687	4.484	2.687
70	35	34	-55.040	-32.653	-55.040	-32.653
71	36	34	-4.484	-2.687	-4.484	-2.687
72	36	37	2.764	1.667	2.764	1.667
73	37	36	-2.764	-1.667	-2.764	-1.667
74	37	38	1.100	0.680	1.100	0.680
75	38	37	-1.100	-0.680	-1.100	-0.680
76	39	31	-2398.762	-1387.975	-2396.567	565.284
77	39	40	4.300	2.551	4.300	2.551
78	39	41	83.423	49.494	83.423	49.493
79	39	43	2311.039	1335.931	2308.844	-617.329
80	40	39	-4.300	-2.551	-4.300	-2.551
81	41	39	-83.420	-49.489	-83.420	-49.489
82	41	42	18.060	10.714	18.060	10.714
83	42	41	-18.060	-10.714	-18.060	-10.714
84	43	39	-2310.869	-1335.673	-2308.713	617.528
85	43	44	2255.829	1303.020	2253.673	-650.181
86	44	43	-2249.279	-1293.007	-2248.558	658.000
87	44	45	736.939	438.350	736.869	438.260
88	44	63	1512.341	854.657	1511.689	703.739
89	45	44	-736.599	-437.831	-736.544	-437.763
90	45	46	680.699	404.668	680.644	404.600
91	46	45	-680.575	-404.478	-680.525	-404.418
92	46	47	603.175	358.560	603.125	358.500
93	47	46	-602.945	-358.208	-602.904	-358.163
94	47	48	547.905	325.555	547.864	325.510
95	48	47	-547.768	-325.346	-547.733	-325.310
96	48	49	493.588	293.193	493.553	293.157
97	49	48	-493.516	-293.084	-493.485	-293.053
98	49	50	42.141	25.002	42.141	25.002
99	49	51	451.375	268.083	451.344	268.051
100	50	49	-42.140	-25.000	-42.140	-25.000
101	51	49	-451.367	-268.069	-451.336	-268.038
102	51	52	30.100	17.857	30.100	17.857
103	51	53	421.267	250.212	421.236	250.181
104	52	51	-30.100	-17.857	-30.100	-17.857
105	53	51	-421.133	-250.008	-421.108	-249.986

106	53	54	331.693	196.947	331.668	196.925
107	54	53	-331.371	-196.698	-331.360	-196.686
108	54	55	306.431	181.902	306.420	181.890
109	55	54	-306.240	-181.753	-306.237	-181.748
110	55	56	235.720	139.917	235.717	139.912
111	56	55	-235.670	-139.841	-235.669	-139.839
112	56	57	78.268	46.440	78.267	46.439
113	56	59	157.402	93.401	157.401	93.400
114	57	56	-78.261	-46.429	-78.261	-46.429
115	57	58	33.541	19.899	33.541	19.899
116	58	57	-33.540	-19.898	-33.540	-19.898
117	59	56	-157.394	-93.389	-157.394	-93.388
118	59	60	35.260	20.918	35.260	20.918
119	59	61	122.134	72.471	122.134	72.470
120	60	59	-35.260	-20.918	-35.260	-20.918
121	61	59	-122.121	-72.451	-122.121	-72.451
122	61	62	33.541	19.900	33.541	19.900
123	62	61	-33.540	-19.898	-33.540	-19.898
124	63	44	-1511.459	-853.307	-1510.910	-702.549
125	63	64	147.080	87.274	147.079	87.273
126	63	67	1364.378	766.033	1363.831	615.276
127	64	63	-147.070	-87.259	-147.069	-87.258
128	64	65	115.250	68.382	115.249	68.381
129	65	64	-115.240	-68.367	-115.240	-68.367
130	65	66	12.040	7.143	12.040	7.143
131	66	65	-12.040	-7.143	-12.040	-7.143
132	67	63	-1364.183	-765.735	-1363.660	-615.015
133	67	68	22.231	13.189	22.231	13.189
134	67	69	1341.952	752.545	1341.429	601.825
135	68	67	-22.231	-13.189	-22.231	-13.189
136	69	67	-1341.798	-752.310	-1341.295	-601.620
137	69	70	1241.178	692.617	1240.675	541.927
138	70	69	-1240.116	-690.993	-1239.752	-540.516
139	70	71	1197.116	665.483	1196.752	515.006
140	71	70	-1196.447	-664.460	-1196.173	-514.120
141	71	72	1119.907	619.052	1119.633	468.712
142	72	71	-1119.880	-619.012	-1119.610	-468.677
143	72	73	49.880	29.593	49.880	29.593
144	72	74	1070.000	589.419	1069.729	439.085
145	73	72	-49.880	-29.592	-49.880	-29.592
146	74	72	-1069.771	-589.069	-1069.533	-438.785
147	74	75	981.191	536.510	980.953	386.234
148	75	74	-981.044	-536.294	-980.829	-386.043
149	75	76	337.630	154.103	337.622	154.090
150	75	83	643.414	382.191	643.207	231.952
151	76	75	-337.504	-153.911	-337.502	-153.907
152	76	77	65.361	38.777	65.361	38.777
153	76	78	272.143	115.134	272.141	115.130
154	77	76	-65.360	-38.775	-65.360	-38.775
155	78	76	-272.118	-115.096	-272.117	-115.094
156	78	79	158.598	94.178	158.597	94.176
157	79	78	-158.589	-94.164	-158.588	-94.163
158	79	80	123.329	73.180	123.328	73.185
159	80	79	-123.321	-73.173	-123.320	-73.172
160	80	81	109.458	64.949	109.457	64.948
161	81	80	-109.449	-64.935	-109.448	-64.935

162	81	82	63.009	37.384	63.008	37.384
163	82	81	-63.004	-37.377	-63.004	-37.377
164	83	75	-643.308	-382.028	-643.121	-231.922
165	83	84	10.320	6.122	10.320	6.122
166	83	85	632.988	375.906	632.801	225.700
167	84	83	-10.320	-6.122	-10.320	-6.122
168	85	83	-632.956	-375.857	-632.776	-225.661
169	85	86	47.300	28.062	47.300	28.062
170	85	87	585.655	347.796	585.476	197.600
171	86	85	-47.300	-28.061	-47.300	-28.061
172	87	85	-585.599	-347.709	-585.431	-197.532
173	87	88	457.459	271.689	457.291	121.512
174	88	87	-457.360	-271.538	-457.216	-121.397
175	88	89	400.600	237.865	400.456	87.724
176	89	88	-400.489	-237.696	-400.374	-87.599
177	89	90	39.561	23.470	39.561	23.470
178	89	92	360.929	214.226	360.814	64.129
179	90	89	-39.560	-23.469	-39.560	-23.469
180	90	91	12.040	7.143	12.040	7.143
181	91	90	-12.040	-7.143	-12.040	-7.143
182	92	89	-360.907	-214.193	-360.798	-64.105
183	92	93	333.387	197.867	333.278	47.779
184	93	92	-333.292	-197.722	-333.209	-47.674
185	93	94	12.901	7.653	12.901	7.653
186	93	95	320.392	190.068	320.309	40.021
187	94	93	-12.900	-7.653	-12.900	-7.653
188	95	93	-320.297	-190.014	-320.241	-39.982
189	95	96	13.760	8.163	13.760	8.163
190	95	97	306.537	181.851	306.481	31.819
191	96	95	-13.760	-8.163	-13.760	-8.163
192	97	95	-306.461	-181.808	-306.427	-31.788
193	97	98	204.981	121.604	204.947	-28.416
194	98	97	-204.864	-121.537	-204.863	28.464
195	98	99	153.264	90.925	153.263	-59.076
196	99	98	-153.262	-90.923	-153.261	59.078
197	99	100	111.827	66.342	111.826	66.341
198	100	99	-111.804	-66.328	-111.804	-66.328
199	100	101	73.104	43.369	73.104	43.369
200	101	100	-73.100	-43.367	-73.100	-43.367

Listing Program

```
unit Fuzzy;

interface

uses Komplex, TypeData, NRrectangular, Sensitivitas;

type
TFuzzy=class
private
  typfuzzy:byte;
  Nbus,Ncap:integer;
  ww,wp,Vmin,Vmax,Cp,Pbase,Kp:double;
  V,Sg,SL:CArr1;
  Z:CArr2;
  Lc,Tr:Arr2;
  Cap:Arr1;
  Typ:iArr1;
  capa:TCapasitor;
  mA:Arr2;
  function GetSg:CArr1;
  procedure SetTypFuzzy(dTypFuzzy:byte);
  procedure SetWv(dWv:double);
  procedure SetWp(dWp:double);
  procedure SetVmin(dVmin:double);
  procedure SetVmax(dVmax:double);
  procedure SetPbase(dPbase:double);
  procedure SetCp(dCp:double);
  procedure SetKp(dKp:double);
  procedure SetNbus(dNbus:integer);
  procedure SetNcap(dNcap:integer);
  procedure SetV(dV:CArr1);
  procedure SetSg(dSg:CArr1);
  procedure SetSL(dSL:Carr1);
  procedure SetCap(dCap:Arr1);
  procedure SetTyp(dTyp:iArr1);
  procedure SetZ(dZ:CArr2);
  procedure SetLc(dLc:Arr2);
  procedure SetTr(dTr:Arr2);
  procedure SetCapa(dCapa:TCapasitor);
  procedure BentukMatrikA;
  procedure hitungUV(const Vo:CArr1;
    var uv:Arr1);
  procedure hitungUP(const TlossP,TlossQ:double;
    const dAlirS:CArr2;
    var up:Arr1);
  procedure hitungUS(const Vo:CArr1;const dAlirS:CArr2;
    var us:Arr1);
  procedure FindCanNode(const us:Arr1;
    var node:integer);
  function CekVioTeg(const Vc:CArr1):boolean;
  procedure HitungKQ(const Sga:CArr1;
```

```

        var costKQ:double);
    procedure FindSizeCap(const node:integer;
        var sizeCap:double);
public

end;

implementation

//constructor
constructor TFuzzy.Create;
begin
    inherited Create;
    Vmax:=1.005;
    Vmin:=0.90;
    Pbase:=100;
end;

procedure TFuzzy.SetNbus(dNbus:integer);
begin
    Nbus:=dNbus;
end;

procedure TFuzzy.SetNcap(dNcap:integer);
begin
    Ncap:=dNcap;
end;

procedure TFuzzy.SetV(dV:CArray);
var i:integer;
begin
    SetLength(V,Nbus+1);
    for i:=1 to Nbus do
        begin
            V[i]:=TKomplex.Create;
            V[i].Assign(dV[i]);
        end;
    end;

procedure TFuzzy.SetSg(dSg:CArray);
var i:integer;
begin
    SetLength(Sg,Nbus+1);
    for i:=1 to Nbus do
        begin
            Sg[i]:=TKomplex.Create;
            Sg[i].Assign(dSg[i]);
        end;
    end;

procedure TFuzzy.SetSL(dSL:CArray);
var i:integer;
begin
    SetLength(SL,Nbus+1);

```



```
for i:=1 to Nbus do
begin
  SL[i]:=TKomplex.Create;
  SL[i].Assign(dSL[i]);
end;
end;
```

```
procedure TFuzzy.SetCap(dCap:Arr1);
var i:integer;
begin
  SetLength(Cap,Nbus+1);
  for i:=1 to Nbus do
  begin
    Cap[i]:=dCap[i];
  end;
end;
```

```
procedure TFuzzy.SetTyp(dTyp:iArr1);
var i:integer;
begin
  SetLength(Typ,Nbus+1);
  for i:=1 to Nbus do
  begin
    Typ[i]:=dTyp[i];
  end;
end;
```

```
procedure TFuzzy.SetZ(dZ:CArr2);
var i,j:integer;
begin
  SetLength(Z,Nbus+1,Nbus+1);
  for i:=1 to Nbus do
  begin
    for j:=1 to Nbus do
    begin
      Z[i,j]:=TKomplex.Create;
      Z[i,j].Assign(dZ[i,j]);
    end;
  end;
end;
```

```
procedure TFuzzy.SetLc(dLc:Arr2);
var i,j:integer;
begin
  SetLength(Lc,Nbus+1,Nbus+1);
  for i:=1 to Nbus do
  begin
    for j:=1 to Nbus do
    begin
      Lc[i,j]:=dLc[i,j];
    end;
  end;
end;
```

```
procedure TFuzzy.SetTr(dTr:Arr2);
```

```

var i,j:integer;
begin
  SetLength(Tr,Nbus+1,Nbus+1);
  for i:=1 to Nbus do
    begin
      for j:=1 to Nbus do
        begin
          Tr[i,j]:=dTr[i,j];
        end;
      end;
    end;
end;

```

```

procedure TFuzzy.SetCapa(dCapa:TCapasitor);
var i:integer;
begin
  SetLength(Capa.Cap,Ncap+1);
  SetLength(Capa.harga,Ncap+1);
  for i:=1 to Ncap do
    begin
      Capa.Cap[i]:=dCapa.Cap[i];
      Capa.harga[i]:=dCapa.Harga[i];
    end;
  end;
end;

```

```

//data processing
procedure TFuzzy.BentukMatrikA;
var i,j,k:integer;
begin
  SetLength(mA,Nbus,Nbus);
  for i:=1 to Nbus do
    begin
      for j:=1 to Nbus do
        begin
          if Z[i,j].xIm > 0 then
            begin
              mA[j-1,j-1]:=1;
              if j>2 then
                begin
                  for k:=1 to j-1 do
                    begin
                      mA[k-1,j-1]:=mA[k-1,i-1];
                    end;
                end;
            end;
          end;
        end;
      end;
    end;
  end;
end;

```

```

procedure TFuzzy.hitungUV(const Vo:CArr1;
  var uv:Arr1);
var i:integer;
    dVmin,dVmax:double;
begin
  SetLength(uv,Nbus+1);
  dVmin:=Vo[1].xRe;

```

```

dVmax:=Vo[1].xRe;
for i:=2 to Nbus do
begin
if dVmin>Vo[i].xRe then dVmin:=Vo[i].xRe;
if dVmax<Vo[i].xRe then dVmax:=Vo[i].xRe;
end;
for i:=1 to Nbus do
begin
if (TypFuzzy=1) or (TypFuzzy=3) then
begin
uv[i]:=exp(-wv*sqr((Vo[i].xRe-1)/(dVmax-dVmin)));
end
else if TypFuzzy=2 then
begin
uv[i]:=1/(1+sqr((Vo[i].xRe-1)/(dVmax-dVmin)));
end;
end;
end;
end;

```

```

procedure TFuzzy.hitungUP(const TlossP,TlossQ:double;
const dAlirS:CArr2;
var up:Arr1);
var i,j:integer;
sLoss:double;
begin
SetLength(up,Nbus+1);
for i:=1 to Nbus do
begin
sLoss:=0;
for j:=1 to Nbus do
begin
if Z[i,j].xIm<>0 then
begin
sLoss:=sLoss+(dAlirS[i,j].xRe+dAlirS[j,i].xRe);
end;
end;
if TypFuzzy=1 then
begin
up[i]:=exp(-wp*sLoss/TlossP);
end
else if TypFuzzy=2 then
begin
up[i]:=1-sLoss/Cp;
end
else if TypFuzzy=3 then
begin
up[i]:=exp(-wp*sLoss/TlossQ);
end;
end;
end;
end;
end;

```

```

procedure TFuzzy.hitungUS(const Vo:CArr1;const dAlirS:CArr2;
var us:Arr1);
var i,j:integer;
TlossP,TlossQ:double;

```

```

    uv,up:Arr1;
begin
  SetLength(us,Nbus+1);
  TlossP:=0;
  TlossQ:=0;
  for i:=1 to Nbus do
  begin
    for j:=1 to Nbus do
    begin
      if Z[i,j].xIm<0 then
      begin
        TlossP:=TlossP+(dAlirS[i,j].xRe+dAlirS[j,i].xRe);
        TlossQ:=TlossQ+(dAlirS[i,j].xIm+dAlirS[j,i].xIm);
      end;
    end;
  end;
  hitungUV(Vo,uv);
  hitungUP(TlossP,TlossQ,dAlirS,up);
  for i:=1 to Nbus do
  begin
    if TypFuzzy<3 then
    begin
      if uv[i]<up[i] then
      begin
        us[i]:=uv[i];
      end
      else
      begin
        us[i]:=up[i];
      end;
    end
    else if TypFuzzy=3 then
    begin
      us[i]:=uv[i]*up[i];
    end;
  end;
end;

```

```

procedure TFuzzy.FindCanNode(const us:Arr1;
  var node:integer);
var i:integer;
    usmax:double;
begin
  node:=1;
  usmax:=us[1];
  for i:=2 to Nbus do
  begin
    if usmax>us[i] then
    begin
      node:=i;
      usmax:=us[i];
    end;
  end;
end;
end;

```

```

function TFuzzy.CekVioTeg(const Vc:CArr1):boolean;
var i:integer;
begin
  result:=false;
  for i:=1 to Nbus do
    begin
      if Vc[i].GetAbs>Vmax then result:=true;
      if Vc[i].GetAbs<Vmin then result:=true;
    end;
  end;
end;

```

```

procedure TFuzzy.HitungKQ(const Sga:CArr1;
  var costKQ:double);
var i,j:integer;
  capi:double;
begin
  costKQ:=0;
  for i:=1 to Nbus do
    begin
      if Sga[i].xIm<>0 then
        begin
          for j:=1 to Ncap do
            begin
              capi:=Sga[i].xIm*Pbase;
              if capi=capa.Cap[j] then
                begin
                  costKQ:=costKQ+capi*capa.Harga[j];
                  break;
                end;
            end;
          end;
        end;
    end;
  end;
end;

```

```

procedure TFuzzy.FindSizeCap(const node:integer;
  var sizeCap:double);
var i:integer;
  minCost,cekCost,Ploss,costKQ:double;
  loadflow:TNRrec;
  Vc,Sga:CArr1;
  vioteg:boolean;
  Sloss:TKomplex;
begin
  SetLength(Sga,Nbus+1);
  for i:=1 to Nbus do
    begin
      Sga[i]:=TKomplex.Create;
      Sga[i].Assign(Sg[i]);
    end;
  loadflow:=TNRrec.Create;
  loadflow.LFNbus:=Nbus;
  loadflow.LFV:=V;
  loadflow.LFSL:=SL;
  loadflow.LFCap:=Cap;
  loadflow.LFTyp:=Typ;

```

1870
 1880
 1890
 1900
 1910
 1920
 1930
 1940
 1950
 1960
 1970
 1980
 1990
 2000
 2010
 2020
 2030
 2040
 2050
 2060
 2070
 2080
 2090
 2100
 2110
 2120
 2130
 2140
 2150
 2160
 2170
 2180
 2190
 2200
 2210
 2220
 2230
 2240
 2250
 2260
 2270
 2280
 2290
 2300
 2310
 2320
 2330
 2340
 2350
 2360
 2370
 2380
 2390
 2400

```

loadflow.LFZ:=Z;
loadflow.LFLc:=Lc;
loadflow.LFTr:=Tr;
minCost:=0;
costKQ:=0;
Sga[node].Assign(0,capa.Cap[1]/Pbase);
sizeCap:=capa.Cap[1];
HitungKQ(Sga,costKQ);
loadflow.LFSg:=Sga;
loadflow.doHitung;
Sloss:=loadflow.LFSumLoss;
Ploss:=Sloss.xRe;
Vc:=Loadflow.LFV;
vioteg:=CekVioTeg(Vc);
if vioteg=false then
begin
  minCost:=Kp*Ploss*Pbase+costKQ;
end;
for i:=2 to Ncap do
begin
  Sga[node].Assign(0,capa.Cap[i]/Pbase);
  HitungKQ(Sga,costKQ);
  loadflow.LFV:=V;
  loadflow.LFSg:=Sga;
  loadflow.doHitung;
  Sloss:=loadflow.LFSumLoss;
  Ploss:=Sloss.xRe;
  Vc:=Loadflow.LFV;
  vioteg:=CekVioTeg(Vc);
  if vioteg=false then
  begin
    cekCost:=Kp*Ploss*Pbase+costKQ;
  end
  else
  begin
    cekCost:=0;
  end;
  if (minCost>cekCost) and (cekCost<>0) then
  begin
    minCost:=cekCost;
    sizeCap:=capa.Cap[i];
  end
  else
  begin
    break;
  end;
end;
loadflow.Free;
Sloss.Free;
for i:=1 to Nbus do
begin
  Sga[i].Free;
end;
end;

```



FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : Muhamad Mahrus
Nim : 98. 12. 020
Masa Bimbingan : 19 Juni 2004 s/d 19 Desember 2004
Judul Skripsi : Optimasi Penempatan Kapasitor Pada Jaringan Distribusi Untuk Meningkatkan Kualitas Daya

No.	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1.	9/09 '04	Buat Power Point	df
2.	19/09 '04	Tujuan di susun pada kegiatan Pening? & Gbr & Uraian di susun	df
3.	1/10 '04	Kapasitor & (kualitas daya) mencegah &	df
4.	19/10 '04	Peranan Penempatan kapasitor pada GSD	df
5.	7/01 '05	Adalah kesimpulan. Pilih kapasitor apakah di susun & i program lebar program	df
6.	19/01 '05	Apakah benar data Tabel 1. dan 2 - Seharusnya di susun & di susun - total biaya sebelum dan sesudah?	df
7.	11/01 '05	- Uraian: Rasio S sebelum & sesudah	df
8.	27/01 '05	lebar kesimpulan	df
9.	27/01 '05	kesimpulan kondisi awal & sesudah pemas. pemas. untuk di	df
10.	1/02 '05	kesimpulan & perbaikan Ade X	df

Malang, _____, 2004
Dosen Pembimbing,

Ir. I Made Wartana, MT

Form.S-4b



FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : Muhamad Mahrus
Nim : 98. 12. 020
Masa Bimbingan : 19 Desember 2004 s/d 19 Juni 2005
Judul Skripsi : Optimasi Penempatan Kapasitor Pada Jaringan Distribusi Untuk Meningkatkan Kualitas Daya

No.	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1.	14-02-05	Ace persiapan Seminar	[Signature]
2.	23-03-05	Flowchart Diagram	[Signature]
3.	28-03-05	Revisi Flowchart Ace arupis	[Signature]
4.			
5.			
6.			
7.			
8.			
9.			
10.			

Malang, _____, 2005
Dosen Pembimbing,

Ir.I Made Wartana, MT

Form.S-4b



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

LEMBAR BIMBINGAN SKRIPSI

1. Nama : MUHAMAD MAHRUS
2. NIM : 98.12.020
3. Jurusan : Teknik Elektro S-1
4. Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
5. Judul Skripsi : OPTIMASI PENEMPATAN KAPASITOR
PADA JARINGAN DISTRIBUSI UNTUK
MENINGKATKAN KUALITAS DAYA
6. Tanggal Mengajukan Skripsi : 10 Mei 2004
7. Tanggal Menyelesaikan Skripsi : 28 Maret 2005
8. Dosen Pembimbing : Ir. I Made Wartana, MT.
10. Telah dievaluasi dengan nilai : 80,00 (Delapan Puluh Koma Nol Nol) *80*

Malang, 28 Maret 2005

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1

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

Disetujui,
Dosen Pembimbing

Ir. I Made Wartana, MT.
NIP. 131 991 182



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

**BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

Nama Mahasiswa : MUHAMAD MAHRUS
N.I.M. : 98.12.020
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
Judul Skripsi : OPTIMASI PENEMPATAN KAPASITOR
PADA JARINGAN DISTRIBUSI UNTUK
MENINGKATKAN KUALITAS DAYA

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

Hari : Rabu
Tanggal : 30 Maret 2005
Dengan Nilai : 75.50 (B) *hm*



(Ir. Mochtar Asroni, MSME)

Ketua

Panitia Ujian

(Ir. F. Yudi Limpraptono, MT.)

Sekretaris

Anggota Penguji

(Ir. Widodo Pudji Mulyanto, MT.)

Penguji Pertama

(Ir. Taufik Hidayat, MT.)

Penguji Kedua

LEMBAR PERSEMBAHAN

Saya panjatkan puja dan puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan petunjuk dan hidayahnya sehingga terselesaikan skripsi ini.

Terima kasih saya haturkan pada Ayahanda (Alm) dan Ibunda TERCINTA atas perhatian yang tak henti-hentinya tucurahkan pada penulis, baik moril maupun matriel, do'a SERTA SEGALAH SESUATU YANG TERBAIK, Kakak-kakaku : Mas IFU and Mbak ERMA, Mbak ZILA, Mas IYAN and Mbak FILA, Dan Mas AMIeN (riah) yang selalu membantu aku dan sabar aku suruh-suruh, dan aku marahin dan omelin teruus. Serta keponakanqu MAS ANANG yang nakal, Adek IZAH, Adek ELFA yang lucu dan imut deeh.....!

*Makasih Segalah curahan Perhatian, Support, Kasih dan Sayang, Serta DO'A nya.
Emmmmmmuuuuuuuuuuuuuaaaaaaaadch.....!*

"Noer Sholichu (Cha-cha)"

Para sahabatqu yang memberikan banyak bantuan, masukan dan supportnya: Iwan(Trims atas bantuannya), Sony, Giri, Farid, Arip, Dadang, Umar, Jalinson, Aripbiman, Teman-temanqu se-bimbingan(Pebri, Agus, Tita, Fitri, Lia,) and Teman-teman yang mendahului Penulis : Iwan, Ony, hery, yudy, deky, andre, didiek, Roy, Andi ndhu, Ika, jony, lely, fitri, jae, Piri, Dody, Eka endel dll.

Teman QU seperjuangan susah dan senang bang DEDE (Awik), DIDIEK (Gondrong), RAFI(pi'l)

Penghuni Sumber Sari 229b (bawah) : Risky Gamblis, Hanif, fajri, Andre Dalex, (trims computernya ya...), Indra, duddy(makasih computernya ya...), Ari abe (makasih computernya juga), Bambang, Dita Acang.

Penghuni Sumber Sari 229b (atas) : Gaguk, Ikhsan buta, Firdaus wedoos, Wawan, Anas Tekos, Agus Bebek, Ali nyosss CM, Alex wengul, Erwin Ambon waloyo, Suprih, OriK, Emon(trims printernya ya..), yopy, Deny, anton KL.

Penghuni luar(tumu) : Erie keceng, Agus max.

Thank's atas jasa-jasanya W 4594 BI aku akan menjagamu selamanya n memodif kamu sampek's puas pool. And Mocha yang selalu menghibur dan menghilangkan stress. A2 CELL yang ikut membantuh secara materiel untuk menyelesaikan STUDY QU, AGP kamu adalah kampus 2 qu yang memberiku inspirasi.

Semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan skripsi ini. Sebagai penutup penulis minta ma'af bila ada tulisan dan kata-kata yang kurang berkenan selama penyusunan Skripsi ini.

TENTANG PENULIS



MUHAMMAD MAHRUS

(Mc CRUZZZZ)

lahir di : gresik,03_pebruari_1980.

Putra ke-5 dari 5 bersaudara.

Seorang sarjana Electrical Engineering yang telah merampungkan masa *Study*-nya di Institut Teknologi Nasional Malang pada tahun 2005.

Jenjang Pendidikan Pertamanya adalah TK Bustanul Affal Bungah selama 2 Th Th 1986. Melenjutkan Ke MI ASSA'ADAH Bungah selama 6 Th lulus Th 1992. Tahun 1992 melanjutkan ke SMP M 05 Bungah selama 3 Th dan dinyatakan Lulus pada Th 1995. Pada Th 1995-1998 menempuh pendidikan SMU di SMU YWSG Gersik.

Pada Th 1998 penulis tercatat sebagai Mahasiswa di Institut Teknologi Nasional (ITN) Malang sampai dinyatakan LULUS