

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



**OPTIMASI PERENCANAAN VAR DENGAN METODE  
*HYBRID PARTIAL GRADIENT DESCENT/SIMULATED  
ANNEALING (HPGDSA)* PADA SISTEM DISTRIBUSI 20 kV  
G.I SENGKALING PENYULANG PUJON**

**SKRIPSI**

*Disusun oleh;*  
**TONI SUNARSA  
00.12.140**

**APRIL 2006**

## LEMBAR PERSETUJUAN

### OPTIMASI PERENCANAAN VAR DENGAN METODE *HYBRID PARTIAL GRADIENT DESCENT/SIMULATED ANNEALING (HPGDSA) PADA SISTEM DISTRIBUSI 20 kV G.I SENGKALING PENYULANG PUJON*

#### SKRIPSI

*Disusun Guna Melengkapi dan Memenuhi Syarat-Syarat  
Guna Mencapai Gelur Sarjana Teknik*

Disusun Oleh :

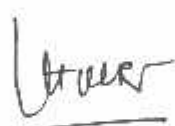
**TONI SUNARSA**  
NIM. 00.12.140

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Elektro



**Ir. F. Yudi Limpraptono, MT**  
NIP.Y.103 950 0274

Menyetujui,  
Dosen Pembimbing



**Ir. H. Choiri**  
NIP.130703042

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



"Kesusahan biasanya akan melahirkan sebuah kemudahan  
tapi bila kita terlalu larut dalam kemudahan, maka  
kita akan kembali mendapatkan kesusahan. Di dunia  
ini tidak sedikit orang yang berhasil diuji dengan  
kesusahannya, tapi tidak banyak orang yang berhasil  
diuji dengan kemudahannya"

"Kemudahan itu mudah, kesulitan itu berat. Kemudahan itu  
cepat selesai, kesulitan itu lama selesai (dari suatu urusan).  
Kemudahan itu palsu, kesulitan itu sungguh (urusan) yang nyata."  
Dan banyak orang yang memulai dengan berserah diri."  
(Syekh Ibnu Arabi)

"Jadikanlah sabar dan sholat sebagai penolongmu.  
Dan sesungguhnya yang demikian itu sungguh berat bagi orang  
yang lalai. Khusyuk yaitu orang-orang yang meyakini bahwa mereka  
sedang beribadah kepada Allah"

Karya ini dipersembahkan buat  
Umbuza Sejahtera

AMIN...

*Skripsi Ini Aku Persembahkan Kepada:*

*Bapak dan Ibu terima kasih atas doanya sehingga aku dapat  
cepat lulus dan mohon maaf kalau selama ini  
sudah menyusahkan*

*(Pak, Buk, ...! Doakan Biar aku dapat cepat kerja' ....?)*

*Mas Pri'e & Mbak Erna dan Faras terima kasih atas  
bimbingannya, Bantuan dan Doa'nya*

*, Ne'ne'ku tersayang,*

*Mbah ...! putumu wis lulus terima kasih doanya*

*My family : Keluarga Lek Bud, Lek No, Lek Gi, Lek sis, Pak  
poh Tris, Mbokde' Rukem terima kasih doanya dan saudara  
yang lain yang tidak bisa saya sebutkan*

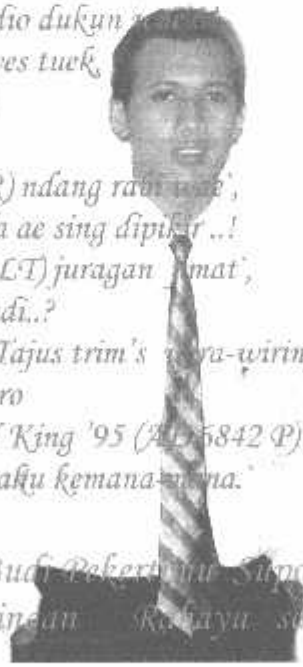
*Agus Polisi suwun wira-wirine aku dadi ngerti endi-endi..*

*Bolo-Bolo Kurowo:*

- 1. Kentang (kowe neng endi saiki nek wes kerjo yo ojo lali karo kancane),*
- 2. Gondrong & Ipung sing sabar yoo... Grand Mregedek (N 4558 EF)!*
- 3. Kenthit (Shogun 125 AE 6443 S) kapan rabi...?*
- 4. Jipang (Star banyak rasa AE 3070 TN) dadio dukun...*
- 5. Mbah Hendrik ayo gole' cewek wes tuek,*
- 6. Cepuk PS ae lee' yoo...!*
- 7. Ceme'ng Wani poraa...*
- 7. Me'ngong (GL Pro gak tau resik AG 5560 R) ndang rani wae',*
- 8. Gundul (Shogun biru W 5844 VF) ojo sepeda ae sing dipikir...!*
- 9. Anton ST (GL Max koyok sing duwe P 5985 LT) juragan 'mat,*
- 10. Kenthus ce'wekmu sing ngendi..?*
- 11. Kukuh (GL Pro AG 5181 NP) ST undang' lho..!, Tajus trim's wira-wirinya  
ke Sby, Mak Yo ST, & Sunoro*

*My Transport: GL PRO, Grand '91, RG R '95, RX King '95 (AL 5842 P) |  
terima kasih telah menemaniku dan mengantar aku kemana-mana.*

*Motto : Dadio Wong Sing Sabar Lan Luhur Budi Pekerti mu Sopo  
Ditresnani Sa'podomu Lan Pinarinean Kaya soko  
Pange'ranmu. (Toni Sunarsa, ST)*



Dosen Pembimbingku : Bpk Ir. H. Choiri, yang dengan sabar membimbingku dari awal sampai selesainya skripsi ini, semoga Allah SWT membalas semua kebaikan Bapak, Amiin...!

Dosen Pengujiku : Bpk Ir. H. Almizan Abdullahi, MSEE & Ir. I Made Wartana, MT, terima kasih telah meluluskan saya dengan nilai B walaupun agak ruwet dan mhulet khususnya penguji kedua.

My Programmer : Mas Hugro sekeluarga, trim's atas bantuannya dalam menyelesaikan program skripsi saya.

Temen² satu himbangan : Nur Asyik (00), Fahmi(01), Hendra, Boyke (99),  
Semoga cepet dapat kerjaan dan istri yang cantik  
(tapi undangane' ojo' sali lho re'k), Amiin...!

Temen² satu angkatan :

Lukman ST, Hendra ST, Yan A, ST, Denny ST (Thanks Atas Bantuannya ya... ajak kita2 ksu dah dapat kerja)

Mamat ST, Mia ST, Sastro, Kaktus,

Johan, Paulus, Jisrel, Fizenzo, Merry, Eko, Dito, Surya, Randy (Thanks dah kasih semangat...), Giri, Agus, Aris, Iswan, Samsurinin, Mega, Handi, Ade,

Nyoman, Ridwan, Komeng, Kholqi, Afandi, Mak Tom, Agung,

Benny, Desta, Agung, Sonny (ojo' ngisruh

wae..!), Ani, Eni, Tini, Johan, Tony, Pire' Ali, Erwin,

Samsi, Samsu, Warwan, Alif, Daud,

Gus Dur, Joko, Budi, Tholib, Abas, Anton, Audil, Maradono dan Semua teman²

yang tidak bisa aku sebutkan satu persatu Sepurane'

yoo re'k...! terima kasih semuanya

Semoga Allah SWT selalu melindungi kita semua

Amiin....!

## *ABSTRAKSI*

### **“OPTIMASI PERENCANAAN VAR DENGAN METODE *HYBRID PARTIAL GRADIENT DESCENT/SIMULATED ANNEALING* (HPGDSA) PADA SISTEM DISTRIBUSI 20 kV G.I SENGKALING PENYULANG PUJON”**

(Toni Sunarsa, Nim. 00.12140, Teknik Elektro Energi Listrik S-1)  
(Dosen Pembimbing : Ir.H Choiri)

**Kata Kunci :** Sistem distribusi radial, Perencanaan VAR, HPGDSA

Dengan meningkatnya usaha disektor industri dan meningkatnya taraf hidup masyarakat maka kebutuhan energi listrik akan meningkat pula, sehingga diperlukanya penyaluran yang mempunyai keandalan sangat baik. Bertambahnya industri menyebabkan peran penggunaan alat-alat listrik semakin luas, misalnya Motor-motor listrik, Trafo, AC, Lampu TL dan lain-lain, dimana alat-alat tersebut sangat banyak membutuhkan daya reaktif.

Dengan meningkatnya beban-beban induktif, maka daya reaktif yang ada pada jaringan akan semakin besar yang selanjutnya akan memperbesar rugi-rugi daya, disamping itu akan memperburuk kondisi tegangan.

Dalam skripsi ini disajikan suatu teknik optimasi global yaitu dengan metode Hybrid Partial Gradient Descent/Simulated Annealing (HPGDSA) yang digunakan untuk perencanaan VAR yang optimal. Hasil dari analisa tersebut nantinya dapat digunakan sebagai salah satu acuan penyaluran daya yang optimal dengan rugi-rugi yang minimal dan biaya yang ekonomis. Analisa dilakukan dengan bantuan program komputer dengan menggunakan bahasa pemrograman Delphi versi 7.0 dan telah sukses dicoba pada G.I Sengkaling Penyulang Pujon yang terdiri dari 101 bus, dimana telah berhasil dilakukan pengurangan rugi-rugi pada saluran transmisi dari 99.859 kW + j152.013 kVAR turun menjadi 73.467 kW+ j111.693 kVAR. Dan biaya dari 16.776 US \$ turun menjadi 12.343 US \$

## KATA PENGANTAR

Dengan rahmat Allah SWT, dan mengucapkan syukur kehadirat-Nya atas karunia yang dilimpahkan kepada saya sehingga dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“OPTIMASI PERENCANAAN VAR DENGAN METODE *HYBRID PARTIAL GRADIENT DESCENT/SIMULATED ANNEALING* (HPGDSA) PADA SISTEM DISTRIBUSI 20 kV G.I SENGKALING PENYULANG PUJON “**.

Skripsi ini bertujuan untuk memenuhi kurikulum akademik yang harus ditempuh oleh setiap mahasiswa ITN Malang dalam menempuh sekaligus mengakhiri pendidikan pada jenjang S-1 pada Jurusan Teknik Elektro Konsentrasi Teknik Energi Listrik.

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

Atas segala bimbingan, pengarahan dan bantuan yang diberikan, sehingga tersusun 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 Kepala Jurusan Teknik Elektro ITN Malang.
3. Bapak Ir. H. Choiri, selaku Dosen Pembimbing.
4. Bapak Agus, selaku pembimbing lapangan di G.I Sengkaling.

Akhirnya saya mengharapkan skripsi ini berguna dan bermanfaat bagi rekan mahasiswa khususnya Jurusan Teknik Elektro.

Malang, April 2006

Penyusun

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>LEMBAR PERSETUJUAN</b> .....	ii
<b>ABSTRAKSI</b> .....	iii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	iv
<b>DAFTAR ISI</b> .....	v
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	ix
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xi
<b>DAFTAR GRAFIK</b> .....	xii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Tujuan .....	2
1.4. Batasan Masalah .....	2
1.5. Metodologi .....	3
1.6. Sistematika Pembahasan .....	3
1.7. Kontribusi Penelitian .....	4
<b>BAB II SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK</b> .....	5
2.1. Sistem Tenaga Listrik .....	5
2.2. Sistem Distribusi .....	5
2.2.1. Sistem Distribusi Primer .....	6
2.2.2. Sistem Distribusi Sekunder .....	9
2.3. Besaran Per Satuan.....	9



2.3.1	Mengubah Dasar Besaran Per Satuan .....	10
2.4.	Daya Dalam Sistem Tenaga Listrik .....	11
2.5.	Pengaruh Daya Reaktif Terhadap Tegangan.....	12
2.6.	Pengaturan Tegangan dan Daya Reaktif.....	14
2.7.	Kapasitor Daya.....	16
2.7.1.	Kapasitor Seri.....	16
2.7.2.	Kapasitor Shunt.....	16
2.8.	Rugi-Rugi Jaringan .....	18
2.9.	Meminimalisasi Rugi-Rugi Daya Pada Sistem Distribusi .....	19
2.10.	Teori Dasar Hubungan Kapasitor Bintang dan Delta .....	20
<b>BAB III OPTIMASI PENYALURAN DAYA REAKTIF MENGGUNAKAN</b>		
<b>METODE HYBRID PARTIAL GRADIENT DESCENT/SIMULATED</b>		
<b>ANNEALING (HPGDSA).....</b>		
		22
3.1.	Analisa Aliran Daya .....	22
3.1.1.	Klasifikasi Bus .....	22
3.1.2.	Penyelesaian Aliran Daya .....	24
3.2.	Metode Newton Rhapson.....	26
3.3.	Teori Dasar Mengenai Perencanaan VAR Menggunakan Metode Hybrid Partal Gradient Descent/Simulated Annealing (HPGDSA) .....	30
3.3.1	Partial Gradient Descent .....	32
3.3.2.	Pengenalan Konsep Simulated Annealing .....	35
3.3.2.1	Aplikasi Simulated Annealing Terhadap Masalah Kombinasi Optimasi .....	37
3.4.	Algoritma Program.....	38

3.4.1	Algoritma Gradient Descent .....	38
3.4.2	Algoritma Simulated Annealing (SA).....	38
3.4.3	Algoritma Perencanaan VAR Menggunakan Metode Hybrid Partial Gradient Descent/Simulated Annealing (HPGDSA) .....	39
3.5.	Flowchart Program .....	42
3.5.1.	Flowchart Gradient Descent.....	42
3.5.2.	Flowchart Simulated Annealing.....	43
3.5.3.	Flowchart Metode Hybrid Partial Gradient Descent/Simulated Annealing (HPGDSA) .....	44
<b>BAB IV ANALISA HASIL DENGAN MENGGUNAKAN METODE HYBRID PARTIAL GRADIENT DESCENT/SIMULATED ANNEALING (HPGDSA) .....</b>		
<b>46</b>		
4.1.	Program Komputer Optimasi Daya Reaktif Menggunakan Metode Hybrid Partial Gradient Descent/Simulated Annealing (HPGDSA) .....	46
4.1.1.	Algoritma Program Secara Umum.....	46
4.1.2.	Flowchart Program Secara Umum .....	46
4.2.	Data Perhitungan.....	48
4.2.1.	Data Saluran .....	49
4.2.2.	Data Pembebanan.....	50
4.2.3.	Data Kapasitas Kapasitor Dan Harga.....	51
4.3.	Tampilan Program .....	52
4.4.	Analisa Perhitungan .....	59
4.5.	Perhitungan Aliran Daya Penyulang .....	59

<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>66</b>
5.1. Kesimpulan .....	66
5.2. Saran.....	67

**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Skema Penyaluran Sistem Distribusi Tenaga Listrik .....	6
Gambar 2.2.	Jaringan Tegangan Menengah (JTM), Jaringan Tegangan Rendah (JTR) dan Sambungan Rumah Ke Pelanggan .....	7
Gambar 2.3	Bentuk Sederhana Dari Sistem Distribusi Radial .....	7
Gambar 2.4.	Jaringan Tegangan Menengah Struktur Loop .....	8
Gambar 2.5.	Jaringan Tegangan Menengah Struktur Mesh.....	8
Gambar 2.6.	Segitiga Daya .....	12
Gambar 2.7.	Analisa Daya Melalui Saluran Pendek.....	13
Gambar 2.8.	Perubahan Tegangan Sebagai Fungsi Aliran Daya Reaktif.....	14
Gambar 2.9.	Penempatan Kapasitor Shunt Pada Saluran .....	16
Gambar 2.10.	Diagram Vektor Pada Rangkaian dengan Pf Lagging Tanpa Kapasitor dan Dengan Kapasitor Shunt .....	17
Gambar 2.11.	Rugi-Rugi Bagian Pada Sistem Tenaga .....	18
Gambar 2.12.	Saluran Primer Dengan Beban Terpusat.....	19
Gambar 2.13	Rangkaian Hubungan Kapasitor .....	21
Gambar 3.1.	Flowchart Gradient Descent.....	42
Gambar 3.2.	Flowchart Simulated Annealing (SA).....	43
Gambar 3.3.	Flowchart HPGDSA.....	44
Gambar 4.1.	Flowchart Pemecahan Secara Umum.....	47
Gambar 4.2.	Single Line Diagram Sistem 20 kV Penyulang Pujon .....	48
Gambar 4.3.	Tampilan Utama Program .....	53

Gambar 4.4. Tampilan Inputan Data.....	54
Gambar 4.5. Data Saluran .....	54
Gambar 4.6. Data Pembebanan .....	55
Gambar 4.7. Data Kapasitor.....	55
Gambar 4.8. Hasil Load Flow Sebelum Optimasi .....	55
Gambar 4.9. Aliran Daya Sebelum Optimasi .....	56
Gambar 4.10. Data Inputan Parameter.....	56
Gambar 4.11. Hasil Load Flow Setelah Optimasi Menggunakan HPGDSA.....	57
Gambar 4.12. Aliran Daya Setelah Optimasi Menggunakan HPGDSA.....	57
Gambar 4.13. Hasil Akhir Metode (HPGDSA) Dalam Menentukan Lokasi, Kapasitas Kapasitor Dan Biaya .....	58

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1.	Data Penyulang Sistem 20 kV G.I Sengkaling .....	50
Tabel 4.2.	Data Saluran Penyulang Pujon.....	50
Tabel 4.3.	Hasil Impedansi Saluran Penyulang Pujon .....	51
Tabel 4.4.	Data Pembebanan Penyulang Pujon.....	52
Tabel 4.5.	Data Kapasitas Kapasitor Dan Harga .....	53
Tabel 4.6.	Tegangan Dan Sudut Fasa Tiap Node Penyulang Pujon Sebelum Dan Sesudah Optimasi.....	60
Tabel 4.7.	Arus Tiap Saluran Penyulang Pujon Sebelum Dan sesudah Optimasi .....	60
Tabel 4.8.	Aliran Daya Tiap Penyulang Pujon Sebelum Dan Sesudah Optimasi.....	61
Tabel 4.9.	Hasil Perhitungan Total Pembangkitan, Pembebanan, Rugi Daya Sebelum Optimasi .....	62
Tabel 4.10.	Hasil Perhitungan Total Pembangkitan, Pembebanan, Rugi Daya Sesudah Optimasi .....	62
Tabel 4.11.	Hasil Perhitungan Total Biaya Sebelum Optimasi, Sesudah Dan Selisih..	63

## DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1. Tegangan Tiap-tiap Node Terhadap Asumsi Tegangan Awal, Tegangan Sebelum.....	61
Grafik 4.2. Perbandingan Total Pembangkitan, Pembebanan, Rugi Daya Sebelum Dan Sesudah Optimasi.....	63
Grafik 4.3. Perbandingan Total Biaya Sebelum Optimasi, Sesudah Optimasi dan Selisih.....	65

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang<sup>[1][2]</sup>

Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik ke pusat-pusat beban atau konsumen. Permasalahan yang dihadapi jaringan distribusi adalah bagaimana menyalurkan daya dengan baik pada saat tertentu maupun dimasa yang akan datang disamping tersedianya energi listrik yang mencukupi. Untuk meningkatkan energi listrik maka perlu dilakukan analisis yang tepat, yaitu analisa aliran daya. Hasil analisa aliran daya memberikan informasi sistem distribusi secara mendetail seperti mengenai besar tegangan, arus, aliran daya, dan rugi-rugi pada pengoperasian normal.

Optimasi daya reaktif yang tepat dalam sistem dapat menghasilkan kondisi optimum, yaitu kondisi dengan rugi-rugi distribusi yang minimum dengan biaya operasi murah, sehingga mampu memperbaiki profil tegangan sistem.

Pada metode *Hybrid Partial Gradient Descent/Simulated Annealing (HPGD/SA)* ini menyajikan suatu perencanaan VAR untuk menentukan pola pengembangan biaya yang minimum, dalam hubungannya dengan sumber daya reaktif yang baru yang akan dipasang pada sistem daya agar supaya dapat memastikan keamanan dan pengoperasian yang ekonomis. Pengiriman daya reaktif dapat digunakan secara efektif untuk menjaga level tegangan yang dapat diterima melalui sistem dan mengurangi keseluruhan kerugian daya nyata pada sistem. Lebih lanjut, batas kamanan dari sistem daya dapat diperbesar agar dapat mengurangi kemungkinan menurunnya tegangan dengan memberikan daya reaktif yang mencukupi.



## 1.2. Rumusan Masalah

Variasi yang besar pada bus akibat dari variasi pembebanan daya yang besar menyebabkan perubahan aliran daya pada setiap saluran. Dari perubahan aliran daya yang besar menimbulkan rugi-rugi daya yang besar pula. Mengingat pentingnya kestabilan pelayanan sistem tenaga listrik tersebut, maka dapat timbul permasalahan sebagai berikut:

1. Berapa besar tegangan tiap bus pada saluran distribusi 20 kV G.I Sengkaling penyulang Pujon, apakah masih memenuhi persyaratan minimum dan maksimum yang telah ditentukan PLN.
2. Dimana letak pemasangan dan kapasitas kapasitor yang tepat pada saluran distribusi 20 kV G.I Sengkaling penyulang Pujon setelah optimasi
3. Berapa besar total daya aktif dan daya reaktif sebelum dan sesudah optimasi.
4. Berapa besar total rugi-rugi saluran sebelum dan sesudah optimasi.
5. Berapa total biaya sebelum dan sesudah optimasi.

## 1.3. Tujuan Penulisan

Tujuan dari pembahasan ini adalah untuk memperbaiki profil tegangan dan optimasi daya reaktif dengan menentukan letak dan kapasitas kapasitor secara tepat untuk mengurangi rugi – rugi daya dan biaya operasional yang ekonomis pada saluran distribusi 20 kV G.I Sengkaling penyulang Pujon menggunakan metode *Hybrid Partial Gradient Descent/Simulated Annealing (HPGDSA)*.

## 1.4. Batasan Masalah

Dalam pembahasan skripsi ini permasalahannya dibatasi pada :

1. Analisa perencanaan VAR menggunakan metode *Hybrid Partial Gradient Descent/Simulated Annealing (HPGDSA)*.
  2. Sistem diasumsikan dalam keadaan *steady – state*.
-

3. Tidak membahas pengaruh kontrol terhadap alat proteksi.
4. Hanya membahas masalah ekonomis penempatan sumber VAR & rugi daya nyata.
5. Analisa perhitungan optimasi daya reaktif pada saluran distribusi 20 kV G.I Sengkaling penyulang Pujon.

### **1.5. Metodologi**

Metodologi yang digunakan dalam pembahasan untuk mendapatkan hasil yang diharapkan adalah :

1. Studi literature yaitu kajian pustaka yang mempelajari teori – teori yang terkait melalui literature yang telah ada, yang berhubungan dengan permasalahan.
2. Pengumpulan data lapangan yang dipakai dalam objek penelitian yakni : data kapasitas kapasitor, data impedansi panjang saluran distribusi dan data pembebanan pada saluran ditribusi 20 kV G.I Sengkaling penyulang Pujon

### **1.6. Sistematika Pembahasan**

Untuk penulisan skripsi ini diperlukan sistematika pembahasan untuk memperjelas dan memperinci isi serta arah penulisan skripsi. Adapun sistematika tersebut terdiri dari lima bab yaitu :

#### **BAB I : Pendahuluan**

Pada bab ini membahas pendahuluan yang berisi latar belakang, batasan masalah, metodeologi, sistematika pembahasan, tujuan dan kontribusi penelitian

#### **BAB II : Sistem Distribusi Tenaga Listrik**

Menguraikan pembahasan sistem distribusi tenaga listrik secara umum.

---

BAB III : Optimasi Penyaluran Daya Reaktif Menggunakan Metode *Hybrid Partial Gradient Descent/Simulated Annealing (HPGDSA)*.

Menguraikan metode Newthon- Raphson dan tinjauan teori metode *Hybrid Partial Gradient Descent/Simulated Annealing (HPGDSA)* untuk mengoptimalisasi aliran daya reaktif dan biaya ekonomis pada saluran distribusi.

BAB IV : Analisis Hasil dengan Menggunakan Metode *Hybrid Partial Gradient Descent/Simulated Annealing (HPGDSA)*.

Meguraikan data-data, tampilan program dan menganalisa mengenai Optimasi penyaluran daya reaktif menggunakan metode *Hybrid Partial Gradient Descent/Simulated Annealing (HPGDSA)* untuk mengurangi rugi-rugi daya dan biaya ekonomis pada sistem Distribusi 20 kV G.I Sengkaling penyulang Pujon.

BAB V : Kesimpulan dan Saran

Berisi kesimpulan dan saran dari hasil analisa.

### **1.7 Kontribusi Penelitian**

Adapun kontribusi dari penelitian ini adalah dengan menggunakan metode *Hybrid Partial Gradient Descent/Simulated Annealing (HPGDSA)* sebagai optimasi daya reaktif secara ekonomis supaya jika diterapkan di PT. PLN (Persero) bisa meningkatkan transfer daya sehingga bisa menekan rugi-rugi daya pada sistem tenaga listrik dengan biaya yang ekonomis dan akhirnya akan menambah keuntungan bagi PLN sebagai perusahaan penyedia energi listrik di Indonesia.

---

## BAB II

### SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK

#### 2.1 Sistem Tenaga listrik<sup>[2]</sup>

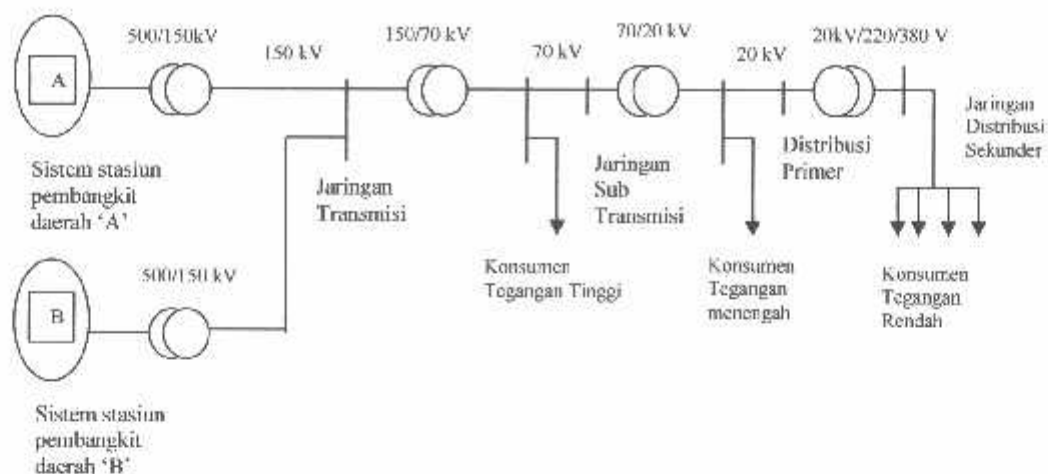
Sistem tenaga listrik merupakan suatu sistem yang terpadu yang terbentuk oleh hubungan-hubungan peralatan dan komponen komponen listrik. Sistem tenaga listrik ini mempunyai peranan utama untuk menyalurkan energi listrik yang dibangkitkan oleh generator kekonsumen yang membutuhkan energi listrik tersebut.

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

1. Sistem pembangkitan : berperan sebagai sumber daya tenaga listrik dan disebut juga sebagai prodaktor energi .
2. Sistem transmisi atau penyalur : berfungsi penyalur daya listrik secara besar-besaran dari pembangkit kebagian sistem distribusi
3. Sistem distribusi dan beban : berfungsi sebagai distributor energi kekonsumen yang memerlukan energi tersebut.

#### 2.2. Sistem Distribusi

Jaringan distribusi berada pada akhir dari sistem tenaga listrik, perannya mendistribusikan tenaga listrik dari gardu induk atau pembangkit tenaga kekonsumen melalui gardu distribusi.



Gambar 2.1<sup>[2]</sup>

### Skema Penyaluran Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sumber : Hasan Basri, Ir "Sistem Distribusi Tenaga Listrik", Balai Penerbit Dan Humas ISTN.

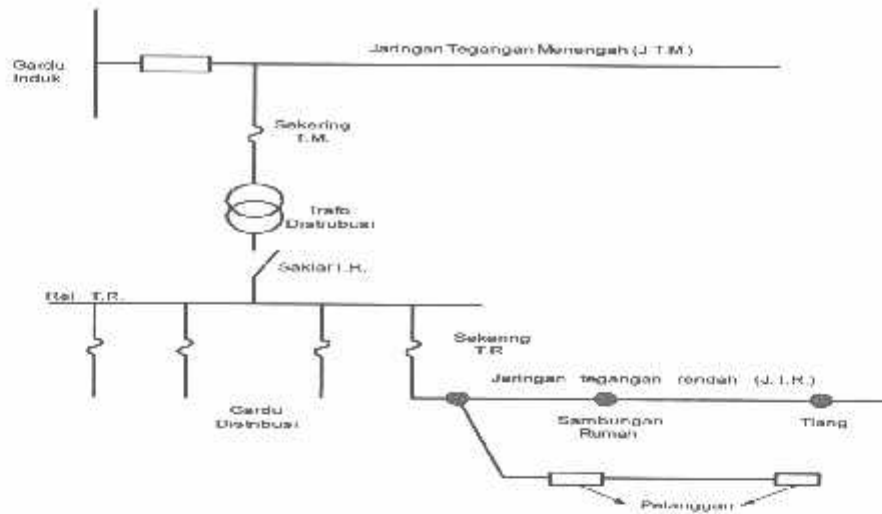
Dalam pendistributian tenaga listrik ke konsumen, tegangan yang digunakan bervariasi tergantung pada jenis konsumen yang membutuhkan. Dengan demikian maka sistem distribusi tenaga listrik dapat diklasifikasikan menjadi dua bagian sistem yaitu :

1. Sistem distribusi primer
2. Sistem distribusi sekunder

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

#### 2.2.1. Sistem Distribusi Primer

Jaringan Distribusi Primer merupakan sistem tenaga listrik yang menyalurkan energi listrik antara Gardu Induk Distribusi sampai ke Gardu Distribusi dengan tegangan kerja 20 kV atau 6 kV.



Gambar 2.2<sup>[3]</sup>

**Jaringan Tegangan Menengah (JTM), Jaringan Tegangan Rendah (JTR) dan Sambungan Rumah Ke Pelanggan**

Sumber : Djiteng Marsudji, 1990, "Operasi Sistem Tenaga Listrik", Balai penerbit dan Humas ISTN

Secara garis besar jaringan distribusi primer diklasifikasikan menjadi :

- a. Struktur Jaringan Radial
- b. Struktur Jaringan Loop (Lingkaran)
- c. Struktur jaringan Grid atau Mesh (Anyaman)

a. Struktur Jaringan Radial

Bentuk jaringan ini merupakan bentuk dasar yang paling sederhana dan paling banyak digunakan. Sistem ini dikatakan radial karena dari kenyataan bahwa jaringan ini ditarik secara radial dari GI ke pusat – pusat beban / konsumen yang dilayaninya. Sistem ini terdiri dari saluran utama (tunk line) dan saluran cabang (lateral).



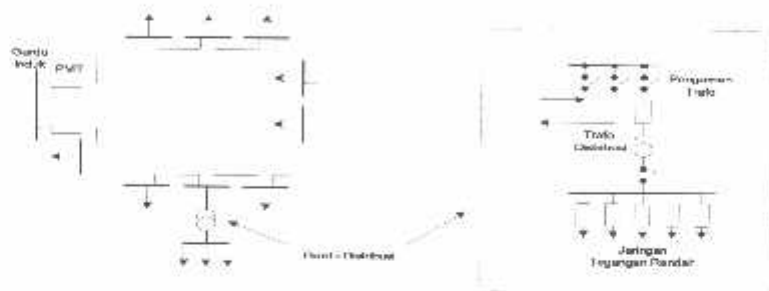
Gambar 2.3<sup>[2]</sup>

**Bentuk Sederhana dari Sistem Distribusi Radial**

Sumber : Ir Hasan Basri, 1996, "Sistem Distribusi Tenaga Listrik", Balai Penerbit dan ISTN

### b. Struktur Jaringan Distribusi Loop / Ring

Struktur jaringan loop merupakan gabungan dari dua struktur jaringan radial. Dimana pada ujung kedua jaringan dipasang sebuah pemutus (CB) atau pemisah (DS). Pada saat terjadi gangguan, setelah gangguan dapat diisolir, maka pemutus atau pemisah ditutup sehingga aliran daya listrik ke bagian yang tidak terkena gangguan tidak terhenti. Struktur jaringan loop mempunyai keandalan yang baik, sehingga biaya pembangunannya lebih mahal dibandingkan stuktur jaringan radial.



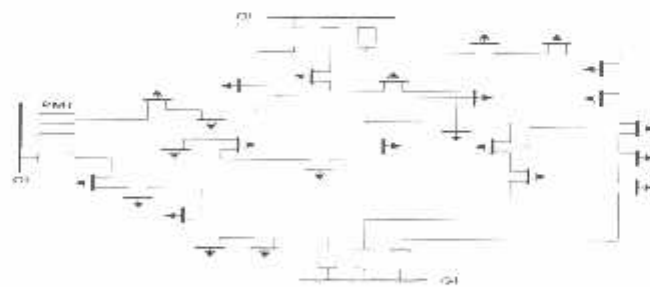
Gambar 2.4<sup>[2]</sup>

**Jaringan Tegangan Menengah Struktur Loop yang dipasok dari satu sumber.**

Sumber : Ir. Hasan Basri, 1996, "Sistem Distribusi Tenaga Listrik", Balai Penerbit dan Humas ISTN

### c. Struktur jaringan Distribusi Mesh

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



Gambar 2.5<sup>[2]</sup>

**Jaringan Tegangan Menengah Struktur Mesh**

Sumber : Ir. Hasan Basri, 1996, "Sistem Distribusi Tenaga Listrik", Balai Penerbit dan Humas ISTN.

### 2.2.2. Sistem Distribusi Sekunder

Jaringan distribusi sekunder merupakan jaringan tenaga listrik yang menyalurkan energi listrik antara Gardu Distribusi sampai ke konsumen melalui jaringan tegangan rendah, dengan tegangan 110 atau 220 V yang dilakukan PLN.

### 2.3. Besaran Per Satuan<sup>[4]</sup>

Didalam menganalisis suatu sistem tenaga listrik, biasanya digunakan besaran per satuan untuk menggantikan besaran-besaran yang ada. Hal ini dilakukan untuk mempermudah perhitungan. Besaran per-satuan didefinisikan sebagai besaran yang sebenarnya dibagi dengan besaran dasar dengan dimensi yang sama. Dengan demikian nilai dari besaran per satuan merupakan nilai yang telah dinormalisasikan terhadap besarnya dasar yang telah dipilih.

Terdapat lima besaran yang biasanya diperhitungkan didalam menganalisa sistem tenaga listrik yaitu arus, tegangan, daya, impedansi dan sudut fasa. Dengan memilih dua besaran secara sembarang sebagai dasar, secara tidak langsung dapat diperoleh besaran-besaran dasar yang lain. Dalam perhitungan sistem tenaga listrik, oleh sebab itu biasanya tegangan dipilih sebagai besaran dasar. Besaran dasar yang kedua biasanya dipilih sebagai pedoman adalah daya (kVA).

Rumus-rumus dibawah ini memberikan hubungan untuk berbagai besaran:

$$\text{Arus dasar}(I_d) = \frac{\text{daya dasar}(kVA_{sp})}{\sqrt{3} \times \text{tegangan dasar}(kV_{l-l})} \dots\dots\dots(2.1)$$

$$\text{Impedansi dasar}(Z_d) = \frac{\text{tegangan dasar}(V_{l-l})}{\text{arus dasar}(I_d)} \dots\dots\dots(2.2)$$

$$\text{Impedansi dasar}(Z_d) = \frac{(\text{tegangan dasar}(kV_{l-l}))^2}{\text{daya dasar}(MVA_{sp})} \dots\dots\dots(2.3)$$



Dalam persamaan-persamaan diatas, nilai-nilai besaran diberikan rangkaian satu fasa. Jadi tegangannya adalah tegangan antar fasa dengan tanah dan daya setiap fasa.

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

$$Z_{pu} = \frac{\text{Impedansi sebenarnya } Z(\Omega)}{\text{impedansi dasar } Z_d} pu \dots\dots\dots(2.4)$$

### 2.3.1. Mengubah Dasar Besaran Per Satuan<sup>[4]</sup>

Kadang-kadang per satuan suatu komponen dalam suatu sistem dinyatakan dalam dasar yang berbeda dari yang telah dipilih sebagai dasar untuk bagian dari suatu sistem dimana komponen tersebut dihubungkan. Karena seluruh impedansi dalam suatu sistem dinyatakan pada dasar impedansi yang sama dalam perhitungan, maka diperlukan suatu cara untuk mengubah suatu impedansi per satuan dari suatu dasar ke dasar yang lain. Dengan memasukan persamaan (2.3) kedalam persamaan (2.4) maka akan diperoleh:

$$Z_{pu} = Z(\Omega) \frac{MVA_d}{(kV_d)^2} pu \dots\dots\dots(2.5)$$

Persamaan (2.5) membuktikan bahwa impedansi per-satuan adalah berbanding lurus dengan MVA dasar serta berbanding terbalik dengan kuadrat tegangan dasarnya.

Untuk mengubah impedansi per satuan dengan suatu dasar yang diberikan menjadi impedansi per satuan dengan dasar yang baru adalah dengan persamaan berikut:

$$Z_{pu} = Z_0 \left[ \frac{kV_{dr}}{kV_{dn}} \right]^2 \left[ \frac{MVA_{dn}}{MVA_{dr}} \right]^2 pu \dots\dots\dots(2.6)$$

Persamaan ini tidak ada hubungannya dengan pemindahan nilai impedansi dalam ohm dari salah satu sisi transformator kesisi yang lain.

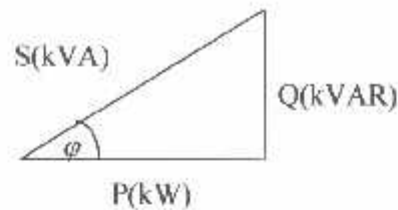
#### **2.4. Daya Dalam Sistem Tenaga Listrik<sup>(4)</sup>**

Kita mengenal dua macam daya reaktif yaitu daya reaktif induktif dan daya reaktif kapasitif, dimana keduanya memiliki tanda yang berlawanan. Daya reaktif kapasitif adalah daya listrik yang dibutuhkan kapasitor, kapasitansi kawat transmisi tegangan tinggi dan lainnya. Dari uraian diatas daya reaktif ini tidak menghasilkan kerja, tetapi tersimpan dalam bentuk energi magnetis atau energi kapasitif.

Daya reaktif induktif adalah daya listrik yang dibutuhkan untuk menghasilkan medan magnet yang dibutuhkan oleh alat-alat induksi seperti motor induksi, transformator dan sebagainya. Tanpa daya reaktif induktif ini daya tidak dapat ditransfer kesisi sekunder dalam suatu trafo atau melalui celah udara pada motor listrik.

Keseimbangan daya reaktif dalam pembangkitan harus dijaga karena hal ini akan mempengaruhi harga tegangan yang harus dijaga pada batas-batas tertentu dari harga nominalnya. Misalkan pada peralihan dari keadaan beban tinggi ke beban rendah ada suatu kecenderungan tegangan sistem akan naik. Hal ini harus diperbaiki dengan mengatur tap trafo, menurunkan penguatan generator atau menghubungkan dengan reaktor atau kapasitor.

Selain diatas dikenal juga istilah factor daya/ power factor adalah merupakan perbandingan antara daya aktif dan daya semu yang dalam bentuk vektor dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2.6<sup>[2]</sup>

### Representasi Segitiga Daya

Sumber : Ir. Hasan Basri, 1996, "Sistem Distribusi Tenaga Listrik," Balai Penerbit dan Humas ISTN.

Hubungan antara ketiganya dapat ditunjukkan dengan persamaan matematikanya:

$$P = V \times I \times \cos \varphi \quad (\text{kW}) \dots\dots\dots (2.7)$$

$$Q = V \times I \times \sin \varphi \quad (\text{kVAR}) \dots\dots\dots (2.8)$$

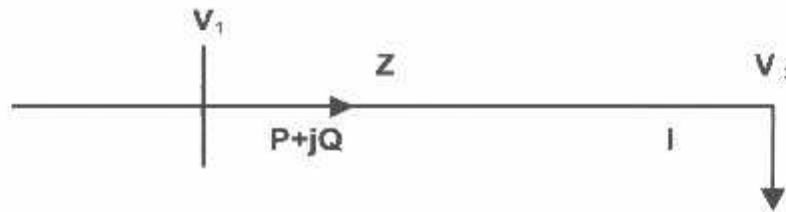
$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (\text{kVA}) \dots\dots\dots (2.9)$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (\text{sudut fasa})$$

### 2.5. Pengaruh Daya Reaktif Terhadap Tegangan<sup>[3]</sup>

Keseimbangan daya reaktif yang dihasilkan dan digunakan harus dapat dipertahankan agar tidak terjadi perubahan tegangan. Bila besaran tegangan ini mengalami perubahan, maka daya reaktif pada simpul tersebut tidak dapat dipertahankan lagi. Ini perlu aliran daya reaktif pada sistem.

Dari gambar dibawah ini terlihat bahwa pembangkit memberikan daya sebesar  $P + jQ$  ke beban. Misalkan  $R$  dianggap jauh lebih kecil dari  $X$ , maka resistansi saluran dapat diabaikan. Sehingga impedansi saluran dituliskan  $Z = jX$ .



Gambar 2.7<sup>[3]</sup>

### Aliran daya Melalui saluran Pendek

Sumber : Djiteng Marsudi, "Operasi Sistem Tenaga Listrik", Balai Penerbit Dan Humas ISTN 1990.

Jatuh tegangan yang terjadi sepanjang saluran disebabkan oleh adanya impedansi sehingga hubungan yang terjadi :

$$V_2 = V_1 - IZ \dots\dots\dots(2.10)$$

Karena daya yang mengalir pada simpul I adalah  $P + jQ$ , maka :

$$I = \frac{P + jQ}{V_1^*} \dots\dots\dots(2.11)$$

Jika  $V_1$  dipilih sebagai referensi maka dapat dianggap mempunyai sudut nol maka persamaan menjadi :

$$I = \frac{P - jQ}{V_1} \dots\dots\dots(2.12)$$

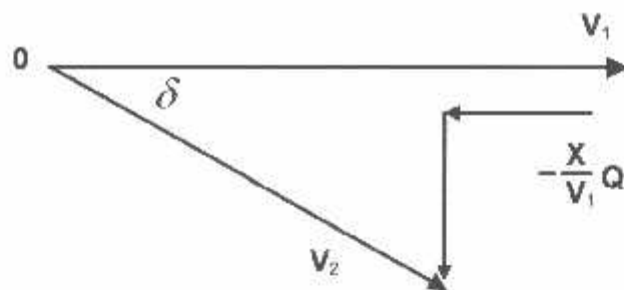
Substitusi persamaan (2.10) ke persamaan (2.12) diperoleh :

$$V_2 = V_1 - \left( \frac{P - jQ}{V_1} \right) Z \dots\dots\dots(2.13)$$

$$V_2 = V_1 - \left( \frac{jXP}{V_1} + \frac{XQ}{V_1} \right) \dots\dots\dots(2.14)$$

$$V_2 = V_1 - \frac{X}{V_1} Q - j \frac{X}{V_1} P \dots\dots\dots(2.15)$$

Persamaan diatas dapat dilihat dalam bentuk gambar sebagai berikut :



Gambar 2.8<sup>[3]</sup>

### Perubahan Tegangan Sebagai Fungsi aliran Daya Reaktif

Sumber : Djiteng Marsudi, "Operasi Sistem Tenaga Listrik", Balai Penerbit Dan Humas ISTN 1990.

Dari persamaan diatas dapat dijelaskan :

1. Perubahan daya aktif  $\Delta P$  pada dasarnya hanya mempengaruhi sudut fasa tegangan sedangkan magnitude tegangan hampir tidak berubah.
2. Perubahan daya reaktif  $\Delta Q$  pada dasarnya hanya mempengaruhi magnitude tegangan [V] dan hampir tidak berpengaruh pada sudut fasa tegangan.

### 2.6. Pengaturan Tegangan Dan Daya Reaktif<sup>[3]</sup>

Pengaturan tegangan pada dasarnya adalah pengaturan daya reaktif pada saluran dan simpul. Sehingga untuk mempertahankan tegangan didalam batas operasi yang diinginkan perlu keseimbangan daya reaktif pada simpul tersebut.

Sebagaimana diketahui masalah tegangan dapat diakibatkan oleh pelanggaran batas atas maupun batas bawah. Jika terlalu banyak beban daya reaktif induktif (positif), misalnya pada daerah industri, maka tegangan simpul yang terlalu rendah akan jadi masalah. Ini dapat diatasi dengan memasang kapasitor shunt, *Static Var Compensation* dan sebagainya. Sebaliknya pada saat beban ringan karena pengaruh kapasitansi shunt dari saluran transmisi, maka akan ada kelebihan daya reaktif pada saluran sehingga tegangan simpul terlalu tinggi. Hal ini dapat diatasi dengan memasang reaktor shunt, *Static Var Compensation* dan sebagainya.

Dengan menginjeksikan daya reaktif ke dalam sistem, pengatur-pengatur mengatur baik pembangkitan maupun aliran daya reaktif. Dengan cara ini, profil tegangan simpul yang diinginkan dapat diperoleh. Tindakan-tindakan kontrol (pengaturan) yang digunakan secara umum untuk daya reaktif dan tegangan adalah:

1. Perubahan tegangan terminal generator

Dengan merubah eksitasi generator, akan merubah daya reaktif yang diinjeksikan, sehingga akan merubah tegangan simpul generator maupun simpul beban.

2. Perubahan tap transformator

Tindakan ini menambah atau mengurangi tegangan simpul dengan merubah belitan tegangan trafo. Karena simpul-simpul dalam suatu sistem tenaga dihubungkan melalui saluran transmisi, maka beberapa tegangan simpul bertambah dan beberapa simpul yang lain berkurang.

3. Kompensasi daya reaktif

Tindakan ini mencatu daya reaktif sejumlah tertentu pada saluran transmisi dan simpul beban, sehingga menambah tegangan simpul beban terdekat. Biasanya makin dekat simpul itu terhadap kapasitor kompensasi, maka bertambah pula tegangan yang ditambahkan.

Rendahnya faktor daya beban mengakibatkan naiknya kebutuhan daya reaktif dan arus saluran. Karena itu diperlukan peralatan yang dapat mengkompensasi kebutuhan daya reaktif ini, baik *lagging* maupun *leading*. Kapasitor shunt digunakan untuk sirkit faktor daya *lagging* sedang reaktor shunt untuk sirkit *leading*.

---

## 2.7. Kapasitor Daya<sup>[2]</sup>

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

### 2.7.1. Kapasitor Seri

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

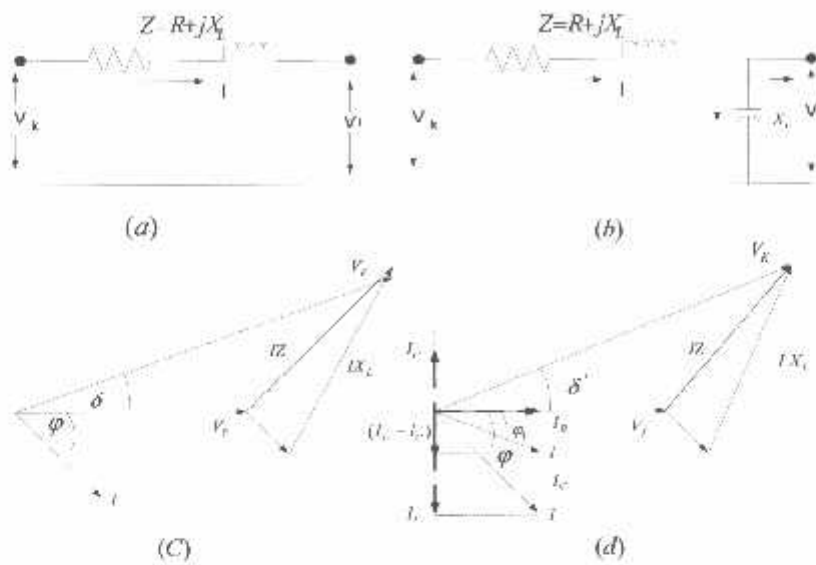
### 2.7.2 Kapasitor Shunt

Kapasitor shunt adalah kapasitor yang dihubungkan secara paralel dengan beban. Kapasitor shunt merupakan sumber daya reaktif untuk mengimbangi komponen reaktif yang diperlukan oleh beban, sehingga kapasitor shunt digunakan secara meluas pada jaringan distribusi. Kapasitor shunt sering disebut juga kondensator statis.



**Gambar 2.9**  
**Penempatan Kapasitor Shunt Pada Saluran**

Pengaruh pemasangan kapasitor shunt pada jaringan ditunjukkan pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.10<sup>[21]</sup>

**Diagram vektor pada rangkaian dengan pf lagging  
(a),(c) tanpa kapasitor shunt. (b),(d) dengan kapasitor shunt**

Sumber : Ir. Hasan Basri, 1996, "Sistem Distribusi Tenaga Listrik," Balai Penerbit dan Humas ISTN

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

Sebelum pemasangan kapasitor:

$$VD = I_R R + I_X X_L$$

Sesudah pemasangan kapasitor:

$$VD = I_R R + (I_X - I_C) X_L$$

Pemasangan kapasitor shunt pada sistem tenaga secara umum bertujuan untuk:

1. Menjaga agar kVAR sistem pada beban induktif berada pada batas yang ditentukan.
2. Mengurangi rugi-rugi daya aktif ( $I^2 R$ ) pada jaringan.
3. Mengurangi rugi-rugi daya reaktif ( $I^2 X$ ) pada jaringan.
4. Memperbaiki pengaturan tegangan.

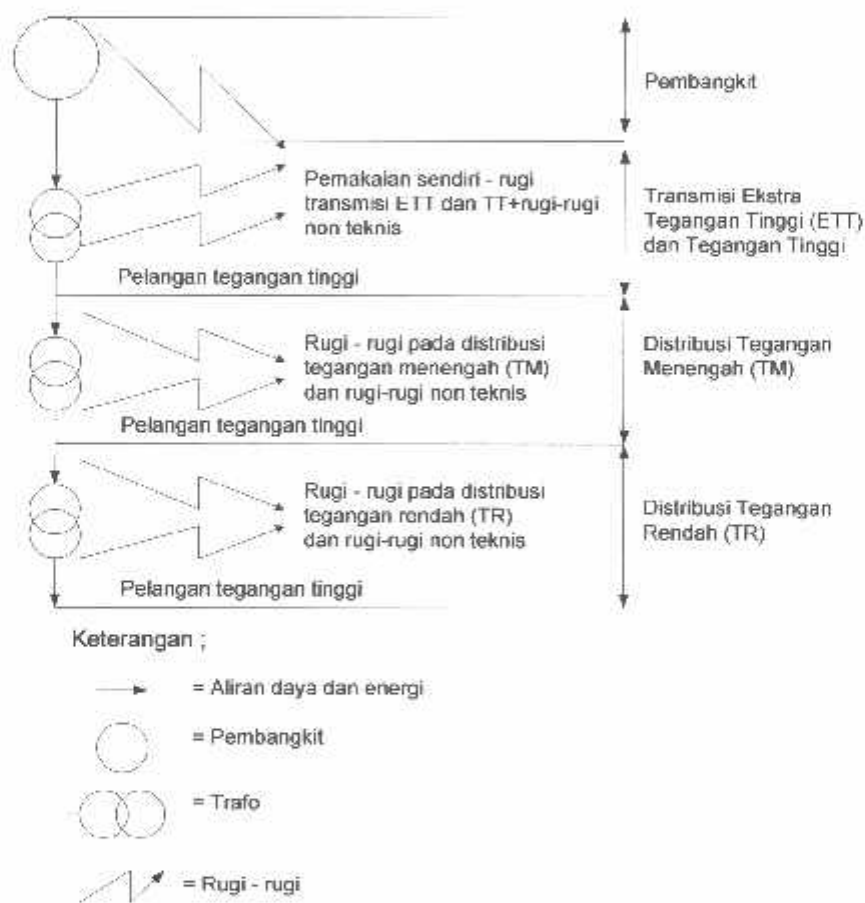
Secara umum pemakaian kapasitor shunt pada sebagai sumber daya reaktif lebih disukai karena:



- Biaya investasi yang lebih murah dibandingkan sumber daya reaktif lainnya.
- Perawatan mudah dan murah
- Memiliki ukuran yang kompak dan ringan
- Dapat dipasang didalam dan diluar ruangan.
- Rugi daya dielektriknya kecil.

## 2.8. Rugi – rugi Jaringan

Dalam proses penyaluran energi listrik ke pelanggan terjadi rugi – rugi teknis (losses), yaitu rugi daya dan rugi energi.



Gambar 2.11<sup>[2]</sup>

### Rugi – rugi Pada Bagian Sistem Tenaga

Sumber : Ir. Hasan Basri, 1996, "Sistem Distribusi Tenaga Listrik," Balai Penerbit dan Humas ISTN.

## 2.9. Meminimalisasi Rugi – rugi Daya Pada Sistem Distribusi

Dalam prakteknya sebenarnya ada tiga macam cara untuk meminimalisasi rugi – rugi pada sistem distribusi tenaga listrik :

1. Pemasangan Kapasitor.
2. Rekonfigurasi jaringan distribusi.
3. Mengurangi pemakaian sendiri (plant use).

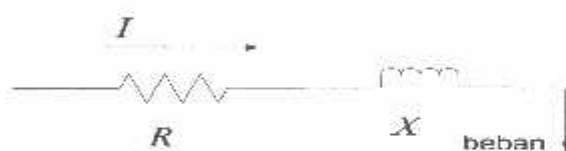
Pengurangan rugi-rugi dengan kapasitor shunt saluran per fasa dari saluran 3 fasa seimbang dengan beban terpusat seperti pada adalah  $I^2(R-jX)$  atau dapat dibedakan menjadi:

$$\text{- Rugi daya aktif } (I^2R) = (I_R^2 + I_X^2)R$$

$$\text{- Rugi daya reaktif } (I^2X) = (I_R^2 + I_X^2)X$$

Dimana :  $I_R$  adalah arus aktif

$I_X$  adalah arus reaktif



**Gambar 2.12**

### Saluran Primer Dengan Beban Terpusat

Sumber : Ir. Hasan Basri, 1996, "Sistem Distribusi Tenaga Listrik," Balai Penerbit dan Humas ISTN.

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 (*lagging*), yang mengalir pada resistansi  $R$  sehingga:

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

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

$$I_1^2 R = (I \cos \theta)^2 R - (I \sin \theta)^2 R$$

Sehingga pengurangan rugi daya sebagai akibat pemasangan kapasitor shunt didapat:

$$\Delta \text{pls} = I^2 R - I_1^2 R$$

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

$$= 2 (I \sin \theta) I_c R - I_c^2 R$$

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:

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

## 2.10 Teori Dasar Hubungan Kapasitor Bintang dan Delta<sup>[2]</sup>

Jatuh tegangan pada saluran sebelum dipasang kapasitor :

$$\delta V = IR \cos \varphi + IX_L \sin \varphi \quad \text{atau}$$

$$\delta V = I_R \times R + I_X \times X_L \dots\dots\dots(2.21)$$

Bila kapasitor dipasang pada ujung penerima dari saluran maka jatuh tegangan yang terjadi sebesar:

$$\delta V = I_R \times R + I_X \times X_L - I_C \times X_C \dots\dots\dots(2.22)$$

Sedangkan kenaikan tegangan akibat dipasangnya kapasitor:

$$\delta V_c \% = \frac{X_L \times I_C}{V_f} \times 100\% \dots\dots\dots(2.23)$$

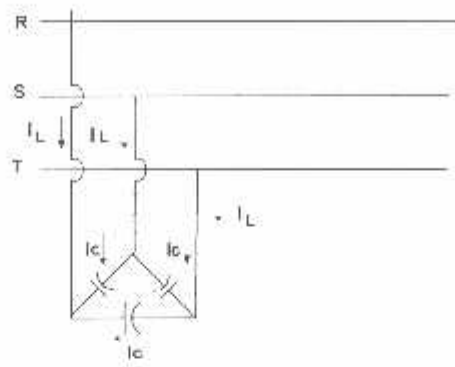
$$\text{Bila daya kapasitor } Q_C = \sqrt{3} \times I_L \times V \dots\dots\dots(2.24)$$

$$\text{Untuk hubung delta } Q_C = 3 I_C V \dots\dots\dots(2.25)$$

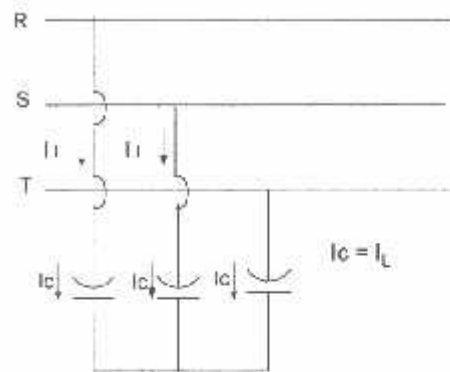
$$\text{Untuk bintang } Q_C = \sqrt{3} I_C V \dots\dots\dots(2.26)$$

$$\text{Reaktansi kapasitif pada kapasitor } X_c = \frac{V_{L-L}}{I_c} \dots\dots\dots(2.27)$$

$$\text{Kapasitas dari kapasitor } C = \frac{10^6}{2\pi \cdot f \cdot X_c} \dots\dots\dots(2.28)$$



a. Hubung Delta



b. Hubung Bintang

**Gambar 2.16**<sup>[2]</sup>**Rangkaian Hubungan Kapasitor**

Sumber : Ir. Hasan Basri, 1996, "Sistem Distribusi Tenaga Listrik," Balai Penerbit dan Humas ISTN.

**BAB III**  
**OPTIMASI PENYALURAN DAYA REAKTIF MENGGUNAKAN**  
**METODE *HYBRID PARTIAL GRADIENT DESCENT/SIMULATED***  
***ANNEALING* (HPGDSA)**

**3.1 Analisa Aliran Daya<sup>[4]</sup>**

Dalam melayani beban yang dibutuhkan oleh konsumen dan pengoperasian sistem tenaga listrik perlu dilakukan penganalisaan aliran daya, sehingga sistem yang dioperasikan dapat memenuhi persyaratan teknis maupun ekonomisnya. Dalam analisa aliran daya dilakukan perhitungan terhadap tegangan, arus, daya aktif dan reaktif, yang terdapat dalam berbagai titik dalam jala-jala jaringan distribusi tenaga listrik.

Tujuan dari analisa data adalah:

1. Untuk mendapatkan daya aktif dan daya reaktif.
2. Untuk mengetahui apakah semua peralatan pada sistem memenuhi batas-batas yang telah ditetapkan untuk operasi penyaluran daya.
3. Untuk mengetahui biaya yang paling ekonomis.
4. Untuk menentukan daya yang mengalir disetiap saluran jaringan tenaga listrik.

**3.1.1. Klasifikasi Bus**

Tujuan aliran daya pada sistem tenaga listrik adalah untuk menghitung besar tegangan  $|V|$  dan sudut fasa tegangan  $\delta$  pada semua bus, sehingga dengan diketahuinya parameter-parameter tersebut akan dapat dihitung besar daya yang mengalir beserta rugi-ruginya.

Pada setiap bus dari jaringan terdapat parameter sebagai berikut:

1. Daya nyata, dinyatakan dengan P satuan MW.
2. Daya reaktif, dinyatakan dengan Q satuan MVAR.
3. Besar (magnitude) tegangan  $|V|$  dan sudut phasa  $\delta$  satuannya derajat.

Pada setiap bus dari jaringan terdapat parameter-parameter yaitu daya aktif (P), daya reaktif (Q), besar tegangan  $|V|$  dan sudut phasa tegangan  $\delta$ . Dengan melihat parameter-parameter di atas, setiap bus diklasifikasikan menjadi tiga bagian, yaitu:

1. Bus Beban / *Load Bus* (PQ)

Pada bus ini hanya terdapat kebutuhan daya untuk beban dimana daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) diketahui, sementara  $|V|$  dan  $\delta$  berubah-ubah menurut kebutuhan. Oleh karena itu,  $|V|$  dan  $\delta$  harus ditentukan (dicari).

2. Bus Generator (PV)

Pada bus ini hanya terdapat daya pembangkitan dimana  $|V|$  diatur dengan menggunakan regulator tegangan dan P diatur dengan governor, sehingga untuk bus ini P dan  $|V|$  diketahui. Sementara daya reaktif (Q) dan sudut phasa  $\delta$  dicari.

3. Bus Slack / *Slack Bus*

Pada bus ini  $|V|$  dan  $\delta$  sudah ditentukan besarnya sementara P dan Q dihitung. Biasanya nilai  $|V|$  adalah 1 pu, sedangkan sudut phasa tegangan  $\delta$  berharga nol, karena itu fasor tegangan dari bus dipakai sebagai referensi.

Daya total yang mengalir pada setiap bus dituliskan sebagai berikut:

$$S_k = P_k + jQ_k = V_k^* I_k \quad \text{atau}$$

$$P_k - jQ_k = V_k^* \sum_{n=1}^N Y_{kn} V_n \dots\dots\dots (3.1)$$

Dari persamaan  $V_k = v_k + j\delta_k$  dan  $Y_{k11} = G_{k11} - jB_{k11}$ , maka persamaan 3.1 menjadi :

$$P_k - jQ_k - (v_k + j\delta_k) \sum_{n=1}^N (G_{k11} - jB_{k11})(V_n + j\delta_n) \dots\dots\dots (3.2)$$

Bila dituliskan dalam bentuk real dan imajiner maka persamaan diatas menjadi:

$$P_k - \sum_{n=1}^N \{v_k (v_n G_{kn} - \delta_k B_{kn}) + \delta_k (\delta_n G_{kn} - v_n B_{kn})\} \dots\dots\dots (3.3)$$

$$Q_k = \sum_{n=1}^N \{\delta_k (v_n G_{kn} + \delta_n B_{kn}) - v_k (\delta_n G_{kn} - v_n B_{kn})\} \dots\dots\dots (3.4)$$

### 3.1.2. Penyelesaian Aliran Daya

Untuk penyelesaian masalah aliran daya diperlukan suatu persamaan daya aktif dan daya reaktif yang dinyatakan dalam besaran kompleks. Dimana untuk jaringan sistem tenaga listrik pada tiap-tiap bus dapat dituliskan sebagai berikut:

$$I_1 = Y_{11}V_1 + Y_{12}V_2 + \dots + Y_{1n}V_n$$

$$I_2 = Y_{21}V_1 + Y_{22}V_2 + \dots + Y_{2n}V_n$$

⋮

$$I_p = Y_{p1}V_1 + Y_{p2}V_2 + \dots + Y_{pn}V_n$$

Dimana persamaan tersebut dapat dituliskan menjadi bentuk umum:

$$I_p = \sum_{q=1}^n Y_{pq}V_{pq} \dots\dots\dots (3.5)$$

Dimana : p = 1,2,3,...,n

$I_p$  = arus dalam bentuk kompleks yang masuk bus p.

$V_q$  = tegangan bus q dalam bentuk kompleks terhadap referensi.

$Y_{pq}$  = admitansi antara simpul p dan q

Dalam bentuk matriks persamaan diatas dapat ditulis sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} & \dots & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} & \dots & Y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ Y_{n1} & Y_{n2} & Y_{n3} & \dots & Y_{nm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix}$$

Atau dapat juga ditulis  $I_{bus} = Y_{bus} \cdot V_{bus}$

Dimana :

$I_{bus}$  = matrik kolom vektor arus bocor

$Y_{bus}$  = matrik kolom vektor admitansi bus.

$V_{bus}$  = matrik kolom vektor tegangan bus.

Persamaan daya nyata dan daya reaktif yang masuk ke bus adalah:

$$P_p - jQ_p = V_p^* I_p \dots \dots \dots (3.6)$$

Dengan mendistribusikan persamaan (3.1) ke persamaan (3.5) maka diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$P_p - jQ_p = V_p^* \sum_{q=1}^n Y_{pq} V_{pq} \dots \dots \dots (3.7)$$

$$V_p^* = e_p - jf_p = |V_p| \angle -\delta_p$$

$$V_q = e_q - jf_q = |V_q| \angle \delta_q$$

$$Y_{pq} = G_{pq} - jB_{pq} = |Y_{pq}| \angle -\theta_q$$

Dengan demikian persamaan ini dapat dinyatakan dalam bentuk *rectangular* sebagai berikut:

$$P_p - jQ_p = (e_p - jf_p) \sum_{q=1}^n (G_{pq} - jB_{pq})(e_q + jf_q) \dots \dots \dots (3.8)$$

Dimana :  $p = 1, 2, 3, \dots, n$ .



Persamaan-persamaan terakhir menyatakan dua buah persamaan aliran daya pada sistem dengan  $n$  bus, dimana tiap-tiap bus digolongkan dalam  $4n$  variabel dan  $2n$  variabel yang lain telah ditentukan terlebih dahulu.

Variabel dari bus berayun telah ditentukan terlebih dahulu sehingga persamaan untuk bus berayun ini dapat dihilangkan dan dengan demikian hanya dibutuhkan  $(n-1)$  buah persamaan untuk studi aliran daya. Bentuk persamaan dua terakhir +1 menyatakan hubungan matematis yang diperlukan untuk analisa aliran daya dengan komputer.

### 3.2 Metode Newton-Raphson<sup>[4]</sup>

Metode yang umum dan yang banyak disukai untuk mendapatkan penyelesaian aliran daya adalah metode Newton-Raphson. Dimana metode ini dibandingkan dengan metode-metode yang lain seperti Gauss-Seidel mempunyai waktu hitung konvergensi yang lebih cepat (membutuhkan waktu iterasi yang lebih sedikit). Metode Newton-Raphson dibentuk berdasarkan matriks admitansi simpul ( $Y_{bus}$ ), satu prosedur yang langsung dan sederhana.

Pada admitansi simpul, diagonal elemennya ( $Y_{pp}$ ) adalah jumlah admitansi dari semua element-element yang terhubung dengan simpul  $P$  tersebut. Untuk element bukan diagonal ( $Y_{pq}$ ) adalah sama dengan negatif admitansi dari element jaringan yang menghubungkan dengan simpul  $P$  dan simpul  $Q$ .

Karena pada jaringan sistem tenaga listrik tidak semua simpul saling berhubungan satu dengan yang lainnya, maka  $Y_{bus}$  akan membentuk matriks yang terdiri dari elemen-elemen yang mempunyai nilai  $\neq 0$  (di antara simpul-simpul tersebut mempunyai hubungan saluran transmisi) dan elemen-elemen yang bernilai  $= 0$  (di antara simpul-simpul tersebut tidak mempunyai hubungan transmisi).

Hubungan antar arus simpul  $I_p$  dan tegangan simpul  $V_q$  pada suatu jaringan dengan simpul dapat dituliskan sebagai berikut:

$$I_p = \sum_{q=1}^n Y_{pq} V_q \dots\dots\dots (3.9)$$

Injeksi daya pada simpul P adalah:

$$\begin{aligned} S_p &= P_p + jQ_p - V_p I_p^* \\ &= V_p \sum_{q=1}^n Y_{pq}^* V_q^* \end{aligned}$$

Dengan memisahkan bagian riil dan imajiner maka diperoleh:

$$P_p = \sum_{q=1}^n |V_p V_q Y_{pq}| \cos(\delta_p - \delta_q - \theta_{pq}) \dots\dots\dots (3.10)$$

$$Q_p = \sum_{q=1}^n |V_p V_q Y_{pq}| \sin(\delta_p - \delta_q - \theta_{pq}) \dots\dots\dots (3.11)$$

Kedua persamaan diatas akan menghasilkan suatu kumpulan persamaan serempak (simultan) yang tidak linier untuk setiap simpul sistem tenaga listrik. Untuk mengetahui magnitude tegangan ( $|V|$ ) dan sudut fasa ( $\delta$ ) disetiap simpul dapat diselesaikan dengan menggunakan persamaan aliran daya dan yang dilinierkan dengan metode Newton-Raphson seperti persamaan dibawah:

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H & N \\ M & L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \dots\dots\dots (3.12)$$

Dimana:

$\Delta P$  = Selisih injeksi netto daya aktif dengan penjumlahan aliran daya aktif tiap transmisi yang menghubungkan simpul dengan  $|V|$  yang didapat dari perhitungan interaksi ke-k

$\Delta Q$  = Selisih injeksi netto daya reaktif dengan penjumlahan aliran daya reaktif tiap transmisi yang menghubungkan simpul dengan  $|V|$  yang didapat dari perhitungan interaksi ke-k

$\Delta \delta$  = Vektor koreksi sudut fase tegangan.

$\Delta|V|$  = Vektor koreksi magnitude tegangan.

H, L, M, N, merupakan elemen-elemen *off-diagonal* dari submatriks Jacobian yang dibentuk dengan mendiferensialkan persamaan-persamaan, dimana:

$$H_{pq} = \frac{\partial P_p}{\partial \delta_q}; \quad N_{pq} = \frac{\partial P_p}{\partial |V_q|}; \quad M_{pq} = \frac{\partial Q_p}{\partial \delta_q}; \quad L_{pq} = \frac{\partial Q_p}{\partial |V_q|}$$

Adapun rumus elemen-elemen dari matriks-matriks Jacobian adalah:

Untuk H adalah:

$$\frac{\partial P_p}{\partial \delta_q} = |V_p V_q Y_{pq}| \sin(\delta_p - \delta_q - \theta_{pq}) \quad q \neq p$$

$$\frac{\partial P_p}{\partial |V|} = - \sum_{\substack{q=1 \\ q \neq p}}^n |V_p V_q Y_{pq}| \sin(\delta_p - \delta_q - \theta_{pq})$$

Untuk N adalah:

$$\frac{\partial P_p}{\partial |V_q|} = |V_p Y_{pq}| \cos(\delta_p - \delta_q - \theta_{pq}) \quad q \neq p$$

$$\frac{\partial P_p}{\partial |V_p|} = 2|V_p Y_{pp}| \cos \theta_{pp} + \sum_{\substack{q=1 \\ q \neq p}}^n |V_p Y_{pq}| \cos(\delta_p - \delta_q - \theta_{pq})$$

Untuk M adalah:

$$\frac{\partial Q_p}{\partial \delta_q} = |V_p V_q Y_{pq}| \sin(\delta_p - \delta_q - \theta_{pq}) \quad q \neq p$$

$$\frac{\partial Q_p}{\partial \delta_q} = \sum_{\substack{q=1 \\ q \neq p}}^n |V_p V_q Y_{pq}| \cos(\delta_p - \delta_q - \theta_{pq})$$

Untuk L adalah:

$$\frac{\partial P_p}{\partial |V_p|} = |V_p Y_{pp}| \sin(\delta_p - \delta_q - \theta_{pq}) \quad q \neq p$$

$$\frac{\partial P_p}{\partial |V_p|} = 2|V_p Y_{pp}| \sin \theta_{pp} + \sum_{\substack{q=1 \\ q \neq p}}^n |V_q Y_{pq}| \cos(\delta_p - \delta_q - \theta_{pq})$$

Algoritma aliran daya *Newton Raphson*:

1. Tentukan nilai  $P_{p(\text{ditetapkan})}$  dan  $Q_{p(\text{ditetapkan})}$  yang mengalir kedalam sistem pada setiap rel untuk nilai yang ditentukan atau perkiraan dari besar dan sudut tegangan untuk iterasi pertama atau tegangan yang ditentukan paling akhir untuk iterasi berikutnya.
2. Hitung  $\Delta P$  pada setiap rel.
3. Hitung nilai-nilai matrik Jacobian dengan menggunakan nilai-nilai perkiraan atau yang ditentukan dari besar dan sudut tegangan dalam persamaan untuk turunan parsial yang ditentukan dengan differensial persamaan (3.10) dan (3.11).
4. Balikkan jacobian itu dan hitung koreksi-koreksi tegangan  $\Delta \delta_q$  dan  $\Delta |V_q|$  pada nilai sebelumnya.
5. Hitung nilai baru dari  $\delta_q$  dan  $|V_q|$  dengan menambah  $\Delta \delta_q$  dan  $\Delta |V_q|$  pada nilai sebelumnya.
6. Kembali ke langkah pertama dan ulangi proses itu dengan menggunakan nilai untuk besar dan sudut tegangan yang ditentukan paling akhir sehingga semua nilai  $\Delta P$  dan  $\Delta Q$  atau semua nilai  $\Delta \delta$  dan  $\Delta |V|$  lebih kecil dari suatu indeks ketetapan yang telah dipilih.

### 3.4 Total Biaya Sebelum dan Sesudah Pemasangan Kapasitor.

Total biaya sebelum pemasangan kapasitor merupakan hubungan antara daya yang ada disaluran sebelum dipasang kapasitor dan biaya daya per kW per tahun. Hubungan tersebut seperti persamaan dibawah ini:

$$S = K_p \cdot P_{Loss}$$

Sehingga total biaya setelah pemasangan kapasitor adalah hubungan antara rugi-rugi daya pada jaringan setelah dipasangnya kapasitor dengan biaya instalasi kapasitor tersebut. Hubungan tersebut akan dijelaskan pada persamaan dibawah ini:

$$S_k = K_p \cdot P_{Loss} + \sum_{j=1}^k K_j^c Q_j^c$$

Dimana:

$S$  = Total biaya tahunan sebelum pemasangan kapasitor (\$/ tahun)

$S_k$  = Total biaya tahunan setelah pemasangan kapasitor (\$/ tahun)

$K_p$  = Biaya Daya (\$/ kW/ tahun)

$K_j^c$  = Biaya Instalasi kapasitor ( \$/ kVAR/ tahun)

$Q_j^c$  = Kapasitas kapasitor terpasang (kVAR)

$P_{Loss}$  = Total rugi-rugi saluran (kW)

#### Biaya Daya ( $K_p$ )

Biaya daya (  $K_p$  ) adalah biaya investasi per-kW ditambah biaya operasional dan biaya pemeliharaan. Dalam skripsi ini berdasarkan referensi yang ada maka biaya daya (  $K_p$  ) sebesar 168 U.S \$/ kW/ tahun.

Selanjutnya, kita mempertimbangkan persamaan-persamaan pembatas. Pada dasarnya, terdapat dua golongan persamaan pembatasan untuk perumusan masalah yang telah kita buat. Golongan pertama terdiri dari persamaan pembatas untuk membatasi penyimpangan daya pada keseluruhan sistem. Secara matematika, persamaan pembatas ini dinyatakan sebagai berikut:

$$L(x) = 0 \quad (2)$$

dimana  $L(x)$  adalah vektor persamaan aliran dan argumen  $x$  adalah keadaan vektor dari sistem, termasuk besaran tegangan dan sudut bus. Golongan lainnya terdiri dari pertidaksamaan pembatas yang dihasilkan dari pertimbangan pengoperasian keamanan sistem berikut ini:

- (1) batas-batas aliran daya saluran
- (2) besaran tegangan dan batas-batas perbedaan sudut fase
- (3) penyimpangan tegangan
- (4) batas-batas pembangkitan daya reaktif dan daya nyata, dan
- (5) batas-batas kompensasi daya reaktif

Secara matematika, pertidaksamaan pembatas ini dapat dinyatakan dalam vektor pertidaksamaan tunggal sebagai berikut:

$$G(x) \leq 0 \quad (3)$$

Catatan bahwa vektor pertidaksamaan berarti bahwa setiap komponen vektor adalah pertidaksamaan persamaan.

Singkatnya, dengan menggabungkan (1), (2), dan (3) akan memberikan kita sebuah perumusan yang menyeluruh dari masalah perencanaan VAR seperti di bawah ini:

Memperkecil pencarian:

$F[q_{ck}$  (kapasitas kapasitor) dan  $r_k$  (lokasi penempatan kapasitor)]

Subjek untuk

$L(x) = 0$ , (tidak ada penyimpangan daya)

$G(x) \leq 0$ , (tidak melanggar persamaan-persamaan pembatas seperti diuraikan diatas)

Hasil-hasil simulasi menunjukkan keuntungan dari pendekatan ini sebagai berikut:

- (1) Metode HPGDSA dapat menangani berbagai kondisi level beban dari sistem daya yang praktis, dengan hasil-hasil yang memuaskan.
- (2) Waktu pemecahan masalah dari HPGDSA adalah lebih singkat dibandingkan dengan metode konvensional SA, dan kualitas pemecahan masalahnya adalah juga meningkat secara tajam.
- (3) Semua parameter dari perumusan masalah yang digunakan pada algoritma merupakan spesifikasi-spesifikasi industri. Oleh karena itu, pemecahan masalah dari algoritma HPGDSA siap digunakan untuk bidang industri.
- (4) Dalam sistem pengujian di atas, kita dapat memperoleh hasil yang sangat mendekati dengan berbagai pengujian pemilihan waktu. Oleh karena itu, hasil-hasil ini adalah mendekati pemecahan masalah optimal global

### 3.3.1 Partial Gradient Descent<sup>[6]</sup>.

Pencarian Gradient Descent adalah suatu metode iterasi untuk menemukan beberapa optimum lokal  $f(\cdot)$ . Asumsi bahwa kita mempunyai suatu fungsi  $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  dan kita mulai dulu pencarian dalam  $(x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0)$  maka dengan nilai  $f(x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0)$  kita bisa menemukan suatu konfigurasi  $(x_1^m, x_2^m, \dots, x_n^m)$ , dimana  $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  nilai minimumnya. Untuk menemukan suatu konfigurasi

yang baru, kita dapat melakukan iterasi yang baru bisa dengan melakukan pergeseran kearah kebalikan gradient dari  $f(\cdot)$ , dimana arah gradient adalah arah yang mempunyai nilai  $f(\cdot)$  banyak atau optimum.

Dimana bahwa gradient untuk suatu fungsi  $f(\cdot)$  adalah garis vektor yang terdiri dari partial turunan dalam variable  $f$  itu adalah fungsi gradient  $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  sebagai berikut:

$$\text{Grad } f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \left[ \frac{\partial f}{\partial x_1}, \frac{\partial f}{\partial x_2}, \dots, \frac{\partial f}{\partial x_n} \right]$$

Catatan bahwa kasus yang sederhana ini dimana  $f$  hanya berisi variable tunggal  $x$ , yang gradient untuk  $f$  hanya penurunan  $x$ .

Sepanjang pencarian, jika percobaan perulangan yang baru mempunyai nilai yang besar maka kita gagal menjangkau nilai minimum. Maka untuk mengendalikan percobaan perulangan agar menuju nilai minimum/kecil kita lakukan dengan *learning rate*  $\mu$  ( $\mu = 0 \leq \mu \leq 1$ ).

Prosedur yang umum sekarang dapat ditulis sebagai berikut:

$$\begin{aligned} (x_1^1, x_2^1, \dots, x_n^1) &\leftarrow (x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0) - \mu \cdot \text{Grad}(f)(x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0) \\ (x_1^2, x_2^2, \dots, x_n^2) &\leftarrow (x_1^1, x_2^1, \dots, x_n^1) - \mu \cdot \text{Grad}(f)(x_1^1, x_2^1, \dots, x_n^1) \\ &\vdots \\ (x_1^m, x_2^m, \dots, x_n^m) &\leftarrow (x_1^{m-1}, x_2^{m-1}, \dots, x_n^{m-1}) - \mu \cdot \text{Grad}(f)(x_1^{m-1}, x_2^{m-1}, \dots, x_n^{m-1}) \end{aligned}$$

Algoritma akan berganti jika pada posisi  $(x_1^m, x_2^m, \dots, x_n^m)$  dan terus melakukan perulangan sampai tiba pada optimasi lokal. Catatan bahwa kita bisa menerima ya dan tidaknya nilai minimum bila sudah benar-benar mempunyai nilai optimasi global yaitu pada program SA.



- Contoh dengan satu variabel.

Kita ingin menentukan nilai untuk memperkecil fungsi

$$f(x) = x^4 - 5x^3 + 2x^2 - 6x + 4$$

Kita mulai dengan  $x_0 = 7$

Maka turunan dari fungsi ini adalah:

$$f'(x) = (4x^3 - 15x^2 + 4x - 6)$$

Dengan menerapkan gradient descent seperti rumus diatas dengan  $\mu = 0,01$ , maka pertama kita dapatkan:

$$x_1 \leftarrow 7 - 0,01 \cdot (4 \cdot 7^3 - 15 \cdot 7^2 + 4 \cdot 7 - 6) = 0,41$$

Dan dengan menerapkan metode secara berulang-ulang kita mendapatkan:

$$\begin{aligned} x_2 &\leftarrow 0,41 - 0,01 \cdot (4 \cdot 0,41^3 - 15 \cdot 0,41^2 + 4 \cdot 0,41 - 6) = 0,4761 \\ x_3 &\leftarrow 0,4761 - 0,01 \cdot (4 \cdot 0,4761^3 - 15 \cdot 0,4761^2 + 4 \cdot 0,4761 - 6) = 0,5474 \\ x_4 &\leftarrow 0,5474 - 0,01 \cdot (4 \cdot 0,5474^3 - 15 \cdot 0,5474^2 + 4 \cdot 0,5474 - 6) = 0,623 \\ &\vdots \\ x_n &\leftarrow \approx 3,588 \end{aligned}$$

Seperti diatas  $x_n = 3,588$  adalah dimana nilai mencapai nilai minimum dengan

$$f(x_n) = -57$$

- Contoh dengan dua variable

Sekarang kita pertimbangkan fungsi  $f(x, y) = x^2 + 2xy^2 - y^3$ , dan kita misalkan mulai dengan  $(x_0, y_0) = (1, -1)$  dimana  $f(1, -1) = 4$

Sebagai contoh sebelumnya kita merubah kedua variable  $x$  dan  $y$ , kita perlu penurunan parsial  $f(x, y)$ . Untuk menemukan penurunan parsial maka  $x$  kita turunkan dulu dan  $y$  tetap. Begitu sebaliknya untuk  $y$ .

$$\frac{\partial f}{\partial x} = 2x + 2y^2$$

$$\frac{\partial f}{\partial y} = 4xy - 3y^2$$

Untuk gradient  $f(1,-1)$  maka  $f(1,-1) = \left( \frac{\partial f}{\partial x}(1,-1), \frac{\partial f}{\partial y}(1,-1) \right) = (4,-7)$

Dengan menerapkan pencarian gradient descent dengan  $\mu = 0.01$ , kita dapatkan:

$$(x_1, y_1) \leftarrow (1,-1) - 0.01 \cdot \text{grad}f(1,-1) = (1,-1) - 0.01(4,-7) = (0.96,-0.93)$$

$$(x_2, y_2) \leftarrow (0.96,-0.93) - 0.01 \cdot \text{grad}f(0.96,-0.93)$$

$$= (0.96,-0.93) - 0.01(3.6489 - 6.1659) = (0.923502 - 0.868341)$$

$$\vdots$$

$$(x_n, y_n) \leftarrow \approx (0,0)$$

Seperti terlihat pada contoh diatas kita bisa mencapai nilai minimum lokal, minimum global dicapai dengan pertidaksamaan pembatas dalam SA.

### 3.3.2 Pengenalan Konsep Simulated Annealing<sup>[5]</sup>

Simulated Annealing (SA), secara independent diperkenalkan oleh Krikpatrick, Gela Dan Vecchi pada tahun 1982; 1983 dan Cerny pada tahun 1985. Konsep yang digunakan dalam Simulated Annealing berbasis analogi yang ada antara proses memadatkan cairan/logam pada ekulibrium dan metode optimasi combinatorial. Jika cairan/logam didinginkan secara perlahan (*annealed*), energinya cenderung secara global memberi nilai minimal lokal. Berbagai kondisi logam selama *annealing* terkait berbagai solusi nampak masalah optimasi yang menggaris bawahi, serta energi kondisi yang analogi dengan fungsi biaya solusi optimal yang nampak. Simulated Annealing memberikan penyelesaian yang layak dari masalah minimalisasi yang cocok dengan keadaan logam, dengan biaya penyelesaian yang layak sesuai dengan energi logam pada satu keadaan. Dengan memindahkan cara dengan penyelesaian yang layak dengan keadaan logam pada pendinginan secara perlahan

akan berkembang, secara global minimal dari penyelesaian dapat diraih dengan probabilitas yang tinggi.

Simulated Annealing secara fisik merujuk pada proses pemanasan benda padat pada temperatur sangat tinggi diikuti oleh pendinginan yang dicapai dengan menurunkan temperatur dari lingkungan tersebut secara bertahap. Pada masing-masing langkah temperatur dipertahankan konstan untuk periode waktu yang memadai untuk benda padat sehingga mencapai panas ekulibrium. Pada ekulibrium benda padat dapat mempunyai banyak konfigurasi, masing-masing berhubungan dengan putaran berbeda dan level energi spesifik.

Pada saat ekulibrium probabilitas dari konfigurasi tertentu,  $P_{\text{config}}$ , ditentukan oleh distribusi Boltzman :  $P_{\text{config}} = K \cdot \exp(-E_{\text{config}}/C_p)$ , dimana  $E_{\text{config}}$  adalah energi dari konfigurasi tertentu dan  $K$  adalah konstanta.

Untuk mensimulasi proses mencapai ekilibrium panas pada temperatur tetap  $C_p$ , gangguan konfigurasi benda padat diaplikasikan sehingga diperoleh konfigurasi percobaan. Misalnya  $E_c$  dan  $E_t$  menunjukkan level energi dari konfigurasi terkini dan konfigurasi percobaan. Jika  $E_c > E_t$  maka level energi lebih rendah telah tercapai, dan konfigurasi percobaan diterima menjadi konfigurasi terkini. Sebaliknya jika  $E_c \leq E_t$  maka konfigurasi percobaan diterima sebagai konfigurasi terkini dengan probabilitas  $\exp \left[ \frac{-(E_c - E_t)}{C_p} \right]$ .

Proses ini berlanjut dimana transisi pada konfigurasi level energi lebih tinggi tidak perlu ditolak. Kadang-kadang ekulibrium thermal dicapai setelah sejumlah besar gangguan, dimana probabilitas dari konfigurasi mendekati distribusi Boltzman. Dengan secara berangsur-angsur menurunkan  $C_p$  dan mengulangi lagi simulasi

tersebut, sebuah level energi lebih rendah akan dapat dicapai. Ketika  $C_p$  mendekati nol, konfigurasi energi terendah akan mempunyai probabilitas kejadian yang positif.

### 3.3.2.1 Aplikasi Simulated Annealing Terhadap Masalah Kombinasi Optimasi.

Dengan membuat analogi antara proses annealing dan masalah optimasi, maka masalah kombinasi optimasi dapat dipecahkan mengikuti prosedur transisi yang sama dari keadaan ekulibrium lainnya, mencapai energi sistem minimum. Analogi ini dapat dinyatakan sebagai berikut:

- o Solusi dalam masalah kombinasi optimasi ekuivalen dengan keadaan (konfigurasi) dari sistem fisik
- o Biaya dari solusi ekuivalen dengan energi state
- o Sebuah parameter control  $C_p$ , diperkenalkan untuk berperan pada temperatur proses Annealing.

Dalam mengaplikasikan SA, untuk memecahkan masalah optimasi kombinatorial, ide dasarnya adalah memilih solusi yang layak secara acak (random) dan kemudian mencari tetangga terhadap solusi ini. Sebuah pergerakan ke tetangga ini dilakukan jika mempunyai nilai fungsi obyektif yang lebih tinggi, apabila  $\exp(-\Delta E/C_p) \geq U(0,1)$ , dimana  $\Delta E$  adalah kenaikan nilai fungsi obyektif apabila kita bergerak ke tetangga dan bilangan  $U(0,1)$  merupakan bilangan random yang secara seragam terdistribusi antara 0 sampai dengan 1 untuk indeks titik percobaan yang berbeda pada sebuah tetangga. Bilangan ini diambil/diperoleh dari konsep distribusi Boltzman.

Bagian terpenting dari SA adalah aturan yang baik untuk menemukan tetangga yang beragam dan intensif sehingga sejumlah besar ruang solusi dapat

diselidiki. Bagian penting lainnya adalah bagaimana memilih nilai awal dari  $C_p$  dan bagaimana  $C_p$  harus turun selama pencarian.

### 3.4. Algoritma Program

#### 3.4.1 Algoritma Gradient Descent<sup>[7]</sup>

**Langkah 1 :** Memasukan data  $(x_0, \mu, x, i/k=1,2,\dots,n)$

**Langkah 2 :** Memasukan penurunan gradient vektor tiap-tiap titik dengan

$$\nabla f = \left[ \frac{\partial f}{\partial x_1}, \frac{\partial f}{\partial x_2}, \dots, \frac{\partial f}{\partial x_n} \right]$$

**Langkah 3 :** Jika  $f'(x) > 0$  dan  $\mu > 0$ , maka lanjut ke langkah 5, sebaliknya stop

**Langkah 4 :** Memasukan rumus untuk mencari nilai variable  $x$

$$x^{i+1} = x^i - \mu \nabla f(x)$$

**Langkah 5 :** Prosedur ini akan menghasilkan urutan  $f(x_1) > f(x_2) > \dots > f(x_n)$

**Langkah 6 :** Mencetak optimasi lokal

**Langkah 7 :** Selesai

#### 3.4.2 Algoritma Simulated Annealing (SA) Murni<sup>[5]</sup>

**Langkah 1 :** Masukan data dan parameter

**Langkah 2 :** Tetapkan solusi awal  $x_i$ , dengan menetapkan fungsi obyektif  $f_i=1$ .

**Langkah 3 :** Jika kondisi keseimbangan tegangan tercukupi maka ke langkah 6, jika tidak ke langkah 4

**Langkah 4 :** Menghasilkan solusi percobaan  $x_j$  sebagai tetangga dari  $x_i$  dengan mekanisme kekacauan. Dan Menentukan fungsi obyektifnya  $f_j$ .

**Langkah 5 :** Tes penerimaan: jika  $f_j \leq f_i$  diterima menjadi solusi set  $x_i = x_j$  dan

melangkah ke langkah 2. Cara lain jika  $\exp \left[ \frac{f_i - f_j}{C_p} \right] \geq U(0,1)$  set

$x_i = x_j$  dan ke langkah 2. Jika tidak langkah selanjutnya.

**Langkah 6 :** Apabila temperature didinginkan maksimal maka cetak optimasi global dan selesai, sebaliknya dinginkan temperature dan melangkah ke langkah 2.

### 3.4.3 Algoritma Perencanaan VAR Menggunakan Metode *Hybrid Partial Gradient Descent/Simulated Annealing (HPGDSA)*.<sup>[1]</sup>

Algoritma perencanaan VAR untuk pengontrolan daya reaktif dan tegangan untuk suatu kondisi tegangan disusun seperti di bawah ini:

**Langkah 1 :** Memasukkan data sistem dan parameter-parameter kontrol.

Memasukkan data sistem dan parameter-parameter kontrol seperti Data saluran, data pembebanan, data kapasitor dan temperatur (tingkat pendinginan), faktor  $K_B$  Boltzman dan parameter-parameter kontrol.

**Langkah 2 :** Menjalankan program aliran beban

Hal ini dilakukan untuk memperoleh besaran tegangan, arus, daya aktif, daya reaktif dan sudut fasa bus pada sistem daya yang diteliti.

**Langkah 3 :** Menghitung vektor gradien parsial, PGV, dari fungsi obyektif,  $f(q_{ck}$  dan  $r_k$ ) yang berhubungan dengan  $q_{ck}$  pada masing-masing bus  $k$ .

Secara teoretis,

$$PGV = \left[ \frac{\partial f}{\partial q_{c1}}, \frac{\partial f}{\partial q_{c2}}, \dots, \frac{\partial f}{\partial q_{ck}}, \dots, \frac{\partial f}{\partial q_{cn}} \right]$$

Namun, dalam perencanaan VAR,  $q_{ck}$ ,  $k = 1, 2, \dots, n$ , merupakan variabel-variabel diskrit sehingga kita menggunakan satu unit daya reaktif  $\Delta q_{ck}$  untuk memperkirakan  $\partial q_{ck}$ ,  $k = 1, 2, \dots, n$ .

Oleh karena itu, PGV dihitung seperti

$$PGV = \left[ \frac{\Delta f}{\Delta q_{c1}}, \frac{\Delta f}{\Delta q_{c2}}, \dots, \frac{\Delta f}{\Delta q_{cn}}, \dots, \frac{\Delta f}{\Delta q_{cn}} \right]$$

**Langkah 4:** FOR  $k = 1$  to  $n$  DO

IF  $PGV[k] < 0$  AND  $V_k < \bar{V}_k$  ( $V_k$  adalah batas terendah dari besaran tegangan pada bus  $k$ )

THEN tempatkan sebuah unit kapasitor pada bus  $k$

IF  $PGV[k] > 0$  AND  $V_k > V_k$  ( $V_k$  batas tertinggi dari besaran tegangan pada bus  $k$ )

THEN tempatkan unit reaktor pada bus  $k$

END DO

IF tidak ada penempatan terjadi,

THEN simpan fungsi obyektif lokal dengan menctapkan  $L = f_i$ , dan melangkah ke langkah 5.

**Langkah 5:** Menghasilkan titik nyata yang baru (satu titik yang berhubungan dengan konfigurasi pada perencanaan VAR) dengan menggunakan mekanisme kekacauan

(1) Untuk menghasilkan titik  $j$  yang baru dari titik terkini,  $i$ , menggunakan mekanisme kekacauan

(2) Periksa titiknya, dan apabila ada pelanggaran pembatasan yang diganggu, maka melangkahlah ke langkah 9. Sebaliknya, hitunglah fungsi obyektif ( $f_j$ ) dan melangkah ke langkah 6.

**Langkah 6:** IF ( $f_j \leq f_i$ )

THEN melangkah ke langkah 7

ELSE melangkah ke langkah 8

**Langkah 7:** Menerima titik-titik nyata yang baru sebagai titik terkini, dan

IF ( $f_j \leq L$ )

THEN melangkah ke langkah 9

ELSE maka melangkah ke langkah 5

**Langkah 8:** Jumlah acak  $r$  didistribusikan secara seragam pada interval  $[0,1]$  yang dipilih. Apabila  $\exp\left(\frac{f_i - f_j}{K_b T}\right) > r$ , maka melangkah ke langkah 7.

Sebaliknya, melangkah ke langkah 9.

**Langkah 9:** Apabila pergerakan diselesaikan. ( $Iter \geq IterMax$ ) maka melangkah ke langkah 10. Sebaliknya, melangkah ke langkah 5 ( $Iter + 1$ ).

**Langkah 10:** Apabila temperatur didinginkan, maka melangkah ke langkah 11.

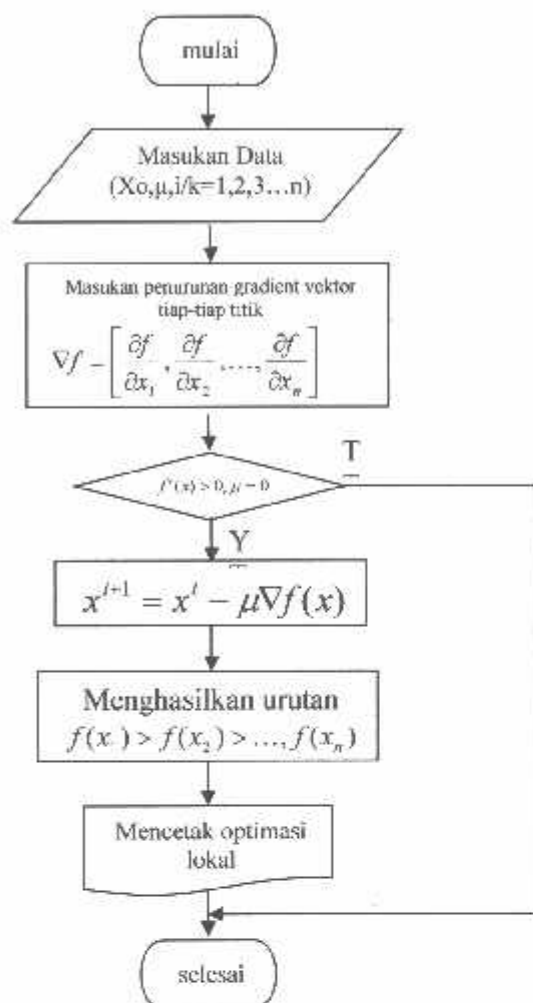
Sebaliknya, dinginkan temperatur dengan menetapkan  $T = \alpha_2(T)T$  dan ( $Iter = 0$ ) kemudian melangkah ke langkah 5.

**Langkah 11:** Mencetak pemecahan masalah optimal global.



### 3.5 Flowchart program

#### 3.5.1 Flowchart Gradient Descent

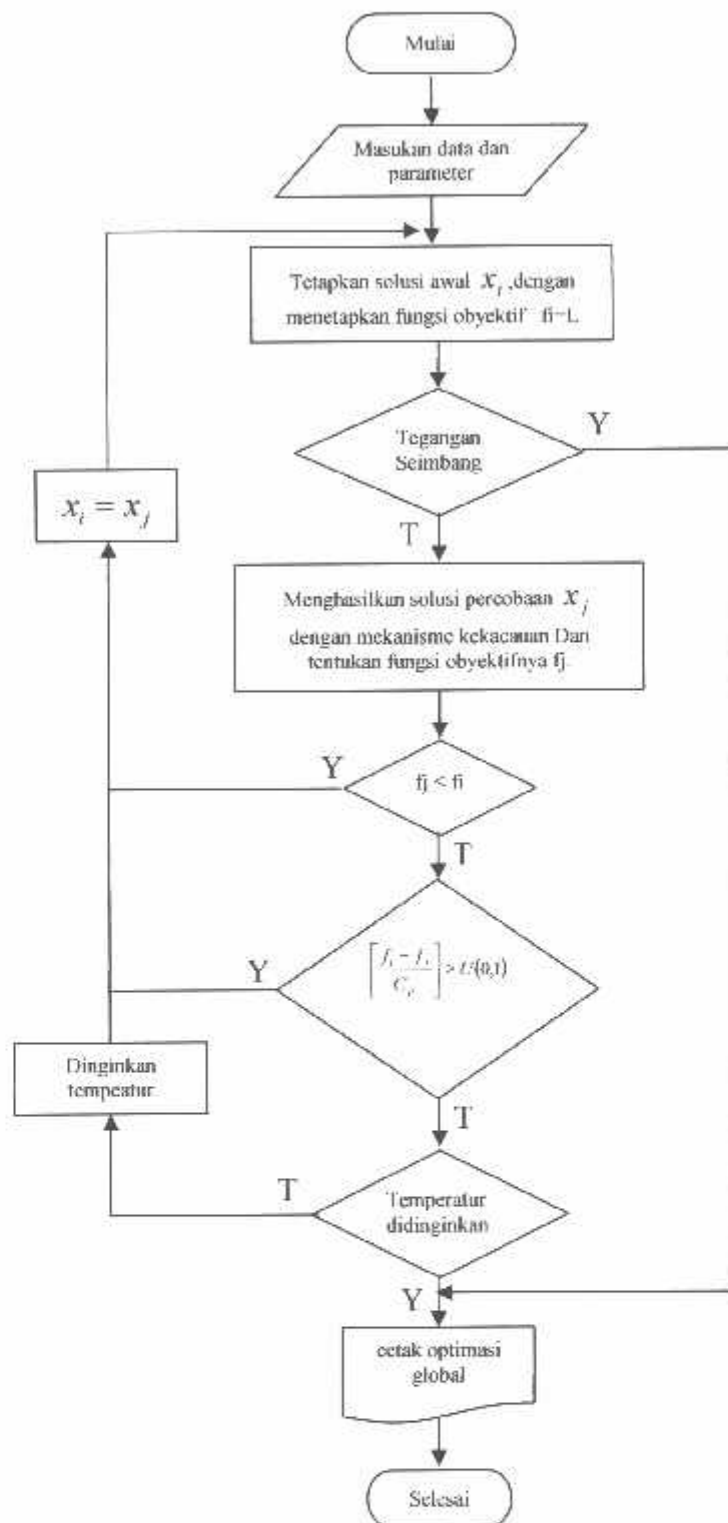


Gambar 3-1<sup>[6]</sup>

#### Flowchart Gradient Descent

Sumber : Thomas D. Nielsen, "A Very brief note about Gradient Descent Search", September 7, 2004.  
Mihaila Zavolan, "Bioinformatics II Search And Optimization Methods".

### 3.5.2 Flowchart Simulated Annealing (SA) Murni.

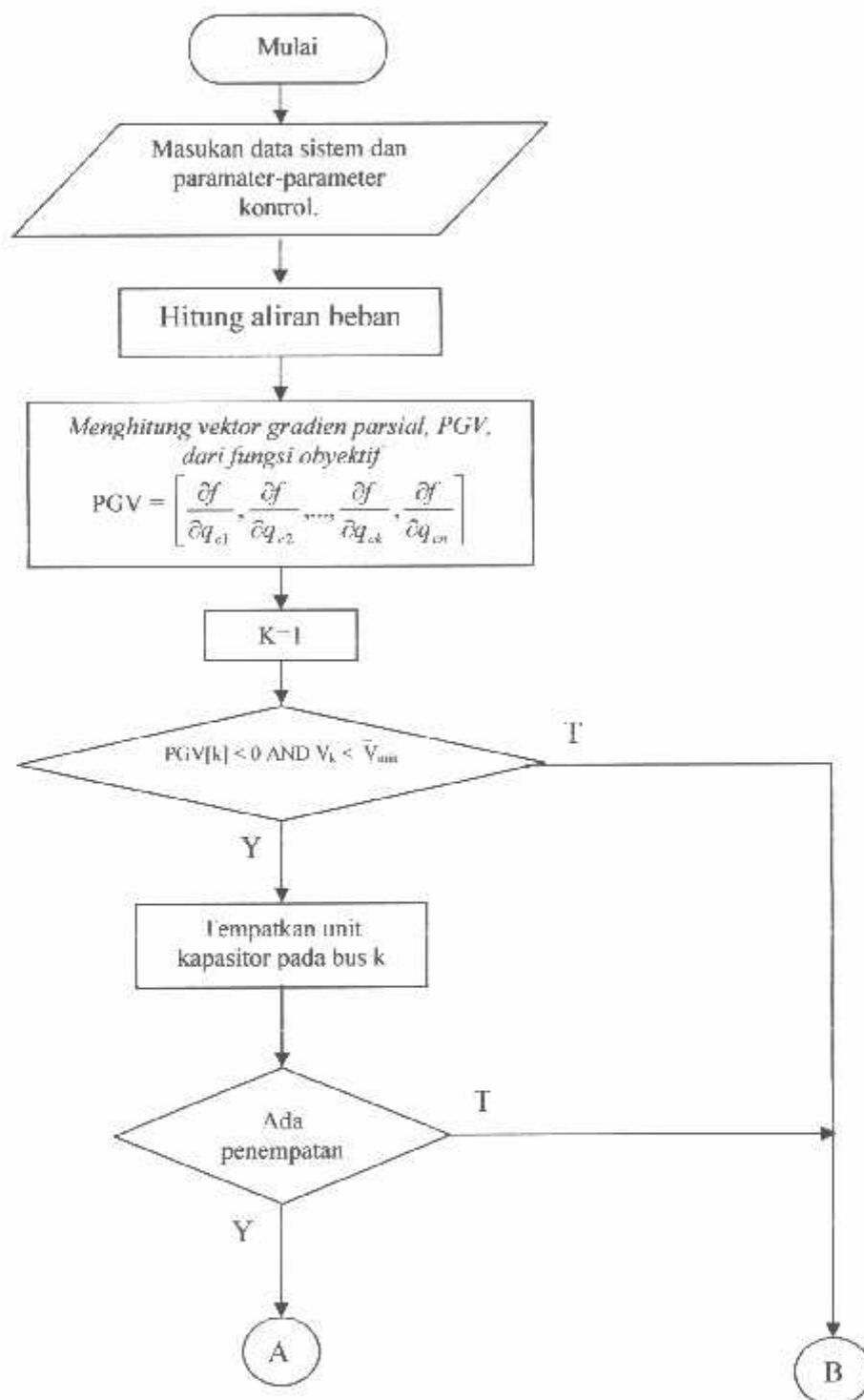


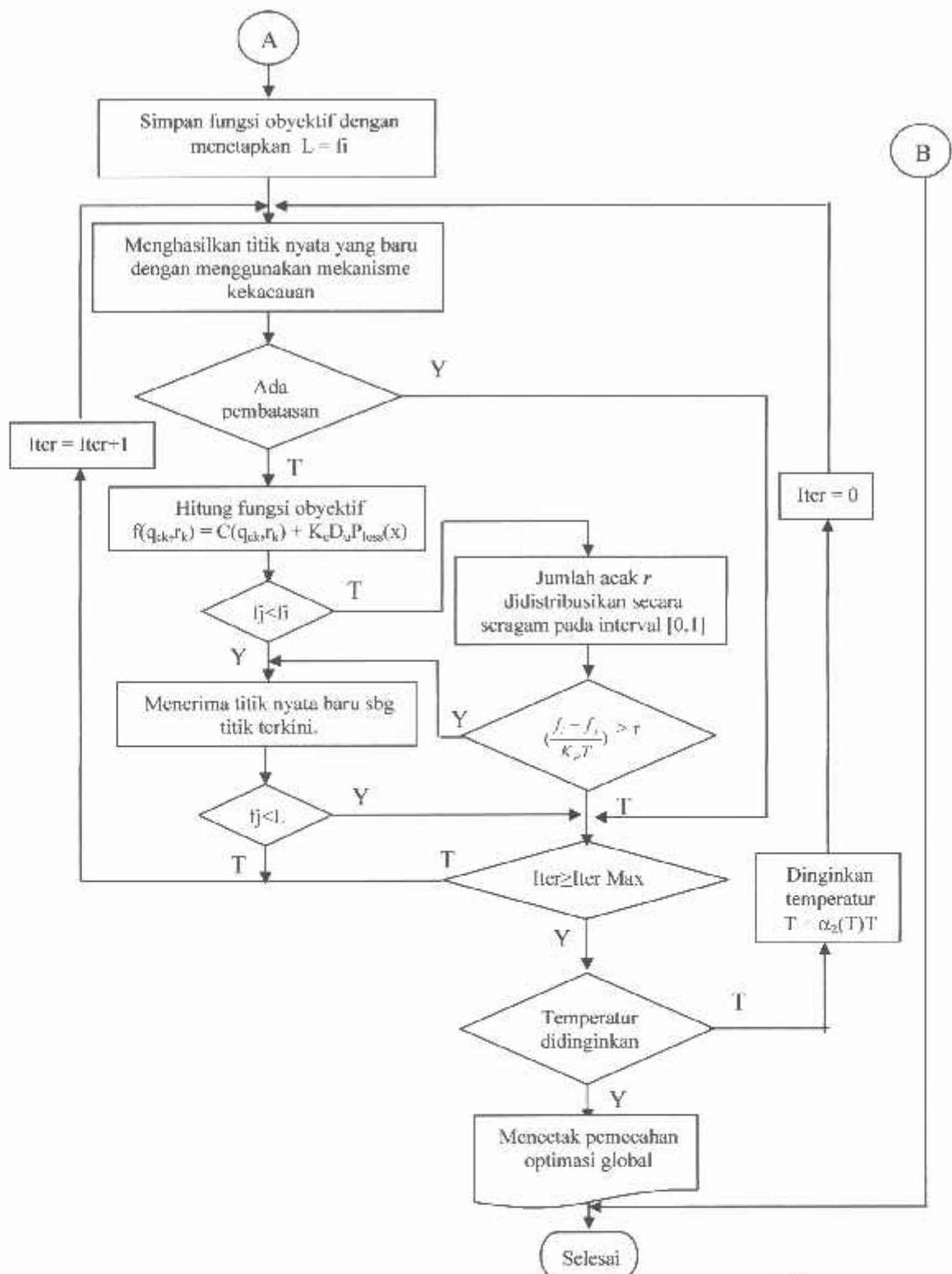
Gambar 2-2<sup>[5]</sup>

#### Flowchart Simulated Annealing

Sumber : Mihaela Zavoian, "Bioinformatics II Search And Optimization Methods".

### 3.5.3 Flowchart Metode *Hybrid Partial Gradient Descent/ Simulated Annealing (HPGDSA)*<sup>[1]</sup>





**Gambar 3-3 Flowchart Algoritma Metode (HPGDSA)<sup>[1]</sup>**

Sumber : C.W. Liu, W.S. Jwo, C.C. Liu and Y.T. Hsiao, "A Fast Global Optimization Approach to VAR Planning by HPGDSA Method for Electric Power System", IEEE Trans. On Power system, Vol. 12, No. 1, February 2002, pp 437 - 443.

## BAB IV

### ANALISIS HASIL DENGAN MENGGUNAKAN METODE *HYBRID*

#### *PARTIAL GRADIENT DESCENT/SIMULATED ANNEALING*

#### *(HPGDSA).*

#### 4.1. Program Komputer Optimasi Daya Reaktif Menggunakan Metode *Hybrid Partial Gradient Descent/Simulated Annealing (HPGDSA).*

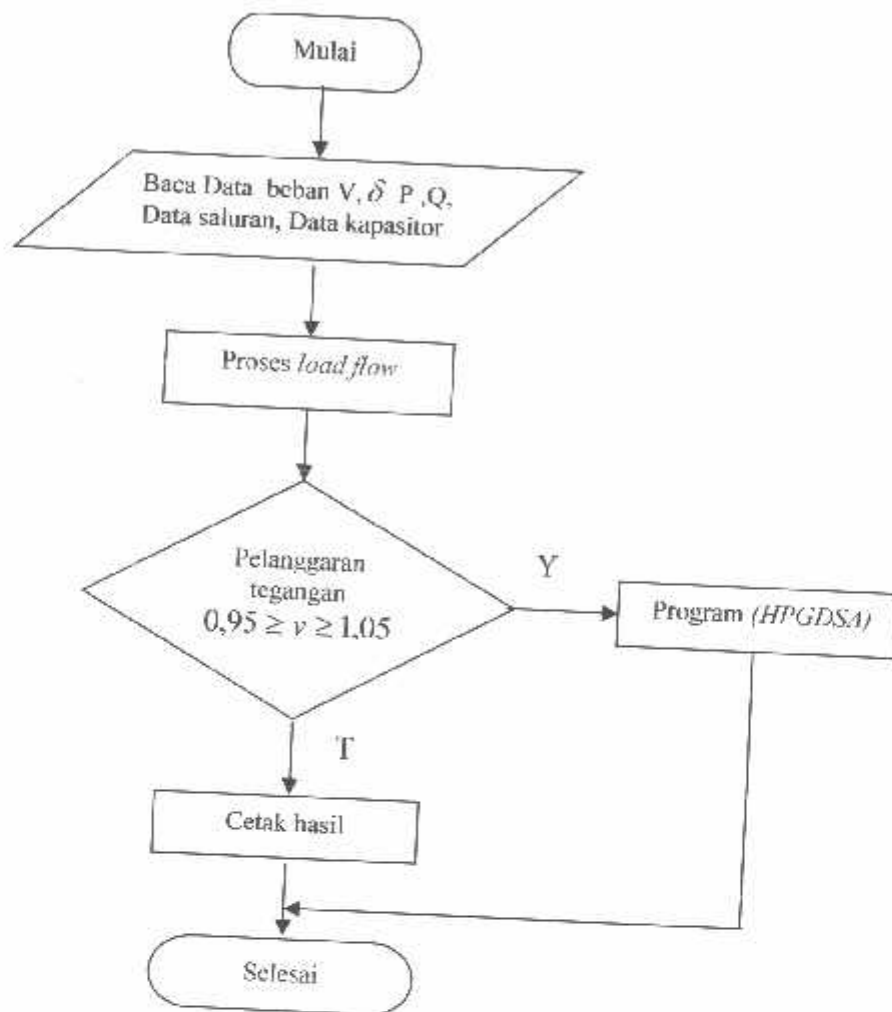
Dalam penyelesaian masalah ini diperlukan bantuan program komputer dalam perhitungan yang membutuhkan ketelitian dan keakuratan.

Program komputer dalam skripsi ini dijalankan dengan menggunakan bahasa pemrograman Borland Delphi 7.0 dan diaplikasikan pada komputer AMD Athlon XP 2.4 GHz, dengan memori 256 Mb.

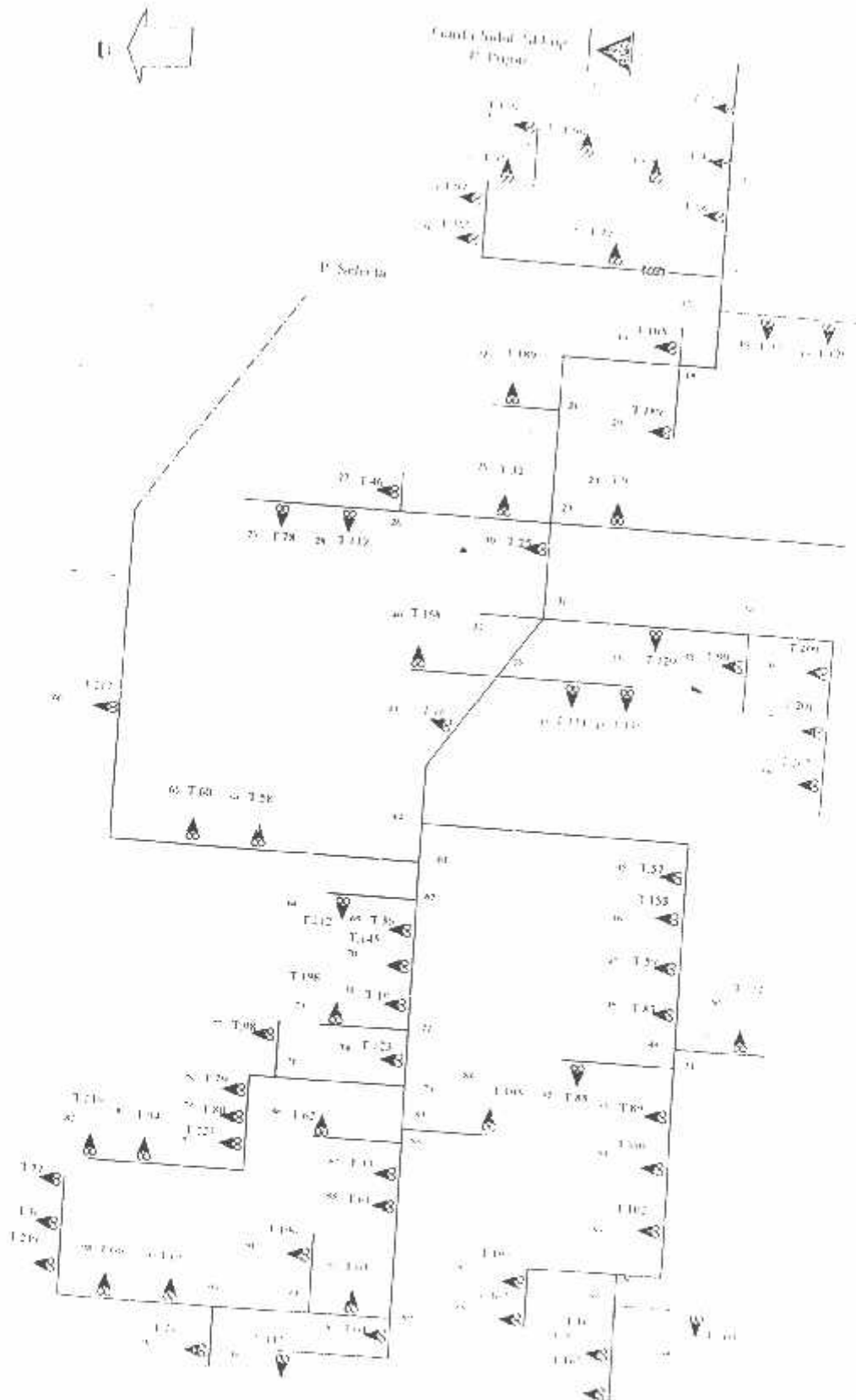
##### 4.1.1. Algoritma Program Pemecahan Masalah Secara Umum

1. Memasukkan inputan data beban yang meliputi tegangan dasar (  $V$  ), sudut fasa tegangan (  $\delta$  ), daya aktif (  $P$  ), daya reaktif (  $Q$  ), data impedansi saluran dan data kapasitor
2. Lakukan proses *load flow Newton Raphson*.
3. Kemudian mengecek apakah ada pelanggaran tegangan.
  - Jika “ Ya “, lanjutkan kelangkah 4
  - Jika “ Tidak “, lanjutkan kelangkah 5
4. Melakukan proses program metode (*HPGDSA*)
5. Cetak Hasil

#### 4.1.2. Flowchart Program Pemecahan Masalah Secara Umum



**Gambar 4-1**  
**Diagram Alir Pemecahan Masalah Secara Umum**



**Gambar 4-3. Single Line Diagram Sistem 20 kV Penyulang Pujon**  
Sumber: PT. PLN (Persero) UBD, Ja-Tim Area Pelayanan Malang GA Ratu Sub UPJ Batu

## 4.2 Data Perhitungan

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

Namun pada skripsi saya ini hanya menganalisa satu penyulang saja, yaitu pada penyulang Pujon dengan data hasil pengukuran gardu malam semester I yaitu pada bulan Januari s/d April 2004. Sistem distribusi radial GI Sengkaling memakai tegangan distribusi 20 kV. Untuk menyelesaikan perhitungan aliran daya terlebih dahulu ditetapkan *single line diagram* yang akan dianalisa. Agar memudahkan perhitungan maka digunakan sistem per-unit (pu), dimana dasar yang digunakan:

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

Selanjutnya bus-bus yang diklasifikasikan, yaitu busbar GI Sengkaling diasumsikan sebagai *slack bus*, sedangkan bus-bus yang lain sepanjang saluran radial dipandang sebagai *load bus*.

Untuk mengubah nilai impedansi saluran ke dalam satuan per-unit, maka sebelumnya harus ditentukan besarnya nilai impedansi dasar ( $Z_{\text{dasar}}$ ) yang digunakan adalah :

$$Z_{\text{dasar}} = \frac{(\text{Tegangan dasar, } kV_{LN})^2}{\text{Dasar MVA}_{\frac{1}{3}}} = \frac{20^2}{0,1} = 4000 \Omega$$

Sehingga besarnya nilai impedansi dalam satuan perunit adalah :

$$Z_{\text{pu}} = \frac{Z_{\Omega}}{4000}$$



#### 4.2.1 Data Saluran

Jaringan distribusi primer GI Sengkaling menggunakan saluran kabel udara dengan spesifikasi seperti pada tabel 4-1.

**Tabel 4-1**  
Data penyulang Sistem 20 kV GI Sengkaling

Jenis Konduktor	Penampang Nominal (mm <sup>2</sup> )	Impedansi Saluran (Ω/km)
AAAC	35	0.9127 + j 0.3790
AAAC	50	0.6452 + j 0.3678
AAAC	70	0.4608 + j 0.3572
AAAC	120	0.2688 + j 0.3376
AAAC	150	0.2162 + j 0.3305

Adapun data saluran penyulang Pujon seperti pada tabel 4-2.

**Tabel 4-2**  
Data Saluran Penyulang Pujon

Saluran	Dari Node	Ke Node	Panjang (m)
1	1	2	580.3
2	2	3	1432.6
3	3	4	863.9
4	4	5	85.4
5	5	6	683.3
6	6	7	2028.8
7	7	8	154.4
8	8	9	414.5
9	9	10	896.5
10	10	11	463.5
11	11	12	452
12	12	13	1424.5
13	13	14	1233
14	14	15	1244.8
15	15	16	90.5

Sumber : PT. PLN (Persero) UBD Ja-Tim Area Pelayanan Malang GA Batu Sub UPJ Batu  
Tabel 4-2 selanjutnya dapat dilihat pada lampiran

Dengan mengacu pada gambar single line diagram penyulang Pujon, maka didapat nilai impedansi saluran dengan cara mengalikan panjang saluran dengan

nilai impedansi urutan positif yang dimiliki penghantar AAAC yang digunakan pada saluran distribusi radial. Hasilnya dapat dilihat pada tabel 4-3.

**Tabel 4-3**  
**Hasil Impedansi Saluran Penyulang Pujon**

Saluran	Dari Node	Ke Node	Panjang (m)	Impedansi Saluran	
				R( $\Omega$ )	X( $\Omega$ )
1	1	2	580.3	0.1255	0.1918
2	2	3	1432.6	0.3097	0.4735
3	3	4	863.9	0.1868	0.2855
4	4	5	85.4	0.0185	0.0282
5	5	6	683.3	0.1477	0.2258
6	6	7	2028.8	0.4503	0.6884
7	7	8	154.4	0.0334	0.051
8	8	9	414.5	0.896	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	13	14	1233	0.2666	0.4075
14	14	15	1244.8	0.1691	0.4114
15	15	16	90.5	0.0196	0.0299

Tabel 4-3 selanjutnya dapat dilihat pada lampiran

#### 4.2.2 Data Pembebanan

Data pembebanan diperoleh dengan mengambil data dari masing-masing trafo distribusi, dimana besarnya beban pada masing-masing fasa diasumsikan seimbang. Jika besarnya pembebanan adalah nol, maka pada bus tidak terdapat trafo distribusi tetapi hanya merupakan simpul. Pada tahap ini rugi-rugi yang terjadi pada trafo distribusi diabaikan, dengan mengasumsikan faktor daya 0,86 diperoleh nilai pembebanan nilai aktif dan reaktif seperti pada tabel 4-4.

**Tabel 4-4**  
**Data Pembebanan Penyulang Pujon**

No Node	No Gardu	Kapasitas (kVA)	Beban Gardu (%)	Data Beban	
				P (kW)	Q (kVAR)
1	0	0	0	0	0
2	55	150	28	36.12	21.43
3	43	160	66	90.82	53.88
4	-	0	0	0	0
5	67	160	0	0	0
6	38	75	33	21.29	12.63
7	-	0	0	0	0
8	72	160	37	50.91	30.20
9	155	150	0	0	0
10	97	160	88	121.09	71.84
11	95	160	54	74.30	44.08
12	-	0	0	0	0
13	96	100	79	67.94	40.31
14	156	100	0	0	0
15	-	0	0	0	0

Tabel 4-4 selanjutnya dapat dilihat pada lampiran

Contoh perhitungan dilakukan pada bus no. 2 sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Kapasitas Trafo} &= 150 \text{ kVA} \\
 \text{Beban Gardu} &= 28 \% \\
 \text{Faktor Daya} &= \cos \theta = 0,86 \quad \sin \theta = 0,5102 \\
 \text{Pembebanan} &= 150 \times 28 \% = 42 \text{ kVA} \\
 \text{Beban Aktif} &= 42 \times \cos \theta = 42 \times 0,86 = 36.12 \text{ kW} \\
 \text{Beban Reaktif} &= 42 \times \sin \theta = 42 \times 0,5102 = 21.43 \text{ kVAR}
 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, perhitungan dapat dilanjutkan untuk bus – bus yang lain.

#### 4.2.3 Data Kapasitas Kapasitor dan Harga (Cost/kVAR)

Pada analisa menentukan jumlah biaya, nilai kapasitas kapasitor dan harga sudah ditentukan dalam U.S.\$. Data kapasitas kapasitor dan harga dapat dilihat pada tabel 4-5

**Tabel 4-5**  
**Data Kapasitas Kapasitor dan Harga**

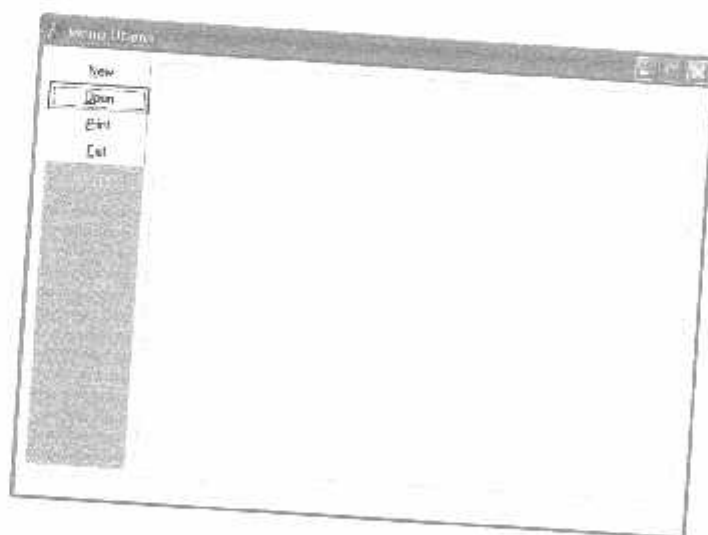
No	Kapasitas (kVAR)	Harga (\$/kVAR)
1	150	0.5000
2	300	0.3500
3	450	0.2500
4	600	0.2200
5	750	0.2000
6	900	0.1830
7	1050	0.2280
8	1200	0.1700
9	1350	0.2070
10	1500	0.2010

Tabel 4-5 selanjutnya dapat dilihat pada lampiran

### 4.3 Tampilan Program

Dalam skripsi ini penyelesaian masalah diperlukan bantuan program komputer yang dijalankan dengan menggunakan bahasa pemrograman Borland Delphi 7.0 dan diaplikasikan pada komputer AMD Athlon XP 2.4 GHz, dengan memori 256 Mb. Mengenai jalanya program ikuti prosedur program sebagai berikut:

1. Tampilan utama dari program

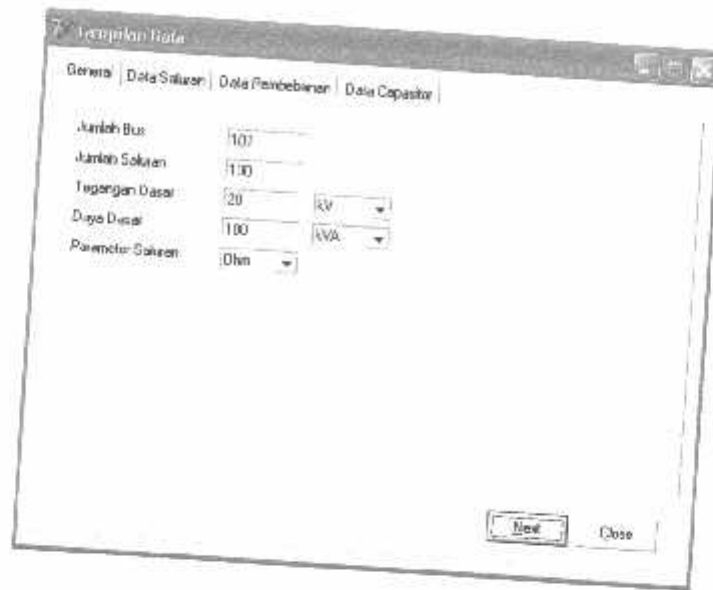


**Gambar 4-3**

### **Tampilan Utama Program**

Sumber : Data Hasil Perhitungan program BORLAND DELPHI 7.0.

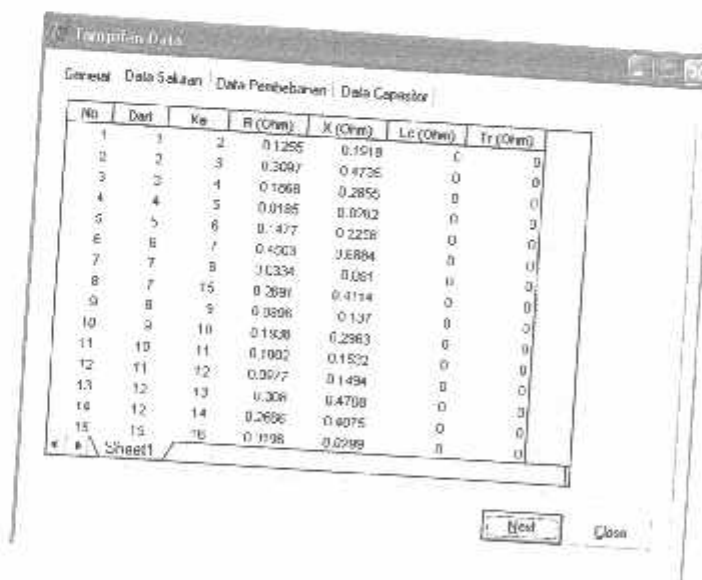
2. Tekan tombol **New** untuk memasukan data baru atau tekan **Open** untuk data yang sudah tersimpan



**Gambar 4-4**  
**Tampilan Inputan Data**

Sumber : Data Hasil Perhitungan program BORLAND DELPHI 7.0.

3. Kemudian tekan tombol **Data Saluran**



**Gambar 4-5**  
**Data Saluran**

Sumber : Data Hasil Perhitungan program BORLAND DELPHI 7.0.

4. Kemudian tekan tombol **Data Pembebanan**

**Gambar 4-6**

**Data Pembebanan**

Sumber : Data Hasil Perhitungan program BORLAND DELPHI 7.0.

5. Kemudian tekan tombol **Data Kapasitor**

**Gambar 4-7**

**Data Kapasitor**

Sumber : Data Hasil Perhitungan program BORLAND DELPHI 7.0.

6. Tekan tombol **Next** kemudian tekan tombol **LF Awal** untuk melihat hasil perhitungan tegangan, sudut tegangan dan aliran daya pada kondisi awal. Kemudian pilih **Tombol LF Awal** dan **Tombol Aliran daya**.

Bus	Alas V (pu)	Sudut (deg)	Pgen (kW)	Qgen (kVAr)	Ploss (kVAr)	Qloss (kVAr)
1	1.00000		3737.639	2314.703	0.000	0.000
2	0.98772	0.05121	0.000	0.000	35.120	21.430
3	0.98214	0.21206	0.000	0.300	50.625	53.880
4	0.98887	-0.30140	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0.98854	-0.31034	0.000	0.000	0.000	0.000
6	0.98575	0.38195	0.300	0.300	0.000	0.000
7	0.97812	-0.52963	0.000	0.000	21.290	12.550
8	0.97906	0.60101	0.000	0.000	0.000	0.000
9	0.97795	0.30440	0.000	0.000	50.910	36.200
10	0.97770	0.67155	0.000	0.000	0.000	0.000
11	0.97763	-0.61356	0.000	0.000	121.090	71.640
12	0.97750	0.61448	0.000	0.000	74.300	44.080
13	0.97751	-0.61242	0.000	0.000	67.940	40.310

**Gambar 4-8**

**Hasil Load Flow Tegangan Sebelum Optimasi**

Sumber : Data Hasil Perhitungan program BORLAND DELPHI 7.0.

No	Das	Co	P (kW)	Q (kVAr)	Ang
1	2		3737.639	2314.703	182
2	2	3	3695.495	2294.006	132
3	3	4	3089.900	2207.662	700
4	4	5	3501.620	2174.304	160
5	5	6	3680.894	2793.531	130
6	6	7	3567.742	2170.716	175
7	7	8	374.305	196.975	75
8	8	9	203.413	156.357	10
9	9	10	263.391	156.324	13
10	10	11	142.254	84.471	7
11	11	12	67.947	40.320	3
12	12	13	67.940	40.310	3

Summary Hasil

Total Pembangkitan: 3737.639+ (2314.703) kVA

Total Perbebanan: 3637.780+ (2162.690) kVA

Total Plug-Plug Sistem: 59.859+ (152.013) kVA

beres

3

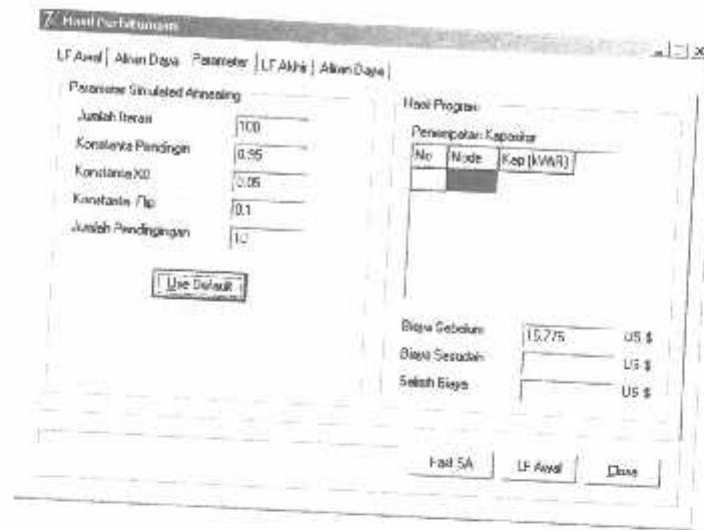
Waktu Komputasi (jaringan desk. model): 0:01:234

**Gambar 4-9**

**Hasil Aliran Daya Sebelum Optimasi**

Sumber : Data Hasil Perhitungan program BORLAND DELPHI 7.0.

7. Tekan tombol **Parameter** kemudian tekan tombol **Use Default** untuk memasukan parameter Simulated Annealing



**Gambar 4-10**  
**Data Inputan Parameter**

Sumber : Data Hasil Perhitungan program BORLAND DELPHI 7.0.

8. Tekan tombol **FastSA** untuk melihat hasil perhitungan tegangan, sudut tegangan dan aliran daya pada kondisi akhir. Kemudian pilih **Tombol LF Akhir** dan **Tombol Aliran Daya**.

Bus	Abs V (pu)	Sud V (deg)	Pgen (MW)	Dgen (KW)	Pload (KVAR)	Uload (KVAR)
1	1.0000	0.0000	711.247	474.303	0.000	0.000
2	0.99861	-0.05056	0.000	0.000	8.120	21.430
3	0.99524	-0.32417	0.000	0.000	90.520	53.880
4	0.99330	-0.45162	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0.99211	-0.47522	0.000	0.000	1.000	0.000
6	0.99159	-0.59438	0.000	0.000	21.250	12.330
7	0.99036	-0.91700	0.000	0.000	2.000	0.000
8	0.98930	-0.91934	0.000	0.000	80.910	30.700
9	0.98691	-0.52250	0.000	0.000	0.000	0.000
10	0.98577	-0.92361	0.000	0.300	0.000	0.000
11	0.98550	-0.92158	0.000	0.000	121.050	71.840
12	0.98647	-0.93249	0.000	0.000	74.300	44.080
13	0.98507	-0.93607	0.000	0.000	0.000	0.000

**Gambar 4-11**  
**Hasil Load Flow Setelah Optimasi Menggunakan Metode (HPGDSA)**

Sumber : Data Hasil Perhitungan program BORLAND DELPHI 7.0.



No	Uraian	Ka	P (kW)	Q (kVAR)	Aksi
1		3	3711.247	474.383	18%
2		3	3670.796	446.211	18%
3		4	2665.299	275.130	2%
4		5	2663.226	366.848	17%
5		6	2662.674	355.931	17%
6		7	2536.537	343.960	17%
7		8	214.333	185.573	7%
8		9	262.412	158.235	13%
9		10	202.290	196.322	13%
10		11	142.254	84.471	7%
11		12	67.947	46.030	2%
12		13	62.945	43.718	3%

**Summary Result**  
 Total Pembangkitan: 3711.247 + 2274.283 KVA  
 Total Pembebanan: 2637.780 + 2162.630 kVA  
 Total Rugi-Rugi Saluran: 7.1467 + 111.592 KVA  
 Busi: 3  
 Waktu Komputasi (termasuk delay model): 0.00219

**Gambar 4-12**  
**Hasil Aliran Daya Setelah Optimasi Menggunakan Metode (HPGDSA)**  
 Sumber : Data Hasil Perhitungan program BORLAND DELPHI 7.0 menggunakan metode HPGDSA.

9. Kemudian pilih **Parameter** untuk melihat penentuan lokasi dan kapasitas kapasitor

Parameter Simulated Annealing		Hasil Program	
Jumlah Iterasi	700	Penentuan Kapasitor	
Konstanta Pendingin	0.95	No	Prode
Konstanta N1	0.05	1	1000
Konstanta N2	0.1		
Jumlah Pendinginan	10		
<input type="button" value="Use Default"/>			
Biaya Saluran	16.776	US \$	
Biaya Servis	12.343	US \$	
Seluruh Biaya	4.434	US \$	

**Gambar 4-13**  
**Hasil Akhir Metode (HPGDSA) Dalam Menentukan Lokasi, Kapasitas Kapasitor Dan Biaya**  
 Sumber : Data Hasil Perhitungan program BORLAND DELPHI 7.0 menggunakan metode HPGDSA

#### 4.4. Analisa Perhitungan

Perhitungan optimasi daya reaktif dengan mekanisme kekacauan yaitu pemilihan letak dan kapasitas kapasitor diawali dengan studi aliran daya dengan metode *Newton Rapshon*. Dimana metode ini dibandingkan dengan metode-metode yang lain seperti Gauss-Seidel mempunyai waktu hitung konvergensi yang lebih cepat (membutuhkan waktu iterasi yang lebih sedikit). Studi aliran daya dilakukan untuk mengetahui harga tegangan dan sudut fasa di tiap - tiap *node*.

Untuk mempermudah perhitungan dan analisa pada sistem tenaga, biasanya dipakai harga - harga dalam satuan per-unit ( pu ). Satuan per - unit adalah harga yang sebenarnya dibagi dengan harga dasar. Harga dasar pada skripsi ini adalah 20 kV dan 100 kVA sebagai harga tegangan dasar dan daya dasar. Mengingat bahwa pada jaringan tidak dilakukan pengukuran faktor daya, maka pada perhitungan ini diambil harga faktor daya sebesar 0,86.

#### 4.5. Perhitungan Aliran Daya Penyulang

Perhitungan diawali dengan menampilkan *single line* diagram dari penyulang yang mewakili keadaan sistem yang sesungguhnya. Dari gambar 4-3, diperlihatkan *single line* diagram dari Penyulang Asahan. Pada penyulang ini jumlah bus dan jumlah saluran masing - masing adalah :

- *Slack Bus* = 1
- Jumlah *Bus* = 100
- Jumlah saluran = 101

Dengan mengacu pada penyulang Pujon yang memiliki 100 bus ( bus 1 sebagai referensi atau *slack* ), maka asumsi awal untuk masing - masing bus nilai tegangan adalah 1 pu dan nilai sudut fasa tegangan adalah 0°. Perhitungan terus

dilakukan sampai didapatkan hasil yang konvergen. Jika perhitungan belum mencapai nilai konvergen, maka dilakukan pengulangan dengan perkiraan nilai tegangan dan sudut fasa tegangan yang baru. Dengan menggunakan bantuan program komputer untuk analisis perhitungan dengan metode *Newton Raphson* maka dapat diperoleh nilai tegangan sebagai berikut :

**Tabel 4-6**  
**Tegangan dan Sudut Fasa Tiap Node Penyulang**  
**Pujon Sebelum dan Sesudah Optimasi**

Bus	Sebelum kompensasi		Sesudah kompensasi	
	Tegangan (pu)	Sudut fasa (deg)	Tegangan (pu)	Sudut fasa (deg)
1	1.00000	0.00000	1.00000	0.00000
2	0.99772	-0.06121	0.99861	-0.09356
3	0.99214	-0.21206	0.99524	-0.32415
4	0.99887	-0.30419	0.99330	-0.46162
5	0.98854	-0.31034	0.99311	-0.47522
6	0.98595	-0.38155	0.99158	-0.58438
7	0.97812	-0.59963	0.98698	-0.91790
8	0.97806	-0.60109	0.98693	-0.91934
9	0.97795	-0.60440	0.98681	-0.92259
10	0.97770	-0.61155	0.98657	-0.92961
11	0.97763	-0.61355	0.98650	-0.93158
12	0.97760	-0.61448	0.98647	-0.93249

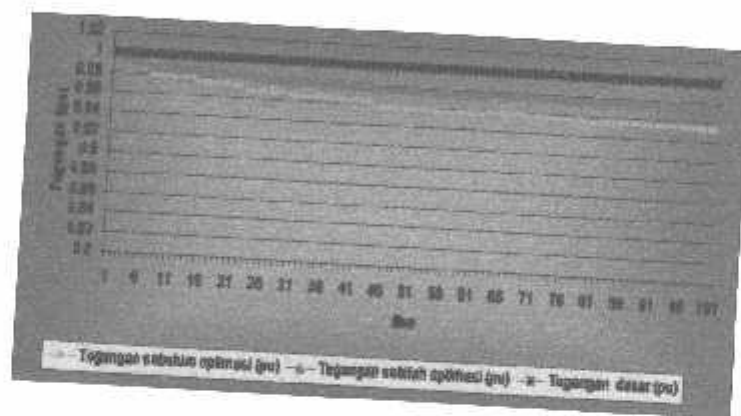
Tabel 4-6 selengkapnya dapat dilihat pada lampiran

**Tabel 4-7**  
**Arus Tiap Saluran Penyulang Pujon**  
**Sebelum dan Sesudah Optimasi**

Saluran	Sebelum kompensasi		Sesudah kompensasi	
	Arus re (A)	Arus im (A)	Arus re (A)	Arus im (A)
1-2	186.882	115.735	185.562	23.719
2-3	185.073	114.659	183.756	22.643
3-4	180.506	111.927	179.208	19.911
4-5	180.506	111.927	179.208	19.911
5-6	180.506	111.927	179.208	19.911
6-7	179.431	111.779	178.141	19.263
7-8	15.968	9.705	15.771	9.706
8-9	13.381	8.134	13.216	8.134
9-10	13.381	8.134	13.216	8.134
10-11	17.228	4.394	7.139	4.394
11-12	3.453	2.099	3.410	2.099
12-13	3.453	2.099	3.410	2.099
13-14	0.000	-0.000	-0.000	0.000

Tabel 4-7 selengkapnya dapat dilihat pada lampiran

Disini terlihat pada hasil perhitungan tegangan pada masing – masing node nilainya mengalami penurunan dari asumsi tegangan awal yang digunakan yaitu 1 pu atau 20 kV. Dari Grafik 4-1, dapat kita lihat penurunan tegangan dari asumsi tegangan awal tiap – tiap *node* masih berkisar antara -10% sampai 5%. Ini berarti tegangan masih dalam batas – batas yang diijinkan., Sebelum optimasi tegangan terendah terjadi pada *node* ke-101 sebesar 0,95260 pu atau 19,052 kV. Setelah optimasi pada *node* tersebut mengalami kenaikan menjadi 0,97296 pu atau 19,4592 kV.



**Grafik 4-1**  
**Tegangan Tiap-Tiap Node Terhadap Asumsi Tegangan Awal,**  
**Tegangan Sebelum dan Sesudah Optimasi.**

Selanjutnya hasil perhitungan yang diperoleh pada tabel 4-5 digunakan untuk menghitung besarnya aliran daya yang terjadi pada tiap – tiap saluran. Contoh perhitungan aliran dayanya adalah :

Aliran Daya dari *bus* 1 ke *bus* 2 :

$$P_{pq} + j Q_{pq} = V_p i_{pq}^*$$

$$= V_p [(V_p - V_q) y_{pq}]^*$$

$$P_{12} + j Q_{12} = V_1 i_{12}^*$$

$$\begin{aligned}
 &= V_1 [(V_1 - V_2) y_{12}]^* \\
 &= 1 \angle 0^\circ \left[ (1 \angle 0^\circ - 0,99772 \angle -0,06121^\circ) \left( \frac{1}{3,1375 \cdot 10^{-5} + j4,795 \cdot 10^{-5}} \right) \right] \times 100 \\
 &= 3737,693 + j 2314,703 \text{ kVA}
 \end{aligned}$$

Aliran Daya dari bus 2 ke bus 1 :

$$\begin{aligned}
 P_{qp} + j Q_{qp} &= V_q i_{qp}^* \\
 &= V_q [(V_q - V_p) y_{qp}]^*
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{21} + j Q_{21} &= V_2 i_{21}^* \\
 &= V_2 [(V_2 - V_1) y_{21}]^* \\
 &= 0,99772 \angle -0,06121^\circ \left[ (0,99772 \angle -0,06121^\circ - 1 \angle 0^\circ) \left( \frac{1}{3,1375 \cdot 10^{-5} + j4,795 \cdot 10^{-5}} \right) \right] \times 100 \\
 &= -3731,575 - j 2305,436 \text{ kVA}
 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama perhitungan dilanjutkan dengan bantuan program komputer, sehingga diperoleh hasil seperti pada tabel berikut ini :

**Tabel 4-8**  
**Aliran Daya Tiap Penyulang Pujon Sebelum Dan Sesudah Optimasi**

Saluran	Sebelum kompensasi		Sesudah kompensasi	
	P (kW)	Q (KVAR)	P (kW)	Q (KVAR)
1-2	3737.639	2314.703	3711.247	474.383
2-3	3695.455	2284.006	3670.735	446.241
3-4	3589.955	2207.682	3569.299	376.130
4-5	3581.529	2194.804	3563.226	366.848
5-6	3580.694	2193.531	3562.624	365.931
6-7	3552.742	2170.716	3536.532	345.960
7-8	314.335	186.575	314.333	186.573
8-9	263.413	156.357	263.412	156.355
9-10	263.391	156.324	263.390	156.322
10-11	142.254	84.411	142.254	84.411
11-12	67.947	40.320	67.947	40.320
12-13	67.945	40.318	67.945	40.318
13-14	0.000	-0.000	-0.000	0.000
14-15	3218.333	1953.453	3207.742	137.286
15-16	141.902	84.192	141.902	84.192

Tabel 4-8 selengkapnya dapat dilihat pada lampiran

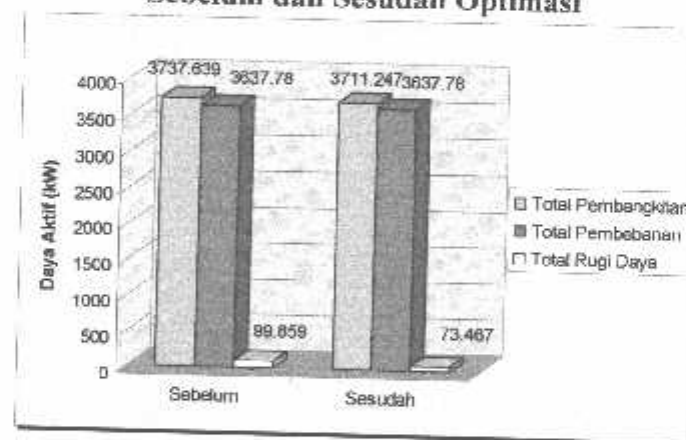
**Tabel 4-9**  
**Hasil Perhitungan Total Pembangkitan, Pembebanan, Rugi Daya Sebelum Optimasi**

Total Pembangkitan		Total Pembebanan		Total Rugi Daya	
P (kW)	Q(kVAR)	P(kW)	Q(kVAR)	P(kW)	Q(kVAR)
3737.639	2314.703	3637.780	2162.690	99.859	152.013

**Tabel 4-10**  
**Hasil Perhitungan Total Pembangkitan, Pembebanan, Rugi Daya Sesudah Optimasi**

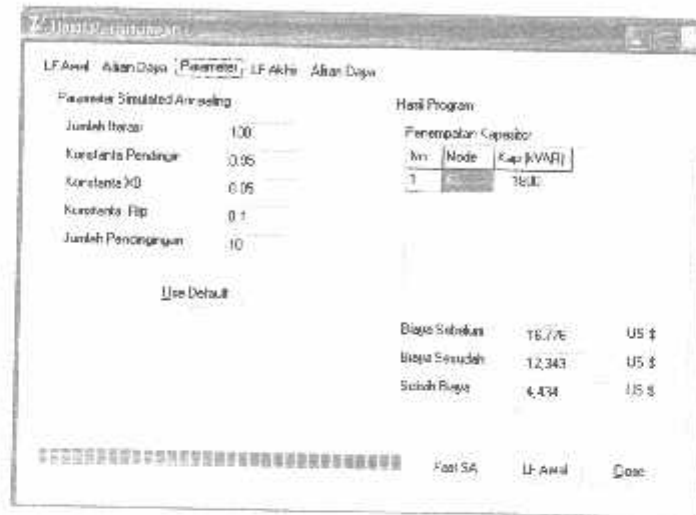
Total Pembangkitan		Total Pembebanan		Total Rugi Daya	
P (kW)	Q(kVAR)	P(kW)	Q(kVAR)	P(kW)	Q(kVAR)
3711.247	2274.383	3637.780	2162.690	73.467	111.693

**Grafik 4-2**  
**Perbandingan Total Pembangkitan, Pembebanan, Total Rugi Daya Sebelum dan Sesudah Optimasi**



Dari grafik 4-2 diatas dapat dilihat perubahan rugi daya, sebelum optimasi untuk daya aktif sebesar 99.859 kW setelah optimasi rugi daya aktif mengalami penurunan menjadi 73.467 kW dengan nilai penurunan daya aktif sebesar 26.392 kW. Untuk daya reaktif sebelum optimasi sebesar 152.013 kVAR, setelah optimasi mengalami penurunan menjadi 111.693 kVAR dengan nilai penurunan daya reaktif sebesar 40.32 kVAR.

Setelah dilakukan analisa dengan metode *Hibryd Parial Gradient Descent/Simulated Annealing (HPGDSA)*, maka diperoleh penurunan daya reaktif dan hasil letak pemasangan kapasitor, kapasitas kapasitor serta biaya dari pemasangan kapasitor tersebut. Seperti terlihat pada gambar 4-14 tampilan hasil perhitungan:



**Gambar 4-14**  
**Hasil Akhir Metode (HPGDSA) Dalam Menentukan Lokasi, Kapasitas Dan Biaya Kapasitor**

Sumber : Data Hasil Perhitungan program BORLAND DELPHI 7.0 menggunakan metode HPGDSA

**Tabel 4-11**  
**Hasil Perhitungan Total Biaya Sebelum Optimasi, Sesudah Optimasi dan Selisih**

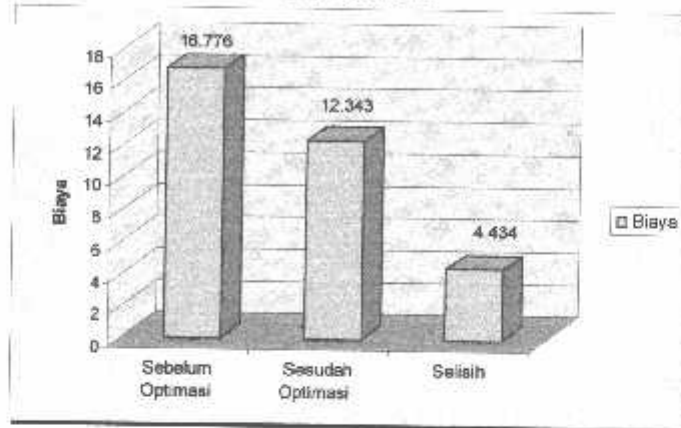
	Sebelum	Sesudah	Selisih
<b>Biaya</b>	<b>16.776</b>	<b>12.343</b>	<b>4.434</b>

Dari gambar 4-15 diatas dapat dilihat bahwa kapasitor dipasang pada node 63 dengan kapasitas yaitu sebesar 1800 kVAR.

Nilai biaya sebelum penempatan sebesar 16.776 US \$ atau Rp 167.760.000,- setelah dilakukan optimasi dengan menggunakan metode ini nilai biaya menurun menjadi sebesar 12.343 US \$ atau Rp 123.340.000,- jadi terjadi penghematan

sebesar 4.434 US \$ atau Rp 44.340.000,- atau mendapat keuntungan sebesar 26,49 % (asumsi 1 US \$ adalah Rp.10.000,-). Seperti terlihat pada Grafik 4-3.

**Grafik 4-3**  
**Perbandingan Total Biaya Sebelum Optimasi, Sesudah Optimasi dan Selisih**





## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan analisa optimasi daya reaktif dengan mekanisme kekacauan yaitu penentuan letak dan kapasitas kapasitor secara optimal global pada jaringan distribusi radial dengan menggunakan metode *Hibryd Partial Gradient Descent/Simulated Annealing (HPGDSA)*, maka dapat diambil kesimpulan :

1. Dari hasil perhitungan load flow sebelum kompensasi dengan metode *Newton Raphson* pada penyulang Pujon, tegangan yang beroperasi diluar batas yang diijinkan (0,95%-1,05%) terjadi pada bus 44-101.  
Tegangan terkecil yang terjadi sebesar 0.95260 pu, atau 19.052 kV pada bus 101, dan setelah kompensasi menjadi 0.97269 pu, atau 19.4538 kV, terjadi kenaikan sebesar 2.07%.
2. Metode *Hibryd Partial Gradient Descent/Simulated Annealing (HPGDSA)* dapat digunakan untuk optimasi daya reaktif dengan menentukan letak dan kapasitas kapasitor secara optimal global pada system distribusi radial penyulang Pujon 20 kV pada node 63 dengan kapasitas yaitu sebesar 1800 kVAR
3. Besarnya penurunan total aliran daya aktif adalah 26.392 kW dari 3737.639 kW menjadi 3711.247 kW sehingga terjadi penurunan sebesar 0.71%, sedangkan untuk total daya reaktif juga terjadi penurunan sebesar 1840.32 kVAR dari 2314.703 kVAR menjadi 474.383 kVAR sehingga terjadi penurunan sebesar 79.5%.

4. Besarnya penurunan rugi daya aktif adalah 26.392 kW dari 99.859 kW menjadi 73.467 kW sehingga terjadi penurunan sebesar 26.43%, sedangkan untuk rugi daya reaktif juga terjadi penurunan sebesar 40.32 kVAR dari 152.013 kVAR menjadi 111.693 kVAR sehingga terjadi penurunan sebesar 26.52%.
5. Biaya pembangkitan daya sebelum optimasi sebesar 16.776 US \$ atau Rp 167.760.000,- setelah dilakukan optimasi dengan menggunakan metode ini nilai biaya menurun menjadi sebesar 12.343 US \$ atau Rp 123.340.000,- jadi terjadi penghematan sebesar 4.434 US \$ atau Rp 44.340.000,- atau mendapat keuntungan sebesar 26,49 % (asumsi 1 US \$ adalah Rp.10.000) per tahun.

## 5.2. Saran

Penggunaan metode *Hybrid Partial Gradient Descent/Simulated Annealing (HPGDSA)* untuk menyelesaikan permasalahan optimasi daya reaktif (VAR) masih perlu dikembangkan lagi terhadap sistem jaringan yang lebih luas baik itu jumlah cabang, jumlah bus, saluran dan pembebanan yang lebih banyak.

---

### *Daftar Pustaka*

- [1]. C.W. Liu, W.S. Jwo, C.C. Liu and Y.T. Hsiao ,*"A Fast Global Optimazation Approach to VAR Planning by HPGDSA Method for Electric Power System"*, IEEE Trans. On Power sistem, Vol. 12, No. 1, February 2002, pp 437 – 443.
  - [2]. Hasan Basri, Ir *"Sistem Distribusi Tenaga Listrik"* , Balai Penerbit Dan Humas IST Bumi Srengseng Indah P. Minggu, Jakarta Selatan, 1996.
  - [3]. Djiteng Marsudi,*"Operasi Sistem Tenaga Listrik"*, Balai Penerbit Dan Humas ISTN 1990.
  - [4]. William D. Stevenson, *"Analisis Sistem Tenaga Listrik"*, Edisi keempat penerbit Erlangga, 1996.
  - [5]. A.H. Mantawy, Yoursef L. Abdel-Magid, Shokri Z. Zelim *"A Simulated Annealing Algoritm for Unit Commitment"* IEEE Trans On Power System, Vol. 13 No.1, February 1998 pp.197-204
  - [6]. Thomas D. Nielsen, *"A Very brief note about Gradient Descent Search"*, September 7, 2004.
  - [7]. Mihaela Zavolan, *"Bioinformatics II Search And Optimization Methods"*.
  - [8]. Shyh-Jier Huang, *"An-Immune Based Optimization Method to Capacitor Placement In a Radial Distribution System"*, IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 15, No.2, Apriel 2001.
  - [9]. S. E. Mekhamer, M. E. El-Hawary, S. A. Soliman, M. A. Moustafa, and M.M. Mansour, *" New Heuristic Strategies for Reactive Power Compensation of Radial Distribution Feeders"*, IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 17, No. 4, October 2002 pp.1128-1135
-

# LAMPIRAN

---



**BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

1. Nama : TONI SUNARSA
2. NIM : 00.12.140
3. Jurusan : Teknik Elektro S-1
4. Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
5. Judul Skripsi : **OPTIMASI PERENCANAAN VAR DENGAN  
METODE HYBRID PARTIAL GRADIENT  
DESCENT/ SIMULATED ANNEALING (HPGDSA)  
PADA SISTEM DISTRIBUSI 20 kV G.I  
SENGKALING PENYULANG PUJON.**

Dipertahankan dihadapan Majelis Penguji Skripsi Jenjang Strata Satu (S-1) pada :  
Hari : Sabtu  
Tanggal : 18 Maret 2006  
Dengan Nilai : 74,75 (B+) *hmm*



Ir. Mochtar Asroni, MSME  
Ketua

Panitia Ujian Skripsi



Ir. F Yudi Limpraptono, MT  
Sekretaris



Ir. H. Almizan Abdullah, MSEE  
Penguji Pertama

Anggota Penguji



Ir. I Made Wartana, MT  
Penguji Kedua

5 '06  
02



### LEMBAR BIMBINGAN SKRIPSI

- |                                   |  |
|-----------------------------------|--|
| 1. Nama                           | : TONI SUNARSA   |
| 2. NIM                            | : 00.12.140  |
| 3. Jurusan                        | : Teknik Elektro S-1   |
| 4. Konsentrasi                    | : Teknik Energi Listrik  |
| 5. Judul Skripsi                  | : <b>OPTIMASI PERENCANAAN VAR<br/>DENGAN METODE HYBRID<br/>PARTIAL GRADIENT<br/>DESCENT/SIMULATED<br/>ANNEALING (HPGDSA) PADA<br/>SISTEM DISTRIBUSI 20 kV G.I<br/>SENGKALING PENYULANG<br/>PUJON</b> |
| 6. Tanggal Mengajukan Skripsi     | : 04 Agustus 2005  |
| 7. Tanggal Menyelesaikan Skripsi  | : 04 Februari 2006   |
| 8. Dosen Pembimbing               | : Ir. H. CHOIRI  |
| 10. Telah dievaluasi dengan nilai | : 80 ( delapan puluh ) $\frac{80}{100}$  |

Mengetahui  
Ketua Jurusan Teknik Elektro

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

Diperiksa dan Disetujui  
Dosen Pembimbing

Ir.H. CHOIRI  
NIP : 130703042



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

---

**LEMBAR PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI**

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

Hari : Sabtu  
Tanggal : 18 Maret 2006

Telah dilakukan perbaikan oleh:

Nama : **TONI SUNARSA**  
N.I.M : 00.12.140  
Jurusan : **TEKNIK ELEKTRO**  
Konsentrasi : **ENERGI LISTRIK**  
Judul Skripsi : **OPTIMASI PERENCANAAN VAR DENGAN METODE HYBRID PARTIAL GRADIENT DESCENT/SIMULATED ANNEALING (HPGDSA) PADA SISTEM DISTRIBUSI 20 kV G.I SENGKALING PENYULANG PUJON.**

Perbaikan meliputi:

No.	Materi Perbaikan	Keterangan
1.	Harus dijelaskan untuk waktu kapan analisa ini berlaku	JH
2.	Sumber informasi biaya kapasitor harus dicantumkan	JH
3.	Sebagian flowchart untuk reaktor dihilangkan	JH
4.	Perhitungan biaya dalam kesimpulan no.5 dalam kurun waktu apa hari, minggu, bulan, tahun harus ada penjelasan.	JH

Diperiksa dan Disetujui,

Dosen Pembimbing

Ir.H. CHOIRI



**LEMBAR PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI**

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

Hari : Sabtu  
Tanggal : 18 Maret 2006

Telah dilakukan perbaikan oleh:

Nama : **TONI SUNARSA**  
N.I.M : 00.12.140  
Jurusan : **TEKNIK ELEKTRO S-1**  
Konsentrasi : **ENERGI LISTRIK**  
Judul Skripsi : **OPTIMASI PERENCANAAN VAR DENGAN METODE HYBRID PARTIAL GRADIENT DESCENT/SIMULATED ANNEALING (HPGDSA) PADA SISTEM DISTRIBUSI 20 kV G.I SENGKALING PENYULANG PUJON.**

Perbaikan meliputi:

No.	Materi Perbaikan	Keterangan
1.	Harus dijelaskan untuk waktu kapan analisa ini berlaku	
2.	Sumber informasi biaya kapasitor harus dicantumkan	
3.	Sebagian flowchart untuk reaktor dihilangkan	st
4.	Perhitungan biaya dalam kesimpulan no.5 dalam kurun waktu apa hari, minggu, bulan, tahun harus ada penjelasan.	st

Anggota Penguji

Penguji I

Ir. H. Almizan Abdullah, MSEE

Penguji II

Ir. I Made Wartana, MT





FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : Toni Sunarsa  
Nim : 00.12.140  
Masa Bimbingan : 4 Agustus 2005 - 4 Februari 2006  
Judul Skripsi : Optimasi Perencanaan VAR Dengan Metode Hybrid Partial Gradient Descent/Simulated Annealing (HPGDSA) Pada Sistem Distribusi 20 kV G.I Sengkaling Penyulang Pujon

No.	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1.	24-8-05	-revisi masalah 2-rung' & sesuaikan BAB. I dengan - reaktor shunt & hilangkan BAB. II	JH
2.	12-9-05	Konsultasi. BAB. I, II (Ace)	JH
3.	7-10-05	Konsultasi. BAB. III	JH
4.	22-11-05	Konsultasi. BAB. IV. (revisi)	JH
5.	5-12-05	Konsultasi. BAB. IV (Ace)	JH
6.	18-12-05	Konsultasi. BAB. V (Ace)	JH
7.	5-1-06	Ace. Konsultasi. masalah	JH
8.			
9.			
10.			

Malang, 18-12-2005  
Dosen Pembimbing

**Ir. H. Choiri**  
Nip : 130703042

Form.S-4b



LEMBAR PENGAJUAN JUDUL SKRIPSI  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1

Konsentrasi : Teknik Energi Listrik/Teknik Elektronika<sup>2)</sup>

1	Nama Mahasiswa : <i>Toni Surtarata</i>	Nim : <i>00-12170</i>
2	Waktu pengajuan	Tanggal : <i>29</i>
		Bulan : <i>6</i>
		Tahun : <i>2005</i>
3	Spesifikasi judul (berilah tanda silang)	
	<input checked="" type="checkbox"/> a. Sistem Tenaga Elektrik	<input type="checkbox"/> e. Elektronika & Komponen
	<input type="checkbox"/> b. Energi & Konversi Energi	<input type="checkbox"/> f. Elektronika Digital & Komputer
	<input type="checkbox"/> c. Tegangan Tinggi & Pengukuran	<input type="checkbox"/> g. Elektronika Korumikasi
	<input type="checkbox"/> d. Sistem Kendali Industr.	<input type="checkbox"/> h. lainnya
4	Konsultasikan judul sesuai materi bidang ilmu kepada Dosen *) <i>Ir. Yusuf Juwail M, MT</i>	Mengetahui, Ketua Jurusan.  Ir. F. Yadi Limpraptono, MT Nip. Y. 1039500274
5	Judul yang diajukan mahasiswa :	<i>ANALISIS PENDISTRIBUSAN OPTIMASI GLOBAL SURTA, PERENCANAAN VAR PADA SISTEM TENAGA LISTRIK DENGAN METODE HYBRID PARTIAL GRADIENT DESCENT / SIMULATED ANNEALING (HPSGA)</i>
6	Perubahan Judul yang disetujui Dosen sesuai materi bidang ilmu	<i>Optimasi Perencanaan VAR pada Sistem Tenaga Listrik dengan Metode Hybrid Partial Gradient Descent / Simulated Annealing (HPSGA)</i>
7	Catatan : <i>Studi kasus masih di survei</i>	Disetujui, <i>27-06-</i> , 200 <i>5</i> Dosen  <i>Yusuf Juwail M, MT</i>

Perhatian :

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



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL  
Jl. Bendungan Sigurgura No. 2  
MALANG

Lampiran : Satu berkas  
Perihal : **Dosen Pembimbing  
Skripsi**

Kepada : Yth. Bapak/Ibu. Ir. H. Cahidi  
Dosen Institut Teknologi Nasional  
MALANG

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Toni Sunarsa  
Nim : 00.12.140  
Semester : X  
Jurusan : Teknik Elektro S-1  
Konsentrasi : Energi Listrik

Dengan ini mengajukan permohonan, kiranya Bapak/Ibu bersedia menjadi Dosen Pembimbing Utama, untuk penyusunan Skripsi dengan judul (proposal terlampir) :

**OPTIMASI PERENCANAAN VAR PADA SISTEM TENAGA LISTRIK DENGAN METODE *HYBRID PARTIAL GRADIENT DESCENT/SIMULATED ANNEALING* (HPGDSA) PADA SUB SISTEM 150 KV PAITON DAN BALI**

Adapun Tugas tersebut sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik.

Demikian permohonan kami, atas kesediaan Bapak / ibu kami ucapkan terima kasih.

Ketua  
Jurusan Teknik Elektro S-1

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

Malang,

Hormat kami,



Toni Sunarsa  
Nim : 00.12.140



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

FERNYATAAN KESEDIAAN DALAM PEMBIMBINGAN SKRIPSI

Sesuai dengan Permohonan Mahasiswa :

Nama : Toni Sunarsa  
Nim : 00.12.140  
Semester : X  
Jurusan : Teknik Elektre S-1  
Konsentrasi : Energi Listrik

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

**OPTIMASI PERENCANAAN VAR PADA SISTEM TENAGA LISTRIK DENGAN METODE *HYBRID PARTIAL GRADIENT DESCENT/SIMULATED ANNEALING* (HPGDSA) PADA SUB SISTEM 150 kV PAITON DAN BALI**

Demikian pernyataan ini kami buat untuk dapat dipergunakan seperlunya.

Malang,  
Kami Yang Membuat Pernyataan,

Ir. H. Choiri  
NIP : 130703042

Catatan :

1. Setelah disetujui agar formulir ini diserahkan mahasiswa/i yang bersangkutan. Kepada jurusan untuk diproses lebih lanjut
2. \*) Coret yang tidak perlu



**BERITA ACARA PELAKSANAAN SEMINAR SKRIPSI  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1**

Konsentrasi : Teknik Energi Listrik/Teknik Elektronika

1	Nama Mahasiswa : <i>TOTTI SUTARNA</i>	Nim : <i>00.6190</i>		
2	Keterangan	Tanggal :	Waktu :	Tempat :
	Pelaksanaan			Ruang :
Spesifikasi judul <sup>**</sup> :				
3	a. Sistem Tenaga Elektrik	e. Elektronika & Komponen		
	b. Energi & Konversi Energi	f. Elektronika Digital & Komputer		
	c. Tegangan Tinggi & Pengukuran	g. Elektronika Komunikasi		
	d. Sistem Kendali Industri	h. lainnya .....		
4	Judul Skripsi yang diseminarkan Mahasiswa	<i>Optimasi perencanaan VAR pada sistem Tenaga listrik dengan metode Hybrid partial Gradient Descent / Simulated Annealing (HPCGSA) pada sub sistem 150KV pylon dan Boli .....</i>		
5	Perubahan Judul yang diusulkan oleh Kelompok Dosen Keahlian/Pengamat	<i>Optimasi perencanaan VAR pada sistem tenaga listrik dengan metode Hy-brid partial Gradient Descent / Simulated Annealing (HPCGSA) pada G.I. Sengkaling pylon dan Pylon sistem 20KV</i> <span style="float: right;">gradient M</span>		
6	Keputusan : Dari hasil penilaian sejumlah ..... orang dosen keahlian dan ..... orang dosen pengamat sesuai format penilaian terlampir, peserta seminar tersebut di atas (1) dengan judul Skripsi (4) dinyatakan : LULUS / TIDAK LULUS <sup>**</sup> dengan nilai kumulatif : ..... (angka) atau ..... (huruf)			
7	Persetujuan Seminar Skripsi :			
	Disetujui, Dosen Keahlian I <i>Widada PM</i>	Disetujui, Dosen Keahlian II		
	Disetujui, Dosen Pengamat I	Disetujui, Dosen Pengamat II		
	Mengetahui Ketua Jurusan  Ir. F. Yudi Limpraptono, MT Nip. Y. 1039500274	Disetujui, Dosen Pembimbing, <i>IR. H. CHOIRI</i>		

Keterangan :

<sup>\*</sup> coret yang tidak perlu

<sup>\*\*</sup> dilingkari a, b, c, ..... atau f. sesuai bidang keahlian.



PT. BNI (PERSERO) MALANG  
BANK NIAGA MALANG

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

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

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

Malang, 6 Agt. 2005

Nomor : ITN-673/ATA/2/05  
Lampiran : satu lembar  
Perihal : **BIMBINGAN SKRIPSI**

Kepada : Yth. Sdr. **Ir. H. CHOIRI**  
Dosen Institut Teknologi Nasional  
di -  
Malang

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

Nama : TONI SUNARSA  
Nim : 0012140  
Fakultas : Teknologi Industri  
Jurusan : Teknik Elektro  
Konsentrasi : T. Energi Listrik (S-1)

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

04 Agt, 2005 s/d 04 Feb 2006

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



Ketua  
Jurusan Teknik Elektro S-1

*[Signature]*  
Ir. F. Yudi Limrapiono, MT  
Nip. Y. 1039500274

Tindakan :

1. Mahasiswa yang bersangkutan
2. Arsip.

Form. S-4a



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

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

T. BNI (PERSERO) MALANG  
BANK NIAGA MALANG

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

NOMOR : ITN - 2137 /M.TA/1/05  
Lampiran : -  
Perihal : SURVEY

Tgl. 9 September 2005

Kepada : Yth. Pimpinan  
PT. PLN (Persero) P3B Region Jatim  
Jl. Suningrat No. 45  
Di - Sidoarjo

Bersama ini dengan hormat kami mohon kebijaksanaan Saudara agar Mahasiswa kami dari Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Elektro S-1 Konsentrasi Teknik Energi Listrik, dapat diijinkan untuk melaksanakan survey pada Perusahaan yang Saudara pimpin untuk mencari data data guna penyusunan skripsi dengan judul : Optimasi Perencanaan VAR Dengan Metode Hybrid Parsial Gradient Descent/Simulated Annealing (HPGDSA) Pada Sistem Distribusi 20 KV GI Sengkaling Malang

Mahasiswa tersebut adalah :

Toni Sunarsa

Nim. 00.12.140

Adapun lamanya survey ( 7 ) hari .

Demikian agar maklum can atas perhatian serta bantuannya kami ucapkan banyak terima kasih



DEKAN

Fakultas Teknologi Industri

H. Mochtar Asroni, MSME.

Nip.Y.1018100036



**PT PLN (PERSERO)**  
**PENYALURAN DAN PUSAT PENGATUR BEBAN JAWA BALI**  
**REGION JAWA TIMUR & BALI**

Jl. Suningrat No. 45 Tulinan Sidoarjo 61257

Telepon : (031) 7882113, 7882114  
 Facsimile : (031) 7882578, 7881024

Kotak Pos : 4119 SBS  
 Bagk : Bank Mandiri

Nomor : 221 /330/RJTB/2005  
 Surat Sdr. No. : ITN-2137/III.TA/1/2005  
 Lampiran : 1 ( satu ) Lampiran  
 Perihal : Ijin survey.

**19 SEP 2005**

Kepada  
 Yth. : Dekan Fakultas Teknik  
 Institut Teknologi Nasional Malang  
 di  
**MALANG**.-

Menunjuk surat Saudara Nomor : ITN - 2137/III.TA/1/2005 tanggal 09 September 2005  
 Perihal : Survey, dengan ini diberitahukan bahwa kami tidak keberatan untuk memberikan ijin kepada Mahasiswa Saudara, bernama :

**TONI SUNARSA** Nim : 00 12 140

Untuk melakukan survey pengambilan data pada PT PLN ( Persero ) P3B Region Jawa Timur dan Bali UPT. Malang, dengan persyaratan sebagai berikut :

1. Mahasiswa tersebut diatas supaya mengisi dan menanda tangani Surat Pernyataan 1 ( satu ) lembar bermaterai Rp. 6.000.-
2. Mahasiswa yang bersangkutan agar mematuhi peraturan / ketentuan yang berlaku di PT. PLN (Persero) sehingga faktor-faktor kerahasiaan harus benar-benar diutamakan.
3. Semua biaya perjalanan, penginapan, makan dan lain sebagainya tidak menjadi tanggungan PT PLN ( Persero ) P3B Region Jawa Timur dan Bali.
4. Buku Laporan survey Mahasiswa tersebut agar dikirimkan kepada PT. PLN (Persero) P3B Region Jawa Timur dan Bali 1 ( satu ) buah.
5. Untuk informasi lebih lanjut dapat menghubungi PT PLN ( Persero ) P3B Region Jawa Timur dan Bali Cq. Bidang SDM & Administrasi.

Demikian harap maklum dan terima kasih atas perhatian saudara.

*Kep. R. R. RI Penyehatan  
 bantu data yg diperlukan oleh  
 pelaksanaan survey 22 Sep 2005*

MANAGER BIDANG SDM & ADM.

*[Signature]*  
**SRI WIRATMO**

- Tembusan Yth. :
1. M. SDMO PLN P3B.
  2. M. UPT Malang
  3. Toni Sunarsa.





## SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini, saya :

Nama : TOMI SUMARSA.  
Pria/ Wanita : PRIA.  
Tempat / Tanggal lahir : MADIUN, 27-10-1981.  
Alamat / No telepon : Jl. Gajayana Gg I No. 739 JI, MALANG.  
(0241) 577469  
Pekerjaan : MAHASISWA.

Dengan ini saya menerangkan bahwa :

1. Saya bersedia dan setuju menanggung semua akibat yang ditimbulkan karena kesalahan maupun kelalaian saya dan semua akibat lainnya yang terjadi pada instalasi peralatan milik PLN selama melakukan Training/ Praktek Kerja/ Riset pada PT PLN (Persero) P3B Region Jawa Timur dan Bali, yang telah mendapat ijin dari PT PLN (Persero) P3B Region Jawa Timur dan Bali ;
2. Saya atas peringatan pertama akan membayar sepenuhnya , semua biaya yang langsung menimbulkan kerugian atau kecelakaan , karena kelalaian saya ;
3. Saya akan segera mematuhi semua petunjuk –petunjuk yang diberikan oleh Petugas PT PT PLN (Persero) P3B Region Jawa Timur dan Bali ;
4. Saya sanggup tidak membocorkan hal – hal yang bersifat rahasia perusahaan PT PLN (Persero) P3B Region Jawa Timur dan Bali dan bahan yang saya peroleh dalam Training/ Praktek Kerja/ Riset, dan tidak saya pergunakan untuk hal – hal yang dapat merugikan PT PLN (Persero) P3B Region Jawa Timur dan Bali
5. Saya sanggup menanggung sendiri segala sesuatu untuk keperluan Training/ Praktek Kerja/ Riset termasuk biaya perjalanan , penginapan makan dan sebagainya ;
6. Saya sanggup menyerahkan 1 (satu) buah buku laporan Training/ Praktek Kerja/ Riset kepada PT PLN (Persero) P3B Region Jawa Timur dan Bali, setelah saya presentasikan kepada Manager Bidang SDMAD PT PLN (Persero) P3B Region Jawa Timur dan Bali mengenai tugas Training/ Praktek Kerja/ Riset.
7. Saya tunduk dan akan mentaati semua peraturan yang berlaku di PT PLN (Persero) P3B Region Jawa Timur dan Bali, dan saya sanggup tidak meninggalkan tugas kedinasan selama Training/ Praktek Kerja/ Riset.

Mengetahui  
MANAGER BIDANG SDM & ADM.  
SRI WIRATMO

Surabaya, 17-09-2005  
Yang membuat pernyataan



# Data dan Validasi



**Tabel 4-2**  
**Data Saluran Penyulang Pujon**

Saluran	Dari Node	Ke Node	Panjang (m)
1	1	2	580.3
2	2	3	1432.6
3	3	4	863.9
4	4	5	85.4
5	5	6	683.3
6	6	7	2028.8
7	7	8	154.4
8	8	9	414.5
9	9	10	896.5
10	10	11	463.5
11	11	12	452
12	12	13	1424.5
13	13	14	1233
14	14	15	1244.8
15	15	16	90.5
16	16	17	20.4
17	17	18	3.38
18	18	19	182.2
19	19	20	402.8
20	20	21	304.3
21	21	22	293.7
22	22	23	1257.4
23	23	24	406.5
24	24	25	154.2
25	25	26	627.4
26	26	27	6.4
27	27	28	204.2
28	28	29	1145.9
29	29	30	868.2
30	30	31	141.2
31	31	32	848.8
32	32	33	272.5
33	33	34	1127.05
34	34	35	102.2
35	35	36	496.35
36	36	37	282.5
37	37	38	294.5
38	38	39	943.3
39	39	40	302.31
40	40	41	548.11
41	41	42	105.9
42	42	43	40.5
43	43	44	1653.6
44	44	45	785.2
45	45	46	335.9
46	46	47	793.2
47	47	48	571
48	48	49	365.5
49	49	50	729
50	50	51	54.10
51	51	52	121.8
52	52	53	940.35
53	53	54	1715.3
54	54	55	1192.7
55	55	56	1123.5
56	56	57	1353.3
57	57	58	1067.1
58	58	59	396.5
59	59	60	296.8
60	60	61	1095.4
61	61	62	1162.6
62	62	63	497.1
63	63	64	570.4
64	64	65	907
65	65	66	1769.8
66	66	67	135.2
67	67	68	821.6
68	68	69	110.15
69	69	70	891.3
70	70	71	603.2
71	71	72	27.3
72	72	73	233.1
73	73	74	258.7
74	74	75	198.1
75	75	76	1538.1
76	76	77	381.43
77	77	78	472
78	78	79	449.6
79	79	80	721.4
80	80	81	940.5
81	81	82	1428.3
82	82	83	322.1
83	83	84	186.4
84	84	85	98.5
85	85	86	243.9
86	86	87	205.3
87	87	88	590.3
88	88	89	856.6
89	89	90	458.3
90	90	91	1162.2
91	91	92	207.4
92	92	93	1061.5
93	93	94	1321.52
94	94	95	385.1
95	95	96	478.3
96	96	97	332.6
97	97	98	1161.5
98	98	99	100.4
99	99	100	785.8
100	100	101	285.3

Sumber : PT.PLN (Persero) UBD Ja-Tim Area Pelayanan Malang GiA Batu Sub UIPJ Batu

**Tabel 4-3**  
**Hasil Impedansi Saluran Penyulang Pujon**

Saluran	Dari Node	Ke Node	Panjang (m)	Impedansi Saluran	
				R( $\Omega$ )	X( $\Omega$ )
1	1	2	580.3	0.1255	0.1918
2	2	3	1432.6	0.3097	0.4735
3	3	4	863.9	0.1868	0.2855
4	4	5	85.4	0.0185	0.0282
5	5	6	683.3	0.1477	0.2258
6	6	7	2028.8	0.4503	0.6884
7	7	8	154.4	0.0334	0.051
8	8	9	414.5	0.896	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	13	14	1233	0.2666	0.4075
14	14	15	1244.8	0.1691	0.4114
15	15	16	90.5	0.0196	0.0299
16	16	17	20.4	0.0044	0.0067
17	17	18	338	0.0731	0.1117
18	18	19	182.2	0.049	0.0615
19	19	20	402.8	0.1083	0.136
20	20	21	304.8	0.0658	0.1006
21	21	22	293.7	0.079	0.0992
22	22	23	1257.4	0.2719	0.4156
23	23	24	406.5	0.0879	0.1344
24	24	25	154.2	0.0995	0.0567
25	25	26	627.4	0.5783	0.2378
26	26	27	6.4	0.0059	0.0024
27	27	28	204.2	0.1882	0.0774
28	28	29	1145.9	1.0562	0.4343
29	29	30	868.2	0.1877	0.2869
30	30	31	141.2	0.0305	0.0467
31	31	32	484.8	0.1835	0.2805
32	32	33	272.5	0.1758	0.1002
33	33	34	1127.05	0.7272	0.4145
34	34	35	102.2	0.0659	0.0376
35	35	36	496.35	0.1073	0.164
36	36	37	282.5	0.0611	0.0934
37	37	38	294.5	0.0637	0.0973
38	38	39	943.3	0.2039	0.3118
39	39	40	302.31	0.1951	0.1112
40	40	41	548.11	0.1185	0.1812
41	41	42	105.9	0.0229	0.035
42	42	43	40.5	0.0088	0.0134
43	43	44	1653.6	0.3575	0.5465
44	44	45	785.2	0.1698	0.2595
45	45	46	335.9	0.0726	0.111
46	46	47	793.2	0.1715	0.2622
47	47	48	571	0.1235	0.1887
48	48	49	365.5	0.079	0.1208
49	49	50	729	0.1578	0.2412
50	50	51	54.10	0.0117	0.0179
51	51	52	121.8	0.0263	0.0403
52	52	53	940.35	0.2033	0.3108
53	53	54	1715.3	0.7904	0.6127
54	54	55	1192.7	0.5496	0.426
55	55	56	1123.5	0.2429	0.3713
56	56	57	1353.3	0.2926	0.4473
57	57	58	1067.1	0.2307	0.3527
58	58	59	396.5	0.0857	0.131
59	59	60	296.8	0.0642	0.0981
60	60	61	1093.4	0.2364	0.3614
61	61	62	1162.6	0.2514	0.3842
62	62	63	497.1	0.1075	0.1643
63	63	64	570.4	0.1233	0.1885
64	64	65	907	0.1961	0.2996
65	65	66	1769.8	0.3826	0.5849
66	66	67	135.2	0.0292	0.0447
67	67	68	821.6	0.1776	0.2715
68	68	69	110.15	0.0238	0.0364
69	69	70	891.3	0.1927	0.2946
70	70	71	603.2	0.1304	0.1994
71	71	72	27.3	0.0059	0.009
72	72	73	233.1	0.0504	0.077
73	73	74	258.7	0.0559	0.0855
74	74	75	198.1	0.0428	0.0655
75	75	76	1538.1	0.3325	0.5083
76	76	77	381.43	0.0895	0.1261
77	77	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	82	83	322.1	0.0696	0.1065
83	83	84	186.4	0.0403	0.0616
84	84	85	98.5	0.0213	0.0326
85	85	86	243.9	0.0527	0.0806
86	86	87	205.3	0.444	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	91	92	207.4	0.0448	0.0686
92	92	93	1061.5	0.2295	0.3508
93	93	94	1321.52	0.8527	0.4861
94	94	95	385.1	0.2485	0.1416
95	95	96	478.3	0.3086	0.1759
96	96	97	332.6	0.2146	0.1223
97	97	98	1161.5	0.7494	0.4272
98	98	99	100.4	0.0217	0.0332
99	99	100	785.8	0.507	0.289
100	100	101	285.3	0.0841	0.1049

**Tabel 4-4**  
**Data Pembebanan Penyulang Pujon**

No Node	No Gardu	Kapasitas ( kVA )	Beban Gardu (%)	Data Beban	
				P ( kW )	Q ( kVAR )
1	0	0	0	0	0
2	55	150	28	36.12	21.43
3	43	160	66	90.82	53.88
4	-	0	0	0	0
5	67	160	0	0	0
6	38	75	33	21.29	12.63
7	-	0	0	0	0
8	72	160	37	50.91	30.20
9	155	150	0	0	0
10	97	160	88	121.09	71.84
11	95	160	54	74.30	44.08
12	-	0	0	0	0
13	96	100	79	67.94	40.31
14	156	100	0	0	0
15	-	0	0	0	0
16	31	75	48	30.96	18.37
17	126	150	66	110.94	65.82
18	-	0	0	0	0
19	105	100	61	52.46	31.12
20	189	160	47	64.67	38.37
21	-	0	0	0	0
22	188	160	44	60.54	35.92
23	-	0	0	0	0
24	9	200	80	137.6	81.63
25	32	160	49	67.42	40
26	-	0	0	0	0
27	46	160	67	92.19	54.69
28	119	75	5	3.23	1.91
29	78	250	48	103.2	61.22
30	25	75	30	19.35	11.48
31	-	0	0	0	0
32	30	160	23	31.65	18.76
33	129	160	61	83.94	49.80
34	-	0	0	0	0
35	99	100	64	55.04	32.65
36	200	100	2	1.72	1.02
37	201	25	6	1.29	0.77
38	202	25	6	1.29	0.77
39	-	0	0	0	0
40	168	25	20	4.3	2.55
41	174	160	48	66.05	39.18
42	175	160	13	17.89	10.61
43	16	160	40	55.04	32.65
44	-	0	0	0	0
45	57	150	43	55.47	32.91
46	153	160	56	77.06	45.71
47	59	100	64	55.04	32.65
48	87	100	63	54.18	32.14
49	-	0	0	0	0
50	112	100	49	42.14	25
51	-	0	0	0	0
52	88	100	35	30.1	17.86

53	89	160	65	89.44	53.06
54	101	50	58	24.94	14.8
55	102	100	82	70.52	41.84
56	-	0	0	0	0
57	103	50	103	4.43	2.63
58	167	50	79	33.97	20.15
59	-	0	0	0	0
60	104	100	41	35.26	20.92
61	166	50	38	16.34	9.69
62	213	50	78	33.54	19.9
63	-	0	0	0	0
64	58	100	37	31.82	18.88
65	60	160	73	100.45	59.59
66	217	100	14	12.04	7.14
67	-	0	0	0	0
68	212	100	16	13.76	8.16
69	36	150	78	100.62	59.69
70	145	100	50	43	25.51
71	19	160	56	77.06	45.71
72	-	0	0	0	0
73	198	100	58	49.88	29.59
74	123	150	69	89.01	52.81
75	-	0	0	0	0
76	-	0	0	0	0
77	98	100	76	65.36	38.78
78	79	160	83	114.21	67.75
79	80	75	54	34.83	20.66
80	233	50	33	14.19	8.42
81	94	100	54	46.44	27.55
82	216	100	77	66.22	39.29
83	-	0	0	0	0
84	195	160	8	11.01	6.53
85	-	0	0	0	0
86	62	250	22	47.3	28.06
87	33	250	60	129	76.53
88	61	100	66	56.76	33.67
89	-	0	0	0	0
90	64	50	64	27.52	16.33
91	147	50	27	11.61	6.89
92	63	100	32	27.52	16.33
93	-	0	0	0	0
94	196	25	62	13.33	7.91
95	-	0	0	0	0
96	197	25	64	13.76	8.16
97	5	160	74	101.82	60.41
98	66	100	60	51.6	30.61
99	219	100	46	39.56	23.47
100	76	50	90	28.7	22.96
101	77	160	85	73.1	43.37

**Tabel 4-5**  
**Data Kapasitas Kapasitor dan Harga**

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	0.1870
13	1950	0.2110
14	2100	0.1760
15	2250	0.1970
16	2400	0.1700
17	2550	0.1890
18	2700	0.1870
19	2850	0.1830
20	2000	0.1800
21	3150	0.1950
22	3300	0.1740
23	3450	0.1880
24	3600	0.1700
25	3750	0.1830
26	3900	0.1820
27	4050	0.1790

**Tabel 4-6**  
**Tegangan Dan Sudut Fasa Tiap Node Penyulang Pujon**  
**Sebelum Dan Sesudah Optimasi**

Bus	Sebelum kompensasi		Sesudah kompensasi	
	Tegangan (pu)	Sudut fasa (deg)	Tegangan (pu)	Sudut fasa (deg)
1	1.00000	0.00000	1.00000	0.00000
2	0.99772	-0.06121	0.99861	-0.09356
3	0.99214	-0.21206	0.99524	-0.32415
4	0.99887	-0.30419	0.99330	-0.46162
5	0.98854	-0.31034	0.99311	-0.47522
6	0.98595	-0.38155	0.99158	-0.58438
7	0.97812	-0.59963	0.98698	-0.91790
8	0.97806	-0.60109	0.98693	-0.91934
9	0.97795	-0.60440	0.98681	-0.92259
10	0.97770	-0.61155	0.98657	-0.92961
11	0.97763	-0.61355	0.98650	-0.93158
12	0.97760	-0.61448	0.98647	-0.93249
13	0.97750	-0.61742	0.98637	-0.93537
14	0.97760	-0.61448	0.98647	-0.93249
15	0.97385	-0.71968	0.98466	-1.10696
16	0.97384	-0.72007	0.98464	-1.10735
17	0.97383	-0.72104	0.98464	-1.10741
18	0.97274	-0.75098	0.98408	-1.15701
19	0.97273	-0.75124	0.98406	-1.15726
20	0.97271	-0.75168	0.98404	-1.15770
21	0.97178	-0.77815	0.98359	-1.20107
22	0.97176	-0.77863	0.98357	-1.20154
23	0.96791	-0.88857	0.98168	-1.38125
24	0.96785	-0.89030	0.98162	-1.38293
25	0.96781	-0.88848	0.98159	-1.38115
26	0.96745	-0.88528	0.98123	-1.37805
27	0.96744	-0.88527	0.98122	-1.37803
28	0.96738	-0.88427	0.98116	-1.37750
29	0.96703	-0.888169	0.98082	-1.37455
30	0.96560	-0.95443	0.98073	-1.49544
31	0.96523	-0.96510	0.98058	-1.51396
32	0.96520	-0.96594	0.98056	-1.51477
33	0.96515	-0.96505	0.98050	-1.51391
34	0.96500	-0.96494	0.98035	-1.51380
35	0.96498	-0.96492	0.98034	-1.51379
36	0.96499	-0.96502	0.98035	-1.51388
37	0.96499	-0.96505	0.98035	-1.51391
38	0.96499	-0.96506	0.98035	-1.51392
39	0.96293	-1.03132	0.97975	-1.63274
40	0.96293	-1.03131	0.97975	-1.63274
41	0.96288	-1.03275	0.97970	-1.63413
42	0.96288	-1.03281	0.97970	-1.63419
43	0.96283	-1.03405	0.97972	-1.63774
44	0.95905	-1.14340	0.97852	-1.83922
45	0.95852	-1.15881	0.97801	-1.85402
46	0.95832	-1.16481	0.97781	-1.95979
47	0.95790	-1.17708	0.97739	-1.87157
48	0.95763	-1.18492	0.97713	-1.87910
49	0.95748	-1.18932	0.97699	-1.88333
50	0.95745	-1.19029	0.97695	-1.88426



51	0.95746	-1.18990	0.97697	-1.88389
52	0.95746	-1.19002	0.97696	-1.88400
53	0.95715	-1.19908	0.97666	-1.89270
54	0.95649	-1.20400	0.97601	-1.89743
55	0.95608	-1.20704	0.97561	-1.90034
56	0.95593	-1.21144	0.97547	-1.90547
57	0.95588	-1.21308	0.97541	-1.90615
58	0.95584	-1.21423	0.97537	-1.90725
59	0.95590	-1.21251	0.97543	-1.90559
60	0.95589	-1.21248	0.97542	-1.90591
61	0.95584	-1.21424	0.97537	-1.90726
62	0.95580	-1.21574	0.97533	-1.90844
63	0.95825	-1.16668	0.97849	-1.89051
64	0.95816	-1.16927	0.97840	-1.89300
65	0.95805	-1.17249	0.97830	-1.89609
66	0.95803	-1.17317	0.97827	-1.89673
67	0.95803	-1.17241	0.97830	-1.89600
68	0.95804	-1.17276	0.97829	-1.89635
69	0.95789	-1.17702	0.97814	-1.90043
70	0.95670	-1.21159	0.97697	-1.93358
71	0.95592	-1.23422	0.97621	-1.95528
72	0.95589	-1.23517	0.97618	-1.95619
73	0.95587	-1.23554	0.97617	-1.95654
74	0.95559	-1.24384	0.97589	-1.96451
75	0.95538	-1.24993	0.97568	-1.97035
76	0.95481	-1.26660	0.97513	-1.98633
77	0.95478	-1.26735	0.97510	-1.98705
78	0.95467	-1.27074	0.97499	-1.99029
79	0.95459	-1.27305	0.97491	-1.99521
80	0.95450	-1.27596	0.97482	-1.99530
81	0.95438	-1.27933	0.97470	-1.99853
82	0.95428	-1.28234	0.97460	-2.00141
83	0.95516	-1.25635	0.97547	-1.97650
84	0.95516	-1.25641	0.97546	-1.97656
85	0.95509	-1.25828	0.97540	-1.97835
86	0.95508	-1.25864	0.97539	-1.97870
87	0.95496	-1.26199	0.97527	-1.98190
88	0.95468	-1.27023	0.97499	-1.98980
89	0.95431	-1.28064	0.97464	-1.99979
90	0.95429	-1.28121	0.97462	-2.00033
91	0.95428	-1.28164	0.97460	-2.00075
92	0.95423	-1.28291	0.97456	-2.00196
93	0.95386	-1.29358	0.97419	-2.01219
94	0.95382	-1.29354	0.97415	-2.01215
95	0.95359	-1.29307	0.97393	-2.01170
96	0.95357	-1.29305	0.97391	-2.01168
97	0.95336	-1.29263	0.97371	-2.01128
98	0.95285	-1.29140	0.97320	-2.01010
99	0.95283	-1.29183	0.97319	-2.01052
100	0.95265	-1.29117	0.97301	-2.00988
101	0.95260	-1.29112	0.97296	-2.00983

**Tabel 4-7**  
**Arus Tiap Saluran Penyulang Pujon Sebelum Dan Sesudah Optimasi**

Saluran	Sebelum kompensasi		Sesudah kompensasi	
	Arus re (A)	Arus im (A)	Arus re (A)	Arus im (A)
1-2	186.882	115.735	185.562	23.719
2-3	185.073	114.659	183.756	22.643
3-4	180.506	111.927	179.208	19.911
4-5	180.506	111.927	179.208	19.911
5-6	180.506	111.927	179.208	19.911
6-7	179.431	111.779	178.141	19.263
7-8	15.968	9.705	15.771	9.706
8-9	13.381	8.134	13.216	8.134
9-10	13.381	8.134	13.216	8.134
10-11	17.228	4.394	7.139	4.394
11-12	3.453	2.099	3.410	2.099
12-13	3.453	2.099	3.410	2.099
13-14	0.000	-0.000	-0.000	0.000
14-15	163.463	101.574	162.371	9.557
15-16	7.321	4.414	7.122	4.414
16-17	5.653	3.451	5.568	3.451
17-18	156.232	97.160	155.249	5.144
18-19	2.675	1.635	21.633	1.635
19-20	3.298	2.016	3.246	2.016
20-21	150.259	93.510	149.370	1.493
21-22	3.090	1.890	3.039	1.890
22-23	147.169	91.619	146.332	-0.397
23-24	7.042	4.4327	6.906	4.326
24-25	13.623	8.368	13.360	8.366
25-26	10.172	6.248	9.976	6.246
26-27	4.720	2.900	4.629	2.899
27-28	5.452	3.348	5.347	3.347
28-29	5.287	3.247	5.185	3.246
29-30	126.504	78.924	126.065	-13.089
30-31	125.512	78.313	125.094	-13.700
31-32	1.623	1.000	1.588	1.000
32-33	7.382	4.477	7.223	4.477
33-34	3.076	1.876	3.010	1.876
34-35	2.823	1.740	2.762	1.739
35-36	0.253	0.137	0.248	0.137
36-37	0.165	0.083	0.162	0.083
37-38	0.066	0.041	0.065	0.041
38-39	116.508	72.835	116.283	-19.176
39-40	0.221	0.136	0.216	0.136
40-41	4.311	2.664	4.210	2.662
41-42	0.919	0.568	0.897	0.567
42-43	111.975	70.035	111.857	-21.975
43-44	109.148	68.288	109.097	-23.721
44-45	32.107	19.961	31.226	19.942
45-46	29.248	18.186	28.446	18.169
46-47	25.277	15.720	24.584	15.705
47-48	22.440	13.957	21.824	13.943
48-49	19.646	12.221	19.107	12.209
49-50	2.173	1.351	2.113	1.350
50-51	17.473	10.870	16.994	10.859
51-52	1.552	0.965	1.510	0.964
52-53	15.921	9.905	15.484	9.895

53-54	7.036	7.036	10.997	7.029
54-55	10.201	6.235	9.745	6.239
55-56	6.380	3.970	6.204	3.966
56-57	1.983	1.234	1.929	1.233
57-58	1.754	1.091	1.706	1.090
58-59	4.397	2.736	4.276	2.733
59-60	1.821	1.133	1.771	1.132
60-61	2.576	1.603	2.505	1.601
61-62	1.732	1.078	1.684	1.077
62-63	77.042	48.327	77.871	-43.663
63-64	7.438	4.621	7.227	4.617
64-65	5.798	3.602	5.633	3.599
65-66	0.621	0.385	0.603	0.385
66-67	69.603	43.706	67.610	43.648
67-68	0.709	0.440	0.689	0.440
68-69	68.894	43.266	66.921	43.208
69-70	63.707	40.043	61.882	39.988
70-71	61.488	38.662	59.726	38.609
71-72	57.510	36.185	55.861	36.135
72-73	2.575	1.604	2.502	1.602
73-74	54.935	34.581	53.360	34.533
74-75	50.339	31.718	48.895	31.672
75-76	17.635	10.999	17.130	10.985
76-77	3.377	2.106	3.280	2.104
77-78	14.258	8.893	13.850	8.882
78-79	8.356	5.212	8.117	5.206
79-80	6.556	4.090	6.369	4.085
80-81	5.823	3.633	5.656	3.628
81-82	3.423	2.135	3.325	2.133
82-83	32.704	20.719	31.764	20.687
83-84	0.569	0.354	0.552	0.354
84-85	32.136	20.365	31.212	20.333
85-86	2.443	1.523	2.374	1.521
86-87	29.692	18.842	28.838	18.812
87-88	23.028	14.687	22.365	14.662
88-89	20.095	12.858	19.515	12.835
89-90	2.023	1.262	1.965	1.261
90-91	0.600	0.375	0.583	0.374
91-92	18.072	11.596	17.551	11.575
92-93	16.650	10.708	16.169	10.688
93-94	0.689	0.430	0.670	0.430
94-95	15.961	10.278	15.499	10.258
95-96	0.712	0.444	0.691	0.443
96-97	15.249	9.834	14.808	9.815
97-98	9.982	6.546	9.692	6.531
98-99	7.311	4.879	7.098	4.866
99-100	5.263	3.601	5.109	3.590
100-101	3.785	2.362	3.676	2.359

**Tabel 4-8**  
**Aliran Daya Tiap Penyulang Pujon Sebelum Dan Sesudah Optimasi**

Saluran	Sebelum kompensasi		Sesudah kompensasi	
	P (kW)	Q (kVAR)	P (kW)	Q (kVAR)
1-2	3737.639	2314.703	3711.247	474.383
2-3	3695.455	2284.006	3670.735	446.241
3-4	3589.955	2207.682	3569.299	376.130
4-5	3581.529	2194.804	3563.226	366.848
5-6	3580.694	2193.531	3562.624	365.931
6-7	3552.742	2170.716	3536.532	345.960
7-8	314.335	186.575	314.333	186.573
8-9	263.413	156.357	263.412	156.355
9-10	263.391	156.324	263.390	156.322
10-11	142.254	84.411	142.254	84.411
11-12	67.947	40.320	67.947	40.320
12-13	67.945	40.318	67.945	40.318
13-14	0.000	-0.000	-0.000	0.000
14-15	3218.333	1953.453	3207.742	137.286
15-16	141.902	84.192	141.902	84.192
16-17	110.940	65.820	110.940	65.820
17-18	3066.465	1854.023	3058.721	42.210
18-19	52.460	31.121	52.460	31.121
19-20	64.672	38.372	64.672	38.372
20-21	2946.858	1780.749	2939.826	-29.978
21-22	60.541	35.921	60.541	35.921
22-23	2884.256	1741.677	2877.816	-68.144
23-24	137.606	81.638	137.606	81.639
24-25	266.196	157.888	266.192	157.886
25-26	198.751	117.874	198.747	117.872
26-27	92.190	54.690	92.190	54.690
27-28	106.478	63.150	106.477	63.149
28-29	103.241	61.237	103.240	61.236
29-30	2472.282	1489.660	2468.196	-316.569
30-31	2448.759	1471.801	2445.831	-332.657
31-32	31.651	18.781	31.651	18.781
32-33	143.933	84.023	143.933	84.023
33-34	59.980	35.650	59.980	35.216
34-35	55.041	32.650	55.041	32.650
35-36	4.930	2.560	4.930	2.560
36-37	3.210	1.540	3.210	1.540
37-38	1.290	0.770	1.290	0.770
38-39	2272.508	1367.975	2269.765	-436.201
39-40	4.300	2.550	4.300	2.550
40-41	83.943	49.795	83.943	49.795
41-42	17.890	10.610	17.890	10.610
42-43	2180.415	1309.744	2178.690	-492.876
43-44	2125.222	1276.860	2123.535	-525.700
44-45	623.356	370.512	623.319	370.462
45-46	5673643	337.231	567.616	337.196
46-47	490.497	291.389	490.473	291.359
47-48	435.305	258.507	435.287	258.486
48-49	381.039	226.235	381.024	226.220
49-50	42.141	25.002	42.141	25.002
50-51	338.855	201.169	338.843	201.156
51-52	30.100	17.860	30.100	17.860
52-53	308.750	183.301	308.738	183.289

53-54	219.239	130.132	219.229	130.124
54-55	194.159	115.223	194.155	115.219
55-56	123.562	73.324	123.561	73.322
56-57	38.403	22.784	38.402	22.784
57-58	33.971	20.152	33.971	20.151
58-59	85.146	50.519	85.146	50.519
59-60	35.260	20.920	35.260	20.920
60-61	49.883	29.595	49.883	29.595
61-62	33.541	19.902	33.541	19.902
62-63	1495.940	897.289	1495.760	-902.974
63-64	144.329	85.639	144.328	85.638
64-65	112.499	66.744	112.499	66.744
65-66	12.040	7.140	12.040	7.140
66-67	1350.722	810.291	1350.575	810.079
67-68	13.760	8.160	13.760	8.160
68-69	1336.765	801.829	1336.626	801.629
69-70	1235.987	741.898	1235.855	741.708
70-71	1191.896	714.720	1191.809	714.599
71-72	1114.148	667.958	1114.089	667.880
72-73	49.880	29.591	49.880	29.591
73-74	1064.240	636.326	1064.183	638.250
74-75	974.995	585.156	974.947	585.094
75-76	341.457	202.757	341.449	202.744
76-77	65.361	38.782	65.361	38.782
77-78	275.952	163.755	275.950	163.751
78-79	161.713	95.961	161.712	95.959
79-80	126.874	75.287	126.873	75.285
80-81	112.675	66.852	112.674	66.851
81-82	66.225	39.288	66.225	39.287
82-83	633.386	382.167	633.253	382.129
83-84	11.010	6.530	11.010	6.530
84-85	622.272	375.478	622.243	375.445
85-86	47.300	28.061	47.300	28.061
86-87	574.941	347.370	574.913	347.340
87-88	445.886	270.756	445.861	270.729
88-89	389.030	236.940	389.009	236.920
89-90	39.131	23.221	39.131	23.221
90-91	11.610	6.890	11.610	6.890
91-92	349.794	213.558	349.778	213.544
92-93	322.254	197.196	322.238	197.184
93-94	13.331	7.910	13.331	7.910
94-95	308.833	189.149	308.821	189.142
95-96	13.760	8.160	13.760	8.160
96-97	294.983	180.938	294.975	180.933
97-98	193.093	120.487	193.087	120.484
98-99	141.386	89.816	141.385	89.816
99-100	101.824	66.344	101.823	66.343
100-101	73.104	43.372	73.104	43.372

## Validasi

Data yang digunakan untuk validasi program diambil dari data Penyulang Pujon Sumber : PT. PLN (Persero) UBD Ja-Tim Area Pelayanan Malang GA Batu Sub UPJ Batu . Data disini digunakan untuk membandingkan total rugi-rugi antara program OpfImmuneA dan HPGDSA. Dengan jumlah bus 101 dan saluran 100. Data saluran, pembebanan dan hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel terlampir:

**Data Impedansi Saluran**

Saluran	Dari Node	Ke Node	Panjang (m)	Impedansi Saluran	
				R( $\Omega$ )	X( $\Omega$ )
1	1	2	580.3	0.1255	0.1918
2	2	3	1432.6	0.3097	0.4735
3	3	4	863.9	0.1868	0.2855
4	4	5	85.4	0.0185	0.0282
5	5	6	683.3	0.1477	0.2258
6	6	7	2028.8	0.4503	0.6884
7	7	8	154.4	0.0334	0.051
8	8	9	414.5	0.896	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	13	14	1233	0.2666	0.4075
14	14	15	1244.8	0.1691	0.4114
15	15	16	90.5	0.0196	0.0299

**Data Pembebanan Penyulang Pujon**

No Node	No Gardu	Kapasitas (kVA)	Beban Gardu (%)	Data Beban	
				P (KW)	Q (KVAR)
1	0	0	0	0	0
2	55	150	28	36.12	21.43
3	43	160	66	90.82	53.88
4	-	0	0	0	0
5	67	160	0	0	0
6	38	75	33	21.29	12.63
7	-	0	0	0	0
8	72	160	37	50.91	30.20
9	155	150	0	0	0
10	97	160	88	121.09	71.84
11	95	160	54	74.30	44.08
12	-	0	0	0	0
13	96	100	79	67.94	40.31
14	156	100	0	0	0
15	-	0	0	0	0

**Perbandingan Tegangan Dan Sudut Fasa Tiap Node Validasi  
Sesudah Optimasi Antara Metode HPGDSA Dengan Metode Immune Algorithm**

Bus	Metode HPGDSA		Metode Immune Algorithm	
	Tegangan (pu)	Sudut fasa (deg)	Tegangan (pu)	Sudut fasa (deg)
1	1.00000	0.00000	1.00000	0.00000
2	0.99861	-0.09356	0.99817	-0.07786
3	0.99524	-0.32415	0.99371	-0.26979
4	0.99330	-0.46162	0.99111	-0.38402
5	0.99311	-0.47522	0.99111	-0.38402
6	0.99158	-0.58438	0.98905	-0.47480
7	0.98698	-0.91790	0.98284	-0.75256
8	0.98693	-0.91934	0.98278	-0.75445
9	0.98681	-0.92259	0.98262	-0.75892
10	0.98657	-0.92961	0.98237	-0.76600
11	0.98650	-0.93158	0.98230	-0.76798
12	0.98647	-0.93249	0.98227	-0.76890
13	0.98637	-0.93537	0.98217	-0.77181
14	0.98647	-0.93249	0.98227	-0.76890
15	0.98466	-1.10696	0.97970	-0.90480
16	0.98464	-1.10735	0.97968	-0.90518

**Perbandingan Arus Tiap Saluran Validasi Sesudah Optimasi Antara Metode  
HPGDSA Dengan Metode Immune Algorithm**

Saluran	Metode HPGDSA		Metode Immune Algorithm	
	Arus re (A)	Arus im (A)	Arus re (A)	Arus im (A)
1-2	185.562	23.719	186.593	69.017
2-3	183.756	22.643	184.785	67.941
3-4	179.208	19.911	180.228	65.209
4-5	179.208	19.911	0.000	0.000
5-6	179.208	19.911	180.228	65.209
6-7	178.141	19.263	179.157	64.562
7-8	15.771	9.706	21.002	13.146
8-9	13.216	8.134	18.432	11.575
9-10	13.216	8.134	13.296	8.131
10-11	7.139	4.394	7.182	4.393
11-12	3.410	2.099	3.431	2.099
12-13	3.410	2.099	4.431	2.099
13-14	-0.000	0.000	0.000	0.000
14-15	162.371	9.557	158.155	51.416
15-16	7.122	4.414	7.173	4.411

**Perbandingan Aliran Daya Tiap Validasi Sesudah Optimasi Antara Metode HPGDSA Dengan Metode Immune Algorithm**

Saluran	Metode HPGDSA		Metode Immune Algorithm	
	P (KW)	Q (KVAR)	P (KW)	Q (KVAR)
1-2	3711.247	474.383	3737.858	1380.384
2-3	3670.735	446.241	3690.771	1351.327
3-4	3569.299	376.130	3587.946	1279.093
4-5	3563.226	366.848	0.000	0.000
5-6	3562.624	365.931	3581.084	1268.606
6-7	3536.532	345.960	3554.369	1247.681
7-8	314.333	186.573	416.186	352.962
8-9	263.412	156.355	365.256	222.731
9-10	263.390	156.322	263.391	156.323
10-11	142.254	84.411	142.254	84.411
11-12	67.947	40.320	67.947	40.320
12-13	67.945	40.318	67.945	40.318
13-14	-0.000	0.000	0.000	0.000
14-15	3207.742	137.286	3121.852	969.754
15-16	141.902	84.192	141.902	84.192

**Perbandingan Hasil Perhitungan Setelah Optimasi Antara Metode HPGDSA Dengan Metode Immune Algorithm**

	Metode HPGDSA	Metode Immune Algorithm
<b>Total Pembangkitan</b>	3711.247+j2274.383	3731.858+ j2280.348
<b>Total Pembebanan</b>	3637.780+j2162.690	3637.780+ j2162.690
<b>Total Rugi-rugi</b>	73.467+j111.693	94.078- j 117.658
<b>Kompensasi</b>	Node 63 (1800)	Node 29 (300)
		Node 68 (300)
		Node 71 (300)
<b>V<sub>max</sub>(pu)</b>	0.99861	0.99817
<b>V<sub>min</sub>(pu)</b>	0.97296	0.98239
<b>Biaya</b>	4.434	20.455

Dapat dilihat bahwa total rugi – rugi daya sebelum dan setelah optimasi dengan metode Immune Algorithm OpfImmuneA adalah 117.458+j146.361 kVAR dan setelah optimasi adalah 94.078+j117.658 kVAR dengan tiga penempatan kapasitor, maka lebih bagus nilai total rugi – rugi daya sebelum dan setelah optimasi dengan metode HPGDSA adalah 99.859+j152.013 kVAR dan 73.467+j111.693 kVAR. Dengan metode Immune Algorithm total selisih biaya adalah 20.455 US \$, sedangkan dengan metode HPGDSA lebih menguntungkan/ekonomis dengan total selisih biaya adalah 4.434 US \$.



# Listing Program

---

```

unit uObjFunc;

interface

uses uLoadflow,uNewtonRaphson,uRandom;

type
  TCapa=record
    cap,harga:double;
  end;

  TCapaArr1=array of TCapa;

  TAllele=record
    posisi,noCap:integer;
  end;

  TChromosome=array of TAllele;

  TIndividu=record
    chrom:TChromosome;
    fitness:double;
  end;

  TObjFunc=class
  private
    FNcap,FLength:integer;
    FKp:double;
    FCap:TCapaArr1;
    FRandom:TRandomu;
    function FindCostCap(const rCap:double):double;
    function FindNoBusBack(const rStart:integer):integer;
    function FindNoBusForward(const rStart:integer):integer;
    procedure doChangeChrom1(var rChrom:TChromosome);
    procedure doChangeChrom2(var rChrom:TChromosome);
  public
    constructor Create(const rLength:integer;
      const rKp:double;
      const rCap:TCapaArr1);
    destructor Destroy;override;
    function getRandomChrom:TChromosome;
    function getNeighborChrom(const rChrom:TChromosome):TChromosome;
    function doHitungObjFunc(const rChrom:TChromosome):double;
    function FindNoCap(const rCap:double):integer;
    property Kp:double read FKp write FKp;
    property Ncap:integer read FNcap write FNcap;
  end;

var gObjFunc:TObjFunc;

```

---

implementation

```
constructor TObjFunc.Create(const rLength:integer;
    const rKp:double;
    const rCap:TCapaArr1);
var i:integer;
begin
    FLength:=rLength;
    FNcap:=high(rCap)+1;
    FKp:=rKp;
    SetLength(FCap,FNcap);
    for i:=0 to FNcap-1 do
        begin
            FCap[i].cap:=rCap[i].cap;
            FCap[i].harga:=rCap[i].harga;
        end;
    FRandom:=TRandomu.Create;
end;

destructor TObjFunc.Destroy;
begin
    try
        FRandom.Free;
    finally
        inherited Destroy;
    end;
end;

//data processing
function TObjFunc.FindCostCap(const rCap:double):double;
var i:integer;
begin
    result:=0;
    for i:=0 to FNcap-1 do
        begin
            if rCap=FCap[i].cap then
                begin
                    result:=FCap[i].cap*FCap[i].harga;
                    break;
                end;
        end;
    end;
end;

function TObjFunc.FindNoBusBack(const rStart:integer):integer;
var i,ja:integer;
begin
    result:=1;
    if rStart=1 then
        begin
            result:=-1;
        end;
end;
```

---

```

end
else
begin
  for i:=0 to high(gBranch) do
  begin
    ia:=gBranch[i].ke;
    if ia=rStart then
    begin
      result:=gBranch[i].dari;
      break;
    end;
  end;
end;
end;
end;

function TObjFunc.FindNoBusForward(const rStart:integer):integer;
var i,ia,Nbus:integer;
begin
  result:=1;
  Nbus:=high(gBus)+1;
  if rStart=Nbus then
  begin
    result:=-1;
  end
  else
  begin
    for i:=0 to high(gBranch) do
    begin
      ia:=gBranch[i].dari;
      if ia=rStart then
      begin
        result:=gBranch[i].ke;
        break;
      end;
    end;
  end;
end;
end;

procedure TObjFunc.doChangeChrom1(var rChrom:TChromosome);
var sa,pos,posMove:integer;
    Back:boolean;
begin
  sa:=FRandom.NextInt(1,FLength)-1;
  pos:=rChrom[sa].posisi;
  Back:=FRandom.NextBoolean(0.5);
  if Back=true then
  begin
    posMove:=FindNoBusBack(pos);
    if posMove<>-1 then
    begin

```

---

```

    rChrom[sa].posisi:=posMove;
end;
end
else
begin
    posMove:=FindNoBusForward(pos);
    if posMove<>-1 then
        begin
            rChrom[sa].posisi:=posMove;
        end;
    end;
end;
end;

procedure TObjFunc.doChangeChrom2(var rChrom:TChromosome);
var sa,pos:integer;
    AddCap:boolean;
begin
    sa:=FRandom.NextInt(1,FLength)-1;
    pos:=rChrom[sa].noCap;
    AddCap:=FRandom.NextBoolean(0.5);
    if AddCap=true then
        begin
            pos:=pos+1;
            if pos>FNcap then pos:=-FNcap;
        end
    else
        begin
            pos:=pos-1;
            if pos<1 then pos:=1;
        end;
    rChrom[sa].noCap:=pos;
end;

function TObjFunc.getRandomChrom:TChromosome;
var i,Nbus:integer;
begin
    Nbus:=high(gBus)+1;
    SetLength(result,FLength);
    for i:=0 to FLength-1 do
        begin
            result[i].posisi:=FRandom.NextInt(1,Nbus);
            result[i].noCap:=FRandom.NextInt(1,FNcap);
        end;
    end;
end;

function TObjFunc.getNeighborChrom(const
rChrom:TChromosome):TChromosome;
var i,count,sa:integer;
begin
    SetLength(result,FLength);

```

---

```

for i:=0 to FLength-1 do
begin
  result[i].posisi:=rChrom[i].posisi;
  result[i].noCap:=rChrom[i].noCap;
end;
count:=FRandom.NextInt(1,FLength);
for i:=0 to count-1 do
begin
  sa:=FRandom.NextInt(1,2);
  if sa=1 then
  begin
    doChangeChrom1(result);
  end
  else
  begin
    doChangeChrom2(result);
  end;
end;
end;

function TObjFunc.doHitungObjFunc(const rChrom:TChromosome):double;
var i,pos,Nbus:integer;
    cap,costCap:double;
    LBus:TBusArr1;
begin
  Nbus:=high(gBus)+1;
  SetLength(LBus,Nbus);
  for i:=0 to Nbus-1 do
  begin
    LBus[i].absV:=gBus[i].absV;
    LBus[i].sudV:=gBus[i].sudV;
    LBus[i].Pgen:=gBus[i].Pgen;
    LBus[i].Qgen:=gBus[i].Qgen;
    LBus[i].PL:=gBus[i].PL;
    LBus[i].QL:=gBus[i].QL;
    LBus[i].Cap:=gBus[i].Cap;
    LBus[i].typeBus:=gBus[i].typeBus;
  end;
  CostCap:=0;
  for i:=0 to FLength-1 do
  begin
    pos:=rChrom[i].posisi;
    cap:=FCap[rChrom[i].noCap-1].cap;
    LBus[pos-1].Qgen:=cap;
    CostCap:=CostCap+FindCostCap(cap);
  end;
  NewtonRaphson(LBus,gBranch,gParamLF);
  result:=FKp*gParamLF.SumLoss.real + CostCap;
end;

```

---

```
function TObjFunc.FindNoCap(const rCap:double):integer;
var i:integer;
begin
  for i:=0 to FNcap-1 do
    begin
      if rCap=FCap[i].cap then
        begin
          result:=i+1;
          break;
        end;
      end;
    end;
  end;
end;
```

---

```

unit Heuristic;

interface

uses TypeData,Komplex,NRrectangular;

type
  THeuristic=class
  private
    typ:byte;
    Nbus,Ncap:integer;
    Kp,Pbase:double;
    V:CArr1;
    IsL,Z:CArr2;
    Cap,Kc:Arr1;
    mA:Arr2;
    function GetTyp:byte;
    function GetNbus:integer;
    function GetNcap:integer;
    function GetKp:double;
    function GetPbase:double;
    function GetV:CArr1;
    function GetIsL:CArr2;
    function GetZ:CArr2;
    function GetCap:Arr1;
    function GetKc:Arr1;
    procedure SetTyp(dTyp:byte);
    procedure SetNbus(dNbus:integer);
    procedure SetNcap(dNcap:integer);
    procedure SetKp(dKp:double);
    procedure SetPhase(dPbase:double);
    procedure SetV(dV:CArr1);
    procedure SetIsL(dIsL:CArr2);
    procedure SetZ(dZ:CArr2);
    procedure SetCap(dCap:Arr1);
    procedure SetKc(dKc:Arr1);
    function GetMatrikA:Arr2;
    procedure BentukMatrikA;
    function GetKcAvg:double;
    procedure UbahKpKc;
    procedure HitungdSPmax(const KckAvg:double;const Va:CArr1;
      var Ick,dSmax,dPmax:Arr1);
    procedure CaridSPmax(const dSmax,dPmax:Arr1;
      var node:integer);
    procedure CariQck(const node:integer;const Ick:Arr1;
      const Va:CArr1;
      var Qck:double;
      var Status:boolean);
  public
    constructor Create;

```

---



```
procedure doHitung;
destructor Destroy;override;
property heTyp:byte read GetTyp write SetTyp;
property heNbus:integer read GetNbus write SetNbus;
property heNcap:integer read GetNcap write SetNcap;
property heKp:double read GetKp write SetKp;
property hePhase:double read GetPhase write SetPhase;
property heV:CArr1 read GetV write SetV;
property heIsL:CArr2 read GetIsL write SetIsL;
property heZ:CArr2 read GetZ write SetZ;
property heCap:Arr1 read GetCap write SetCap;
property heKc:Arr1 read GetKc write SetKc;
property heMatrikA:Arr2 read GetMatrikA;
end;
```

implementation

```
//constructor
constructor THeuristic.Create;
begin
  inherited Create;
  Kp:=0;
  Typ:=1;
end;

//data accesssing
function THeuristic.GetTyp:byte;
begin
  result:=Typ;
end;

function THeuristic.GetNbus:integer;
begin
  result:=Nbus;
end;

function THeuristic.GetNcap:integer;
begin
  result:=Ncap;
end;

function THeuristic.GetKp:double;
begin
  result:=Kp;
end;

function THeuristic.GetPhase:double;
begin
  result:=Phase;
end;
```

---

```
function THEuristic.GetV:CArr1;  
var i:integer;  
begin  
  SetLength(result,Nbus+1);  
  for i:=1 to Nbus do  
    begin  
      result[i]:=TKomplex.Create;  
      result[i].Assign(V[i]);  
    end;  
end;
```

```
function THEuristic.GetIsL:CArr2;  
var i,j:integer;  
begin  
  SetLength(result,Nbus+1,Nbus+1);  
  for i:=1 to Nbus do  
    begin  
      for j:=1 to Nbus do  
        begin  
          result[i,j]:=TKomplex.Create;  
          result[i,j].Assign(IsL[i,j]);  
        end;  
      end;  
    end;  
end;
```

```
function THEuristic.GetZ:CArr2;  
var i,j:integer;  
begin  
  SetLength(result,Nbus+1,Nbus+1);  
  for i:=1 to Nbus do  
    begin  
      for j:=1 to Nbus do  
        begin  
          result[i,j]:=TKomplex.Create;  
          result[i,j].Assign(Z[i,j]);  
        end;  
      end;  
    end;  
end;
```

```
function THEuristic.GetCap:Arr1;  
var i:integer;  
begin  
  SetLength(result,Ncap+1);  
  for i:=1 to Ncap do  
    begin  
      result[i]:=Cap[i];  
    end;  
end;
```

---

```

function THeuristic.GetKc:Arr1;
var i:integer;
begin
  SetLength(result,Ncap+1);
  for i:=1 to Ncap do
    begin
      result[i]:=Kc[i];
    end;
end;

procedure THeuristic.SetTyp(dTyp:byte);
begin
  Typ:=dTyp;
end;

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

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

procedure THeuristic.SetKp(dKp:double);
begin
  Kp:=dKp;
end;

procedure THeuristic.SetPhase(dPhase:double);
begin
  Phase:=dPhase;
end;

procedure THeuristic.SetV(dV:CArr1);
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 THeuristic.SetIsL(dIsL:CArr2);
var i,j:integer;
begin
  SetLength(IsL,Nbus+1,Nbus+1);

```

---

```

for i:=1 to Nbus do
begin
  for j:=1 to Nbus do
  begin
    IsL[i,j]:=TKomplex.Create;
    IsL[i,j].Assign(dIsL[i,j]);
  end;
end;
end;

procedure THeuristic.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 THeuristic.SetCap(dCap:Arr1);
var i:integer;
begin
  SetLength(Cap,Ncap-1);
  for i:=1 to Ncap do
  begin
    Cap[i]:=dCap[i];
  end;
end;

procedure THeuristic.SetKc(dKc:Arr1);
var i:integer;
begin
  SetLength(Kc,Ncap+1);
  for i:=1 to Ncap do
  begin
    Kc[i]:=dKc[i];
  end;
end;

//data processing
function THeuristic.GetMatrikA:Arr2;
var i,j:integer;
begin
  SetLength(result,Nbus,Nbus);
  for i:=1 to Nbus-1 do

```

---

```

begin
  for j:=1 to Nbus-1 do
    begin
      result[i,j]:=m $\wedge$ [i,j];
    end;
  end;
end;

function THeuristic.GetKcAvg:double;
var i:integer;
    sKc:double;
begin
  sKc:=0;
  for i:=1 to Ncap do
    begin
      sKc:=sKc + Kc[i];
    end;
  result:=sKc/Ncap;
end;

procedure THeuristic.UbahKpKc;
var i:integer;
begin
  Kp:=Kp*Pbase;
  for i:=1 to Ncap do
    begin
      Kc[i]:=Kc[i]*Pbase;
    end;
end;

procedure THeuristic.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;
end;

procedure THeuristic.HitungdSPmax(const KckAvg:double;
  const Va:CArr1;
  var Ick,dSmax,dPmax:Arr1);
var i,j,d:integer;
  sP1,sP2:double;
begin
  SetLength(Ick,Nbus+1);
  SetLength(dSmax,Nbus+1);
  SetLength(dPmax,Nbus+1);
  for i:=2 to Nbus do
  begin
    sP1:=0;
    sP2:=0;
    d:=1;
    for j:=2 to i do
    begin
      if mA[j-1,i-1]=1 then
      begin
        sP1:=sP1+IsL[d,j].xIm*Z[d,j].xRe;
        sP2:=sP2+Z[d,j].xRe;
        d:=j;
      end;
    end;
    if Typ=1 then
    begin
      Ick[i]:=-(2*Kp*sP1+KckAvg*V[i].GetAbs)/(2*Kp*sP2);
      dSmax[i]:=sqr(2*Kp*sP1+KckAvg*V[i].GetAbs)/(4*Kp*sP2);
      dPmax[i]:=((4*sqr(Kp)*sP1)-sqr(KckAvg)*sqr(V[i].GetAbs))/
        (4*sqr(Kp)*sP2);
    end
    else if Typ=2 then
    begin
      Ick[i]:=-sP1/sP2;
      dSmax[i]:=(Kp*sqr(sP1)+KckAvg*V[i].GetAbs*sP1)/sP2;
      dPmax[i]:=sqr(sP1)/sP2;
    end;
  end;
end;

procedure THeuristic.CaridSPmax(const dSmax,dPmax:Arr1;
  var node:integer);
var i:integer;
  Smax:double;
begin
  if Typ=1 then
  begin
    Smax:=dSmax[1];
  end;

```

---

```

node:=1;
for i:=2 to Nbus do
begin
if Smax<dSmax[i] then
begin
Smax:=dSmax[i];
node:=i;
end;
end;
end
else if Typ=2 then
begin
Smax:=dPmax[1];
node:=1;
for i:=2 to Nbus do
begin
if Smax<dPmax[i] then
begin
Smax:=dPmax[i];
node:=i;
end;
end;
end;
end;
end;

procedure THeuristic.CariQck(const node:integer;const Ick:Arr1;
const Va:CArr1;
var Qck:double;
var Status:boolean);
var tmp,sP1,sP2,Ick1,dSmax1,dPmax1:double;
d,j:integer;
begin
Status:=true;
tmp:=Ick[node]*Va[node].GetAbs*Pbase;
Qck:=abs(round(tmp/150)*150/Pbase);
sP1:=0;
sP2:=0;
d:=1;
for j:=2 to node do
begin
if mA[j-1,node-1]=1 then
begin
sP1:=sP1+IsL[d,j].xIm*Z[d,j].xRe;
sP2:=sP2+Z[d,j].xRe;
d:=j;
end;
end;
end;
if Typ=1 then
begin
Ick1 :=-(2*Kp*sP1+Kc[node]*V[node].GetAbs)/(2*Kp*sP2);

```

---

```

dSmax1:=sqr(2*Kp*sP1+Kc[node]*V[node].GetAbs)/(4*Kp*sP2);
dPmax1:=(4*sqr(Kp)*sqr(sP1)-sqr(Kc[node])*sqr(V[node].GetAbs))/
(4*sqr(Kp)*sP2);
if Ick1<0 then Status:=false;
if dSmax1<0 then Status:=false;
if dPmax1<0 then Status:=false;
end
else if Typ=2 then
begin
Ick1:=-sP1/sP2;
dSmax1:=(Kp*sqr(sP1)+Kc[node]*V[node].GetAbs*sP1)/sP2;
dPmax1:=sqr(sP1)/sP2;
if Ick1<0 then Status:=false;
if dSmax1<0 then Status:=false;
if dPmax1<0 then Status:=false;
end;
end;

procedure THeuristic.doHitung;
var KcAvg,Qck:double;
k,node:integer;
Ick,dSmax,dPmax:Array;
Loadflow:INRrec;
Status:boolean;
begin
Loadflow:=INRrec.Create;
Loadflow.LFNbus:=General.Nb;
Loadflow.LFNsal:=General.Ns;
Loadflow.LFV:=Beban.V;
Loadflow.LFSL:=Beban.SL;
Loadflow.LFCap:=Beban.Cap;
Loadflow.LFTyp:=Beban.TypBus;
Loadflow.LFZ:=Saluran.Z;
Loadflow.LFLc:=Saluran.Lc;
Loadflow.LFTr:=Saluran.Tr;
BentukMatrikA;
UbahKpKc;
KcAvg:=GetKcAvg;
for k:=1 to 10 do
begin
Loadflow.LFSg:=Beban.Sg;
Loadflow.doHitung;
V:=Loadflow.LFV;
IsL:=Loadflow.LFIsL;
HitungdSPmax(KcAvg,V,Ick,dSmax,dPmax);
CaridSPmax(dSmax,dPmax,node);
CariQck(node,Ick,V,Qck,Status);
if Status=false then break;
Beban.Sg[node].Assign(0,Qck);
end;

```



```
Loadflow.Free;
end;

//destroy object
destructor THeuristic.Destroy;
var i,j:integer;
begin
  try
    for i:=1 to Nbus do
      begin
        V[i].Free;
        for j:=1 to Nbus do
          begin
            IsL[i,j].Free;
            Z[i,j].Free;
          end;
        end;
      end;
    finally
      inherited Destroy;
    end;
  end;
end;

end.
```

---

```

unit uSA;

interface

uses TypeData,Komplex,NRrectangular,uObjFunc,Hasil;

type
TSA=class
private
  FNbus,FNcap,FIterasi,FNCool,FLength:integer;
  FR,FTheta,FX0:double;
  FBest,FOpt,FCek:TIndividu;
  function getIndividu(const rIndi:TIndividu):TIndividu;
  procedure InitSA;
  procedure doHitung;
  function getBestChrom:TChromosome;
public
  constructor Create(const rNbus,rNcap,rIterasi,rNCool,rLength:integer;
    const rR,rX0:double);
  procedure SetInitBest(const rChrom:TChromosome);
  property BestChrom:TChromosome read getBestChrom;
end;

implementation

//constructor
constructor TSA.Create(const rNbus,rNcap,rIterasi,rNCool,rLength:integer;
  const rR,rX0:double);
begin
  inherited Create;
  FNbus:=rNbus;
  FNcap:=rNcap;
  FIterasi:=rIterasi;
  FNCool:=rNcool;
  FLength:=rLength;
  FR:=rR;
  FX0:=rX0;
end;

function TSA.getIndividu(const rIndi:TIndividu):TIndividu;
var i:integer;
begin
  SetLength(result.chrom,FLength);
  for i:=0 to FLength-1 do
  begin
    result.chrom[i].posisi:=rIndi.chrom[i].posisi;
    result.chrom[i].noCap:=rIndi.chrom[i].noCap;
  end;
  result.fitness:=rIndi.fitness;
end;

```

---

```

procedure TSA.SetInitBest(const rChrom:TChromosome);
var i:integer;
begin
  SetLength(FBest.chrom,FLength);
  for i:=0 to FLength-1 do
    begin
      FBest.chrom[i].posisi:=rChrom[i].posisi;
      FBest.chrom[i].noCap:=rChrom[i].noCap;
    end;
  FBest.fitness:=gObjFunc.doHitungObjFunc(FBest.chrom);
end;

```

```

procedure TSA.InitSA;
var i,X1:integer;
    ran,dC:double;
begin
  X1:=0;
  dC:=0;
  FOpt.chrom:=gObjFunc.getRandomChrom;
  FOpt.fitness:=gObjFunc.doHitungObjFunc(FOpt.chrom);
  for i:=1 to FIterasi do
    begin
      FCek.chrom:=gObjFunc.getNeighborChrom(FOpt.chrom);
      FCek.fitness:=gObjFunc.doHitungObjFunc(FCek.chrom);
      if FCek.fitness<FOpt.fitness then
        begin
          Fopt:=getIndividu(FCek);
        end
      else
        begin
          ran:=random;
          if FX0>ran then
            begin
              X1:=X1+1;
              dC:=dC+(FCek.fitness-FOpt.fitness);
            end;
          end;
        end;
      dC:=dC/X1;
      FTheta:=abs(dC/ln(1/FX0-1));
    end;

```

```

procedure TSA.doHitung;
var i,k:integer;
    ran,dF,PdF,the:double;
begin
  InitSA;
  the:=FTheta;
  frmHasil.pbIterasi.StepBy(1);

```

---

```

FOpt:=getIndividu(FBest);
for k:=1 to FNCool do
begin
  for i:=1 to FIterasi do
  begin
    FCek.chrom:=gObjFunc.getNeighborChrom(FOpt.chrom);
    FCek.fitness:=gObjFunc.doHitungObjFunc(FCek.chrom);
    if FCek.fitness<FBest.fitness then
    begin
      FBest:=getIndividu(FCek);
    end;
    if FCek.fitness<FOpt.fitness then
    begin
      FOpt:=getIndividu(FCek);
    end
  else
  begin
    dl':=FCek.fitness-FOpt.fitness;
    ran:=random;
    PdF:=1/(1+exp(dl'/the));
    if ran<PdF then
    begin
      FOpt:=getIndividu(FCek);
    end;
  end;
  end;
  the:=-pangkat(FR,k-1)*Ftheta;
  frmHasil.pbIterasi.StepBy(1);
end;
end;

```

```

function TSA.getBestChrom:TChromosome;
var i:integer;
begin
  doHitung;
  SetLength(result,FLength);
  for i:=0 to FLength-1 do
  begin
    result[i].posisi:=FBest.chrom[i].posisi;
    result[i].noCap:=FBest.chrom[i].noCap;
  end;
end;
end.

```