

**ANALISA ALOKASI *DISTRIBUTED GENERATION* (DG)
UNTUK MENINGKATKAN PROFIL TEGANGAN DAN
MENGURANGI RUGI-RUGI SALURAN MENGGUNAKAN
METODE *PARTICLE SWARM OPTIMIZATION* (PSO)
PADA G.I POLEHAN PENYULANG SAWOJAJAR**

SKRIPSI



Disusun Oleh :

**Prastya Silvertis Brahmanto
NIM. 05.12.024**



**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2011**

LEMBAR PERSETUJUAN

**ANALISA ALOKASI *DISTRIBUTED GENERATION* (DG)
UNTUK MENINGKATKAN PROFIL TEGANGAN DAN
MENGURANGI RUGI-RUGI SALURAN MENGGUNAKAN
METODE *PARTICLE SWARM OPTIMIZATION* (PSO)
PADA G.I POLEHAN PENYULANG SAWOJAJAR**

SKRIPSI

Disusun dan diajukan untuk melengkapi dan memenuhi persyaratan guna mencapai gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh:
Prastya Silvertis Brahmanto
NIM 05.12.024

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1



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

Diperiksa dan Disetujui,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

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

Irrine Budi Sulistiawati, ST., MT
NIP. 19770615.200501.2.002

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2011**

ABSTRAK

ANALISA ALOKASI *DISTRIBUTED GENERATION* (DG) UNTUK MENINGKATKAN PROFIL TEGANGAN DAN MENGURANGI RUGI-RUGI SALURAN MENGGUNAKAN METODE *PARTICLE SWARM OPTIMIZATION* (PSO) PADA G.I POLEHAN PENYULANG SAWOJAJAR

Prastya Silvertis Brahmanto, NIM 05.12.024

Dosen Pembimbing I : Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT

Dosen Pembimbing II : Irrine Budi Sulistiawati, ST., MT

Distributed Generation (DG) adalah suatu unit pembangkit listrik berskala kecil yang di tempatkan pada sistem distribusi. Pencarian untuk penempatan dan kapasitas yang optimal dari DG dapat dilakukan dengan menggunakan *Particle Swarm Optimization* (PSO) dengan tujuan mengurangi rugi saluran, memperbaiki profil tegangan dan juga meningkatkan kualitas daya. Manfaat dari penggunaan DG dianalisa menggunakan Indeks Perbaikan Profil Tegangan (VPII) dan Indeks Pengurangan Rugi Saluran (LLRI). Nilai yang optimal dari DG dapat meningkatkan kemampuan suatu sistem untuk diberi beban. Penelitian ini disimulasikan pada G.I Polehan Penyulang Sawojajar dengan 40 bus dan dari hasil yang dianalisa menggunakan ETAP *PowerStation 4.0.0* dan *MATLAB 7.0.4* diperoleh meningkatnya profil tegangan pada gardu 652 sebesar 0,685% dari 0,9785 p.u menjadi 0,9852 p.u dan berkurangnya rugi-rugi saluran pada sistem sebesar 31% dari 22,5 kW menjadi 15,5 kW. Metode ini berpotensi menjadi sebuah sarana untuk mengetahui lokasi dan kapasitas yang tepat dari DG yang akan dipasang guna meningkatkan kualitas daya dalam sistem tenaga listrik.

Kata Kunci: *distributed generation, particle swarm optimization, indeks profil tegangan, indeks rugi saluran.*

KATA PENGANTAR

Puji Syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Kuasa atas segala limpahan berkat dan rahmat-Nya sehingga penelitian berjudul *Analisa Alokasi Distributed Generation (DG) untuk Meningkatkan Profil Tegangan dan Mengurangi Rugi-Rugi Saluran menggunakan Metode Particle Swarm Optimization (PSO) pada G.I Polehan Penyulang Sawojajar* dapat terselesaikan.

Penelitian ini dibuat untuk memenuhi salah satu syarat dalam memperoleh gelar sarjana teknik. Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya penulis sampaikan pada:

1. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang.
2. Bapak Ir. Sidik Nurcahyo, MT selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri ITN Malang.
3. Bapak Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1 dan selaku Dosen Pembimbing I.
4. Ibu Irrinc Budi Sulistiawati, ST., MT selaku Dosen Pembimbing II.
5. Rekan-rekan Asisten Laboratorium Transmisi dan Distribusi Daya Elektrik Jurusan Teknik Elektro S-1 ITN Malang.
6. Karyawan PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur Area Pelayanan dan Jaringan Malang serta karyawan PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur Area Pelayanan dan Jaringan Malang - Unit Pelayanan dan Jaringan Blimbing.
7. Semua pihak yang telah membantu dalam penulisan dan penyusunan penelitian ini.

Penulis menyadari bahwa penelitian ini masih jauh dari sempurna, untuk itu kritik dan saran dari pembaca sangat penulis harapkan untuk perbaikan penelitian ini.

Malang, Februari 2011

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	i
ABSTRAK	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GRAFIK	viii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Pembahasan	2
1.4. Batasan Masalah	2
1.5. Metodologi Penelitian	3
1.6. Sistematika Penulisan	3
1.7. Kontribusi Penelitian	4
BAB II SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK, <i>DISTRIBUTED GENERATION</i> DAN <i>PARTICLE SWARM OPTIMIZATION</i>	
2.1. Sistem Distribusi Tenaga Elektrik	5
2.1.1. Sistem Distribusi Primer (Jaringan Tegangan Menengah)	6
2.2.2. Sistem Distribusi Sekunder (Jaringan Tegangan Rendah)	6
2.2. Struktur Jaringan Distribusi Tenaga Listrik	6
2.2.1. Sistem Jaringan Distribusi Radial	6
2.2.1.1. Sistem Radial Pohon	7
2.2.1.2. Sistem Radial dengan <i>Tie</i> dan <i>Switch</i> Pemisah	8
2.2.1.3. Sistem Radial dengan Pembagian <i>Phasa Area</i>	8
2.2.1.4. Sistem Radial Dengan Beban Terpusat	9
2.2.2. Sistem Jaringan Distribusi Tertutup (<i>Loop</i>)	10
2.2.3. Sistem Jaringan Distribusi <i>Mesh</i>	10
2.3. Daya Dalam Sistem Tenaga	11
2.3.1 Daya Nyata (<i>Real Power</i>)	11
2.3.2. Daya Reaktif (<i>Reactive Power</i>)	11
2.3.3. Daya Semu (<i>Apparent Power</i>)	11
2.3.4. Faktor Daya (<i>Power Factor</i>)	11
2.4. <i>Distributed Generation</i> (DG)	12
2.4.1. Pemasangan <i>Distributed Generation</i> (DG)	13
2.4.2. Jenis Teknologi <i>Distributed Generation</i> (DG)	14
2.4.2.1. Diesel	14
2.4.2.2 <i>Fuel Cells</i>	15
2.4.2.3. <i>Microturbine</i>	16
2.4.2.4. Turbin Angin	17
2.4.2.5. Mikrohidro	19
2.4.2.6. <i>Photovoltaic Arrays</i>	21
2.4.3. Aplikasi <i>Distributed Generation</i> (DG)	22
2.5. Indikasi Kualitas Daya	25
2.5.1. <i>Voltage Profile Improvement Index</i> (VPII)	25
2.5.2. <i>Line Loss Reduction Index</i> (LLRI)	26

2.6. Optimasi Alokasi <i>Distributed Generation</i> (DG) menggunakan Metode <i>Particle Swarm Optimization</i> (PSO).....	26
2.6.1. <i>ETAP PowerStation 4.0.0</i>	26
2.6.2. Analisis Aliran Daya Sistem Tenaga Listrik.....	28
2.6.3. Metode <i>Newton Rapshon</i>	29
2.6.4. Fungsi Obyektif.....	31
2.6.5. <i>Particle Swarm Optimization</i> (PSO).....	32
2.6.6 Algoritma Penyelesaian Masalah dan <i>Flowchart</i>	35
2.6.6.1. Algoritma Pemecahan Masalah.....	35
2.6.6.2. <i>Flowchart</i> Pemecahan Masalah.....	36
2.6.6.3. Algoritma Optimasi Alokasi <i>Distributed Generation</i> menggunakan <i>Particle Swarm Optimization</i>	37
2.6.6.4. <i>Flowchart</i> Optimasi Alokasi <i>Distributed Generation</i> menggunakan <i>Particle Swarm Optimization</i>	38
BAB III PENGUMPULAN DATA	
3.1. Area Pelayanan dan Jaringan Malang.....	39
3.2. Sejarah Singkat GI Polehan.....	39
3.3. Sistem Jaringan GI Polehan.....	39
3.4. Penyulang Sawojajar.....	40
3.4.1. Data Pengukuran Beban Penyulang Sawojajar.....	42
3.4.2. Data Saluran Penyulang Sawojajar.....	43
BAB IV ANALISA DAN HASIL	
4.1. Optimasi Alokasi <i>Distributed Generation</i> (DG) menggunakan Metode <i>Particle Swarm Optimization</i> (PSO) dengan <i>ETAP PowerStation 4.0.0</i> dan <i>MATLAB 7.0.4</i>	45
4.1.1. Hasil Simulasi Aliran Daya <i>ETAP PowerStation 4.0.0</i> Sebelum Alokasi <i>Distributed Generation</i> (DG).....	47
4.1.2. Prosedur Pelaksanaan Metode <i>Particle Swarm Optimization</i> (PSO) pada <i>MATLAB 7.0.4</i>	50
4.1.3. Hasil Simulasi Aliran Daya <i>ETAP PowerStation 4.0.0</i> Sesudah Alokasi <i>Distributed Generation</i> (DG).....	54
4.2. Analisa Hasil <i>ETAP PowerStation 4.0.0</i> Sebelum dan Sesudah Alokasi <i>Distributed Generation</i> (DG).....	57
BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan.....	63
5.2 Saran.....	63
DAFTAR PUSTAKA	64
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	: Jaringan Distribusi Tegangan Menengah (JTM), Jaringan Distribusi Tegangan Rendah (JTR) dan Sambungan Rumah ke Pelanggan	5
Gambar 2.2	: Sistem Jaringan Distribusi Radial	7
Gambar 2.3	: Sistem Jaringan Distribusi Radial Dengan <i>Tie</i> dan <i>Switch</i> Pemisah	8
Gambar 2.4	: Jaringan Distribusi Radial Dengan <i>Phasa Area</i>	9
Gambar 2.5	: Jaringan Distribusi Radial Dengan Beban Terpusat	9
Gambar 2.6	: Sistem Jaringan Distribusi <i>Loop</i>	10
Gambar 2.7	: Sistem Jaringan Distribusi <i>Mesh</i>	10
Gambar 2.8	: Segitiga Daya	12
Gambar 2.9	: Interkoneksi Sistem Tenaga Listrik dengan DG	12
Gambar 2.10	: <i>One line diagram</i> hubungan jaringan listrik dengan DG	14
Gambar 2.11	: <i>Cummins Onan 8.0 kVA Diesel Mobile Generator</i>	15
Gambar 2.12	: <i>Fuel Cells</i>	16
Gambar 2.13	: <i>Microturbine</i>	17
Gambar 2.14	: Turbin Angin	18
Gambar 2.15	: Mikrohidro	20
Gambar 2.16	: <i>Solar Panel and Solar Cells</i>	21
Gambar 2.17	: <i>Schematic diagram</i> DG untuk CHP	23
Gambar 2.18	: Aplikasi DG untuk <i>Green Power</i> dengan Turbin Angin dan <i>PV Array</i>	24
Gambar 2.19	: Tombol <i>Load Flow Analysis</i> pada <i>Mode Toolbar</i>	27
Gambar 2.20	: <i>Load Flow Toolbar</i>	27
Gambar 2.21	: Konsep Modifikasi Titik Pencarian oleh PSO	33
Gambar 2.22	: <i>Flowchart</i> Pemecahan Masalah	36
Gambar 2.23	: <i>Flowchart</i> Optimasi Alokasi <i>Distributed Generation (DG)</i> menggunakan Metode <i>Particle Swarm Optimization (PSO)</i>	38
Gambar 3.1	: <i>Single Line Diagram</i> GI Polehan	40
Gambar 3.2	: <i>Single Line Diagram</i> Penyulang Sawojajar GI Polehan	41
Gambar 4.1	: <i>One Line Diagram</i> Penyulang Sawojajar pada ETAP <i>PowerStation 4.0.0</i>	45
Gambar 4.2	: Hasil analisa aliran daya Penyulang Sawojajar pada ETAP <i>PowerStation 4.0.0</i> sebelum alokasi DG	46
Gambar 4.3	: <i>Report Manager</i> pada ETAP <i>PowerStation 4.0.0</i>	47
Gambar 4.4	: Tampilan parameter <i>Particle Swarm Optimization (PSO)</i> pada <i>MATLAB 7.0.4</i>	53
Gambar 4.5	: Hasil optimasi alokasi <i>Distributed Generation (DG)</i> menggunakan metode <i>Particle Swarm Optimization (PSO)</i>	54
Gambar 4.6	: Hasil analisa aliran daya Penyulang Sawojajar pada ETAP <i>PowerStation 4.0.0</i> sesudah alokasi DG	55
Gambar 4.7	: Contoh Spesifikasi Diesel yang digunakan	62

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	: Jenis DG berdasarkan Kapasitas Pembangkitan	13
Tabel 2.2	: Klasifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Air	19
Tabel 3.1	: Data Pengukuran Beban Penyulang Sawojajar.....	42
Tabel 3.2	: Penghantar AAAC Tegangan 20 kV.....	43
Tabel 3.3	: Data Saluran Penyulang Sawojajar.....	43
Tabel 4.1	: Hasil simulasi analisa aliran daya untuk Tegangan sebelum alokasi DG	48
Tabel 4.2	: Hasil simulasi analisa aliran daya untuk Rugi Saluran sebelum alokasi DG	49
Tabel 4.3	: Penomoran <i>Bus</i>	50
Tabel 4.4	: Data <i>Bus</i>	51
Tabel 4.5	: Data Saluran.....	52
Tabel 4.6	: Hasil simulasi analisa aliran daya untuk Tegangan sesudah alokasi DG	55
Tabel 4.7	: Hasil simulasi analisa aliran daya untuk Rugi Saluran sesudah alokasi DG	56
Tabel 4.8	: Perbandingan hasil simulasi analisa aliran daya untuk Tegangan sebelum dan sesudah alokasi DG.....	58
Tabel 4.9	: Perbandingan hasil simulasi analisa aliran daya untuk Rugi Saluran sebelum dan sesudah alokasi DG	59
Tabel 4.10	: Hasil Program Optimasi Alokasi <i>Distributed Generation</i> menggunakan Metode <i>Particle Swarm Optimization</i>	61

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1	: Perbandingan Tegangan Sebelum dan Sesudah Alokasi DG	59
Grafik 4.2	: Perbandingan Rugi Saluran Sebelum dan Sesudah Alokasi DG	61

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan sistem kelistrikan saat ini telah mengarah pada peningkatan mutu tegangan dalam penyaluran energi listrik. Salah satu permasalahan yang muncul pada sistem distribusi 20 kV Gardu Induk Polehan Penyulang Sawojajar yang terdiri dari 38 buah trafo daya dan dihubungkan oleh 38 saluran dengan sistem radial adalah terlalu panjangnya beberapa saluran yang digunakan sehingga menyebabkan terjadinya rugi-rugi saluran dan bisa berdampak pula terjadi penurunan tegangan pada bus paling ujung dari sistem karena tingginya beban sehingga memungkinkan tegangan pada bus ujung tidak memenuhi standar operasi yang ditetapkan yakni 0,95 p.u – 1,05 p.u (Basri, 1990), oleh karena itu peningkatan mutu tegangan dapat dilakukan dengan cara menjaga profil tegangan tetap berada pada batas yang diijinkan dan mengurangi rugi-rugi pada saluran sehingga dapat meningkatkan kemampuan sistem untuk diberi beban.

Salah satu alternatif untuk meningkatkan profil tegangan dan mengurangi rugi saluran adalah dengan pemasangan *Distributed Generation* (DG) yang merupakan suatu unit pembangkit tenaga listrik berskala kecil yang dihubungkan secara langsung ke jaringan distribusi atau di tempatkan dekat dengan beban dan memiliki kapasitas beberapa kW hingga beberapa MW. Pemasangan unit DG pada tempat yang tidak optimal dapat mengakibatkan profil tegangan yang semakin menurun dan rugi-rugi pada sistem bertambah. Teknik solusi dalam masalah optimisasi ini dapat menggunakan kecerdasan buatan, salah satunya adalah *Particle Swarm Optimization* (PSO) (Raj, 2008: 42). Pada PSO, partikel atau solusi yang mungkin yang ada terbang di sebuah ruang pencarian multidimensional. Saat terbang, setiap partikel menyesuaikan posisi mereka berdasarkan pengalaman yang mereka miliki dan juga berdasarkan pengalaman yang dimiliki partikel tetangga mereka sehingga partikel-partikel tersebut akan memanfaatkan posisi terbaik yang ditemukan baik oleh dirinya sendiri maupun partikel yang lain. PSO juga memiliki *update* kecepatan dan *memory* yang penting bagi sebuah algoritma, dengan demikian evolusi PSO hanya mengarah pada solusi yang terbaik (Kennedy, 1995). Untuk alasan ini, penggunaan metode optimasi seperti PSO memungkinkan memberi solusi terbaik dari penggunaan DG pada sistem tenaga listrik serta berguna untuk teknik perencanaan sistem.

1.2. Rumusan Masalah

Masalah yang seringkali muncul pada jaringan distribusi tenaga listrik diantaranya adalah profil tegangan yang rendah dan rugi saluran yang tinggi sehingga mengakibatkan menurunnya kemampuan suatu sistem untuk diberi beban. Banyak hal yang harus diperhatikan dalam pemasangan DG agar dapat beroperasi dengan optimal dalam sistem tenaga listrik, beberapa diantaranya adalah bagaimana menentukan lokasi yang tepat dan kapasitas yang optimal dari DG agar dapat memberikan keuntungan seperti memperbaiki profil tegangan sehingga dapat meningkatkan kualitas daya dan mengurangi rugi saluran sehingga dapat meningkatkan kemampuan sistem untuk diberi beban ?

Dari permasalahan tersebut, maka skripsi ini berjudul:

“ANALISA ALOKASI *DISTRIBUTED GENERATION* (DG) UNTUK MENINGKATKAN PROFIL TEGANGAN DAN MENGURANGI RUGI-RUGI SALURAN MENGGUNAKAN METODE *PARTICLE SWARM OPTIMIZATION* (PSO) PADA G.I POLEHAN PENYULANG SAWOJAJAR”

1.3. Tujuan Pembahasan

Berdasarkan permasalahan yang dikemukakan di atas, maka penulisan skripsi ini bertujuan untuk:

1. Menentukan lokasi dan kapasitas yang optimal dari *Distributed Generation* (DG) pada G.I Polehan Penyulang Sawojajar.
2. Meningkatkan profil tegangan pada G.I Polehan Penyulang Sawojajar dengan alokasi DG sehingga dapat meningkatkan kualitas daya.
3. Mengurangi rugi-rugi saluran pada G.I Polehan Penyulang Sawojajar dengan alokasi DG sehingga dapat meningkatkan kemampuan sistem untuk diberi beban.

1.4. Batasan Masalah

Agar permasalahan yang dibahas tidak terlalu meluas, maka ruang lingkup pembahasan adalah sebagai berikut:

1. Metode yang digunakan dalam menentukan nilai optimal dan lokasi yang tepat dari *Distributed Generation* adalah *Particle Swarm Optimization*.
 2. Pehitungan optimasi alokasi dilakukan dengan menggunakan MATLAB 7.0.4 dan simulasi dilakukan dengan menggunakan ETAP *PowerStation* 4.0.0.
-

3. Peningkatan profil tegangan ditentukan oleh nilai tegangan yang beroperasi setelah pemasangan DG tidak boleh berada diluar batas yang diijinkan (95% - 105%).
4. Tidak membahas biaya operasional dari DG yang akan digunakan.
5. Studi dilakukan pada Gardu Induk Polehan Penyulang Sawojajar.
6. Analisa dilakukan hanya sebatas pengkajian beban yang telah ada.

1.5. Metodologi Penelitian

Metode yang digunakan dalam penyelesaian ini adalah:

1. Studi literatur, berupa pengumpulan dan pembahasan referensi yang berkaitan dengan pokok pembahasan masalah ini, sehingga membantu dalam memahami prinsip dasar dan karakteristik dari peralatan yang di gunakan.
2. Pengumpulan data lapangan yang dipakai dalam objek penelitian yakni:
 - a. Data kuantitatif, yaitu data yang dapat dihitung atau data yang berbentuk angka-angka.
 - b. Data kualitatif, yaitu data yang berbentuk diagram dalam hal ini adalah *single line diagram*.
3. Melakukan analisa perhitungan dan simulasi dengan metode *Particle Swarm Optimization* (PSO) yang diaplikasikan pada MATLAB 7.0.4 dan ETAP *PowerStation* 4.0.0.
 - a. Analisis aliran daya aktif.
 - b. Analisis profil tegangan pada sistem.
 - c. Analisis rugi-rugi saluran pada sistem.
4. Mengambil kesimpulan dari perbandingan profil tegangan dan rugi saluran pada sistem sebelum dan sesudah pemasangan *Distributed Generation* (DG).

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika dari pembahasan pada skripsi ini adalah sebagai berikut:

BAB I: PENDAHULUAN

Latar belakang menjelaskan tentang perkembangan sistem kelistrikan dalam upaya peningkatan mutu tegangan, bagaimana menentukan lokasi dan kapasitas *Distributed Generation* (DG) yang optimal dengan metode *Particle Swarm Optimization* (PSO) yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas daya sehingga diharapkan dapat memperoleh kehandalan dalam sistem tenaga listrik.

BAB II: SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK, *DISTRIBUTED GENERATION* DAN *PARTICLE SWARM OPTIMIZATION*

Membahas mengenai sistem distribusi, daya dalam sistem tenaga listrik, pemasangan *Distributed Generation* (DG), jenis dan bermacam-macam aplikasi DG, indeks perbaikan profil tegangan, indeks pengurangan rugi saluran dan metode aliran daya *Newton Raphson* serta adaptasi *Particle Swarm Optimization* (PSO) ke permasalahan optimasi alokasi DG.

BAB III: PENGUMPULAN DATA

Membahas secara singkat tentang Area Pelayanan dan Jaringan Malang, sistem jaringan Gardu Induk Polehan dan Penyulang Sawojajar serta data-data yang digunakan dalam pembahasan masalah.

BAB IV: ANALISA DAN HASIL

Membahas mengenai analisa dan hasil simulasi dari ETAP *PowerStation* 4.0.0 dan MATLAB 7.0.4. mengenai penentuan letak optimasi *Distributed Generation* menggunakan metode *Particle Swarm Optimization*, serta perbandingan indikasi kualitas daya sebelum dan setelah penempatan DG.

BAB V: PENUTUP

Memuat intisari dari hasil pembahasan yang berisikan kesimpulan dan saran yang dapat digunakan sebagai pertimbangan untuk pengembangan penulisan selanjutnya.

1.7. Kontribusi Penelitian

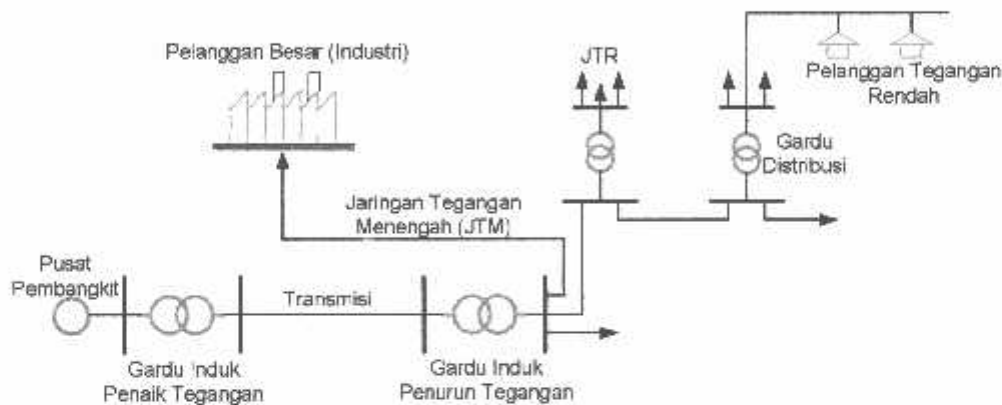
Dengan menggunakan teknologi baru dalam mengatasi masalah kualitas daya dalam hal ini pemasangan *Distributed Generation* (DG) dengan metode *Particle Swarm Optimization* (PSO) diharapkan dapat diperoleh kehandalan dalam sistem tenaga listrik serta dapat memperbaiki kualitas daya, sehingga bisa memberikan kontribusi positif terhadap kinerja penyaluran tenaga listrik sampai kepada konsumen.

BAB II

SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK, *DISTRIBUTED GENERATION* DAN *PARTICLE SWARM OPTIMIZATION*

2.1. Sistem Distribusi Tenaga Elektrik

Sistem tenaga listrik merupakan suatu sistem terpadu yang terbentuk oleh hubungan-hubungan peralatan dan komponen-komponen listrik. Sistem tenaga listrik ini mempunyai peranan utama untuk menyalurkan energi listrik yang dibangkitkan oleh generator dari pembangkit ke konsumen yang membutuhkan energi listrik (Basri, 1997).



Gambar 2.1

Jaringan Distribusi Tegangan Menengah (JTM), Jaringan Distribusi Tegangan Rendah (JTR) dan Sambungan Rumah ke Pelanggan

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

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

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

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

2.1.1. Sistem Distribusi Primer (Jaringan Tegangan Menengah)

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

2.1.2. Sistem Distribusi Sekunder (Jaringan Tegangan Rendah)

Tingkat tegangan yang digunakan pada sistem distribusi sekunder adalah tegangan rendah yaitu 127/ 220 Volt atau 220/ 380 Volt, oleh karena itu sistem distribusi ini sering disebut dengan sistem distribusi tegangan rendah. Sistem jaringan yang digunakan untuk menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik tersebut dapat menggunakan sistem satu fasa dengan dua kawat maupun sistem tiga fasa dengan empat kawat.

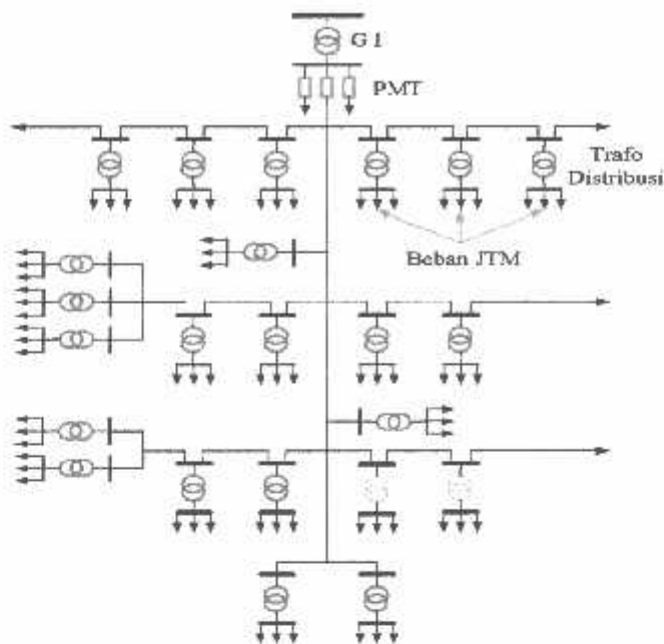
2.2. Struktur Jaringan Distribusi Tenaga Listrik

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

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

2.2.1. Sistem Jaringan Distribusi Radial

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



Gambar 2.2
Sistem Jaringan Distribusi Radial

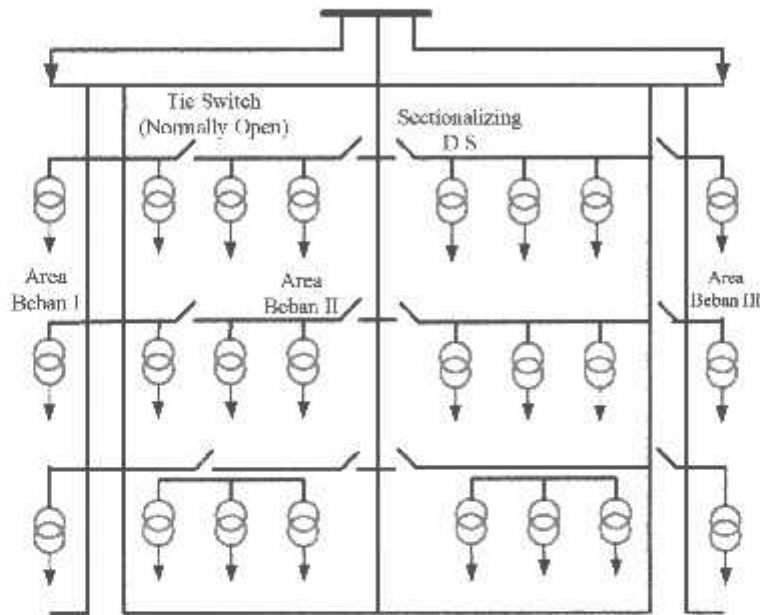
Pelayanan tenaga listrik untuk suatu daerah beban tertentu dilaksanakan dengan memasang transformator disebarkan titik pada jaringan yang sedekat mungkin dengan daerah beban yang dilayani. Untuk daerah beban yang menyimpang jauh dari saluran utama maupun saluran cabang, maka akan ditarik lagi saluran tambahan yang dicabangkan pada saluran tersebut. Kelemahan yang dimiliki oleh sistem radial adalah jatuh tegangan yang cukup besar dan bila terjadi gangguan pada sistem akan mengakibatkan jatuhnya sebagian atau bahkan keseluruhan beban sistem.

2.2.1.1. Sistem Radial Pohon

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

2.2.1.2. Sistem Radial dengan *Tie* dan *Switch* Pemisah

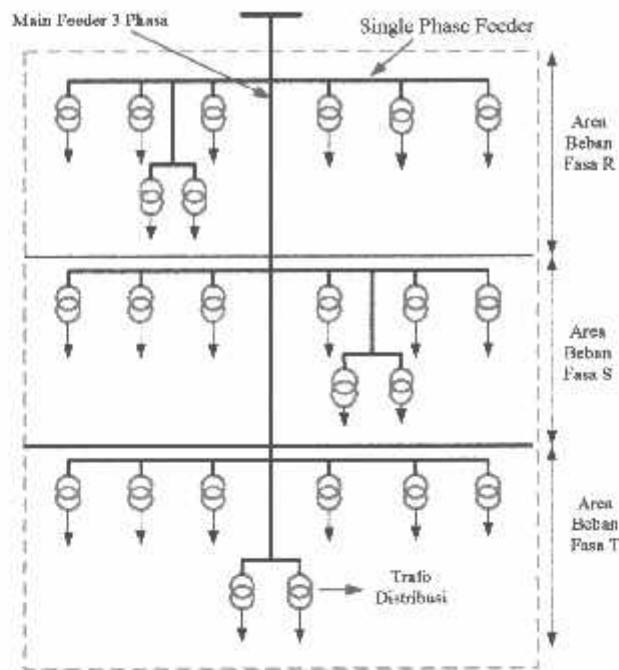
Sistem ini merupakan pengembangan dari sistem radial pohon, untuk meningkatkan keandalan sistem saat terjadinya gangguan maka *feeder* yang terganggu akan dilokalisir sedangkan area yang semula dilayani oleh *feeder* tersebut pelayanannya dialihkan pada *feeder* yang tidak terganggu. sistem radial dengan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



Gambar 2.3
Sistem Jaringan Distribusi Radial Dengan *Tie* dan *Switch* Pemisah

2.2.1.3. Sistem Radial dengan Pembagian *Phasa Area*

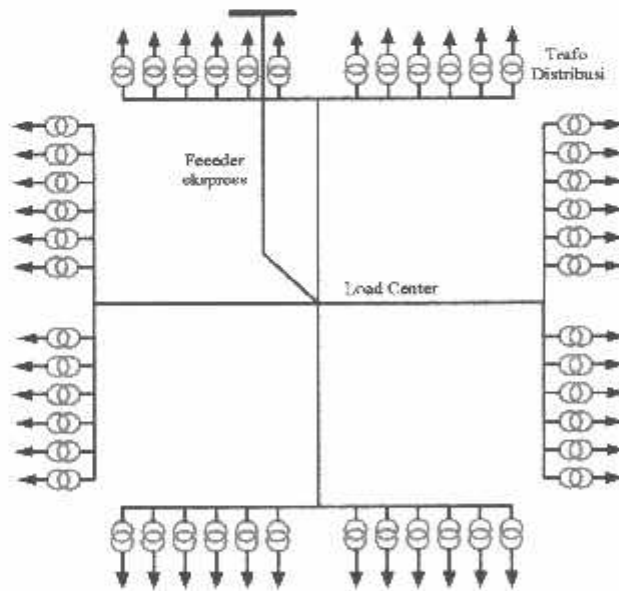
Pada bentuk ini masing-masing fasa dari jaringan bertugas untuk melayani daerah beban yang berlainan. Bentuk ini akan dapat menimbulkan kondisi sistem tiga fasa yang tidak seimbang (simetris), bila digunakan pada daerah beban yang baru dan belum mantap pembagiannya. Contoh dari sistem jaringan ini dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4
Jaringan Distribusi Radial Dengan *Phasa Area*

2.2.1.4. Sistem Radial Dengan Beban Terpusat

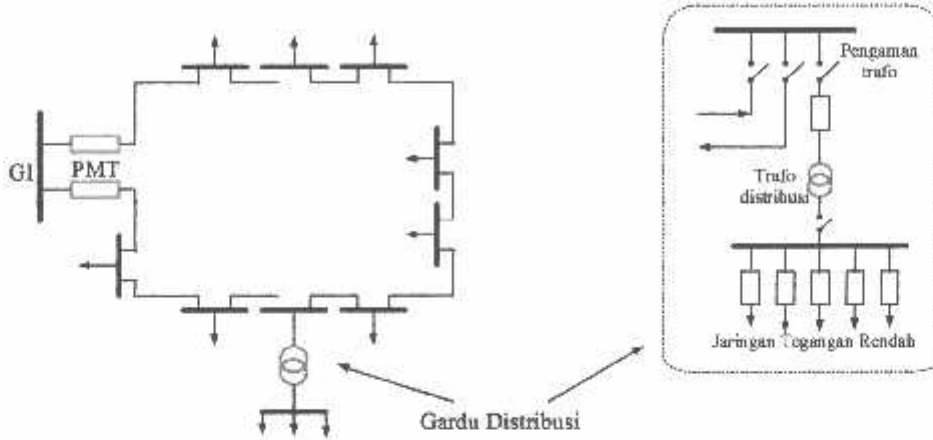
Bentuk dari sistem ini mensuplai daya dengan menggunakan *main feeder* yang disebut *express feeder* langsung ke pusat beban, dan dari titik pusat beban ini dikirim ke beban menggunakan *back feeder* secara radial seperti terlihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5
Jaringan Distribusi Radial Dengan Beban Terpusat

2.2.2. Sistem Jaringan Distribusi Tertutup (*Loop*)

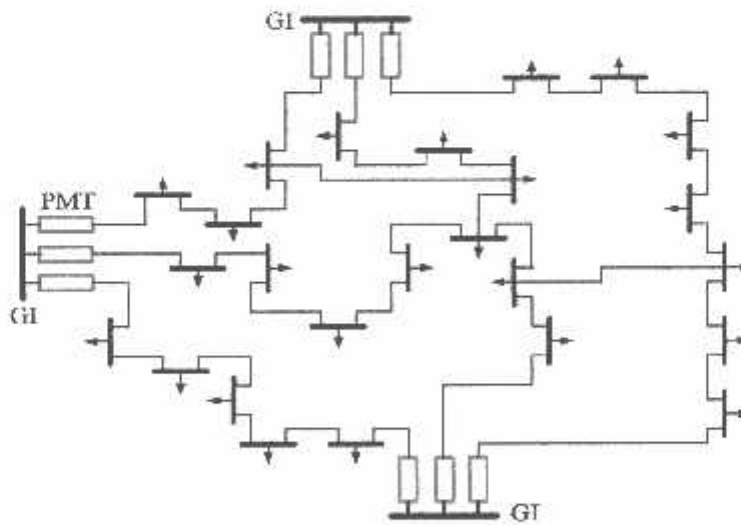
Sistem ini disebut jaringan distribusi *loop* karena saluran primer yang menyalurkan daya sepanjang daerah beban yang dilayani membentuk suatu rangkaian *loop*, seperti terlihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6
Sistem Jaringan Distribusi *Loop*

2.2.3. Sistem Jaringan Distribusi *Mesh*

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



Gambar 2.7
Sistem Jaringan Distribusi *Mesh*

2.3. Daya Dalam Sistem Tenaga

Dalam sistem tenaga listrik, pembangkit-pembangkit tenaga listrik harus mampu menyediakan tenaga listrik kepada pelanggan sesuai dengan permintaan beban listrik yang ada. Dalam hal ini tegangan dan frekuensi harus tetap konstan karena berhubungan dengan daya (Stevenson, 1996). Daya listrik yang dibangkitkan dikenal dengan istilah:

2.3.1 Daya Nyata (*Real Power*)

Daya nyata dinyatakan dalam persamaan:

$$P = |V| |I| \cos \varphi \dots\dots\dots(2-1)$$

Daya nyata untuk beban 3 fasa seimbang

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

2.3.2. Daya Reaktif (*Reactive Power*)

Daya reaktif adalah daya yang timbul karena adanya pembentukan medan magnet pada beban-beban induktif. Daya reaktif dinyatakan dalam persamaan:

$$Q = |V| |I| \sin \varphi \dots\dots\dots(2-3)$$

Daya reaktif untuk beban 3 fasa seimbang:

$$Q = \sqrt{3} |V_{\text{jala-jala}}| |I_{\text{jala-jala}}| \sin \varphi \dots\dots\dots(2-4)$$

2.3.3. Daya Semu (*Apparent Power*)

Daya semu dinyatakan dalam persamaan:

$$S = |V| |I| \dots\dots\dots(2-5)$$

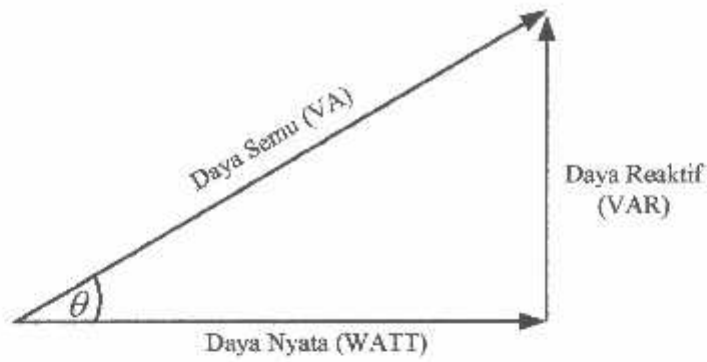
Daya semu untuk beban 3 fasa seimbang:

$$S = \sqrt{3} |V| |I| \dots\dots\dots(2-6)$$

2.3.4. Faktor Daya (*Power Factor*)

Faktor daya pada dasarnya didefinisikan sebagai perbandingan antara daya nyata dan daya semu, dinyatakan oleh persamaan:

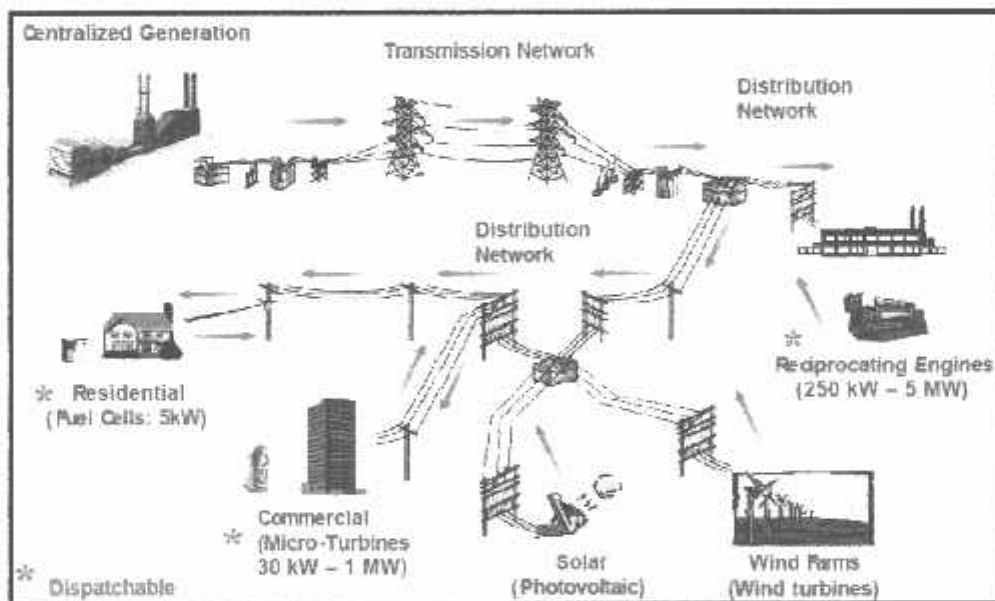
$$\cos \theta = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} = \frac{\text{Daya Nyata (W)}}{\text{Daya Semu (VA)}} \dots\dots\dots(2-7)$$



Gambar 2.8
Segitiga Daya

2.4. *Distributed Generation (DG)*

Distributed Generation (DG) adalah suatu unit pembangkit tenaga listrik berskala kecil yang dihubungkan secara langsung ke jaringan distribusi atau di tempatkan dekat dengan beban (Ackerman, 2001:201).



Gambar 2.9
Interkoneksi Sistem Tenaga Listrik dengan DG

DG memiliki kapasitas antara beberapa kW hingga beberapa ratus MW. Unit yang berkapasitas kecil (beberapa kW hingga beberapa MW) biasanya dipasang pada sistem distribusi, sedangkan unit yang berkapasitas besar (beberapa puluh MW hingga beberapa ratus MW) dapat dipasang pada sistem transmisi.

Tabel 2.1
Jenis DG berdasarkan Kapasitas Pembangkitan

NO	JENIS	DAYA
1	<i>Large Distributed Generation</i>	50 MW <--300 MW
2	<i>Medium Distributed Generation</i>	5 MW < 50 MW
3	<i>Small Distributed Generation</i>	5 kW < 5 MW
4	<i>Micro Distributed Generation</i>	~1 W < 5 kW

Sumber energi DG dibedakan menjadi sumber energi yang terbarukan seperti: *wind turbine*, *photovoltaic*, *small hydro*, dan sumber energi tak terbarukan seperti *diesel*, *microturbine*, dan *reciprocating engine*. Jenis-jenis pembangkitan dari DG adalah generator sinkron (*reciprocating engines* dan *combustion turbines*), generator asinkron (PV dan *fuel cells*), serta generator induksi (*wind turbine*). Beberapa keuntungan dari DG antara lain:

- 1) Tidak memerlukan jaringan yang panjang dari saluran transmisi, saluran sub-transmisi, gardu induk dan jaringan distribusi sehingga biaya investasi untuk pembangunan, pengoperasian, dan pemeliharaan jaringan saluran tenaga listrik tersebut dapat ditanggihkan.
- 2) Dapat meminimalkan kemungkinan terjadinya gangguan di sepanjang jaringan sistem tenaga listrik tersebut sehingga pada akhirnya akan dapat meningkatkan keandalan pelayanan jaringan tenaga listrik.
- 3) Dibandingkan dengan *Power Plants*, DG memiliki efisiensi yang lebih tinggi dalam penyaluran daya. Bila dikoneksikan pada jaringan, DG membantu mengurangi rugi-rugi dalam sistem.
- 4) Dalam memproduksi energi listrik, DG tertentu bersifat ramah lingkungan. Emisi yang dihasilkan dari produksi energi oleh DG tergolong rendah.

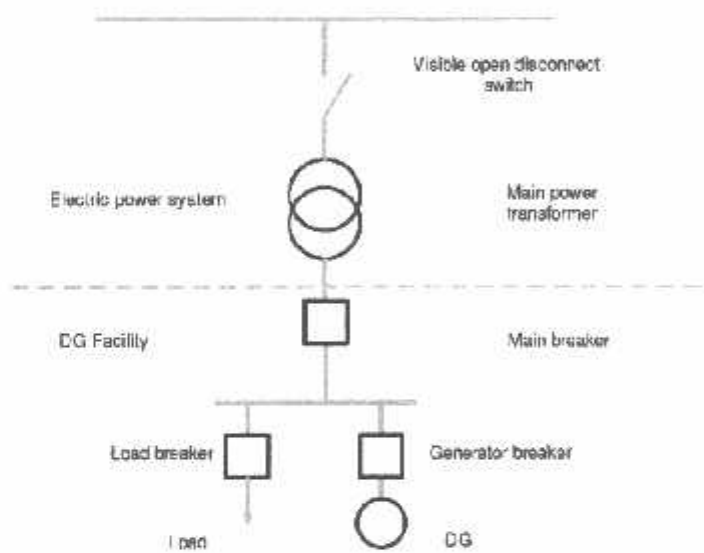
2.4.1. Pemasangan *Distributed Generation* (DG)

Pemasangan *Distributed Generation* (DG) berarti menghubungkan suatu DG dengan jaringan listrik (Bloem, 2006:4). Terdapat dua konfigurasi utama dalam menghubungkan suatu DG dengan suatu jaringan listrik, yaitu:

- 1) DG di konfigurasi untuk beroperasi bersamaan dengan jaringan listrik (*in parallel with the utility network*). Pada konfigurasi ini diperlukan suatu sistem proteksi dan fungsi kontrol. Sistem proteksi meliputi: proteksi jaringan listrik,

proteksi DG, dan proteksi beban yang dilayani. Fungsi kontrol DG difokuskan pada *starting, stopping, paralleling, dan disconnecting* DG secara tepat dan andal.

- 2) DG dikonfigurasi untuk dapat beroperasi lepas dari jaringan listrik (*independent of the utility network* atau *off-grid mode*). Pada konfigurasi ini DG dapat diklasifikasikan sebagai *back-up power* dan *uninterruptable power supplies (UPS)*. Pada konfigurasi ini, *supply* beban sungguh-sungguh lepas dari jaringan distribusi sebelum *supply* beban dialihkan ke suatu DG. Contoh dari konfigurasi ini adalah DG yang memberikan suplai daya listrik kepada suatu beban selama terjadi pemadaman bertahan (*sustained interruption*) yang disebabkan gangguan tetap pada saluran atau trafo distribusi.



Gambar 2.10
One Line Diagram Hubungan Jaringan Listrik dengan DG

2.4.2. Jenis Teknologi DG

2.4.2.1. Diesel

Generator bermesin diesel terdiri dari sebuah penggerak mula (*prime mover*) dan motor bakar torak (*reciprocating engine*) yang membakar bahan bakar diesel serta dikopel dengan sebuah generator listrik. Generator bermesin diesel sangat umum, terutama pada daerah dimana tidak tersedia jaringan tenaga listrik atau tidak andal (*unreliable*), mempunyai ukuran yang sangat bervariasi (50 kW - 5 MW) dan dapat mencapai 15 MW, akan tetapi untuk aplikasi DG guna meningkatkan keandalan digunakan banyak unit dengan ukuran yang kecil daripada satu unit dengan ukuran yang

sangat besar. Untuk aplikasi DG, generator bermesin diesel terutama diaplikasikan sebagai *continuous power* dan *peaking power (load shaving)* karena dapat start hanya dalam beberapa menit. Selain itu dapat juga diaplikasikan sebagai CHP atau *cogeneration* dan *back-up power*.



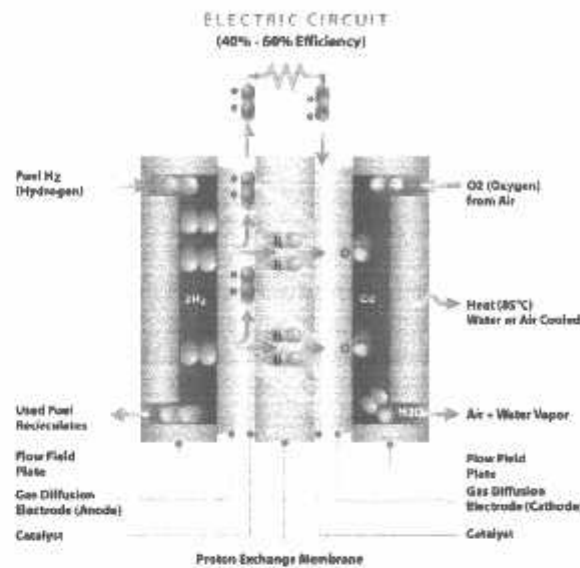
Gambar 2.11
Cummins Onan 8.0kVA Diesel Mobile Generator

Generator bermesin diesel mempunyai biaya modal yang rendah, sangat andal, dan mempunyai efisiensi yang cukup baik. Di lain pihak, generator bermesin diesel mempunyai biaya operasi dan biaya pemeliharaan yang tinggi, menghasilkan polusi, baik polusi udara, maupun polusi suara paling tinggi dibandingkan teknologi DG lainnya.

2.4.2.2. Fuel Cells

Fuel cell adalah alat yang mampu menghasilkan listrik arus searah. Alat ini terdiri dari dua buah elektroda, yaitu anoda dan katoda yang dipisahkan oleh sebuah membran polimer yang berfungsi sebagai elektrolit. Membran ini sangat tipis, hanya beberapa mikrometer saja. Hidrogen dialirkan ke dalam *fuel cell* yaitu ke bagian anoda, sedang oksigen atau udara dialirkan ke bagian katoda, dengan adanya membran, maka gas hidrogen tidak akan bercampur dengan oksigen. Membran dilapisi oleh platina tipis yang berfungsi sebagai katalisator yang mampu memecah atom hidrogen menjadi elektron dan proton. Proton mengalir melalui membran, sedang elektron tidak dapat menembus membran, sehingga elektron akan menumpuk pada anoda, sedang pada katoda terjadi penumpukan ion bermuatan positif. Apabila anoda dan katoda dihubungkan dengan sebuah penghantar listrik, maka akan terjadi pengaliran elektron

dari anoda ke katoda, sehingga terdapat arus listrik. Elektron yang mengalir ke katoda akan bereaksi dengan proton dan oksigen pada sisi katoda dan membentuk air.

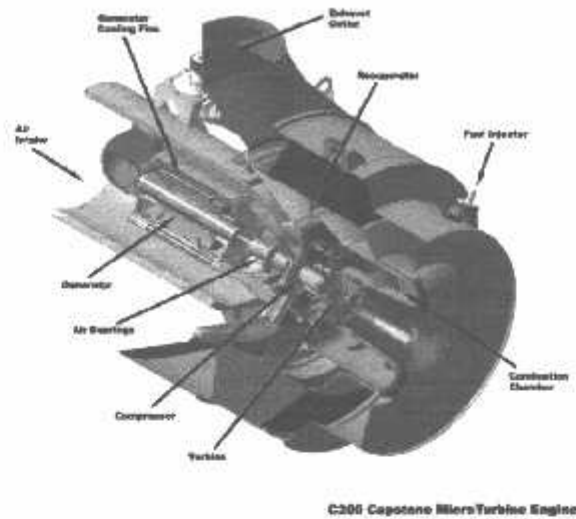


Gambar 2.12
Fuel Cells

Fuel cell menggunakan reaksi kimia, lebih baik daripada mesin pembakaran, untuk memproduksi energi listrik. Istilah *fuel cell* sering dikhususkan untuk hidrogen-oksigen *fuel cell*. Konversi energi *fuel cell* biasanya lebih efisien daripada jenis pengubah energi lainnya. Efisiensi konversi energi dapat dicapai hingga 40-60%. Keuntungan lain *fuel cell* adalah *portable* (dapat ditempatkan dimana di perlukan), merupakan teknologi baru yang memanfaatkan sumber energi terbarukan, tidak bising dan gas buang yang bersih bagi lingkungan serta mampu menyuplai energi listrik dalam waktu yang cukup lama.

2.4.2.3. *Microturbine*

Microturbine merupakan sebuah mesin yang menggunakan udara atmosfer dan bahan bakar gas bumi untuk menghasilkan energi poros (*shaft power*). Daya yang dihasilkan berkisar antara 25 - 500 kW. *Microturbine* sederhana terdiri dari sebuah *compressor*, *combuster*, turbin dan generator. Sebagian besar konstruksi *microturbine* merupakan poros tunggal (*single-shaft*) dan menggunakan sebuah generator magnet permanen berkecepatan tinggi untuk menghasilkan energi listrik arus bolak-balik (*AC power*) dengan tegangan dan frekuensi yang berubah-ubah.

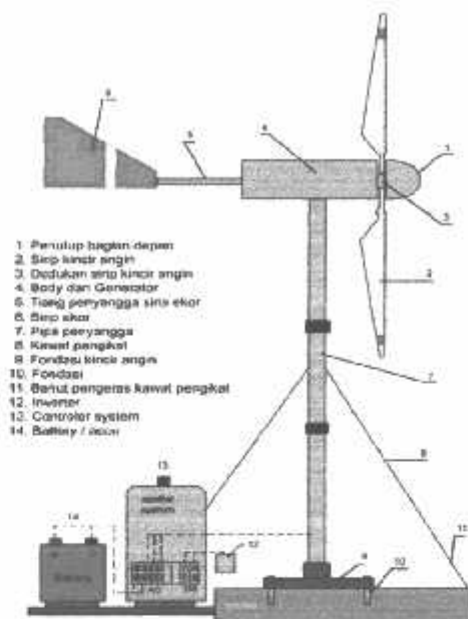


Gambar 2.13
Microturbine

Sebuah *inverter* digunakan untuk menghasilkan tegangan AC 50/ 60 Hz. *Recuperator* digunakan pada sebagian besar unit karena hampir dari setengah energi panas yang diberikan ke *working fluid* (udara/ air) dapat dialihkan dari *exhaust gas* kepada udara pembakaran.

2.4.2.4. Turbin Angin

Prinsip dasar kerja dari turbin angin adalah mengubah energi mekanis dari angin menjadi energi putar pada kincir, lalu putaran kincir digunakan untuk memutar generator, yang akhirnya menghasilkan listrik. Umumnya daya efektif yang dapat dipanen oleh sebuah turbin angin hanya sebesar 20%-30%. Pengembangan ladang turbin angin (*wind farm*) tidak dapat berhenti pada perancangan saja, sebab tiap daerah memiliki karakteristiknya masing masing yang khas. Dengan demikian setiap lokasi memerlukan solusi yang khas pula.



Gambar 2.14
Turbin Angin

Terdapat berbagai macam sub-sistem yang dapat meningkatkan *safety* dan efisiensi dari turbin angin, yaitu:

- 1) *Gearbox*, alat ini berfungsi untuk mengubah putaran rendah pada kincir menjadi putaran tinggi.
- 2) *Brake System*, digunakan untuk menjaga putaran pada poros setelah *gearbox* agar bekerja pada titik aman saat terdapat angin yang besar. Alat ini perlu dipasang karena generator memiliki titik kerja aman dalam pengoperasiannya. Kehadiran angin diluar dugaan akan menyebabkan putaran yang cukup cepat pada poros generator, sehingga jika tidak diatasi maka putaran ini dapat merusak generator. Dampak dari kerusakan akibat putaran berlebih diantaranya: *overheat*, *rotor breakdown*, kawat pada generator putus, karena tidak dapat menahan arus yang cukup besar.
- 3) Generator adalah salah satu komponen yang dapat mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Ketika poros generator mulai berputar maka akan terjadi perubahan fluks pada stator yang akhirnya karena terjadi perubahan fluks ini akan dihasilkan tegangan dan arus listrik tertentu. Tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh generator ini berupa AC yang memiliki bentuk gelombang kurang lebih sinusoidal.

- 4) Penyimpan energi, karena keterbatasan ketersediaan akan energi angin maka ketersediaan listrik pun tidak menentu. Oleh karena itu digunakan alat penyimpan energi yang berfungsi sebagai *back-up* energi listrik sehingga ketika beban penggunaan daya listrik masyarakat meningkat atau ketika kecepatan angin suatu daerah sedang menurun, maka kebutuhan permintaan akan daya listrik tetap dapat terpenuhi.
- 5) *Rectifier - Inverter*, *rectifier* berarti penyearah. *Rectifier* dapat menyearahkan gelombang sinusoidal (AC) yang dihasilkan oleh generator menjadi gelombang DC. *Inverter* berarti pembalik. Ketika dibutuhkan daya dari *accu* maka catu yang dihasilkan oleh akan berbentuk gelombang DC. Karena kebanyakan kebutuhan rumah tangga menggunakan catu daya AC, maka diperlukan *inverter* untuk mengubah gelombang DC menjadi gelombang AC.

2.4.2.6. Mikrohidro

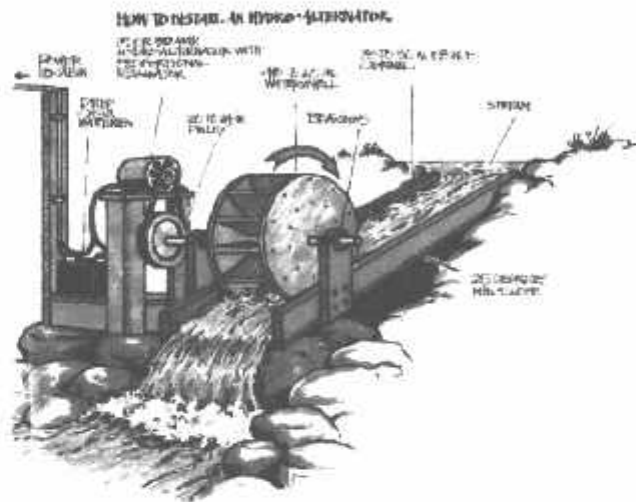
Pembangkit Listrik Tenaga Air pada dasarnya memanfaatkan energi potensial air (jatuhan air). Semakin tinggi jatuhan air (*head*) maka semakin besar energi potensial air yang dapat diubah menjadi energi listrik. Di samping faktor geografis yang memungkinkan, tinggi jatuhan air dapat pula diperoleh dengan membendung aliran air sehingga permukaan air menjadi tinggi.

Tabel 2.2
Klasifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Air

KLASIFIKASI	RENTANGAN	PENGGUNAAN
Tenaga Air Skala Besar	> 100 MW	Memasok jaringan listrik skala besar
Tenaga Air Skala Menengah	15 MW - 100 MW	Memasok satu jaringan listrik
Tenaga Air Skala Kecil	1 MW - 15 MW	Memasok satu jaringan listrik
Tenaga Air Skala Mini	100 kW - 1 MW	Bisa berupa skema yang berdiri sendiri atau untuk memasok satu jaringan listrik
Tenaga Air Skala Mikro	5 kW - 100 kW	Memasok daya untuk komunitas kecil atau industri pedesaan di daerah terpencil yang jauh dari jaringan listrik utama
Tenaga Air Skala Piko	100 W - 5 kW	Untuk komunitas kecil di daerah pedesaan

PLTMH didefinisikan sebagai Pembangkit Listrik yang memanfaatkan sumber daya air yang memiliki *head* dan debit tertentu dengan *output* skala kecil (5 - 100 kW) dan mempunyai beberapa kelebihan antara lain:

- Energi yang terbarukan
- Biaya operasi yang relatif kecil
- Eksplorasi sumber daya yang masih sangat luas tersebar di Indonesia
- Teknologi yang relatif sederhana dan memadai

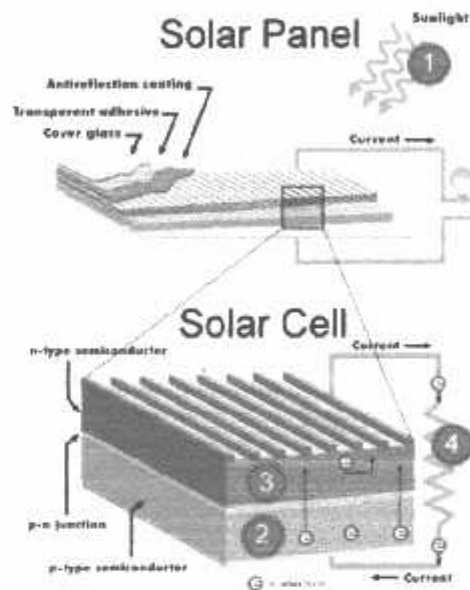


Gambar 2.16
Mikrohidro

Secara umum *lay-out* sistem PLTMH merupakan pembangkit jenis *run off river*, memanfaatkan aliran air permukaan (sungai). Komponen sistem PLTMH tersebut terdiri dari bangunan *intake* (penyadap) - bendungan, saluran pembawa, bak pengendap dan penenang, saluran pelimpah, pipa pesat, rumah pembangkit dan saluran pembuangan. Jenis-jenis turbin yang biasa digunakan pada PLTMH adalah *Cross-Flow*, *Propeller*, dan *Pelton*. Pemilihan turbin disesuaikan dengan besarnya *head* dan kecepatan aliran air (debit air). Generator digunakan untuk mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Tergantung pada karakteristik jaringan yang dipasok, generator bisa dipilih antara generator sinkron dan generator asinkron.

2.4.2.5. Photovoltaic Arrays

Photovoltaic Arrays merupakan sebuah piranti semikonduktor yang mampu merubah energi cahaya (sinar matahari) menjadi energi listrik. Listrik tenaga matahari dibangkitkan oleh sel surya yang luasnya sekitar 10~15 cm². Sel surya merupakan komponen vital yang umumnya terbuat dari bahan semikonduktor. *Multicrystalline* dan *monocrystalline silicon* menghasilkan efisiensi yang relatif lebih tinggi daripada *amorphous silicon* sedangkan *amorphus silicon* dipakai karena biaya yang relatif lebih rendah.



Gambar 2.15
Solar Panel and Solar Cells

Prinsip kerja sel surya adalah di dalam silikon terjadi pertemuan antara dua lapisan tipis yang terbuat dari bahan semikonduktor jenis "P" dan jenis "N", atau biasa disebut *PN junction*. Bila bagian P dihubungkan dengan kutub positif dari sebuah baterai, sedangkan kutub negatifnya dihubungkan dengan bagian N, maka terjadi hubungan yang dinamakan "*forward bias*". Dalam keadaan *forward bias*, di dalam rangkaian akan timbul arus listrik yang disebabkan oleh gerakan *hole* dan gerakan elektron. Bila bagian P dihubungkan dengan kutub negatif dari baterai dan bagian N dihubungkan dengan kutub positifnya, maka terbentuk hubungan yang dinamakan "*reverse bias*". Dalam keadaan *reverse bias*, ada juga arus yang timbul meskipun dalam jumlah yang sangat kecil. Arus ini sering disebut dengan arus bocor. Dalam keadaan *reverse bias*, dapat diketahui bahwa bila suhu *PN junction* tersebut dinaikkan ternyata

dapat memperbesar arus bocor yang timbul. Arus bocor dapat diperbesar dengan memperbesar tegangan baterai (tegangan *reverse*), tapi penambahan arus bocornya tidak signifikan. Bila baterai dalam rangkaian *reverse bias* itu dilepas dan diganti dengan beban tahanan, maka pemberian cahaya dapat menimbulkan pembawa muatan baik *hole* maupun elektron. Jika iluminasi cahaya ditingkatkan, ternyata arus yang timbul semakin besar. Gejala seperti ini dinamakan *photovoltaic*. Cahaya dapat memberikan energi yang cukup besar untuk memperbesar jumlah *hole* pada bagian P dan jumlah elektron pada bagian N. Berdasarkan gejala *photovoltaic* ini maka dapat diciptakan komponen elektronik sel surya.

Komponen yang diperlukan untuk pembangkit listrik tenaga surya adalah sebagai berikut:

- 1) *Solar panel* untuk mengkonversikan tenaga matahari menjadi listrik.
- 2) *Battery Charge Controller* digunakan untuk mengatur pengisian baterai.
- 3) *Inverter* adalah perangkat elektrik yang mengkonversikan tegangan searah (DC) menjadi tegangan bolak balik (AC) karena energi listrik yang dihasilkan sel surya masih dalam bentuk energi listrik arus searah.
- 4) Baterai berfungsi untuk mengubah energi listrik menjadi energi kimia pada saat pengisian sedangkan pada saat pengambilan arus fungsinya adalah merubah energi kimia menjadi energi listrik.

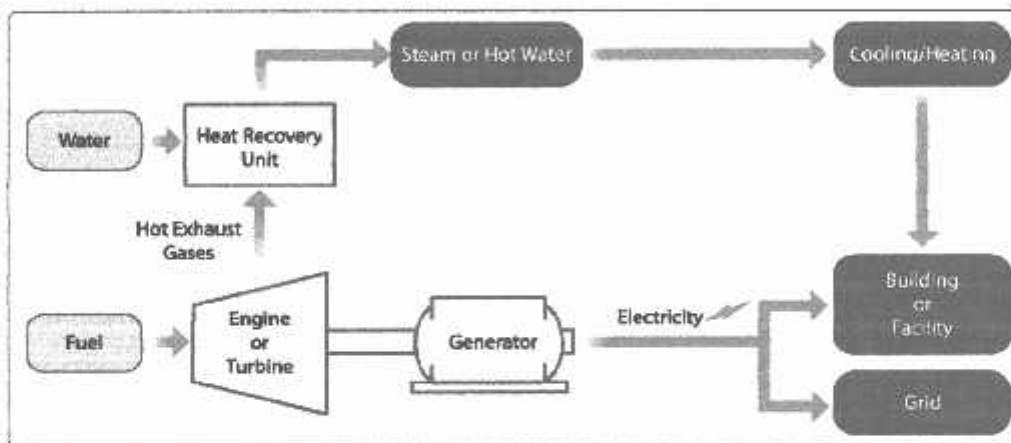
2.4.3. Aplikasi *Distributed Generation*

DG dapat digunakan untuk menyuplai baik sebagian dan seluruh energi listrik yang dihasilkannya sesuai dengan kebutuhan masing-masing pelanggan. DG jenis tertentu dapat digunakan beberapa aplikasi (Morrison, 2007:2), seperti:

1. *Continuous Power*, pada aplikasi ini DG beroperasi paling sedikit 6000 jam dalam setahun untuk membangkitkan tenaga listrik bagi sebagian atau seluruh fasilitas secara terus menerus. Karakteristik DG yang penting pada aplikasi ini adalah efisiensi (*electric efficiency*) tinggi, biaya pemeliharaan dan emisi rendah. DG yang dapat digunakan untuk aplikasi *continuous power* adalah diesel, *microturbine*, dan *fuel cell*.
2. *Peaking power (load shaving)*, pada aplikasi ini DG beroperasi antara 200-3000 jam tiap tahun untuk mengurangi harga listrik yang harus dibayar oleh pelanggan (biasanya jenis pelanggan industri) selama waktu beban puncak. Karakteristik DG

yang penting pada aplikasi ini adalah biaya pemasangan rendah dan dapat *start* hanya dalam beberapa menit (*quick startup*). DG yang dapat digunakan untuk aplikasi *peaking power* adalah diesel dan *microturbine*.

3. *Combined Heat and Power (CHP)*, juga dikenal sebagai *Cooling, Heating, and Power* atau *cogeneration*. Pada aplikasi ini ini DG beroperasi paling sedikit 6000 jam dalam setahun untuk membangkitkan tenaga listrik bagi sebagian atau seluruh fasilitas dan energi panas yang dibuang dapat digunakan untuk memanaskan ruangan atau air dan untuk keperluan lainnya. Dengan demikian pada aplikasi ini DG mempunyai efisiensi yang sangat tinggi. DG yang dapat digunakan untuk aplikasi CHP adalah diesel, *gas turbine*, *steam turbine*, *microturbine* dan *fuel cell*.

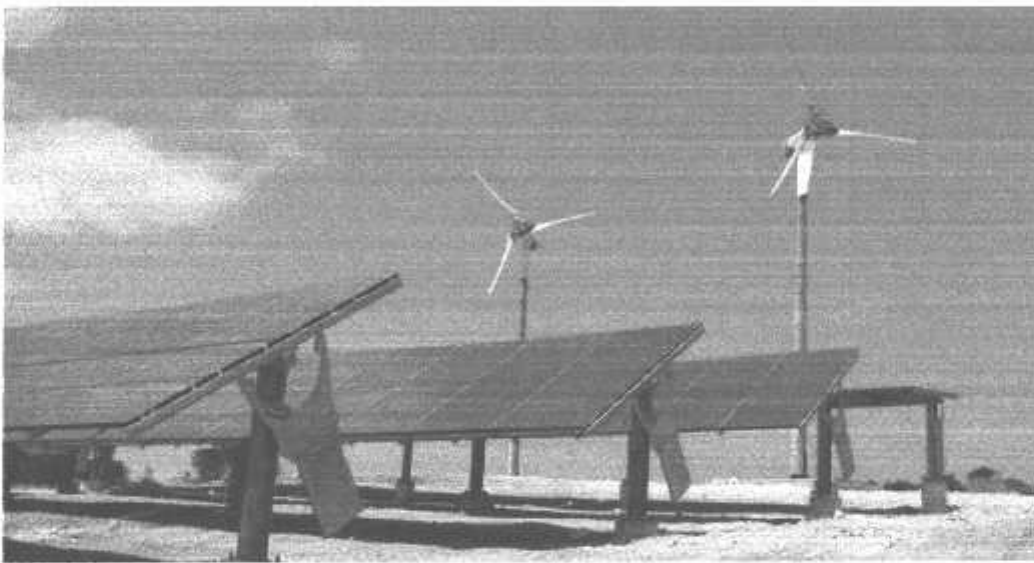


Gambar 2.17
Schematic diagram DG untuk CHP

4. *Premium Power*, DG dapat menyediakan pelayanan listrik pada tingkat kehandalan dan kualitas daya yang tinggi daripada yang tersedia pada jaringan listrik. Setiap pelanggan memiliki kebutuhan yang berbeda-beda, maka *premium power* dapat dibagi menjadi tiga sub-kategori:
 - a) *Emergency Power*, pada aplikasi ini DG digunakan sebagai *back-up* generator yang dihubungkan ke beban (*critical load*) bila terjadi gangguan pada jaringan listrik. Pelanggan pada aplikasi ini merupakan pelanggan yang tidak dapat menerima pemadaman pelayanan seperti Rumah Sakit.
 - b) *Standby Power System*, pada aplikasi ini DG menyediakan listrik jika jaringan utama tidak dapat beroperasi karena gangguan.
 - c) *True Premium Power System*, DG pada aplikasi ini dapat menyediakan listrik yang tidak terputus dan bebas dari gangguan seperti *frequency variations*,

voltage transients, dips, dan surges. Suplai daya jenis ini tidak tersedia pada jaringan listrik secara langsung karena membutuhkan peralatan bantu baik untuk *emergency* atau *standby power*. Sebagai alternatif, DG jenis ini dapat digunakan sebagai sumber utama dalam penyediaan listrik dengan *grid* sebagai *back-up*. Karakteristik yang penting dari DG untuk aplikasi *premium power* adalah dapat *start* hanya dalam beberapa menit (*quick startup*), dapat diandalkan, dan biaya perawatan yang rendah.

5. *Green Power*, pada aplikasi ini DG menyediakan listrik dari sumber yang ramah lingkungan kepada pelanggan. Karakteristik dari aplikasi DG jenis ini adalah emisinya yang rendah dan biaya perawatan yang juga rendah. DG yang termasuk aplikasi *green power* adalah turbin angin, *PV Array* dan mikrohidro.



Gambar 2.18
Aplikasi DG untuk *green power* dengan Turbin Angin dan *PV Array*

6. *Transmission and Distribution Deferral*, menempatkan DG pada lokasi yang strategis dapat digunakan untuk menanggihkan investasi atau *upgrade* untuk pembangunan saluran transmisi yang baru dan fasilitas distribusi. Karakteristik yang penting untuk DG pada aplikasi *T&D Deferral* adalah biaya pemasangan dan perawatan yang rendah, meningkatkan kemampuan pengiriman listrik, dapat diandalkan, lokasi yang tepat pada sistem dengan karakteristik permintaan akan daya listrik yang semakin meningkat. DG yang dapat digunakan untuk aplikasi *T&D Deferral* adalah diesel, *microturbine*, dan *fuel cell*.

7. *Remote Power*, dengan aplikasi ini DG digunakan untuk menyediakan listrik untuk beban yang tidak mendapatkan suplai (*isolated*) dari jaringan listrik. Aplikasi ini cocok untuk beban yang jauh dari sistem distribusi dan pembangunan jaringan transmisi terhalang oleh kondisi geografis (pegunungan dan pulau kecil). Unit *remote power* biasanya beroperasi secara kontinyu sehingga waktu *start-up* yang cepat tidak terlalu diperlukan dan termasuk investasi jangka panjang sehingga biaya pemasangan relatif tinggi. Karakteristik yang penting untuk DG pada aplikasi ini adalah efisiensi yang tinggi (*electric efficiency*), dapat diandalkan dan biaya perawatan yang rendah. Hampir semua jenis DG dapat digunakan untuk aplikasi *remote power*.

2.5. Indikasi Kualitas Daya

Untuk mengevaluasi dan menganalisa manfaat dan keunggulan dari pemasangan *Distributed Generation* (DG) pada sistem tenaga listrik, digunakan *Voltage Profile Improvement Index* (VPPI) dan *Line Loss Reduction Index* (LLRI) sebagai indikasi kualitas daya (Raj, 2008: 42).

2.5.1. *Voltage Profile Improvement Index* (VPPI)

VPPI digunakan untuk menghitung peningkatan profil tegangan pada setiap bus dalam sistem distribusi dengan pemasangan *Distributed Generation* (DG).

Persamaannya adalah:

$$VPPI = \frac{VP_{W/DG}}{VP_{WO/DG}} \dots\dots\dots(2-8)$$

dimana:

$VPPI$: indeks peningkatan profil tegangan

$VP_{W/DG}$: profil tegangan dalam sistem dengan pemasangan DG

$VP_{WO/DG}$: profil tegangan dalam sistem tanpa pemasangan DG

Berdasarkan persamaan tersebut maka:

- a) $VPPI < 1$, DG memperburuk profil tegangan pada sistem.
- b) $VPPI = 1$, DG tidak mempunyai efek jika dipasang pada sistem.
- c) $VPPI > 1$, DG memperbaiki profil tegangan pada sistem.

Nilai tertinggi pada VPII menunjukkan lokasi terbaik untuk pemasangan DG dalam hal meningkatkan profil tegangan.

2.5.2. *Line Loss Reduction Index (LLRI)*

LLRI digunakan untuk menghitung penurunan rugi saluran dalam sistem distribusi dengan pemasangan *Distributed Generation (DG)*.

Persamaannya adalah:

$$LLRI = \frac{LL_{W/DG}}{LL_{WO/DG}} \dots\dots\dots (2-9)$$

dimana:

$LLRI$: indeks pengurangan rugi-rugi saluran

$LL_{W/DG}$: rugi-rugi saluran dalam sistem dengan pemasangan DG

$LL_{WO/DG}$: rugi-rugi saluran dalam sistem tanpa pemasangan DG

Berdasarkan persamaan tersebut maka:

- a) $LLRI < 1$, DG mengurangi rugi-rugi saluran pada sistem.
- b) $LLRI = 1$, DG tidak mempunyai efek jika dipasang pada sistem.
- c) $LLRI > 1$, DG meningkatkan rugi-rugi saluran pada sistem.

Nilai terendah pada LLRI menunjukkan lokasi terbaik untuk pemasangan *Distributed Generation (DG)* dalam hal mengurangi rugi-rugi saluran.

2.6.6. Optimasi Alokasi *Distributed Generation (DG)* menggunakan Metode *Particle Swarm Optimization (PSO)*

2.6.1. ETAP PowerStation 4.0.0

ETAP *PowerStation 4.0.0* adalah program yang dapat menganalisa semua grafik *electrical transient* dan dapat di jalankan melalui *Microsoft Windows 95, 98, NT 4.0, 2000, XP dan Vista*. ETAP *PowerStation 4.0.0* memungkinkan kinerja yang lebih cepat menggunakan diagram grafik *one line* dan sistem saluran kabel bawah tanah. Program ETAP *PowerStation 4.0.0* telah didesain sesuai dengan 3 konsep (ETAP *PowerStation 4.0 User Guide.*, 2001:1-2) yaitu:

- 1) Operasi nyata secara virtual (*Virtual Reality Operation*), pengoperasian program ini menyerupai operasi sistem tenaga listrik yang sesungguhnya.

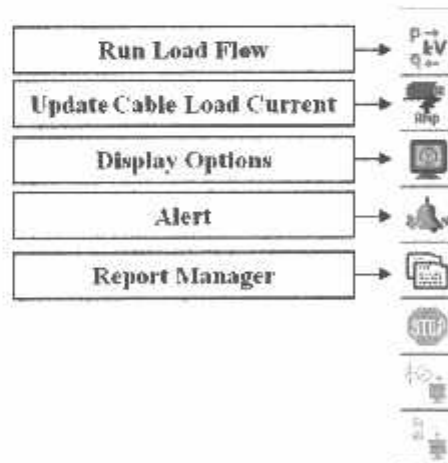
- 2) Jumlah integrasi dari data (*Total Integration of Data*), ETAP *PowerStation 4.0.0* menggabungkan sifat *electrical*, *logical*, *mechanical*, dan *physical* dari sistem dalam satu *database* yang sama.
- 3) Kemudahan dalam memasukkan data (*Simplicity in Data Entry*), ETAP *PowerStation 4.0.0* menggunakan data lengkap dari setiap peralatan listrik yang terkadang hanya membutuhkan satu jenis pemasukan data. *Data editor* mempercepat pemasukan data dengan membutuhkan data yang minimum untuk studi tertentu.

Analisa aliran daya merupakan salah satu fasilitas dalam ETAP *PowerStation 4.0.0*. Analisa ini dapat dilakukan dengan cara memilih *Load Flow Analysis* pada *Mode Toolbar*, yang tampak pada Gambar 2.19.



Gambar 2.19
Tombol *Load Flow Analysis* pada *Mode Toolbar*

Setelah menekan tombol tersebut, maka *Load Flow Analysis* telah aktif. Pada sisi sebelah kanan akan muncul *Load Flow Toolbar* seperti yang ditunjukkan Gambar 2.20.



Gambar 2.20
Load Flow Toolbar

Load Flow Toolbar terdiri dari beberapa menu yang akan dijelaskan sebagai berikut:

1) *Run Load Flow.*

Untuk menampilkan hasil perhitungan aliran daya, program ini akan langsung menampilkan hasil perhitungan pada *One Line Diagram*.

2) *Upload Cable Load Current.*

Untuk mentransfer data *Cable Load Current* dari studi aliran daya yang sebelumnya dijalankan. Data ditransfer ke *Operating Load Current* di *Cable Editor* untuk setiap kabel yang terhubung dengan studi aliran daya.

3) *Display Option.*

Menampilkan beberapa macam pilihan untuk hasil analisa yang terdapat pilihan untuk mengatur warna angka hasil perhitungan, satuan yang digunakan dan sebagainya.

4) *Alert.*

Menampilkan nilai yang melebihi batas toleransi, sehingga pengguna dapat dengan mudah mengetahui kondisi yang tidak normal pada sistem.

5) *Report Manager.*

Berfungsi untuk menampilkan maupun mencetak laporan yang dihasilkan dari analisa.

2.6.2. Analisis Aliran Daya Sistem Tenaga Listrik

Analisis aliran daya adalah penentuan atau perhitungan tegangan, arus, daya, faktor daya, dan daya reaktif yang terdapat pada berbagai titik dalam jaringan listrik (Marsudi, 1990). Dalam analisis sistem tenaga listrik, variabel-variabel yang perlu diperhatikan adalah *magnitude* tegangan ($|v|$), sudut fasa (δ), daya nyata (P), dan daya reaktif (Q). Tujuan analisis aliran daya adalah:

1. Untuk mengetahui tegangan-tegangan pada setiap *bus* yang ada dalam sistem, variasi tegangan yang diperbolehkan adalah $\pm 5\%$.
2. Untuk mengetahui semua peralatan apakah memenuhi batas-batas yang ditentukan untuk menyalurkan daya yang diinginkan.
3. Untuk memperoleh kondisi awal untuk studi selanjutnya seperti studi analisa hubung singkat, stabilitas dan pembebanan ekonomis.

Penyelesaian aliran daya pada setiap bus menggunakan metode *Newton Rapshon* perlu diketahui minimal dua parameter dari empat parameter yang diperlukan.

Berdasarkan parameter yang diketahui *bus* pada sistem dapat diklasifikasikan dalam tiga kategori, yaitu:

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

Parameter-parameter yang diketahui adalah P dan Q, parameter-parameter yang tidak diketahui adalah $|v|$ dan δ .

2. *Bus* Generator (*Generator Bus*)

Parameter-parameter yang diketahui adalah P dan $|v|$, parameter-parameter yang dihitung adalah Q dan δ .

3. *Bus* Swing/Slack

Parameter-parameter yang diketahui adalah $|v|$ dan δ , biasanya dianggap sebagai *bus* referensi, *bus* ini selalu mempunyai generator. Sedangkan besaran P dan Q ditentukan setelah iterasi selesai.

2.6.3. Metode Newton Rapshon

Persamaan umum dari arus yang menuju bus dalam bentuk polar (Marsudi, 1990)

adalah:

$$I_i = \sum_{j=1}^n (Y_{ij}V_j) \angle \theta_{ij} + \delta_j \dots\dots\dots(2-10)$$

Daya kompleks yang mengalir pada setiap *bus* dituliskan sebagai berikut:

$$S_i = P_i + jQ_i = V_i * I_i \dots\dots\dots(2-11)$$

sehingga dengan mensubtitusikan persamaan diatas didapatkan:

$$P_i - Q_i = V_i \angle - \delta_i \sum_{j=1}^n (Y_{ij}V_j) \angle \theta_{ij} + \delta_j \dots\dots\dots(2-12)$$

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

$$P_i = \sum_{j=1}^n V_i V_j Y_{ij} \cos \angle \theta_{ij} + \delta_j - \delta_i \dots\dots\dots(2-13)$$

$$Q_i = - \sum_{j=1}^n V_i V_j Y_{ij} \sin \angle \theta_{ij} + \delta_j - \delta_i \dots\dots\dots(2-14)$$

Proses yang dilakukan adalah membandingkan antara daya yang ditempatkan berdasarkan data ($P_{i, spec}$ dan $Q_{i, spec}$) dengan daya hasil perhitungan ($P_{i, calc}$ dan $Q_{i, calc}$) menggunakan Persamaan (2-13) dan (2-14) di atas. Selisih daya yang diterapkan dan perhitungan (ΔP_k dan ΔQ_k) dihitung dengan persamaan:

$$\Delta P_i = P_{i, spec} - P_{i, calc} \dots\dots\dots(2-15)$$

Selisih daya dihitung dengan Persamaan (2-15) dan (2-16) digunakan untuk menghitung nilai perubahan parameter tegangan bus, yaitu $\Delta|V_k|$ dan $\Delta\delta_k$ yaitu dengan menggunakan elemen *Jacobian*, sehingga koreksi terhadap nilai parameter tegangan yang telah ditetapkan nilai awal sebelumnya. Elemen *Jacobian* sendiri merupakan turunan parsial P dan Q terhadap masing-masing variabel pada Persamaan (2-13) dan (2-14), yang dalam bentuk matrik dituliskan sebagai:

$$\begin{bmatrix} \Delta P_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta P_n^{(k)} \\ \Delta Q_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta Q_n^{(k)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta \delta_n^{(k)} \\ \Delta |V_2^{(k)}| \\ \vdots \\ \Delta |V_n^{(k)}| \end{bmatrix} \dots \dots \dots (2-17)$$

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \dots \dots \dots (2-18)$$

Nilai untuk elemen J_1 adalah:

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = \sum_{i \neq j} V_i V_j Y_{ij} \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \dots \dots \dots (2-19)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = -V_i V_j Y_{ij} \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad i \neq j \dots \dots \dots (2-20)$$

Nilai untuk elemen J_2 adalah:

$$\frac{\partial P_i}{\partial V_i} = 2V_i Y_{ii} \cos \theta_{ii} + \sum_{i \neq j} V_j Y_{ij} \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \dots \dots \dots (2-21)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial V_j} = V_i Y_{ij} \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad i \neq j \dots \dots \dots (2-22)$$

Nilai untuk elemen J_3 adalah:

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = \sum_{i \neq j} V_i V_j Y_{ij} \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \dots \dots \dots (2-23)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} = -V_i V_j Y_{ij} \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad i \neq j \dots \dots \dots (2-24)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} = -V_i V_j Y_{ij} \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad i \neq j \dots \dots \dots (2-24)$$

Nilai untuk elemen J_4 adalah:

$$\frac{\partial Q_i}{\partial V_i} = 2V_i Y_{ii} \sin \theta_{ii} + \sum_{i \neq j} V_j Y_{ij} \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \dots \dots \dots (2-25)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial V_j} = V_i Y_{ij} \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad i \neq j \dots \dots \dots (2-26)$$

Setelah seluruh persamaan diselesaikan, maka nilai koreksi *magnitude* dan sudut tegangan ditambahkan ke nilai sebelumnya.

$$V_i^{(k+1)} = V_i^k + \Delta V_i^k \dots \dots \dots (2-27)$$

$$\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^k + \Delta \delta_i^k \dots \dots \dots (2-28)$$

Dengan demikian diperoleh nilai *magnitude* dan sudut tegangan yang baru untuk digunakan pada iterasi berikutnya. Proses berulang terus sampai diperoleh nilai konvergen yang telah ditentukan (berkisar 0,001 hingga 0,0001 pu). Setelah tegangan-tegangan bus diketahui, maka aliran arus dapat dicari. Arus yang mengalir pada bus sisi kirim (i) dari saluran i ke j adalah:

$$I_{ij} = (V_i - V_j) Y_{ij} + V_j \frac{Y'_{ij}}{2} \dots \dots \dots (2-29)$$

2.6.4. Fungsi Obyektif

Untuk memperbaiki profil tegangan dan mengurangi rugi-rugi saluran dengan kapasitas DG yang bervariasi dihasilkan fungsi obyektif sebagai berikut (Raj, 2008: 44):

$$\min f = P_{Loss} + \sum_i \lambda_p (1 - V_p)^2 \dots \dots \dots (2-30)$$

dimana:

$\min f$: nilai *minimum fitness*.

P_{Loss} : rugi daya aktif pada *base case*.

λ_p : *penalty factor* dari tegangan bus yang bernilai 1.

V_p : profil tegangan pada bus.

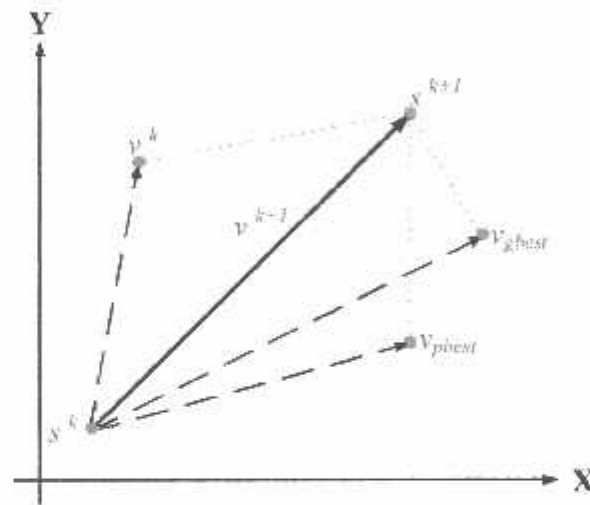
2.6.5. Particle Swarm Optimization (PSO)

Particle Swarm Optimization adalah suatu teknik perhitungan yang diperkenalkan Kennedy dan Eberhart pada tahun 1995, yang diilhami oleh perilaku sosial tentang koloni burung. Mereka berteori bahwa proses dari adaptasi dapat diringkas dalam tiga prinsip: mengevaluasi, membandingkan dan meniru. Suatu organisme, seekor burung dalam PSO, mengevaluasi tetangganya, membandingkan dirinya dengan yang lain di dalam populasi dan meniru tetangganya yang terkuat. Sehingga mereka bertindak dengan dua macam dari informasi yaitu pengalaman mereka sendiri dan pengetahuan dari bagaimana individu lain melakukannya.

Sebagai sebuah alat optimasi, PSO menawarkan suatu prosedur pencarian berdasarkan populasi yang di dalamnya individu-individu, yang disebut partikel, mengubah posisi mereka terhadap waktu. Mereka “terbang” mengitari suatu ruang pencarian multi dimensi (*multidimensional search space*). Selama “penerbangan” setiap individu menyesuaikan posisinya menurut pengalaman pribadinya, dan menurut pengalaman individu di sebelahnya, sehingga membentuk posisi terbaik yang sesuai untuk dirinya dan untuk individu di sebelahnya. Jadi, algoritma PSO menggabungkan metode *local search* dengan metode *global search* yang menyeimbangkan antara eksploitasi dan eksplorasi.

PSO memiliki banyak kemiripan dengan *Genetic Algorithms* (GA), di mana sistem diawali dengan suatu populasi yang terbentuk dari solusi-solusi acak (*random solutions*) kemudian sistem mencari optimalitas melalui pembaharuan generasi secara acak. Namun demikian, PSO tidak memiliki *evolution operators*, seperti mutasi dan *crossover* (persilangan). Sebaliknya, *potential solutions*, yakni individu-individu, atau yang disebut sebagai partikel, ‘terbang’ mengikuti individu-individu yang optimum saat ini (*current optimum particles*). Setiap individu menyimpan jejak-jejak posisinya dalam *problem space*. Jejak-jejak posisi tersebut diartikan sebagai *best solution*, atau *fitness* dalam GA, yang diperolehnya sejauh ini. Nilainya, yakni *fitness value*, yang disebut *pbest*, juga turut disimpan. Selain *pbest* yang merupakan milik individu yang bersangkutan, turut disimpan pula nilai terbaik milik individu di sekitarnya (*local best*), yang disebut *lbest*. Jika suatu individu memperhitungkan semua individu di dalam populasi di mana dia berada sebagai individu di sekitarnya, maka nilai terbaik yang dimaksud adalah nilai terbaik umum (*global best*) dan disebut *gbest*.

Selanjutnya, terjadi akselerasi antara lokasi $pbest$ dan lokasi $lbest$ dari setiap individu. Akselerasi ini diberi bobot berupa bilangan acak. Pada PSO, x dan v menotasikan koordinat partikel (posisi) dan kecepatan partikel pada ruang pencarian. Karena itu, posisi partikel i direpresentasikan sebagai $s_i = (s_{i1}, s_{i2}, \dots, s_{id})$ pada ruang multidimensional. Posisi terbaik dari partikel ke- i sebelumnya disimpan dan direpresentasikan sebagai $pbest_i = (pbest_{i1}, pbest_{i2}, \dots, pbest_{id})$. Partikel yang paling baik dari semua partikel pada sebuah group direpresentasikan dengan $gbest_i = (gbest_{i1}, gbest_{i2}, \dots, gbest_{id})$. Kecepatan untuk partikel i direpresentasikan dengan $v_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{id})$.



Gambar 2.21
Konsep modifikasi titik pencarian oleh PSO

Prosedur standar untuk menerapkan algoritma PSO adalah sebagai berikut (Eberhart, 2001):

1. Partikel ditentukan dengan posisi dan kecepatan secara *random* (s^k dan v^k) di dalam suatu ruang dimensi penelusuran (X dan Y).
2. Evaluasi setiap partikel dengan fungsi *fitness* optimisasi yang diinginkan dan bandingkan nilai evaluasi *fitness* dengan $pbest$ -nya, jika nilai evaluasi tersebut lebih baik daripada $pbest$ maka nilai evaluasi tersebut di set sama dengan nilai $pbest$. Jika nilai $pbest$ lebih baik daripada nilai $gbest$ yang ada, maka nilai $pbest$ tersebut di set juga sebagai nilai $gbest$.

3. Modifikasi kecepatan dari masing-masing partikel dapat dihitung dengan menggunakan kecepatan dan jarak dari *pbest* dan *gbest* dengan persamaan:

$$v_i^{k+1} = wv_i^k + c_1 rand \times (pbest_i - s_i^k) + c_2 rand \times (gbest_i - s_i^k) \dots\dots\dots (2-31)$$

dimana:

- v_i^{k+1} : modifikasi kecepatan dari partikel i.
- v_i^k : kecepatan partikel i pada perulangan k.
- w : fungsi nilai untuk kecepatan partikel i.
- $c_1 = c_2$: koefisien akselerasi.
- $rand$: angka acak antara 0 dan 1.
- $pbest_i$: *pbest* dari partikel i.
- $gbest_i$: *gbest* dari populasi.

Posisi partikel yang sekarang dapat dimodifikasi (titik pencarian baru) dengan persamaan berikut:

$$s_i^{k+1} = s_i^k + v_i^{k+1} \dots\dots\dots (2-32)$$

dimana:

- s_i^{k+1} : modifikasi posisi partikel i
- s_i^k : posisi partikel i pada perulangan k
- v_i^{k+1} : modifikasi kecepatan dari partikel i

Secara umum parameter *inertia weight* (w) diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut:

$$w = w_{max} - \frac{w_{max} - w_{min}}{iter_{max}} \times iter \dots\dots\dots (2-33)$$

dimana:

- $iter_{max}$: jumlah maksimum iterasi
- $iter$: nomor iterasi yang sekarang

Penggunaan *inertia weight* dapat meningkatkan performansi dalam beberapa aplikasi, nilai pada rentang dinamis dari setiap *variable* biasanya antara 0.4 sampai 0.9. Ukuran *swarm* yang umum digunakan berkisar antara 20 sampai 50, PSO hanya perlu ukuran *swarm* yang lebih kecil dibandingkan algoritma evolusioner yang lain untuk mendapatkan solusi terbaik. Parameter lain yang dikenal dalam PSO adalah

constriction factor yang diperkenalkan oleh Clerc dengan tujuan dapat menjamin suatu penelusuran untuk konvergen lebih cepat. *Constriction factor* yang digunakan memiliki nilai $\phi = 4.1$, maka nilai rata-rata untuk $c_1 = c_2$ diset sama dengan 2.05, sehingga nilai $C = 0.729$.

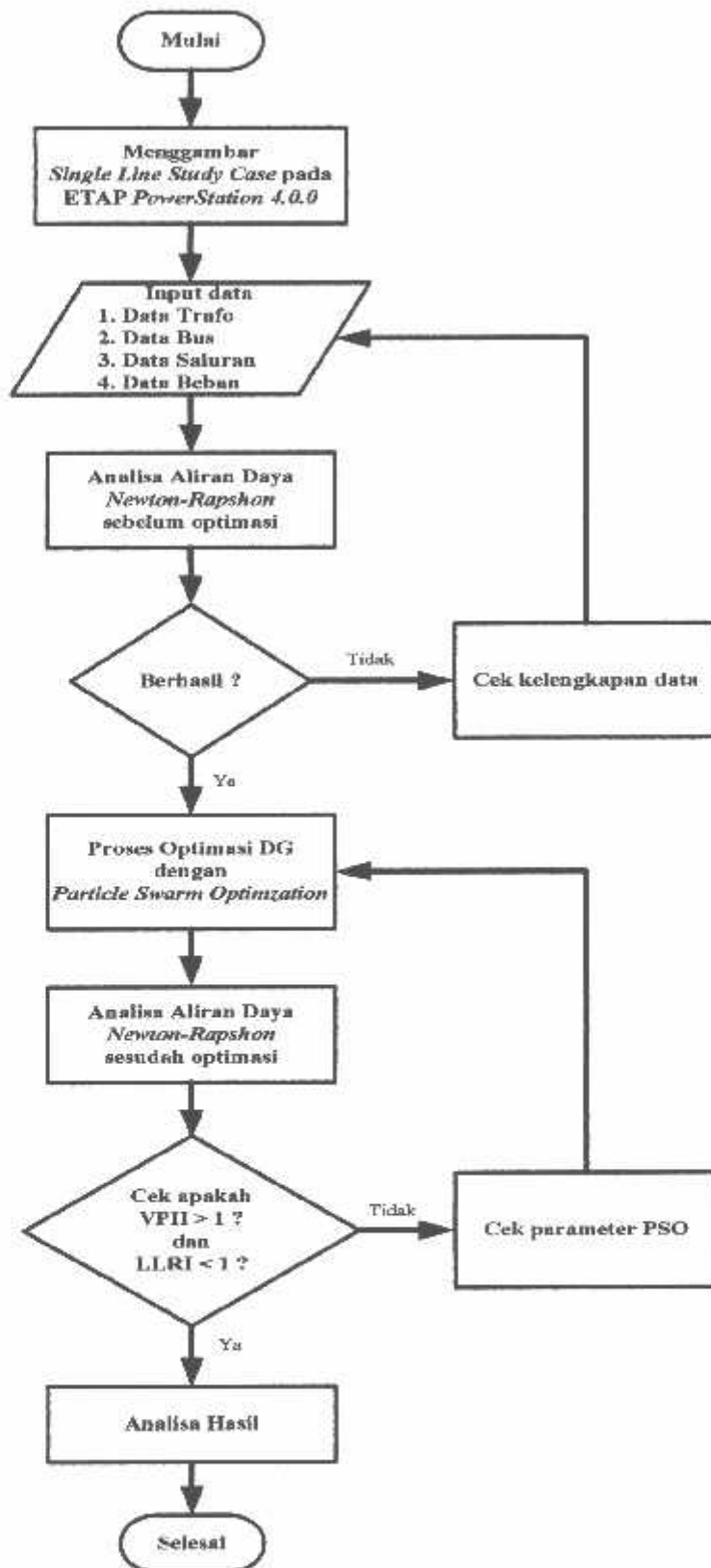
4. Kembali ke langkah nomor 2 sampai kriteria terpenuhi, biasanya berhenti pada nilai *fitness* yang cukup baik atau sampai pada jumlah maksimum iterasi.

2.6.6. Algoritma Penyelesaian Masalah dan *Flowchart*

2.6.6.1. Algoritma Pemecahan Masalah

1. Mulai
 2. Menggambar *Single Line Study Case* pada ETAP *PowerStation 4.0.0*.
 3. Memasukkan data yang digunakan untuk analisa aliran daya seperti: data bus, data trafo, data saluran, dan data beban.
 4. Melakukan analisa aliran daya sebelum alokasi DG dengan metode *Newton Raphson*.
 5. Mengecek apakah berhasil.
 - a) "Tidak": cek kelengkapan data
 - b) "Ya" : proses selanjutnya (langkah 6)
 6. Melakukan proses optimasi alokasi *Distributed Generation* menggunakan metode *Particle Swarm Optimization*
 7. Melakukan analisa aliran daya sesudah alokasi DG dengan metode *Newton Raphson*.
 8. Mengecek apakah nilai $VPII > 1$ dan $LLRI < 1$.
 - a) "Tidak": cek parameter PSO
 - b) "Ya" : proses selanjutnya (langkah 9)
 9. Analisa hasil
 10. Selesai
-

2.6.6.2. Flowchart Pemecahan Masalah

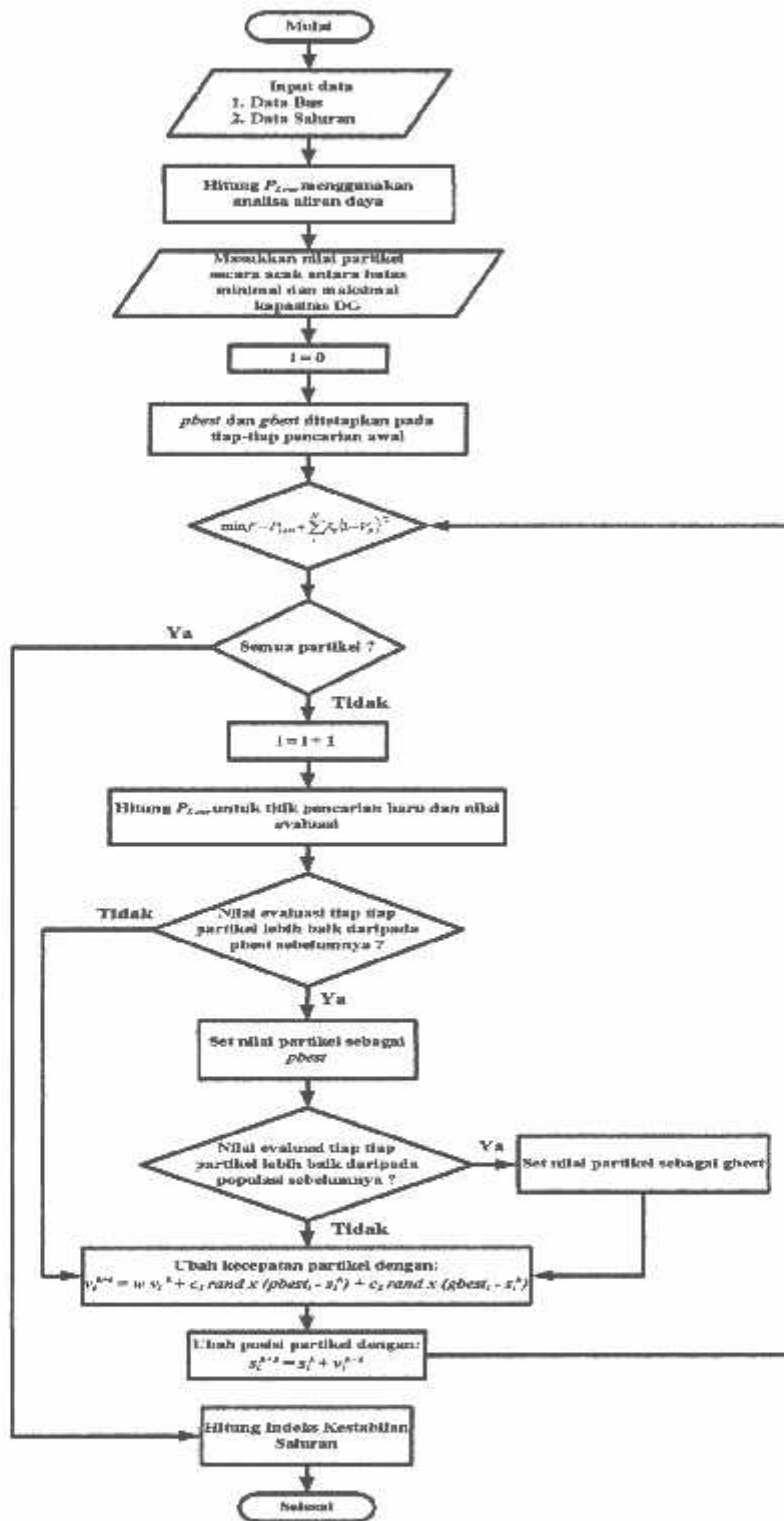


Gambar 2.22
Flowchart Pemecahan Masalah

2.6.6.3. Algoritma Optimasi Alokasi *Distributed Generation* (DG) menggunakan Metode *Particle Swarm Optimization* (PSO)

1. Mulai
 2. Masukkan data: data bus dan data saluran
 3. Menghitung P_{Loss} menggunakan perhitungan aliran daya *Newton Raphson*
 4. Masukkan nilai batas ruang pencarian antara batas minimal dan maksimal kapasitas DG.
 5. Masukkan $i = 0$
 6. $pbest$ dan $gbest$ ditetapkan pada tiap-tiap pencarian awal
 7. Hitung tiap partikel dengan fungsi obyektif kemudian bandingkan hasilnya dengan partikel lain
 8. Mengecek apakah sudah semua partikel
 - a) “Tidak”: hitung partikel lain dengan $i = i + 1$
 - b) “Ya” : proses selanjutnya (langkah 16)
 9. Hitung P_{Loss} untuk titik pencarian baru dan nilai evaluasi
 10. Mengecek nilai evaluasi tiap tiap partikel lebih baik daripada $pbest$ sebelumnya:
 - a) “Tidak”: menuju ke langkah 14
 - b) “Ya” : proses selanjutnya (langkah 11)
 11. Set sebagai nilai $pbest$
 12. Mengecek nilai $pbest$ lebih baik daripada $gbest$.
 - a) “Tidak”: menuju ke langkah 14
 - b) “Ya” : proses selanjutnya (langkah 13)
 13. Set sebagai nilai $gbest$
 14. Hitung kecepatan baru tiap partikel dengan Persamaan (2-31)
 15. Hitung posisi baru tiap partikel dengan Persamaan (2-32)
 16. Hitung indeks kestabilan saluran
 17. Selesai
-

2.6.6.4. Flowchart Optimasi Alokasi *Distributed Generation* (DG) menggunakan Metode *Particle Swarm Optimization* (PSO)



Gambar 2.23
Flowchart Optimasi Alokasi *Distributed Generation* menggunakan Metode
Particle Swarm Optimization

BAB III

PENGUMPULAN DATA

3.1. Area Pelayanan dan Jaringan Malang

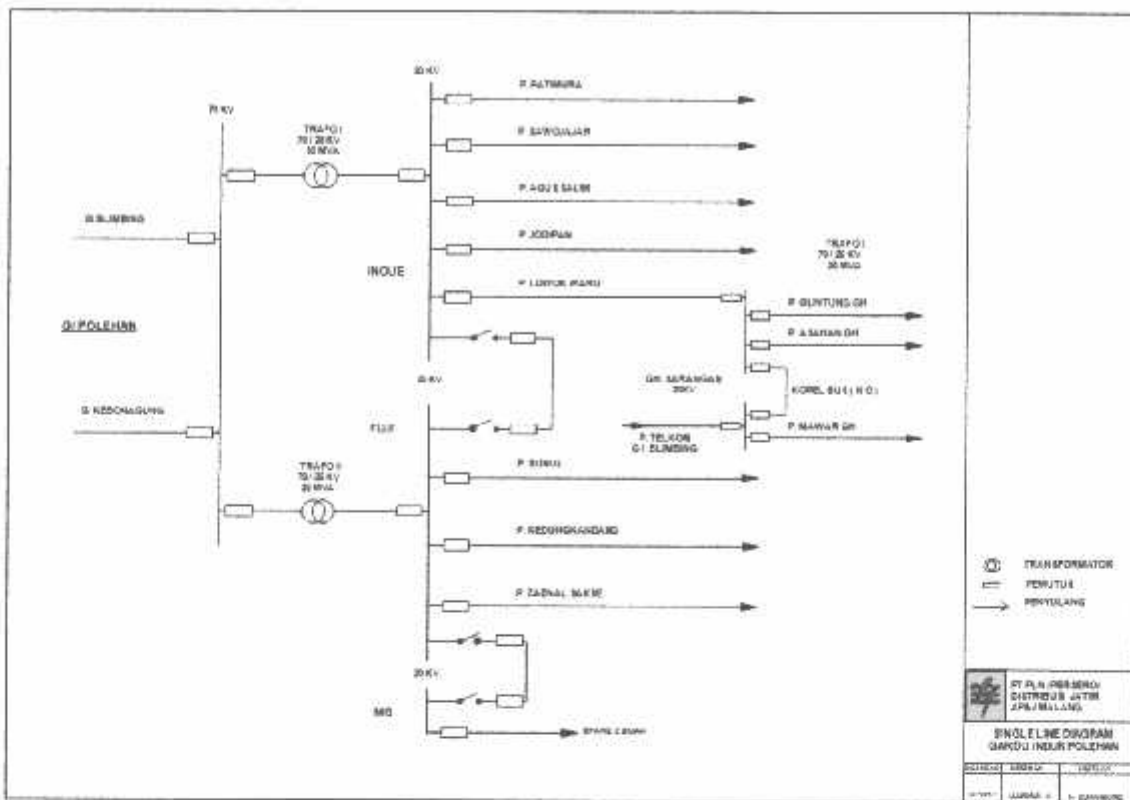
PT. PLN (Persero) Area Pelayanan dan Jaringan (APJ) Malang yang berlokasi di Jalan Jendral Basuki Rachmad 100 Malang merupakan suatu lembaga yang memiliki peranan penting dalam pendistribusian tenaga listrik kepada konsumen. Salah satu tugas dari PT. PLN (Persero) Area Pelayanan dan Jaringan (APJ) Malang yaitu melakukan pengawasan terhadap beberapa Gardu Induk yang berada di dalam daerah operasionalnya. Untuk membantu dalam menjalankan tugas, suatu Area Pelayanan (AP)/ APJ di bagi menjadi beberapa unit pada tiap daerah yang dinamakan Unit Pelayanan dan Jaringan (UPJ).

3.2. Sejarah Singkat GI Polehan

Pada mulanya GI Polehan menggunakan sistem 70/6 kV terpasang 2 transformator dengan kemampuan 2 x 6 MVA melayani 3 penyulang (Merdeka Barat, Juanda Dan Kotalama). Pada tahun 1978, sistem ini ditambah dengan 70/ 20 kV terpasang 1 transformator 10 MVA. Dengan penambahan sistem ini, maka penyulang ikut ditambah sebanyak 3 buah (Suropati, Kedung Kandang, Zaenal Zakse). Dikarenakan perkembangan kota Malang yang pesat, maka permintaan listrik makin tinggi dan pada tahun 1988 transformator sistem 70/20 kV 10 MVA tidak memenuhi, maka ditambah dengan transformator 70/20 kV 20 MVA serta penambahan 3 penyulang (Pattimura, Sawojajar, Agus Salim). Bersamaan dengan itu, transformator sistem 70/6 kV di ganti transformator transisi dengan sistem 20/6 kV 4 MVA. Dan sejak Juli 1994 transformator sistem 70/20 kV 10 MVA diganti dengan sistem 70/20 kV 30 MVA sampai saat ini. Pada bulan september 1995 penyulang 6 kV (Merdeka Barat, Juanda, Kotalama) tidak dioperasikan dan diganti dengan sistem 20 kV melalui penyulang Jodipan.

3.3. Sistem Jaringan GI Polehan

GI Polehan menerima suplai tenaga listrik melalui jaringan SUTT 70 kV dari GI Kebon Agung, kemudian di salurkan dengan SUTT 70 kV ke GI Blimbing.



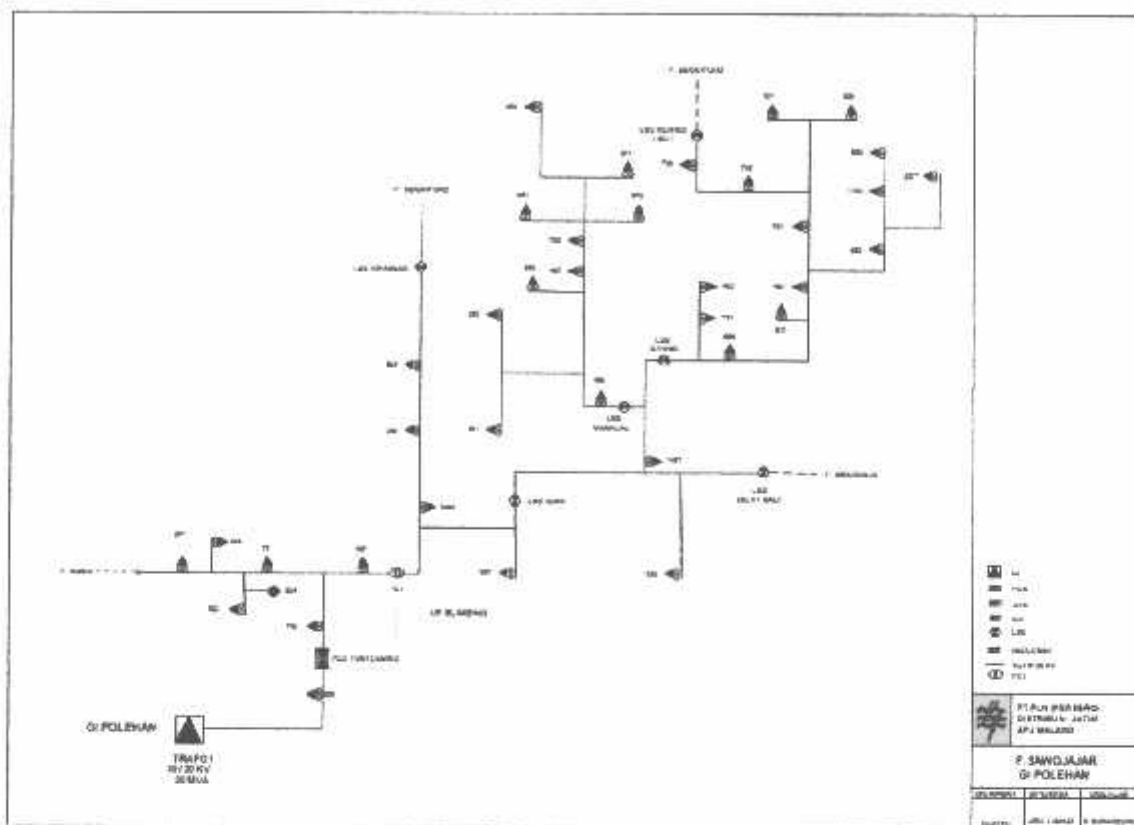
Gambar 3.1
Single line diagram GI Polehan

Tegangan yang diterima GI Polehan adalah 70 kV, kemudian di turunkan menjadi 20 kV melalui transformator tenaga yang di salurkan ke penyulang-penyulang. Melalui trafo distribusi yang ada di penyulang, tegangan 20 kV diturunkan menjadi 220/380 volt sesuai dengan kebutuhan konsumen. Pengaturan beban pada GI Polehan adalah sebagai berikut:

1. Trafo I di salurkan ke Penyulang Patimura, Penyulang Sawojajar, Penyulang Agus Salim dan Penyulang Jodipan.
2. Trafo II disalurkan ke Penyulang Bunul, Penyulang Kedung Kandang dan Penyulang Zaenal Zakse.

3.4. Penyulang Sawojajar

Penyulang Sawojajar merupakan penyulang tipe radial yang memperoleh pasokan energi dari Gardu Induk Polehan. Gardu Induk Polehan memiliki dua buah transformator tenaga untuk menurunkan tegangan tinggi dari 70 kV menjadi tegangan menengah 20 kV.



Gambar 3.2
Single line diagram Penyulang Sawojajar GI Polehan

Penyulang Sawojajar sendiri di suplai dari Trafo I yang mempunyai spesifikasi data sebagai berikut:

Merk	: UNINDO
No. Seri	: A.9470160-02
Vektor	: YNyn0 (d11)
Daya	: 30 MVA
Tegangan Kerja	: 70 / 20 kV
Impedansi	: 12,34 %
I_n P Transformator	: 247,4 A
I_n S Transformator	: 866 A
Tegangan Tap Min	: 77350 V
Tegangan Tap Max	: 59500 V
Pendingin	: ONAN/ONAF
NGR	: 500 Ω
Jenis Kabel <i>Incoming</i>	: XLPE 800 mm ²

3.4.1. Data Pengukuran Beban Penyulang Sawojajar

Tabel 3.1
Data Pengukuran Beban Penyulang Sawojajar

NO GARDU	ALAMAT	DAYA (kVA)	BEBAN (kVA)	PROSENTASE PEMBEBANAN (%)
77	Jl. Mayjend Wiyono	150	56	37
167	Jl. Ranugrati	160	153	96
241	Jl. Mayjend Wiyono	160	82	51
250	Jl. Raya Sawojajar	250	244	97
251	Jl. Danau Maninjau Selatan	100	47	47
252	Jl. Danau Maninjau Selatan	100	78	78
463	Jl. Danau Sentan: Raya	200	156	78
464	Jl. Danau Toba	250	228	90
465	Jl. Danau Kerinci: Raya	250	218	87
466	Prm. Sawojajar	250	156	62
467	Prm. Sawojajar	128	86	67
522	Jl. Mayjend Wiyono	100	63	63
524	Jl. Raya Sawojajar	250	235	94
534	Jl. Mayjend Wiyono	100	85	85
626	Jl. Punta Dewa	200	149	74
631	Jl. Danau Paniai	100	85	85
651	Prm. Asabri	250	200	80
652	Prm. Asabri	250	191	76
653	Prm. Asabri	160	112	70
670	Jl. Danau Mantana	160	125	78
671	Jl. Danau Tondano	160	147	91
701	Jl. Danau Sentani Raya	200	109	54
702	Jl. Danau Tigi	160	131	89
733	Jl. Danau Kerinci Raya	100	84	84
743	Jl. Kalimosodo	200	124	62
791	Jl. Danau Kerinci	160	107	67
792	Jl. Danau Maninjau	160	130	81
811	Jl. Danau Sentani (TELKOM)	160	KHUSUS	KHUSUS
830	Jl. Danau Paniai	160	122	76
852	Jl. Danau Sentani	200	115	57
853	Jl. Danau Sentani Tengah	160	71	44
859	Jl. Selat Sunda IV	100	68	68
887	Jl. Danau Rawa Pening	200	141	70
934	Jl. Indroprasto	160	73	46
987	Sarinah Swalayan Sawojajar	250	155	62
1064	Jl. Raya Sawojajar	150	140	93
1067	Jl. Danau Toba	100	84	84
1103	Jl. Danau Tondar.o	80	58	72

Lanjutan Tabel 3.3
Data Saluran Penyulang Sawojajar

NO SALURAN	DARI	KE	PANJANG (m)
21	792	651	295,1
22	651	670	268,1
23	670	671	388,4
24	671	1103	288,4
25	1103	652	107,3
26	466	464	557
27	464	791	453,7
28	791	465	115,4
29	464	811	479,2
30	811	463	334,2
31	463	701	174
32	701	702	290,8
33	702	733	239,7
34	701	830	284,5
35	830	631	320,8
36	463	852	289,5
37	852	853	140,1
38	853	887	351,1

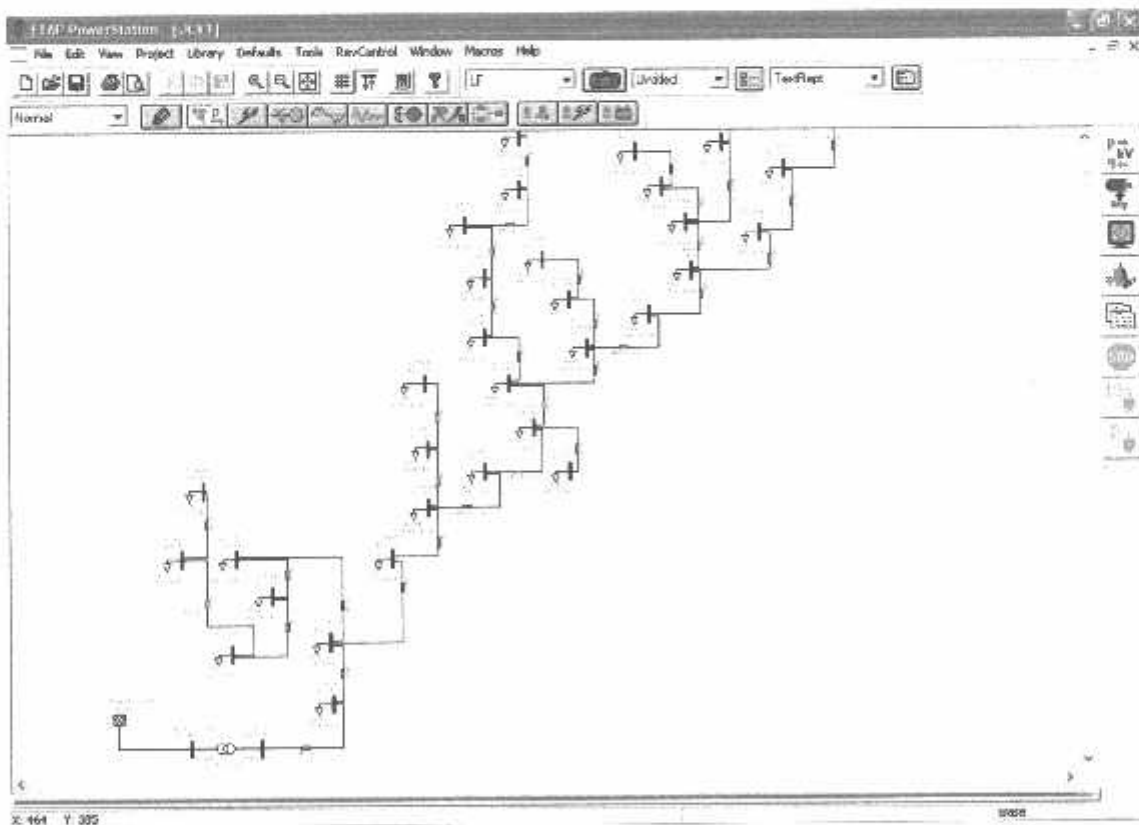
BAB IV ANALISA DAN HASIL

4.1. Optimasi Alokasi *Distributed Generation* menggunakan Metode *Particle Swarm Optimization* dengan ETAP *PowerStation 4.0.0* dan MATLAB 7.0.4.

Untuk menyelesaikan masalah optimasi ini, digunakan dua *software* yaitu ETAP *PowerStation 4.0.0* dan MATLAB 7.0.4 dimana ETAP *PowerStation 4.0.0* di gunakan untuk menggambar *single line diagram* dan menganalisa aliran daya sedangkan MATLAB 7.0.4 digunakan untuk mencari optimasi penempatan *Distributed Generation* (DG) menggunakan metode *Particle Swarm Optimization* (PSO).

Untuk menyelesaikan perhitungan aliran daya, terlebih dahulu *ditetapkan one line diagram* sesuai dengan sistem yang akan dianalisis. Langkah-langkah untuk simulasi analisa aliran daya dengan menggunakan ETAP *PowerStation 4.0.0* adalah sebagai berikut:

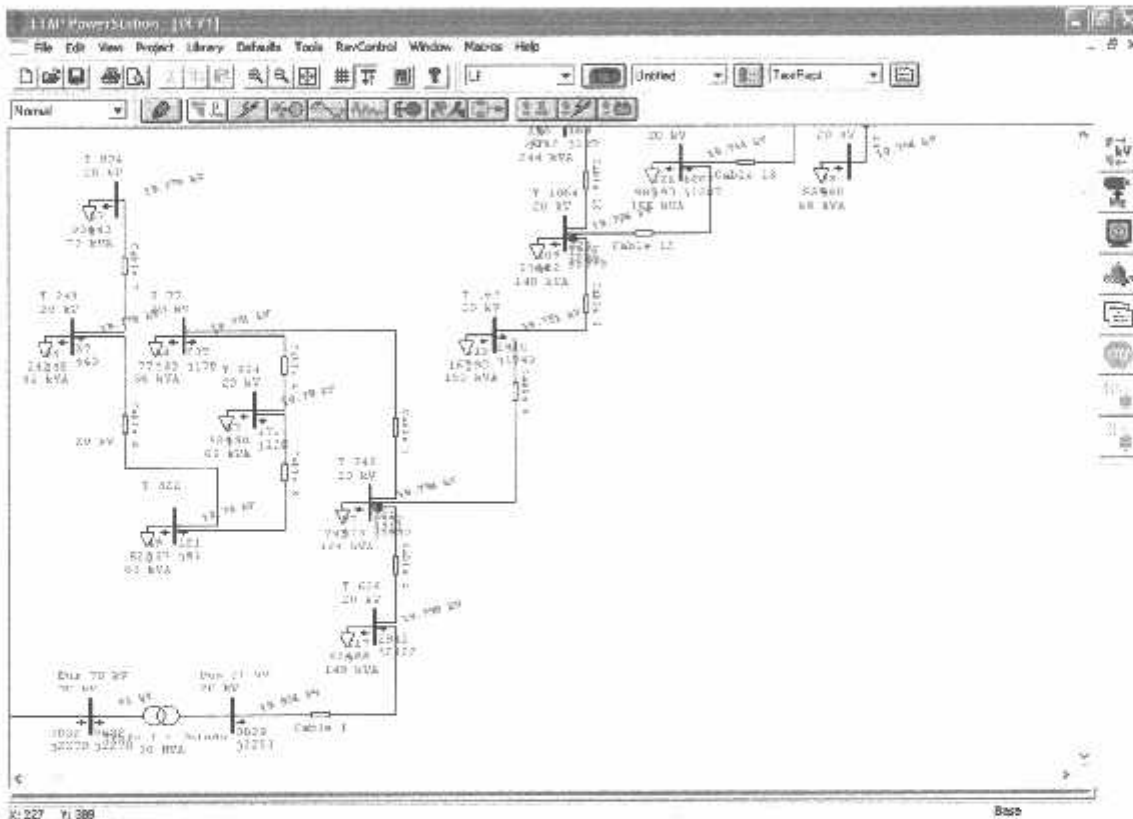
1. Menggambar *One Line Diagram*.



Gambar 4.1
One line diagram Penyulang Sawojajar pada ETAP *PowerStation 4.0.0*

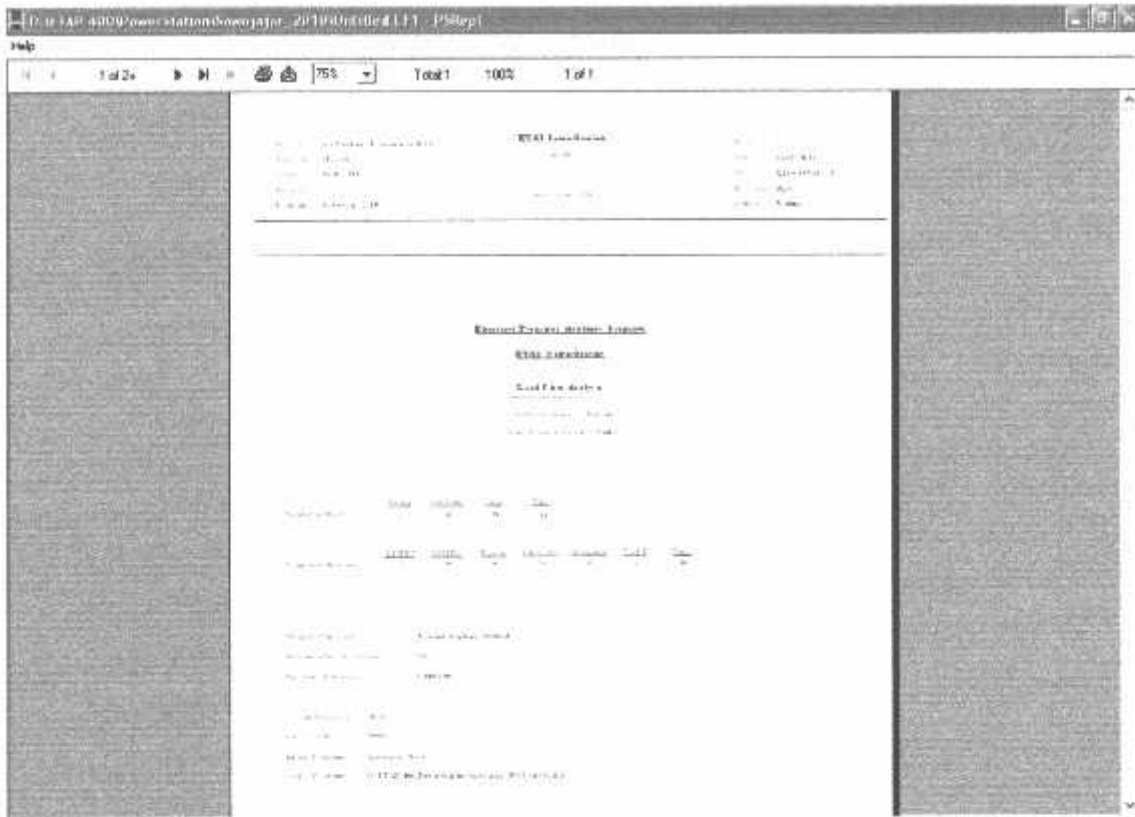
Gambar 4.1 adalah *one line diagram* Penyulang Sawojajar yang digambarkan pada ETAP *Powerstation* 4.0.0 untuk perhitungan aliran daya. Gardu Induk Polehan Penyulang Sawojajar memiliki 1 *swing bus*, 1 *generator bus* dan 38 *load bus* dengan jumlah saluran (*cable*) 38.

1. Memasukkan data transformator daya.
2. Memasukkan data bus.
3. Memasukkan data beban.
4. Memasukkan data saluran.
5. Menganalisa aliran daya.



Gambar 4.2
Hasil analisa aliran daya Penyulang Sawojajar
pada ETAP *PowerStation* 4.0.0 sebelum alokasi DG

Setelah *one line diagram* beserta *properties* masing-masing komponen selesai dibuat, maka analisa dapat dilakukan yaitu dengan memilih *Load Flow Analysis* pada *mode toolbar*. Hasil perhitungan dari ETAP *PowerStation* 4.0.0 akan langsung di tampilkan pada *one line diagram* seperti pada Gambar 4.2.



Gambar 4.3
Report Manager pada ETAP PowerStation 4.0.0

Untuk melihat perhitungan program analisa secara detail dan mencetaknya bisa dilakukan dengan memilih *Report Manager* pada *mode toolbar*.

4.1.1. Hasil Simulasi Aliran Daya ETAP PowerStation 4.0.0 Sebelum Alokasi *Distributed Generation (DG)*

Berikut adalah laporan hasil analisa aliran daya pada Penyulang Sawojajar sebelum dipasangkannya DG. Besarnya tegangan dasar, tegangan sebenarnya, profil tegangan dan rugi saluran yang terjadi sebelum alokasi DG dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2.

Tabel 4.1
Hasil simulasi analisa aliran daya untuk Tegangan sebelum alokasi DG

NO GARDU	TEGANGAN DASAR (kV)	TEGANGAN SEBENARNYA (kV)	PROFIL TEGANGAN (p.u)
Bus 70 kV	70	70	1
Bus 20 kV	20	19,753	0,9876
77	20	19,726	0,9863

Lanjutan Tabel 4.1
 Hasil simulasi analisa aliran daya untuk Tegangan sebelum alokasi DG

NO GARDU	TEGANGAN DASAR (kV)	TEGANGAN SEBENARNYA (kV)	PROFIL TEGANGAN (p.u)
167	20	19,686	0,9843
241	20	19,723	0,9861
250	20	19,652	0,9826
251	20	19,600	0,9800
252	20	19,597	0,9798
463	20	19,575	0,9787
464	20	19,591	0,9795
465	20	19,588	0,9794
466	20	19,609	0,9804
467	20	19,582	0,9791
522	20	19,724	0,9862
524	20	19,647	0,9823
534	20	19,725	0,9862
626	20	19,745	0,9872
631	20	19,572	0,9786
651	20	19,578	0,9789
652	20	19,571	0,9785
653	20	19,586	0,9793
670	20	19,575	0,9787
671	20	19,572	0,9786
701	20	19,573	0,9786
702	20	19,572	0,9786
733	20	19,572	0,9786
743	20	19,731	0,9865
791	20	19,589	0,9794
792	20	19,581	0,9790
811	20	19,581	0,9790
830	20	19,572	0,9786
852	20	19,573	0,9786
853	20	19,573	0,9786
859	20	19,622	0,9811
887	20	19,572	0,9786
934	20	19,723	0,9861
987	20	19,641	0,9820
1064	20	19,653	0,9826
1067	20	19,622	0,9811
1103	20	19,571	0,9785

Dari Tabel 4.1, dapat dilihat tegangan pada Gardu 652 adalah sebesar 19,571 kV dan memiliki profil tegangan sebesar 0,9785 p.u, oleh karena itu Gardu 652 akan dipilih sebagai lokasi pemasangan DG karena terletak pada ujung saluran dan memiliki profil tegangan yang rendah pada sistem distribusi jaringan radial di Penyulang Sawojajar.

Tabel 4.2
 Hasil simulasi analisa aliran daya untuk Rugi Saluran sebelum alokasi DG

NAMA SALURAN	RUGI SALURAN (kW)
<i>Cable 1</i>	1,1
<i>Cable 2</i>	1,9
<i>Cable 3</i>	0,1
<i>Cable 4</i>	0,0
<i>Cable 5</i>	0,0
<i>Cable 6</i>	0,0
<i>Cable 7</i>	0,0
<i>Cable 8</i>	5,3
<i>Cable 9</i>	3,7
<i>Cable 10</i>	0,0
<i>Cable 11</i>	0,0
<i>Cable 12</i>	1,1
<i>Cable 13</i>	1,8
<i>Cable 14</i>	0,0
<i>Cable 15</i>	1,2
<i>Cable 16</i>	0,3
<i>Cable 17</i>	0,1
<i>Cable 18</i>	0,3
<i>Cable 19</i>	0,1
<i>Cable 20</i>	0,0
<i>Cable 21</i>	0,1
<i>Cable 22</i>	0,0
<i>Cable 23</i>	0,0
<i>Cable 24</i>	0,0
<i>Cable 25</i>	0,0
<i>Cable 26</i>	0,9
<i>Cable 27</i>	0,0
<i>Cable 28</i>	0,0
<i>Cable 29</i>	0,3
<i>Cable 30</i>	0,2
<i>Cable 31</i>	0,0
<i>Cable 32</i>	0,0
<i>Cable 33</i>	0,0
<i>Cable 34</i>	0,0
<i>Cable 35</i>	0,0
<i>Cable 36</i>	0,0
<i>Cable 37</i>	0,0
<i>Cable 38</i>	0,0
Trafo I - Unindo	3,8
TOTAL	22,5

Dari Tabel 4.2, dapat dilihat bahwa rugi-rugi saluran pada keadaan sebelum alokasi DG adalah sebesar 22,5 kW. Untuk saluran yang bernilai 0 kW, besarnya rugi saluran hanya dapat diketahui pada ukuran Watt. Simulasi pada ETAP *PowerStation* 4.0.0 memberikan hasil rugi saluran dalam ukuran kiloWatt (kW).

4.1.2. Prosedur Pelaksanaan Metode *Particle Swarm Optimization* (PSO) pada MATLAB 7.0.4

Prosedur pelaksanaan selanjutnya adalah menjalankan program optimasi *Distributed Generation* (DG) menggunakan metode *Particle Swarm Optimization* (PSO) dengan menggunakan MATLAB 7.0.4. Sebelum menjalankan program, terlebih dahulu dimasukkan data pembebanan dan data saluran pada Penyulang Sawojajar yang diperoleh dari hasil analisa aliran daya pada ETAP *PowerStation* 4.0.0.

Adapun nama dan penomoran bus pada Penyulang Sawojajar yang terdiri dari 40 bus sesuai dengan Tabel 4.3

Tabel 4.3
Penomoran Bus

NO BUS	NO GARDU	NO BUS	NO GARDU
1	Bus 70 kV	21	467
2	Bus 20 kV	22	792
3	626	23	651
4	743	24	670
5	77	25	671
6	534	26	1103
7	522	27	652
8	241	28	464
9	934	29	791
10	167	30	465
11	1064	31	811
12	250	32	463
13	524	33	701
14	987	34	702
15	1067	35	733
16	859	36	830
17	466	37	631
18	251	38	852
19	252	39	853
20	653	40	887

Untuk data pembebanan adalah nomor bus, tipe bus, dan besarnya daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) seperti pada Tabel 4.4.

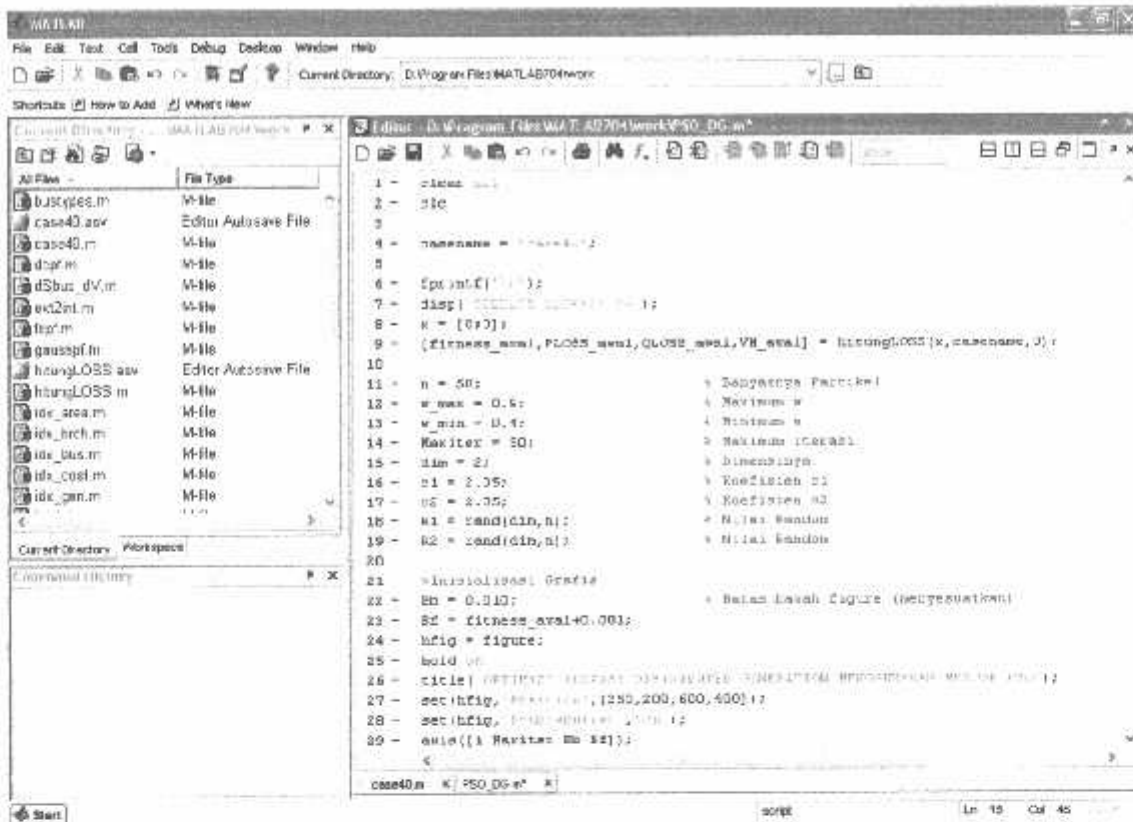
Tabel 4.4
Data Bus

NO BUS	TIPE BUS	P (MW)	Q (MVAR)
1	<i>Swing Bus</i>	0	0
2	<i>Generator Bus</i>	0	0
3	<i>Load Bus</i>	0.119	0.089
4	<i>Load Bus</i>	0.099	0.074
5	<i>Load Bus</i>	0.045	0.034
6	<i>Load Bus</i>	0.068	0.051
7	<i>Load Bus</i>	0.050	0.038
8	<i>Load Bus</i>	0.066	0.049
9	<i>Load Bus</i>	0.058	0.044
10	<i>Load Bus</i>	0.122	0.092
11	<i>Load Bus</i>	0.112	0.084
12	<i>Load Bus</i>	0.195	0.146
13	<i>Load Bus</i>	0.188	0.141
14	<i>Load Bus</i>	0.124	0.093
15	<i>Load Bus</i>	0.067	0.050
16	<i>Load Bus</i>	0.054	0.041
17	<i>Load Bus</i>	0.125	0.094
18	<i>Load Bus</i>	0.038	0.028
19	<i>Load Bus</i>	0.062	0.047
20	<i>Load Bus</i>	0.090	0.067
21	<i>Load Bus</i>	0.069	0.052
22	<i>Load Bus</i>	0.104	0.078
23	<i>Load Bus</i>	0.160	0.120
24	<i>Load Bus</i>	0.100	0.075
25	<i>Load Bus</i>	0.118	0.088
26	<i>Load Bus</i>	0.046	0.035
27	<i>Load Bus</i>	0.153	0.115
28	<i>Load Bus</i>	0.182	0.137
29	<i>Load Bus</i>	0.086	0.064
30	<i>Load Bus</i>	0.174	0.131
31	<i>Load Bus</i>	0.128	0.096
32	<i>Load Bus</i>	0.125	0.094
33	<i>Load Bus</i>	0.087	0.065
34	<i>Load Bus</i>	0.105	0.079
35	<i>Load Bus</i>	0.067	0.050
36	<i>Load Bus</i>	0.098	0.073
37	<i>Load Bus</i>	0.068	0.051
38	<i>Load Bus</i>	0.092	0.069
39	<i>Load Bus</i>	0.057	0.043
40	<i>Load Bus</i>	0.113	0.085

Sedangkan untuk data saluran adalah saluran antar bus, resistansi (R) dan reaktansi (X) seperti pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5
Data Saluran

SALURAN		R	X
DARI	KE	$\Omega/p.u$	
1	2	0.0173	0.4110
2	3	0.0052	0.0079
3	4	0.0093	0.0142
4	5	0.0422	0.0645
5	6	0.0059	0.0090
6	7	0.0111	0.0169
7	8	0.0197	0.0301
8	9	0.0120	0.0183
4	10	0.0323	0.0494
10	11	0.0244	0.0373
11	12	0.0080	0.0123
12	13	0.0572	0.0875
11	14	0.0102	0.0156
14	15	0.0178	0.0272
15	16	0.0155	0.0237
15	17	0.0130	0.0199
17	18	0.0230	0.0352
18	19	0.0080	0.0123
19	20	0.0312	0.0477
20	21	0.0122	0.0186
21	22	0.0014	0.0021
22	23	0.0160	0.0244
23	24	0.0145	0.0222
24	25	0.0210	0.0321
25	26	0.0156	0.0238
26	27	0.0058	0.0089
17	28	0.0301	0.0460
28	29	0.0245	0.0375
29	30	0.0062	0.0095
28	31	0.0259	0.0396
31	32	0.0181	0.0276
32	33	0.0094	0.0144
33	34	0.0157	0.0240
34	35	0.0130	0.0198
33	36	0.0154	0.0235
36	37	0.0173	0.0265
32	38	0.0156	0.0239
38	39	0.0076	0.0116
39	40	0.0190	0.0290



Gambar 4.4
Tampilan parameter *Particle Swarm Optimization* (PSO)
pada MATLAB 7.0.4

Berikutnya adalah memasukkan data parameter *Particle Swarm Optimization* (PSO) serta fungsi obyektif:

- n : 50 (jumlah partikel)
- w_{max} : 0.9 (nilai maksimal w)
- w_{min} : 0.4 (nilai minimal w)
- $maxiter$: 50 (iterasi maksimal)
- $c1$ dan $c2$: 2.05 (koefisien $c1$ dan koefisien $c2$)
- $r1$ dan $r2$: antara 0 dan 1 (nilai random)
- x_{max} dan x_{min} : batas ruang pencarian yang digunakan PSO untuk mencari kapasitas DG yang optimal (10 kW – 250 kW).

Besarnya kapasitas DG adalah adalah 10 kW - 10.000 kW (Willis, 2000), dan pada penelitian ini batas minimal yang digunakan adalah 10 kW sesuai dengan referensi dan batas maksimal yang digunakan adalah 250 kW berdasarkan kapasitas maksimal trafo daya yang terdapat di Penyulang Sawojajar.

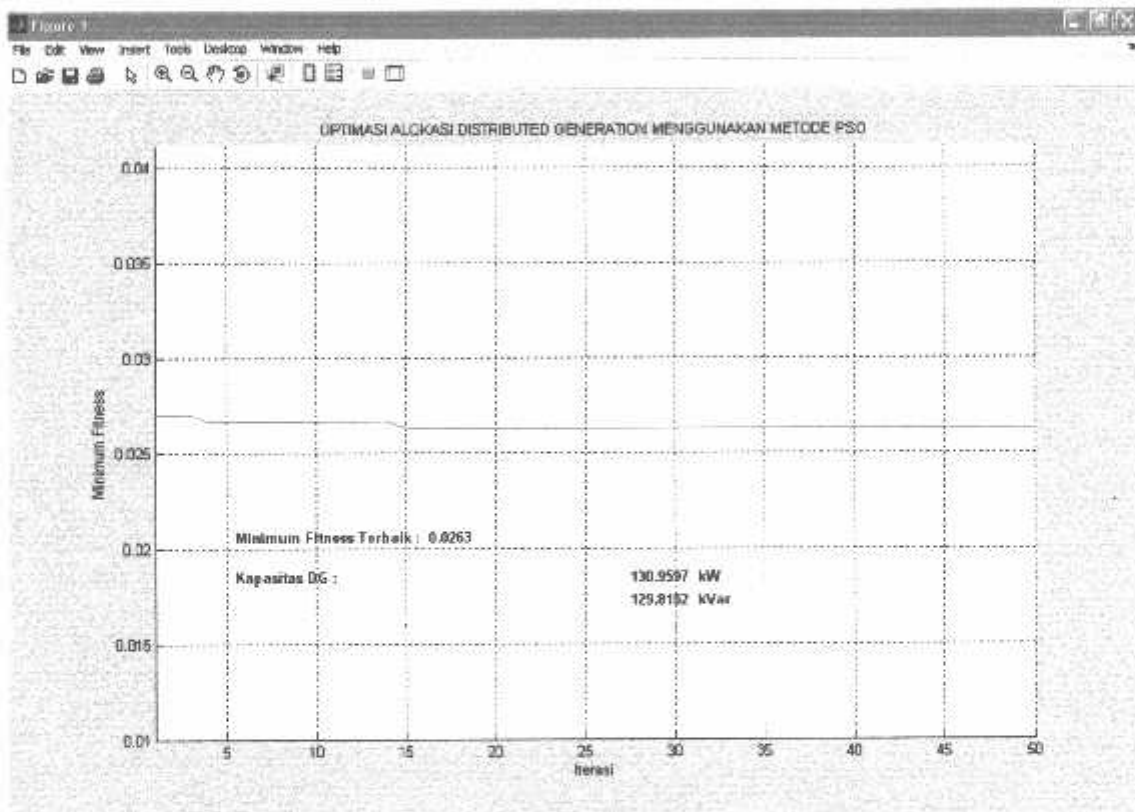
Dari hasil perhitungan simulasi PSO diperoleh nilai minimum fitness adalah 0.0263, lokasi DG pada Gardu 652, dengan kapasitas DG sebesar 130,9597 kW berdasarkan fungsi obyektif pada Persamaan (2-30):

$$\min f = P_{Loss} + \sum_i^N \lambda_p (1 - V_p)^2$$

$$\min f = 0.024 + \sum_{27}^{40} 1 \times (1 - V_p 1)^2 + (1 - V_p 2)^2 + (1 - V_p 3)^2 + \dots + (1 - V_p 40)^2$$

$$\min f = 0.024 + \sum_{27}^{40} 1 \times (1 - 1)^2 + (1 - 0.9872)^2 + (1 - 0.9867)^2 + \dots + (1 - 0.9777)^2$$

$$\min f = 0.0263$$

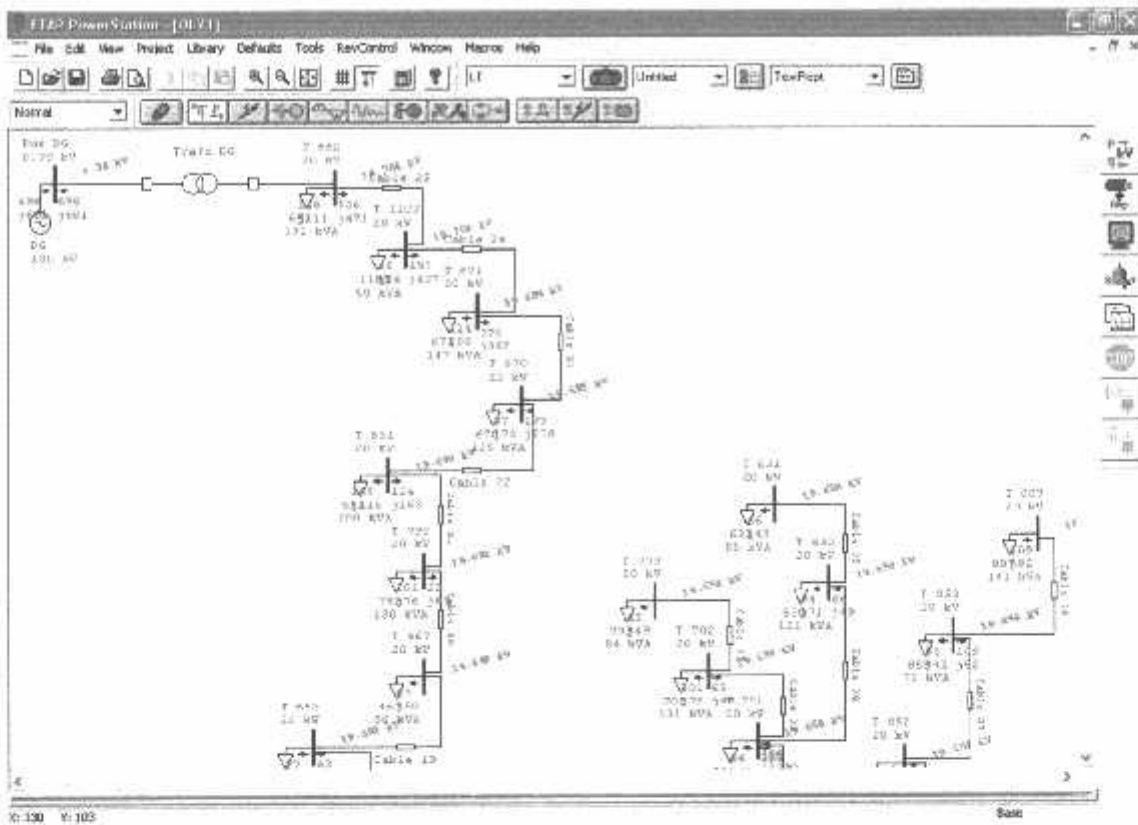


Gambar 4.5

Hasil optimasi alokasi *Distributed Generation* (DG) menggunakan metode *Particle Swarm Optimization* (PSO) pada MATLAB 7.0.4

4.1.3. Hasil Simulasi Analisa Aliran Daya ETAP *PowerStation* 4.0.0 Sesudah Alokasi *Distributed Generation* (DG)

Setelah di ketahui letak optimasi terbaik dari penempatan DG maka langkah selanjutnya yaitu menjalankan aliran daya dari Penyulang Sawojajar dengan pemasangan DG pada ETAP *PowerStation* 4.0.0 seperti pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6

Hasil analisa aliran daya Penyulang Sawojajar pada ETAP *PowerStation* 4.0.0 sesudah alokasi DG

Besarnya tegangan dasar, tegangan sebenarnya, profil tegangan dan rugi saluran yang terjadi sebelum alokasi DG dapat dilihat pada Tabel 4.6 dan Tabel 4.7.

Tabel 4.6

Hasil simulasi analisa aliran daya untuk Tegangan sesudah alokasi DG

NO GARDU	TEGANGAN DASAR (kV)	TEGANGAN SEBENARNYA (kV)	PROFIL TEGANGAN (p.u)
Bus 70 kV	70	70	1
Bus 20 kV	20	19,804	0,9902
Bus DG	0,38	0,38	1
77	20	19,781	0,9890
167	20	19,751	0,9875
241	20	19,778	0,988
250	20	19,725	0,9862
251	20	19,693	0,9846
252	20	19,693	0,9846
463	20	19,661	0,9830
464	20	19,677	0,9838
465	20	19,674	0,9837
466	20	19,695	0,9847
467	20	19,692	0,9846

Lanjutan Tabel 4.6
 Hasil simulasi analisa aliran daya untuk Tegangan sesudah alokasi DG

NO GARDU	TEGANGAN DASAR (KV)	TEGANGAN SEBENARNYA (KV)	PROFIL TEGANGAN (p.u)
522	20	19,780	0,9890
524	20	19,720	0,9860
534	20	19,780	0,9890
626	20	19,798	0,9899
631	20	19,658	0,9829
651	20	19,693	0,9846
652	20	19,704	0,9852
653	20	19,692	0,9846
670	20	19,695	0,9847
671	20	19,699	0,9849
701	20	19,659	0,9829
702	20	19,658	0,9829
733	20	19,658	0,9829
743	20	19,786	0,9893
791	20	19,675	0,9837
792	20	19,692	0,9846
811	20	19,667	0,9833
830	20	19,658	0,9829
852	20	19,659	0,9829
853	20	19,659	0,9829
859	20	19,704	0,9852
887	20	19,658	0,9829
934	20	19,778	0,9889
987	20	19,718	0,9859
1064	20	19,726	0,9863
1067	20	19,704	0,9852
1103	20	19,702	0,9851

Dari Tabel 4.6, dapat dilihat tegangan pada gardu nomor 652 sesudah alokasi DG adalah sebesar 19,704 kV dan memiliki profil tegangan sebesar 0,9852 p.u.

Tabel 4.7
 Hasil simulasi analisa aliran daya untuk Rugi Saluran sesudah alokasi DG

NAMA SALURAN	RUGI SALURAN (kW)
<i>Cable 1</i>	0,7
<i>Cable 2</i>	1,2
<i>Cable 3</i>	0,1
<i>Cable 4</i>	0,0
<i>Cable 5</i>	0,0
<i>Cable 6</i>	0,0
<i>Cable 7</i>	0,0
<i>Cable 8</i>	3,2
<i>Cable 9</i>	2,2
<i>Cable 10</i>	0,0

Lanjutan Tabel 4.7
 Hasil simulasi analisa aliran daya untuk Rugi Saluran sesudah alokasi DG

NAMA SALURAN	RUGI SALURAN (kW)
Cable 11	0,0
Cable 12	0,6
Cable 13	0,9
Cable 14	0,0
Cable 15	0,6
Cable 16	0,0
Cable 17	0,0
Cable 18	0,0
Cable 19	0,0
Cable 20	0,0
Cable 21	0,0
Cable 22	0,0
Cable 23	0,1
Cable 24	0,1
Cable 25	0,0
Cable 26	0,9
Cable 27	0,0
Cable 28	0,0
Cable 29	0,3
Cable 30	0,2
Cable 31	0,0
Cable 32	0,0
Cable 33	0,0
Cable 34	0,0
Cable 35	0,0
Cable 36	0,0
Cable 37	0,0
Cable 38	0,0
Trafo I - Unindo	3,2
Trafo DG	1,6
TOTAL	15,5

Dari Tabel 4.7, dapat dilihat bahwa rugi-rugi saluran pada Penyulang Sawojajar sesudah alokasi DG adalah sebesar 15,5 kW.

4.2. Analisa Optimasi Alokasi *Distributed Generation* menggunakan Metode *Particle Swarm Optimization* dengan ETAP *PowerStation* 4.0.0 dan MATLAB 7.0.4.

Berikut adalah laporan hasil analisa perbandingan aliran daya sebelum dan sesudah dipasangkannya DG pada Penyulang Sawojajar yang disimulasikan pada ETAP *PowerStation* 4.0.0

Tabel 4.8
Perbandingan hasil simulasi analisa aliran daya untuk Tegangan
sebelum dan sesudah alokasi DG

NO GARDU	TEGANGAN DASAR (kV)	SEBELUM		SESUDAH		PROSENTASE PENINGKATAN %
		TEGANGAN SEBENARNYA (kV)	PROFIL TEGANGAN (p.u)	TEGANGAN SEBENARNYA (kV)	PROFIL TEGANGAN (p.u)	
Bus 70 kV	70	70	1	70	1	-
Bus 20 kV	20	19,753	0,9876	19,804	0,9902	0,263
Bus DG	0,38	-	-	0,38	1	-
77	20	19,726	0,9863	19,781	0,9890	0,273
167	20	19,686	0,9843	19,751	0,9875	0,324
241	20	19,723	0,9861	19,778	0,988	0,192
250	20	19,652	0,9826	19,725	0,9862	0,365
251	20	19,600	0,9800	19,693	0,9846	0,467
252	20	19,597	0,9798	19,693	0,9846	0,488
463	20	19,575	0,9787	19,661	0,9830	0,437
464	20	19,591	0,9795	19,677	0,9838	0,437
465	20	19,588	0,9794	19,674	0,9837	0,437
466	20	19,609	0,9804	19,695	0,9847	0,437
467	20	19,582	0,9791	19,692	0,9846	0,559
522	20	19,724	0,9862	19,780	0,9890	0,283
524	20	19,647	0,9823	19,720	0,9860	0,375
534	20	19,725	0,9862	19,780	0,9890	0,283
626	20	19,745	0,9872	19,798	0,9899	0,273
631	20	19,572	0,9786	19,658	0,9829	0,437
651	20	19,578	0,9789	19,693	0,9846	0,579
652	20	19,571	0,9785	19,704	0,9852	0,680
653	20	19,586	0,9793	19,692	0,9846	0,538
670	20	19,575	0,9787	19,695	0,9847	0,609
671	20	19,572	0,9786	19,699	0,9849	0,640
701	20	19,573	0,9786	19,659	0,9829	0,437
702	20	19,572	0,9786	19,658	0,9829	0,437
733	20	19,572	0,9786	19,658	0,9829	0,437
743	20	19,731	0,9865	19,786	0,9893	0,283
791	20	19,589	0,9794	19,675	0,9837	0,437
792	20	19,581	0,9790	19,692	0,9846	0,569
811	20	19,581	0,9790	19,667	0,9833	0,437
830	20	19,572	0,9786	19,658	0,9829	0,437
852	20	19,573	0,9786	19,659	0,9829	0,437
853	20	19,573	0,9786	19,659	0,9829	0,437
859	20	19,622	0,9811	19,704	0,9852	0,416
887	20	19,572	0,9786	19,658	0,9829	0,437
934	20	19,723	0,9861	19,778	0,9889	0,283
987	20	19,641	0,9820	19,718	0,9859	0,396
1064	20	19,653	0,9826	19,726	0,9863	0,375
1067	20	19,622	0,9811	19,704	0,9852	0,416
1103	20	19,571	0,9785	19,702	0,9851	0,670

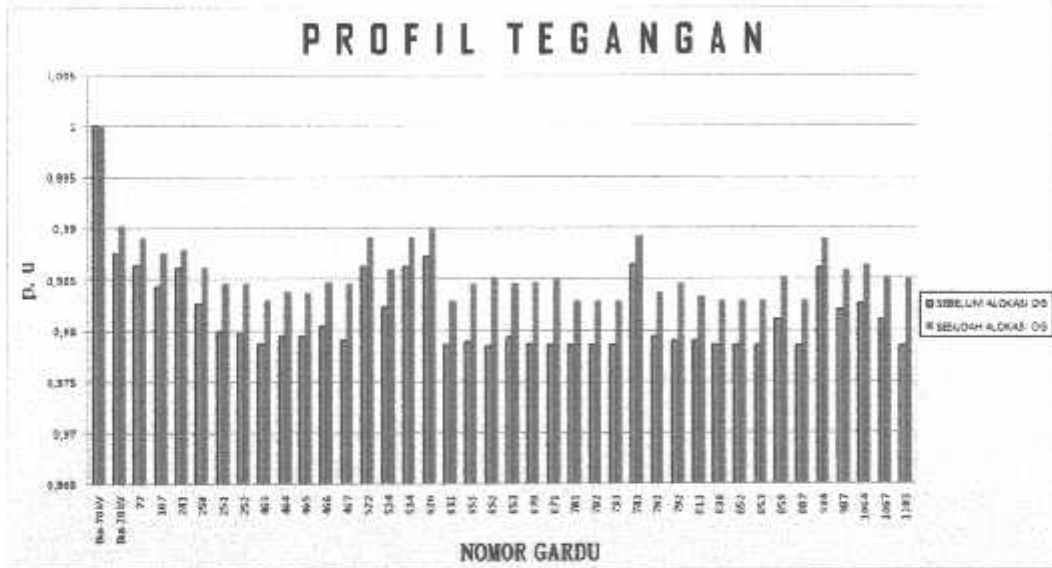
Pada Tabel 4.8 ditunjukkan perbandingan besarnya profil tegangan pada gardu 652 sebelum alokasi DG sebesar 0,9785 p.u menjadi 0,9852 p.u sesudah alokasi DG.

Besarnya prosentase peningkatan profil tegangan adalah:

$$\text{prosentase} = \frac{0,9852 - 0,9785}{0,9785} \times 100 \% = 0,680 \%$$

Untuk perhitungan indeks peningkatan profil tegangan (VPII) sebagai berikut:

$$VPII = \frac{VP_{W/DG}}{VP_{WO/DG}} = \frac{0,9852}{0,9785} = 1,0068$$



Grafik 4.1

Grafik perbandingan Profil Tegangan sebelum dan sesudah alokasi DG

Secara garis besar, pemasangan DG pada Gardu 652 juga meningkatkan profil tegangan pada setiap gardu di Penyulang Sawojajar seperti yang ditunjukkan pada Grafik 4.1.

Tabel 4.9

Perbandingan hasil simulasi analisa aliran daya untuk Rugi Saluran sebelum dan sesudah alokasi DG

NAMA SALURAN	RUGI SALURAN		PROSENTASE PENURUNAN %
	SEBELUM (kW)	SESUDAH (kW)	
Cable 1	1,1	0,7	-
Cable 2	1,9	1,2	-
Cable 3	0,1	0,1	-
Cable 4	0,0	0,0	-
Cable 5	0,0	0,0	-
Cable 6	0,0	0,0	-
Cable 7	0,0	0,0	-
Cable 8	5,3	3,2	-
Cable 9	3,7	2,2	-
Cable 10	0,0	0,0	-

Lanjutan Tabel 4.9
Perbandingan hasil simulasi analisa aliran daya untuk Rugi Saluran
sebelum dan sesudah alokasi DG

NAMA SALURAN	RUGI SALURAN		PROSENTASE PENURUNAN %
	SEBELUM (kW)	SESUDAH (kW)	
Cable 11	0,0	0,0	-
Cable 12	1,1	0,6	-
Cable 13	1,8	0,9	-
Cable 14	0,0	0,0	-
Cable 15	1,2	0,6	-
Cable 16	0,3	0,0	-
Cable 17	0,1	0,0	-
Cable 18	0,3	0,0	-
Cable 19	0,1	0,0	-
Cable 20	0,0	0,0	-
Cable 21	0,1	0,0	-
Cable 22	0,0	0,0	-
Cable 23	0,0	0,1	-
Cable 24	0,0	0,1	-
Cable 25	0,0	0,0	-
Cable 26	0,9	0,9	-
Cable 27	0,0	0,0	-
Cable 28	0,0	0,0	-
Cable 29	0,3	0,3	-
Cable 30	0,2	0,2	-
Cable 31	0,0	0,0	-
Cable 32	0,0	0,0	-
Cable 33	0,0	0,0	-
Cable 34	0,0	0,0	-
Cable 35	0,0	0,0	-
Cable 36	0,0	0,0	-
Cable 37	0,0	0,0	-
Cable 38	0,0	0,0	-
Trafo I - Unindo	3,8	3,2	-
Trafo DG	-	1,6	-
TOTAL	22,5	15,5	31,11

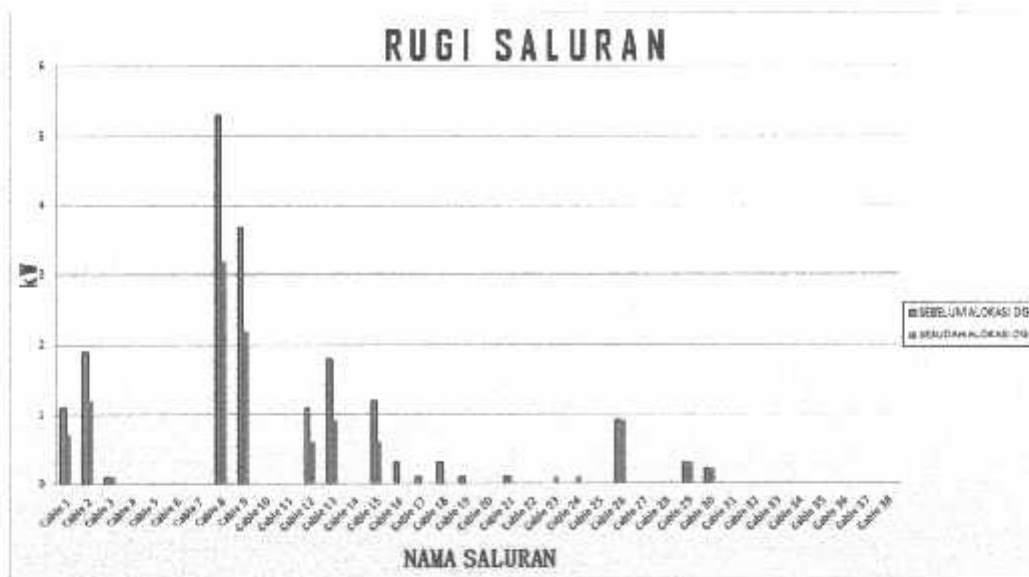
Pada Tabel 4.9 ditunjukkan perbandingan besarnya rugi saluran pada Penyulang Sawojajar sebelum alokasi DG sebesar 22,5 kW menjadi 15,5 kW sesudah alokasi DG.

Besarnya prosentase penurunan rugi saluran adalah:

$$\text{prosentase} = \frac{22,5 - 15,5}{22,5} \times 100 \% = 31,11 \%$$

Untuk perhitungan indeks pengurangan rugi saluran (LLRI) sebagai berikut:

$$LLRI = \frac{LL_{W:DG}}{LL_{WO:DG}} = \frac{15,5}{22,5} = 0,6888$$



Grafik 4.2

Grafik perbandingan Rugi Saluran sebelum dan sesudah alokasi DG

Pemasangan DG pada Gardu 652 di Penyulang Sawojajar dapat menurunkan rugi-rugi pada beberapa saluran seperti yang ditunjukkan pada Grafik 4.2.


Dari keseluruhan hasil simulasi program dan analisa yang telah dilakukan pada G.1 Polehan Penyulang Sawojajar ditunjukkan pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10

Hasil optimasi alokasi *Distributed Generation* menggunakan metode *Particle Swarm Optimization*

NO	KETERANGAN	SEBELUM ALOKASI DG		SESUDAH ALOKASI DG	
		GARDU	KAPASITAS	GARDU	KAPASITAS
1	LOKASI	-	-	652	-
2	KAPASITAS DG	-	-	-	130,959 kW
3	MINIMUM <i>FITNESS</i>	0,0263			
4	PROFIL TEGANGAN PADA GARDU 652	0,9785 p.u		0,9852 p.u	
5	RUGI SALURAN PADA SISTEM (kW)	22,5 kW		15,5 kW	
6	<i>VOLTAGE PROFILE IMPROVEMENT INDEX</i>	1,0068			
7	<i>LINE LOSS REDUCTION INDEX</i>	0,6888			

Dengan asumsi bahwa DG hanya bekerja pada saat jam beban puncak (pukul 17.00 – 23.00), maka jenis DG yang dapat dipasang pada Penyulang Sawojajar adalah Diesel tanpa memperhitungkan biaya operasionalnya dengan contoh spesifikasi sebagai berikut:

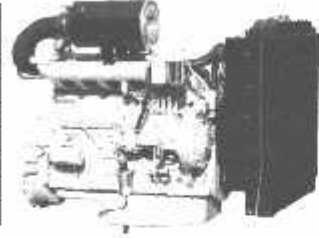


D1146T G-DRIVE

POWER RATING

Engine Speed rev/min	Type of Operation	Engine Power	
		kWm	Ps
1800	Continuous Power	113	153
	Prime Power	125	170
	Standby Power	138	187
1500	Continuous Power	97	131
	Prime Power	107	145
	Standby Power	118	160

Note: 1. The engine performance corresponds to ISO 3046, BS 5514 and DIN 6271.
2. Ratings are based on ISO 8528.
3. Prime power available at variable load. The permissible average power output (during 24h period) shall not exceed 70% of the prime power rating.
4. Standby power available in the event of a main power network failure. No overload is permitted.



MECHANICAL SYSTEM

- Engine Model: D1146T
- Engine Type: In-line 4 cycle, water cooled
Turbo charged
- Combustion type: Direct injection
- Cylinder Type: Replaceable dry liner
- Number of cylinders: 6
- Bore x stroke: 111(4.37) x 139(5.47) mm(in.)
- Displacement: 8,071(492.49) li.(cu³)
- Compression ratio: 16.8 : 1
- Firing order: 1-5-3-6-2-4
- Injection timing: 11° BTDC
- Compression pressure: Above 28 kg/cm²(398 ps.) at 200rpm.
- Dry weight: Approx. 780 kg (1,720 lb)
- Dimension (LxWxH): 1,217 x 824 x 1,074 mm
(50.3 x 32.4 x 42.3 in.)
- Rotation: Counter clockwise viewed from Flywheel
- Fly wheel housing: SAE NO.2
- Fly wheel: Hatch NO.11 1/2

MECHANISM

- Type: Over head valve
- Number of valve: Intake 1, exhaust 1 per cylinder
- Valve lash at cold: Intake 0.30mm (0.0118 in.)
Exhaust 0.30mm (0.0118 in.)

VALVE TIMING

	Opening	Close
○ Intake valve	16 deg. BTDC	36 deg. ABDC
○ Exhaust valve	46 deg. BBDC	14 deg. ATDC

FUEL CONSUMPTION

○ Prime Power (lb/hr)	1,500 rpm	1,800 rpm
25%	8.2	11.4
50%	12.6	18.1
75%	19.5	24.9
100%	25.9	32.5
○ Standby Power (lb/hr)	1,500 rpm	1,800 rpm
25%	8.6	11.9
50%	14.3	19.6
75%	20.4	27.3
100%	27.0	35.1

FUEL SYSTEM

- Injection pump: Zexel in-line "AD" type
- Governor: RSV type (all speed control)
- Feed pump: Mechanical type
- Injection nozzle: Multi hole type
- Opening pressure: 214 kg/cm² (3,044 psi)
- Fuel filter: Full flow, cartridge type
- Used fuel: Diesel fuel oil

LUBRICATION SYSTEM

- Lub. Method: Fully forced pressure feed type
- Oil pump: Gear type driven by crankshaft
- Oil filter: Full flow, cartridge type
- Oil pan capacity: High level 13.5 liters (4.00 gal.)
Low level 12 liters (3.17 gal.)
- Angularity limit: Front down 25 deg.
Front up 25 deg.
Side to side 25 deg.
- Lub. Oil: Refer to Operation Manual

DOOSAN Infracore

Gambar 4.7
Contoh Spesifikasi Diesel yang digunakan

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Setelah dilakukan analisis mengenai penentuan lokasi *Distributed Generation* (DG) yang optimal pada sistem distribusi 20 kV G.I. Polehan Penyulang Sawojajar dengan menggunakan metode *Particle Swarm Optimization* (PSO), maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil optimasi alokasi *Distributed Generation* (DG) menggunakan metode *Particle Swarm Optimization* (PSO) diperoleh lokasi DG pada Gardu 652, dengan kapasitas sebesar 130,9597 kW.
2. Besarnya profil tegangan pada gardu 652 sesudah alokasi DG menjadi 0,9852 p.u atau meningkat 0,680%.
3. Rugi saluran pada Penyulang Sawojajar sesudah alokasi DG berkurang 7 kW atau atau berkurang 31,1% menjadi 15,5 kW.

5.2. Saran

Penggunaan metode *Particle Swarm Optimization* (PSO) untuk menyelesaikan permasalahan alokasi *Distributed Generation* (DG) pada saluran distribusi masih perlu dikembangkan lagi, seperti menentukan jenis DG dan biaya operasionalnya berdasarkan potensi yang dimiliki pada lokasi studi kasus.

DAFTAR PUSTAKA

2001. "ETAP PowerStation 4.0 User Guide". Operation Technology, Inc.
- Ackerman, Thomas., Andersson, Göran., and Söder, Lennart., 2001. "Distributed generation: a definition". **Electric Power System Research** 57, pp. 195-204
- Anonim. "Fundamentals of Particle Swarm Optimization Techniques". Chapter 5.
- Basri, Hasan. 1997. *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. Jakarta: ISTN
- Bloem, Jan., Winter 2006. "Integration & Interconnection". Power Quality and Utilisation Guide Section 8 - Distributed Generation. **Leonardo Energy**.
- Eberhart, R. and Shi, Y., 2001. "Particle swarm optimization: developments, applications and resources". **Proc. of Congress on Evolutionary Computation (CEC 2001)**, Seoul, Korea. Piscataway, NJ: IEEE Service Center.
- Kennedy, J. and Eberhart, R.C., 1995. "Particle Swarm Optimization", **Proceedings of IEEE International Conference on Neural Network (ICNN '1995)**. Vol IV, pp. 1942-1948, Perth, Australia.
- Marsudi, Djiteng. 1990. *Operasi Sistem Tenaga Listrik*. Balai Penerbit dan Humas. ISTN
- Morrison, Jay., Holt, John., Torero, Edward., and Ralls, Marry Ann., August 2007. "White Paper on Distributed Generation". **National Rural Electric Cooperative Association**.
- PT. PLN (Persero) Area Pelayanan Jaringan Malang Unit Pelayanan Jaringan Blimbing.
- Raj, P. Ajay-D-Vimal., Raja, S. Senthikumar, J., S. Ravichandran, S., and Palanivelu, T.G., 2008. "Optimization of Distributed Generation Capacity for Line Loss Reduction and Voltage Profile Improvement Using PSO". **Elektrika**, Vol.10, No. 02, pp. 41-48.
- Stevenson, William D, Jr., 1996. *Analisa Sistem Tenaga Listrik*. Edisi keempat, Erlangga, Jakarta.
- Willis, L. and Scott, W.G., 2000. "Distributed Power Generation." **Marcel Dekker**, New York.

LAMPIRAN I

- Jurnal
 - *Single Line Diagram* G.I Polehan
 - *Single Line Diagram* Penyulang Sawojajar
 - Data Pengukuran Beban Penyulang Sawojajar
 - Data Saluran Penyulang Sawojajar
-

Optimization of Distributed Generation Capacity for Line Loss Reduction and Voltage Profile Improvement Using PSO

P. Ajay-D-Vimal Raj^{1*}, S. Senthilkumar², J. Raja², S. Ravichandran³ and T. G. Palanivelu⁴

¹Department of Electrical and Electronics Engineering, Pondicherry Engineering College, Pondicherry University, Pondicherry, India.

²Department of Electrical and Electronics Engineering, Sri Manakula Vinayagar Engineering College, Pondicherry University, Pondicherry, India.

³Executive Engineer, Main Load Dispatch Centre, Tamil Nadu Electricity Board, Chennai, India

⁴Kamban Engineering College, Anna University, Tiruvannamalai, India

*Corresponding author: ajayvimal@yahoo.com (P. Ajay-D-Vimal Raj). Tel: +91 9486142839, Fax: +91 413 2655101

Abstract: The Distributed Generation (DG) have created a challenge and an opportunity for developing various novel technologies in power generation. The proposed work discusses the primary factors that have lead to an increasing interest in DG. DG reduces line losses, increases system voltage profile and hence improves power quality. The proposed work finds out the optimal value of the DG capacity to be connected to the existing system using Particle Swarm Optimization (PSO) thereby maximizing the power quality. Benefits of employing DG are analysed using Voltage Profile Improvement Index (VPII) and Line Loss Reduction Index (LLRI). The line voltage stability index obtained by performing a conventional Newton-Raphson load flow solution calculates accurately the proximity of the operating point to the voltage collapse point and hence validates the significance of the proposed method. The calculated Line Voltage Stability index using the proposed PSO based method exactly finds out the critical lines as that of the conventional method. The optimum value of the DG obtained increases the maximum loadability of the system. The proposed method is tested on a standard IEEE-30 bus system and the results of the simulation carried out using MATLAB 7.0 are found to be encouraging. The method has a potential to be a tool for identifying the best location and rating a DG to be installed for improving power quality in an electrical power system.

Keywords: Distributed generation, line loss reduction index, particle swarm optimization, voltage profile improvement index.

1. INTRODUCTION

Distributed power generation is a small-scale power generation technology that provides electric power at a site closer to customers than the central generating stations. Distributed generation (DG) provides a multitude of services to utilities and consumers, including standby generation, peaks chopping capability, base load generation. Investments in DG enhance onsite efficiency and provide environmental benefits, particularly in combined heat and power applications. A multitude of events have created a new environment for the electric power infrastructure. The key element of this new environment is to build and operate several DG units near load centres instead of expanding the central-station power plants located far away from customers to meet increasing load demand. Distributed generation technologies can enhance the efficiency, reliability, and operational benefits of the distribution system. A distributed power unit can be connected directly to the consumer or to a utility's transmission or distribution system to provide peaking services.

DG can be powered by both conventional and renewable energy sources [1]. Several DG options are fast becoming economically viable [2-10]. Technologies

that utilise conventional energy sources includes gas turbines, micro turbines and IC engines. Currently, the ones that show promises for DG applications are wind electric conversion systems (WECS), geothermal systems, solar-thermal-electric systems, photovoltaic systems (PV) and fuel cells. T.Hoff et al. [11] have discussed the benefits of DG by evaluating and quantifying in terms of capacity credit, energy value and energy cost saving. The effects of improvement in voltage profile and loss reduction were not considered in the method. Joss et al. [12] have demonstrated the potential of DG with power electronic interface to provide ancillary services such as reactive power, voltage sag compensation and harmonic filtering. It has proved the ability of DG to compensate voltage sag resulting from faults in the power system. However the method did not analyze the amount of power loss reduction due to DG installation. Chiradeja et al. [13] have evaluated a probabilistic approach based on convolution technique to quantify the benefit of voltage profile improvement involving wind turbine generation. Hegazy et al. [14] have presented a Monte Carlo-based method for the adequacy assessment of distributed generation systems. Macken et al. [15] have presented solutions to prevent sensitive equations from disruptive operation by making

se of DG in the presence of voltage dips. Pregelj et al. [16] have demonstrated a combination of clustering techniques and convex hull algorithm for analysis of large sets in renewable distributed generation. Wang et al. [17] have presented non-iterative analytical approaches to determine the optimal location for placing DG in both radial and networked systems to minimize power losses. All the above methods [13-17] are mathematically modelled and hence are found to be complex in its approach.

Quezada et al [18] have presented an approach to compute annual energy losses when different penetration and concentration levels of DG are connected to a distributed network. The method also identifies that when DG units are more dispersed along the network feeders the expected higher losses can be reduced up to a particular DG capacity beyond which loss increases. This idea is used in the proposed method for optimizing the DG capacity corresponding to minimum power loss. Chiradeja [19] has quantified the benefit of reduced line loss in a radial distribution feeder with concentrated load. Ramkumar et al [1] have proposed an approach to enumerate the various power quality indices in terms of voltage profile, line-loss reduction and environment impact reduction. Chiradeja [20] et al. have proposed a general approach and a set of indices to assess some of the technical benefits in a quantitative manner. Several soft computing techniques have been proposed to analyze the potential benefits of DG connected to a power system. Celli et al.[21] have proposed a genetic algorithm based software procedure to establish optimum DG allocation on an existing distribution network considering constraints like feeder capacity limits, feeder voltage profile and three-phase short circuit. Greatbanks [22] has formulated a methodology for locating the most appropriate site and deciding the size of DG. Optimum siting is done by sensitivity analysis of power flow equations. Optimum sizing is formed as a security constrained optimization problem and solved by genetic algorithm. The soft computing techniques for optimization are mainly based on GA. Though the GA methods have been employed successfully to solve complex optimization problems, recent research has identified some deficiencies in GA performance. This degradation in efficiency is apparent in applications with highly *epistatic* objective functions (i.e., where the parameters being optimized are highly correlated) [the crossover and mutation operations cannot ensure better fitness of offspring because chromosomes in the population have similar structures and their average fitness is high towards the end of the evolutionary process] [23], [24]. Moreover, the premature convergence of GA degrades its performance and reduces its search capability that leads to a higher probability toward obtaining a local optimum [23].

Eberhart and Kennedy have developed Particle Swarm Optimisation (PSO) based on the analogy of swarm of bird and fish school [25]. PSO is an exciting new methodology in evolutionary computation that is somewhat similar to a genetic algorithm in that the system is initialized with a population of random solutions. Unlike other algorithms, however, each potential solution (called a particle) is also assigned a randomized velocity and then flown through the problem

hyperspace [26,27]. PSO is a population-based evolutionary technique that has many key advantages over other optimization techniques. PSO is a derivative-free algorithm unlike many conventional techniques and is less sensitive to the nature of the objective function, i.e., convexity or continuity. These swarm intelligence based methods have less parameters to adjust and escapes local minima. The proposed method is easy to implement and program with basic mathematical and logic operations. It can also handle objective functions with stochastic nature and does not require a good initial solution to start its iteration process.

In the proposed method, particle swarm optimization technique is used to identify the optimum generation capacity of the DG and its location to provide maximum power quality improvement for a standard IEEE-30 bus test system. The improvement in system line voltage stability after connecting a DG is identified by a line voltage stability indicator proposed by Choube et al. [28] which takes into effect both the real and reactive power of the system.

2. APPROACH TO QUANTIFY THE BENEFITS OF DG

In order to evaluate and quantify the benefits of distributed generation suitable mathematical models must be employed along with distribution system models and power flow calculations to arrive at indices of benefits. Among the many benefits three major ones are considered: Voltage profile improvement, line loss reduction and line voltage stability.

2.1 Voltage Profile Improvement Index

The inclusion of DG results in improved voltage profile at various buses. The Voltage Profile Improvement Index (VPII) quantifies the improvement in the voltage profile (VP) with the inclusion of DG [1]. It is expressed as,

$$VPII = \frac{VP_{w/DG}}{VP_{w/o/DG}} \quad (1)$$

Based on this definition, the following attributes are:

VPII < 1, DG has not beneficial,

VPII = 1, DG has no impact on the system voltage profile,

VPII > 1 DG has improved the voltage profile of the system.

where, $VP_{w/DG}$, $VP_{w/o/DG}$ are the measures of the voltage profile of the system with DG and without DG respectively. The general expression for VP is given as,

$$VP = \sum_{i=1}^N V_i L_i K_i \quad (2)$$

with

$$\sum_{i=1}^N K_i = 1 \quad (3)$$

where, V_i is the voltage magnitude at bus i in per-unit, L_i is the load represented as complex bus power at bus i in per-unit, K_i is the weighting factor for bus i , and N is the

total number of buses in the distribution system. The weighting factors are chosen based on the importance and criticality of different loads. As defined, the expression for VP provides an opportunity to quantify and aggregate the importance, amounts, and the voltage levels at which loads are being supplied at the various load buses in the system. This expression should be used only after making sure that the voltages at all the load buses are within allowable minimum and maximum limits, typically between 0.95 p.u. and 1.05 p.u. The weighting factors are chosen based on the importance and criticality of the different loads. No overarching rules can be formulated at the present time. Starting with a set of equal weighting factors, modifications can be made and, based on an analysis of the results, the set that will lead to the most acceptable voltage profile on a system-wide basis can be selected. It should be noted that if all the load buses are equally weighted, the value of K_i is given as

$$K_1 = K_2 = K_3 = \dots = K_N = \frac{1}{N} \quad (4)$$

In this case all the load buses are given equal importance. In reality, DG can be installed almost anywhere in the system. Therefore, VPII can be used to select the best location for DG.

In general, the highest value of VPII implies the best location for installing DG in terms of improving voltage profile. The voltage profile expression in (4) recognizes the influences of the amount and importance of load at each bus. It allows the possibility of a low-load bus with important load to have a strong impact. In general, weighting factors are assigned based on the importance/criticality of load at each bus.

2.2 Line Loss Reduction Index

Another major benefit offered by installation of DG is the reduction in electrical line losses [1]. By installing DG, line currents can be reduced, thus helping to reduce electrical line losses. The proposed line loss reduction index (LLRI) is defined as

$$LLRI = \frac{LL_{w/DG}}{LL_{wo/DG}} \quad (5)$$

where, $LL_{w/DG}$ is the total line losses in the system with the employment of DG and $LL_{wo/DG}$ is the total line losses in the system without DG and it can be

$$LL_{wo/DG} = 3 \sum_{i=1}^M I_i^2 R D_i \quad (6)$$

where, I_i is the per unit line current in distribution line i with the employment of DG, R is the line resistance (pu/km), D_i is the distribution line length (km), and M is the number of lines in the system.

Similarly, $LL_{w/DG}$ is expressed as

$$LL_{w/DG} = 3 \sum_{i=1}^M I_i^2 R D_i \quad (7)$$

where, I_i is the per-unit line current in distribution line i without DG.

Based on this definition, the following attributes are:

- LLRI < 1 DG has reduced electrical line losses,
- LLRI = 1 DG has no impact on system line losses,
- LLRI > 1 DG has caused more electrical line losses.

This index can be used to identify the best location to install DG to maximize the line loss reduction. The minimum value of LLRI corresponds to the best DG location scenario in terms of line loss reduction.

2.3 Line Voltage Stability Index

The important aspect of voltage stability assessment is to find the distance (MW/MVAR/MVA) to maximum loadability point from the present operating point [28]. Line voltage stability index is used to get accurately the proximity of the operating point to voltage collapse point by the index given by; the real and reactive power flow equations in terms of transmission line constants are formulated as follows

$$P_R = \frac{V_S V_R}{B} \cos(\beta - \delta) - \frac{A}{B} V_R^2 \cos(\beta - \alpha) \quad (8)$$

$$Q_R = \frac{V_S V_R}{B} \sin(\beta - \delta) - \frac{A}{B} V_R^2 \sin(\beta - \alpha) \quad (9)$$

where, $A \angle \alpha$ and $B \angle \beta$ are the transmission line constants

$$A = 1 + \frac{ZY}{2} \quad (10)$$

$$B = Z \quad (11)$$

If the length of the line is medium, then Z is the total series impedance of line, Y is the total line charging susceptance. If it is a long transmission line, then

$$A = 1 + Z^1 \frac{Y^1}{2} \quad (12)$$

$$B = Z^1 \quad (13)$$

where

$$Z^1 = Z \left(\frac{\sinh \gamma l}{\gamma l} \right) \quad (14)$$

$$\frac{Y^1}{2} = \frac{Y}{2} \left[\frac{\tanh \gamma \frac{l}{2}}{\gamma \frac{l}{2}} \right] \quad (15)$$

γ is propagation constant and l is the length of transmission line.

The formulae for the receiving end real and reactive powers can be formulated as follows

$$P_R = \frac{E_R |E_S|}{|B|} \cos(\beta - \delta) - \frac{E_R^2 |A|}{|B|} \cos(\beta - \alpha) \quad (16)$$

$$Q_R = \frac{E_R |E_S|}{|B|} \sin(\beta - \delta) - \frac{E_R^2 |A|}{|B|} \sin(\beta - \alpha) \quad (17)$$

these can be rewritten as,

$$P_R + \frac{E_k^2 |A|}{|B|} \cos(\beta - \alpha) = \frac{E_s |E_s|}{|B|} \cos(\beta - \alpha) \quad (18)$$

$$Q_R + \frac{E_k^2 |A|}{|B|} \sin(\beta - \alpha) = \frac{E_s |E_s|}{|B|} \sin(\beta - \alpha) \quad (19)$$

Then by eliminating δ , by squaring and adding the two equations.

We obtain the locus of P_R against Q_R to be a circle with given values of A and B and for assumed values of E_R and $|E_S|$ to be as follows.

$$\left\{ P_R + \frac{E_k^2 |A|}{|B|} \cos(\beta - \alpha) \right\}^2 + \left\{ Q_R + \frac{E_k^2 |A|}{|B|} \sin(\beta - \alpha) \right\}^2 = \left[\frac{E_k |E_s|}{|B|} \right]^2$$

If k^{th} bus is the sending end and m^{th} bus is the receiving end and expanding the above equation we get as follows, the above equation should have the real roots for V_m for the system to be stable. Hence the following condition should be satisfied

$$L_i = \frac{2 \frac{B}{A} \sqrt{(P_m^2 + Q_m^2)}}{\frac{V_k^2}{A^2} - 2 \frac{B}{A} P_m \cos(\beta - \alpha) - 2 \frac{B}{A} Q_m \sin(\beta - \alpha)} \leq 1 \quad (20)$$

where, P_m and Q_m are the Real and Reactive power received at the receiving end m , $A \angle \alpha$ and $B \angle \beta$ are the transmission line constants, V_k and V_m are the voltages at the sending end bus k and receiving end bus m . L_i is termed as voltage stability index of the line. As long as the above index value is less than unity, the system is stable. The lines having high value of the index can be predicted as the critical lines which contribute to voltage collapse.

At collapse point, the value of L_i will be unity. Based on voltage stability indices, voltage collapse can be accurately being predicted. The lines having high value of the index can be predicted as the critical lines, which contribute to voltage collapse. At or near the collapse point, voltage stability index of one or more line approach to unity. This method is used to assess the voltage stability.

3. THE PROPOSED PSO BASED OPTIMIZATION OF DISTRIBUTION GENERATION CAPACITY IN A VERTICAL UTILITY SYSTEM

3.1 The Objective Function

The proposed work aims at minimizing the combined objective function designed to reduce power loss and also improve system performance for various values of distributed generations. The main objective function is defined as

$$\min f = P_{loss} + \sum_1^N \lambda_p (1 - V_p)^2 \quad (21)$$

where, λ_p is the penalty factor of bus voltages and is heuristically taken as 1, P_{loss} is the real power loss

obtained from the load flow solution at the base case, V_p is the voltage profile of the buses.

3.2 PSO Based Optimization

PSO is a population based stochastic optimization technique developed by Kennedy and Eberhart [25]. A population of particles exists in the n -dimensional search space. Each particle has a certain amount of knowledge, and will move about the search space based on this knowledge. The particle has some inertia attributed to it and so it will continue to have a component of motion in the direction it is moving. It knows where in the search space, it will encounter with the best solution. The particle will then modify its direction such that it has additional components towards its own best position, $pbest$ and towards the overall best position, $gbest$. The particle updates its velocity and position with the following equations (22) and (23)

$$V[i] = w * V[i] + C_1 * rand[] * (pbest[i] - present[i]) + C_2 * rand[] * (gbest[i] - present[i]) \quad (22)$$

$$present[i] = present[i] + v[i] \quad (23)$$

$V[i]$ is the particle velocity, $present[i]$ is the current particle position, $pbest[i]$ and $gbest[i]$ are the best position the particle has currently found and the best position found by any particle respectively, C_1, C_2 are acceleration constants and $rand()$ is a random number between (0,1). Usually $C_1=C_2=2$. The acceleration coefficients C_1 and C_2 control how far a particle moves in a single iteration. The inertia weight, w is used to control the convergence behaviour of PSO. Suitable selection of the inertia weight provides a balance between global and local exploration and exploitation of results in lesser number of iterations on an average to find a sufficient optimal solution. Equation for w is given as:

$$w = \frac{w_{max} - w_{min}}{iter_{max}} * iter \quad (24)$$

where $iter_{max}$ is the maximum number of iterations and $iter$ is the current iteration number. In the PSO method, there is only one population in each iteration that moves towards the global optimal point. This makes PSO computationally faster and the convergence abilities of this method are better than the other evolutionary computation techniques [14] [15] such as Genetic Algorithms (GA). However, unlike GA, PSO has no evolution operators such as crossover and mutation.

The values of the DG are taken as the particles to be optimized for obtaining a minimum value of objective function. The upper and lower values of the DG are fixed based on the availability of the power generation at the site.

3.2.1 PSO algorithm for optimizing DG capacity for Power quality improvement

The sequential steps are as follows:

1. Randomly generate the particles value between upper and lower limits of DG capacity.
2. Assign the initial particle value as the pbest values.
3. Compute the objective function of each particle with its pbest and the best among the pbest is gbest.
4. Change the velocity and position of the particle using (22) and (23).
5. Compare the objective function of each particle with its pbest. If the current value is better than pbest then set pbest value equal to the current value and pbest location equal to the current location in the d dimensional search space.
6. Compare the best current fitness evaluation with the population's gbest. If the current value is better than the gbest, then reset gbest to current best position and fitness value.
7. Repeat Step 4 to Step 6 until the convergence criterion of maximum number of evaluations are met.
8. Corresponding to optimal DG, calculate line voltage stability index values.

4. RESULTS AND DISCUSSIONS OF STANDARD IEEE 30 BUS SYSTEM

The study has been conducted on an IEEE-30 bus system shown in Figure 1. The buses having less voltage profile were identified after performing Newton-Raphson load flow analysis and are chosen as the locations for the DGs to be installed. Here the bus numbers 30, 26, 7 and 29 have less voltage profiles at the base case and hence were chosen as locations for DG installations.

- Case 1: DG Located at Bus 30.
- Case 2: DG located at Bus 26.
- Case 3: DG located at Bus 7.
- Case 4: 50 % of DG located at Bus 30 and Bus 26.
- Case 5: 50% of DG located at Bus 7 and Bus 29.

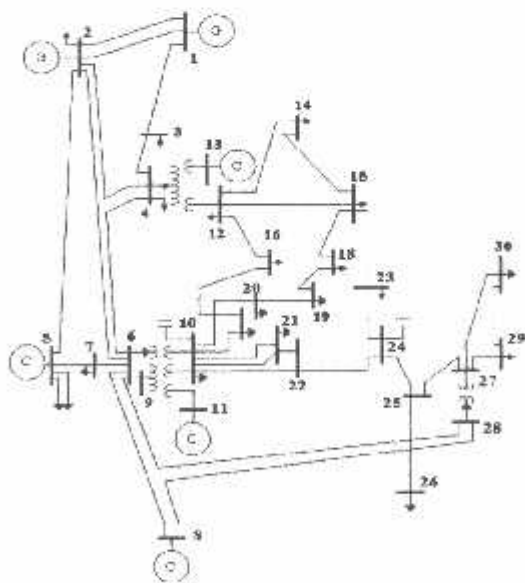


Figure 1. Standard IEEE 30 bus system

4.1 Results of Improvement in Voltage Profile and Line Loss Reduction of the system

Table 1a and Table 1b indicates that for the various cases considered, the values of the voltage profile of the system have improved considerably by connecting a DG of various capacities. The voltage profile of the base case was calculated to be 2.9441 p.u. When a DG rating of 0.2 p.u. and 0.3 p.u. were connected for cases 1 to 5. The voltage profile of the system has improved which clearly indicates the need of a DG. It should be noted that the voltages at every bus before employing a DG (base case) was maintained within 5 % of the reference voltage (1 p.u.) Therefore an improvement of about 1 % - 1.8 % indicates a reasonable good and significant impact on the voltage profile.

Table 1a. Voltage profile improvements for a DG rating of 0.2 p.u.

Cases	DG rating of 0.2 p.u.		
	VP (p.u.)	VPII	Improvement (%)
Base Case	2.9441	-	-
Case 1	2.9510	1.0135	1.35
Case 2	2.9492	1.0129	1.29
Case 3	2.9458	1.0117	1.17
Case 4	2.9509	1.0135	1.35
Case 5	2.9479	1.0124	1.24

Table 1b. Voltage profile improvements for a DG rating of 0.3 p.u.

Cases	DG rating of 0.3 p.u.		
	VP (p.u.)	VPII	Improvement (%)
Base Case	2.9117	-	-
Case 1	2.9531	1.0142	1.42
Case 2	2.9503	1.0133	1.33
Case 3	2.9466	1.0120	1.20
Case 4	2.9534	1.0143	1.43
Case 5	2.9495	1.0130	1.30

Figure 2 shows variation of improvement in voltage profile at bus 30 for different DG ratings. The reduction in line losses is evident after connecting DG as shown in Table 2a and Table 2b. It indicates the reduction in line losses with installation of DG for various cases. The line loss for the base case without DG installation is calculated by load flow solutions and is found to be 0.2836 p.u. for DG of 0.2 p.u and 0.3 p.u. the values of line loss considerably reduces as indicated in Table 2a and Table 2b. The percentage of line loss reduction is by means of (LLRI) and a maximum reduction of 30.93 % is

obtained in case 1 for a DG of 0.2 p.u and a reduction of 1.94 % for a DG of 0.3 p.u respectively.

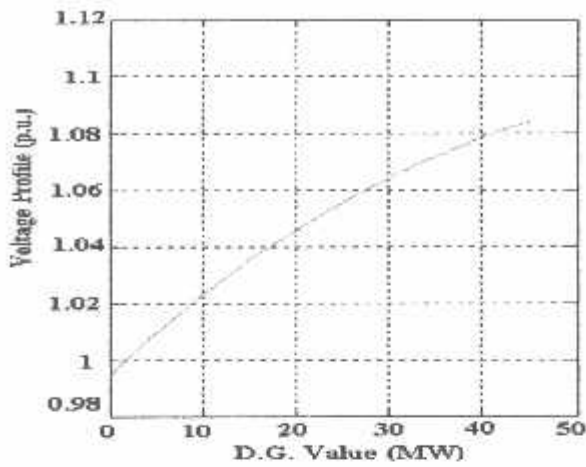


Figure 2. Voltage profile improvement results with different DG ratings

Table 2a. Line losses reduction results for a DG rating 0.2 p.u.

Cases	D.G. rating of 0.3 P.U.		
	Line losses (p.u.)	LLRI	Reduction (%)
Base Case	0.2836	-	-
Case 1	0.1958	0.6907	30.93
Case 2	0.2072	0.7309	26.91
Case 3	0.2039	0.7193	28.07
Case 4	0.2007	0.6780	32.2
Case 5	0.1983	0.6935	30.65

4.2 Comparison of Line Voltage Stability Index of conventional and Proposed Method

When the DG capacity was randomly generated between 0.05 p.u to 0.5 p.u. The line stability index of 7th line was found to be 0.7764 using conventional Newton Raphson load flow method at a DG value of 0.45 p.u. and was found to be exactly the same for the proposed PSO based line voltage stability index values. The line stability index values of the conventional load flow and the proposed PSO based method at 0.45 p.u. connected to bus 4 which is the sending end of 7-th line are found to be identical and are shown Table 3.

The optimum value of DG to be connected for maximizing power quality was found to be 0.45 p.u. using the proposed PSO method. The effectiveness of the line stability index is also clear from the correctness in the determination of the critical lines at various loading conditions above the base case for IEEE-30 bus system as indicated by Table 4.

Table 2b. Line losses reduction results with a DG rating 0.3 p.u.

Cases	DG rating of 0.3 p.u.		
	Line losses	LLRI	Reduction (%)
Base Case	0.2836	-	-
Case 1	0.1750	0.6170	38.3
Case 2	0.1932	0.6812	31.88
Case 3	0.1711	0.6034	39.66
Case 4	0.1800	0.5860	41.4
Case 5	0.1682	0.5806	41.94

Table 3. Comparison of similarity of line stability values

Conventional method		Proposed PSO method	
Line no	Line index	Line no	Line index
4	0.5222	4	0.5220
13	0.7706	13	0.7701
14	0.5786	14	0.5764
16	0.7631	16	0.7624
19	0.6634	19	0.6621
22	0.6285	22	0.6280

Table 4. Comparison of detection of critical lines

% of basecase loading	Conventional Newton Raphson Method		Proposed PSO method	
273.942 %	0.8057	7 th line	0.7712	7 th line
	0.7981	13 th line	0.7863	13 th line
150%	0.5856	7 th line	0.5548	7 th line
	0.7393	13 th line	0.7361	13 th line
250%	0.6603	7 th line	0.7417	7 th line
	0.7759	13 th line	0.7701	13 th line

For different loading conditions up to a critical loading of 273.942 % the 7-th and 13-th lines were consistently critical as calculated by conventional Newton- Raphson load flow method as well as the proposed PSO method. This validates the accuracy of the proposed method.

Table 5 shows the increase in maximum loadability of the system after connecting DG at various buses using the proposed method

Table 5. Comparison of line stability at increased loadability

DG at bus	Maximum loadability in p.u.	After including DG of 0.2 p.u.	Increased in loadability
4	2.73942	2.76440	2.498 %
6	2.73942	2.77410	3.468 %
9	2.73942	2.78420	4.478 %
13	2.73942	2.76840	2.898 %

5. CONCLUSION

The introduction of DG in a distribution system offers several benefits such as relieved transmission and distribution congestion, voltage profile improvement, line loss reduction, improvement in system, and enhanced utility system reliability. This proposed work has presented an approach to quantify some of the benefits of DG namely voltage profile improvement, line loss reduction and improvement of system loadability. The results of the proposed method as applied to IEEE-30 bus system, clearly show that DG can improve the voltage profile and reduce electrical line losses and improve voltage stability index. Both ratings and locations of DG have to be considered together very carefully to capture the maximum benefits of DG. The capability of PSO is to maximise the power quality by optimizing the DG capacity. Here the optimum DG value was found to be 0.45 p.u when a maximum installed DG capacity 0.5 p.u was considered.

ACKNOWLEDGEMENT

The authors gratefully acknowledge the Management of Pondicherry Engineering College and the Management of Sri Manakula Vinayagar Engineering College, Pondicherry, INDIA for their continued support, encouragement and the facilities provided to carry out this research work.

REFERENCES

[1] R.Ramakumar and P.Chiradeja, "Distributed generation and renewable energy systems", in Proc.37th Intersociety Energy Conversion Engineering Conference (IECEC), pp.716-724, 2002.

[2] P. Chiradeja and R. Ramakumar, "A review of distributed generation and storage," in Proc. 31st Annual Frontiers of Power Conf., Stillwater, UK, pp. VIII 1-11, 1998.

[3] P. Chiradeja and R. Ramakumar, "Benefits of distributed generation-a simple case study," in Proc. 32nd Annual Frontiers of Power Conf., Stillwater, UK, pp. X 1-9,1999.

[4] P. Chiradeja and R. Ramakumar, "A probabilistic approach to the analysis of voltage profile improvement with distributed wind electric generation," in Proc. 32nd Annual Frontiers of Power Conf., Stillwater, UK, pp. XII 1-10, October 2001.

[5] R. C. Dugan and S. K. Price, "Issues for distributed generations in the US," in Proc. *IEEE Power Engineering Society Winter Meeting*, vol. 1, pp. 121-126, January 2002.

[6] R. C. Dugan and T. E. Medermont, "Distributed generation," *IEEE Industrial Application Magazine*, pp. 19-25, Mar./Apr. 2002.

[7] T. Gray, "Wind gets competitive in the US," *Solar Today*, vol. 12, no. 2, pp. 18-21, Mar./Apr. 1998.

[8] W. G. Scott, "Micro-turbine generators for distributed systems," *IEEE Industrial Applications Magazine*, pp. 57-62, May/June 1998.

[9] T-Raissi, A. Banerjee, and K. G. Scheinkopf, "Current technology of fuel cell systems," in Proc. *Intersociety Energy Conversion Engineering Conference*, pp. 1953-1957, 1997.

[10] S. Rahman, "Fuel cell as a distributed generation technology," in Proc. *IEEE Power Engineering Society Summer Meeting*, vol. 1, pp. 551-552, July 2001.

[11] T. Hoff and D. S. Shugar, "The value of grid-support photovoltaics in reducing distribution system losses," *IEEE Transactions Energy Conversion*, vol. 10, pp. 569-576, Sept. 1995.

[12] G. Joos, B.T. Ooi, D. McGillis, F.D. Galiana and R. Marceau, "The Potential of Distributed Generation to Provide Ancillary Services", *IEEE Power Engineering Society Summer Meeting*, pp 1762-1767, 2000.

[13] P. Chiradeja, R. Ramakumar, "Voltage Profile Improvement with Distributed Wind Turbine Generation - A Case Study", *IEEE Power Engineering Society General Meeting*, Vol. 4, pp 2331-2336, 2003.

[14] Y. G. Hegazy, M. M. A. Salama, and A. Y. Chikhan " Adequacy Assessment of Distributed Generation Systems Using Monte Carlo Simulation", *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 18, No. 1, pp.48-52, February 2003.

[15] Koen J. P. Macken, Math H. J. Bollen, and Ronnie J. M. Belmans, " Mitigation of Voltage Dips Through Distributed Generation Systems", *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 40, No. 6, pp. 1686- 1693, November/December 2004.

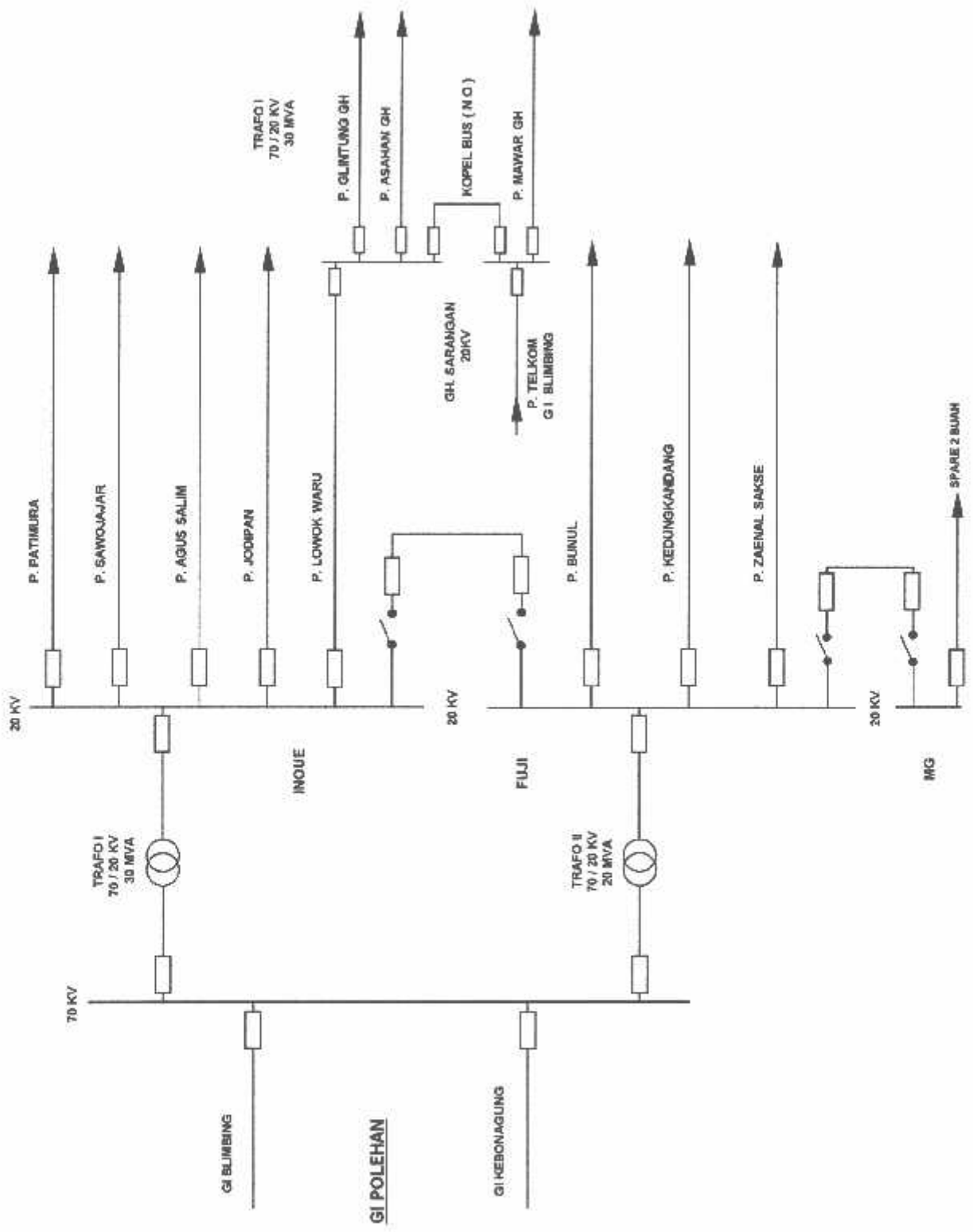
[16] Aleksandar Pregelj, Miroslav Begovic and Ajeet Rohatgi, "Quantitative Techniques for Analysis of Large Data Sets in Renewable Distributed Generation", *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 19, No. 3, 1277- 1285, August 2004.

[17] Caisheng Wang, and M. Hashem Nehriv, "Analytical Approaches for Optimal Placement of Distributed Generation Sources in Power Systems", *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 19, No. 4, pp. 2068 - 2076, November 2004.

[18] Víctor H. Méndez Quezada, Juan Rivier Abbad, and Tomás Gómez San Román, " Assessment of Energy Distribution Losses for Increasing Penetration of Distributed Generation", *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 21, No. 2, pp. 533- 540, May 2006.

[19] P. Chiradeja, "Benefit of Distributed Generation: A Line Loss Reduction Analysis", *IEEE/PES Transmission and Distribution Conference &*

- Exhibition: Asia and Pacific*, Dalian China, pp.1-5, 2005.
- [20] Pathomthat Chiradeja, and R. Ramakumar, "An Approach to Quantify the Technical Benefits of Distributed Generation", *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol. 19, No. 4, pp. 764-773, December 2004.
- [21] G.Celli, F.Pilo, "Optimal Distributed Generation Allocation in MV Distribution Networks", *22nd IEEE Power Engineering Society International Conference*, pp 81-86, 2001.
- [22] J. A. Greathanks, D. H. PopoviC, M. BegoviC, A. Pregelj and T. C. Green, "On Optimization for Security and Reliability of Power Systems with Distributed Generation", *IEEE Bologna PowerTech Conference*, Bologna, Italy, June 23-26, 2003.
- [23] Michalewicz Zbigniew, "Genetic Algorithm + Data Structures = Evolution Programs", (book), Publisher: Springer-Verlag,1992.
- [24] Zhe-Lee Gaing, "Particle Swarm Optimization to solving the Economic Dispatch Considering the Generator Constraints", *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol.18, No.3, pp. 1187-1195, August 2003.
- [25] J.Kennedy and R. Eberhart, "Particle Swarm Optimization", *Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks (ICNN'95)*, Vol. IV, pp.1942-1948, Perth, Australia, 1995.
- [26] J. Kennedy and R. Eberhart, *Swarm Intelligence*, Morgan Kaufmann Publishers, 2001.
- [27] Carlos A. Coello ,Gregorio Toscano Pulido and Maximino Salazar Lechuga, "Handling Multiple Objectives with Particle Swarm Optimization", *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, Vol. 8, No. 3, June 2004.
- [28] S.C.Choube, L.D.Arya, and N.Datar, "Voltage Collapse Prediction Based on Line Voltage Stability Index", *Institution of Engineers (IE) Journal*, Vol. 82, September 2001.

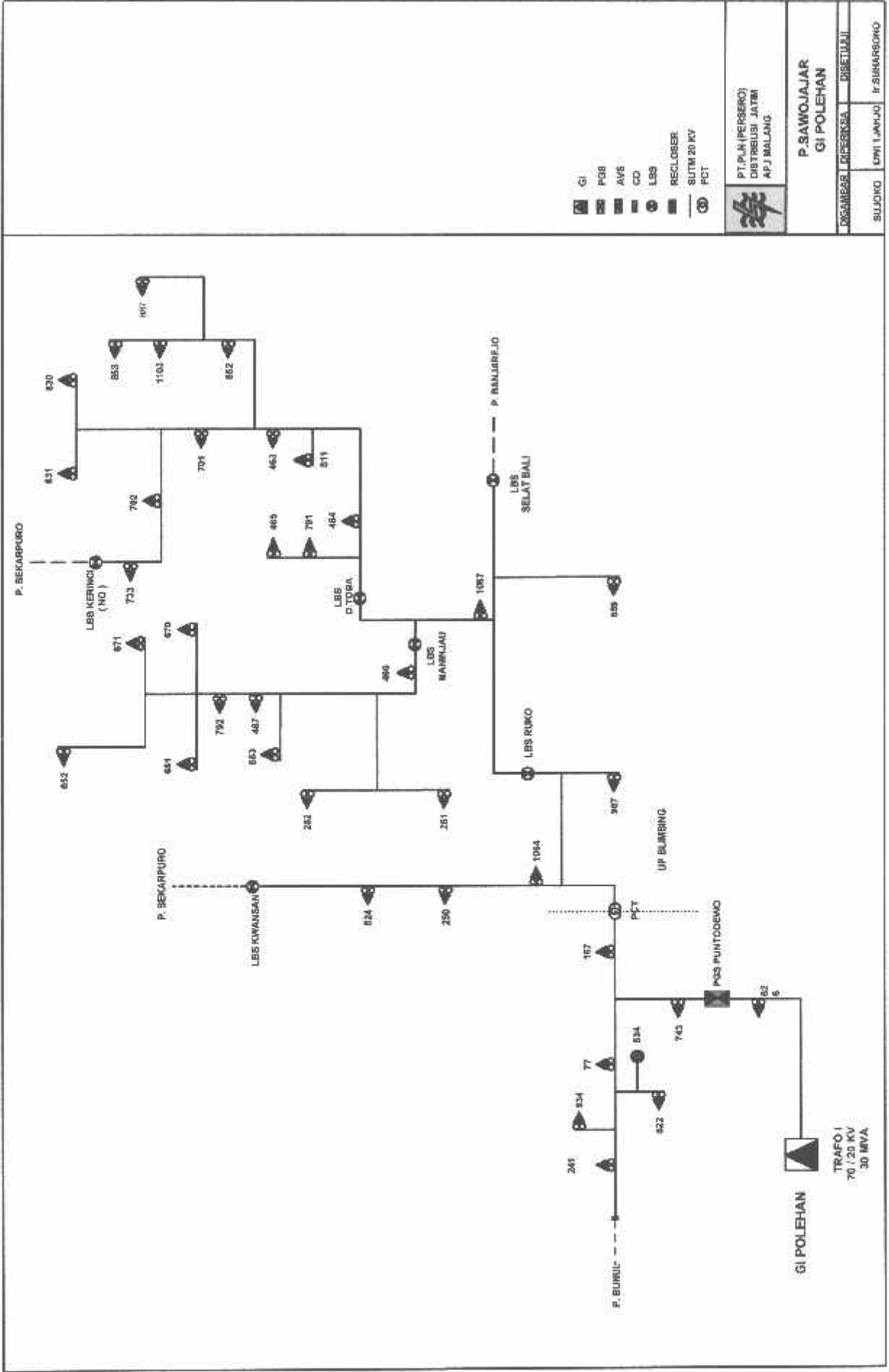


- : TRANSFORMATOR
- : PEMUTUS
- : PENYULANG

PT. PLN (PERSERO)
 DISTRIK JATIM
 AP&J MALANG

SINGLE LINE DIAGRAM
 GARDU INDUK POLEHAN

DRAWER	DISKUSI	DISTRIBUSI
	DJUMADI D.	
		IT. BURHARSONO



- GI
- FGB
- AVS
- CO
- LBS
- RECLOSER
- SUTM 20 KV
- PCT

PT. PLN (PERSERO)
 DISTRIBUSI JATIM
 APJ MALANG

P. SAWOJAJAR
GI POLEHAN

DISAMPAIKAN LIPERKSA
 DIBETULUJI

SUJONG DWI LAMJO I SURABONO

PENGUKURAN BEBAN TRAFIK DAN TEGANGAN UJUNG TW I 2010

No. Urut	Jenis	Kategori	Kategori	Kategori	Kategori	Kategori	Kategori	Kategori	Kategori	Kategori	Kategori	Beban Trafik												Tegangan Ujung																																																																																							
												1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22																																																																														
1												1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100

PENGUKURAN BEBAN TRAFIK DAN TEGANGAN UJUNG TW I 2010

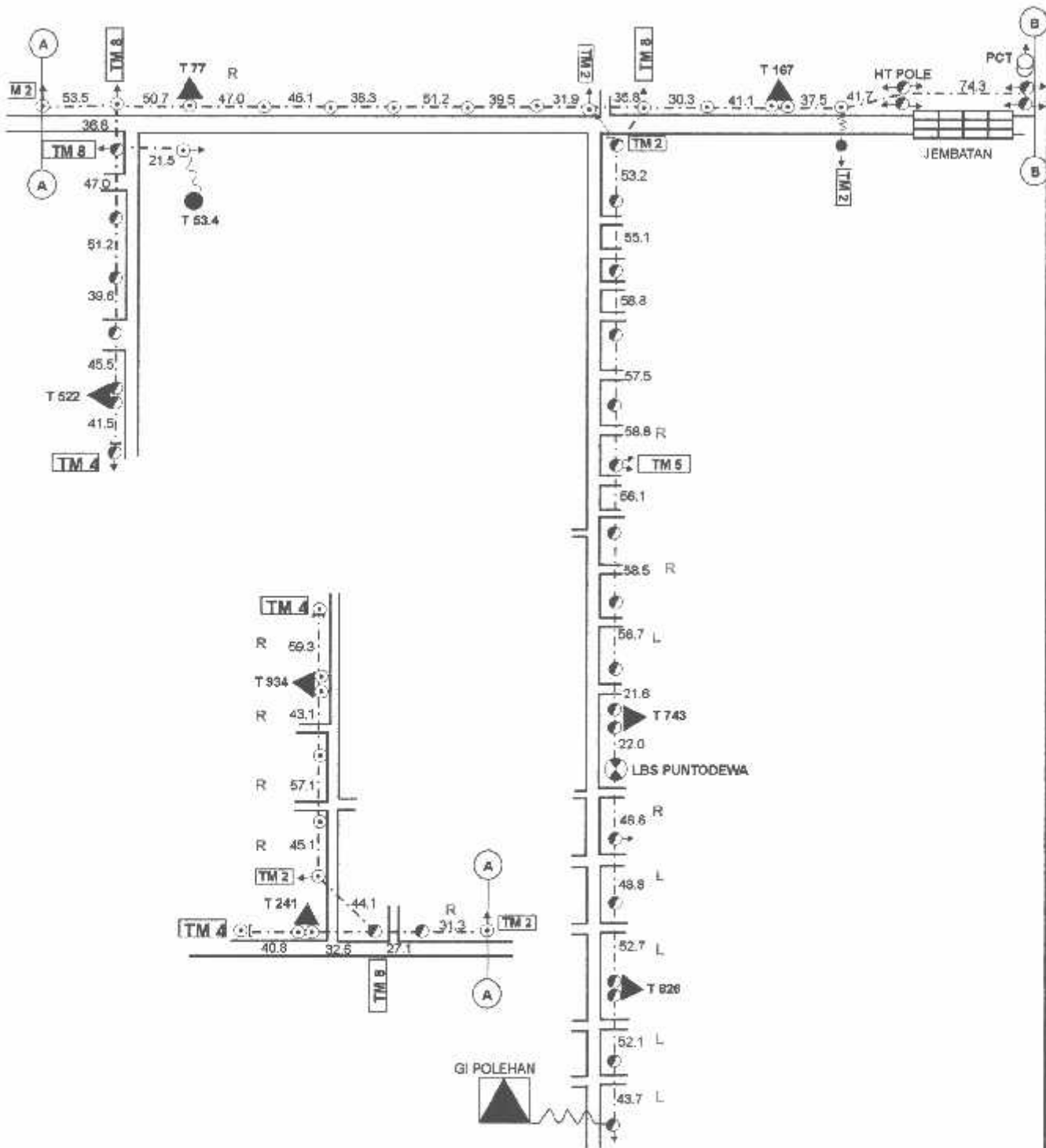
No. SBL	No. BMT	Kategori	Kategori	Kategori	Kategori	Kategori	Kategori	Kategori	Kategori	Kategori												Kategori	Kategori	Kategori																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
										1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522	523	524	525	526	527	528	529	530	531	532	533	534	535	536	537	538	539	540	541	542	543	544	545	546	547	548	549	550	551	552	553	554	555	556	557	558	559	560	561	562	563	564	565	566	567	568	569	570	571	572	573	574	575	576	577	578	579	580	581	582	583	584	585	586	587	588	589	590	591	592	593	594	595	596	597	598	599	600	601	602	603	604	605	606	607	608	609	610	611	612	613	614	615	616	617	618	619	620	621	622	623	624	625	626	627	628	629	630	631	632	633	634	635	636	637	638	639	640	641	642	643	644	645	646	647	648	649	650	651	652	653	654	655	656	657	658	659	660	661	662	663	664	665	666	667	668	669	670	671	672	673	674	675	676	677	678	679	680	681	682	683	684	685	686	687	688	689	690	691	692	693	694	695	696	697	698	699	700	701	702	703	704	705	706	707	708	709	710	711	712	713	714	715	716	717	718	719	720	721	722	723	724	725	726	727	728	729	730	731	732	733	734	735	736	737	738	739	740	741	742	743	744	745	746	747	748	749	750	751	752	753	754	755	756	757	758	759	760	761	762	763	764	765	766	767	768	769	770	771	772	773	774	775	776	777	778	779	780	781	782	783	784	785	786	787	788	789	790	791	792	793	794	795	796	797	798	799	800	801	802	803	804	805	806	807	808	809	810	811	812	813	814	815	816	817	818	819	820	821	822	823	824	825	826	827	828	829	830	831	832	833	834	835	836	837	838	839	840	841	842	843	844	845	846	847	848	849	850	851	852	853	854	855	856	857	858	859	860	861	862	863	864	865	866	867	868	869	870	871	872	873	874	875	876	877	878	879	880	881	882	883	884	885	886	887	888	889	890	891	892	893	894	895	896	897	898	899	900	901	902	903	904	905	906	907	908	909	910	911	912	913	914	915	916	917	918	919	920	921	922	923	924	925	926	927	928	929	930	931	932	933	934	935	936	937	938	939	940	941	942	943	944	945	946	947	948	949	950	951	952	953	954	955	956	957	958	959	960	961	962	963	964	965	966	967	968	969	970	971	972	973	974	975	976	977	978	979	980	981	982	983	984	985	986	987

**GAMBAR TM
PENYULANG SAWOJAJAR**

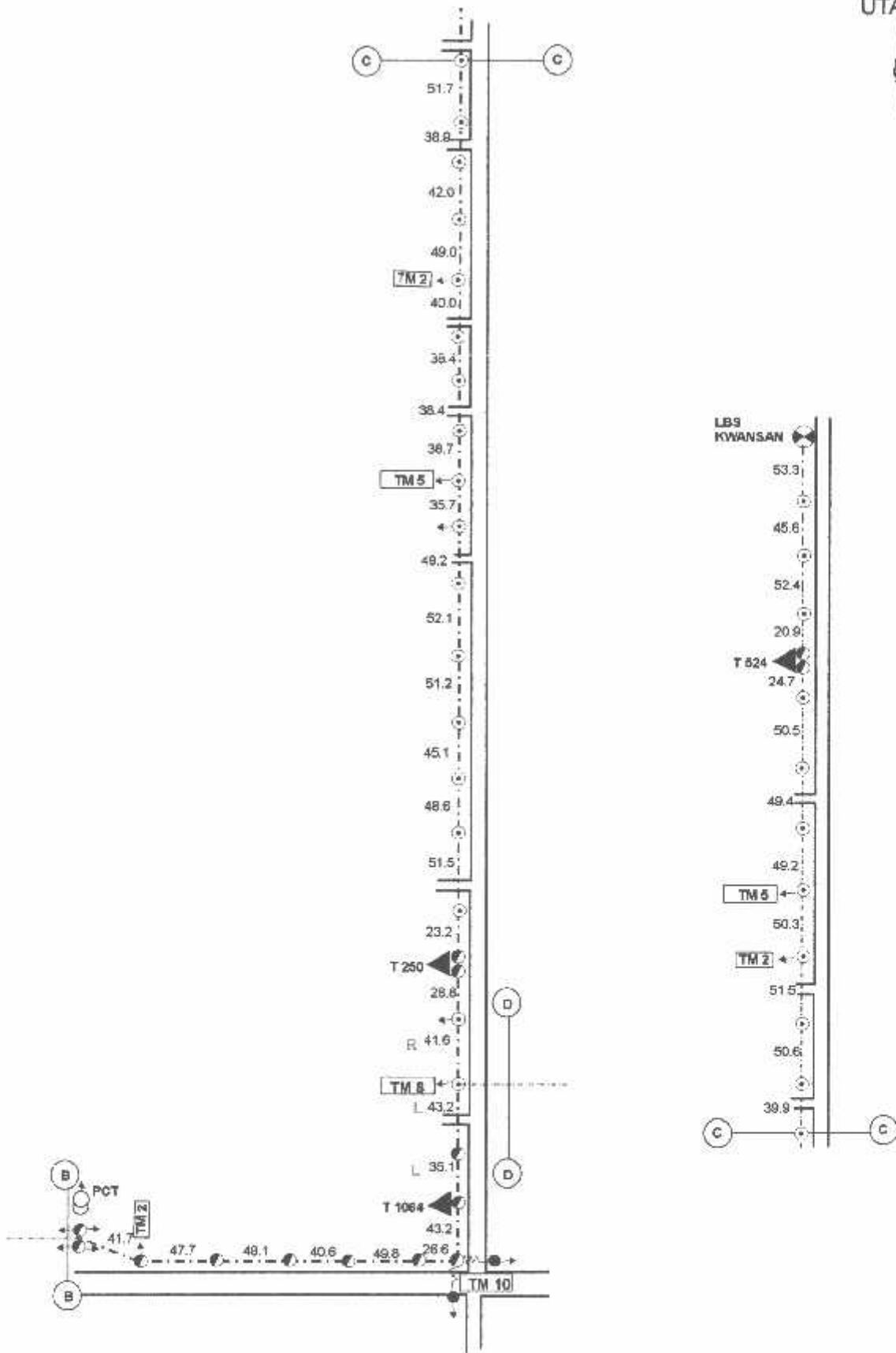
K E T E R A N G A N

NO.	KONSTRUKSI	SAT.	VOL.
01	AAAC	Kms	15.942
02	TIANG BESI	BH	64
03	TIANG BETON	BH	209
04	GTT 20 KV	BH	28
05	TM 1	BH	201
06	TM 2	BH	25
07	TM 4	BH	15
08	TM 5	BH	5
09	TM 8	BH	18
10	TM 10	BH	9
11	GW	BH	73
12	HGW	BH	-
13	KONTRAK MAS	BH	18

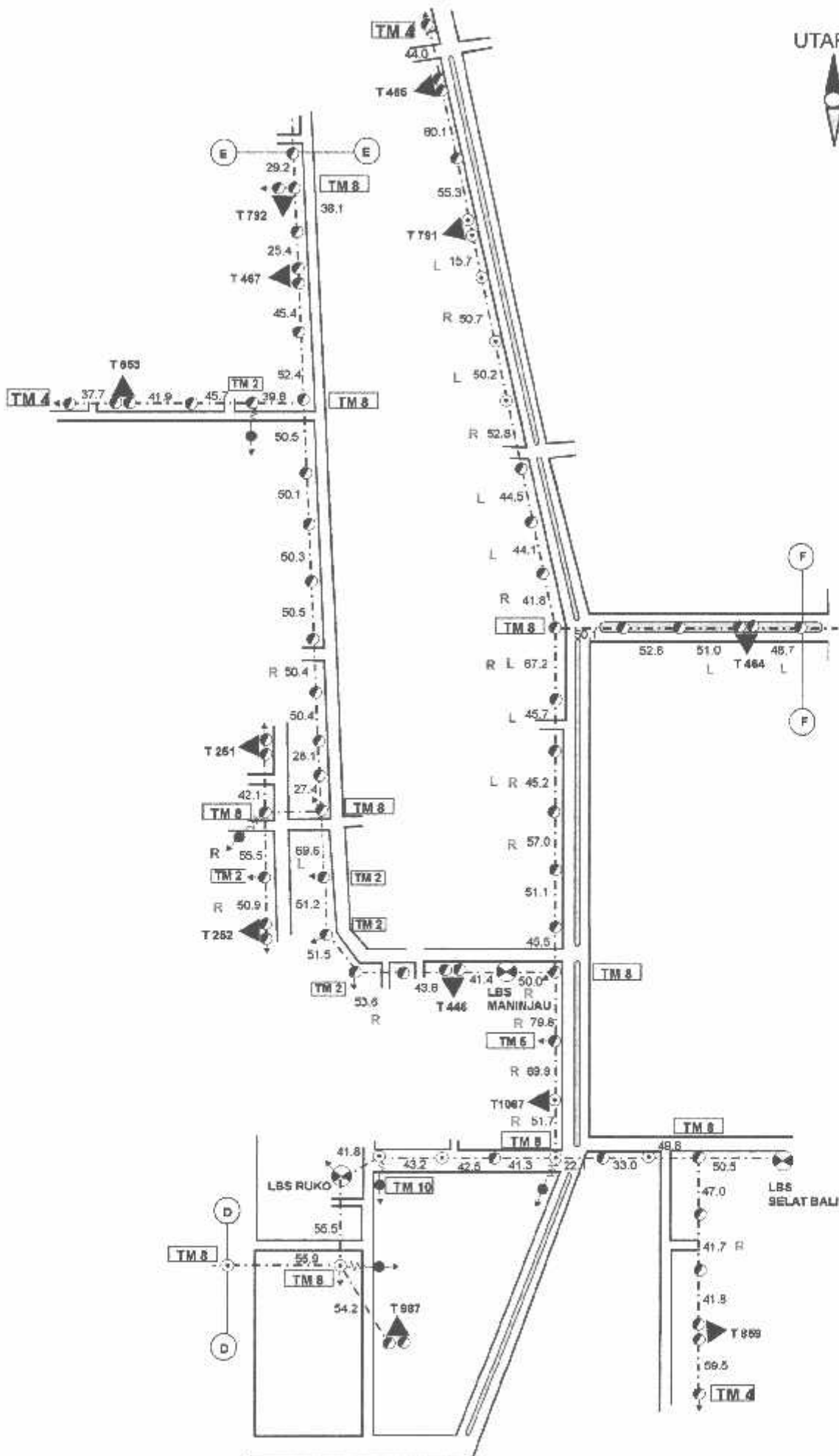
UTARA



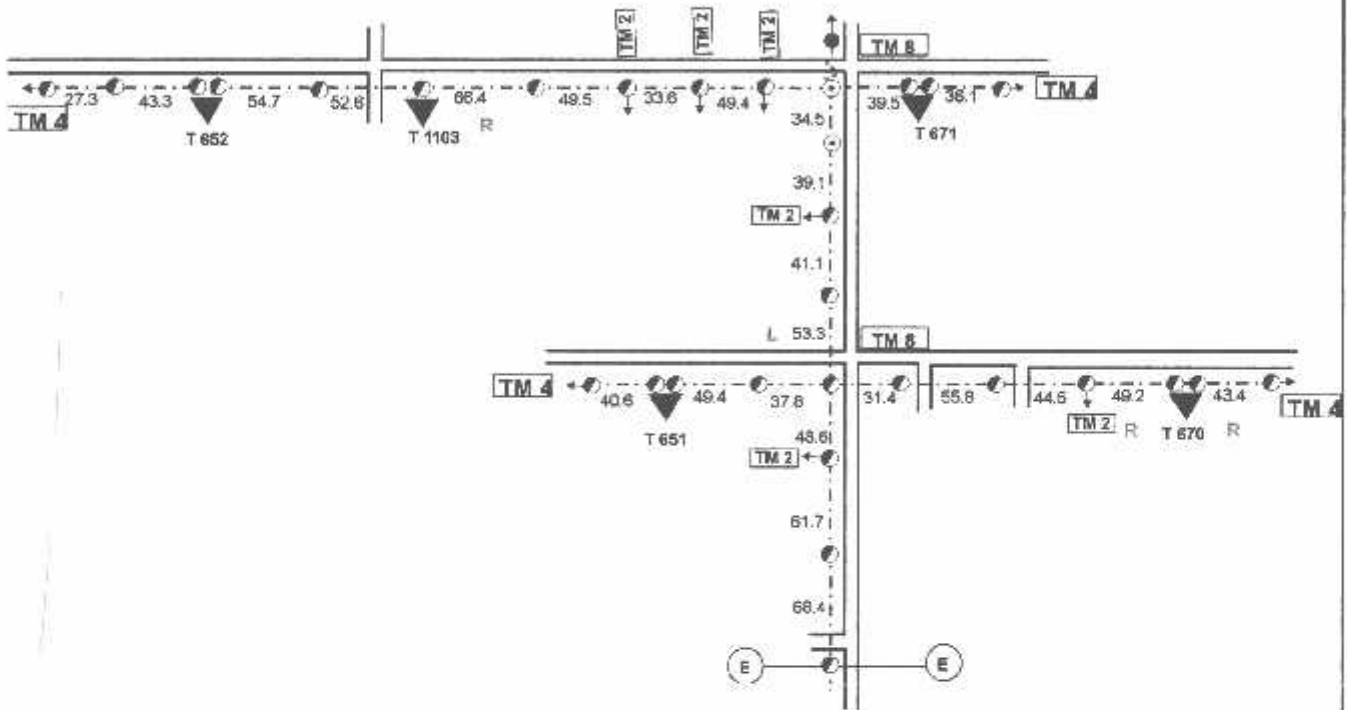
UTARA



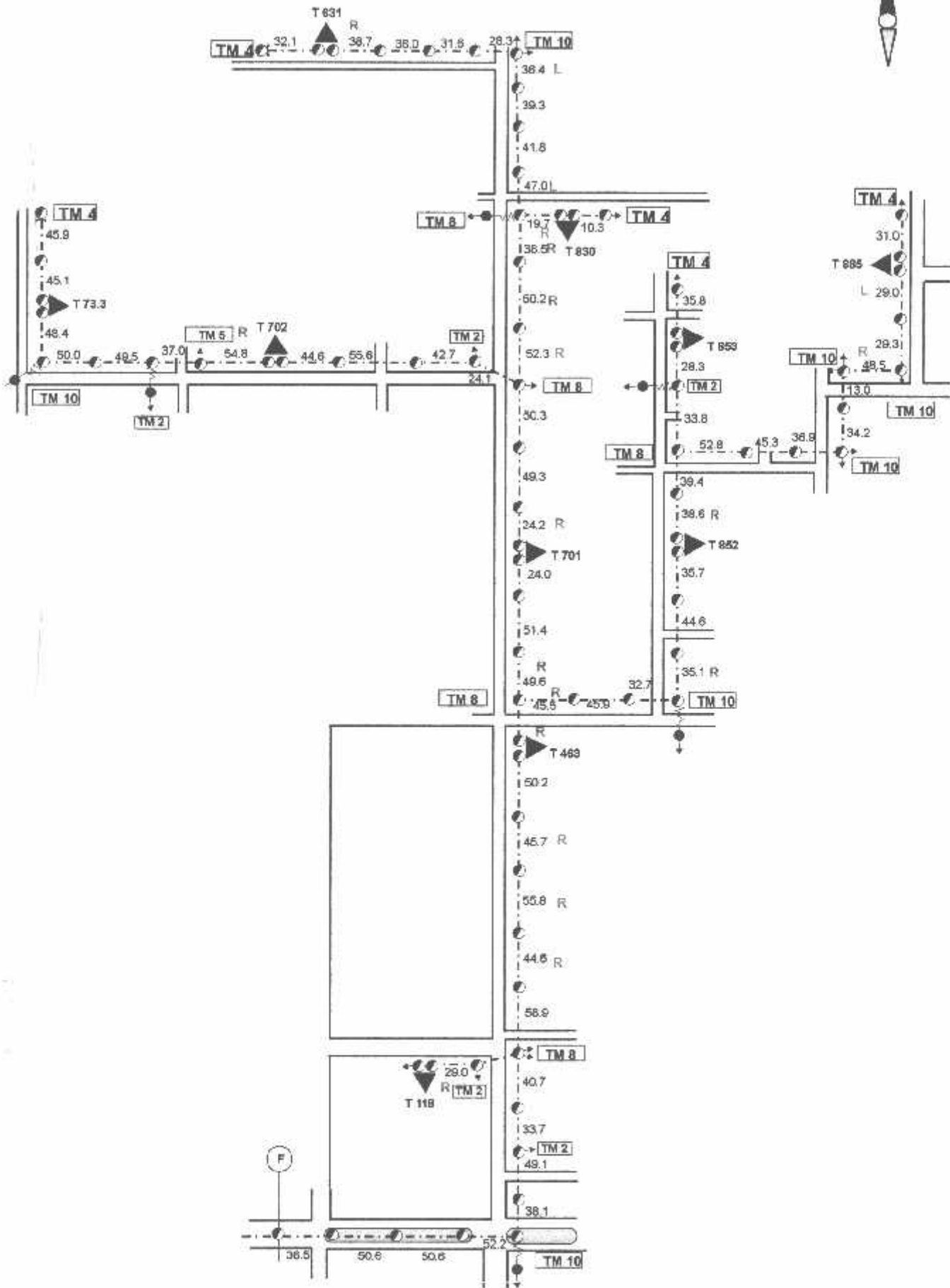
UTARA



UTARA



UTARA



LAMPIRAN II

- Berita Acara Ujian Skripsi
 - Form dan Surat-Surat
-



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

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

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

**BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

Nama : Prastya Silvertis Brahmanto
NTM : 05.12.024
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
Judul : ANALISA ALOKASI *DISTRIBUTED GENERATION* (DG)
UNTUK MENINGKATKAN PROFIL TEGANGAN DAN
MENGURANGI RUGI-RUGI SALURAN MENGGUNAKAN
METODE *PARTICLE SWARM OPTIMIZATION* (PSO)
PADA G.I POLEHAN PENYULANG SAWOJAJAR

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

Hari : Senin
Tanggal : 21 Februari 2011
Nilai : 85,3 (A) *ra*

Panitia Ujian Skripsi:

Ketua Majelis Penguji

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

Sekretaris Majelis Penguji

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

Anggota Penguji:

Penguji Pertama

Ir. Choirul Saleh, MT
NIP. Y. 1018800190

Penguji Kedua

Bambang Prio Hartono, ST., MT
NIP. Y. 1028400082



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

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

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

LEMBAR PERBAIKAN SKRIPSI

Nama : Prastya Silvertis Brahmanto
Nim : 05.12.024
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
Hari / Tanggal : Senin / 21 Februari 2011

No	Materi Perbaikan	Paraf
1	Latar Belakang (Pustaka) disesuaikan kenyataan.	
2	Rumusan Masalah dan Tujuan Pembahasan.	

Telah Diperiksa / Disetujui:
Dosen Penguji II

Bambang Prio Hartono, ST., MT
NIP. Y. 1028400082

Mengetahui,

Dosen Pembimbing I

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

Dosen Pembimbing II

Irrine Budi Sulistiawati, ST., MT
NIP. 19770615.200501.2.002



FORMULIR PENGAJUAN JUDUL SKRIPSI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO/T. ENERGI LISTRIK S-1

1. Nama Mahasiswa : PRASTYA SILVERTIS BRAHMANTO | Nim : 05.12.024

2. Waktu Pengajuan : Tanggal 23 Bulan MARET Tahun 2010

Spesifikasi Judul **

3. a. Sistem Tenaga Elektrik
 b. Energi & Konversi Energi
 c. Tegangan Tinggi & Pengukuran
 d. Sistem Kendali Industri
 e. Elektronika & Komponen
 f. Elektro Digital & Komputer
 g. Elektronika Komunikasi
 h. Lainnya

Keasultasikan judul sesuai materi bidang ilmu kepada Dosen i :

Ketua Jurusan

4. *In. Yusuf Ismail N, MT*

In. Yudi Limpraptono, MT
NIP. Y. 1039500274

5. Judul yang diajukan Mahasiswa :
 ANALISA ALOKASI *DISTRIBUTED GENERATION* (DG) UNTUK MENINGKATKAN PROFIL TEGANGAN DAN MENGURANGI RUGI-RUGI SALURAN MENGGUNAKAN METODE *PARTICLE SWARM OPTIMIZATION* (PSO) PADA SALURAN TRANSMISI 150 KV JAWA TIMUR-BALI

6. Perubahan Judul yang Disetujui Dosen materi bidang ilmu

Catatan :

7. Persetujuan Judul Skripsi yang dikonsultasikan kepada Dosen materi bidang ilmu

Disetujui 23 MARET 2010

Dosen

Perhatian :

Formulir Pengajuan ini harap dikembalikan ke Jurusan paling lambat *satu minggu* setelah disetujui Kelompok Dosen Keahlian dengan dilampirkan Proposal Skripsi beserta persyaratan Skripsi sesuai **Form. S-1**.

**1) dilingkari a, b, c, ... atau f, sesuai bidang Keahlian.

**2) diisi oleh Jurusan.



Lampiran : 1 (satu) berkas
Pembimbing Skripsi

Kepada : Yth. Bapak **Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT**
Dosen Institut Teknologi Nasional
MALANG

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Prastya Silvertis Brahmanto
Nim : 05.12.024
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik

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

"ANALISA ALOKASI *DISTRIBUTED GENERATION* (DG) UNTUK MENINGKATKAN PROFIL TEGANGAN DAN MENGURANGI RUGI-RUGI SALURAN MENGGUNAKAN METODE *PARTICLE SWARM OPTIMIZATION* (PSO) PADA SALURAN TRANSMISI 150 KV JAWA TIMUR-BALI"

Adapun tugas tersebut sebagai salah satu syarat untuk menempuh Ujian Akhir Sarjana Teknik.

Demikian permohonan kami dan atas kesediaan Bapak kami ucapkan terima kasih.

Malang, April 2010

Ketua
Jurusan Teknik Elektro S-1

Ir. F. Yudi Limpraptono, MT
NIP. 1039500274

Hormat kami,

Prastya Silvertis Brahmanto
NIM. 0512024



PERNYATAAN KESEDIAAN DALAM PEMBIMBINGAN SKRIPSI

Sesuai permohonan dari mahasiswa :

Nama : Prastya Silvertis Brahmanto

Nim : 05.12.024

Semester : X (sepuluh)

Jurusan : Teknik Elektro S-1

Konsentrasi : Teknik Energi Listrik


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

**"ANALISA ALOKASI *DISTRIBUTED GENERATION* (DG) UNTUK
MENINGKATKAN PROFIL TEGANGAN DAN MENGURANGI
RUGI-RUGI SALURAN MENGGUNAKAN METODE *PARTICLE
SWARM OPTIMIZATION* (PSO) PADA SALURAN TRANSMISI 150 KV
JAWA TIMUR-BALI"**

Demikian surat pernyataan ini kami buat agar dapat dipergunakan seperlunya.

Malang, April 2010

Kami yang Membuat Pernyataan,



Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT
NIP. Y 1018800189

Catatan

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

* coret yang tidak perlu



Lampiran : 1 (satu) berkas
Pembimbing Skripsi

Kepada : Yth. Ibu **Irrine Budi Sulistiawati, ST., MT**
Dosen Institut Teknologi Nasional
MALANG

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Prastya Silvertis Brahmanto
Nim : 05.12.024
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik

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

“ANALISA ALOKASI *DISTRIBUTED GENERATION* (DG) UNTUK MENINGKATKAN PROFIL TEGANGAN DAN MENGURANGI RUGI-RUGI SALURAN MENGGUNAKAN METODE *PARTICLE SWARM OPTIMIZATION* (PSO) PADA SALURAN TRANSMISI 150 KV JAWA TIMUR-BALI”

Adapun tugas tersebut sebagai salah satu syarat untuk menempuh Ujian Akhir Sarjana Teknik.

Demikian permohonan kami dan atas kesediaan Bapak kami ucapkan terima kasih.

Malang, April 2010

Ketua

Jurusan Teknik Elektro S-1

Ir. F. Yudi Limpraptono, MT
NIP. 1039500274

Hormat kami,

Prastya Silvertis Brahmanto
NIM. 0512024



PERNYATAAN KESEDIAAN DALAM PEMBIMBINGAN SKRIPSI

Sesuai permohonan dari mahasiswa :

Nama : Prastya Silvertis Brahmanto

Nim : 05.12.024

Semester : X (sepuluh)

Jurusan : Teknik Elektro S-1

Konsentrasi : Teknik Energi Listrik

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

**"ANALISA ALOKASI *DISTRIBUTED GENERATION* (DG) UNTUK
MENINGKATKAN PROFIL TEGANGAN DAN MENGURANGI
RUGI-RUGI SALURAN MENGGUNAKAN METODE *PARTICLE
SWARM OPTIMIZATION* (PSO) PADA SALURAN TRANSMISI 150 KV
JAWA TIMUR-BALI"**

Demikian surat pernyataan ini kami buat agar dapat dipergunakan seperlunya.

Malang, April 2010

Kami yang Membuat Pernyataan,

Irrine Budi Sulistiawati, ST., MT
NIP. 19770615.200501.2.002

Catatan

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

*lewat yang tidak perlu



FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : PRASTYA SILVERTIS BRAHMANTO
Nim : 05.12.024
Masa Bimbingan : 18 November 2010 s/d 18 Mei 2011
Judul Skripsi : **ANALISA ALOKASI *DISTRIBUTED GENERATION* (DG) UNTUK MENINGKATKAN PROFIL TEGANGAN DAN MENGURANGI RUGI-RUGI SALURAN MENGGUNAKAN METODE *PARTICLE SWARM OPTIMIZATION* (PSO) PADA G.I POLEHAN PENYULANG SAWOJAJAR**

No.	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1.	21 Mei 2010	Studi kasus skripsi dari sistem transmisi dirubah ke sistem distribusi.	
2.	31 Januari 2011	Demo program ETAP dan MATLAB	
3.	5 Februari 2011	Revisi Makalah Seminar Hasil, kesimpulan disesuaikan tujuan.	
4.	7 Februari 2011	Revisi penulisan judul dan daftar pustaka makalah seminar hasil	
5.	10 Februari 2011	Acc seminar hasil	
6.	12 Februari 2011	Revisi Bab II: sumber pada gambar dihapus	
7.	15 Februari 2011	Revisi Bab IV: berikan contoh DG yang digunakan	
8.	17 Februari 2011	Revisi Bab IV: berikan penjelasan tentang batas minimal dan maksimal DG	
9.	19 Februari 2011	Acc ujian skripsi	
10.			

Malang,
Dosen Pembimbing I,

Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT
NIP. Y 1018800189

Form.S-4b

FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : PRASTYA SILVERTIS BRAHMANTO
 Nim : 05.12.024
 Masa Bimbingan : 18 Mei 2010 s/d 18 November 2010
 Judul Skripsi : **ANALISA ALOKASI *DISTRIBUTED GENERATION* (DG) UNTUK MENINGKATKAN PROFIL TEGANGAN DAN MENGURANGI RUGI-RUGI SALURAN MENGGUNAKAN METODE *PARTICLE SWARM OPTIMIZATION* (PSO) PADA G.I POLEHAN PENYULANG SAWOJAJAR**







No.	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1.	18 Mei 2010	Latihan awal bimbingan, mengenai definisi masalah, tujuan, dan ruang lingkup penelitian.	
2.		Penelitian awal mengenai permasalahan yang akan diteliti.	
3.		Menentukan lokasi penelitian pada sistem tenaga listrik yang akan diteliti.	
4.	18 Mei 2010	Penelitian awal mengenai permasalahan yang akan diteliti.	
5.	15 Juni 2010	Penelitian awal mengenai permasalahan yang akan diteliti.	
6.		Penelitian awal mengenai permasalahan yang akan diteliti.	
7.	17 Juli 2010	Penelitian awal mengenai permasalahan yang akan diteliti.	
8.		Penelitian awal mengenai permasalahan yang akan diteliti.	
9.			
10.			

Malang,
 Dosen Pembimbing II,

Irrine Budi Sulistiawati, ST., MT
 NIP. 19770615.200501.2.002

FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : PRASTYA SILVERTIS BRAHMANTO
 NIM : 05 12 024
 Masa Bimbingan : 18 November 2010 s/d 18 Mei 2011
 Judul Skripsi : **ANALISA ALOKASI *DISTRIBUTED GENERATION* (DG) UNTUK MENINGKATKAN PROFIL TEGANGAN DAN MENGURANGI RUGI-RUGI SALURAN MENGGUNAKAN METODE *PARTICLE SWARM OPTIMIZATION* (PSO) PADA G.I POLEHAN PENYULANG SAWOJAJAR**

No	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1	5 Februari 2011	Revisi Makalah Seminar Hasil. 1. <i>Flowchart</i> Penyelesaian Masalah di tambah. 2. Kesimpulan disesuaikan tujuan. 3. <i>Flowchart</i> PSO diperbaiki	
2	7 Februari 2011	Revisi Makalah Seminar Hasil: 1. Latar Belakang disederhanakan. 2. Teori sistem jaringan distribusi radial dihapus. 3. Masukkan gambar modifikasi pencarian PSO.	
3	8 Februari 2011	Revisi Makalah Seminar Hasil: 1. Analisa Hasil ditambahkan perhitungan. 2. Masukkan nilai VPFI dan LLRI dalam tabel. 3. Daftar Pustaka ditambah.	
4	9 Februari 2011	ACC Makalah Seminar Hasil	
5	14 Februari 2011	Revisi Skripsi: 1. Tabel pada bab 3 dan 4 diusahakan tidak terputus, jika terputus diberi nama lanjutan tabel. 2. Data pembebanan dan saluran pada Matlab dimasukkan ke tabel.	
6	15 Februari 2011	Revisi Skripsi: 1. Langkah simulasi <i>load flow</i> pada ETAP di bab 4 diberi gambar. 2. Pindahkan data trafo, data bus, data beban dan data kabel dari bab 4 ke bab 3.	

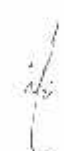

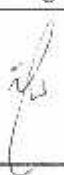
Malang,
 Dosen Pembimbing II,



Irrine Budi Sulistiawati, ST., MT
 NIP. 19770615.200501.002

FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : PRASTYA SILVERTIS BRAHMANTO
NIM : 05.12.024
Masa Bimbingan : 18 November 2010 s/d 18 Mei 2011
Judul Skripsi : **ANALISA ALOKASI *DISTRIBUTED GENERATION* (DG) UNTUK MENINGKATKAN PROFIL TEGANGAN DAN MENGURANGI RUGI-RUGI SALURAN MENGGUNAKAN METODE *PARTICLE SWARM OPTIMIZATION* (PSO) PADA G.I POLEHAN PENYULANG SAWOJAJAR**

No	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1	16 Februari 2011	Revisi Skripsi: 1. P, Q, R dan X pada tabel bab 4 diberi satuan. 2. Perhitungan VPII, LLRI dan prosentase perbandingan sebelum dan sesudah pemasangan DG dimasukkan pada bab 4. 3. Penjelasan penggunaan batas maksimal dan minimal DG dimasukkan pada bab 4.	
2	17 Februari 2011	Revisi Skripsi: 1. Kesimpulan diperbaiki. 2. Gambar diberi penjelasan.	
3	18 Februari 2011	ACC Skripsi	
4			
5			

Malang,
Dosen Pembimbing II,


Irrine Budi Sulistiawati, ST., MT
NIP. 19770615.200501.002



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

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

PT. BNI (PERSEPO) 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- 576/ILTA-2/2/10
Lampiran : -
Perihal : Survey

Malang, 27 Juli 2010

Kepada : Yth. Pimpinan
PT. PLN (Persero) APJ Malang
Jl. Basuki Rahmat No. 100
Di - Malang

Bersama ini dengan hormat kami mohon kebijaksanaan Bapak/Ibu agar Mahasiswa kami dari Fakultas Teknologi Industri Jurusan Teknik Elektro S-1 Konsentrasi Teknik Energi Listrik dapat diijinkan untuk melaksanakan survey pada PT. PLN (Persero) APJ Malang yang Bapak/Ibu pimpin untuk mendapatkan data – data guna penyusunan Skripsi.

Mahasiswa tersebut Adalah :

Prastya Silvertis B Nim. 05.12.024

Adapun lamanya Survey adalah : 30 Hari

Demikian agar maklum dan atas perhatian serta bantuannya kami ucapkan terima kasih.



Ir. H. Sidik Noertjahjono, MT. *SN*
Nip. V.1028700163



JL. BASUKI RACHMAD No. 100 MALANG 651111

Telepon : (0341) 326034 - 035
Kotak Pos : 18

Facsimile : (0341) 362046
E-mail : plnmlg@pln-jatim.co.id

Website : www.pln-jatim.co.id

Jumlah Surat Sdr.No. : 1223 / 330 / APJ-MTG / 2010
Lampiran : -
Perihal : **Observasi**

Malang, **19 AUG 2010**

Kepada :
Institut Teknologi Nasional Malang
Fak. Tek. Industri – Jur. Tek. Elektro
Konsentrasi Teknik Energi Listrik S-1
Jl. Bend. Sigura-gura No. 2
Malang - 65145

Menindak lanjut surat Saudara No. ITN-526/HLTA-2/2/10 tanggal 27 Juli 2010 perihal **Observasi**, maka dengan ini kami beritahukan bahwa pada prinsipnya kami tidak keberatan / mengizinkan mahasiswa Saudara atas nama :

Prastya Silvertis B.

Nim : 05.12.024

untuk melaksanakan **Observasi** untuk penulisan skripsi di bagian Operasi Distribusi PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur Area Pelayanan dan Jaringan Malang Jl. Basuki Rahmat 100 Malang, mulai tanggal 23 Agustus 2010 sampai dengan tanggal 23 Oktober 2010 dengan persyaratan :

1. Mahasiswa tersebut mengisi surat pernyataan (terlampir) dilengkapi dengan pas foto ukuran 3x4 cm (1 lembar) dan di serahkan ke Bidang SDM.
2. PLN hanya memberikan data yang **TIDAK BERSIFAT RAHASIA**.
3. Menyerahkan buku laporan 1 (satu) buah hasil Riset/Survey/Observasi dan softcopynya ke Bidang SDM, PT. PLN (Persero) Dist. Jatim APJ Malang.

Demikian agar menjadikan maklum.





SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Surat balasan dari PLN No. : 1223/330/APJ - MLG/2010 tgl 19 AGUSTUS 2010
Tempat Observasi/Riset/Penelitian : _____
Tanggal pelaksanaan : 23 AGUSTUS 2010 s/d 23 OKTOBER 2010
Nama Mahasiswa : PRASTYA SILVERTIS BRAHMANTO
Tempat, tanggal lahir : MALANG, 17 OKTOBER 1987
Jenis Kelamin : LAKI-LAKI
Agama : KATOLIK
Alamat Asal : KLAMPOK KASRI I^c no 329 MALANG
Alamat Sekarang : KLAMPOK KASRI I^c no 329 MALANG
Nama Universitas : INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
Fakultas : FAKULTAS TEKNIK INDUSTRI
Jurusan : TENIK ELEKTRO S-1
No. Nim : 05-12-024
No. Telp / HP : 0341-552405 / 085 221 926 789

Dengan ini kami menyatakan bahwa :

1. Saya tunduk dan mematuhi semua peraturan yang berlaku di PT. PLN (Persero) termasuk larangan melakukan pemotretan data-data spesifikasi peralatan PT. PLN (Persero).
2. Saya akan mematuhi semua petunjuk yang diberikan oleh Pejabat/Pegawai PT. PLN (Persero) yang ditugaskan membimbing saya.
3. Saya setuju PT. PLN (Persero) tidak menanggung sesuatu apapun bila terjadi kecelakaan yang mungkin menimpa diri saya atau kerugian yang mungkin saya derita atas barang-barang saya pada saat melakukan Riset/Survey/Observasi di PT. PLN (Persero) yang langsung maupun tidak langsung yang terjadi karena keadaan ruangan, halaman, instansi dan peralatan PT. PLN (Persero).
4. Saya sanggup segera membayar sepenuhnya segala biaya yang langsung menimbulkan kerugian atau kecelakaan yang disebabkan oleh kelalaiannya.
5. Saya sanggup menanggung sendiri segala keperluan Riset/Survey/Observasi, termasuk biaya perjalanan, penginapan dan sebagainya yang tidak menjadi tanggungan PT. PLN (Persero).
6. Saya sanggup tidak membocorkan hal-hal yang bersifat rahasia PT. PLN (Persero), dan bahan-bahan yang saya peroleh dalam melakukan Riset/Survey/Observasi di PT. PLN (Persero) ini dan tidak saya pergunakan untuk hal-hal yang dapat merugikan PT. PLN (Persero).
7. Saya sanggup menyerahkan 1 (satu) buah buku laporan hasil Riset/Survey/Observasi dan softcopynya ke PT. PLN (Persero) Dist. Jatim APJ Malang ke Bidang SDM.

Malang, AGUSTUS 2010

Yang Membuat Pernyataan

PRASTYA SILVERTIS B

BIODATA PENULIS



Prastya Silvertis Brahmanto lahir pada tanggal 17 Oktober 1987 di Malang, Jawa Timur. Merupakan anak ke dua dari dua bersaudara dari Bapak Marselus Mada dan Ibu Sri Hari Winarni. Memulai pendidikan pada tahun 1993, di Sekolah Dasar Katolik Santa Maria III Malang dan memperoleh Ijazah tahun 1999. Kemudian melanjutkan ke Sekolah Lanjutan Tingkat Pertama Negeri 4 Malang, lulus pada tahun 2002, meneruskan pendidikan ke Sekolah Menengah Kejuruan Nasional Malang, selesai pada tahun 2005. Pendidikan tinggi dimulai pada tahun 2005 di Institut Teknologi Nasional Malang pada Fakultas Teknologi Industri Jurusan Teknik Elektro S-1 Konsentrasi Teknik Energi Listrik, dan lulus pada tahun 2011.

Penelitian yang dilakukan adalah “Analisa Alokasi *Distributed Generation* (DG) Untuk Meningkatkan Profil Tegangan Dan Mengurangi Rugi-Rugi Saluran Menggunakan Metode *Particle Swarm Optimization* (PSO) Pada G.I Polehan Penyulang Sawojajar” yang merupakan tugas akhir dalam menyelesaikan perkuliahan.
