



TUGAS AKHIR - TE141599

Penentuan Lokasi dan Pembebanan Optimal *Distributed Generation* Menggunakan Metode *Genetic Algorithm* pada *Microgrid* Tegangan Menengah

Ilham Zuhdy
NRP 2208100117

Dosen Pembimbing
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D
Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, ST, MT

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL PROJECT - TE141599

Determining Location and Optimal Dispatch of Distributed Generation Using The Genetic Algorithm Method in a Medium Voltage Microgrid

Ilham Zuhdy
NOR 2208100117

Counsellor
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D
Dr. Rony Seto Wibowo, ST, MT

ELECTRICAL ENGINEERING S1 STUDY PROGRAM
Industrial Technology Faculty
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016

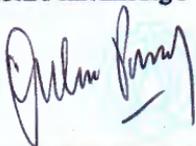
**PENENTUAN LOKASI DAN PEMBEBANAN
OPTIMAL DISTRIBUTED GENERATION
MENGUNAKAN METODE
GENETIC ALGORITHM PADA MICROGRID
TEGANGAN MENENGAH**

TUGAS AKHIR

**Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Pada
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I



Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D
NIP. 194907151974121001

Dosen Pembimbing II



Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.
NIP. 197411292000121001



PENENTUAN LOKASI DAN PEMBEBANAN OPTIMAL DISTRIBUTED GENERATION MENGGUNAKAN METODE GENETIC ALGORITHM PADA MICROGRID TEGANGAN MENENGAH

Nama : Ilham Zuhdy
NRP : 2208100117
Dosen Pembimbing 1 : Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.
Dosen Pembimbing 2 : Dr. Rony Seto Wibowo, S.T., M.T.

ABSTRAK

Economic dispatch (ED) dapat diterapkan untuk mengatasi masalah penjadwalan pembangkit secara optimal ekonomi, namun jika digunakan pada sistem dengan beban dalam rentang waktu tertentu, akan ada beberapa pembangkitan yang melewati batas dari parameter ramp rate pembangkit. Tugas akhir ini mengusulkan pendekatan yang sederhana dan efisien untuk pembebanan optimal dalam microgrid tegangan menengah dengan berbagai macam Distributed Generation (DG). Biaya bahan bakar yang dihasilkan oleh DG ini ditentukan dengan menggunakan fungsi kuadrat dan linear tergantung pada jenis DG. Pendekatan metode GA (Genetic Algorithm) yang diusulkan mampu memecahkan kendala ketimpangan berupa biaya yang lebih besar dan selanjutnya dapat memecahkan masalah non-turunan atau fungsi biaya bahan bakar yang jauh lebih rumit.

Kata kunci : Genetic Algorithm, Microgrid, Distributed Generation, Optimal Dispatch.

**DETERMINING LOCATION OPTIMAL DISPATCH OF
DISTRIBUTED GENERATION USING THE GENETIC
ALGORITHM METHOD IN A MEDIUM VOLTAGE
MICROGRID**

Name : Ilham Zuhdy
NRP : 2208100117
Counsellor Lecturer 1 : Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.
Counsellor Lecturer 2 : Dr. Rony Seto Wibowo, S.T., M.T.

ABSTRACT

Economic dispatch (ED) can be applied to address scheduling problems optimally economic plants , yet if used on a system with a load within a certain time frame , there will be some of the generation that crossed the line of the parameter ramp rate generator . This final project proposes a simple and efficient approach for optimal loading in medium voltage microgrid with a wide range of Distributed Generation (DG) . The cost of fuel produced by the DG is determined using quadratic and linear functions depending on the type of DG . Approach method GA (Genetic Algorithm) proposed capable of solving the inequality constraints in the form of greater cost and can further solve the problem of non - derivative or the function of the cost of fuel is much more complicated.

Keywords: *Genetic Algorithm, Microgrid, Distributed Generation, Optimal Dispatch*

KATA PENGANTAR

Puji dan rasa syukur mendalam penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena berkat limpahan rahmat, dan hidayah-Nya sehingga penyusunan tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik. Salam dan shalawat semoga selalu tercurah pada baginda Rasulullah Muhammad SAW.

Tugas akhir yang berjudul " PENENTUAN LOKASI DAN PEMBEBANAN OPTIMAL DISTRIBUTED GENERATION MENGGUNAKAN METODE GENETIC ALGORITHM PADA MICROGRID TEGANGAN MENENGAH" ini kami susun untuk memenuhi persyaratan kurikulum sarjana strata-1 (S-1) pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Penulis mengucapkan rasa terimakasih yang sebesar-besarnya atas semua bantuan yang telah diberikan, baik secara langsung maupun tidak langsung selama penyusunan tugas akhir ini hingga selesai. Secara khusus rasa terimakasih tersebut kami sampaikan kepada:

1. Bapak, Ibu beserta seluruh keluarga yang selalu mendukung penuh penulis dalam menyelesaikan studi.
2. Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D. , Dr. Rony Seto Wibowo, S.T., M.T. dan Ir. R. Wahyudi sebagai dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.
3. Bapak I Gede Dewa Sudirawan selaku mentor yang telah memberikan motivasi arahan dan saran-saran dalam menyelesaikan tugas akhir.
4. Keluarga besar Lab Simulasi B.103 Elektro ITS
5. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Elektro ITS, atas ilmu, bimbingan dan bantuannya hingga penulis selesai menyusun tugas akhir ini.
6. Rekan-rekan di Jurusan Teknik Elektro ITS yang juga telah banyak membantu penulis.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini belum sempurna, baik dari segi materi maupun penyajiannya. Untuk itu saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan dalam penyempurnaan tugas akhir ini.

Surabaya, Januari 2016
Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL	
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	
HALAMAN PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Tugas Akhir	2
1.3 Permasalahan	2
1.4 Batasan Tugas Akhir	2
1.5 Metodologi Tugas Akhir	3
1.6 Sistematika Laporan	4
1.7 Relevansi	4
BAB 2 SISTEM DISTRIBUSI LISTRIK, DISTRIBUTED GENERATION (DG), SISTEM KELISTRIKAN MICROGRID	7
2.1 Sistem Distribusi	7
2.1.1 Sistem Distribusi Radial	9
2.2 Distributed Generation (DG)	11
2.2.1 Teknologi DG yang dapat dikembangkan di Indonesia	13
2.2.2 Keuntungan Distributed Generation	14
2.3 Sistem Kelistrikan Microgrid	15
2.3.1 Model Operasi Microgrid	15
2.3.2 Sel Surya	16
2.3.3 Turbin Angin	16
2.3.4 Generator Diesel	17
2.3.5 PLN	17

BAB 3 PENENTUAN LOKASI DG MENGGUNAKAN GENETIC ALGORITHM	19
3.1 Persamaan Aliran Daya.....	20
3.2 Algoritma Genetika.....	21
3.2.1 Gen	23
3.2.2 Kromosom	23
3.2.3 Fitness.....	23
3.2.4 Individu	23
3.2.5 Populasi	24
3.2.6 Struktur GA	24
3.3 Penentuan Lokasi Distributed Generation (DG)	28
3.3.1 Persamaan Rugi Daya pada Penentuan Lokasi DG	29
3.3.2 Penentuan Lokasi DG Menggunakan GA	30
3.4 Economic Dispatch	33
3.5 Konstrain Sistem dan Kondisi Terminasi Algoritma	33
3.6 Implementasi dari Algoritma	34
BAB 4 SIMULASI DAN ANALISIS	35
4.1 Hasil Simulasi pada sistem IEEE 33 bus	36
4.2 Hasil Simulasi Penentuan Lokasi DG	39
BAB 5 PENUTUP	41
5.1 Kesimpulan	41
DAFTAR PUSTAKA	43
LAMPIRAN	45
BIODATA PENULIS	49

DAFTAR GAMBAR

HALAMAN

Gambar 2.1	Diagram proses penyaluran listrik	8
Gambar 2.2	Lokasi distribusi primer dan distribusi sekunder	10
Gambar 2.3	Jaringan distribusi radial.....	11
Gambar 2.4	Koneksi DG pada system distribusi radial.....	15
Gambar 2.5	Sistem kelistrikan Microgrid	16
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	19
Gambar 3.2	Pemodelan saluran distribusi	20
Gambar 3.3	Mekanisme crossover satu titik	25
Gambar 3.4	Mekanisme crossover dua titik	25
Gambar 3.5	Mekanisme crossover seragam	26
Gambar 3.6	Mekanisme mutasi dalam pengkodean biner	26
Gambar 3.7	Mekanisme mutasi dalam pengkodean permutasi	27
Gambar 3.8	Penentuan lokasi DG pada sistem distribusi	29
Gambar 3.9	Populasi awal DG dalam GA.....	31
Gambar 3.10	Proses inisiasi kromosom (1).....	32
Gambar 3.11	Proses inisiasi kromosom (2).....	32
Gambar 3.12	Evaluasi fitness	32
Gambar 4.1	<i>Single Line Diagram</i> sistem IEEE 33 bus	36
Gambar 4.2	Grafik perbandingan tegangan bus 1DG hingga 3 DG..	44

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

HALAMAN

Tabel 4.1	Data saluran running loadflow pada IEEE 33 bus	37
Tabel 4.2	Tegangan base case	38
Tabel 4.3	Hasil running loadflow 1 DG	39
Tabel 4.4	Hasil penentuan lokasi 1 DG	40
Tabel 4.5	Hasil running loadflow 2 DG	41
Tabel 4.6	Hasil penentuan lokasi 2 DG	42
Tabel 4.7	Hasil running loadflow 3 DG	42
Tabel 4.8	hasil penentuan lokasi 3 DG	43
Tabel 4.9	Tegangan setelah penempatan 3 DG	44

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Listrik memegang peranan yang sangat penting dan vital dalam kehidupan karena dengan listrik manusia bisa beraktifitas secara maksimal. Jika listrik padam, maka banyak aktifitas menjadi tertunda. Kebutuhan akan listrik yang semakin meningkat dari tahun ke tahun ini, maka secara otomatis untuk memenuhi konsumennya, unit pembangkitan yang bertugas dalam produksi listrik ini mendirikan pembangkitan listrik baru yang digunakan untuk mencukupi dan memenuhi customer. Listrik yang telah diproduksi oleh pembangkit listrik ini tidak dapat di simpan tetapi langsung di salurkan (di jual) kepada PT. PLN (Persero) UBS P3B untuk dilakukan pengaturan beban yang kemudian bisa dikonsumsi, dari sini kemudian di salurkan ke pada bagian distribusi sehingga bisa dikonsumsi oleh masyarakat.

Adanya permintaan listrik yang berubah-ubah tiap waktunya serta perbedaan karakteristik tiap pembangkit menjadi suatu permasalahan dalam menentukan daya keluaran pembangkit . Penentuan daya keluaran dari masing-masing pembangkit yang terinterkoneksi dibutuhkan suatu perhitungan agar pembangkitan menjadi optimal. Selain itu, ramp rate constraint pembangkit menambah kesulitan dalam menentukan penentuan daya keluaran yang ekonomis. [1]

Salah satu metode yang cocok untuk kasus ini adalah dengan menggunakan konsep Genetic Algorithm untuk economic dispatch dari unit pembangkit ketika memenuhi permintaan beban. Pendekatan metode Algoritma Genetik (Genetic Algorithm) yang diusulkan mampu memecahkan beberapa kendala ketimpangan tanpa memperkenalkan setiap pengganda dan selanjutnya dapat memecahkan masalah non-derivatif atau fungsi biaya bahan bakar yang jauh lebih rumit dan diharapkan dapat mengurangi permasalahan pada proses penentuan daya keluaran pembangkit

yang ekonomis akibat dari ramp rate constraint dan permintaan beban yang tidak monoton

1.2 Tujuan

Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

- a. Mendapatkan lokasi penempatan kapasitor dan DG yang optimal untuk mengurangi rugi daya nyata pada sistem distribusi.
- b. Mendapatkan program penjadwalan ekonomis pembangkit yang dinamis dengan memperhitungkan parameter ramp rate menggunakan Genetic Algorithm Method (GA)
- c. Mengetahui penentuan penjadwalan ekonomis pembangkit dengan memperhitungkan parameter ramp rate
- d. Mengetahui pengaruh parameter ramp rate terhadap daya terbangkit dan biaya pembangkitan.

1.3 Permasalahan

Permasalahan yang akan dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah :

1. Menentukan ukuran dan lokasi dari DG dan kapasitor yang ditujukan untuk meminimalkan rugi daya yang timbul pada saluran distribusi dengan menggunakan metode genetic algorithm
2. Perbandingan nilai rugi daya pada saat melakukan optimasi penempatan kapasitor saja atau penempatan DG saja , lalu saat melakukan optimasi secara bersama DG dan kapasitor

1.4 Batasan Masalah

Untuk menyelesaikan masalah dalam tugas akhir ini, maka perlu diberi batasan-batasan sebagai berikut :

1. Optimal Dispatch
2. Simulasi dilakukan dengan menggunakan Matlab
3. Metode yang digunakan adalah Genetic Algorithm
Menggunakan sistem distribusi IEEE 33 bus yang dimodelkan seimbang 3 phasa.

3. Simulasi menggunakan program Matlab 2010b.
4. Analisa dilakukan pada keadaan sistem steady state. yang optimal dari pemasangan DG dan kapasitor.
5. Fungsi objektif optimasi dengan tujuan meminimalkan rugi daya nyata pada saluran distribusi.
6. Memperhitungkan kapasitas dan ukuran dari DG dan kapasitor

1.5 Metode Penelitian

Metodologi yang digunakan dalam penyusunan tugas akhir ini antara lain :

1. Studi Literatur
Studi Literatur didapatkan dari text book, jurnal, prosiding dan lainnya.
2. Pengumpulan Data
Data yang dikumpulkan meliputi data beban dari jaringan distribusi radial IEEE 33 bus, data resistansi dan reaktansi dari jaringan data hasil pengujian dengan metode yang berbeda, dan data-data lain yang diperlukan.
3. Pembuatan program serta penerapan Genetic Algorithm Method pada Optimal Dispatch. Program yang dibuat akan dievaluasi terlebih dahulu menggunakan perhitungan dengan sistem kecil yang telah ada pada literature untuk kemudian digunakan pada sistem besar
4. Simulasi dan Analisis
Melakukan simulasi pengujian dari pemasangan DG dan kapasitor ke sistem distribusi dan melakukan analisa perbedaan dari sebelum pemasangan dan sesudah pemasangan terutama dampak dari rugi-rugi saluran yang ditimbulkan
5. Penulisan Buku
Penulisan laporan sebagai pengembangan kesimpulan dari tugas akhir ini

1.6 Sistematika Penulisan

Penyusunan tugas akhir ini terdiri atas lima bab. Sistematika yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. BAB 1

Pendahuluan. Bab ini membahas tentang latar belakang masalah dalam pembuatan Tugas Akhir, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, metodologi, sistematika pembahasan, serta relevansi dan manfaat penulisan tugas akhir.

2. BAB 2

Dasar Teori. Bab ini secara garis besar membahas tentang teori sistem distribusi dan metode *genethic algorithm* yang digunakan sebagai dasar dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.

3. BAB 3

Penempatan DG dan Kapasitor dengan Menggunakan Metode Genetic Algorithm. Bab ini membahas tentang penerapan dari metode *Genetic Algorithm* yang digunakan untuk menentukan letak dari DG dan Kapasitor pada jaringan. Serta membahas tentang penentuan ukuran kapasitor dan DG.

4. BAB 4

Simulasi dan Analisis . Bab ini membahas tentang hasil dari pemasangan DG atau kapasitor saja dalam jaringan dan hasil dari penempatan DG dan kapasitor yang ditempatkan secara simultan.

5. BAB 5

Penutup . Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari hasil analisis penyelesaian rekonfigurasi serta penentuan lokasi kapasitor yang telah diperoleh melalui simulasi.

1.7 Relevansi

Hasil yang diperoleh dari tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Didapatkan penempatan DG dan kapasitor yang optimal pada sistem distribusi.

2. Menentukan besar kapasitas yang optimal untuk menghasilkan rugi-rugi daya yang minimal dan memenuhi batasan yang ditetapkan.
3. Menjadi referensi bagi mahasiswa lain yang hendak mengambil masalah yang serupa untuk tugas akhir berikutnya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2

SISTEM DISTRIBUSI LISTRIK, DISTRIBUTED GENERATION (DG) , SISTEM KELISTRIKAN MICROGRID

2.1 Sistem Distribusi

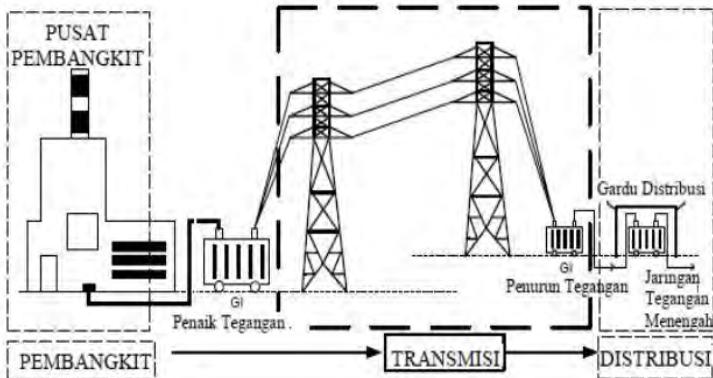
Sistem distribusi ialah jaringan listrik antara pusat pembangkit sampai dengan pusat pemakaian (kWh pelanggan). Tegangan yang dibangkitkan oleh generator biasanya berkisar antara 6 kV sampai 20 kV tergantung dari pabrik pembuat. Untuk mencegah kerugian daya yang besar pada waktu mengirim tenaga listrik dari pembangkit melalui jaringan transmisi ke pusat-pusat beban yang letaknya sangat jauh dari pembangkit maka sebelum ditransmisikan, tegangan ini dinaikkan terlebih dahulu menjadi 70 kV sampai 500 kV.

Sistem Distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (Bulk Power Source) sampai ke konsumen.

Jadi fungsi distribusi tenaga listrik adalah:

- 1) pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan)
- 2) merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, karena catu daya pada pusat-pusat beban (pelanggan) dilayani langsung melalui jaringan distribusi.

Transmisi adalah bagian yang menyalurkan energi listrik dari pusat listrik ke pusat beban yang diterima oleh Gardu Induk (GI). Untuk jarak yang sedang digunakan tegangan transmisi 70 kV. Untuk jarak yang jauh digunakan tegangan transmisi 150 kV sedangkan untuk jarak yang sangat jauh digunakan tegangan transmisi sampai 500 kV.



Gambar 2.1 Diagram proses penyaluran listrik

Sistem distribusi ini dapat dikelompokkan ke dalam dua tingkat yaitu :

- a. Sistem Jaringan Distribusi Primer disebut Jaringan Tegangan Menengah (JTM)
- b. Sistem Jaringan Distribusi Sekunder disebut Jaringan Tegangan Rendah (JTR)

Distribusi primer disebut juga tegangan menengah, yaitu jaringan yang menghubungkan gardu induk dengan gardu distribusi yang biasanya menggunakan tegangan distribusi 6 kV, 7 kV, 12 kV, 20 kV. Jaringan Distribusi Primer atau JTM merupakan fasa-tiga sedangkan jaringan distribusi sekunder atau Jaringan Tegangan Rendah (JTR) merupakan fasa-tunggal dan fasa-tiga dengan empat kawat. Di Indonesia umumnya tegangan yang digunakan pada sistem distribusi jaringan tegangan rendah adalah 380/220 volt.

Sistem Distribusi Sekunder

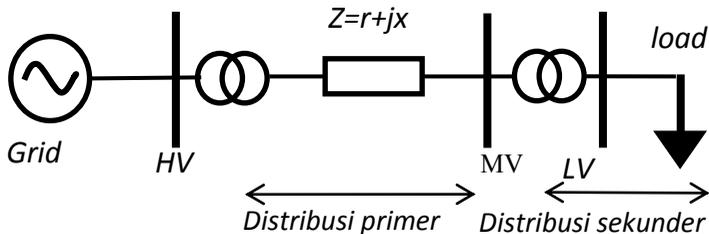
Sistem distribusi sekunder yang lazim disebut jaringan tegangan rendah (JTR) dimulai dari sisi sekunder trafo distribusi sampai dengan sambungan rumah (SR) pada pelanggan yang berfungsi untuk mendistribusikan energi listrik dari gardu distribusi ke pelanggan dengan tegangan operasi yakni tegangan rendah (400/230 Volt, 380/220 Volt).

Pada saat ini SUTR yang menggunakan kabel telah banyak digunakan oleh PLN untuk mengurangi gangguan yang disebabkan oleh gangguan pohon dan gangguan lain yang disebabkan oleh

perbuatan manusia. Untuk kabel sambungan rumah (SR) ke pelanggan saat ini telah digunakan twisted kabel dengan inti penghantar ada dari material aluminium dan tembaga.

Sistem jaringan sekunder yang baik pada saat ini harus memberikan taraf keandalan pada jaringan tegangan rendah di daerah dengan kepadatan beban yang tinggi, dengan menjamin bahwa energi listrik yang sampai ke pelanggan mempunyai mutu yang baik, sehingga biayanya yang tinggi dapat dipertanggung jawabkan dan tingkat keandalan ini dipandang perlu.

Jaringan sekunder tegangan rendah mendapat pengisian terbanyak dari tiga atau lebih feeder, sehingga bilamana salah satu feeder primer terganggu, sisa jaringan sekunder akan dapat dengan mudah menampung beban dari feeder yang terganggu itu. Sistem demikian dinamakan jaringan kedua (*second contingency network*). Jaringan sekunder tegangan rendah harus didesain sedemikian rupa hingga terdapat pembagian beban dan pengaturan tegangan (*voltage regulation*) yang baik.



Gambar 2.2 Lokasi distribusi primer dan distribusi sekunder

Berdasarkan skema operasinya, sistem distribusi dibagi menjadi 3 konfigurasi, yaitu: *radial system*, *ring main system* dan *interconnected system*. Dalam tugas akhir ini, sistem distribusi yang digunakan adalah tipe radial.

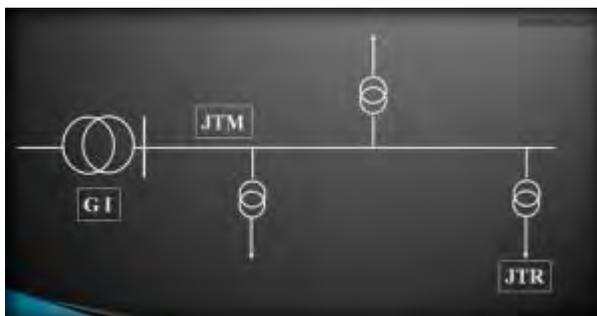
2.1.1 Sistem Distribusi Radial

Merupakan jaringan sistem distribusi primer yang sederhana, dan banyak dioperasikan dalam sistem distribusi. Dikarenakan biaya untuk membentuk jaringan ini cukup murah. Jaringan ini dinamakan jaringan radial karena saluran ini ditarik secara radial dari suatu titik sumber dan dicabang – cabangkan ke

titik beban. Sehingga bentuk jaringan radial ini tampak seperti cabang pohon dengan jalur utama yang terhubung ke rangkaian yang lebih kecil yakni menuju beban. Pada jaringan ini arus yang paling besar adalah yang paling dekat dengan Gardu Induk. Tipe ini dalam penyaluran energi listrik kurang handal karena bila terjadi gangguan pada penyulang maka akan menyebabkan terjadinya pemadaman pada penyulang tersebut.

Sumber yang berasal dari satu titik yang menuju percabangan menyebabkan perbedaan arus beban yang mengalir pada setiap saluran. Sehingga terjadi perbedaan luas penampang konduktor. Hal ini juga akan menyebabkan saluran yang lokasinya paling dekat dengan gardu induk memiliki luas penampang yang lebih besar dan saluran cabang – cabangnya. Untuk itu, semakin dekat suatu saluran dengan sumber maka luas penampang semakin kecil.

Pada jaringan ini, satu atau beberapa sumber hanya akan ada dalam area yang sama sehingga ketika terjadi gangguan maka area tersebut akan terkena dampak dari gangguan karena daya listrik mengalir sepanjang jalur tunggal yaitu jalur yang terhubung antara setiap pelanggan dan gardu. Jika terganggu, akan mengakibatkan hilangnya sumber energi yang didistribusikan kepada pelanggan. Konfigurasi jaringan ini dapat diperlihatkan pada gambar



Gambar 2.3 Sistem distribusi radial

Pada konfigurasi ini memiliki kekurangan dalam hal kualitas pelayanan daya dan kontinuitas pelayanan yang buruk. Kualitas daya kurang baik disebabkan oleh deviasi tegangan dan

rugi daya yang relatif besar. Hal yang mempengaruhi semakin buruknya kualitas daya adalah besar nilai impedansi dan nilai arus yang melewati saluran. Konfigurasi ini memiliki kontinuitas yang kurang baik disebabkan hanya memiliki satu alternatif saluran sehingga saat saluran terjadi gangguan maka saluran sesudah gangguan akan mengalami pemadaman total selama gangguan tersebut belum teratasi .

2.2 Distributed Generation (DG)

Beberapa pengertian Distributed Generation (DG)

Pengertian DG Menurut DPCA (Distributed Power Coalition of America) adalah teknologi pembangkitan energi listrik berskala kecil yang menghasilkan daya listrik di suatu tempat yang lebih dekat dengan konsumen dibandingkan dengan pembangkit listrik pusat. Pembangkit ini dapat dihubungkan secara langsung ke konsumen atau ke sistem distribusi atau transmisi milik utility.

Pengertian DG Menurut CIGRE (International Conference on High Voltage Electric System) adalah:

- Tidak direncanakan secara terpusat
- Untuk saat ini tidak dikirim secara terpusat
- Biasanya terhubung dengan jaringan distribusi
- Lebih kecil dari 50 atau 100 MW.

Pengertian DG Menurut IEA (International Energy Agency) adalah pembangkit listrik yang melayani konsumen di tempat (on-site), atau untuk mendukung jaringan distribusi, dan terhubung ke jaringan pada level tegangan distribusi. Teknologinya secara umum terdiri dari mesin, turbin kecil (termasuk turbin mikro), fuel cell dan photovoltaic. Umumnya, tenaga angin tidak termasuk ke dalamnya, karena sebagian besar tenaga angin diproduksi di wind-farm yang memang dibangun khusus untuk tujuan tersebut, dan bukan untuk memenuhi kebutuhan energi di suatu tempat yang ada didekatnya (lebih banyak terhubung ke saluran transmisi, bukan distribusi).

IEEE mendefinisikan Distributed Generation sebagai pembangkitan yang menghasilkan energi dalam kapasitas yang lebih kecil dibandingkan pusat-pusat pembangkit konvensional dan dapat dipasangkan hampir pada setiap titik sistem tenaga listrik. Sedangkan

IEA (2002) mendefinisikan Distributed Generation sebagai unit-unit yang menghasilkan energi pada sisi konsumen atau dalam jaringan distribusi lokal. Hal ini menunjukkan bahwa pembangkitan dengan skala kecil yang dihubungkan ke jaringan distribusi dapat dianggap sebagai bagian dari DG. Selain itu, pembangkitan yang dipasangkan dekat dengan sisi beban atau konsumen juga dapat dikatakan sebagai Distributed Generation.

Jadi Pengertian Singkatnya dari Distributed Generation adalah sumber energi listrik yang secara langsung terhubung ke jaringan distribusi atau ke meteran konsumen

Perbedaan diantara jaringan distribusi dan transmisi didasarkan pada definisi legalnya. Di kebanyakan pasar yang kompetitif, definisi legal untuk jaringan transmisi biasanya merupakan bagian dari peraturan pasar kelistrikan. Apapun yang tidak didefinisikan sebagai jaringan transmisi di peraturan perundangan dapat dianggap sebagai jaringan distribusi.

Perkembangan DG di masa sekarang didukung oleh dua isu utama dalam sistem tenaga listrik pada masa sekarang, yaitu :

1. Kebijakan lingkungan yang berkelanjutan yang mengharapkan DG dapat membantu mengurangi gas emisi terutama emisi karbon. Pemanfaatan energi DG harus mendorong pengurangan emisi karbon karena umumnya teknologi DG memiliki emisi karbon yang rendah bahkan ada yang emisi karbonnya nol seperti photovoltaic (sel surya).
2. Perubahan kebijakan energi listrik di seluruh dunia dari sistem monopoli menjadi sistem yang lebih kompetitif terkhusus pada sektor pembangkit yang memungkinkan keragaman dalam kepemilikan aset pembangkit sehingga akan adanya persaingan yang mendorong harga energi listrik menjadi lebih murah.

DG merupakan teknologi yang saat ini sedang dikembangkan di Indonesia karena DG memiliki manfaat yang signifikan dalam penyaluran energi listrik. Jika DG dipasang di lokasi yang optimal dan dikoordinasikan dengan benar, hal ini akan meningkatkan profil tegangan dan tentunya dapat mengurangi kerugian daya pada sistem distribusi. Penggunaan utama dari DG adalah untuk menyuplai energi listrik pada daerah terpencil. Keuntungan lain dari penggunaan DG adalah DG dapat menyuntikkan kelebihan daya bila kapasitas DG lebih tinggi dari beban lokal.

2.2.1 Teknologi DG yang Dapat Dikembangkan di Indonesia

Beberapa jenis teknologi DG yang dapat dikembangkan di Indonesia adalah mikrohidro, bahan bakar nabati, biomassa, energi angin, tenaga surya, energi hybrid (angin dan surya), pasang surut, dan panas bumi. Secara garis besar, interkoneksi pada DG terbagi atas tiga komponen, yaitu:

1. Sumber Energi Utama (Prime Energy Source)

DG Sebagai Sumber Energi Utama menunjuk pada teknologi DG sebagai sumber energi seperti energi surya, angin, mikrohidro, pasang surut dan biomassa. Setiap teknologi DG memiliki karakter yang berbeda-beda dalam menghasilkan energi, misalnya tipikal energi yang dihasilkan oleh PV dan *fuel cell* berupa *direct current* atau *wind turbin* yang tipikal energinya berupa energi mekanis (dihasilkan dari putaran pada turbin).

2. Power Converter

Power converter dalam interkoneksi, berfungsi untuk mengubah energi dari sumber energi utama (*prime energy resources*) menjadi energi dengan level frekuensi tertentu (50Hz - 60Hz). Secara garis besar, ada 3 kategori power converter yang digunakan dalam interkoneksi, yaitu: generator sinkron, generator induksi dan static power converter.

Generator sinkron dan generator induksi mengkonversi putaran energi mekanis ke dalam tenaga listrik dan sering disebut dengan routing power converter. *Static power converter* (biasa dikenal dengan inverter) tersusun atas *solid-device* seperti transistor. Pada inverter, transistor mengkonversi energi dari sumber menjadi energi dengan frekuensi 50-60Hz dengan switching (*switch on-off*). Teknologi DG yang dijual di pasaran, kebanyakan telah diintegrasikan dengan *power converter* masing-masing. Misalnya *fuel cell* yang telah diintegrasikan dengan inverter. *Power converter* memiliki efek yang besar terhadap DG pada sistem distribusi. Oleh sebab itu dibutuhkan peralatan interkoneksi untuk menjamin keamanan dan kestabilan operasi. Generator sinkron, generator induksi dan inverter memberikan respon yang sangat berbeda terhadap variasi kondisi dari sistem tenaga.

3. Sistem Interface dan Peralatan Proteksi

Peralatan ini ditempatkan sebagai penghubung antara terminal output dari power converter dan jaringan primer.

Komponen interkoneksi ini biasanya terdiri atas *step-up transformer*, *metering* kadang ditambahkan *controller* dan relay proteksi. Dalam komponen ini terkadang terdapat *communication link* untuk mengontrol kondisi pada sistem.

Adapun beberapa teknologi DG yang sering digunakan adalah micro-hydro, panel surya, turbin angin, mesin diesel, sel bahan bakar, dan baterai yang terdiri dari sejumlah modul-modul kecil dan dirakit secara tersendiri oleh pabrik. Hal ini dilakukan untuk mempermudah konstruksi dan implementasi pada lokasi DG. Modul-modul kecil tersebut dapat dipasang dengan sangat cepat pada lokasi akhir dimana pembangkit membutuhkan penghematan waktu yang sangat signifikan bila dibandingkan dengan pembangunan pembangkit tenaga listrik besar yang letaknya terpusat pada suatu lokasi tertentu.

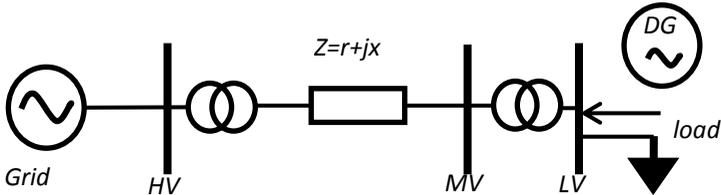
Modul-modul DG tersebut dapat cepat beroperasi segera setelah dipasang pada lokasi. Masing-masing modul juga bersifat inpenden, jadi ketika satu modul mengalami kerusakan, maka modul yang lain dapat tetap bekerja secara normal. Hal inilah yang menyebabkan nilai keadaan unit DG yang lebih baik dibandingkan dengan pembangkit sentral pada umumnya.

2.2.2 Keuntungan Distributed Generation

Dalam banyak penelitian, DG dapat beradaptasi dengan perubahan ekonomi dalam cara yang fleksibel karena ukurannya yang kecil dan konstruksi yang lebih sederhana dibandingkan dengan pusat – pusat pembangkit konvensional. Dalam pemasangannya dalam jaringan distribusi, DG ditempatkan dekat dengan daerah beban dan beberapa keuntungan dalam pemakaian DG meliputi:

- a. DG sebagai sumber energi lokal dapat membantu untuk penghematan daya
- b. DG yang pemasangannya berada dekat dengan daerah beban dapat meningkatkan keandalan dalam pemanfaatan daya.
- c. Dalam memproduksi energi listrik, DG bersifat ramah lingkungan. Emisi yang dihasilkan dari produksi energi listrik oleh DG tergolong rendah, bahkan mendekati nol
- d. Dibandingkan dengan power plants, DG memiliki efisiensi yang lebih tinggi dalam penyaluran daya. Selain itu, bila

dikoneksikan pada jaringan, DG dapat meningkatkan efisiensi sistem karena DG membantu mengurangi rugi-rugi pada sistem.



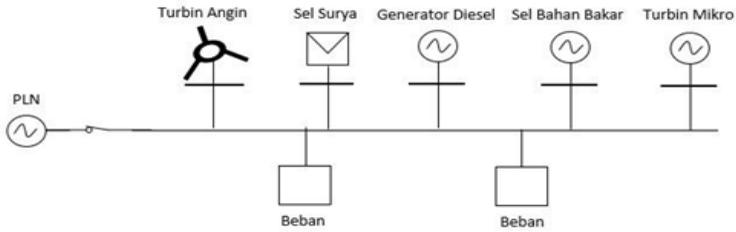
Gambar 2.4 Koneksi DG pada sistem distribusi radial

Aliran daya dalam jaringan tergantung pada ukuran dan lokasi dari DG dan juga pada permintaan beban pada waktu tertentu. Selain itu, dalam aplikasinya, DG terdiri dari berbagai macam jenis yang memiliki karakteristik yang berbeda. Adapun beberapa contoh jenis teknologi pembangkitan yang menggunakan Distributed Generation, yaitu: photovoltaic (PV), turbin angin (wind turbine), fuel cell, micro turbine dan baterai serta diesel generator sebagai backup saat beban naik. Pada tugas akhir ini, pembangkit yang digunakan adalah DG dengan kapasitas pembangkitan maksimal 1MW yang menyuplai daya aktif.

2.3 SISTEM KELISTRIKAN MICROGRID

2.3.1 Model Operasi Sistem Micro Grid

Model operasi sistem Micro Grid yang dipakai adalah grid-connected. Dengan tipe operasi ini, PLN diintegrasikan kedalam sistem Micro Grid sehingga pembangkit tersebar yang terpasang tidak secara mandiri menanggung semua beban dalam sistem. Beberapa sumber energi listrik yang dimodelkan dalam sistem Micro Grid ini yaitu turbin angin, turbin mikro, generator diesel, sel surya, dan sel bahan bakar seperti pada gambar 1. Beberapa dari sumber energi listrik ini merupakan energi terbarukan seperti turbin angin dan sel surya.



Gambar 2.5 Sistem Kelistrikan Micro Grid

2.3.2 Sel Surya

Dari modul sel surya dapat dihitung Daya Keluaran dengan persamaan berikut :

$$P_{PV} = M \left\{ P_{STC} \frac{G_{ING}}{G_{STC}} (1 + k(T_c - T_r)) \right\}$$

dimana P_{PV} adalah daya keluaran dari modul saat radiasi G_{ING} , P_{STC} adalah daya maksimum modul saat STC, G_{ING} adalah radiasi aktual, G_{STC} adalah radiasi saat STC 1000 W/m^2 ,

M adalah jumlah modul sel surya, k adalah koefisien suhu untuk daya modul, T_c adalah suhu sel, T_r adalah referensi suhu.

Dalam penelitian ini, digunakan modul sel surya SOLAREX MSX-83. Karakteristik dari modul ini yaitu: daya maksimum = 83 W, tegangan saat daya maksimum = 17.1 V, arus saat daya maksimum = 4.84 A, arus short circuit = 5.27 A, dan tegangan open circuit = 21.2 V saat STC

2.3.3 Turbin Angin

Dalam penelitian ini, digunakan turbin angin AIR403. Didapatkan persamaan seperti yang ditunjukkan pada persamaan berikut

$$\begin{aligned} P_{WT} &= 0, & V_{ac} &< V_{ci} \\ P_{WT} &= aV_{ac}^2 + bV_{ac} + c, & V_{ci} &\leq V_{ac} < V_r \\ P_{WT,r} &= 130, & V_r &\leq V_{ac} > V_{co} \\ P_{WT} &= J \times P_{WT,r} \end{aligned}$$

dimana PWT_r , V_{ci} , dan V_{co} adalah rating daya, kecepatan angin cut-in dan cut-out. Sedangkan V_r dan V_{ac} adalah kecepatan angin rating dan aktual. J adalah jumlah turbin angin terpasang. Parameter yang digunakan adalah sebagai berikut:

$a = 3.4$; $b = -12$; $c = 9.2$; $PWT_r = 130$ watt; $V_{ci} = 3.5$ m/s; $V_{co} = 18$ m/s; $V_r = 17.5$ m/s.

2.3.4 Generator Diesel

Generator Diesel adalah jenis yang paling umum digunakan dalam teknologi Micro Grid saat ini. Biaya operasi dari sistem dapat dinyatakan sebagai fungsi daya keluaran dan dapat dimodelkan dengan polinomial kuadrat. Biaya operasi untuk generator diesel ditunjukkan pada persamaan berikut :

$$CF (PDG) = a + b \text{ PDG} + c \text{ PDG}^2$$

dimana a , b , dan c adalah koefisien generator, PDG adalah keluaran daya dari generator diesel.

Dalam penelitian ini, digunakan 6-kW diesel generator set (Cummins Power) model DNAC 50 Hz. Parameter yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$a = 0.4333, b = 0.2333 \text{ dan } c = 0.0074.$$

2.3.5 PLN

PLN menyeimbangkan perbedaan antara kebutuhan beban dan keluaran generator dari sumber mikro. Maka, ada biaya pengeluaran untuk membeli energi listrik ketika sumber mikro kekurangan dalam memenuhi kebutuhan beban. Di lain sisi, ada pemasukan dari penjualan energi listrik ketika sumber mikro menghasilkan energi listrik lebih besar dari kebutuhan beban tetapi tarif dari penjualan energi listrik lebih kecil daripada tarif pembeliannya.

Dalam penelitian ini, total pemasukan dari penjualan daya ke PLN dimodelkan pada persamaan berikut:

$$Cp_{ln} = Up_{ln} \times T_{jual}$$

$$Up_{ln} = TotR - Load$$

$$TotR = Ppv + Pwt$$

dimana C_{pln} adalah total harga yang dijual ke PLN, U_{pln} adalah daya yang dijual ke PLN, T_{jual} adalah tarif jual ke PLN, $TotR$ adalah total daya Renewable Generator,

Load adalah total beban, P_{pv} adalah total daya sel surya, dan P_{wt} adalah total daya turbin angin.

Sedangkan total pengeluaran dari pembelian daya PLN dimodelkan pada persamaan berikut

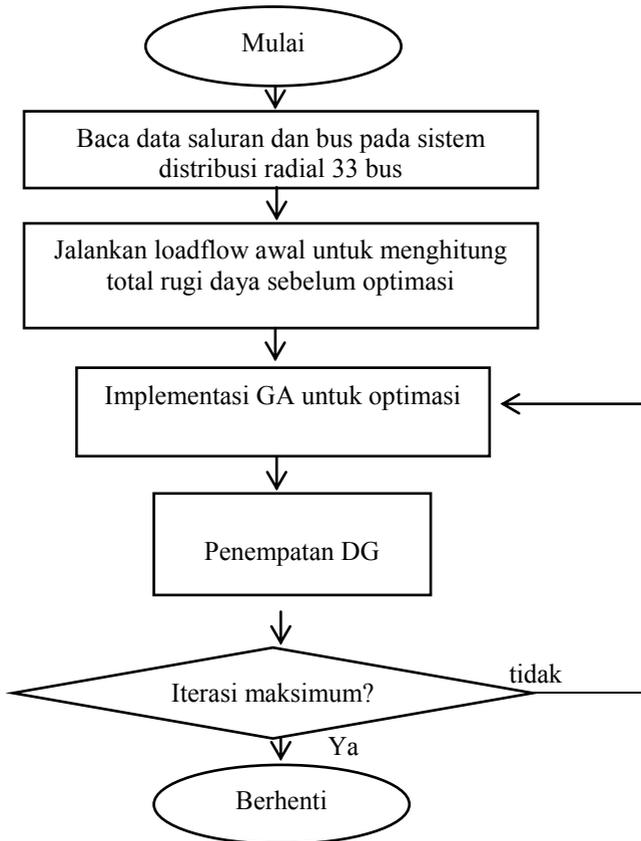
$$\begin{aligned} D_{pln} &= V_{pln} \times T_{beli} \\ V_{pln} &= Load - TotR - TotG \\ TotG &= P_{FC}^{max} + P_{MT}^{max} + P_{DG}^{max} \end{aligned}$$

dimana D_{pln} adalah total harga yang dibeli dari PLN, V_{pln} adalah daya yang dibeli dari PLN, T_{beli} adalah tarif beli dari PLN, $TotG$ adalah total daya maksimum generator berbahan bakar, P_{FC}^{max} adalah daya maksimal dari sel bahan bakar, P_{MT}^{max} adalah daya maksimal dari turbin mikro, P_{DG}^{max} adalah daya maksimal dari generator diesel. Parameter yang digunakan dalam penelitian ini yaitu: $T_{jual} = 600$, $T_{beli} = 900$, $P_{FC}^{max} = 50$, $P_{MT}^{max} = 30$, dan $P_{DG}^{max} = 6$.

BAB 3

PENENTUAN LOKASI DG MENGGUNAKAN GENETIC ALGORITHM

Pada bab ini akan dijelaskan perancangan penentuan lokasi DG secara optimal menggunakan *genetic algorithm* (GA). Tahapan pengerjaan tugas akhir ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

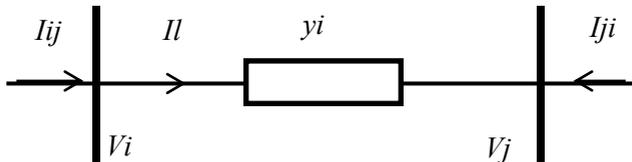
Dari gambar 3.1 dapat diketahui bahwa pengerjaan tugas akhir minimisasi rugi-rugi daya dilakukan melalui optimasi menggunakan *genetic algorithm*.

3.1 Persamaan Aliran Daya

Dalam proses dan pemasangan DG pada sistem distribusi perlu diketahui aliran daya pada sistem distribusi dan diketahui bahwa persamaan pada permasalahan analisis aliran daya adalah persamaan nonlinier yang harus diselesaikan menggunakan teknik iterasi. Pada Tugas Akhir ini metode yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan aliran daya adalah metode *backward – forward sweep*.

Informasi yang diperoleh dari studi aliran daya adalah magnitudo dan sudut fasa tegangan pada setiap bus, dan aliran daya reaktif dan aktif pada setiap saluran. Data yang diperlukan untuk studi aliran daya adalah data saluran dan data bus, termasuk jenis bus, bus beban atau bus generator. Jika pada bus terdapat generator, maka bus tersebut disebut sebagai bus generator. Sedangkan bus yang tidak memiliki generator disebut sebagai bus beban.

Sebelum melakukan penentuan lokasi DG, langkah awal yang harus ditentukan adalah menentukan persamaan aliran daya pada sistem. Hal ini bertujuan untuk mengetahui nilai tegangan, arus dan rugi daya yang selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam merencanakan rekonfigurasi jaringan dan penentuan lokasi DG. Pada tugas akhir, rugi daya merupakan fungsi objektif yang digunakan dalam optimasi.



Gambar 3.2 Pemodelan saluran distribusi untuk aliran daya

Pada Gambar 3.2, aliran daya pada sistem distribusi dapat dinyatakan dalam persamaan berikut.

$$I_{ij} = I_l = y_{ij} (V_i - V_j) \quad (3.1)$$

$$I_{ji} = -I_l = -(y_{ij} (V_i - V_j)) \quad (3.2)$$

$$S_{ij} = V_i I_{ij}^* \quad (3.3)$$

$$S_{ji} = V_j I_{ji}^* \quad (3.4)$$

$$S_l = S_{ij} + S_{ji} \quad (3.5)$$

Rugi daya pada setiap saluran yang menghubungkan bus i ke bus j dapat dinyatakan sebagai berikut

$$P_{loss(i,j)} = real(S_i) \quad (3.6)$$

Dari persamaan 3.6, total rugi daya dapat dihitung dengan cara menjumlahkan rugi daya pada setiap saluran sehingga didapatkan persamaan berikut

$$P_{T,loss} = \sum_{j=1}^n P_{loss(i,j)} \quad (3.7)$$

3.2 Algoritma Genetika

Algoritma genetika atau *Genetic Algorithm* (GA) adalah suatu algoritma pencarian berdasarkan mekanisme seleksi alam dan genetika. GA dipilih sebagai metode optimasi dalam tugas akhir ini karena GA merupakan metode yang cocok untuk memecahkan sebuah permasalahan optimasi kombinatorial secara cepat[5]. Dalam tugas akhir ini diterapkan untuk meminimalkan kerugian daya dalam sistem distribusi.

Konsep GA terinspirasi dari teori evolusi yang dikemukakan oleh Darwin dimana individu yang memiliki fitness tertinggi yang akan bertahan di alam[15]. Untuk itu, GA adalah algoritma pencarian heuristik adaptif berdasarkan ide-ide evolusi seleksi alam dan genetika. Dalam masalah optimasi, proses pencarian GA dilakukan secara acak. Meskipun acak, GA memanfaatkan informasi historis untuk mengarahkan pencarian ke wilayah kinerja yang lebih baik dalam ruang pencarian. Proses pencarian dalam GA akan dikenal beberapa istilah, yaitu: seleksi, mutasi, pindah silang dan evaluasi individu.

Dalam GA, semua organisme hidup terdiri dari sel-sel dimana setiap selnya memiliki kromosom yang sama. Kromosom adalah string DNA yang merupakan model untuk seluruh organisme. Kromosom terdiri dari gen, blok DNA. Setiap gen mengkode protein tertentu yang mewakili sifat (fitur), misalnya, warna mata. Setiap gen memiliki posisi tersendiri dalam kromosom disebut lokus. Set lengkap materi genetik (semua kromosom) disebut genom. Set gen tertentu dalam genom disebut genotipe. Ekspresi fisik genotipe (organisme itu sendiri setelah kelahiran) disebut fenotip, karakteristik fisik dan mental, seperti warna mata, kecerdasan dll. Ketika dua organisme kawin mereka berbagi gen mereka, keturunan yang dihasilkan memiliki setengah gen dari satu orangtua dan setengah dari yang lain. Proses ini disebut pindah silang atau rekombinasi (Crossover). Keturunan dibuat baru kemudian dapat

bermutasi. Hal tersebut berarti unsur-unsur DNA akan sedikit berubah. Perubahan ini terutama disebabkan oleh kesalahan dalam penyalinan gen dari orang tua. Fitness suatu organisme diukur dengan sumber organisme dalam hidupnya (survival).

Algoritma genetika adalah algoritma yang berusaha menerapkan pemahaman mengenai evolusi alamiah pada solusi pemecahan masalah (*problem solving*). Pendekatan yang diambil oleh algoritma ini adalah dengan menggabungkan secara acak berbagai pilihan solusi terbaik di dalam suatu kumpulan untuk mendapatkan generasi solusi terbaik berikutnya (*fitness*). Generasi ini akan merepresentasikan perbaikan-perbaikan pada populasi awalnya. Dengan melakukan proses ini secara berulang, algoritma ini diharapkan dapat mensimulasikan proses evolusioner. Pada akhirnya, akan didapatkan solusi-solusi yang paling tepat.

Tujuan GA dalam tugas akhir ini adalah untuk menemukan nilai maksimum dari delta rugi daya pada sistem *base load* dengan rugi daya setelah dilakukan pemasangan DG. Artinya, GA dalam hal ini adalah masalah maksimasi suatu fungsi f . Memaksimalkan nilai delta rugi daya pemasangan DG juga dapat dikatakan meminimalkan nilai rugi daya karena semakin besar delta rugi daya maka semakin kecil rugi daya yang terjadi dalam sistem.

Selain fungsi fitness, penentuan nilai batasan yang digunakan untuk masalah optimasi menjadi hal yang sangat penting. Jika masalah maksimasi atau minimasi fungsi dibatasi dengan sejumlah fungsi kriteria maka permasalahan tersebut menjadi optimasi dengan batasan atau *constrained optimization*. Terdapat dua jenis batasan yang digunakan, yaitu: *soft constraints* dan *hard constraints*. Suatu kromosom diperbolehkan melanggar *soft constraints*, tetapi nilai fitness kromosom tersebut menjadi lebih rendah. Sedangkan *hard constraints* tidak boleh dilanggar karena suatu kromosom dianggap tidak valid jika melanggar *hard constraints*.

Konsep optimasi dalam GA dimulai dengan satu set solusi (diwakili oleh kromosom) yang disebut populasi yang dibangkitkan secara acak. Solusi dari satu populasi yang diambil dan digunakan untuk membentuk populasi baru. Hal ini didorong oleh kemungkinan bahwa populasi baru akan lebih baik dari yang lama. Solusi yang dipilih sesuai dengan nilai fitnessnya untuk membentuk solusi baru. Hal ini diulang sampai beberapa kondisi. Kinerja GA sangat dipengaruhi oleh dua

proses yang disebut crossover dan mutasi. Kedua proses ini adalah bagian yang paling penting dari GA.

Variabel dan parameter yang digunakan pada algoritma genetik adalah:

1. Fungsi fitness (fungsi tujuan) yang dimiliki oleh masing-masing individu untuk menentukan tingkat kesesuaian individu tersebut dengan kriteria yang ingin dicapai.
2. Populasi jumlah individu yang dilibatkan pada setiap generasi.
3. Probabilitas terjadinya persilangan (crossover) pada suatu generasi.
4. Probabilitas terjadinya mutasi pada setiap individu.
5. Jumlah generasi yang akan dibentuk yang menentukan lama penerapan algoritma genetik.

3.2.1 Gen

Gen adalah bagian paling dasar dari algoritma genetika. Biasanya ada dua kelas gen di mana gen adalah bilangan real dan abjad, di mana gen mengambil nilai dari set alfabet yang meliputi bilangan biner, oktal, desimal, dan heksadesimal.

3.2.2 Kromosom

Kromosom adalah kumpulan gen yang membentuk individu, Kromosom terdiri dari beberapa variable yang akan dioptimasi. Dalam tugas akhir ini, variable yang akan dioptimasi adalah rugi daya saat sistem normal pada bus k, tegangan pada bus k, rugi daya setelah rekonfigurasi pada bus k dan daya keluaran DG.

3.2.3 Fitness

Fungsi fitness adalah fungsi yang menghasilkan nilai fitness dari suatu kromosom. Hal ini secara langsung berkaitan dengan nilai-nilai fungsi tujuan dan kendala melalui operasi skala. Fungsi fitness dalam tugas akhir ini adalah meminimalkan total rugi daya pada jaringan distribusi radial.

$$f(x) = \text{minimize} \sum_{i=1}^n P_{loss,ij}$$

3.2.4 Individu

Individu merupakan representasi dari sebuah kromosom yang mewakili parameter optimasi dari suatu nilai x, dan fungsi obyektif nilai f, dimana individu – individu tersebut memiliki nilai fitness dan mengalami proses generasi.

3.2.5 Populasi

Populasi adalah kumpulan dari beberapa individu yang masing – masing memiliki karakteristik dari variable yang diberikan secara acak sehingga menghasilkan nilai fitnessnya masing – masing dan mengalami proses generasi. Dalam GA, populasi yang terdiri dari kumpulan individu representasi dari variable yang dioptimasi akan mengalami proses regenerasi sehingga populasi baru akan memiliki nilai fitness yang lebih baik dari populasi sebelumnya.

3.2.5 Struktur GA

Secara umum struktur dari suatu algoritma genetik dapat mendefinisikan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Membangkitkan populasi awal

Populasi awal ini dibangkitkan secara random sehingga didapatkan solusi awal. Populasi itu sendiri terdiri atas sejumlah kromosom yang merepresentasikan solusi yang diinginkan.

2. Membentuk generasi baru

Untuk membentuk generasi baru, digunakan operator reproduksi/ seleksi, crossover dan mutasi. Proses ini dilakukan berulang-ulang sehingga didapatkan jumlah kromosom yang cukup untuk membentuk generasi baru dimana generasi baru ini merupakan representasi dari solusi baru. Generasi baru ini dikenal dengan istilah anak (offspring).

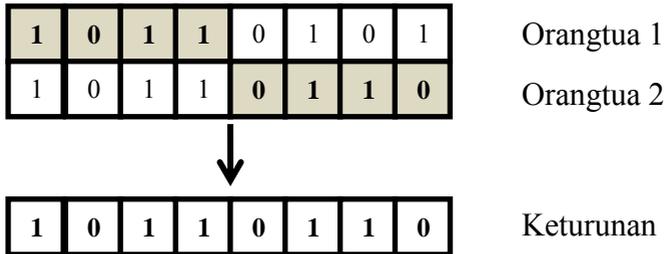
Ada beberapa metode untuk memilih kromosom yang sering digunakan antara lain adalah seleksi roda rolet (*roulette wheel selection*), seleksi ranking (*rank selection*) dan seleksi turnamen (*tournament selection*). Pada seleksi roda rolet, orang tua dipilih berdasarkan fitness mereka. Lebih baik kualitas suatu kromosom, lebih besar peluangnya untuk terpilih. Probabilitas suatu individu terpilih untuk crossover sebanding dengan fitness-nya. Cara penyeleksian ini merupakan peniruan dari permainan roda rolet.

Crossover (perkawinan silang) bertujuan menambah keanekaragaman string dalam populasi dengan penyilangan antar-string yang diperoleh dari sebelumnya. Beberapa jenis crossover tersebut adalah:

- Crossover 1-titik

Pada crossover dilakukan dengan memisahkan suatu string menjadi dua bagian dan selanjutnya salah satu bagian dipertukarkan dengan salah

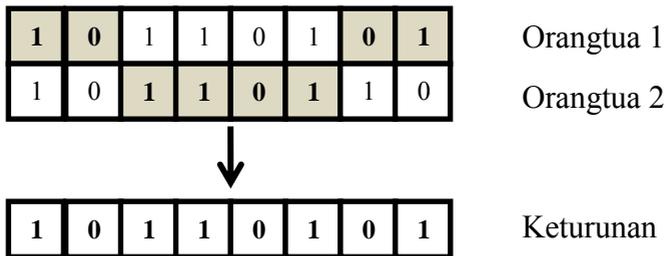
satu bagian dari string yang lain yang telah dipisahkan dengan cara yang sama. Proses yang demikian dinamakan operator crossover satu titik



Gambar 3.3 Mekanisme crossover satu titik

- Crossover 2-titik

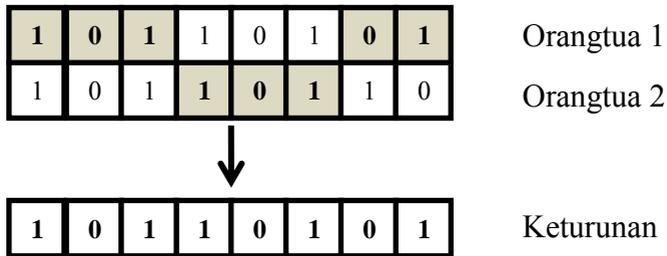
Proses crossover ini dilakukan dengan memilih dua titik crossover. Kromosom keturunan kemudian dibentuk dengan barisan bit dari awal kromosom sampai titik crossover pertama disalin dari orangtua pertama, bagian dari titik crossover pertama dan kedua disalin dari orangtua kedua, kemudian selebihnya disalin dari orangtua pertama lagi



Gambar 3.4 Mekanisme crossover dua titik

- Crossover seragam

Crossover seragam menghasilkan kromosom keturunan dengan menyalin bit-bit secara acak dari kedua orangtuanya.



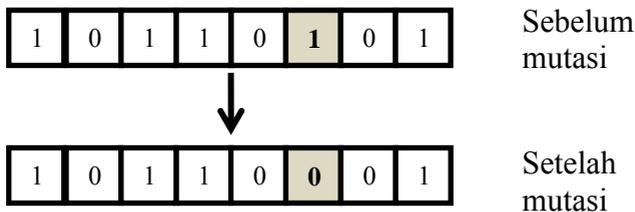
Gambar 3.5 Mekanisme crossover seragam

Mutasi merupakan proses mengubah nilai dari satu atau beberapa gen dalam suatu kromosom. Operasi crossover yang dilakukan pada kromosom dengan tujuan untuk memperoleh kromosom-kromosom baru sebagai kandidat solusi pada generasi baru yang akan dibandingkan dengan *fitness* yang lebih baik, dan lama-kelamaan menuju solusi optimum yang diinginkan. Akan tetapi, untuk mencapai hal ini penekanan selektif juga memegang peranan yang penting. Untuk menghindari konvergensi premature dan tetap menjaga perbedaan (*diversity*) kromosom-kromosom dalam populasi, selain melakukan penekanan selektif yang lebih efisien, operator mutasi juga dapat digunakan.

Beberapa cara operasi mutasi diterapkan dalam algoritma genetik antara lain:

- Mutasi dalam Pengkodean Biner

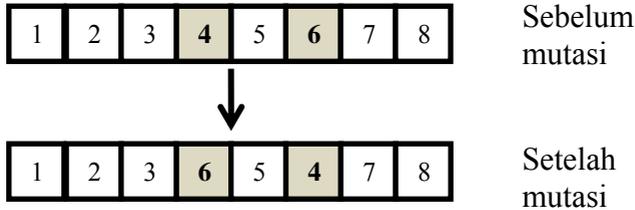
Mutasi pada pengkodean biner merupakan operasi yang sangat sederhana. Proses yang dilakukan adalah menginversi nilai bit pada posisi tertentu yang terpilih secara acak (atau menggunakan skema tertentu) pada kromosom, yang disebut inverse bit.



Gambar 3.6 Mekanisme mutasi dalam pengkodean biner.

- Mutasi dalam Pengkodean Permutasi

Proses mutasi yang dilakukan dalam pengkodean biner dengan mengubah langsung bit-bit pada kromosom tidak dapat dilakukan pada pengkodean permutasi karena konsistensi urutan permutasi harus diperhatikan



Gambar 3.7 Mekanisme mutasi dalam pengkodean permutasi

Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan memilih dua posisi dari kromosom dan kemudian nilainya saling dipertukarkan.

- Mutasi dalam Pengkodean Nilai

Mutasi pada pengkodean nilai hampir sama dengan yang dilakukan pada pengkodean biner, tetapi yang dilakukan bukan menginversi nilai bit. Penerapannya bergantung pada jenis nilai yang digunakan. Sebagai contoh untuk nilai riil, proses mutasi dapat dilakukan seperti yang dilakukan pada pengkodean permutasi, dengan saling mempertukarkan nilai dua gen pada kromosom.

- Mutasi dalam Pengkodean Pohon

Mutasi dalam pengkodean pohon dapat dilakukan antara lain dengan cara mengubah operator (+, -, *, /) atau nilai yang terkandung pada suatu *verteks* pohon yang dipilih. Atau, dapat juga dilakukan dengan memilih dua *verteks* dari pohon dan saling mempertukarkan operator atau nilainya.

Tidak setiap gen selalu dimutasi tetapi mutasi dikontrol dengan probabilitas tertentu yang disebut dengan mutation rate (*probabilitas mutasi*) dengan notasi P_m . Jenis operator mutasi antara lain:

a. Mutasi Terarah

Mutasi terarah tergantung dari informasi gen. Informasi gen tersebut berupa nilai pelanggaran gen (*violation gen*). Ini berarti bahwa setiap gen mempunyai peluang yang berbeda untuk terjadi mutasi. Gen yang mempunyai nilai pelanggaran yang lebih besar maka gen tersebut mempunyai peluang untuk terjadi mutasi. Mutasi ini menghubungkan

nilai pelanggaran relatif (nilai pelanggaran suatu gen dibagi dengan nilai pelanggaran total suatu kromosom) dengan probabilitas terjadinya mutasi dari suatu gen pada kromosom.

b. Mutasi Biasa

Mutasi biasa tidak tergantung dari informasi gen. Setiap gen mempunyai peluang yang sama untuk terjadi mutasi.

Evaluasi individu atau evaluasi solusi. Pada tiap generasi, kromosom akan melalui proses evaluasi dengan menggunakan alat ukur yang dinamakan fitness. Nilai fitness suatu kromosom menggambarkan kualitas kromosom dalam populasi tersebut. Proses ini akan mengevaluasi setiap populasi dengan menghitung nilai fitness setiap kromosom dan mengevaluasinya sampai terpenuhi kriteria berhenti. Bila kriteria berhenti belum terpenuhi maka akan dibentuk lagi generasi baru dengan mengulangi langkah 2. Beberapa kriteria berhenti sering digunakan antara lain: berhenti pada generasi tertentu, berhenti setelah dalam beberapa generasi berturut-turut didapatkan nilai fitness tertinggi tidak berubah, berhenti dalam n generasi tidak didapatkan nilai fitness yang lebih tinggi.

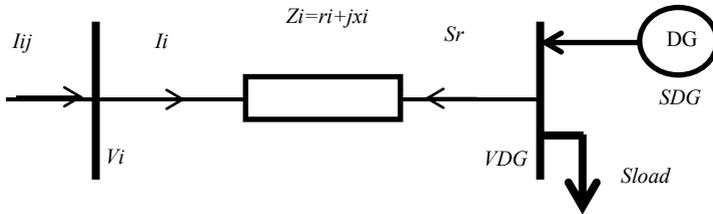
3.3 Penentuan Lokasi Distributed Generation (DG)

Berikut ini adalah perancangan penentuan lokasi DG, perancangan ini ditentukan berdasarkan rugi-rugi daya total pada sistem tersebut sesuai dengan persamaan 3.7. Penentuan lokasi DG menggunakan metode genetic algorithm ini dicari berdasarkan nilai acak yang diberikan oleh GA pada setiap variable. Nilai acak tersebut berupa nilai biner yang selanjutnya dijadikan sebagai solusi dalam menentukan lokasi DG. Pemasangan DG secara optimal pada suatu sistem distribusi yang memiliki jumlah bus yang besar merupakan suatu permasalahan yang hanya dapat diselesaikan dengan suatu metode optimasi. Karena kemungkinan pemasangan DG pada sistem tersebut sangat banyak, apabila diasumsikan setiap bus memungkinkan adanya pemasangan DG kecuali bus grid. Maka dengan banyaknya kombinasi yang mungkin terjadi, maka pada tugas akhir ini digunakan metode *genetic algorithm* untuk mendapatkan penentuan lokasi DG memungkinkan seluruh kombinasi tersebut dapat terselesaikan secara optimal dengan tujuan untuk meminimalkan total rugi daya sistem.

3.3.1 Persamaan Rugi Daya pada Penentuan Lokasi DG

Sama halnya pada kasus rekonfigurasi jaringan, dalam menentukan lokasi DG, langkah awal yang harus dilakukan adalah menentukan persamaan aliran daya pada sistem. Hal ini bertujuan untuk mengetahui nilai tegangan, arus dan rugi daya setelah ditempatkan DG.

Pemasangan dan penentuan lokasi DG yang optimal pada sistem distribusi menghasilkan banyak keuntungan, seperti: dapat mengurangi rugi daya, memperbaiki profil tegangan, mengatasi permasalahan ketidakseimbangan beban, meningkatkan efisiensi energi, dan lain – lain. Rugi daya pada saat sistem distribusi dipasang DG dan ditempatkan pada suatu lokasi tertentu persamaan aliran dayanya dapat ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 3.10 Penentuan lokasi DG pada sistem distribusi

DG yang dipasang dalam suatu bus menjadikan bus tersebut sebagai bus tipe PV atau PQ node [10,14]. Dalam tugas akhir ini, bus yang dipasang DG ditentukan sebagai bus tipe PQ node. Sehingga berdasarkan Gambar 3.10, rugi daya yang terjadi ketika ditempatkan DG pada suatu lokasi dalam sistem distribusi dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$S_r = S_{load} - S_{DG} \quad (3.10)$$

$$P_{DG,loss} = \text{real}(S_r) \quad (3.11)$$

Dimana, S_{load} dan S_{DG} merupakan daya yang dikonsumsi beban dan daya yang dihasilkan oleh DG sehingga untuk mendapatkan besarnya kerugian daya setelah pemasangan DG maka daya yang dikonsumsi beban tersebut dikurangi dengan daya yang dihasilkan DG.

3.3.2 Penentuan Lokasi DG Menggunakan GA

Optimasi penentuan lokasi DG menggunakan GA dilakukan berdasarkan pengacakan nilai solusi setiap variable dimana variable itu sendiri adalah DG yang akan ditempatkan pada suatu lokasi dalam system.

Langkah dalam pemasangan DG pada sistem distribusi radial adalah dengan menentukan parameter yang akan dioptimasi, yaitu menentukan range kapasitas DG serta bus – bus mana saja yang bisa ditempatkan DG, dalam tugas akhir ini semua bus bisa ditempatkan DG kecuali bus 1.

Seperti pada cara rekonfigurasi jaringan yang telah dijelaskan pada subbab sebelumnya, proses inialisasi populasi pada penentuan lokasi optimal DG berisi kromosom yang mengandung nilai variable yang dibangkitkan secara acak. Variable dalam kromosom tersebut merepresentasikan DG yang akan akan dipasang seperti pada gambar 3.11. Setiap variable dalam kromosom memiliki kode biner yang menghasilkan nilai solusi dari lokasi mana yang akan ditempatkan DG. Nilai tersebut yang menjadi solusi untuk dilakukan peng-update-an data bus sehingga dapat dilakukan loadflow dari data bus yang telah dirubah berdasarkan solusi dari setiap kromosom tersebut.

$$GA = \underbrace{\begin{bmatrix} DG_1^1 & DG_2^1 & DG_3^1 \\ DG_1^1 & DG_2^2 & DG_3^3 \\ \dots & \dots & \dots \\ DG_1^n & DG_2^n & DG_3^n \end{bmatrix}}_{\text{Penempatan DG}}$$

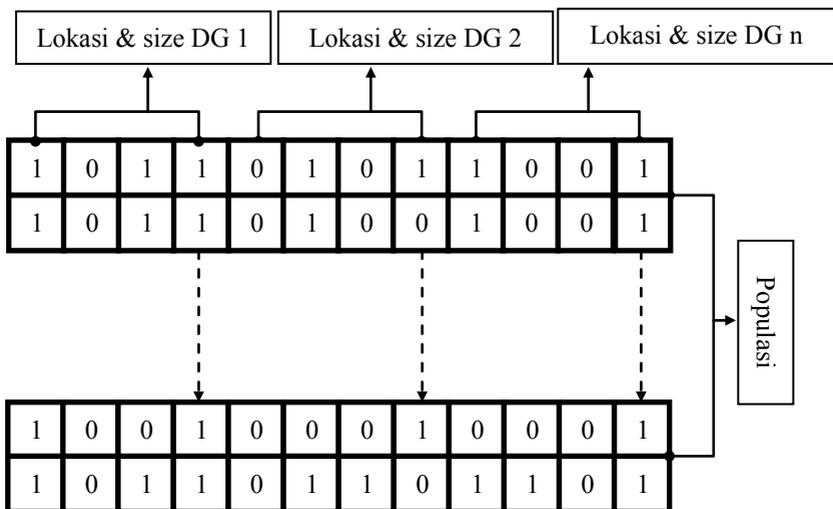
Gambar 3.11 Inialisasi populasi pada kasus penempatan DG

Kromosom yang mengandung solusi berupa lokasi dan kapasitas DG akan menghasilkan nilai fitness ketika telah dilakukan loadflow dimana nilai fitness yang dioptimasi adalah fungsi objektif dari kasus ini yaitu total rugi daya setelah dilakukan penempatan DG.

Persamaan untuk menghitung rugi daya setelah dilakukan penempatan DG ditunjukkan pada persamaan 3.11. Dalam setiap kromosom akan memiliki nilai fitnessnya masing – masing. Dari nilai fitness tiap kromosom tersebut akan diambil nilai fitness terkecil karena

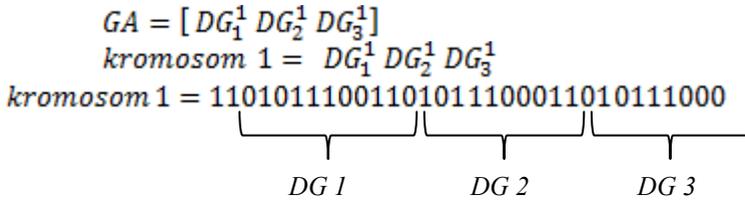
fungsi yang dioptimasi adalah meminimalkan rugi daya. Nilai fitness terkecil pada satu kromosom akan dijadikan sebagai fitness terbaik yang juga mengandung solusi terbaik. Solusi terbaik yang dihasilkan berisi data lokasi dan kapasitas DG

Solusi dari fitness terbaik tersebut digunakan untuk mendapatkan lokasi dan kapasitas DG yang optimal berdasarkan rugi-rugi daya yang terkecil. Oleh karena itu pengacakan yang dilakukan oleh GA dilakukan untuk mencari solusi optimal dari nilai fitness terkecil untuk menurunkan rugi-rugi daya setelah ditempatkan DG.

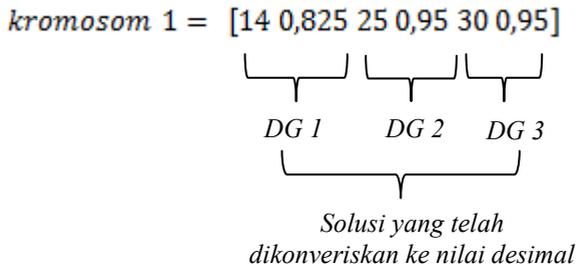


Gambar 3.12 Populasi awal DG dalam GA

Pengkodean variable dalam kromosom dapat ditunjukkan pada gambar 3.12. dalam penentuan lokasi DG yang optimal ini, setiap variable berisi nilai biner dengan jumlah 13 bit yang dibagi menjadi 8 bit untuk penentuan kapasitas DG dan 5 bit untuk penentuan lokasi DG. Bit yang merupakan nilai biner tersebut dikonversikan menjadi nilai decimal yang selanjutnya menjadi nilai solusi dari penentuan lokasi dan kapasitas DG. Dari gambar 3.12 dapat diketahui bahwa setiap kromosom berisi nilai biner yang dibangkitkan secara acak oleh GA. Nilai biner ini yang akan didekodekan untuk menjadi solusi lokasi dan kapasitas DG.

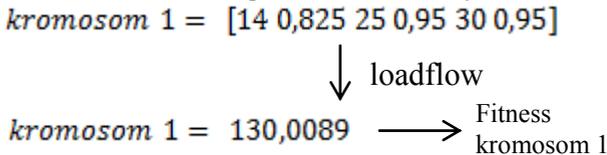


Gambar 3.13 Proses inialisasi kromosom(1)



Gambar 3.14 Proses inialisasi kromosom(2)

Pada gambar di atas merupakan contoh pendekodean kromosom pada GA yang dijadikan solusi dari gambar tersebut diketahui DG 1 memiliki nilai solusi lokasi 14 dan kapasitas 0,825 MW, DG 2 memiliki nilai solusi lokasi 25 dan kapasitas 0,95 MW dan DG 3 memiliki nilai solusi lokasi 30 dan kapasitas 0,95 MW. nilai solusi ini yang selanjutnya akan digunakan untuk mengubahdata bus sistem sehingga setelah dilakukan loadflow akan didapatkan nilai fitnessnya.



Gambar 3.15 Evaluasi fitness

Nilai fitness pada setiap kromosom merupakan nilai rugi daya total yang telah dilakukan aliran daya setelah diperoleh solusi pada tahap

sebelumnya. Dalam setiap iterasi akan menghasilkan nilai fitness tiap – tiap kromosomnya. Setiap fitness dala suatu iterasi tersebut akan diambil nilai terkecil karena optimasi yang dibahas pada tugas akhir ini tentang minimisasi. Sehingga nilai fitness terkecil tersebut akan dijadikan sebagai nilai fitness terbaik dalam suatu iterasi. Fitness terbaik dalam iterasi $i+1$ akan dibandingkan dengan fitness pada iterasi sebelumnya. Jika fitness iterasi $i+1$ lebih besar dari fitness iterasi sebelumnya maka pada fitness iterasi $i+1$ sama dengan fitness iterasi sebelumnya, sebaliknya jika fitness iterasi $i+1$ lebih kecil dari fitness iterasi sebelumnya maka pada fitness yang disimpan adalah fitness pada iterasi tersebut.

Pada tahap selanjutnya, nilai fitness yang diperoleh dalam suatu iterasi memiliki solusi yang berupa bilangan decimal. Solusi tersebut berasal dari nilai biner. Nilai biner ini yang disebut sebagai populasi. populasi akan mengalami proses seleksi, crossover dan mutasi untuk dijadikan populasi baru. Adanya populasi baru tersebut menghasilkan solusi baru yang kemudian dilakukan peng-update-an data bus sistem kemudian melalui loadflow akan diperoleh fitness baru.

3.4 Economic Dispatch

Economic Dispatch merupakan pembagian pembebanan pada pembangkit untuk beroperasi secara ekonomis pada kondisi beban sistem tertentu. Fungsi dari total biaya operasi pembangkit dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$CF(P) = CF(P_{FC}) + CF(P_{MT}) + CF(P_{DG})$$

dimana $CF(P)$ adalah total biaya operasi generator berbahan bakar.

3.5 Konstrain Sistem dan Kondisi Terminasi Algoritma

Sesuai dengan algoritma penelitian dan fungsi evaluasi yang dituju, maka dalam strategi optimasi rekonfigurasi jaringan serta penempatan dan penentuan kapasitas optimal dari DG ini memiliki beberapa batasan yang harus dipenuhi. Batasan pertama tentunya kapasitas pembangkitan daya dari DG, seperti yang telah didefinisikan dalam metode pengkodean kromosom. Batas tegangan seperti yang telah dijelaskan pada subbab sebelumnya dikalkulasi ketika perhitungan aliran daya dijalankan. Ketika tegangan masing-masing bus sudah tidak berada pada

batasan ini, maka iterasi program dihentikan dan solusi terbaik sebelumnya yang menjadi solusi akhir dari optimisasi.

Proses optimasi akan terus dilanjutkan oleh GA hingga jumlah iterasi sama dengan nilai maksimum generasi yang didefinisikan (*maxgen*). Dalam penelitian ini generasi populasi dalam GA akan berhenti pada generasi ke-100. Jumlah yang cukup besar ini diharapkan dapat memadai kebutuhan strategi optimasi untuk mendapatkan nilai yang benar-benar optimal dari sejumlah individu dalam populasi dan proses genetik yang dilakukan. Setelah iterasi selesai maka akan diperoleh individu terbaik. Selanjutnya individu terbaik diperoleh untuk nilai rugi daya terkecil dalam kondisi konfigurasi jaringan dan lokasi DG tertentu, selanjutnya keseluruhan data optimasi yang dijalankan, diambil hasil kombinasi konfigurasi jaringan dan penempatan DG optimal yang menghasilkan yang menghasilkan rugi daya terkecil.

3.6 IMPLEMENTASI DARI ALGORITMA

Dalam penelitian ini, terdapat algoritma yang digunakan untuk mengoperasikan sistem kelistrikan *Micro Grid* model *grid-connected* secara optimal. Algoritma tersebut adalah sebagai berikut:

1. Daya keluaran dari turbin angin dihitung sesuai dengan hubungan kecepatan angin dan daya keluarannya.
2. Daya keluaran dari sel surya dihitung sesuai dengan efek suhu dan radiasi matahari yang berbeda dari kondisi standar tes.
3. Asumsikan turbin angin dan sel surya tidak menghasilkan biaya dan emisi saat beroperasi.
4. Jika total permintaan beban lebih kecil dari daya keluaran sel surya dan turbin angin maka daya sisa akan dijual ke PLN.
5. Beban netto dihitung hanya jika daya keluaran dari turbin angin dan sel surya lebih kecil dari total permintaan beban.
6. Memilih sumber lainnya dalam memenuhi beban (sel bahan bakar, turbin mikro, atau generator diesel) sesuai dengan fungsi tujuannya. Pembangkit sel bahan bakar merupakan yang paling murah sedangkan pembangkit generator diesel merupakan yang paling mahal.
7. Jika daya keluaran seluruh pembangkit masih tidak cukup dalam memenuhi total permintaan beban maka akan membeli daya dari PLN

BAB 4

SIMULASI DAN ANALISIS

Pada bab ini akan dijelaskan tentang hasil simulasi penentuan lokasi optimal dari DG pada sistem IEEE 33 bus. Selain itu akan dibahas mengenai penentuan pembangkitan pada sistem IEEE 33 bus. Pertama akan dianalisa aliran daya (*load flow*), analisa aliran daya dilakukan dengan metode *backward – forward sweep*.

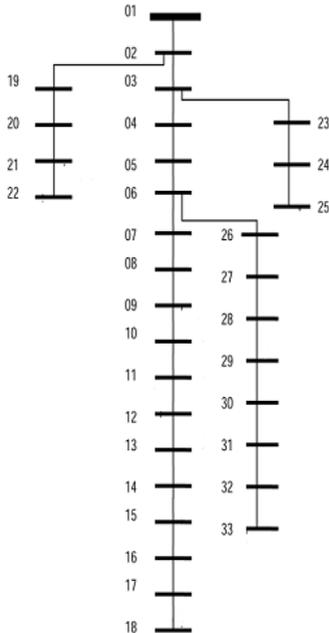
Parameter sistem yang diperhatikan dalam simulasi tersebut adalah rugi – rugi jaringan total dan nilai tegangan dari masing – masing bus dalam sistem tersebut, dimana kondisi bisa dikatakan optimal apabila tegangan pada semua bus antara 0,95 p.u sampai 1,05 p.u dan rugi-rugi paling minimal dari sejumlah iterasi yang ditentukan dan diharapkan dapat mencapai nilai konvergen dengan jumlah iterasi yang kecil.

Pada tahap simulasi menggunakan DG berjumlah maksimal sebanyak 3 buah. Dimana DG berfungsi mensupply daya aktif P_o. Dengan besar kapasitas DG yang dipakai yaitu maksimal sebesar 1 MW. Apabila penggunaan DG yang digunakan ditambah maka persentase pengurangan total rugi daya pada sistem akan semakin menurun.

Pada setiap nomor bus dalam sistem IEEE 33 bus di atas akan ditempatkan unit DG dan kombinasi switch yang dibuka secara acak. Setiap bus dapat menerima satu atau lebih unit DG. Unit DG yang ditambahkan akan mempengaruhi nilai MW yang dibutuhkan sistem. Perubahan nilai MW sistem akan berpengaruh terhadap kalkulasi aliran daya seluruh sistem. Oleh karena itu pada setiap proses iterasi rekonfigurasi jaringan dan penempatan DG oleh GA ini dilakukan kalkulasi ulang terhadap aliran daya sistem.

Data yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan standar IEEE 33 bus. Penempatan DG dimodelkan sebagai injeksi daya aktif pada setiap bus dalam sistem tersebut kecuali bus 1 yang merupakan bus grid.

Berikut adalah gambar *single line diagram* dari jaringan distribusi IEEE 33 bus yang akan digunakan dalam simulasi optimalisasi penempatan DG untuk meminimalkan rugi saluran yang ditimbulkan. Serta selanjutnya dilakukan penentuan pembangkitan.



Gambar 4.1 *Single Line Diagram* sistem IEEE 33 bus

Pada gambar diatas adalah sistem IEEE 33 bus dasar yang belum terpasang DG. Dengan ditambahkan DG maka pembebanan akan berubah pada bus yang terpasang DG.

Pada data IEEE 33 bus memberikan parameter-parameter dasar saluran yang sangat penting dalam perhitungan aliran daya sistem. Dengan adanya data tersebut dapat diketahui nilai resistansi maupun nilai reaktansi dari masing-masing saluran. Semua data yang tercantum dihitung dalam besaran per unit (p.u) untuk memudahkan proses kalkulasi aliran daya sistem.

4.1 Hasil Simulasi pada sistem IEEE 33 bus

Berdasarkan data bus dan parameter saluran sistem IEEE 33 bus, dilakukan analisa aliran daya dengan menggunakan metode *backward – forward sweep*, maka didapatkan hasil perhitungan *loadflow* sebagai berikut.

Tabel 4.1 Data saluran hasil *running loadflow* pada IEEE 33 bus

Sending Bus	Receiving Bus	Current		Losses	
		Amp	Degree	kW	kVAR
1	2	364,36	-31,86	12,2405	6,2398
2	3	324,12	-32,65	51,7917	26,3791
3	4	233,18	-35,38	19,9007	10,1352
4	5	221,51	-35,48	18,6992	9,5238
5	6	216,11	-35,71	38,2492	33,0185
6	7	101,13	-25,6	1,9146	6,3288
7	8	82,47	-25,36	4,8586	1,5989
8	9	63,71	-24,98	4,1807	3,0036
9	10	58,4	-25,57	3,5611	2,5241
10	11	53,07	-26,27	0,5537	0,1831
11	12	48,51	-25,55	0,8812	0,2914
12	13	42,62	-24,88	2,6663	2,0978
13	14	36,69	-23,96	0,7292	0,9598
14	15	24,58	-18,89	0,357	0,3177
15	16	19,42	-21,32	0,2815	0,2056
16	17	13,97	-22,29	0,2516	0,336
17	18	8,52	-24,46	0,0531	0,0417
2	19	31,33	-24,02	0,161	0,1536
19	20	23,52	-24,05	0,8322	0,7499
20	21	15,69	-24,06	0,1008	0,1177
21	22	7,85	-24,07	0,0436	0,0577
3	23	83,97	-25,85	3,1816	2,174
23	24	75,68	-25,51	5,1437	4,0617
24	25	37,91	-25,53	1,2875	1,0074
6	26	113,19	-45,55	2,6009	1,3248

Sending Bus	Receiving Bus	Current		Losses	
		Amp	Degree	kW	kVAR
26	27	108,23	-46,67	3,329	1,695
27	28	103,3	-47,91	11,3009	9,9638
28	29	98,69	-49,45	7,8334	6,8242
29	30	87,61	-52,05	3,8957	1,9843
30	31	40,44	-26,17	1,5936	1,575
31	32	26,2	-27,02	0,2132	0,2485
32	33	6,21	-33,31	0,0132	0,0205
Total Losses				202,7	135,143

Tabel 4.2 Tegangan base case

Bus	Tegangan	Bus	Tegangan	Bus	Tegangan
1	12,66	12	11,73413	23	12,3986
2	12,62243	13	11,65674	24	12,31414
3	12,44399	14	11,62804	25	12,27205
4	12,34928	15	11,61016	26	11,99824
5	12,25563	16	11,59284	27	11,96579
6	12,02267	17	11,56717	28	11,82096
7	11,97854	18	11,55949	29	11,71692
8	11,91699	19	12,61574	30	11,67188
9	11,83762	20	12,57045	31	11,6192
10	11,764	21	12,56153	32	11,60761
11	11,75311	22	12,55346	33	11,60402

Hasil simulasi aliran daya pada sistem IEEE 33 bus tersebut menunjukkan nilai rugi daya total jaringan yang masih tinggi. Total rugi daya nyata yang dihasilkan mencapai nilai 202,7 kW, sedangkan total rugi daya reaktifnya yang mencapai 135,143 kVAR. Nilai total rugi daya pada jaringan ini bisa dikurangi dengan melakukan pemasangan

DG yang ditempatkan pada lokasi yang tepat sehingga rugi daya sistem dapat diminimalkan secara optimal. Dari data simulasi tabel 4.2. didapatkan tegangan pada bus tidak semuanya normal. Pada bus 6 sampai bus 18 dan pada bus 26 sampai bus 33 mengalami undervoltage yaitu tegangan dibawah 12,027 KV.

4.2 Hasil Simulasi Penentuan Lokasi DG

Mengurangi besarnya rugi daya dapat dilakukan dengan beberapa cara. Cara yang biasa dilakukan adalah dengan memasang DG pada lokasi yang tepat sehingga rugi – rugi yang diminimalkan dapat optimal. Pada simulasi ini, DG disimulasikan pada plant yang sama yaitu IEEE 33 bus system. Simulasi dilakukan beberapa tahap yakni dengan memasang satu DG hingga tiga DG yang selanjutnya hasilnya akan dibandingkan. Pemodelan DG dapat diabaikan sehingga pada simulasi ini DG yang disimulasikan mempunyai kapasitas maksimal 1 MW.

Tabel 4.3 Hasil *running loadflow* 1 DG

Sending Bus	Receiving Bus	Arus		Rugi Daya	
		Ampere	Derajat	kW	kVAR
1	2	296,3685	-39,5223	8,0983	4,1282
2	3	257,2556	-41,6951	32,627	16,6179
3	4	171,2268	-50,2265	10,7306	5,465
4	5	160,1564	-51,4308	9,7752	4,9787
5	6	155,2702	-52,287	19,7451	17,045
6	7	99,5828	-25,1005	1,8564	6,1365
7	8	81,1951	-24,8588	4,7098	1,5499
8	9	62,7172	-24,4837	4,0514	2,9107
9	10	57,4911	-25,0693	3,4507	2,4459
10	11	52,2398	-25,7705	0,5365	0,1774
11	12	47,7525	-25,0504	0,8537	0,2823
12	13	41,948	-24,3723	2,5831	2,0324
13	14	36,115	-23,4556	0,7064	0,9298
14	15	24,1893	-18,3879	0,3458	0,3078

Sending Bus	Receiving Bus	Arus		Rugi Daya	
		Amp	Derajat	kW	kVAR
15	16	19,1137	-20,8187	0,2726	0,1991
16	17	13,751	-21,7867	0,2437	0,3254
17	18	8,3852	-23,9506	0,0515	0,0404
2	19	31,3087	-24,0082	0,1608	0,1534
19	20	23,5066	-24,0297	0,8312	0,7489
20	21	15,6765	-24,0396	0,1006	0,1176
21	22	7,8407	-24,0497	0,0436	0,0576
3	23	83,6398	-25,7517	3,1564	2,1567
23	24	75,3822	-25,4076	5,1029	4,0294
24	25	37,7551	-25,4293	1,2772	0,9994
6	26	79,0027	-90,0972	1,267	0,6454
26	27	77,1796	-93,7734	1,6929	0,8619
27	28	75,6975	-97,6156	6,0682	5,3502
28	29	75,0049	-101,547	4,5242	3,9414
29	30	72,4536	-110,265	2,6641	1,357
30	31	39,0454	-24,9032	1,4855	1,4681
31	32	25,2982	-25,7535	0,1987	0,2316
32	33	5,9995	-32,0411	0,0123	0,0191
Total Rugi Daya				129,2234	87,7101

Tabel 4.4 Hasil Penentuan Lokasi 1 DG

No.	Lokasi (Nomor bus)	Kapasitas (MW)
1	30	0,95

Tabel 4.5 Hasil *running loadflow* 2 DG

Sending Bus	Receiving Bus	Current		Losses	
		Ampere	Degree	kW	kVAR
1	2	239,4142	-51,1179	5,2848	2,694
2	3	203,6542	-56,0341	20,4472	10,4144
3	4	133,4484	-76,3569	6,5179	3,3195
4	5	125,2826	-79,9673	5,9816	3,0465
5	6	122,2054	-82,0102	12,2311	10,5585
6	7	43,1565	-74,4315	0,3487	1,1525
7	8	34,1206	-98,0353	0,8317	0,2737
8	9	33,5342	-129,086	1,1583	0,8322
9	10	35,7752	-136,713	1,3362	0,9471
10	11	38,5828	-143,317	0,2927	0,0968
11	12	40,377	-149,113	0,6104	0,2018
12	13	40,3777	-22,9725	2,3934	1,8831
13	14	34,7613	-22,0541	0,6544	0,8614
14	15	23,2805	-16,9828	0,3203	0,2851
15	16	18,3946	-19,4127	0,2525	0,1844
16	17	13,233	-20,3792	0,2257	0,3014
17	18	8,0691	-22,5429	0,0477	0,0374
2	19	31,2904	-23,9923	0,1606	0,1532
19	20	23,4928	-24,0139	0,8302	0,7481
20	21	15,6673	-24,0237	0,1005	0,1174
21	22	7,8361	-24,0338	0,0435	0,0576
3	23	83,322	-25,6508	3,1325	2,1404
23	24	75,0952	-25,3066	5,0641	3,9988
24	25	37,6109	-25,3281	1,2675	0,9918
6	26	77,9243	-89,6144	1,2327	0,6279
26	27	76,1256	-93,2892	1,647	0,8386

Sending Bus	Receiving Bus	Current		Losses	
		Ampere	Degree	kW	kVAR
27	28	74,6626	-97,13	5,9034	5,2049
28	29	73,9772	-101,06	4,4011	3,8341
29	30	71,4536	-109,772	2,5911	1,3198
30	31	46,4008	-155,885	2,0979	2,0734
31	32	24,7825	-24,9604	0,1907	0,2223
32	33	5,8772	-31,2477	0,0118	0,0183
Total Losses				87,6092	59,4364

Tabel 4.6 Hasil Penentuan Lokasi 2 DG

No.	Lokasi (Nomor bus)	Kapasitas (MW)
1	31	0,95
2	12	0,95

Tabel 4.7 Hasil *running loadflow* 3 DG

Sending Bus	Receiving Bus	Arus		Rugi Daya	
		Ampere	Derajat	kW	kVAR
1	2	204,1829	-65,3692	3,8439	1,9595
2	3	175,0413	-73,8777	15,1053	7,6936
3	4	135,6622	-72,0703	6,7359	3,4305
4	5	126,9221	-75,3358	6,1392	3,1268
5	6	123,5066	-77,2294	12,4929	10,7845
6	7	46,6816	-61,9846	0,4079	1,3485
7	8	33,9034	-80,4884	0,8212	0,2702
8	9	27,8453	-112,712	0,7986	0,5738
9	10	28,8035	-122,905	0,8661	0,6139
10	11	30,6144	-132,16	0,1843	0,0609
11	12	31,6721	-139,984	0,3756	0,1242
12	13	34,1217	-148,811	1,7092	1,3448

Sending Bus	Receiving Bus	Arus		Rugi Daya	
		Ampere	Derajat	kW	kVAR
13	14	37,2791	-156,266	0,7527	0,9907
14	15	23,0534	-16,4996	0,3141	0,2795
15	16	18,2149	-18,9293	0,2476	0,1808
16	17	13,1036	-19,8955	0,2213	0,2955
17	18	7,9902	-22,0591	0,0467	0,0366
2	19	31,2753	-23,9787	0,1604	0,1531
19	20	23,4815	-24,0002	0,8294	0,7473
20	21	15,6597	-24,0101	0,1004	0,1173
21	22	7,8324	-24,0202	0,0435	0,0575
3	23	35,9525	-90,5313	0,5832	0,3985
23	24	32,9018	-103,224	0,9721	0,7676
24	25	37,186	-24,8926	1,239	0,9695
6	26	77,7235	-89,6289	1,2263	0,6246
26	27	75,932	-93,3074	1,6386	0,8343
27	28	74,4761	-97,1517	5,8739	5,1789
28	29	73,7964	-101,084	4,3796	3,8154
29	30	71,288	-109,803	2,5791	1,3137
30	31	38,4126	-24,4334	1,4378	1,4209
31	32	24,888	-25,2834	0,1923	0,2242
32	33	5,9022	-31,5708	0,0119	0,0185
Total Rugi Daya				72,33	49,7556

Tabel 4.8 Hasil Penentuan Lokasi 3 DG

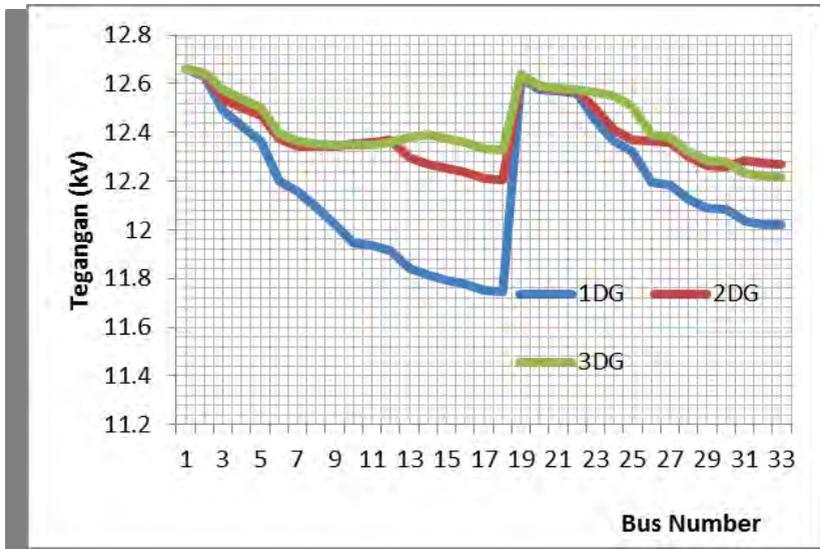
No.	Lokasi (Nomor bus)	Kapasitas (MW)
1	14	0,82
2	24	0,94
3	30	0,95

Tabel 4.9 Tegangan setelah penempatan 3 DG

Bus	Tegangan	Bus	Tegangan	Bus	Tegangan
1	12,66	12	12,339	23	12,562
2	12,6429	13	12,3586	24	12,5434
3	12,5743	14	12,3658	25	12,5664
4	12,5344	15	12,349	26	12,382
5	12,4978	16	12,3327	27	12,373
6	12,3896	17	12,3086	28	12,3169
7	12,3593	18	12,3014	29	12,2805
8	12,3457	19	12,6362	30	12,2773
9	12,3352	20	12,591	31	12,2272
10	12,3313	21	12,5821	32	12,2162
11	12,3334	22	12,5741	33	12,2128

Dari data hasil simulasi di atas setelah pemasangan DG menghasilkan rugi daya sebesar 72,7457 KW. Pada sisi tegangan per bus juga mengalami kenaikan. Tegangan minimal yaitu sebesar 12,2128 KV pada bus ke 33, dimana awalnya tegangan minimal sebelum penempatan DG sebesar 11,55949 KV pada bus yang sama yaitu IEEE bus 33

Selanjutnya, gambar dibawah akan menunjukkan hasil perbandingan tegangan bus dari simulasi penempatan DG berdasarkan jumlah DG yang dipasang. Fakta menunjukkan bahwa semakin banyak DG yang dipasang pada lokasi yang tepat maka profil tegangan bus akan meningkat.



Gambar 4.2 Grafik Perbandingan Tegangan Bus pada Penempatan 1 unit DG hingga 3 unit DG

Berdasarkan hasil simulasi, penentuan lokasi DG dengan pemasangan DG mulai dari 1 DG sampai dengan 3 DG menunjukkan bahwa dengan penambahan dan penempatan DG pada lokasi yang optimal bisa mengurangi rugi daya yang cukup besar. Dari data simulasi dapat dsampaikan:

1. Penempatan 1 DG pada bus 30 menghasilkan rugi daya sebesar 129,2234. Kapasitas DG sebesar 950 kW.
2. Penempatan 2 DG pada bus 31 dan 12 menghasilkan rugi daya sebesar 87,6092 kW. Kapasitas DG pada bus 31 dan 12 masing masing adalah sebesar 950 kW
3. Penempatan 3 DG pada bus 14 , 24 dan 30 menghasilkan rugi daya sebesar 72,33 kW, Kapasitas DG pada bus 14, 24 dan 30 berturut-turut adalah sebesar 820 kW, 940 kW dan 950 kW.
4. Hasil simulasi penentuan lokasi DG dengan memasang DG mulai dari 1 DG hingga 3 DG menunjukkan bahwa dengan melakukan penambahan DG dan menempatkan DG tersebut pada lokasi yang optimal dapat menurunkan rugi daya yang

cukup signifikan. Dari hasil simulasi dapat diketahui bahwa dengan memasang 1 DG pada lokasi bus 30 dengan kapasitas DG sebesar 950 kW menghasilkan rugi daya sebesar 129,2234 kW.

5. Tegangan minimal didapatkan sebesar 12,2128 kV pada bus IEEE 3, dimana pada mulanya tegangan minimal sebelum penempatan DG sebesar 11,55949 KV.

Hasil simulasi menggunakan metode GA ini merupakan hasil yang paling optimal dalam meminimalkan rugi daya karena pada GA tersebut setiap kombinasi lokasi dan kapasitas bus yang ditempatkan pada setiap bus menghasilkan nilai fitness terbaik sebesar 72,33.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan data yang didapatkan, maka kesimpulan yang didapatkan adalah :

1. Hasil simulasi yang didapatkan pada penempatan lokasi DG menunjukkan penurunan rugi daya sistem. Semakin banyak DG yang ditambahkan maka rugi daya system semakin turun. Setiap kasus/skenario yang diujikan mampu menunjukkan penurunan rugi daya sistem.
2. Penempatan 1 DG pada bus 30 menghasilkan rugi daya sebesar 129,2234. Kapasitas DG sebesar 950 kW.
3. Penempatan 2 DG pada bus 31 dan 12 menghasilkan rugi daya sebesar 87,6092 kW. Kapasitas DG pada bus 31 dan 12 masing masing adalah sebesar 950 kW
4. Penempatan 3 DG pada bus 14 , 24 dan 30 menghasilkan rugi daya sebesar 72,33 kW, Kapasitas DG pada bus 14, 24 dan 30 berturut-turut adalah sebesar 820 kW, 940 kW dan 950 kW.
5. Hasil simulasi penentuan lokasi DG dengan memasang DG mulai dari 1 DG hingga 3 DG menunjukkan bahwa dengan melakukan penambahan DG dan menempatkan DG tersebut pada lokasi yang optimal dapat menurunkan rugi daya yang cukup signifikan. Dari hasil simulasi dapat diketahui bahwa dengan memasang 1 DG pada lokasi bus 30 dengan kapasitas DG sebesar 950 kW menghasilkan rugi daya sebesar 129,2234 kW.
6. Tegangan minimal didapatkan sebesar 12,2128 kV pada bus IEEE 3, dimana pada mulanya tegangan minimal sebelum penempatan DG sebesar 11,55949 KV.
7. Metode GA mampu menentukan pembangkit yang dioperasikan sertabesarnya daya yang dibangkitkan berdasar permintaan beban dalam system Microgrid
8. Penggunaan GA dapat memudahkan proses optimasi yang mampu menghasilkan solusi optimal untuk mendapatkan rugi daya terkecil dengan adanya dan penentuan lokasi DG.

LAMPIRAN

DATA IEEE 33 BUS

Lampiran 1 Data saluran sistem dan beban pada IEEE 33 bus

Branch Number	Sending Bus	Receiving Bus	Resistance Ω	Reactance Ω	Nominal Load at Receiving Bus	
					P (kW)	Q (kVAR)
1	1	2	0.0922	0.047	100	60
2	2	3	0.493	0.2511	90	40
3	3	4	0.366	0.1864	120	80
4	4	5	0.3811	0.1941	60	30
5	5	6	0.819	0.707	60	20
6	6	7	0.1872	0.6188	200	100
7	7	8	0.7144	0.2351	200	100
8	8	9	1.03	0.74	60	20
9	9	10	1.044	0.74	60	20
10	10	11	0.1966	0.065	45	30
11	11	12	0.3744	0.1298	60	35
12	12	13	1.468	1.155	60	35

Lampiran 1 Data saluran sistem dan beban pada IEEE 33 bus (lanjutan)

Branch Number	Sending Bus	Receiving Bus	Resistance Ω	Reactance Ω	Nominal Load at Receiving Bus	
					P (kW)	Q (kVAR)
13	13	14	0.5416	0.7129	120	80
14	14	15	0.591	0.526	60	10
15	15	16	0.7463	0.545	60	20
16	16	17	1.289	1.721	60	20
17	17	18	0.732	0.574	90	40
18	2	19	0.164	0.1565	90	40
19	19	20	1.5042	1.3554	90	40
20	20	21	0.4095	0.4784	90	40
21	21	22	0.7089	0.9373	90	40
22	3	23	0.4512	0.3083	90	50
23	23	24	0.898	0.7091	420	200
24	24	25	0.896	0.7011	420	200
25	6	26	0.203	0.1034	60	25
26	26	27	0.2842	0.1447	60	25

Lampiran 1 Data saluran sistem dan beban pada IEEE 33 bus (lanjutan)

Branch Number	Sending Bus	Receiving Bus	Resistance Ω	Reactance Ω	Nominal Load at Receiving Bus	
					P (kW)	Q (kVAR)
27	27	28	1.059	0.9337	60	20
28	28	29	0.8042	0.7006	120	70
29	29	30	0.5075	0.2585	200	600
30	30	31	0.9744	0.963	150	70
31	31	32	0.3105	0.3619	210	100
32	32	33	0.341	0.5302	60	40
Tie Lines						
33	8	21	2	2		
34	12	22	2	2		
35	9	15	2	2		
36	18	33	0.5	0.5		
37	25	29	0.5	0.5		

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] X. S. Han, H. B. Gooi, D. S. Kirschen, "Dynamic Economic Dispatch : Feasible and Optimal Solutions", IEEE Trans. on Power Systems, vol.16, no. 1, pp. 22-28, Feb. 2001.
- [2] H. Moradi Mohammad, Zeinalzadeh Arasch, Mohammadi Younes, Abedini Mohammad, "An Efficient Hybrid Method For Solving The Optimal Siting And Sizing Problem Of DG And Shunt Capacitor Banks Simultaneously Based On Imperialist Competitive Algorithm And Genetic Algorithm", Electrical Power and Energy System 54,2014
- [3] S. Ahmed Yousuf, "Economic dispatch using particle swarm optimization with bacterial foraging effect," International Journal of Electrical Power & Energy Systems, vol. 34, pp. 38-46, 2012.
- [4] Saadat, Hadi, "Power System Analysis 2nd Edition", McGrawHill.Ch.1,1999.
- [5] Jizhong Zhu, "Optimization of Power System Operation", IEEE press series on Power Engineering, OPSSO, John Willey & Sons Inc, America, 2009.
- [6] Wijaya ,Radika Hendri "Penempatan dan Penentuan Kapasitas Optimal dari *Distributed Generation* (DG) dengan Mempertimbangkan *Maximum Loadability* Menggunakan *Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm-II* (NSGA-II)" Tugas Akhir Teknik Elektro ITS 2012.
- [7] Allen J. Wood, Bruce F. Wollenberg, Power, Generation, Operation, and Control, John Willey & Sons Inc, America, 1996.
- [8] Basuki, Achmad, "Algoritma Genetika", PENS-ITS, Surabaya, 2003

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Ilham Zuhdy dan dilahirkan di Surabaya – Jawa Timur pada 08 Juli 1991. Penulis memulai pendidikan di Sekolah Dasar Negeri Simokerto II Surabaya dan melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 37 Surabaya dan SMA Negeri 1 Surabaya. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan jenjang Sarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan konsentrasi bidang studi Sistem

Tenaga. Selain kuliah, penulis juga aktif berorganisasi diantara Himatektro (intra kampus) dan Swayanaka (Ekstra kampus). Saat ini kesibukan penulis adalah sebagai pengusaha di bidang Garmen