



TUGAS AKHIR - TE141599

**MINIMISASI RUGI DAYA MENGGUNAKAN
REKONFIGURASI JARINGAN DAN PENENTUAN LOKASI
DISTRIBUTED GENERATION (DG) PADA SISTEM
DISTRIBUSI DENGAN METODE *GENETIC ALGORITHM***

Nizar Syamsudin
NRP 2213105029

Dosen Pembimbing
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.
Dr. Rony Seto Wibowo, S.T., M.T.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



FINAL PROJECT - TE141599

***POWER LOSS MINIMIZATION USING NETWORK
RECONFIGURATION AND DISTRIBUTED GENERATION
PLACEMENT IN DISTRIBUTION SYSTEM WITH
GENETIC ALGORITHM***

Nizar Syamsudin
NRP 2213105029

Counsellor Lecturer
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.
Dr. Rony Seto Wibowo, S.T., M.T.

DEPARTEMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2015

**MINIMISASI RUGI DAYA MENGGUNAKAN
REKONFIGURASI JARINGAN DAN PENENTUAN LOKASI
DISTRIBUTED GENERATION (DG) PADA SISTEM DISTRIBUSI
DENGAN METODE GENETIC ALGORITHM**

TUGAS AKHIR

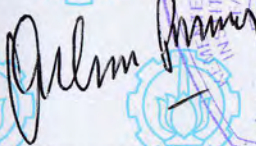
Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada

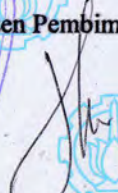
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II


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


Dr. Rony Seto Wibowo, S.T.,M.T.
NIP. 197411292000121001

**SURABAYA
JULI, 2015**

**MINIMISASI RUGI DAYA MENGGUNAKAN
REKONFIGURASI JARINGAN DAN PENENTUAN LOKASI
DISTRIBUTED GENERATION (DG) PADA SISTEM DISTRIBUSI
DENGAN METODE *GENETIC ALGORITHM***

Nama : Nizar Syamsudin
NRP : 2212105029
Dosen Pembimbing 1 : Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.
Dosen Pembimbing 2 : Dr. Rony Seto Wibowo, S.T., M.T.

ABSTRAK

Dalam perkembangan sistem tenaga listrik, sistem distribusi listrik menjadi semakin luas dan kompleks sehingga menyebabkan rugi – rugi yang terjadi pada sistem menjadi lebih besar. Untuk mengatasi hal tersebut, cara yang umum dilakukan adalah dengan melakukan rekonfigurasi jaringan dan memasang Distributed Generation (DG) pada lokasi yang tepat. Genetic Algorithm (GA) merupakan salah satu metode optimasi yang populer digunakan. GA menggabungkan secara acak berbagai pilihan solusi terbaik di dalam suatu kumpulan (populasi) untuk mendapatkan generasi solusi terbaik berikutnya (fitness). Proses optimasi diujikan pada sistem IEEE 33 bus. Agar memperoleh hasil yang optimal, proses optimasi dibagi menjadi empat kasus/skenario, meliputi: sistem dasar, rekonfigurasi jaringan, penentuan lokasi DG serta rekonfigurasi jaringan dan penentuan lokasi DG secara simultan. Kasus pertama yang merupakan sistem dasar menghasilkan total rugi daya sebesar 202,7 kW. Setelah dilakukan rekonfigurasi jaringan diperoleh penurunan rugi daya sebesar 30,93%. Pada kasus ketiga, pemasangan DG dilakukan berdasarkan jumlah DG yang dipasang, yaitu satu unit DG hingga tiga unit DG. Hasil penempatan DG mulai dari satu hingga tiga unit DG diperoleh penurunan rugi daya masing – masing sebesar 36,24894%, 56,77889% dan 64,31672%. Sedangkan dengan melakukan rekonfigurasi jaringan dan penempatan DG secara simultan diperoleh penurunan rugi daya sebesar 68,3371%.

Kata Kunci: rekonfigurasi jaringan, penempatan DG, sistem distribusi, genetic algorithm.



Halaman ini sengaja dikosongkan

**POWER LOSS MINIMIZATION USING NETWORK
RECONFIGURATION AND DISTRIBUTED GENERATION
PLACEMENT IN DISTRIBUTION SYSTEM WITH GENETIC
ALGORITHM**

Name : Nizar Syamsudin
NRP : 2212105029
Counsellor Lecturer 1 : Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.
Counsellor Lecturer 2 : Dr. Rony Seto Wibowo, S.T., M.T.

ABSTRACT

In the development of electric power systems, electrical distribution systems become increasingly extensive and complex, causing losses that occur in the system becomes larger. To overcome this, the common way is to do with the reconfiguration of the network and install Distributed Generation (DG) in the appropriate location. Genetic Algorithm (GA) is one of the popular methods of optimization used. GA combines a random variety of the best solution in a set (population) to get the next generation of the best solution (fitness). The optimization process was tested on the IEEE 33 bus system. In order to obtain optimal results, the optimization process is divided into four cases / scenarios, including: a base system, reconfiguration of the network, determining the location of the DG as well as reconfiguration of the network and determining the location DG simultaneously. The first case that is a base system generates power losses amounted to 202.7 kW. After the reconfiguration of the network obtained decrease power losses amounted to 30.93%. In the third case, the installation is done based on the number of DG mounted, ie one unit of DG to three units. DG placement results ranging from one to three units of DG obtained decrease power loss each amount to 36.24894% 56.77889% and 64.31672%. While the conduct of network reconfiguration and placement DG simultaneously obtained decrease power losses amounted to 68.3371%.

Keywords: *network reconfiguration, DG placement, distribution system, genetic algorithm.*



Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur alhamdulillah penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas rahmat, taufik dan hidayah-Nya, sehingga penyusunan tugas akhir dengan judul “MINIMISASI RUGI DAYA MENGGUNAKAN REKONFIGURASI JARINGAN DAN PENENTUAN LOKASI *DISTRIBUTED GENERATION (DG)* PADA SISTEM DISTRIBUSI DENGAN METODE *GENETIC ALGORITHM*” dapat diselesaikan dengan baik.

Penulis menyadari bahwa selama proses penyusunan tugas akhir ini mengalami kendala-kendala, namun berkat nasihat, bimbingan, bantuan dari berbagai pihak dan berkah dari Allah SWT sehingga semua kendala yang ada dapat diatasi oleh penulis.

Dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Bapak, ibu dan seluruh keluarga yang selalu mendukung penulis dalam menyelesaikan studi.
2. Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D. dan Dr. Rony Seto Wibowo, S.T., M.T. sebagai dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, motivasi, arahan dan saran-saran yang sangat berharga kepada penulis dalam menyusun tugas akhir.
3. Pak Suyanto dan Pak Yun Tonce yang telah memberikan bimbingan, ilmu, serta nasihat selama penulis melaksanakan studi.
4. Yanuarisa Laila Ekaningsih, yang telah banyak memberikan dukungan, inspirasi, motivasi, serta doanya kepada penulis.
5. Keluarga Lab. B103, Anto, Aris, Agung, Okta, Gama, Surya, Bagus dan lain – lain serta keluarga besar LJ gasal 2013.
6. Seluruh dosen yang telah memberikan ilmunya selama studi, karyawan, dan keluarga besar Jurusan Teknik Elektro ITS.

Dengan segala kerendahan hati penulis menyadari terdapat banyak kekurangan, sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran demi kesempurnaan tugas akhir ini dari semua pihak.

Surabaya, Mei 2015
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, REKONFIGURASI JARINGAN DAN DISTRIBUTED GENERATION (DG).	7
2.1 Sistem Distribusi	7
2.1.1 Sistem Distribusi Radial	8
2.2 Rekonfigurasi Jaringan Distribusi	9
2.3 Distributed Generation (DG)	10
2.3.1 Teknologi DG yang dapat dikembangkan di Indonesia	12
2.3.2 Keuntungan Distributed Generation	13
2.3.3 Distributed Generation pada Jaringan Distribusi Radial ...	14
BAB 3 REKONFIGURASI JARINGAN DAN PENENTUAN LOKASI DG MENGGUNAKAN GENETIC ALGORITHM	15
3.1 Persamaan Aliran Daya	16
3.2 Algoritma Genetika	17
3.2.1 Gen	19

3.2.2 Kromosom	19
3.2.3 Fitness.....	19
3.2.4 Individu	20
3.2.5 Populasi	20
3.2.6 Struktur GA	20
3.3 Rekonfigurasi Jaringan	25
3.3.1 Persamaan Rugi Daya pada Rekonfigurasi Jaringan	25
3.3.2 Rekonfigurasi Jaringan Menggunakan GA	26
3.4 Penentuan Lokasi Distributed Generation (DG)	28
3.4.1 Persamaan Rugi Daya pada Penentuan Lokasi DG	28
3.4.2 Penentuan Lokasi DG Menggunakan GA	29
3.5 Rekonfigurasi Jaringan dan Penentuan Lokasi Distributed Generation (DG)	33
3.5.1 Persamaan Rugi Daya pada Rekonfigurasi Jaringan dan Penentuan Lokasi DG	33
3.5.2 Rekonfigurasi Jaringan dan Penentuan Lokasi DG menggunakan GA	34
3.5.2.1 Pengkodean Kromosom	37
3.5.2.2 Pembangkitan Populasi Awal.....	38
3.5.2.3 Evaluasi Individu.....	38
3.5.2.4 Seleksi	39
3.5.2.5 Pindah Silang.....	40
3.5.2.6 Mutasi.....	40
3.6 Konstrain Sistem dan Kondisi Terminasi Algoritma	41
BAB 4 SIMULASI DAN ANALISIS	43
4.1 Hasil Simulasi pada Kasus ke-1 (Sistem Dasar)	45
4.2 Hasil Simulasi pada Kasus ke-2 (Rekonfigurasi Jaringan)	48
4.3 Hasil Simulasi pada Kasus ke-3 (Penentuan Lokasi DG)	54
4.4 Hasil Simulasi pada Kasus ke-4 (Rekonfigurasi Jaringan dan Penentuan Lokasi DG)	63
4.5 Hasil Pengujian <i>Software</i>	70
BAB 5 PENUTUP	73
5.1 Kesimpulan	73
5.2 Saran	73
DAFTAR PUSTAKA	75
LAMPIRAN	77
RIWAYAT PENULIS	81

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 4.1 Data saluran hasil <i>running loadflow</i> pada IEEE 33 bus	45
Tabel 4.2 Hasil <i>running loadflow</i> setelah dilakukan rekonfigurasi	48
Tabel 4.3 Hasil <i>running loadflow</i> 1 DG	55
Tabel 4.4 Hasil Penentuan Lokasi 1 DG	56
Tabel 4.5 Hasil <i>running loadflow</i> 2 DG	56
Tabel 4.6 Hasil Penentuan Lokasi 2 DG	57
Tabel 4.7 Hasil <i>running loadflow</i> 3 DG	58
Tabel 4.8 Hasil Penentuan Lokasi 3 DG	59
Tabel 4.9 Hasil <i>running loadflow</i> Rekonfigurasi Jaringan dan Penentuan lokasi DG	64
Tabel 4.10 Hasil Rekonfigurasi Jaringan dan Penentuan Lokasi DG ...	65
Tabel 4.11 Hasil pengujian <i>software</i> base system	70
Tabel 4.12 Hasil pengujian <i>software</i> kasus kedua: rekonfigurasi	71
Tabel 4.13 Hasil pengujian <i>software</i> kasus ketiga: penempatan DG	71
Tabel 4.14 Hasil pengujian <i>software</i> kasus keempat: rekonfigurasi jaringan dan penempatan DG	71



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Diagram proses penyaluran listrik	7
Gambar 2.2 Lokasi distribusi primer dan distribusi sekunder	7
Gambar 2.3 Sistem distribusi radial	9
Gambar 2.4 Koneksi DG pada sistem distribusi radial.....	14
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian	15
Gambar 3.2 Pemodelan saluran distribusi untuk aliran daya	16
Gambar 3.3 Mekanisme crossover satu titik	21
Gambar 3.4 Mekanisme crossover dua titik	22
Gambar 3.5 Mekanisme crossover seragam	22
Gambar 3.6 Mekanisme mutasi dalam pengkodean biner	23
Gambar 3.7 Mekanisme mutasi dalam pengkodean permutasi	23
Gambar 3.8 Inisialisasi populasi	26
Gambar 3.9 Populasi awal Rekonfigurasi dalam GA	27
Gambar 3.10 Penentuan lokasi DG pada sistem distribusi	29
Gambar 3.11 Inisialisasi populasi pada kasus penempatan DG	30
Gambar 3.12 Populasi awal DG dalam GA.....	31
Gambar 3.13 Proses inisialisasi kromosom(1)	31
Gambar 3.14 Proses inisialisasi kromosom(2)	32
Gambar 3.15 Evaluasi fitness	32
Gambar 3.16 Diagram alir proses optimasi(1)	34
Gambar 3.17 Diagram alir proses optimasi(2)	35
Gambar 3.18 Pengkodean Kromosom Rekonfigurasi dan penempatan DG secara simultan dalam GA	36
Gambar 3.19 Populasi awal Rekonfigurasi dan penempatan DG secara simultan dalam GA	37
Gambar 4.1 <i>Single Line Diagram</i> sistem IEEE 33 bus	44
Gambar 4.2 Grafik Rugi Daya Nyata pada Kasus ke-1	47
Gambar 4.3 Grafik Tegangan Bus pada Kasus ke-1.....	48
Gambar 4.4 Grafik Perbandingan Rugi Daya Aktif pada Kasus ke-1 dan ke-2	51
Gambar 4.5 Grafik Tegangan Bus pada Kasus ke-2.....	52
Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Tegangan Bus pada Kasus ke-1 dan ke-2.....	53
Gambar 4.7 Hasil Rekonfigurasi Jaringan.....	54

Gambar 4.8	Grafik Perbandingan Tegangan Bus pada Penempatan 1 unit DG hingga 3 unit DG	60
Gambar 4.9	Grafik Perbandingan Tegangan Bus pada Kasus 1, 2 dan 3.....	61
Gambar 4.10	Grafik Perbandingan Rugi Daya pada Kasus 1, 2 dan 3	62
Gambar 4.11	Lokasi Penempatan DG	63
Gambar 4.12	Grafik Tegangan Bus pada Kasus ke-4	67
Gambar 4.13	Grafik Perbandingan Tegangan Bus pada Kasus ke-1, 2, 3 dan 4.....	68
Gambar 4.14	Grafik Perbandingan Rugi Daya pada Kasus ke-1, 2, 3 dan 4.....	69
Gambar 4.15	Hasil Rekonfigurasi Jaringan dan Penempatan DG	70

RIWAYAT PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Nizar Syamsudin. Anak kedua dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Achmad Taufik dan Ibu Kholillah. Berasal dari Kabupaten Lamongan dan lahir pada tanggal 6 Pebruari 1992 di Lamongan. Mengawali pendidikannya di MI Murni Sunan Drajat Lamongan, pada tahun 1998 hingga lulus pada tahun 2004. Kemudian melanjutkan pendidikan pada tingkat menengah pertama di SMP Negeri 1 Lamongan pada tahun 2004 dan lulus pada tahun 2007. Pada tahun 2007, penulis melanjutkan pendidikan di SMA Negeri 2 Lamongan dan lulus pada tahun 2010.

Setelah dinyatakan lulus dalam menyelesaikan pendidikannya di tingkat SMA pada tahun 2010, penulis meneruskan pendidikan ke jenjang perkuliahan di Diploma 3 Teknik Elektro Politeknik Elektronika Negeri Surabaya Jurusan Teknik Elektronika hingga tamat pada tahun 2013. Saat ini penulis sedang menyelesaikan Lintas Jalur S1 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Elektro, bidang studi Teknik Sistem Tenaga.

Email :

nizar13@mhs.ee.its.ac.id

nizar.syamsudin@gmail.com



Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam perkembangan sistem tenaga listrik, sistem distribusi listrik menjadi semakin luas dan kompleks sehingga menyebabkan rugi-rugi yang terjadi pada sistem menjadi lebih besar. Studi menunjukkan bahwa hampir 10-33% dari total daya yang dihasilkan hilang akibat adanya rugi-rugi daya pada jaringan distribusi[1]. Cara yang paling umum digunakan untuk mengurangi daya yang hilang pada sistem distribusi listrik adalah konfigurasi ulang jaringan dan pemilihan lokasi DG yang tepat. Konfigurasi jaringan dan penempatan DG harus optimal untuk memaksimalkan manfaat dan mengurangi dampaknya terhadap sistem tenaga listrik[2].

Sistem distribusi pada umumnya dioperasikan secara radial. Dalam strategi rekonfigurasi sistem distribusi yang bersifat radial, setiap beban dilayani oleh satu sumber sehingga perlu adanya pengoptimalan operasi jaringan distribusi untuk memperoleh rugi – rugi daya terkecil. Rugi daya pada sistem distribusi tidak akan menjadi minimal pada konfigurasi jaringan yang tetap untuk level beban yang berbeda. Sehingga untuk memenuhi kebutuhan level beban tersebut, jaringan distribusi perlu diintegrasikan dengan DG[4]. Pemilihan lokasi DG yang tepat dan konfigurasi ulang jaringan yang dilakukan secara simultan diharapkan mampu meminimalkan rugi daya yang terjadi pada sistem distribusi.

Dalam tugas akhir ini, dibuat sebuah metode optimasi rekonfigurasi jaringan dan penentuan lokasi DG secara simultan yang digunakan untuk meminimalkan rugi – rugi daya pada sistem distribusi. Target yang diharapkan adalah untuk memperoleh rugi – rugi daya terkecil dibandingkan dengan saat melakukan rekonfigurasi atau penempatan DG saja. Pendekatan yang dilakukan adalah dengan mengoptimasi aliran daya pada sistem tersebut menggunakan metode algoritma genetika. Metode ini mempresentasikan analisis untuk menemukan lokasi yang optimal untuk penempatan DG dan rekonfigurasi jaringan distribusi radial.

1.2 Tujuan Tugas Akhir

Tugas akhir ini bertujuan untuk memperoleh konfigurasi jaringan dan lokasi penempatan *distributed generation* (DG) yang optimal untuk meminimalkan rugi daya menggunakan metode genetic algorithm (GA) sehingga didapatkan konfigurasi jaringan dan lokasi DG yang optimal dengan nilai rugi daya yang paling minimal.

1.3 Permasalahan

Permasalahan yang akan dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. Rekonfigurasi jaringan dan penentuan lokasi DG pada sistem distribusi radial untuk memperoleh rugi daya terkecil menggunakan metode genetic algorithm.
2. Membandingkan nilai rugi daya pada saat melakukan rekonfigurasi jaringan atau penempatan DG saja dan saat melakukan optimasi rekonfigurasi jaringan dan penempatan DG secara simultan.

1.4 Batasan Tugas Akhir

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

1. Fungsi obyektif dari optimisasi yang dilakukan adalah meminimalkan total rugi daya nyata.
2. Penempatan optimal DG menggunakan metode *genetic algorithm* (GA).
3. Simulasi menggunakan sistem distribusi IEEE 33 bus.
4. Simulasi menggunakan Matlab 2009a
5. Analisa dilakukan dalam kondisi steady state
6. Analisa aliran daya tidak dibahas secara detail
7. Sistem dalam keadaan seimbang ($R = S = T$)
8. DG ideal. Daya yang dikeluarkan sebanding dengan bahan bakar yang dikonsumsi
9. Faktor koordinasi dan sinkronisasi antar DG dan pada sistem diabaikan
10. Optimasi dibuat untuk tujuan perencanaan (desain) bukan untuk diterapkan secara on-line.

1.5 Metodologi Tugas Akhir

Pada tugas akhir ini dibuat program untuk mendapatkan konfigurasi jaringan dan lokasi DG yang optimal menggunakan metode Genetic Algorithm (GA). Program dibuat dengan menggunakan software Matlab. Tahapan untuk menyelesaikan tugas akhir ini adalah

1. Studi literature
Literature yang digunakan berasal dari *paper*, jurnal dan *text book*. Dalam studi literature dipelajari teori – teori pendukung seperti Genetic Algorithm (GA) dan perancangan perangkat lunak menggunakan Matlab.
2. Pengumpulan data
Data yang digunakan meliputi data bus dan data saluran. Data bus terdiri atas data beban yang digunakan untuk mendapatkan nilai daya aktif dan daya reaktif pada setiap cabang. Data saluran terdiri atas resistansi dan reaktansi saluran. Semua data tersebut digunakan untuk memperoleh data pengukuran sebenarnya menggunakan software matlab.
3. Pemodelan program
Pemodelan program dilakukan untuk mendapatkan model program dari optimasi rekonfigurasi jaringan dan penempatan *distributed generation* (DG). Pemodelan dimaksudkan untuk mengetahui hasil aliran daya serta konfigurasi jaringan dan lokasi penempatan DG. Input berupa data saluran, data beban, data kapasitas DG, data lokasi penempatan DG, data konfigurasi jaringan dan data parameter GA. Output digunakan untuk perancangan perangkat lunak sehingga hasilnya dapat diolah oleh Matlab dan diperoleh konfigurasi jaringan terbaik, posisi terbaik penempatan DG dan hasil rugi daya aktif yang paling minimal.
4. Perancangan perangkat lunak
Perancangan perangkat lunak untuk memperoleh rekonfigurasi jaringan dan penempatan optimal *distributed generation* (DG). Perancangan perangkat lunak menggunakan Matlab.
5. Simulasi dan analisis
Simulasi dilakukan dengan menggunakan sistem distribusi radial IEEE 33 bus. Simulasi terdiri dari empat kasus, yaitu: base system, rekonfigurasi jaringan, penempatan DG serta rekonfigurasi jaringan dan penempatan DG secara simultan. Optimasi digunakan untuk mengetahui konfigurasi jaringan dan

penempatan optimal *distributed generation* (DG) untuk mendapatkan nilai rugi daya paling minimal pada jaringan tersebut.

6. Penulisan buku

Hasil penelitian yang telah dilakukan dilaporkan dalam bentuk laporan tugas akhir dan paper. Laporan berisi metode dan kesimpulan dari penelitian.

1.6 Sistematika Laporan

Laporan Tugas Akhir ini disusun dalam suatu sistematika sebagai berikut :

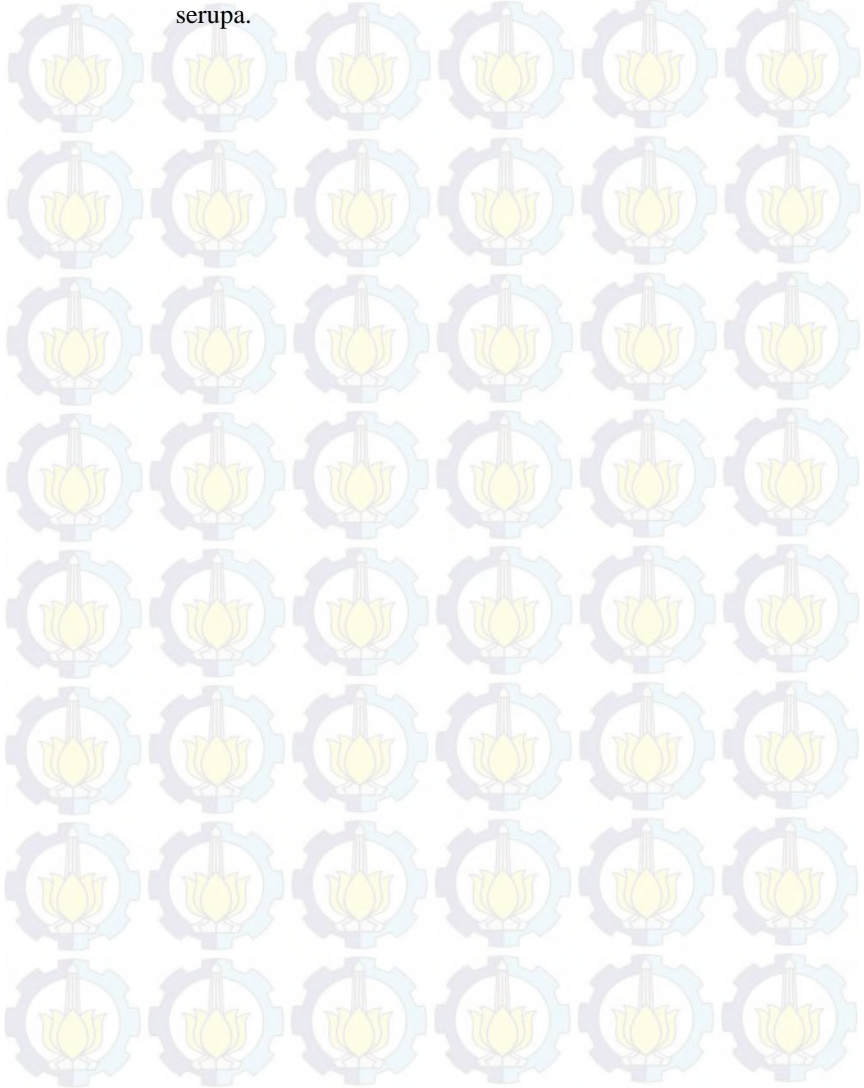
- Bab1: Pendahuluan yang membahas mengenai latar belakang, tujuan penelitian, permasalahan, batas masalah, metode penelitian, sistematika penulisan dan relevansi dari Tugas Akhir.
- Bab 2: Dasar teori yang menjelaskan teori mengenai sistem distribusi, rekonfigurasi jaringan, pembangkit tersebar (DG) dan genetic algorithm (GA).
- Bab 3: Perancangan sistem rekonfigurasi jaringan dan penentuan lokasi DG berdasarkan teori optimasi menggunakan *Genetic Algorithm*.
- Bab 4: Hasil simulasi rekonfigurasi jaringan dan penempatan optimal *distributed generation* (DG) untuk meminimalkan rugi daya pada sistem distribusi IEEE 33 bus.
- Bab 5: Kesimpulan Tugas Akhir yang mengemukakan hasil pembahasan dan saran-saran sehubungan dengan pokok-pokok pembahasan.

1.7 Relevansi

Hasil yang diperoleh dari Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat berikut :

- 1. Memberikan kontribusi terhadap perkembangan sistem kelistrikan, khususnya pada permasalahan yang terkait dalam rekonfigurasi jaringan dan penentuan lokasi DG secara optimal pada sistem tenaga listrik.
- 2. Dapat meningkatkan penguasaan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (IPTEK) di bidang sistem tenaga listrik bagi pengusul Tugas Akhir.

3. Dapat menjadi referensi bagi mahasiswa lain yang akan mengambil Tugas Akhir yang mengambil masalah yang serupa.





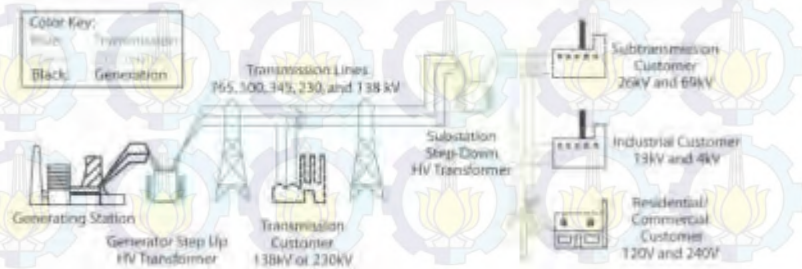
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2

SISTEM DISTRIBUSI LISTRIK, REKONFIGURASI JARINGAN DAN DISTRIBUTED GENERATION (DG)

2.1 Sistem Distribusi

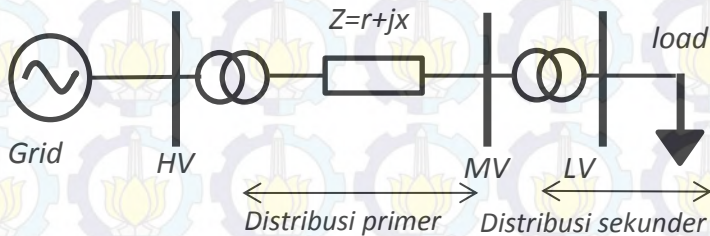
Dalam sistem tenaga listrik, sistem distribusi merupakan tahap akhir dari proses penyaluran dan pendistribusian energi listrik dari pembangkit listrik menuju beban.



Gambar 2.1 Diagram proses penyaluran listrik

Jaringan distribusi dapat dibedakan menjadi 2 menurut posisi yang ditunjukkan pada gambar 2.2, yaitu :

1. Jaringan distribusi primer (jaringan distribusi tegangan menengah)
2. Jaringan distribusi sekunder (jaringan distribusi tegangan rendah)



Gambar 2.2 Lokasi distribusi primer dan distribusi sekunder

Jaringan distribusi primer menyalurkan tenaga listrik pada tegangan menengah. Lokasi jaringan tersebut terletak sebelum trafo distribusi. Jaringan tersebut menghubungkan antara sisi sekunder trafo gardu induk dengan sisi primer trafo distribusi. Sedangkan jaringan distribusi sekunder menyalurkan tenaga listrik pada tegangan rendah 220V/380V. Lokasi jaringan terletak setelah trafo ditribusi. Jaringan distribusi sekunder menghubungkan sisi sekunder pada trafo distribusi dengan sisi konsumen.

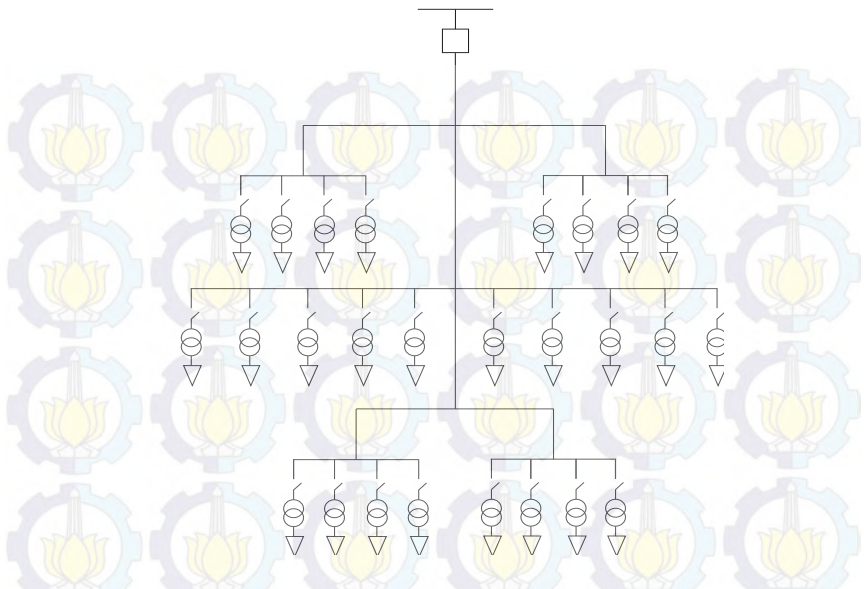
Berdasarkan skema operasinya, sistem distribusi dibagi menjadi 3 konfigurasi, yaitu: *radial system*, *ring main system* dan *interconnected system*. Dalam tugas akhir ini, sistem distribusi yang digunakan adalah tipe radial.

2.1.1 Sistem Distribusi Radial

Jaringan radial merupakan bentuk paling sederhana dan banyak dioperasikan dalam sistem distribusi. Hal ini disebabkan 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, 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 2.2.

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.



Gambar 2.3 Sistem distribusi radial

Pada konfigurasi ini memiliki kekurangan dalam hal kualitas pelayanan daya dan kontinuitas pelayanan kurang baik. 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 Rekonfigurasi Jaringan Distribusi

Dalam jaringan distribusi, kualitas penyaluran energi listrik harus terjaga dengan baik. Apabila terjadi kendala maka perlu dilakukan suatu tindakan yang secara cepat dapat mengatasi masalah tersebut. Kendala yang sering terjadi dalam jaringan distribusi dapat mengakibatkan kontinuitas penyaluran energi listrik terganggu karena daya listrik yang hilang cukup besar. Oleh karena itu, perlu dilakukan suatu tindakan untuk mengurangi rugi – rugi daya yang terjadi dalam proses penyaluran

energi listrik pada jaringan distribusi. Salah satu caranya adalah dengan mengatur ulang konfigurasi jaringan tersebut.

Pada dasarnya, rekonfigurasi jaringan merupakan permasalahan mengenai optimasi kombinatorial dimana kemungkinan kombinasi terbaik dengan mengatur status (open/close) dari sectionalizing dan tie switch yang harus ditemukan sehingga fungsi tujuan dapat diminimalkan. Tujuan umum dilakukannya rekonfigurasi jaringan adalah untuk mengurangi rugi daya dan mengurangi deviasi tegangan. Konfigurasi ulang jaringan memungkinkan sistem untuk melayani beban yang sama untuk memperoleh beban dengan kerugian daya yang lebih sedikit dalam sistem. Hal ini juga dapat menurunkan kelebihan beban dalam jaringan dan mencegah adanya ketidakseimbangan beban. Konfigurasi ulang jaringan adalah cara yang efektif untuk meningkatkan kualitas daya dalam sistem dan meningkatkan keandalan tegangan listrik di sisi pengguna. Jaringan distribusi listrik dibangun sebagai jaringan yang saling berhubungan dan menyatu. Namun, jaringan tersebut diatur untuk beroperasi menjadi radial. Konfigurasi tersebut dapat bervariasi dengan operasi switching manual atau otomatis sehingga semua beban dapat terlayani dan dapat mengurangi daya yang hilang.

Secara umum, konfigurasi ulang jaringan adalah masalah optimasi nonlinier multi-objektif. Karena pada kenyataannya, sectionalizing switch dalam jaringan distribusi memiliki jumlah yang sangat banyak, sehingga kemungkinan kombinasi konfigurasi jaringan juga sangat banyak sesuai dengan banyaknya switch dalam jaringan tersebut. Sebagian besar metode yang digunakan untuk melakukan rekonfigurasi jaringan ini adalah menggunakan metode pendekatan berdasarkan teori evolusi atau heuristik.

Dalam kondisi operasi normal, rekonfigurasi jaringan dilakukan untuk mengurangi rugi – rugi daya dan mendapatkan pembebanan yang seimbang untuk mencegah terjadinya kelebihan beban atau ketidakseimbangan beban pada jaringan. Pada tugas akhir ini, rekonfigurasi jaringan dilakukan secara simultan dengan penempatan DG untuk memperoleh rugi daya terkecil pada sistem distribusi radial.

2.3 Distributed Generation (DG)

Distributed Generation atau pembangkit tersebar merupakan salah satu solusi dalam hal pemerataan distribusi energi listrik sehingga dapat meningkatkan kualitas hidup masyarakat suatu bangsa. Keuntungan adanya DG bila dibandingkan dengan pembangkitan listrik

terpusat adalah penerapan generator – generator kecil, biasanya memiliki kapasitas dari 5 kW hingga 10 MW, yang ditempatkan di lokasi yang dekat dengan konsumen energi listrik untuk menyediakan tenaga listrik yang dibutuhkan sehingga sistem distribusi dapat melayani konsumen di desa – desa kecil. DG menghasilkan energi listrik dari beberapa sumber energi yang berkapasitas kecil dan dihubungkan langsung pada jaringan distribusi.

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

1. 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.
2. 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).

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*.

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.

2.3.1 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)

Hal ini 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.

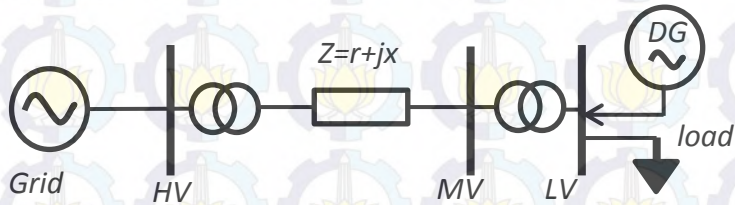
2.3.2 Keuntungan Distributed Generation

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:

1. DG yang pemasangannya berada dekat dengan daerah beban dapat meningkatkan keandalan dalam pemanfaatan daya.
2. DG sebagai sumber energi lokal dapat membantu untuk penghematan daya
3. 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.
4. Dalam memproduksi energi listrik, DG bersifat ramah lingkungan. Emisi yang dihasilkan dari produksi energi listrik oleh DG tergolong rendah, bahkan mendekati nol

2.3.3 Distributed Generation pada Jaringan Distribusi Radial

Jaringan distribusi memasok tenaga listrik ke pengguna akhir. Sebuah model sederhana dari jaringan distribusi radial ditunjukkan pada Gambar 2.2. Sistem tersebut terdiri dari grid, jalur transmisi, transformator dan beban. DG yang terhubung ke jaringan distribusi dapat ditampilkan seperti Gambar 2.4.



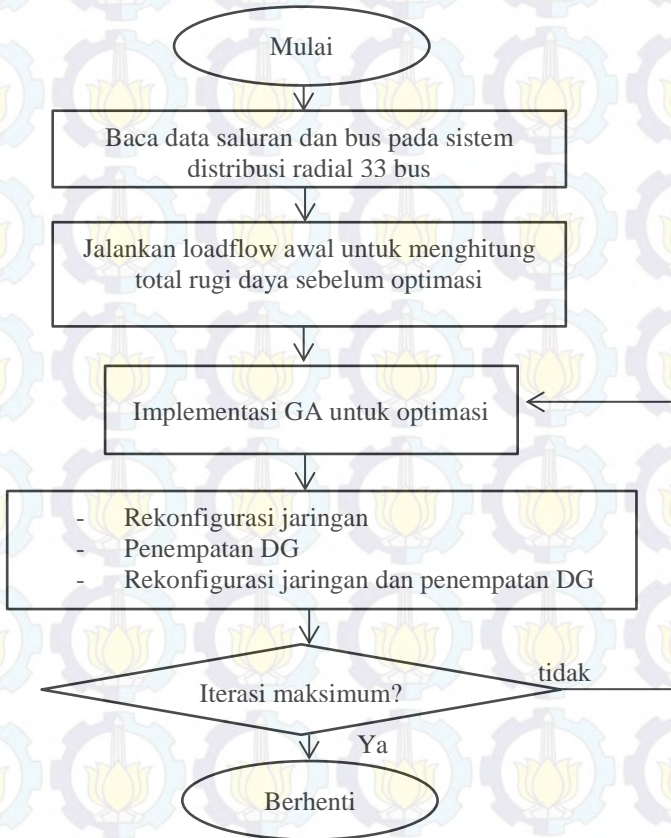
Gambar 2.4 Koneksi DG pada sistem distribusi radial

Aliran daya dalam jaringan tergantung pada ukuran dan lokasi dari DG dan juga pada permintaan beban pada waktu tertentu[8]. 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)*, *tubin 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 1 MW yang menyuplai daya aktif.

BAB 3

REKONFIGURASI JARINGAN DAN PENENTUAN LOKASI DG MENGGUNAKAN GENETIC ALGORITHM

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



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

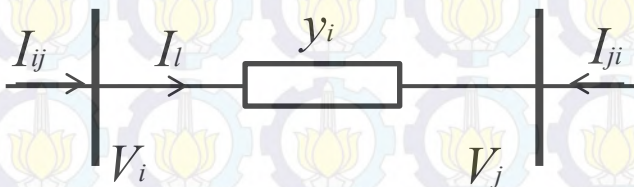
Dari gambar 3.1 dapat diketahui bahwa pengerjaan tugas akhir minimisasi rugi-rugi daya pada jaringan dilakukan melalui beberapa kasus, yakni kasus 2 yang hanya untuk rekonfigurasi, kasus 3 untuk penempatan DG dan kasus 4 untuk rekonfigurasi jaringan dan penempatan DG secara simultan. Langkah untuk meminimalkan rugi daya tersebut dilakukan melalui optimasi menggunakan *genetic algorithm*.

3.1 Persamaan Aliran Daya

Dalam proses rekonfigurasi jaringan 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 rekonfigurasi jaringan dan 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

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

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 rekonfigurasi dan pemasangan DG. Artinya, GA dalam hal ini adalah masalah maksimasi suatu fungsi f . Memaksimalkan nilai delta rugi daya pada sistem awal dengan sistem setelah dilakukan rekonfigurasi dan 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.

$$f(x) = \text{minimize} \sum_{i=1}^n P_{loss,ij} \quad (3.6)$$

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).

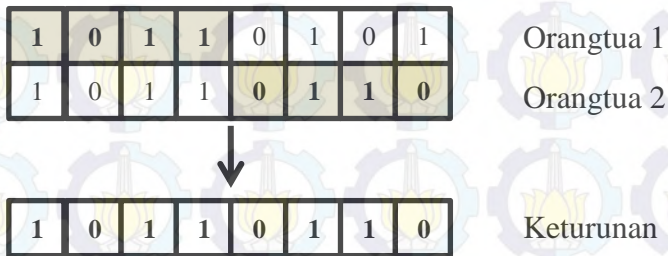
Ada beberapa metode untuk memilih kromosom yang sering digunakan antara lain adalah seleksi roda rolet (*roulette wheel selection*), seleksi ranking (*rank selection*) dan seleksi turnamen (*tournament selection*). Pada seleksi roda rolet, orang

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:

a. Crossover 1-titik

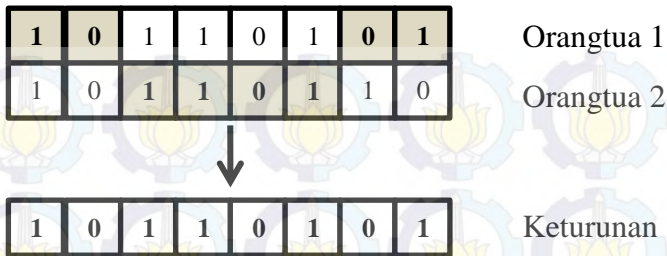
Pada crossover dilakukan dengan memisahkan suatu string menjadi dua bagian dan selanjutnya salah satu bagian dipertukarkan dengan salah satu bagian dari string yang lain yang telah dipisahkan dengan cara yang sama. Proses yang demikian dinamakan operator crossover satu titik



Gambar 3.3 Mekanisme crossover satu titik

b. Crossover 2-titik

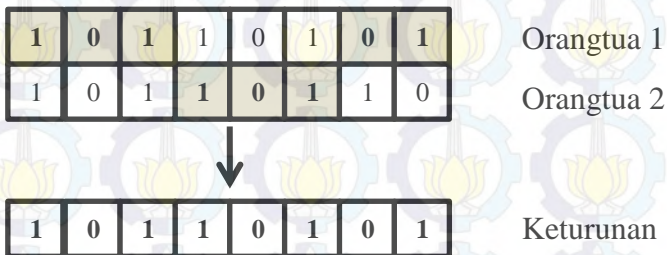
Proses crossover ini dilakukan dengan memilih dua titik crossover. Kromosom keturunan kemudian dibentuk dengan barisan bit dari awal kromosom sampai titik crossover pertama disalin dari orangtua pertama, bagian dari titik crossover pertama dan kedua disalin dari orangtua kedua, kemudian selebihnya disalin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



Gambar 3.4 Mekanisme crossover dua titik

c. Crossover seragam

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



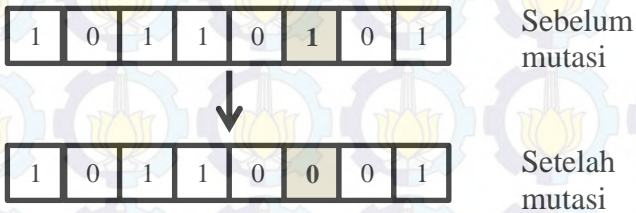
Gambar 3.5 Mekanisme crossover seragam

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 dibangkitkan 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:

a. 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

b. 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.

c. 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.

d. 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.

3. 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 Rekonfigurasi Jaringan

Rekonfigurasi jaringan distribusi adalah suatu cara untuk mengurangi rugi-rugi daya pada jaringan distribusi dengan cara mengatur ulang konfigurasi jaringan dengan jalan membuka dan menutup *switch* yang terdapat pada jaringan distribusi sehingga efisiensi daya listrik yang disalurkan meningkat dan konsumen dapat dilayani dengan baik. Rekonfigurasi jaringan pada tugas akhir ini dilakukan pada jaringan distribusi radial, maka untuk mengatur ulang konfigurasi jaringan, jalan membuka dan menutup *switch* harus dilakukan pada satu loopnya. Dengan demikian akan terbentuk beberapa kemungkinan kombinasi konfigurasi jaringan. Dengan banyaknya kombinasi konfigurasi jaringan mungkin terjadi, maka pada tugas akhir ini digunakan metode *genetic algorithm* untuk mendapatkan rekonfigurasi jaringan yang memungkinkan seluruh kombinasi dapat terselesaikan secara optimal dengan tujuan untuk meminimalkan total rugi daya sistem.

3.3.1 Persamaan Rugi Daya pada Rekonfigurasi Jaringan

Rekonfigurasi jaringan pada sistem distribusi merupakan salah satu upaya untuk memperoleh konfigurasi jaringan terbaik agar diperoleh rugi daya terkecil sesuai dengan batasan/standar yang telah ditentukan seperti batasan tegangan bus, kapasitas arus saluran dan tetap memperhatikan struktur jaringan distribusi radial. Rugi daya pada saluran yang menghubungkan antara bus i ke bus j setelah dilakukan rekonfigurasi jaringan dapat dinyatakan dalam persamaan berikut.

$$P'_{loss(i,j)} = real(S'_{i,j}) \quad (3.8)$$

Selanjutnya, untuk menentukan total rugi daya jaringan setelah dilakukan rekonfigurasi jaringan ini dapat dihitung dengan cara menjumlahkan rugi daya setiap saluran setelah dilakukan rekonfigurasi jaringan sehingga diperoleh persamaan berikut

$$P'_{T,loss} = \sum_{j=1}^n P'_{loss(i,j)} \quad (3.9)$$

3.3.2 Rekonfigurasi Jaringan Menggunakan GA

Pada tugas akhir ini rekonfigurasi jaringan dilakukan untuk mengurangi rugi daya pada jaringan distribusi daya listrik tipe radial. Rekonfigurasi pada tugas akhir ini menggunakan metode *genetic algorithm*. Metode ini merupakan jenis dari metode *heuristic*. Rekonfigurasi dilakukan dengan mengubah *on* atau *off switch* dan saluran pada setiap konfigurasi sistem daya yang mungkin untuk mendapatkan rugi-rugi daya yang terkecil berdasarkan *looping* pada jaringan tersebut. Banyaknya *looping* berdasarkan jumlah *tie switch* dalam jaringan sehingga ketika dalam suatu *looping* terdapat *tie switch* yang ditutup atau disambung maka akan ada saluran yang dibuka sehingga jaringan akan tetap pada bentuk radial. Rumus untuk meminimalkan rugi-rugi daya dapat dihitung berdasarkan persamaan 3.7.

$$GA = \begin{bmatrix} OS_1^1 & OS_2^1 & OS_3^1 & OS_4^1 & OS_5^1 \\ OS_1^1 & OS_2^2 & OS_3^3 & OS_4^4 & OS_5^5 \\ & & \dots & & \\ OS_1^n & OS_2^n & OS_3^n & OS_4^n & OS_5^n \end{bmatrix}$$

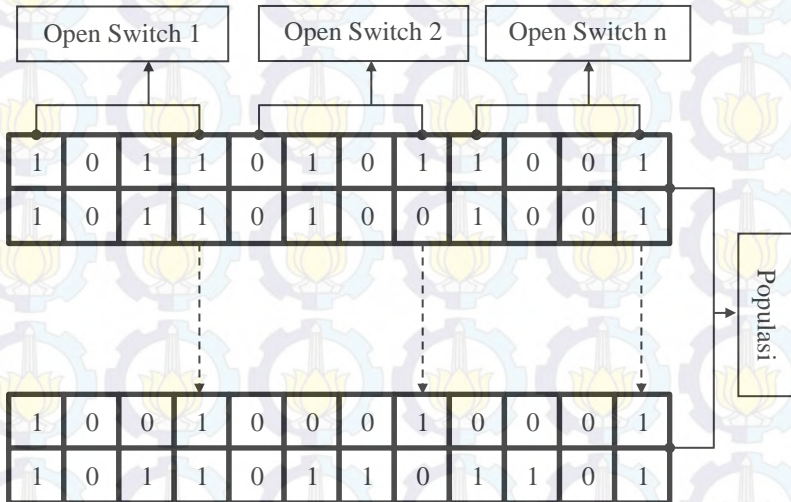
Rekonfigurasi

Gambar 3.8 Inisialisasi populasi

Dalam GA, proses inisialisasi populasi yang berisi kromosom yang mengandung nilai variable dibangkitkan secara acak. Variable dalam kromosom merepresentasikan *tie switch* mana yang akan dibuka seperti pada gambar 3.2. Setiap variable dalam kromosom memiliki kode biner yang menghasilkan nilai *tie switch* yang menjadi tujuan untuk dibuka. Nilai tersebut yang menjadi solusi untuk dilakukan peng-update-an data saluran sehingga dapat dilakukan loadflow dari data saluran yang telah dirubah berdasarkan solusi dari setiap kromosom tersebut.

Kromosom yang mengandung solusi berupa *open switch* akan menghasilkan nilai fitness ketika telah dilakukan loadflow dimana nilai fitness yang dioptimasi adalah fungsi objektif dari kasus ini yaitu total rugi daya. Persamaan untuk menghitung rugi daya ditunjukkan pada persamaan 3.7. Sehingga dalam setiap kromosom akan memiliki nilai fitnessnya masing – masing. Kemudian 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.



Gambar 3.9 Populasi awal Rekonfigurasi dalam GA

Solusi dari fitness terbaik tersebut digunakan untuk mendapatkan konfigurasi jaringan yang baru 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.

Metode ini dapat digunakan pada sistem distribusi dengan topologi jaringan radial. Berikut adalah gambar pengkodean variable dalam kromosom. Setiap variable memiliki nilai 4 bit yang kemudian dikonversikan menjadi nilai saluran yang akan dibuka.

Dari gambar 3.9 dapat diketahui bahwa setiap variable menghasilkan solusi dimana dalam tiap solusi tersebut diperoleh dari saluran yang berada dalam looping tie switch. Misalnya, jika sectionalized switch dalam suatu looping tie switch dilambangkan $b = \text{closed}$, maka jaringan tersebut akan terjadi loop. Hal ini bertentangan

dengan struktur sistem distribusi radial. Maka tiap sectionalized switch di sisi l atau r harus dibuka agar tidak terbentuk loop pada jaringan.

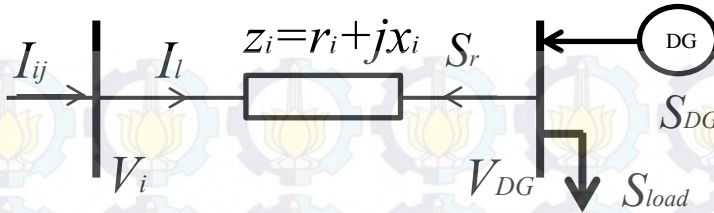
3.4 Penentuan Lokasi Distributed Generation (DG)

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.

3.4.1 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.

3.4.2 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 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.

$$GA = \begin{bmatrix} DG_1^1 & DG_2^1 & DG_3^1 \\ DG_1^2 & DG_2^2 & DG_3^2 \\ \dots & \dots & \dots \\ DG_1^n & DG_2^n & DG_3^n \end{bmatrix}$$



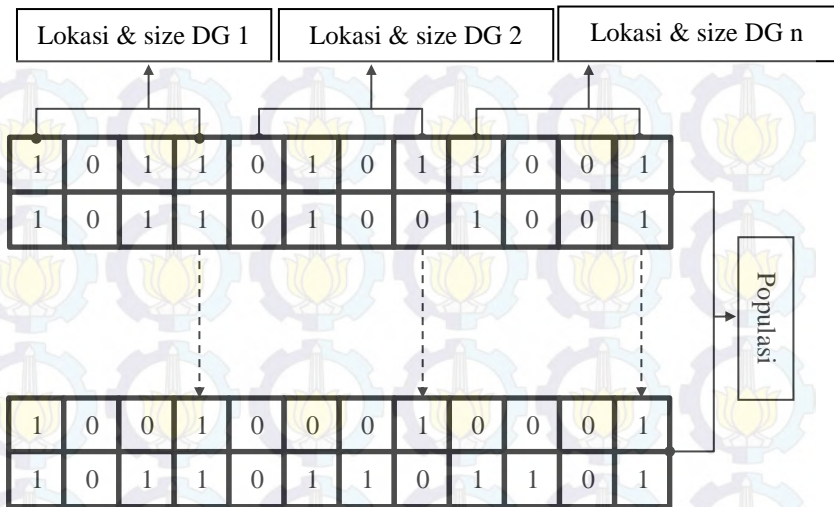
 Penempatan DG

Gambar 3.11 Inisialisasi 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.

$$GA = [DG_1^1 \quad DG_2^1 \quad DG_3^1]$$

$$kromosom \ 1 = DG_1^1 \quad DG_2^1 \quad DG_3^1$$

$$kromosom \ 1 = 11010111001101011100011010111000$$

$\underbrace{\hspace{8em}}_{DG \ 1}$

$\underbrace{\hspace{8em}}_{DG \ 2}$

$\underbrace{\hspace{8em}}_{DG \ 3}$

Gambar 3.13 Proses inialisasi kromosom(1)

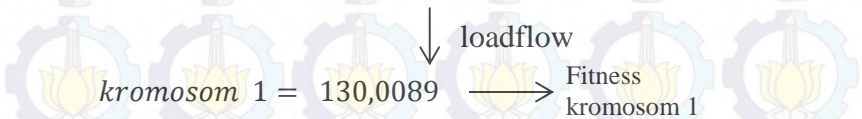
$$kromosom\ 1 = [14\ 0,825\ 25\ 0,95\ 30\ 0,95]$$



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.

$$kromosom\ 1 = [14\ 0,825\ 25\ 0,95\ 30\ 0,95]$$



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.

3.5 Rekonfigurasi Jaringan dan Penentuan Lokasi Distributed Generation (DG)

Konsep rekonfigurasi jaringan dan penentuan lokasi DG ini didasarkan pada banyaknya kemungkinan yang terjadi saat kombinasi konfigurasi jaringan dan kombinasi pemasangan DG pada setiap bus kecuali bus grid dalam sistem tersebut dipadukan. Dengan banyaknya kemungkinan kombinasi yang terjadi saat konfigurasi berubah dan secara simultan dilakukan pemasangan DG, maka diperlukan suatu metode untuk menyelesaikan banyaknya kombinasi yang mungkin terjadi yang tidak dapat dilakukan secara manual. Perancangan rekonfigurasi jaringan dan penentuan lokasi DG ini ditentukan berdasarkan rugi-rugi daya total pada sistem tersebut setelah dilakukan rekonfigurasi jaringan dan penempatan DG sesuai dengan persamaan 3.12. Rekonfigurasi jaringan dan 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 dikonversikan ke dalam bentuk decimal dan dijadikan sebagai solusi berupa tie switch yang dibuka dan lokasi DG sehingga solusi tersebut akan menentukan data jaringan baru yang telah dipasang DG dan telah dirubah konfigurasi jaringannya.

3.5.1 Rugi Daya Setelah Rekonfigurasi dan Penempatan DG

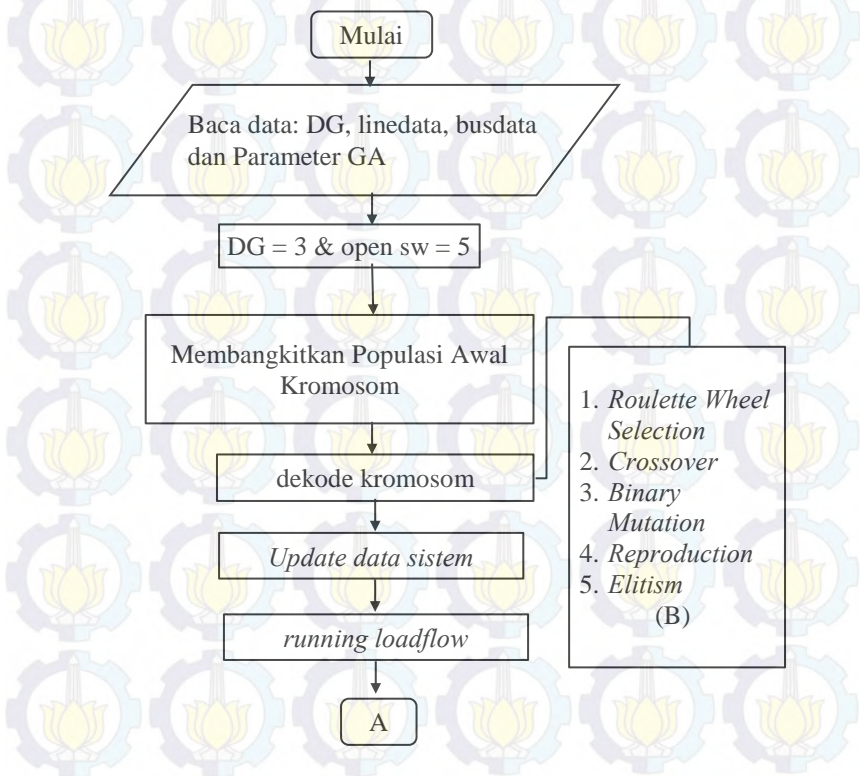
Rekonfigurasi jaringan dan melakukan pemasangan DG pada lokasi tertentu dalam sistem distribusi merupakan upaya yang cukup efektif dan menghasilkan banyak keuntungan terutama dalam menurunkan rugi daya. Memilih konfigurasi jaringan terbaik dan lokasi optimal dalam menempatkan DG merupakan cara terbaik dalam memperoleh total rugi daya terkecil. Perumusan total rugi daya setelah dilakukan rekonfigurasi jaringan dan penentuan lokasi DG yang dilakukan secara bersamaan ini sekaligus menjadi fungsi objektif dari penelitian ini. Fungsi objektif dari rekonfigurasi jaringan dan penentuan

lokasi DG untuk meminimalkan total rugi daya pada sistem distribusi dapat dinyatakan dalam persamaan berikut.

$$P_{T,loss} = \sum (P_{R,loss} + P_{DG,loss}) \quad (3.12)$$

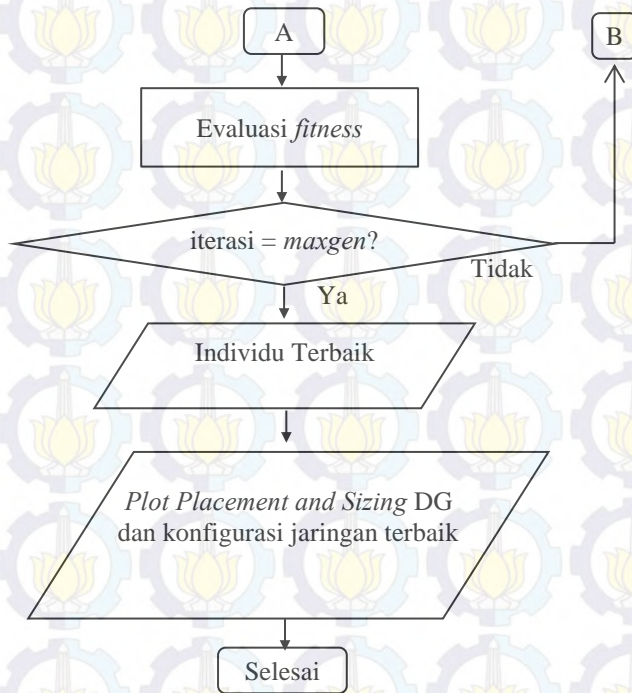
3.5.2 Rekonfigurasi Jaringan dan Penentuan Lokasi DG Menggunakan GA

Setiap solusi dalam GA diwakili oleh suatu individu atau satu kromosom. Kromosom ini akan melewati persilangan dan mutasi sehingga muncul individu yang baru pada populasi baru atau generasi baru. Implementasi GA pada tugas akhir ditampilkan dalam diagram alir berikut.



Gambar 3.16 Diagram alir proses optimasi (1)

Persilangan dan mutasi akan dilakukan lagi sehingga populasi yang baru dapat menemukan nilai pembandingnya. Proses ini akan diulangi beberapa generasi sampai dapat diperoleh suatu hasil yang optimal. Nilai fitness yang diperhitungkan dalam tugas akhir ini adalah jumlah total rugi daya setelah rekonfigurasi dan total rugi daya setelah pemasangan DG. GA dalam hal ini adalah masalah minimisasi fungsi f , yaitu meminimalkan nilai total rugi daya yang terjadi dalam sistem.



Gambar 3.17 Diagram alir proses optimasi (2)

Dalam GA, ada beberapa istilah penting yang harus diketahui untuk diterapkan dalam permasalahan optimasi ini, yaitu: gen, kromosom, individu, populasi dan fungsi fitness. Selain itu, ada beberapa proses yang dilakukan dalam GA, yaitu: pengkodean

kromosom, inialisasi populasi, evaluasi individu, seleksi, mutasi, crossover dan reproduksi.

Batasan yang patut diperhatikan adalah daya yang diinjeksikan DG dan level tegangan yang sampai ke titik ujung konsumen harus sesuai dengan rating minimum yang diizinkan. maka dari itu, tegangan dijaga antara 0,95 pu hingga 1,05 pu sesuai dengan standar IEEE 1159-1995..

$$V_i^{min} \leq V_i \leq V_i^{max} \quad (3.13)$$

$$\sum P_{gen,i} \leq \sum (P_{load,i} + P_{loss,i}) \quad (3.14)$$

Secara garis besar, pada diagram alir tersebut, variabel awal dan input data diperlukan untuk memulai algoritma GA. Data yang harus didefinisikan antara lain :

1. Inialisasi berupa populasi dari kumpulan individu yang dibangkitkan secara acak, dalam populasi tersebut berisi jumlah kromosom yang akan dipakai pada GA.

$$GA = \begin{bmatrix} os_1^1 & os_2^1 & os_3^1 & os_4^1 & os_5^1 & DG_1^1 & DG_2^1 & DG_3^1 \\ os_1^1 & os_2^2 & os_3^3 & os_4^4 & os_5^5 & DG_1^1 & DG_2^2 & DG_3^3 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ os_1^n & os_2^n & os_3^n & os_4^n & os_5^n & DG_1^n & DG_2^n & DG_3^n \end{bmatrix}$$

Gambar 3.18 Pengkodean kromosom rekonfigurasi jaringan dan penempatan DG secara simultan dalam GA

Dimana, n merupakan jumlah populasi yang dibangkitkan.

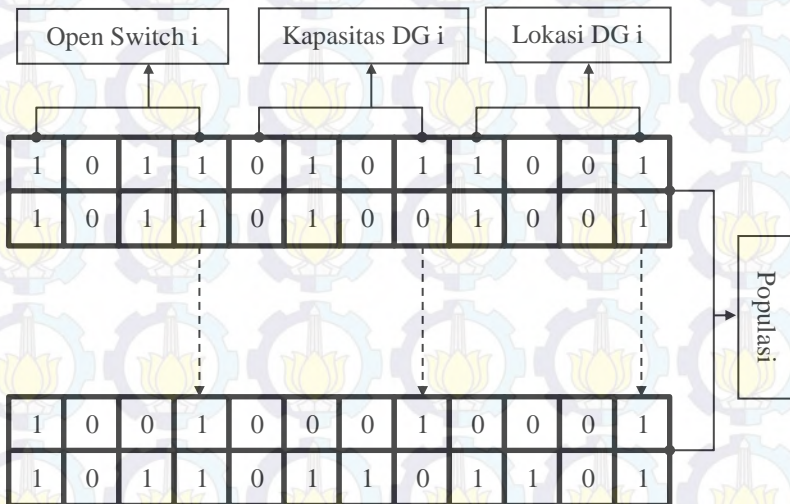
2. Evaluasi fitness atau evaluasi setiap individu $f(x)$ dari masing-masing kromosom x dalam populasi.
3. Membuat populasi baru dengan mengulangi langkah-langkah berikut sampai populasi baru selesai.

- [a] [Seleksi] Pilih dua kromosom induk dari populasi sesuai dengan kebugaran mereka (baik kebugaran, semakin besar kesempatan untuk dipilih).
- [b] [Crossover] Dengan probabilitas crossover, induk crossover membentuk keturunan baru (anak-anak). Jika tidak ada crossover dilakukan, keturunan adalah Salinan dari orang tua.

- [c] [Mutasi] Dengan probabilitas mutasi, bermutasi keturunan baru pada setiap lokus (posisi dalam kromosom).
 - [d] [Reproduksi] Menempatkan keturunan baru pada populasi baru.
4. Gunakan populasi yang dihasilkan individu baru untuk menjalankan proses selanjutnya.
 5. Jika kondisi akhir terpenuhi, berhenti, dan kembali solusi terbaik dalam populasi saat ini.
 6. Lanjut ke langkah 2.

3.5.2.1 Pengkodean Kromosom

Nilai kromosom yang dibangkitkan secara acak yang merepresentasikan nilai rugi daya dari rekonfigurasi dan pemilihan lokasi DG. Dalam kasus ini, nilai kromosom adalah representasi dari batasan kapasitas perubahan tegangan yang dapat dilakukan dan kapasitas daya DG. Nilai masing – masing elemen kromosom (*gen*) dibangkitkan secara acak menggunakan *software* MATLAB 2009a. Sehingga diperoleh ilustrasi representasi kromosom seperti gambar 3.19.



Gambar 3.19 Populasi awal Rekonfigurasi dan penempatan DG secara simultan dalam GA

Pengkodean kromosom pada kasus optimasi rekonfigurasi jaringan dan penentuan lokasi dan kapasitas DG ini dilakukan dengan membagi nilai biner hasil acak dari GA ke dalam variable – variable yang telah ditentukan. Kemudian dalam variable tersebut juga dibagi kembali untuk dikodekan berdasarkan permasalahannya. Untuk rekonfigurasi, pengkodean setiap variable dilakukan dalam sebuah nilai yang berisi 5 bit. Sedangkan untuk penentuan lokasi dan kapasitas DG, pengkodean setiap variable dilakukan dalam sebuah nilai yang berisi 13 bit dimana 8 bit untuk kapasitas DG dan 5 bit lokasi DG. Sehingga pada kasus optimasi rekonfigurasi jaringan dan penentuan lokasi dan kapasitas DG ini dalam satu buah kromosom terdapat 51 bit gen yang terdiri dari 5 open switch dikali 5 bit ditambah dengan 3 DG dikali 13 bit.

3.5.2.2 Pembangkitan Populasi Awal

Unit DG yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan DG dengan kapasitas maksimum 1 MW. Sehingga nilai *biner* yang akan dikodekan dalam proses selanjutnya akan dikembalikan dalam nilai MW pembangkitan DG sesuai batas kapasitasnya tersebut. Beberapa parameter yang digunakan untuk membangkitkan populasi awal adalah:

1. *jumDG* : Jumlah pembangkit tersebar (DG)
2. *jumRek* : Jumlah *tie switch*
3. *nsbit* : Jumlah *gen* dalam satu individu atau kromosom
4. *popsiz*e : Jumlah individu dalam populasi
5. *MaxGen*: Jumlah generasi maksimal

Membangkitkan populasi secara acak, dimana lebar kromosom disesuaikan dengan jumlah objek yang akan dikontrol. Dalam kasus ini, objek yang dikontrol adalah lima buah *tie switch* dan tiga buah DG yang terletak pada sistem *IEEE 33 bus*. Sedangkan kromosom yang dibangkitkan dalam satu populasi akan menentukan banyaknya variasi kombinatorial yang akan diselesaikan oleh GA.

3.5.2.3 Evaluasi Individu

Perhitungan *fitness* masing-masing individu dilakukan berdasarkan fungsi-fungsi tujuan yang ingin dicapai dalam rekonfigurasi dan penentuan lokasi optimal DG ini. Nilai *fitness* didapat dari proses yang akan terus berulang untuk mendapatkan kromosom terbaik. Kromosom

terbaik inilah yang direpresentasikan dalam bentuk nilai fitness. Nilai fitness dalam kasus ini yaitu :

$$\text{fitness} = \text{sum}(\text{Rugi daya saluran}) \quad (3.15)$$

$$\text{minimize } f(x) = \sum_{i=1}^n P_{\text{loss},ij} \quad (3.16)$$

3.5.2.4 Seleksi

Seleksi dilakukan untuk memberikan kesempatan reproduksi yang lebih baik bagi individu yang paling baik (berada pada *front* pertama dengan *crowding distance* terbesar). Seleksi akan menentukan individu-individu mana saja yang akan terpilih untuk melakukan pindah silang (*crossover*) dan bagaimana anak (*offspring*) akan terbentuk dari individu-individu yang terpilih tersebut.

Langkah pertama yang dilakukan pada seleksi ini adalah pencarian semua individu yang berada pada *front* pertama. Pada GA, seleksi hanya dilakukan untuk individu-individu tersebut (kumpulan individu yang merupakan solusi utama). Kemudian, masing-masing individu dalam suatu wadah seleksi akan menerima probabilitas reproduksi sesuai dengan nilai objektif individu tersebut, yang dapat dibandingkan dengan melihat nilai *crowding distance* antar individu dalam *front* pertama. Nilai *crowding distance* setiap individu akan dibandingkan dengan nilai *crowding distance* dari semua individu dalam wadah seleksi tersebut.

Dari beberapa metode seleksi yang ada, pada penelitian ini di gunakan metode seleksi *roulette wheel* yang merupakan metode seleksi yang paling sederhana. Metode ini menirukan permainan roda *roulette*, masing-masing kromosom menempati potongan lingkaran pada roda rolet secara proporsional sesuai dengan nilai perbandingan *crowding distance* tersebut. Kromosom yang memiliki nilai lebih besar menempati potongan lingkaran yang lebih besar dibandingkan dengan kromosom yang memiliki lebih rendah. Sehingga kemungkinan akan ada kromosom yang terpilih lebih dari satu kali. Kromosom yang terbaik akan mampu untuk berkembang lebih banyak lagi, sedangkan kromosom yang jelek akan mati.

Algoritma seleksi menggunakan dalam roda *roulette* dapat dilakukan dengan menentukan interval nilai kumulatif *crowding distance* dari masing-masing individu, dibagi nilai total *crowding distance* dari semua individu dalam *front* pertama pada interval tersebut. Kromosom akan terpilih jika bilangan *random* yang dibangkitkan berada dalam interval kumulatifnya.

Kromosom – kromosom yang bagus tersebut akan diseleksi untuk menjadi satu pasang orang tua. Setelah terseleksi maka kromosom yang terpilih menjadi orang tua akan melanjutkan proses pindah silang. Pada metode GA, kromosom yang tidak terpilih akan dibuang dari proses pencarian solusi.

3.5.2.5 Pindah Silang

Pindah silang (*crossover*) merupakan operator genetik yang paling utama dalam pembentukan individu baru. Tujuan utama pindah silang adalah untuk mengatur ulang informasi dari dua individu yang berbeda dan membuat individu baru. Dalam penelitian ini, metode pindah silang yang digunakan adalah *one-point crossover*, yaitu pindah silang titik potong tunggal. Metode ini dipilih karena panjang kromosom yang akan mengalami pindah silang tidak terlalu besar. Pemilihan titik potong dilakukan secara random dan probabilitas pindah silang yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0,95.

3.5.2.6 Mutasi

Mutasi dilakukan untuk menghadirkan beberapa penyebaran tiruan dalam populasi untuk mencegah terjadinya konvergensi dini pada titik optimum lokal. Operator mutasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah *binary mutation*. Mutasi biner merupakan proses mutasi yang sangat sederhana. Proses ini hanya dilakukan dengan mengubah nilai gen dari 0 menjadi 1 ataupun sebaliknya.

Nilai probabilitas mutasi yang dipilih dalam penelitian ini sangat kecil, yaitu hanya sebesar ($1/n_{Gen}$). Probabilitas mutasi yang kecil ini bertujuan agar populasi asli yang telah terbentuk tidak kehilangan sifat-sifat genetisnya, namun tetap memberikan kemungkinan yang cukup untuk memunculkan individu baru yang memiliki kemungkinan penyelesaian permasalahan dengan lebih baik daripada individu yang telah ada.

Pemunculan individu baru dalam populasi juga dibatasi oleh faktor teknis tertentu, seperti kemampuan pembebanan sistem dan keseimbangan aliran daya. Jika satu batasan teknis dilanggar atau penambahan sejumlah DG melebihi level maksimum dari penetrasi DG, maka solusi baru yang terbentuk akibat proses mutasi ini akan terpinalti atau tidak akan dijadikan solusi terbaik dari permasalahan Sehingga Genetic Algorithm akan membangkitkan populasi baru, untuk menggantikan populasi lama. Kromosom terbaik dari seluruh proses

tersebut akan muncul setelah iterasi maksimum terpenuhi atau telah didapatkan nilai total rugi daya aktif yang lebih baik dan memenuhi batasan yang ditentukan. Dalam kasus ini, iterasi maksimumnya adalah 100 generasi.

3.6 Konstrains 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.



BAB 4

SIMULASI DAN ANALISIS

Pada bab ini akan dibahas mengenai hasil simulasi rekonfigurasi jaringan dan penentuan lokasi optimal dari DG pada sistem IEEE 33 bus. Pada awalnya akan dianalisa aliran daya (*load flow*) yang terjadi pada masing – masing sistem tersebut tanpa adanya rekonfigurasi dan pemasangan DG. Analisa aliran daya dilakukan dengan metode *backward – forward sweep*.

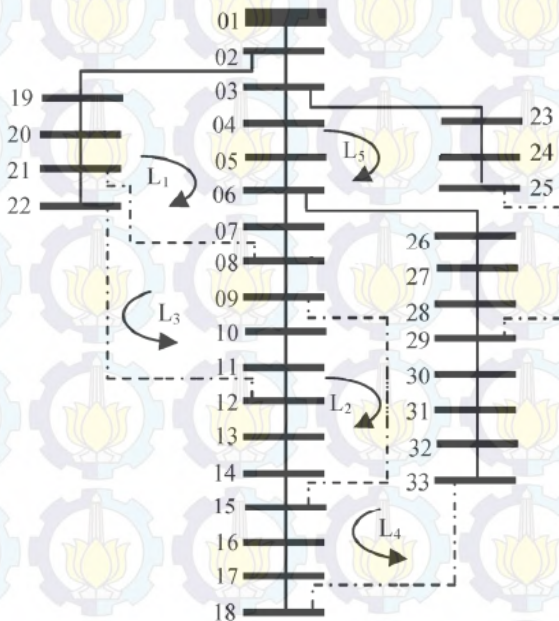
Parameter sistem yang diperhatikan dalam simulasi tersebut adalah rugi – rugi jaringan total dan nilai tegangan dari masing – masing bus dalam sistem tersebut. Kemudian ketika dilakukan perubahan konfigurasi jaringan dan pemasangan unit DG. Parameter yang dievaluasi disesuaikan dengan fungsi tujuan penelitian, yaitu rekonfigurasi jaringan dan lokasi penempatan DG untuk mendapatkan total rugi daya terkecil. Selanjutnya dilakukan penentuan lokasi DG serta perubahan konfigurasi jaringan dengan mengubah kombinasi dari switch secara bertahap seperti proses yang telah ditentukan dalam diagram alir penelitian dalam bab sebelumnya.

Pada tugas akhir ini, simulasi dibagi menjadi empat kasus/skenario yang digunakan untuk membandingkan hasil optimasi setiap kasus tersebut. Hasil yang didapatkan dari simulasi meliputi kondisi sistem dasar (kasus ke-1), kondisi sistem setelah mengubah kombinasi dari konfigurasi saluran (kasus ke-2) kemudian kondisi sistem dengan adanya pemasangan DG (kasus ke-3), serta dengan mengubah konfigurasi jaringan dan penentuan lokasi DG secara simultan (kasus ke-4), dimana dalam penelitian ini dilakukan pembatasan jumlah DG sebanyak tiga unit.

Pada proses penempatan DG dan rekonfigurasi jaringan yang dilakukan oleh GA, dilakukan evaluasi fungsi objektif untuk mendapatkan kombinasi konfigurasi jaringan dan lokasi yang menghasilkan fitness terbaik. Kemudian dari semua hasil yang didapat tersebut akan dianalisa konfigurasi jaringan dan lokasi DG yang paling signifikan memberikan penurunan rugi – rugi total jaringan. Hasil tersebut akan menjadi keputusan akhir perencanaan rekonfigurasi jaringan dan penempatan DG yang akan diterapkan.

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.



Gambar 4.1 *Single Line Diagram* sistem IEEE 33 bus[4]

Hasil tegangan yang diperoleh dari pengujian akan terus dievaluasi dengan bertambahnya injeksi daya yang dilakukan oleh DG dan juga perubahan konfigurasi jaringan. Hasil konfigurasi jaringan dan

penempatan DG yang menyebabkan nilai tegangan tidak berada dalam keadaan normal akan diabaikan.

Pada data IEEE 33 bus yang terdapat pada Lampiran 1 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. Adapun diagram satu garis (*single line diagram*) sistem IEEE 33 bus sebelum adanya penambahan unit pembangkit tersebar dapat dilihat pada Gambar 4.1.

4.1 Hasil Simulasi pada Kasus ke-1 (Sistem Dasar)

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

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

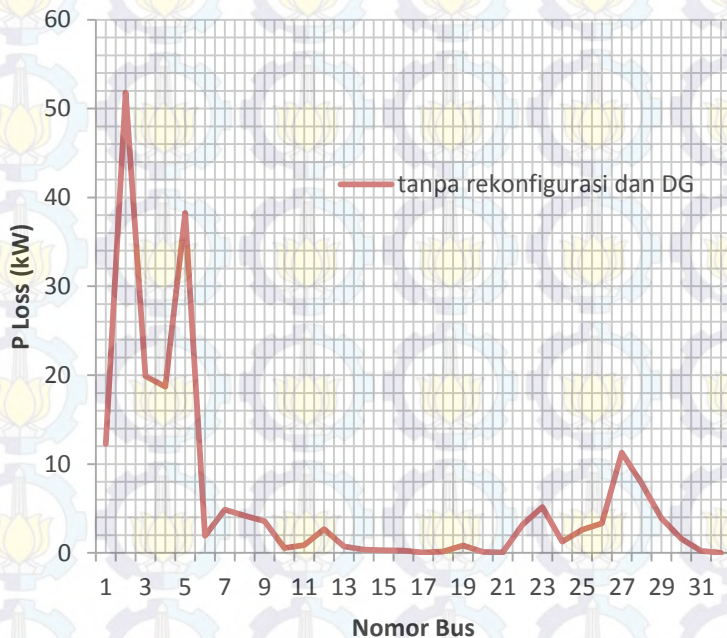
Bus Kirim	Bus Terima	Arus		Rugi Daya	
		Amp	Derajat	kW	kVAR
1	2	364,36	-31,86	12,2405	6,2398
2	3	324,12	-32,65	51,7917	26,3791
3	4	233,18	-35,38	19,9007	10,1352
4	5	221,51	-35,48	18,6992	9,5238
5	6	216,11	-35,71	38,2492	33,0185
6	7	101,13	-25,6	1,9146	6,3288
7	8	82,47	-25,36	4,8586	1,5989
8	9	63,71	-24,98	4,1807	3,0036
9	10	58,4	-25,57	3,5611	2,5241
10	11	53,07	-26,27	0,5537	0,1831

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

Bus Kirim	Bus Terima	Arus		Rugi Daya	
		Amp	Derajat	kW	kVAR
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
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 Rugi Daya				202,7	135,143

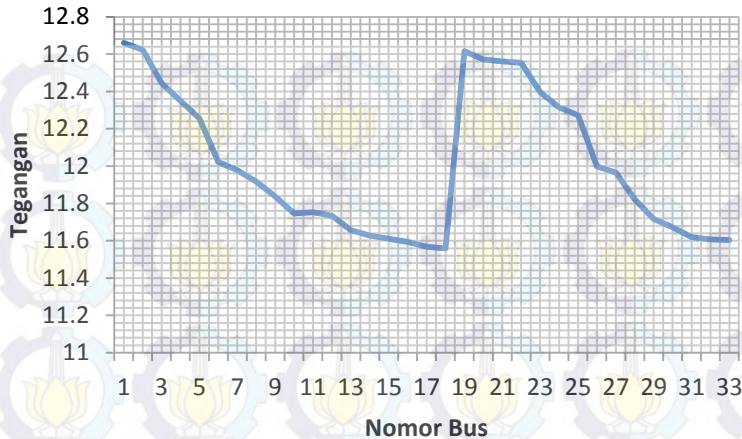
Simulasi di atas dilakukan pada kondisi pembebanan sistem seimbang dan tanpa dilakukan rekonfigurasi jaringan dan pemasangan

unit pembangkit tersebar (DG). Hasil simulasi aliran daya pada sistem IEEE 33 bus tersebut menunjukkan nilai rugi daya total jaringan yang relatif tinggi. Total rugi daya nyata yang dihasilkan mencapai nilai 202,7 kW, begitu juga dengan total rugi daya reaktifnya yang mencapai 135,143 kVAR. Nilai total rugi daya pada jaringan ini berusaha dikurangi dengan mengubah konfigurasi jaringan terbaik dan dengan melakukan pemasangan DG yang ditempatkan pada lokasi yang tepat sehingga rugi daya sistem dapat diminimalkan secara optimal..



Gambar 4.2 Grafik Rugi Daya Nyata pada Kasus ke-1

Gambar 4.2 menunjukkan rugi daya terbesar terdapat pada saluran bus-1 hingga bus-5. Hal ini disebabkan karena arus yang melewati bus – bus tersebut cukup besar sehingga rugi dayanya pun besar.



Gambar 4.3 Grafik Tegangan Bus pada Kasus ke-1

Gambar 4.3 menunjukkan hasil tegangan pada setiap bus dimana pada sistem tersebut belum dilakukan optimasi rekonfigurasi jaringan dan penentuan lokasi DG. Berdasarkan hasil tegangan tersebut dapat diketahui bahwa pada sistem tersebut beberapa bus berada pada kondisi marjinal. Selain itu, dari hasil tegangan tersebut diketahui bahwa pada jaringan distribusi radial ini diperoleh total rugi daya sebesar 202,7 kW.

4.2 Hasil Simulasi pada Kasus ke-2 (Rekonfigurasi Jaringan)

Dari data bus dan parameter saluran sistem IEEE 33 bus di atas, sehingga didapatkan hasil *loadflow* sebagai berikut.

Tabel 4.2 Hasil *running loadflow* setelah dilakukan rekonfigurasi

Bus Kirim	Bus Terima	Arus		Rugi Daya	
		Ampere	Derajat	kW	kVAR
1	2	358,8944	-31,9575	11,8758	6,0538
2	19	117,3901	-25,8704	2,26	2,1566

Tabel 4.2 Hasil *running loadflow* setelah dilakukan rekonfigurasi jaringan (lanjutan)

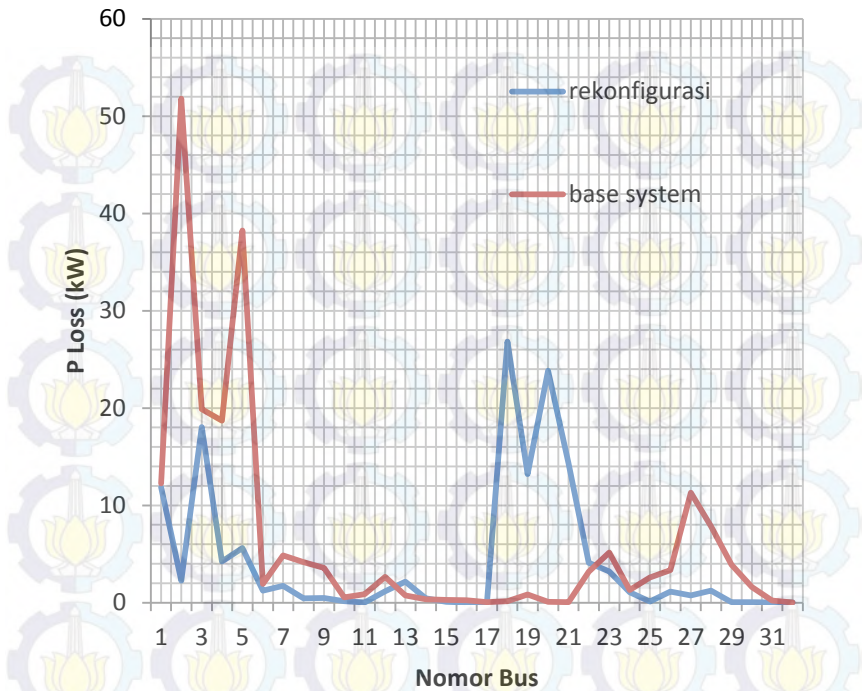
Bus Kirim	Bus Terima	Arus		Rugi Daya	
		Ampere	Derajat	kW	kVAR
19	20	109,5766	-26,0049	18,061	16,2743
20	21	101,628	-26,1408	4,2294	4,941
21	8	53,009	-23,8129	5,6199	5,6199
8	9	34,711	-21,9969	1,241	0,8916
9	15	29,5105	-22,4954	1,7417	1,7417
15	16	24,6054	-24,9647	0,4518	0,33
16	17	19,3867	-26,483	0,4845	0,6468
17	18	14,1743	-29,0934	0,1471	0,1153
18	33	6,0137	-34,7125	0,0181	0,0181
21	22	40,7468	-29,514	1,177	1,5562
22	12	32,7665	-30,745	2,1473	2,1473
12	13	17,5757	-33,2271	0,4535	0,3568
13	14	11,8703	-34,3478	0,0763	0,1004
12	11	9,5417	-26,0871	0,0341	0,0113
11	10	5,1893	-19,0591	0,0053	0,0018
2	3	233,2701	-35,0564	26,8266	13,6636
3	23	171,1484	-38,5639	13,2164	9,0307
23	24	162,9699	-39,0527	23,8502	18,8331
24	25	126,3009	-43,1574	14,2929	11,1839
25	29	90,4122	-50,6845	4,0872	4,0872
29	30	79,6927	-53,6211	3,2231	1,6417
30	31	33,3987	-25,0253	1,0869	1,0742
31	32	19,5183	-25,2184	0,1183	0,1379
3	4	55,4359	-25,7751	1,1248	0,5728

Tabel 4.2 Hasil *running loadflow* setelah dilakukan rekonfigurasi (lanjutan)

Bus Kirim	Bus Terima	Arus		Rugi Daya	
		Ampere	Derajat	kW	kVAR
4	5	44,0083	-23,7265	0,7381	0,3759
5	6	38,6288	-23,3435	1,2221	1,055
6	7	18,0244	-26,5708	0,0608	0,201
6	26	15,5678	-21,2236	0,0492	0,0251
26	27	10,3324	-20,5319	0,0303	0,0154
27	28	5,1003	-18,418	0,0275	0,0243
Total Rugi Daya				139,9782	104,8847

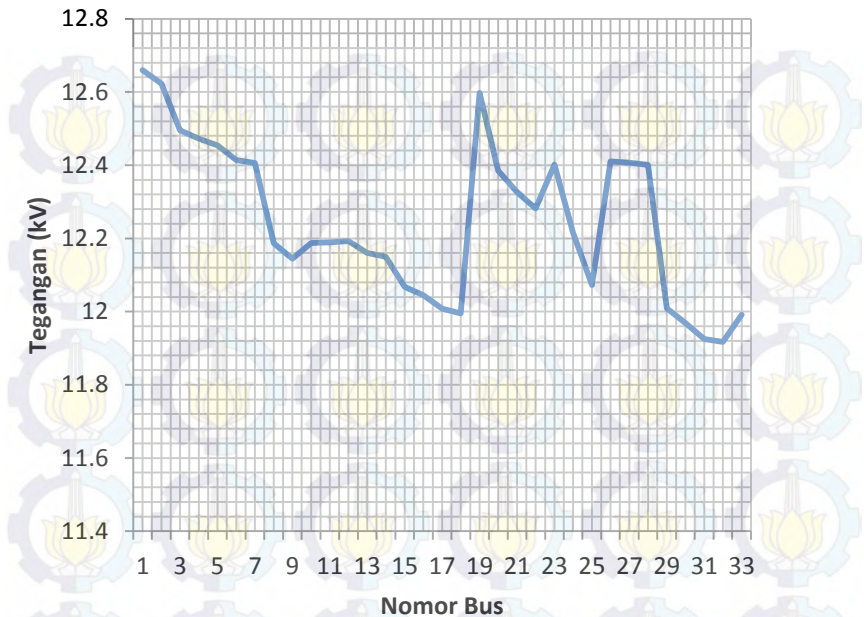
Perubahan konfigurasi jaringan pada simulasi di atas menunjukkan pengurangan total rugi daya yang cukup signifikan terhadap total rugi daya pada sistem sebelumnya, sehingga daya yang harus didistribusikan menjadi lebih efisien. Hal ini disebabkan karena perubahan konfigurasi dengan cara menutup tie switch dan membuka switch lainnya dalam satu *loop*-nya sehingga tetap memperhatikan tipe jaringannya yaitu radial maka didapatkan kombinasi terbaik yang menyebabkan pendistribusian daya menjadi lebih baik sehingga rugi daya yang terjadi dapat diminimalisir.

Total rugi daya nyata yang dihasilkan dari simulasi ini sebesar 139,9782 kW dan rugi daya reaktif sebesar 104,8847 kVAR. Hal ini menunjukkan penurunan total rugi daya dari kasus sebelumnya. Penurunan total rugi daya yang dihasilkan pada pengujian ini sebesar 62,7218 kW.



Gambar 4.4 Grafik Perbandingan Rugi Daya Aktif pada Kasus ke-1 dan ke-2

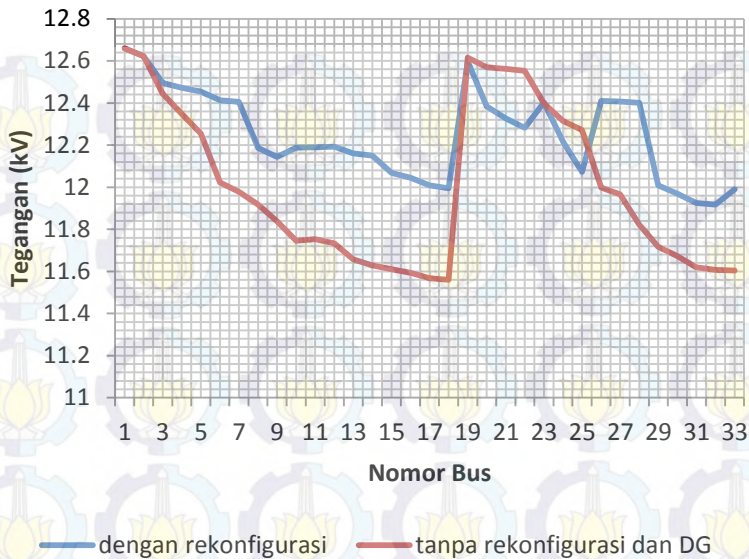
Gambar 4.4 menunjukkan hasil perbandingan rugi daya aktif yang terjadi pada sistem sebelum mengalami rekonfigurasi dan setelah dilakukan rekonfigurasi. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa terjadi penurunan rugi daya nyata pada beberapa bus dan juga terdapat kenaikan rugi daya nyata pada bus yang lain. Hal ini disebabkan perubahan konfigurasi jaringan menyebabkan arah aliran daya dari sumber menuju beban menjadi berubah sehingga terjadi perbedaan nilai rugi daya antara sebelum dan sesudah dilakukan rekonfigurasi. Selain itu, setelah dilakukan rekonfigurasi jaringan, total rugi daya yang dialami sistem mengalami penurunan yang cukup signifikan.



Gambar 4.5 Grafik Tegangan Bus pada Kasus ke-2

Tegangan masing-masing bus masih berada dalam kondisi normal yaitu antara 0,95 hingga 1,05 p.u. Sehingga solusi rekonfigurasi jaringan ini tidak akan mengganggu kestabilan sistem, kondisi sistem tersebut masih dapat dikategorikan stabil. Hal ini dapat ditunjukkan pada Gambar 4.5 di atas.

Setelah dibandingkan dengan tegangan bus yang dihasilkan dari *running loadflow* pada persoalan sebelumnya yaitu sistem dalam kondisi tanpa rekonfigurasi dan pemasangan DG dengan hasil tegangan bus pada sistem yang telah dilakukan rekonfigurasi dapat diketahui peningkatan profil tegangan yang cukup signifikan seperti pada Gambar 4.6.

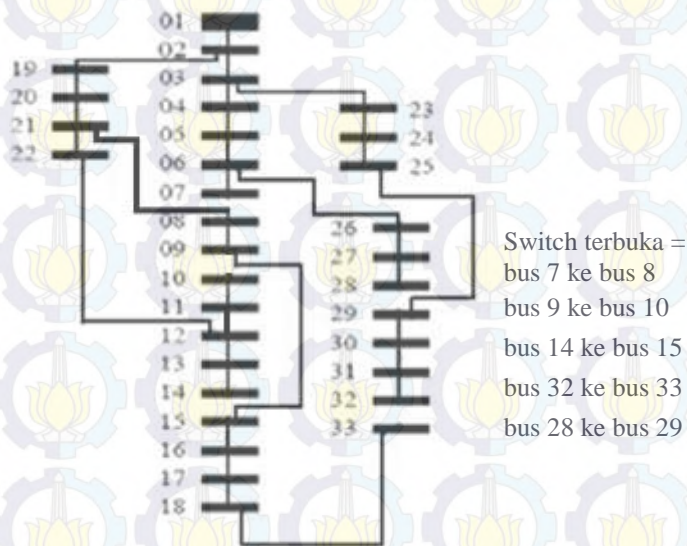


Gambar 4.6 Perbandingan Grafik Tegangan Bus pada Kasus ke-1 dan ke-2

Dari hasil *running loadflow* yang telah dioptimasi menggunakan GA untuk kasus rekonfigurasi jaringan ini diperoleh individu terbaik yang memiliki nilai fitness terkecil setelah dilakukan generasi sebanyak 100 kali sehingga individu ini dijadikan sebagai solusi terbaik. Individu tersebut merupakan representasi dari variable tie switch yang dibuka sehingga didapatkan konfigurasi jaringan yang ditunjukkan pada Gambar 4.7.

Individu yang menghasilkan solusi terbaik dari optimasi rekonfigurasi jaringan yang menghasilkan rugi daya terkecil ini diperoleh dengan cara membandingkan setiap individu yang dalam suatu populasi. Karena permasalahan yang diharapkan adalah minimasi maka individu yang memiliki nilai fitness terkecil yang akan disimpan nilainya pada setiap iterasi, kemudian pada iterasi selanjutnya individu dengan nilai fitness terkecil akan dibandingkan dengan nilai fitness individu sebelumnya. Jika individu pada iterasi +1 lebih besar dari iterasi sebelumnya maka pada itersai tersebut diambil nilai individu pada

iterasi sebelumnya dan jika iterasi +1 lebih kecil dari iterasi sebelumnya maka individu pada iterasi tersebut yang dijadikan solusi terbaik hingga pada iterasi ke-n nialinya sama maka individu yang menghasilkan solusi tersebut dikatakan solusi yang konvergen atau optimal.



Gambar 4.7 Hasil Rekonfigurasi Jaringan

4.3 Hasil Simulasi pada Kasus ke-3 (Penentuan Lokasi DG)

Minimisasi rugi daya dapat dilakukan dengan berbagai cara. Cara yang umum dilakukan selain melakukan rekonfigurasi jaringan 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 secara bertahap yakni dengan memasang satu DG hingga tiga DG yang selanjutnya hasilnya akan dibandingkan. Pemodelan DG dapat diabaikan sehingga pada simulasi ini DG yang disimulasikan hanya dibatasi oleh kapasitas yang dapat dibangkitkan yaitu maksimal 1 MW.

Tabel 4.3 Hasil *running loadflow* 1 DG

Bus Kirim	Bus Terima	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
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

Tabel 4.3 Hasil *running loadflow* 1 DG (lanjutan)

Bus Kirim	Bus Terima	Arus		Rugi Daya	
		Ampere	Derajat	kW	kVAR
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

Bus Kirim	Bus Terima	Arus		Rugi Daya	
		Ampere	Derajat	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

Tabel 4.5 Hasil *running loadflow* 2 DG (lanjutan)

Bus Kirim	Bus Terima	Arus		Rugi Daya	
		Ampere	Derajat	kW	kVAR
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
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 Rugi Daya				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

Bus Kirim	Bus Terima	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
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

Tabel 4.7 Hasil *running loadflow* 3 DG (lanjutan)

Bus Kirim	Bus Terima	Arus		Rugi Daya	
		Ampere	Derajat	kW	kVAR
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

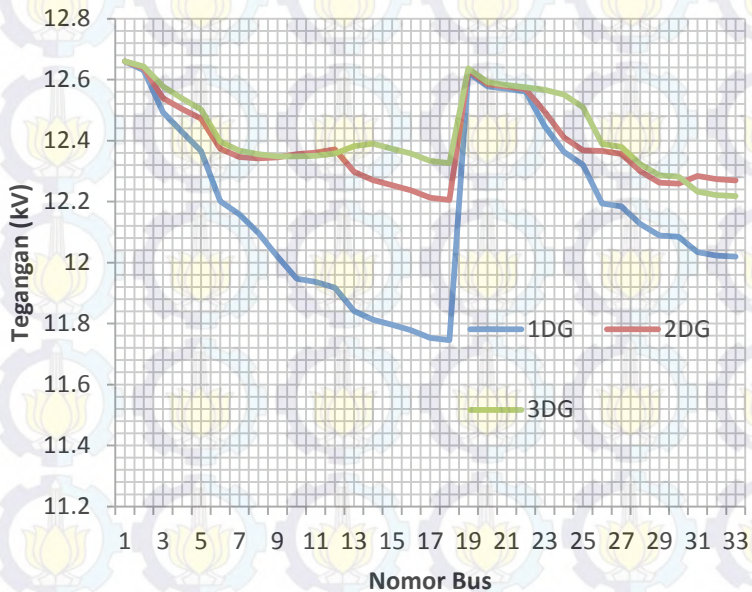
No.	Lokasi (Nomor bus)	Kapasitas (MW)
1	14	0,82
2	24	0,94
3	30	0,95

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. Hasil *running 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 129,2234.

Pada simulasi penempatan 2 DG diperoleh hasil rugi daya sebesar 87,6092 kW dengan lokasi DG pada bus 31 dan 12 dengan kapasitas masing – masing DG sebesar 950 kW. Penurunan nilai rugi daya dari 1 DG ke 2 DG ini cukup signifikan yakni sebesar 41,6142 kW. Sama halnya pada simulasi 1 DG, pada simulasi 2 DG ini Hasil *running 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 87,6092.

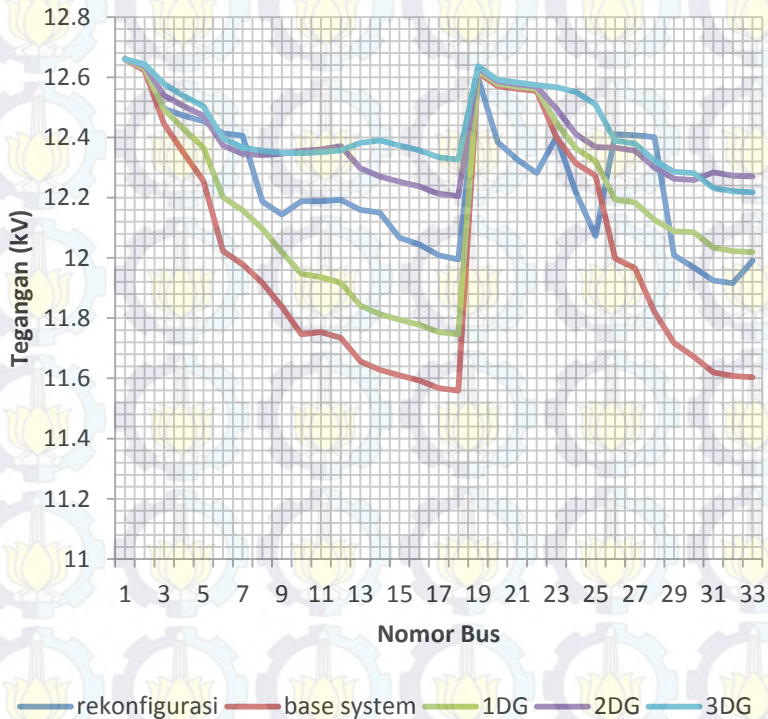
Sedangkan pada simulasi penempatan 3 DG diperoleh hasil rugi daya sebesar 72,33 kW dengan lokasi DG 1 pada bus 14 dengan kapasitas sebesar 820 kW, lokasi DG 2 pada bus 24 dengan kapasitas sebesar 940 kW dan lokasi DG 3 pada bus 30 dengan kapasitas sebesar 950 kW. Penurunan nilai rugi daya dari 2 DG ke 3 DG ini cukup signifikan yakni sebesar 15,2792 kW. Sama halnya pada simulasi 1 dan 2 DG, pada simulasi 3 DG ini Hasil running 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.



Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Tegangan Bus pada Penempatan 1 unit DG hingga 3 unit DG

Gambar di atas menunjukkan hasil perbandingan tegangan bus dari simulasi penempatan DG berdasarkan jumlah DG yang dipasang.

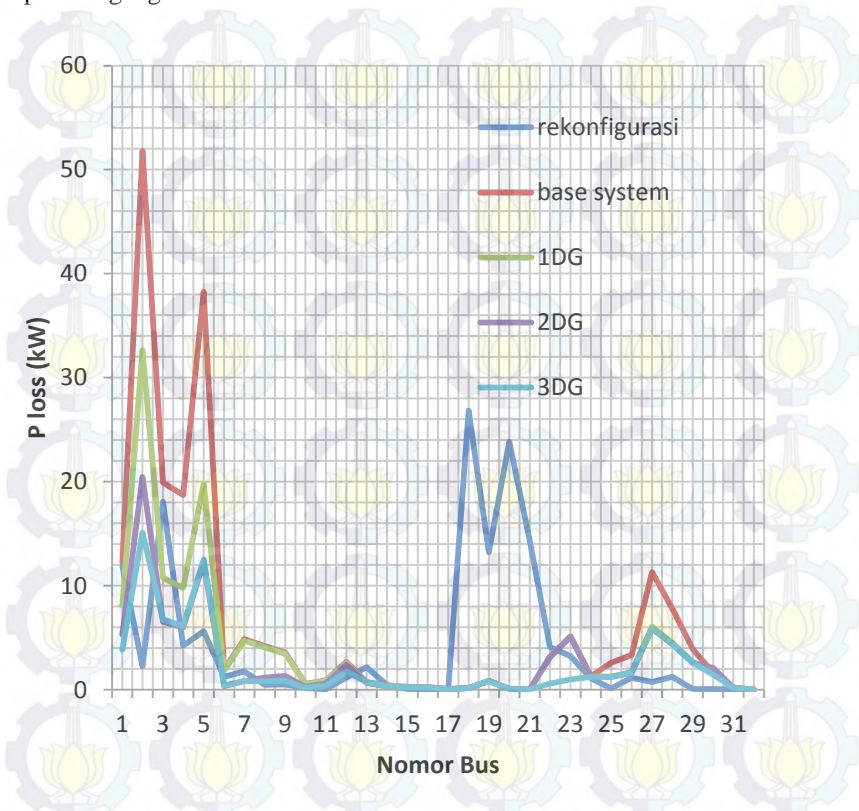
Hasil simulasi menunjukkan bahwa semakin banyak DG yang dipasang pada lokasi yang tepat dapat menghasilkan peningkatan profil tegangan bus. Dari gambar 4.8 juga dapat diketahui bahwa pemasangan DG yang cukup berdampak pada peningkatan profil tegangan yaitu ketika dipasang 2 unit DG. Hal ini dapat disebabkan oleh daya yang diinjeksikan oleh satu unit DG belum mampu menutupi kebutuhan beban secara signifikan.



Gambar 4.9 Grafik Perbandingan Tegangan Bus pada Kasus 1, 2 dan 3.

Pada gambar 4.9, dapat diketahui bahwa rekonfigurasi jaringan maupun dengan memasang DG pada lokasi yang tepat dapat memperbaiki profil tegangan bus. Berdasarkan gambar tersebut

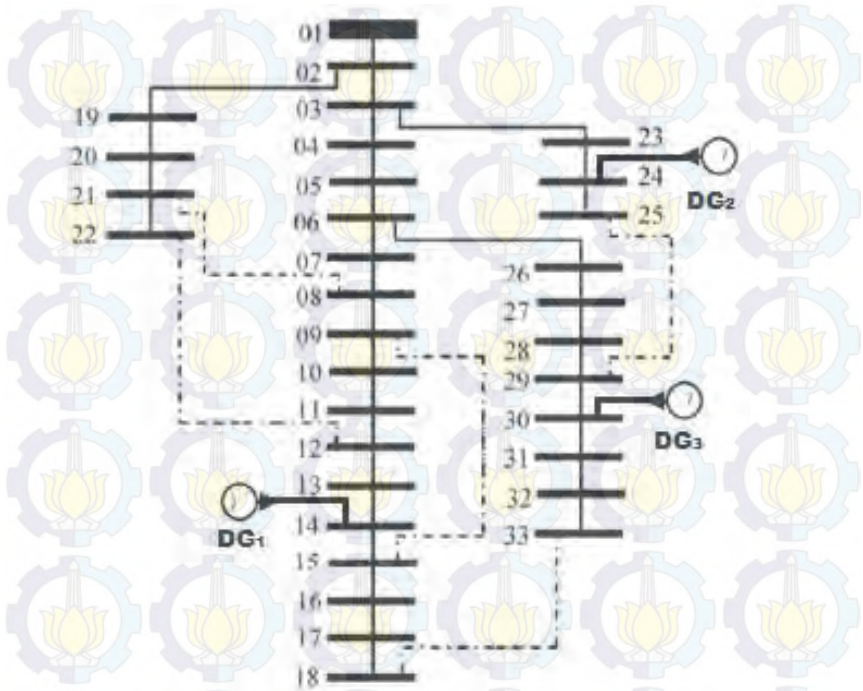
diketahui bahwa setiap kasus yang diujikan menghasilkan perbaikan profil tegangan sistem.



Gambar 4.10 Grafik Perbandingan Rugi Daya pada Kasus 1, 2 dan 3

Pemasangan DG pada lokasi yang tepat dalam sistem distribusi dapat menghasilkan penurunan rugi daya. Hal ini terbukti dari hasil simulasi pada Gambar 4.10 dimana dengan melakukan pemasangan DG pada lokasi yang tepat dapat menurunkan nilai rugi daya pada setiap bus. Selain itu, semakin banyak DG yang dipasang dapat mengurangi rugi daya. Dari hasil simulasi, dapat diketahui bahwa hasil rugi daya yang terjadi sebesar 72,33 kW dengan lokasi DG 1 pada bus 14 dengan kapasitas sebesar 820 kW, lokasi DG 2 pada bus 24 dengan kapasitas

sebesar 940 kw dan lokasi DG 3 pada bus 30 dengan kapasitas sebesar 950 kW.



Gambar 4.11 Lokasi Penempatan DG

4.4 Hasil Simulasi pada Kasus ke-4 (Rekonfigurasi Jaringan dan Penentuan Lokasi DG)

Rugi daya yang terjadi dalam suatu sistem merupakan salah satu hal yang harus diperhatikan dalam proses pendistribusian listrik karena semakin besar rugi – rugi yang terjadi maka dalam sistem tersebut dikatakan tidak handal dan banyak kerugian yang dialami. Untuk itu, berbagai upaya dilakukan untuk meminimalkan rugi daya seperti rekonfigurasi jaringan, pemasangan DG maupun pemasangan kapasitor. Pada simulasi ini akan dibahas mengenai minimisasi rugi daya yang dilakukan dengan cara rekonfigurasi jaringan dan pemasangan DG pada lokasi yang optimal yang dilakukan secara simultan. Berikut hasil

simulasi rekonfigurasi jaringan dan penentuan lokasi DG secara simultan.

Tabel 4.9 Hasil *running loadflow* Rekonfigurasi Jaringan dan Penentuan lokasi DG

Bus Kirim	Bus Terima	Arus		Rugi Daya	
		Ampere	Derajat	kW	kVAR
1	2	197,2439	-67,2421	3,5871	1,8285
2	3	169,1932	-76,3897	14,1128	7,1881
3	4	68,7558	-51,2753	1,7302	0,8812
4	5	57,944	-54,791	1,2795	0,6517
5	6	53,3131	-57,5552	2,3278	2,0095
6	7	39,0879	-76,2455	0,286	0,9454
7	8	30,8688	-102,8075	0,6807	0,224
8	9	32,0078	-135,928	1,0552	0,7581
9	10	34,7071	-143,3212	1,2576	0,8914
10	11	37,9057	-149,5367	0,2825	0,0934
11	12	40,055	-155,0712	0,6007	0,1986
12	13	31,9153	-23,6092	1,4953	1,1765
13	14	26,3614	-22,4294	0,3764	0,4954
14	15	15,0718	-14,5515	0,1343	0,1195
15	16	10,2087	-17,4692	0,0778	0,0568
16	17	5,1062	-17,4836	0,0336	0,0449
17	18	7,7827	-23,9714	3,2047	2,5529
2	19	31,2728	-23,9784	0,1604	0,1531
19	20	23,4796	-23,9999	0,8293	0,7472
20	21	15,6585	-24,0097	0,1004	0,1173
21	22	7,8317	-24,0199	0,0435	0,0575

Tabel 4.9 Hasil *running loadflow* Rekonfigurasi Jaringan dan Penentuan lokasi DG (lanjutan)

Bus Kirim	Bus Terima	Arus		Rugi Daya	
		Ampere	Derajat	kW	kVAR
3	23	108,1691	-95,5021	5,2793	3,6073
23	24	105,2454	-99,6169	9,9468	7,8544
24	25	89,5805	-76,2431	7,1901	5,6261
6	26	15,4836	-20,6873	0,0487	0,0248
26	27	10,2765	-19,9956	0,03	0,0153
29	28	5,0727	-17,8816	0,0273	0,024
25	29	72,8931	-100,1906	2,6567	2,6567
29	30	70,1538	-108,9087	2,4977	1,2722
30	31	44,4022	-155,4312	1,9211	1,8986
31	32	54,3046	-165,8697	0,9157	1,0672
32	33	5,8058	-31,5443	0,0115	0,0179
Total Rugi Daya				64,1807	45,2555

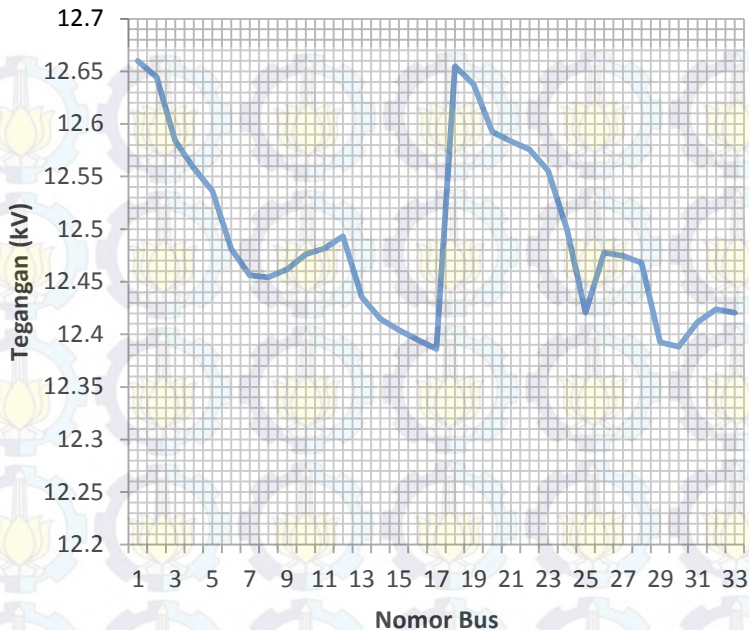
Tabel 4.10 Hasil Rekonfigurasi Jaringan dan Penentuan lokasi DG

No.	Lokasi (Nomor bus)	Kapasitas (MW)	Saluran
DG			
1	24	0,91	-
2	32	0,93	-
3	12	0,88	-
Switch terbuka			
1	-	-	20-21
2	-	-	12-22
3	-	-	9-15
4	-	-	17-18
5	-	-	28-29

Hasil simulasi rekonfigurasi dan penentuan lokasi serta kapasitas DG menunjukkan bahwa dengan melakukan rekonfigurasi jaringan dan

menempatkan DG pada lokasi dan kapasitas yang tepat dapat menghasilkan penurunan rugi daya yang cukup signifikan. Dari hasil simulasi dapat diketahui bahwa dengan system awal memiliki rugi daya yang cukup besar yaitu 202,7 kW, kemudian setelah dilakukan rekonfigurasi jaringan diperoleh rugi daya sebesar 139,9782 kW. Karena rugi daya yang dihasilkan hanya dengan merekonfigurasi jaringan tersebut masih cukup besar, maka solusi lain yaitu penentuan lokasi dan kapasitas DG dilakukan mulai dari pemasangan 1 unit DG hingga 3 unit DG. Dengan pemasangan unit DG tersebut, diperoleh penurunan rugi daya yang lebih baik, yaitu 129,2234 kW hasil pemasangan satu unit DG, 87,6092 kW hasil pemasangan dua unit DG dan 72,3 kW hasil pemasangan tiga unit DG. Berdasarkan hasil yang diperoleh pada kasus ke-3, maka dipilih pemasangan tiga unit DG dan rekonfigurasi jaringan secara simultan. Kapasitas pemasangan DG harus mempertimbangkan batasan keseimbangan daya (*power balance constraint*) agar daya yang diinjeksikan DG tidak melebihi daya yang dibutuhkan sistem. Selain itu, total kapasitas pemasangan DG dalam sistem berada pada kisaran 2/3 total pembebanan sistem[8]. Total pembebanan dari sistem yang digunakan adalah 3,715 MW, sehingga total kapasitas DG hasil simulasi pada kasus ke-3 dan ke-4 masih berada pada kisaran 2/3 total pembebanan sistem.

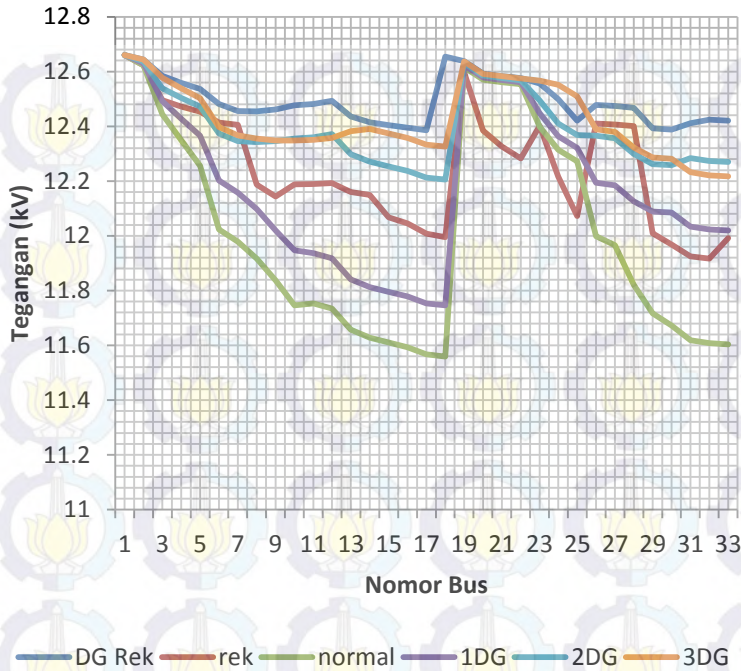
Berdasarkan hasil tersebut, dengan melakukan pemasangan DG pada lokasi yang tepat dengan kapasitas yang tepat pula dapat menurunkan total rugi daya yang cukup signifikan. Namun, agar rugi daya dapat diturunkan lagi maka perlu dilakukan rekonfigurasi jaringan dan pemasangan DG pada lokasi yang tepat. Dengan adanya solusi tersebut, diperoleh hasil penurunan rugi daya dari rugi daya pada sistem dasar sebesar 202,7 kW menjadi 64,1807 kW. Hasil yang diperoleh dari GA ini merupakan hasil yang paling optimal dalam meminimalkan total rugi daya sistem karena pada GA tersebut setiap kombinasi jaringan, lokasi dan kapasitas DG yang ditempatkan pada setiap bus menghasilkan nilai fitness terbaik sebesar 64,1807.



Gambar 4.12 Grafik Tegangan Bus pada Kasus ke-4

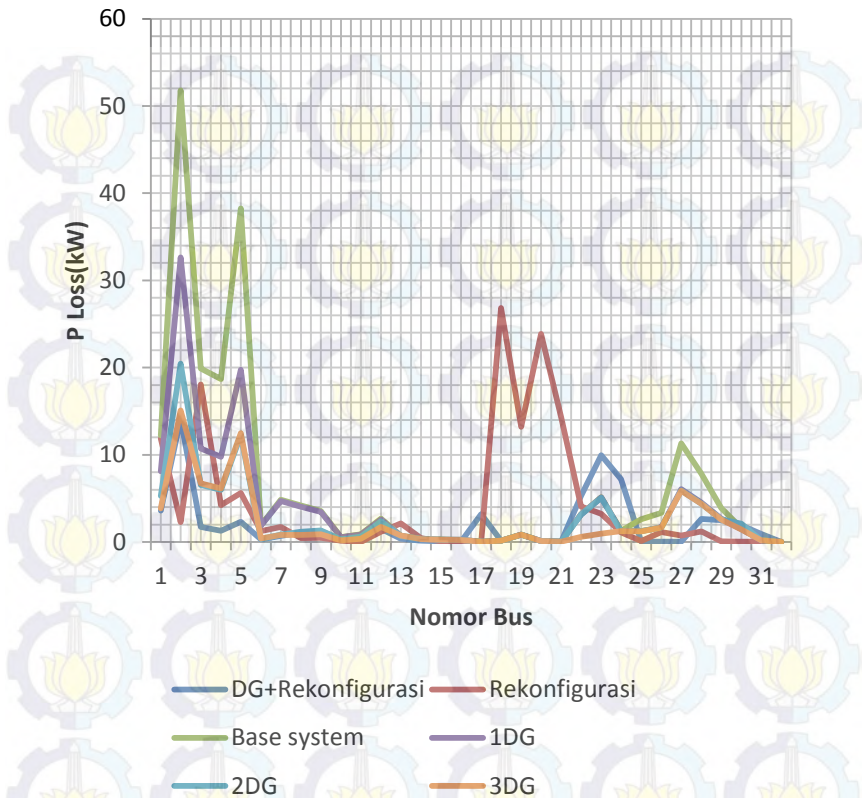
Tegangan masing-masing bus masih berada dalam kondisi normal. Sehingga solusi rekonfigurasi jaringan ini tidak akan mengganggu kestabilan sistem, kondisi sistem tersebut masih dapat dikategorikan stabil. Hal ini dapat ditunjukkan pada Gambar 4.12 di atas. Selain itu, hasil tersebut membuktikan bahwa proses optimasi berjalan dengan baik karena kondisi konstrain terpenuhi.

Setelah dibandingkan dengan tegangan bus yang dihasilkan dari *running loadflow* pada persoalan sebelumnya yaitu sistem dalam kondisi tanpa rekonfigurasi dan pemasangan DG dengan hasil tegangan bus pada sistem yang telah dilakukan rekonfigurasi dapat diketahui peningkatan profil tegangan yang cukup signifikan seperti pada Gambar 4.13.



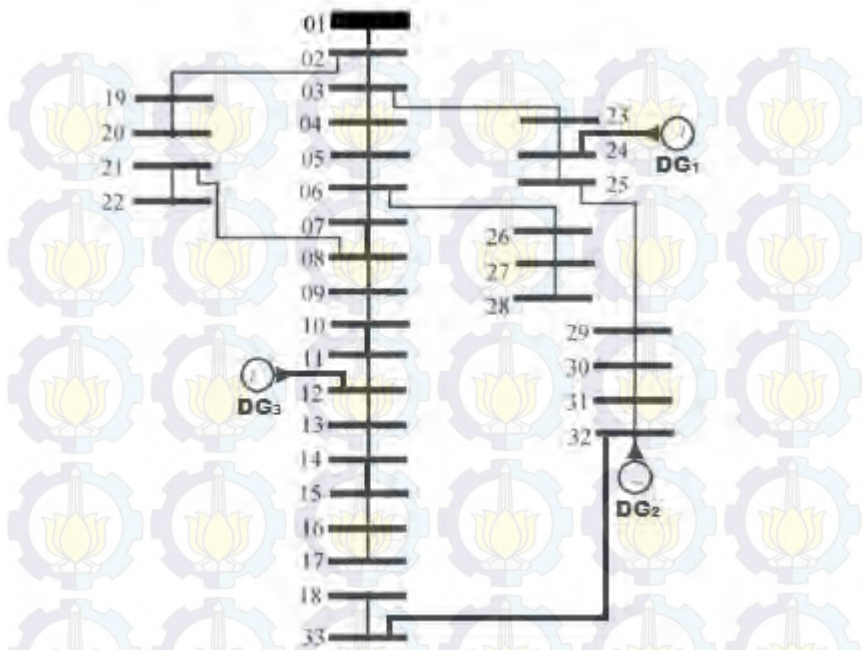
Gambar 4.13 Grafik Perbandingan Tegangan Bus pada Kasus ke-1, 2, 3 dan 4

Gambar 4.13 menunjukkan hasil perbandingan tegangan bus dari simulasi rekonfigurasi dan penempatan serta penentuan kapasitas DG berdasarkan saluran yang dibuka dan jumlah DG yang dipasang. Hasil simulasi menunjukkan bahwa dengan konfigurasi jaringan yang tepat dan dengan adanya DG yang dipasang pada lokasi yang tepat pula dapat menghasilkan peningkatan profil tegangan bus. Sehingga dapat dikatakan solusi rekonfigurasi jaringan dan penentuan lokasi serta kapasitas DG yang tepat dapat menghasilkan banyak keuntungan, yaitu salah satunya untuk memperbaiki profil tegangan.



Gambar 4.14 Grafik Perbandingan Rugi Daya pada Kasus ke-1, 2, 3 dan 4

Konfigurasi jaringan yang tepat serta pemasangan DG pada lokasi dan kapasitas yang tepat dalam sistem distribusi dapat menghasilkan penurunan rugi daya yang signifikan. Hal ini terbukti dari hasil simulasi pada gambar 4.14 dimana dengan melakukan pemasangan DG pada lokasi yang tepat dapat menurunkan nilai total rugi daya pada system tersebut. Dari hasil simulasi, dapat diketahui bahwa hasil rugi daya sebesar 64,1807 kW diperoleh dengan menentukan saluran yang harus dibuka dan ditutup serta lokasi dan kapasitas DG yang optimal sesuai gambar 4.15.



Gambar 4.15 Hasil Rekonfigurasi Jaringan dan Penempatan DG

4.5 Hasil Pengujian *Software*

Hasil simulasi optimasi yang telah ditunjukkan pada subbab sebelumnya perlu dilakukan pengujian dari program yang telah dibuat agar dapat diketahui persentase error hasil pengujian. Proses pengujian *software* dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi program pada MATLAB dan simulasi pada ETAP. Hasil pengujian *software* dapat ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 4.11 Hasil pengujian *software* Sistem Dasar

Sistem Dasar		
MATLAB	ETAP	% Err
202,7	202,67	0,0148

Tabel 4.12 Hasil pengujian *software* kasus kedua: rekonfigurasi jaringan

Rekonfigurasi		
MATLAB	ETAP	% Err
139,9782	139,97	0,0059

Tabel 4.13 Hasil pengujian *software* kasus ketiga: penempatan DG

Penempatan DG		Kapasitas DG (1 MW)	
No.	MATLAB	ETAP	% Err
1	129,2234	129,2	0,0181
2	87,6092	86,9	0,82
3	72,33	72,7	0,51

Tabel 4.14 Hasil pengujian *software* kasus keempat: rekonfigurasi jaringan dan penempatan DG


Rekonfigurasi dan Penempatan DG Simultan		
MATLAB	ETAP	% Err
64,1807	67,5	4,92

Hasil pengujian *software* menunjukkan persentase error yang kecil antara hasil simulasi pada MATLAB dengan simulasi pada ETAP. Simulasi ETAP dilakukan setelah memperoleh hasil optimasi yang dihasilkan oleh simulasi MATLAB.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Mohamed Imran, M. Kowsalya, D.P. Kothari, “A novel integration technique for optimal network reconfiguration and distributed generation placement in power distribution networks”, *ELSEVIER Electrical Power and Energy Systems* 63 (2014) 461–472.
- [2] Seyed Abbas Taher, Mohammad Hossein Karimi, “Optimal reconfiguration and DG allocation in balanced and unbalanced distribution systems”, *ELSEVIER-ASEJ Ain Shams Engineering Journal* (2014) 5, 735–749.
- [3] Utari, “Penempatan Distributed Generation Menggunakan Algoritma Genetika Untuk Mengurangi Rugi – rugi Daya dan Meningkatkan Keandalan”, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Bab 2-3, 2012.
- [4] Srinivasa Rao R, Ravindra K, Satisk K, Narasimham SVL., “Power loss minimization in distribution system using network reconfiguration in the presence of distributed generation”, *IEEE Trans Power Syst* 2013; 28 (1) : 317–33.
- [5] Priyanka Paliwal, N.P. Patidar, R.K. Nema, “Planning of grid integrated distributed generators: A review of technology, objective and techniques”, *ELSEVIER Electrical Power and Energy Systems Renewable and Sustainable Energy Reviews* 40 (2014) 557–570.
- [6] Radika Hendrik Wijaya, “Penempatan dan Penentuan Kapasitas Optimal dari Distributed Generation (DG) dengan Mempertimbangkan Maximum Loadability Menggunakan Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm-II (NSGA-II)”, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Bab 2-3,, 2012.
- [7] Fatima Binte Zia, “Coordinated Volt/Var Control in Smart Distribution System with Distributed Generators”, A thesis requirement for the degree of Master of Applied Science, Electrical and Computer Engineering University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada, 2015.
- [8] H. L. Willis, “Analytical methods and rules of thumb for modeling DG – distribution interaction,” in *Proc. IEEE Power Eng. Soc. Summer Meeting*, Jul. 2000, pp. 1643–1644.

- 
- [9] Ahmad Zakaria H., Sjamsjul Anam, Imam Robandi, “Penempatan dan Penentuan Kapasitas Optimal *Distributed Generator (DG)* Menggunakan *Artificial Bee Colony (ABC)*”, Jurnal Teknik ITS Vol. 1, No. 1, (Sept. 2012) ISSN: 2301-9271, Surabaya, September, 2012.
- [10] Sarika Khushalani, Jignesh M. Solanki, Noel N. Schulz., “Development of Three-Phase Unbalanced Power Flow Using PV and PQ Models for Distributed Generation and Study of the Impact of DG Models”, IEEE Transactions On Power Systems, Vol. 22, No. 3, August, 2007.
- [11] Nitin Singh, “Optimal Sizing and Placement of DG in a Radial Distribution Network using Sensitivity based methods”, Electrical and Instrumentation Engineering Department Thapar University, Patiala-147004, Punjab, India, July, 2014.
- [12] Manas Ranjan Nayak, “Optimal Feeder Reconfiguration of Distribution System with Distributed Generation Units using HC-ACO”, International Journal on Electrical Engineering and Informatics Volume 6, Number 1, March, 2014.
- [13] S.M. Moghaddas-Tafreshi, Elahe Mashhour, “Distributed generation modeling for power flow studies and a three-phase unbalanced power flow solution for radial distribution systems considering distributed generation”, ELSEVIER-Electric Power Systems Research 79 (2009) 680–686.
- [14] T.A. Short, "Distributed Generation," in Electric Power Distribution Handbook.: CRC Press LLC, 2004.
- [15] Suyanto, “Algoritma Genetika dalam Matlab”, ANDI Offset, Yogyakarta, 2005.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa :

1. Setiap kasus/skenario yang diujikan mampu menunjukkan penurunan rugi daya sistem. Penurunan total rugi daya pada setiap kasus yang dibandingkan dengan sistem dasar diperoleh penurunan total rugi daya sebagai berikut:
 - Penurunan rugi daya menggunakan rekonfigurasi jaringan adalah 62,7218 kW.
 - Penurunan rugi daya menggunakan penempatan 1 unit DG adalah 73,4766 kW.
 - Penurunan rugi daya menggunakan penempatan 2 unit DG adalah 115,0908 kW.
 - Penurunan rugi daya menggunakan penempatan 3 unit DG adalah 130,37 kW.
 - Penurunan rugi daya menggunakan rekonfigurasi jaringan dan penempatan 3 unit DG adalah 138,5193 kW.
2. Hasil optimasi rekonfigurasi jaringan dan penentuan lokasi DG dapat menurunkan total rugi daya sistem sebesar 68,3371%.
3. Hasil pengujian rekonfigurasi jaringan dan penentuan lokasi DG yang menghasilkan penurunan rugi daya sebesar 68,3371% adalah dengan membuka switch pada saluran 17-18, 20-21, 28-29, 12-22, 9-15 dan menempatkan DG pada bus 12, 24 dan 32 dengan kapasitas masing – masing sebesar 0,88 MW, 0,91 MW dan 0,93 MW.
4. Penggunaan GA dapat memudahkan proses optimasi yang mampu menghasilkan solusi optimal untuk mendapatkan rugi daya terkecil dengan adanya rekonfigurasi jaringan dan penentuan lokasi DG.

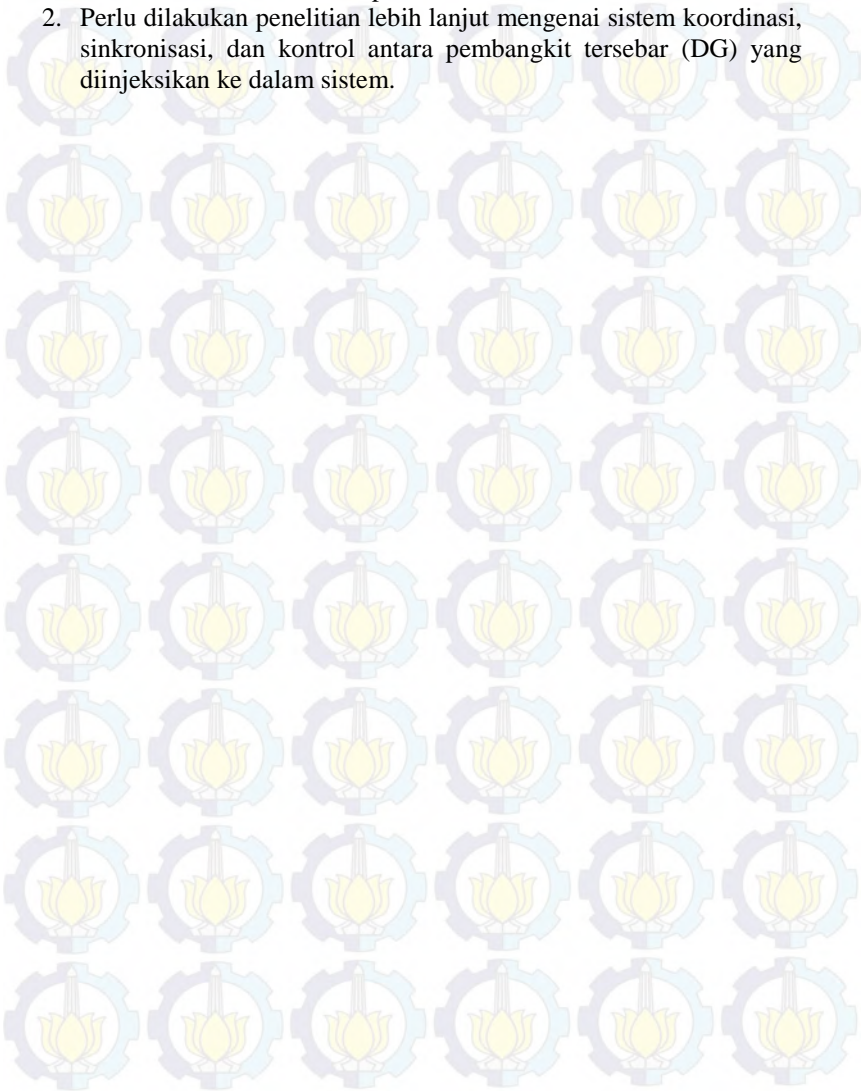
5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan berdasarkan tugas akhir ini adalah

1. Perlu dilakukan pengujian optimasi pada sistem tak seimbang untuk mendapatkan hasil yang lebih maksimal sesuai dengan

kondisi nyata di lapangan, sehingga proses analisa aliran daya harus dilakukan untuk setiap fasa.

2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai sistem koordinasi, sinkronisasi, dan kontrol antara pembangkit tersebar (DG) yang diinjeksikan ke dalam sistem.



LAMPIRAN

DATA IEEE 33 BUS

Lampiran 1 Data saluran sistem dan beban pada IEEE 33 bus[2]

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