

# Optimasi Penentuan Lokasi Kapasitor dan *Distributed Generation* (DG) Dengan Rekonfigurasi Jaringan Untuk Meningkatkan Keluaran Daya Aktif DG Pada Sistem Distribusi Radial Menggunakan *Genetic Algorithm* (GA)

Erwin Prawira Santosa, Ontoseno Penangsang, Ni Ketut Aryani

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

*e-mail*: ontosep@ee.its.ac.id, ketut.aryani@elect-eng.its.ac.id, prawirasantosa@gmail.com

**Abstrak**—Kebutuhan akan energi listrik terus meningkat seiring dengan perkembangan teknologi dan pertumbuhan penduduk dan perkembangan beban yang terus meningkat namun tidak diimbangi dengan pembangkitan energi listrik yang memadai dapat mengganggu ketersediaan energi listrik bagi pelanggan. Salah satu cara untuk menjaga ketersediaan energi listrik yang mampu mengakomodasi perkembangan beban tanpa menambah kapasitas pembangkit utama adalah dengan menempatkan *Distributed Generation* (DG). DG mampu memasok daya aktif tambahan pada jaringan distribusi energi listrik namun penempatan yang kurang tepat dapat mengakibatkan keluaran daya aktif DG yang tidak maksimal. Oleh karena itu, pada tugas akhir ini diusulkan rekonfigurasi jaringan, penentuan lokasi DG dan kapasitor yang sesuai dengan menggunakan metode *Genetic Algorithm* (GA) baik itu secara berurutan maupun simultan untuk diuji pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus modifikasi.

Berdasarkan pengujian yang diperoleh menunjukkan bahwa teknik optimasi rekonfigurasi jaringan, penempatan DG dan kapasitor secara simultan mampu menaikkan profile tegangan bus, sesuai batas tegangan yang diijinkan atau berada dalam *constraint*. Batas tegangan terkecil pada optimasi tersebut sebesar 0,98274 pu.

**Kata Kunci**: Daya aktif, rekonfigurasi jaringan, penempatan *Distributed Generation* (DG), penempatan kapasitor, *Genetic algorithm* (GA).

## I. PENDAHULUAN

Belakangan ini teknologi tentang *Distributed Generation* (DG) sering menjadi topik penelitian seiring dengan peningkatan kepekaan masyarakat terhadap energi terbarukan yang bersih dan ramah lingkungan. Dengan meningkatnya kebutuhan pasokan listrik serta seringkali sistem distribusi listrik menjadi besar dan kompleks menyebabkan kerugian sistem yang lebih tinggi dengan pengaturan tegangan yang buruk. Studi menunjukkan bahwa hampir 10-13% dari total daya dihasilkan hilang sebagai kerugian pada tingkat distribusi. Sehingga menyebabkan peningkatan biaya energi dan profil tegangan yang buruk. Metode yang umum digunakan untuk stabilitas tegangan dan penurunan daya dalam sistem distribusi

adalah rekonfigurasi jaringan, penempatan DG dan penempatan kapasitor. Adapun DG sendiri merupakan suatu pembangkit listrik yang tersebar dan terhubung ke jaringan utama distribusi. Jenis pembangkit tersebar umumnya merupakan *renewable energy* seperti *wind turbin*, mikro hidro dan *solar photovoltaic* (PV). Sehingga pada pengoperasian tiap-tiap unit pembangkit tersebar tidak selalu bisa secara berkelanjutan mensuplai daya ke jaringan utama. Maka dari itu status tiap unit DG untuk kondisi waktu tertentu berbeda. Rekonfigurasi jaringan, penempatan DG dan penempatan kapasitor dapat memaksimalkan keuntungan dan mengurangi kerugian akibat dari sistem tenaga listrik.

*Distributed Generation* merupakan pembangkit listrik kecil (pada umumnya mulai dari beberapa kW hingga puluhan MW) yang bukan merupakan suatu bagian dari sistem pembangkit utama dan diletakkan di dekat beban. Penggunaan DG mengalami peningkatan karena peran pentingnya dalam pasokan sistem tenaga listrik. Hal ini disebabkan oleh efisiensi tinggi, ukuran yang kecil, kemampuan *moduler*, serta kedekatan dengan sumber energi yang dimiliki oleh DG [1].

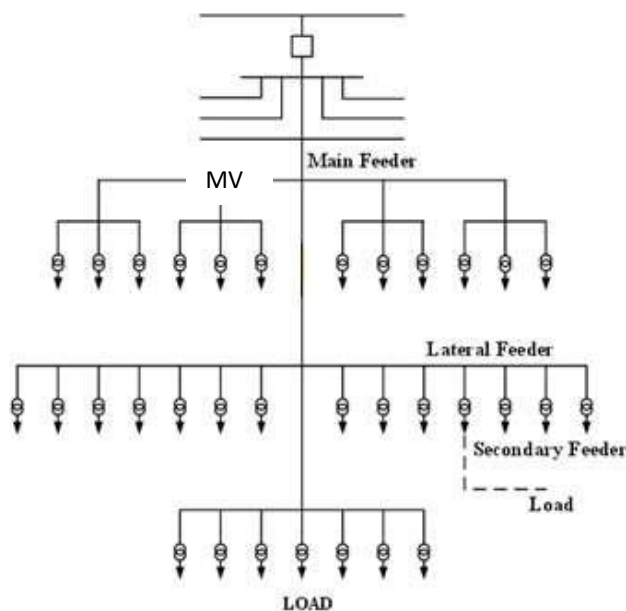
Pada penelitian sebelumnya, telah dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh penempatan DG terhadap rugi-rugi daya dan keandalan jaringan distribusi dengan menggunakan *Genetic Algorithm* [2]. Pada tugas akhir ini, metode *Genetic Algorithm* digunakan untuk menentukan lokasi DG dan kapasitor serta rekonfigurasi jaringan yang akan diaplikasikan pada sistem IEEE 69 bus modifikasi. Optimasi penentuan kapasitas dan lokasi DG maupun kapasitor dengan menggunakan konstrain tegangan bus, yaitu DG dan kapasitor berkapasitas tertentu diletakkan pada bus tanpa melewati batas tegangan maksimum dan tegangan minimum bus tersebut. Pada penelitian lainnya [3], rekonfigurasi jaringan, penempatan DG dan penempatan kapasitor yang dilakukan secara simultan mampu menurunkan rugi-rugi daya dan memperbaiki tegangan bus yang lebih baik. Rekonfigurasi jaringan, penempatan DG dan penempatan kapasitor secara simultan menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan melakukan rekonfigurasi jaringan, penempatan DG dan penempatan kapasitor secara terpisah.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

Jaringan distribusi yang paling umum digunakan ialah sistem dengan bentuk radial. Sistem ini memiliki bentuk yang sederhana serta biaya investasinya yang terbilang murah. Namun, kualitas pelayanan dayanya relatif buruk. Dalam beberapa tahun terakhir, industri tenaga telah mengalami perubahan yang signifikan pada sistem distribusi tenaga listrik terutama karena penerapan teknolog inkremental generasi didistribusikan. *Distributed Generation* (DG) hanya didefinisikan sebagai desentralisasi pembangkit listrik dengan menempatkan unit pembangkit yang lebih kecil lebih dekat ke titik konsumsi, tradisional sepuluh mega-watt atau lebih kecil. Dampak dari DG pada sistem akan tergantung pada lokasi dan ukuran DG, oleh karena itu pada tugas akhir ini berfokus pada pengujian berbagai kasus dan menggunakan teknik yang efektif untuk rekonfigurasi jaringan, penempatan optimal dan ukuran unit DG dan kapasitor [4], [5].

### A. Jaringan Distribusi Sistem Radial

Sistem distribusi radial merupakan sistem yang paling sering digunakan karena memiliki konfigurasi paling sederhana dan investasi terhadap sistem ini tergolong murah. Sistem tersebut dikatakan radial karena salurannya ditarik secara radial dari suatu titik yang merupakan 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 seperti yang tunjukan pada gambar 1.



Gambar 1 Sistem Distribusi Radial

Kelebihan jaringan sistem radial secara umum adalah bentuknya yang sederhana dan biaya investasi yang relative murah. Sedangkan kelemahannya adalah kualitas pelayanan dayanya relatif jelek yang disebabkan rugi daya dan *drop* tegangan cenderung besar. Kemudian kontinuitas penyaluran daya yang kurang handal. Untuk melokalisir gangguan, pada jaringan distribusi sistem radial ini menggunakan pengaman berupa CB, *sectionalizer*, *recloser* atau alat pemutus beban lainnya. Jaringan distribusi sistem radial ini memiliki

beberapa modifikasi, yaitu radial tipe pohon, radial dengan *tie switch*, radial dengan pusat beban dan radial dengan pembagian *phase*.

### B. Rekonfigurasi Jaringan

Rekonfigurasi jaringan merupakan salah satu teknik optimasi pada jaringan distribusi. Rekonfigurasi jaringan merupakan proses perubahan topologi jaringan dengan cara merubah status tutup *tie switch* dan buka *sectionalizing switch*. Rekonfigurasi jaringan meningkatkan operasi pada jaringan dan secara spesifik dapat meningkatkan kualitas tegangan dan daya. Sehingga pengoperasian sistem distribusi dapat dilakukan dengan biaya yang minimum.

Untuk mendapatkan atau menentukan status *tie switch* dan *sectionalizing switch* yang ditutup dan dibuka maka dapat menggunakan pencarian menggunakan metoda optimasi. Saat ini sudah banyak metoda yang digunakan untuk optimasi rekonfigurasi seperti PSO, BPSO, GA dan sebagainya.

### C. Kapasitor

Berdasarkan referensi [3] salah satu cara untuk mengatur tegangan dan meningkatkan kualitas tegangan *bus* yaitu kapasitor yang dipasang paralel pada *bus-bus* distribusi sepanjang saluran atau pada gardu induk dan beban. Pada dasarnya kapasitor merupakan peralatan untuk menghasilkan daya reaktif pada titik mana kapasitor tersebut dipasang. Kapasitor dapat dihubungkan permanen, tetapi untuk pengaturan tegangan kapasitor dapat dilepas dari sistem sesuai perubahan beban.

Apabila kapasitor dipasang paralel dengan beban yang memiliki faktor daya yang tertinggal, kapasitor adalah sumber dari sebagian atau semua daya reaktif yang dibutuhkan beban. Dengan demikian, kapasitor mengurangi arus saluran yang mengalir menuju beban dan mengurangi tegangan jatuh pada saluran. Secara umum hal hal yang dipertimbangkan dalam pemasangan kapasitor adalah besar daya reaktif per unit dan harga per unit.

### D. Distributed Generation (DG)

*Distributed Generation* (DG) adalah pembangkitan listrik dengan kapasitas kecil yang letaknya dekat dengan titik konsumen. *Distributed Generation* berpotensi digunakan pada sistem tenaga listrik untuk meningkatkan kehandalan sistem baik secara langsung maupun secara tidak langsung. Sebagai contoh misalnya, DG dapat digunakan secara langsung untuk mendukung level tegangan lokal dan menghindari adanya pemadaman.

DG memiliki beberapa jenis seperti *micro hidro*, *photovoltaic generation*, *wind generation* dan mesin *diesel* dan *battery* yang terdiri dari beberapa modul. Kapasitas pembangkitan DG terdiri dari beberapa kategori, berikut adalah tabel klasifikasi *Distributed Generation* (DG) berdasarkan kapasitas pembangkitannya.

Tabel 1  
Klasifikasi *Distributed Generation* (DG) berdasarkan Kapasitas Pembangkitan

Jenis DG	Kapasitas Pembangkitan
<i>Micro</i> DG (DG Mikro)	1 Watt – 5Kw
<i>Small</i> DG (DG Kecil)	5kw – 5MW
<i>Medium</i> DG (DG sedang)	5MW – 50 MW
<i>Large</i> DG (DG Besar)	50MW – 300 MW

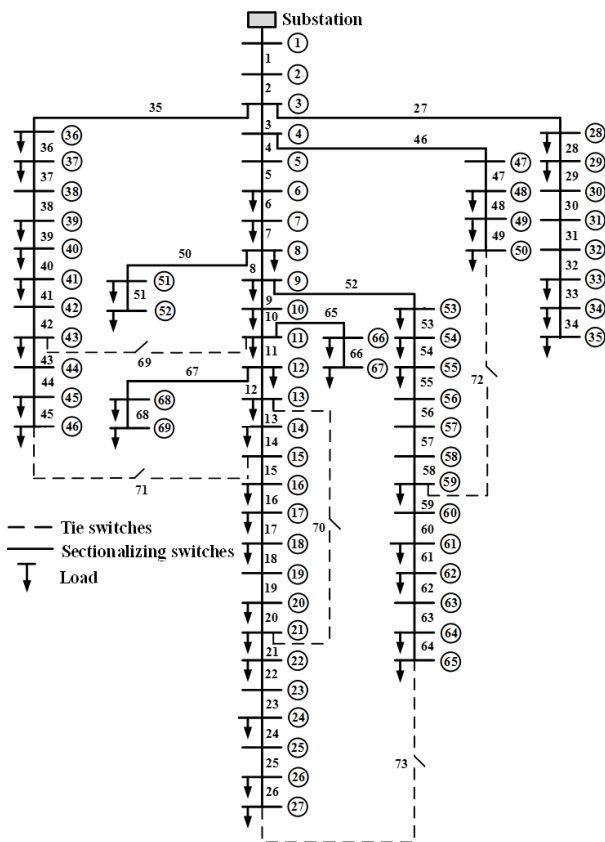
E. Genetic Algorithm (GA)

Metoda Genetic Algorithm (GA) adalah algoritma yang memanfaatkan proses seleksi alamiah yang dikenal dengan proses evolusi. Dalam proses evolusi, individu secara terus mengalami perubahan gen untuk menyesuaikan dengan lingkungan hidupnya. Hanya individu-individu yang kuat yang bertahan hidup.

Metoda Genetic Algorithm (GA) dapat membantu memecahkan permasalahan dalam sistem tenaga. Pengkodean di dalam GA secara umum dalam bentuk biner yang menjadi sebuah string (rangkai) yang menyusun gen-gen pembentuk kromosom. Kemudahan akan mencari solusi dan fitness terbaik sesuai dengan fungsi objektif yang digunakan. Parameter yang digunakan di dalam GA adalah Generation (jumlah maksimal generasi), Popsiz (jumlah populasi), probability crossover dan mutation. Pembangkitkan secara acak dan kemudian akan dipilih melalui operasi Genetika (selection, crossover, mutation). Hasil dari operasi Genetika tersebut akan dievaluasi sesuai dengan fungsi objektif yang digunakan sehingga didapatkan kromosom yang akan diikuti proses perulangan. Proses evolusi GA akan berhenti ketika sudah mencapai Generation yang ditentukan.

III. DESAIN SISTEM OPTIMASI

A. Sistem Distribusi Radial IEEE 69 Bus



Gambar 2. Single line diagram IEEE 69 Bus

Pada tugas akhir ini menggunakan sistem distribusi radial IEEE 69 Bus. Sistem ini terdiri dari 69 bus dan 5 tie switch. Secara keseluruhan jumlah beban aktif dan reaktif sistem distribusi IEEE 69 bus modifikasi adalah 5,55 MW dan 3,96

MVar. Single line diagram sistem distribusi radial IEEE 69 Bus Modifikasi dapat dilihat pada gambar 2 di atas.

B. Kasus Yang Dilakukan

Dalam tugas akhir ini terdapat beberapa kasus yang dibuat untuk mengetahui pengaruh setiap teknik optimasi terhadap keluaran daya aktif DG. Berikut adalah kasus-kasus yang dilakukan:

- a) Sistem standar IEEE 69 bus modifikasi  
Kasus ini dilakukan untuk melihat keadaan tegangan bus pada sistem pada saat belum dilakukan teknik optimasi.
- b) Rekonfigurasi Jaringan  
Kasus ini dilakukan untuk merubah topologi jaringan sistem. Perubahan dilakukan dengan menutup tie switch dan membuka sectionalizing switch tetapi tetap menjaga dalam radial.
- c) Penempatan Distributed Generation (DG)  
Kasus ini hanya dilakukan dengan pemasangan DG saja.
- d) Penempatan Distributed Generatin (DG) dan Kapasitor  
Kasus ini dilakukan secara berurutan, maksudnya optimasi pemasangan kapasitor terlebih dahulu, kemudian ditambah dengan pemasangan Distributed Generation (DG).
- e) Rekonfigurasi Jaringan dan Penempatan DG secara simultan  
Kasus ini dilakukan rekonfigurasi jaringan dan pemasangan DG secara bersamaan.
- f) Rekonfigurasi Jaringan, Penempatan DG dan Kapasitor secara berurutan  
Kasus ini dilakukan secara berurutan, maksudnya optimasi pemasangan DG dan kapasitor (seperti kasus D) dilakukan terlebih dahulu, kemudian dilakukan rekonfigurasi jaringan.
- g) Rekonfigurasi Jaringan, Penempatan DG dan Kapasitor secara simultan  
Kasus ini dilakukan secara bersamaan, maksudnya optimasi rekonfigurasi jaringan, optimasi penempatan kapasitor dan DG dilakukan secara bersamaan.

C. Fungsi Objektif

Fungsi objektif adalah tujuan dari optimasi atau hasil yang ingin dicapai, fungsi objektif pada tugas akhir ini adalah memaksimalkan keluaran daya aktif DG berikut:

$$\text{Maximize } F(x) = \sum_{i=1}^{N_{DG}} P_{DG_i}$$

Dimana,

$P_{DG}$  : keluaran daya aktif pada DG ke-i

$N_{DG}$  : jumlah unit DG yang dipasang pada jaringan

Disetiap optimasi harus ada constraint atau batasan sebagai kriteria dalam pemilihan solusi dan fitness. Pada tugas akhir ini ada beberapa kriteria atau constraint yang harus dipenuhi:

Constraint tegangan

$$0.95 pu \leq V_i \leq 1.05 pu$$

Constraint inject daya aktif (P MW) dari DG

$$\sum_{i=1}^{N_{DG}} P_{DG_i} \leq \sum_{j=1}^{N_I} P_D(j)$$

Constraint inject daya reaktif (Q MVar) dari kapasitor

$$\sum_{i=1}^{N_c} Q_c(i) + \sum_{i=1}^{N_{DG}} Q_{DG}(i) \leq \sum_{j=2}^n Q_D(j)$$

D. Perancangan Komponen dan Parameter GA

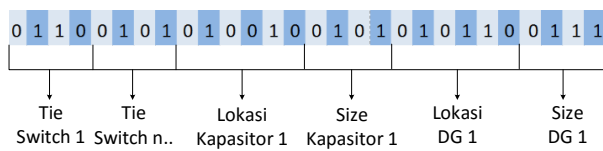
Dalam metode *Genetic Algorithm* (GA) terdapat beberapa komponen dan parameter yang disesuaikan dengan permasalahan atau optimasi yang akan dilakukan. Berikut adalah tabel perancangan komponen dan parameter GA untuk memaksimalkan keluaran daya aktif DG pada sistem distribusi radial:

Tabel 2  
Representasi Komponen dan Parameter GA untuk memaksimalkan keluaran daya aktif DG

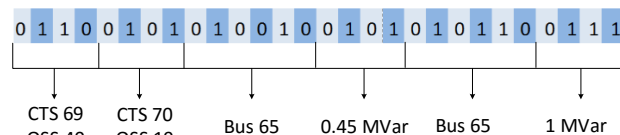
GA	Uraian
Gen	Berupa angka biner 1 dan 0
Kromosom	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kumpulan dari gen-gen (Mengandung solusi optimasi)</li> <li>Rekonfigurasi Jaringan (status tutup dan buka <i>tie switch</i> dan <i>sectionalizing switch</i>)</li> <li>Kapasitor (Penempatan dan kapasitas daya reaktif yang dimasukkan)</li> <li>DG ( Penempatan dan kapasitas daya aktif yang dimasukkan)</li> </ul>
Populasi	Jumlah Kromosom dalam satu kelompok (Banyak Solusi) = 50
Objective Function	Tujuan Optimasi (Memaksimalkan Keluaran Daya Aktif DG) $Maximize F(x) = \sum_{i=1}^{N_{DG}} P_{DGi}$
Max Generasi	Jumlah regenerasi atau keturunan hasil perkawinan = 100
Crossover	Perkawinan Silang (PC = 0.95)
Mutation	Mutasi (PM = 0.05)

E. Pemodelan Simultan Rekonfigurasi, penempatan Kapasitor dan DG dengan GA

Pengkodean biner dikodekan berdasarkan teknik optimasinya dan plant yang digunakan (IEEE 69 Bus). Berikut adalah gambar pengkodean biner dan *decoding* kromosom:



Gambar 3. Contoh Kromosom Optimasi Rekonfigurasi, Kapasitor dan Distributed Generation (DG) secara Simultan



Ket: CTS (*Close Tie Switch*)  
OSS (*Open Sectionalizing Switch*)

Gambar 4. Contoh *Decoding* Kromosom Optimasi Rekonfigurasi (*tie switch* n), 1 Kapasitor dan 1 DG Secara Simultan

$$GA = \left[ \begin{array}{ccc} OS_1^1 OS_1^2 OS_1^3 OS_1^4 OS_1^5 & Cap_1^1 Cap_1^2 Cap_1^3 & DG_1^1 DG_1^2 DG_1^3 \\ OS_2^1 OS_2^2 OS_2^3 OS_2^4 OS_2^5 & Cap_2^1 Cap_2^2 Cap_2^3 & DG_2^1 DG_2^2 DG_2^3 \\ OS_n^1 OS_n^2 OS_n^3 OS_n^4 OS_n^5 & Cap_n^1 Cap_n^2 Cap_n^3 & DG_n^1 DG_n^2 DG_n^3 \end{array} \right]$$

Rekon
Cap Placement
DG Placement

Gambar 5. Populasi Optimasi Secara Simultan pada GA

F. Proses Optimasi Menggunakan Genetic Algorithm (GA)

Secara garis besar, proses optimasi menggunakan *Genetic Algorithm* (GA) dilakukan dengan langkah sebagai berikut:

1. Pembacaan data dan parameter  
Proses pertama ini adalah adalah pembacaan data sistem distribusi IEEE 69 bus modifikasi berupa *line data*, *bus data*, *tie switch*. Kemudian parameter GA dan parameter lainnya.
2. Load flow awal  
Hal ini dilakukan untuk mengetahui keadaan awal sistem sebelum dilakukan optimasi. Sehingga didapatkan keadaan tegangan bus awal, jumlah daya reaktif (MVar) dan daya aktif (MW) sistem. Yang mana kedua nilai ini akan digunakan sebagai nilai pembanding dan nilai batasan *inject* daya kapasitor dan DG.
3. Membangkitkan Populasi  
Ukuran populasi yang dibangkitkan sesuai dengan keinginan, misalnya 10, 20, 50 dan seterusnya. Populasi dibangkitkan secara acak yang mana bernilai angka biner nol dan satu. Kemudian Nsbit dari tiap kromosom tergantung dari kasus yang dilakukan.
4. Decoding Kromosom  
Semua kromosom akan diuraikan (*parsing*) berdasarkan kasus yang dilakukan. Kemudian semua kromosom pada populasi akan diartikan (*decoding*) dan menghasilkan solusi awal.
5. Evolusi  
Pada proses ini dimulailah proses penseleksian induk (*random selection*), kemudain *crossover*, mutasi sehingga menghasilkan anak baru (*offspring*). Proses evolusi ini akan terus terjadi (perulangan) hingga mencapai generasi yang telah ditentukan.
6. Evaluasi  
Anak baru (*offspring*) yang mengalami perubahan gen-gen dari induknya akan diartikan (*decoding*) sehingga menghasilkan solusi. Solusi ini akan diterapkan pada sistem IEEE 69 bus modifikasi (*update sistem*) kemudian dilakukan *load flow*. Dari hasil *load flow* didapatkan nilai batas tegangan terkecil dan disimpan di dalam *fitness* i .
7. Fitness terbaik  
Setelah melakukan evaluasi maka dilakukan pemilihan individu yang memiliki *fitness* terbaik berdasarkan batasan (*constraint*) yang ada. Sehingga individu yang akan dipilih nantinya merupakan individu yang sudah memenuhi kriteria atau *constraint* dan memiliki *fitness* terbaik. Di dalam individu ini sudah terdapat solusi dari kasus optimasi yang dilakukan.

IV. SIMULASI DAN ANALISIS

Pada tugas akhir ini, dilakukan simulasi dan analisis terhadap sistem distribusi radial 69-bus modifikasi standar IEEE dengan 7 kasus yang berbeda, yakni:

- Kasus A : basis sistem (*original*, tanpa optimasi)
- Kasus B : rekonfigurasi jaringan terhadap basis sistem.
- Kasus C : Penempatan DG terhadap basis sistem.
- Kasus D : Penempatan DG dan kapasitor terhadap basis sistem
- Kasus E : Rekonfigurasi jaringan dan penempatan DG terhadap basis sistem.
- Kasus F : Rekonfigurasi jaringan, penempatan DG dan kapasitor terhadap basis sistem secara berurutan.
- Kasus G : Rekonfigurasi jaringan, penempatan DG dan kapasitor terhadap basis sistem secara simultan.

Hasil yang diperoleh pada tiap kasusnya akan dibandingkan guna mengetahui kasus mana yang terbaik. Bersamaan dengan itu, akan dibandingkan pula hasil yang. Pada simulasi ini, DG dan kapasitor yang digunakan sebanyak 3 unit. Pada tugas akhir ini DG hanya berfungsi menyuplai daya aktif (P). Sedangkan, kapasitor berfungsi menyuplai daya reaktif (Q).

Pada tugas akhir ini, sistem distribusi radial yang digunakan ialah sistem tes 69-bus modifikasi standar IEEE. Berikut ini merupakan bentuk topologi sistem seperi yang ditunjukkan pada gambar 2.

**Hasil simulasi:**

Berikut tabel 3 merupakan tabel hasil optimasi mulai dari kasus A sampai kasus G.

Tabel 3  
Hasil optimasi kasus A-F

Case	Comparative Study Of Different Case Studies	
Base Case (Case A)	Min.Voltage (p.u)	0.86354
	Max.Voltage (p.u)	1
	Bus Worst	65
Only Reconfiguration (Case B)	Close Tie Switch	71, 72, 73
	Open Sectionilizing S	12, 57, 64
	Min.Voltage (p.u)	0.92682
	Max.Voltage (p.u)	1
Only DG Placement (Case C)	Bus Worst	64
	Min.Voltage (p.u)	0.954052
	Max.Voltage (p.u)	1
DG, Cap Placement (Case D)	Bus Worst	27
	Min.Voltage (p.u)	0.9677
	Max.Voltage (p.u)	1
Reconfiguration with Simultan DG (Case E)	Bus Worst	61
	Close Tie Switch	69, 70, 72, 73
	Open Sectionilizing S	18, 42, 57, 61
	Min.Voltage (p.u)	0.96314
DG, Cap with Recon (Case F)	Max.Voltage (p.u)	1
	Bus Worst	61
	Close Tie Switch	71, 72, 73
	Open Sectionilizing S	13, 56
DG, Cap with Recon Simultan (Case G)	Min.Voltage (p.u)	0.97973
	Max.Voltage (p.u)	1
	Bus Worst	61
	Close Tie Switch	71, 72, 73
DG, Cap with Recon Simultan (Case G)	Open Sectionilizing S	12, 25, 53
	Min.Voltage (p.u)	0.98274
	Max.Voltage (p.u)	1.013
	Bus Worst	24, 25

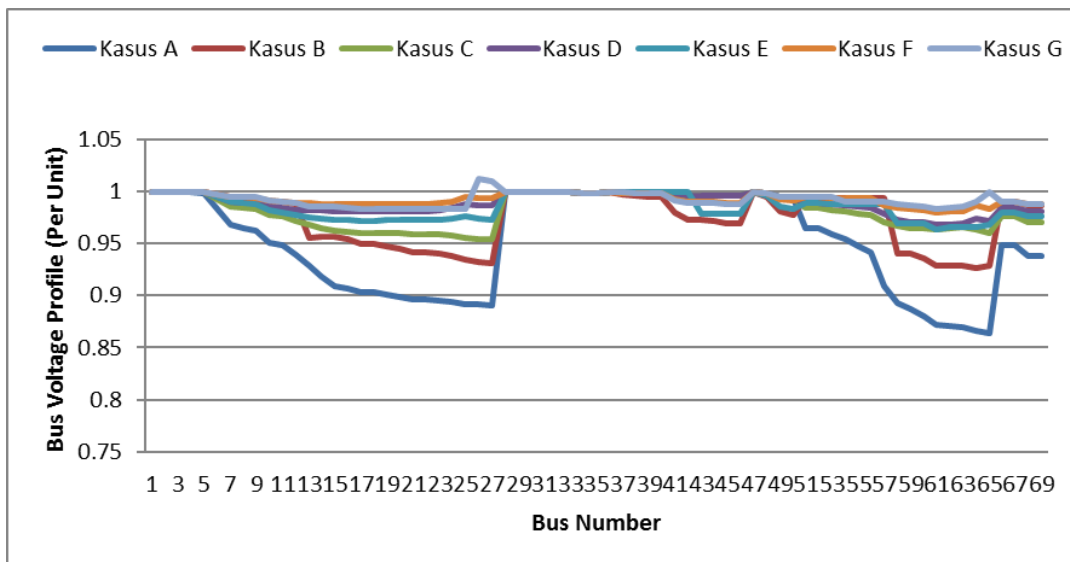
Pada kasus A masih banyak tegangan bus yang *under voltage*, belum memenuhi *constraint* atau batas yang diijinkan Terlihat tegangan bus terkecil sebesar 0.86354 p.u. Kasus B (optimasi rekonfigurasi jaringan) merubah topologi jaringan sistem distribusi radial IEEE 69 bus modifikasi, sebelum dilakukan pemasangan DG dan kapasitor, pada rekonfigurasi jaringan juga ada beberapa tegangan bus yang *under voltage*

Kasus C (pemasangan DG), DG yang dipasang sebanyak 3 unit dengan kapasitas masing-masing sebesar DG1 0.9322 MW, DG2 0.0632 MW, DG3 2.1488. Dengan dilakukan pemasangan 3 unit DG menggunakan *Genetic Algorithm* (GA) mampu menghasilkan keluaran daya aktif yang maksimal dari setiap DG. Hal ini menunjukkan bahwa keluaran daya aktif DG akan mencapai titik maksimal atau sesuai dengan kemampuan pembangkitan yang dimiliki. Kemudian setelah pemasangan DG dilanjutkan dengan pemasangan kapasitor (kasus D). DG dan kapasitor yang dipasang 3 unit, masing-masing sebesar DG1 0.0632 MW, DG2 1.2798 MW, DG3 1.8012 MW, kapasitor1 0.1725 MVar, Kapasitor2 0.046 MVar, Kapasitor3 1.4375 MVar. Sama halnya dengan kasus C, dengan menggunakan *Genetic Algorithm* (GA) mampu menghasilkan keluaran daya aktif yang maksimal dari setiap DG terutama ditambah dengan pemasangan 3 unit kapasitor.

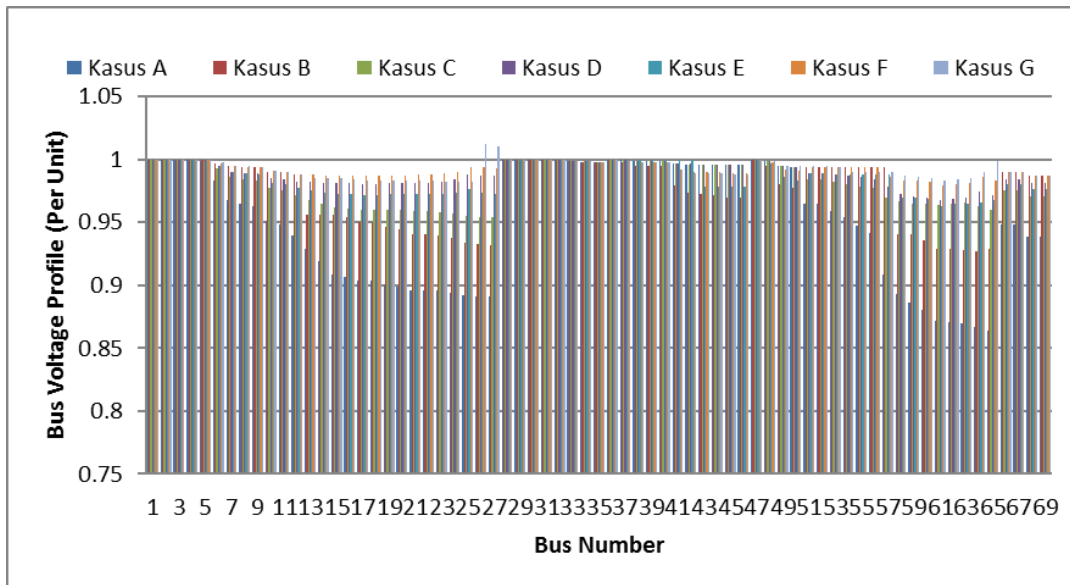
Kasus E (rekonfigurasi jaringan dan pemasangan DG secara simultan), rekonfigurasi jaringan dan pemasangan DG dilakukan secara bersamaan. Rekonfigurasi jaringan berupa status tutup dan buka pada *tie switch* dan *sectionalizing switch*, DG yang dipasang 3 unit sebesar DG1 0.237 MW, DG2 1.6274 MW, DG3 1.2798 MW.

Kasus F dan kasus G (rekonfigurasi jaringan, pemasangan DG dan kapasitor baik secara berututan maupun simultan). Untuk kasus F baik itu lokasi pemasangan dan kapasitasnya sama dengan kasus D. Sementara untuk kasus G, DG dan kapasitor yang dipasang masing-masing 3 unit sebesar DG1 0.0632 MW, DG2 0.5846 MW, DG3 2.3226 MW, Kapasitor1 0.6785 MVar, Kapasitor2 0.1725 MVar, Kapasitor3 1.4375 MVar. Dengan optimasi menggunakan *Genetic Algorithm* (GA) mampu menghasilkan solusi terbaik, baik itu menghasilkan tegangan bus yang sesuai *constraint* atau sesuai batas yang diijinkan dan menghasilkan keluaran daya aktif yang maksimal dari setiap DG. Penempatan DG dan kapasitor serta rekonfigurasi jaringan baik itu secara berurutan maupun simultan memiliki perbedaan pada hasil pencarian solusi dan *fitness* terbaik, namun lebih baik teknik secara simultan dari pada secara berurutan. Hal ini disebabkan karena pada optimasi secara simultan memiliki lebih banyak variasi kemungkinan penggabungan dari pada secara berurutan, bisa diamati pada gambar 6 dan gambar 7.





Gambar 6 Profil tegangan bus dari optimasi semua kasus



Gambar 7 Profil tegangan bus dari optimasi semua kasus

### V. KESIMPULAN

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

1. Pada basis sistem, terdapat tegangan bus yang *under voltage*. Dengan pemasangan DG dan kapasitor serta rekonfigurasi jaringan menggunakan metode algoritma genetika diperoleh perbaikan tegangan bus. Sehingga, tegangan bus pada sistem menjadi normal.
2. Penempatan 3 unit DG pada bus 22, 58 dan 63 sistem 69 bus, menghasilkan keluaran daya aktif maksimal sebesar 3,14 MW.
3. Penempatan 3 unit DG dan kapasitor, mampu menaikkan tegangan bus, sehingga tidak terjadi *under voltage*. Begitu juga dengan rekonfigurasi jaringan dan penempatan 3 unit DG secara berurutan. Tegangan tetap berada pada batas yang diijinkan atau tetap dalam *constraint*.
4. Rekonfigurasi jaringan, penempatan DG dan kapasitor, mampu menaikkan tegangan bus secara signifikan, maka penggabungan ketiga teknik tersebut merupakan teknik yang paling optimal. Terutama untuk yang secara simultan.
5. Perbedaan teknik secara berurutan dan simultan berada pada cara proses optimasinya, optimasi berurutan dilakukan per-teknik optimasi sedangkan simultan dilakukan sekaligus atau bersamaan.
6. Penggunaan *Genetic Algorithm* (GA) mampu menghasilkan solusi optimal untuk menentukan lokasi penempatan DG yang sesuai agar diperoleh keluaran daya aktif DG yang maksimal. Begitu juga dengan rekonfigurasi jaringan dan penempatan kapasitor.

LAMPIRAN

TABEL AI  
LOAD DATA OF 69-BUS DISTRIBUTION SYSTEM

Bus Number	P <sub>L</sub> (kW)	Q <sub>L</sub> (kVAr)	Bus Number	P <sub>L</sub> (kW)	Q <sub>L</sub> (kVAr)
6	2,60	2,20	37	26,00	18,55
7	40,40	30,00	39	24,00	17,00
8	75,00	54,00	40	24,00	17,00
9	30,00	22,00	41	1,20	1,00
10	28,00	19,00	43	30,00	21,50
11	145,00	104,00	45	39,22	26,30
12	145,00	104,00	46	195,00	131,50
13	40,00	25,00	48	79,00	56,40
14	8,00	5,50	49	384,70	274,50
16	45,50	30,00	50	384,70	274,50
17	60,00	35,00	51	40,50	28,30
18	60,00	35,00	52	3,60	2,70
20	1,00	0,60	53	4,35	3,50
21	570,00	405,00	54	26,40	19,00
22	5,00	3,50	55	24,00	17,20
24	28,00	20,00	59	500,00	360,00
26	14,00	10,00	61	1244,00	888,00
27	327,00	262,00	62	32,00	23,00
28	26,00	18,60	64	227,00	162,00
29	26,00	18,60	65	295,00	210,00
33	14,00	10,00	66	18,00	13,00
34	19,50	14,00	67	18,00	13,00
35	30,00	20,00	68	28,00	20,00
36	26,00	18,55	69	140,00	100,00

TABEL AII  
BRANCH DATA OF 69-BUS DISTRIBUTION SYSTEM

Branch Number	Sending end bus	Receiving end bus	R (Ω)	X (Ω)
1	1	2	0,0005	0,0012
2	2	3	0,0005	0,0012
3	3	4	0,0015	0,0036
4	4	5	0,0251	0,0294
5	5	6	0,3660	0,1864
6	6	7	0,3811	0,1941
7	7	8	0,0922	0,0470
8	8	9	0,0493	0,0251
9	9	10	0,8190	0,2707
10	10	11	0,1872	0,0619
11	11	12	0,7114	0,2351
12	12	13	1,0300	0,3400
13	13	14	1,0440	0,3450
14	14	15	1,0580	0,3496
15	15	16	0,1966	0,0650
16	16	17	0,3744	0,1238
17	17	18	0,0047	0,0016
18	18	19	0,3276	0,1083
19	19	20	0,2106	0,0690

TABEL AII (Continued)

Branch Number	Sending end bus	Receiving end bus	R (Ω)	X (Ω)
20	20	21	0,3416	0,1129
21	21	22	0,0140	0,0046
22	22	23	0,1591	0,0526
23	23	24	0,3463	0,1145
24	24	25	0,7488	0,2475
25	25	26	0,3089	0,1021
26	26	27	0,1732	0,0572
27	3	28	0,0044	0,0108
28	28	29	0,0640	0,1565
29	29	30	0,3978	0,1315

30	30	31	0,0702	0,0232
31	31	32	0,3510	0,1160
32	32	33	0,8390	0,2816
33	33	34	1,7080	0,5646
34	34	35	1,4740	0,4873
35	3	36	0,0044	0,0108
36	36	37	0,0640	0,1565
37	37	38	0,1053	0,1230
38	38	39	0,0304	0,0355
39	39	40	0,0018	0,0021
40	40	41	0,7283	0,8509
41	41	42	0,3100	0,3623
42	42	43	0,0410	0,0478
43	43	44	0,0092	0,0116
44	44	45	0,1089	0,1373
45	45	46	0,0009	0,0012
46	4	47	0,0034	0,0084
47	47	48	0,0851	0,2083
48	48	49	0,2898	0,7091
49	49	50	0,0822	0,2011
50	8	51	0,0928	0,0473
51	51	52	0,3319	0,1114
52	9	53	0,1740	0,0886
53	53	54	0,2030	0,1034
54	54	55	0,2842	0,1447
55	55	56	0,2813	0,1433
56	56	57	1,5900	0,5337
57	57	58	0,7837	0,2630
58	58	59	0,3042	0,1006
59	59	60	0,3861	0,1172
60	60	61	0,5075	0,2585
61	61	62	0,0974	0,0496
62	62	63	0,1450	0,0738
63	63	64	0,7105	0,3619
64	64	65	1,0410	0,5302
65	11	66	0,2012	0,0611
66	66	67	0,0047	0,0014
67	12	68	0,7394	0,2444
68	68	69	0,0047	0,0016
Tie line				
69	11	43	0,5000	0,5000
70	13	21	0,5000	0,5000
71	15	46	1,0000	0,5000
72	50	59	2,0000	1,0000
73	27	65	1,0000	0,5000

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S.G Bharathi Dasan, S.Selvi Ramalaxmhi "Optimal siting and sizing of hybrid distributed generation using EP", Third International conference on power system, Kharagpur, India, 2009.
- [2] Taher Abbas Seyed, Karimi Mohammad Hossein "Optimal reconfiguration and DG allocation in balance and unbalance distribution system", Ain Shams Engineering journal, 2014.
- [3] A.Mohamed Imran, M.Kowsalya, D.P Kotahri "A Novel integration technique for optimal network reconfiguration and distributed generation placement in power distribution networks", ELSAVIER journal, 2014.
- [4] Ghosh Smarajit "Optimal sizing and placement of DG in a radial distribution network using sensitivity based method", Electrical and Instrumentation Engineering Department Thapar University, 2014
- [5] Saonerkar A.K, Bagde B.Y "Optimized DG placement in radial distribution system with reconfiguration and capacitor placement using genetic algorithm", IEEE, 2014.