

# Perbaikan Performansi Distributed Generation (DG) Dengan Penempatan Shunt Kapasitor Bank Pada Jaringan

Kristianus Ical Toka<sup>1\*</sup>, Ni Putu Agustini<sup>2</sup> Irrine Budi Sulistiawati<sup>3</sup>

Teknik Elektro, Institut Teknologi Nasional Malang, Malang, Indonesia

<sup>1</sup>ichaltoka@gmail.com, <sup>2</sup>ni\_putu\_agustini@lecturer.itn.ac.id, <sup>3</sup>irrine@lecturer.itn.ac.id

**Abstract** - The improvement of efficiency and reliability in the electricity distribution network is one of the main focuses in the power system. This research aims to design the optimal placement of Shunt Capacitor Banks and Distributed Generation (DG) in the 20 kV radial distribution network at the Lela Substation. The appropriate placement of Shunt Capacitor Banks aims to improve power factor and reduce power losses, while the placement of DG aims to support load requirements and enhance system reliability. The method used in this study involves modeling the distribution network using ETAP 19.0.1 software. Optimization is performed using a genetic algorithm to determine the optimal location and capacity of Shunt Capacitor Banks and DG. The analyzed parameters include voltage profiles and power losses. The research results show that the optimal placement of Shunt Capacitor Banks and DG can significantly enhance the performance of the distribution network. Voltage profiles become more stable, and power losses are reduced.

**Keywords** — *Shunt Capacitor Bank, Distributed Generation, Radial Distribution Network, Genetic Algorithm.*

**Abstrak**— Peningkatan efisiensi dan keandalan jaringan distribusi listrik merupakan salah satu fokus utama dalam sistem tenaga listrik. Penelitian ini bertujuan untuk merancang penempatan optimal Shunt Kapasitor Bank dan Distributed Generation (DG) pada jaringan distribusi radial 20 kV. Penempatan yang tepat dari Shunt Kapasitor Bank bertujuan untuk meningkatkan faktor daya dan mengurangi rugi-rugi daya, sementara penempatan DG bertujuan untuk mendukung kebutuhan beban dan meningkatkan keandalan sistem. Metode yang digunakan dalam penelitian ini melibatkan pemodelan jaringan distribusi dengan perangkat lunak analisis sistem tenaga listrik. Optimasi dilakukan dengan menggunakan algoritma genetika untuk menentukan lokasi dan kapasitas optimal dari Shunt Kapasitor Bank dan DG. Parameter yang dianalisis meliputi profil tegangan, rugi-rugi daya, dan stabilitas tegangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penempatan optimal dari Shunt Kapasitor Bank dan DG dapat secara signifikan meningkatkan kinerja jaringan distribusi. Profil tegangan jaringan menjadi lebih stabil dan rugi-rugi daya berkurang. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam perencanaan dan pengoperasian jaringan distribusi listrik yang lebih efisien dan andal.

**Kata Kunci**— *Shunt Kapasitor Bank; Distributed Generation; Jaringan Distribusi Radial; Algoritma Genetika.*

## I. Pendahuluan

Sistem tenaga listrik bertujuan untuk menyalurkan daya di setiap lokasi jaringan sistem tenaga secara ekonomis dan andal. Pembangkit energi listrik menggunakan sumber energi seperti batu bara, hidro, dan nuklir. Pembangkit energi listrik berskala besar dan terpusat menyalurkan energi listrik secara luas ke berbagai jenis konsumen yang terhubung melalui jaringan transmisi dan distribusi yang sangat Panjang [1].

Di Indonesia, sistem distribusi listrik didominasi oleh konfigurasi radial atau top down, di mana daya listrik dikirim dari pusat pembangkit menuju beban melalui saluran penghantar yang panjang. Sayangnya, hal ini menyebabkan penurunan tegangan dan rugi-rugi daya yang signifikan. Sebagai alternatif, pengembangan pembangkit listrik skala kecil yang terintegrasi dengan sistem grid melalui jaringan distribusi (Distributed Generation atau DG) menjadi solusi yang menarik. Selain mengatasi masalah lingkungan dan biaya transmisi, DG juga memungkinkan pemanfaatan sumber daya energi terbarukan [2].

Dalam penyaluran energi listrik, terdapat beberapa masalah yang dihadapi, termasuk jatuh tegangan, faktor daya rendah, dan rugi-rugi daya. Beban pada jaringan distribusi dapat berupa beban kapasitif atau induktif, walaupun pada umumnya lebih banyak beban induktif. Jika beban reaktif induktif semakin tinggi, maka akan menyebabkan peningkatan jatuh tegangan, kerugian daya yang lebih besar, penurunan faktor daya, dan kapasitas penyaluran daya yang lebih rendah [3]. Permasalahan ini juga ditemukan pada penyulang Lela, sehingga berdasarkan regulasi dari PLN (SPLN No.1 Tahun 1995), syarat keandalan sistem meliputi persentase pembebanan transformator yang tidak boleh melebihi 80% dari kapasitasnya dan persentase jatuh tegangan di sisi pelanggan yang harus berada dalam rentang +5% hingga -10% dari tegangan normalnya [4].

Salah satu solusi untuk mengatasi masalah adalah dengan memasang shunt kapasitor bank dan distributed generation (DG). Tujuan utama dari pemasangan shunt kapasitor bank dan DG adalah untuk meningkatkan faktor daya, mengurangi kerugian energi, menjaga stabilitas tegangan, meningkatkan keandalan sistem, serta menyediakan sumber energi terbarukan sebagai cadangan dalam sistem [5].

Penentuan ukuran dan lokasi dua komponen ini mempengaruhi efektivitas dalam mengatasi rugi-rugi daya dan penurunan tegangan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan

untuk mengoptimalkan penempatan dan besaran pemasangan kapasitor dan distributed generation . Metode yang digunakan untuk menentukan nilai optimal adalah algoritma genetika, dimana metode ini menyajikan keunggulan dalam menemukan solusi yang berkualitas dan cerdas dengan proses yang sederhana dalam pemahaman dan implementasi. Penelitian ini menggunakan teknik yang efektif untuk menentukan lokasi yang optimal untuk kapasitor bank dan distributed generation dalam sistem distribusi dengan algoritma genetika sebagai teknik optimasi [6].

Untuk melakukan penelitian ini, penulis menggunakan software ETAP (Electrical Transient Analysis Program), dalam pemecahan masalah.

Berdasarkan latar belakang dari penelitian dengan judul "Desain penempatab Optimal Shunt Kapasitor Bank dan Distributed Generation (DG) Pada Jaringan Distribusi Radial 20 kV maka rumusan masalah yang diperoleh adalah:

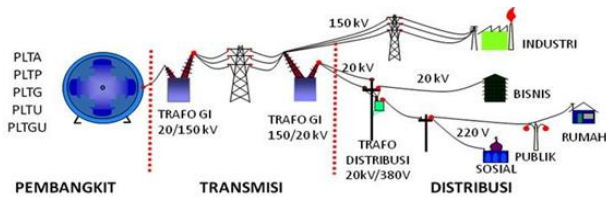
1. Bagaimana pengaruh pemasangan shunt kapasitor bank terhadap faktor daya dan rugi daya pada jaringan distribusi radial ?
2. Bagaimana profil tegangan pada sistem distribusi radial setelah pemasangan distributed generation ?

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengatasi masalah factor daya rendah dan rugi daya pada jaringan distribusi radial.
2. Untuk meningkatkan profil tegangan pada jaringan distribusi radial.

## II. Kajian Pustaka

### A. Sistem Distribusi



Gambar 1. Sistem Jaringan Listrik

Sistem distribusi adalah bagian dari sistem listrik yang paling dekat dengan sumber beban. Ini merupakan kelanjutan dari jaringan transmisi, di mana tegangan tertinggi atau maksimum berada pada jaringan transmisi dengan kapasitas antara 150 kV hingga 500 kV. Tegangan ini kemudian diturunkan hingga mencapai level 20 kV.

Ekstensi dari jaringan distribusi primer ini adalah jaringan sekunder dengan level tegangan 380V dan 220V. Pada jaringan distribusi sekunder, listrik dialirkan ke rumah konsumen untuk mengisi daya perangkat elektronik atau ruang public [7].

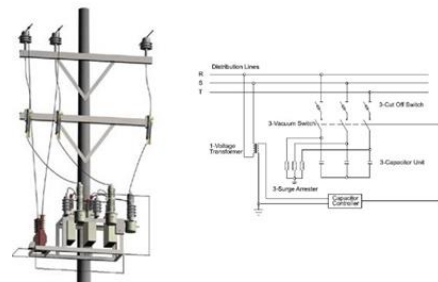
Sistem distribusi sendiri memiliki beberapa jenis yaitu sebagai berikut :

1. Sistem Radial

2. Sistem Kluster
3. Sistem Loop
4. Sistem Spindel

Penelitian ini menggunakan sistem radial pada penyulang Lela daerah Maumere. Sistem jaringan listrik pada penyulang Lela terdapat beberapa masalah diantaranya rugi daya dan drop tegangan pada jaringan didistribusinya. Hal ini dikarenakan jarak penyaluran daya Listrik dari pusat pembangkit yang cukup jauh dan peningkatan populasi Masyarakat maka permintaan kebutuhan listrik meningkat.

### B. Kapasitor Bank



Gambar 2. Kapasitor Bank Pada Jaringan Distribusi

Kapasitor bank adalah sekumpulan beberapa kapasitor yang disambung secara paralel untuk memperbaiki kualitas daya listrik dengan menaikkan faktor daya (cos φ / cos phi) . Besaran yang dipakai untuk kapasitor ini adalah Kilo Volt Ampere Reaktif (kVAR). Kapasitor memiliki sifat listrik yang kapasitif sehingga mempunyai sifat mengurangi / menghilangkan terhadap sifat induktif. Dengan dasar inilah nilai faktor daya dapat diperbaiki. Sebelum dipasang kapasitor bank, daya aktif (kW) dan daya reaktif (kVAR) yang diserap oleh beban induktif seluruhnya disuplai oleh sentral listrik (Trafo PLN), sehingga daya semu (kVA) dari sentral harus besar. Sesudah pemasangan kapasitor bank, seluruh atau sebagian daya reaktif yang diperlukan oleh beban induktif akan disuplai oleh kapasitor bank. Sehingga tugas sentral listrik akan menjadi lebih ringan karena hanya menyuplai daya aktif saja [8].

Analisa data yang dilakukan untuk menentukan kebutuhan kapasitor pada peningkatan faktor daya dapat dilakukan dengan metode sebagai berikut

$$\cos\phi_1 = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q_1^2}} \tag{1}$$

Bila kapasitor parallel dengan kapasitas QC kVAR dipasang pada sisi beban, maka faktor dayanya diperbaiki menjadi :

$$\cos\phi_2 = \frac{P}{S_2} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q_2^2}} \tag{2}$$

atau :

$$\cos\phi_2 = \frac{P}{\sqrt{P^2 + (Q_1 - Q_C)^2}}$$

Bila factor daya awal disebut  $\cos 1$  dan diperbaiki menjadi  $\cos 2$  maka besar kapasitor =  $Q_C$  dapat ditentukan sebagai berikut:

$$Q_C = P (\tan\phi_1 - \tan\phi_2) \text{ kVAR}$$

dimana :

$S_1$  = Daya semu awal (sebelum dikompensasi) (VA)

$P$  = Daya aktif beban (Watt)

$\cos\phi_1$  = Faktor daya awal (sebelum dikompensasi) (Rad/Deg)

$Q_1$  = Daya reaktif (sebelum dikompensasi) (VAR)

$S_2$  = Daya semu yang diinginkan (setelah dikompensasi) (VA)

$\cos\phi_2$  = Faktor daya yang diharapkan (Rad/Deg)

$Q_2$  = Daya reaktif yang setelah dikompensasi (VAR)

$Q_C$  = Rating kapasitor (kVAR)

Dalam kapasitor seri daya reaktif sebanding dengan kuadrat arus beban, sedangkan pada kapasitor paralel sebanding dengan kuadrat tegangan. Pemasangan komponen kapasitor seri dan paralel pada jaringan distribusi listrik mengakibatkan kerugian (losses) aliran daya reaktif pada jaringan dapat dikurangi sehingga kebutuhan arus menurun dan tegangan mengalami kenaikan sehingga kapasitas sistem jaringan bertambah [8].

Untuk menghitung besarnya nilai kapasitas kapasitor dapat digunakan rumus:

$$C = \frac{Q_C}{V^2 \times \omega}$$

dimana :

$C$  = Kapasitas kapasitor (Farad)

$Q_C$  = Daya reaktif kapasitor (Var)

$V$  = Tegangan (Volt)

$\omega$  =  $2\pi f$

### C. Distributed Generation (DG)



Gambar 3. *Distributed Generation* Pada Jaringan Distribusi

*Distributed Generation* adalah sumber energi tambahan yang digunakan untuk membantu memenuhi permintaan beban tinggi. DG menggunakan generator yang memiliki kapasitas

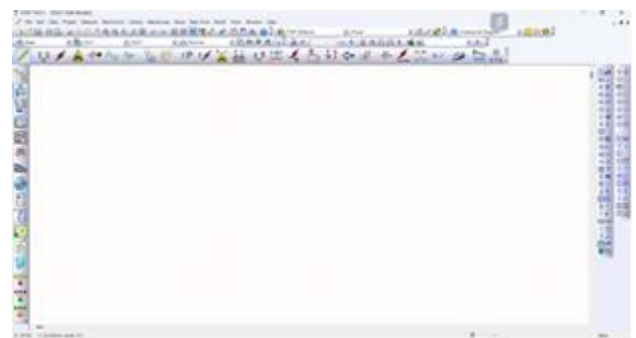
daya lebih kecil dari pembangkit utama, cenderung lebih dekat dengan beban, serta menggunakan energi terbarukan yang dihubungkan pada jaringan distribusi. Pengelompokan DG berdasarkan kapasitas pembangkitannya dijelaskan pada Tabel 1 [9].

Tabel 1. Klasifikasi *Distributed Generation*

(4)

Klasifikasi <i>Distributed Generation</i>	Kapasitas <i>Distributed Generation</i>
Micro DG	~ 1 Watt < 5 kW
Small DG	5 kW < 5 MW
Medium DG	5 MW < 50 MW
Large DG	50 MW < ~ 300 MW

### D. Software Etap



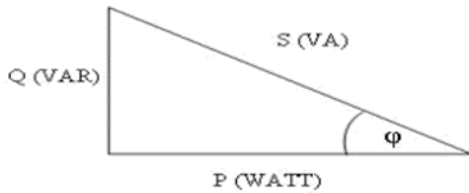
Gambar 4. Tampilan Etap 19.0.1

(5)

Software ETAP (*Electric Transient and Analysis Program*) merupakan suatu software (perangkat lunak) yang digunakan untuk menganalisis suatu sistem tenaga listrik. Perangkat ini dapat bekerja dalam keadaan *offline* yaitu untuk simulasi tenaga listrik, dan juga dalam keadaan online untuk pengelolaan data *real time* [10].

Analisa tenaga Listrik yang dapat dilakukan dengan menggunakan ETAP yaitu analisa aliran daya (*Load Flow Analysis*). Analisa aliran energi listrik pada setiap kapasitas listrik digunakan untuk mengetahui besaran-besaran listrik yang ada pada sistem tenaga listrik. Seperti penurunan tegangan, pemanfaatan beban, korsleting dan kegagalan daya. Dalam mempelajari arus diperlukan beberapa data dari generator, trafo, busbar dan beban untuk mengetahui besaran listrik lainnya. Masalah aliran beban mencakup perhitungan analisa dan tegangan sistem pada terminal tertentu atau bus tertentu. Representasi fasa tunggal selalu dilakukan karena sistem dianggap seimbang [11]. Dalam studi aliran daya, bus-bar dibagi dalam tiga macam, yaitu:

- Slack bus/ Swing bus/ bus referensi.
- Voltage controll bus/ bus generator (PV Bus)
- Load bus/ bus beban



Gambar 5. Segi Tiga Daya

Dari gambar segi tiga daya dapat dilihat bahwa besaran masing-masing daya adalah sebagai berikut :

$$S = V \times I \tag{6}$$

$$P = V \times I \times \cos\phi \tag{7}$$

$$Q = V \times I \times \sin\phi \tag{8}$$

$\cos \phi$  bernilai negatif jika sudut arus mendahului tegangan maka beban bersifat leading, sedangkan  $\cos \phi$  bernilai positif jika gelombang arus tertinggal oleh tegangan maka beban tersebut bersifat lagging .

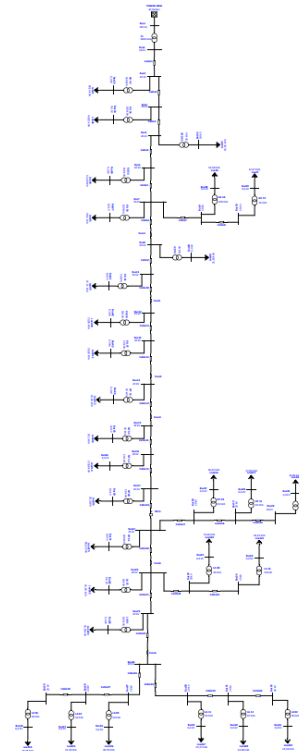
### III. Metode Penelitian

Penelitian ini difokuskan untuk menganalisa pengaruh pemasangan shun kapasitor bank dan distributet generation (DG) terhadap factor daya, rugi daya, dan profil tegangan. Untuk memperoleh data yang akan menunjang penelitian ini, dilakukan studi literatur dan pengambilan data di PT. PLN (Persero) UP3 Flores Bagian Timur terkhususnya penyulang Lela.

Simulasi dan analisa yang dilakukan dengan menggunakan software ETAP 19.0.1 adalah Analisa aliran daya dan Optimasi penentuan letak shun kapasitor bank dan distributet generation (DG) dengan algoritma genetika (GA). Pada gambar 6 merupakan *single line diagram* yang sudah didesain pada *software* ETAP 19.0.1.

#### A. Data Transformator

Data transformator pada tabel 2 yang didapatkan merupakan data kapasitas setiap trafo yang ada pada sistem distribusi penyulang Lela.



Gambar 6. SLD (ETAP)

Tabel 2. Data Transformator

KODE TRAF0	RATING (KVA)	PRIMER (KVA)	SEKUNDER (KVA)
T1	1000	150	20
KA 42	160	20	0,4
KA 55	100	20	0,4
KA 118	50	20	0,4
KA 53	100	20	0,4
KA 54	100	20	0,4
KA 56	100	20	0,4
KA 72	25	20	0,4
KA 59	50	20	0,4
KA 61	50	20	0,4
KA 58	50	20	0,4
KA 57	50	20	0,4
NT 13	50	20	0,4
NT 32	50	20	0,4
NT 12	50	20	0,4
NT 28	50	20	0,4
NT 29	50	20	0,4

NT 15	50	20	0,4
NT 14	50	20	0,4
NT 31	200	20	0,4
LA 15	50	20	0,4
LA 08	50	20	0,4
LA 13	50	20	0,4
LA 01	100	20	0,4
LA 09	50	20	0,4
LA 03	50	20	0,4
LA 06	50	20	0,4
LA 11	50	20	0,4
LA 12	50	20	0,4
LA 02	50	20	0,4

Cable22	3 - 1/C 70	0,32932	0,24278	1998 m
Cable23	3 - 1/C 70	0,32932	0,24278	1966 m
Cable24	3 - 1/C 70	0,32932	0,24278	1886 m
Cable25	3 - 1/C 70	0,32932	0,24278	1833 m
Cable26	3 - 1/C 70	0,32932	0,24278	1965 m
Cable27	3 - 1/C 70	0,32932	0,24278	1729 m
Cable28	3 - 1/C 70	0,32932	0,24278	1979 m
Cable29	3 - 1/C 70	0,32932	0,24278	1751 m
Cable30	3 - 1/C 70	0,32932	0,24278	1787 m

**B. Data Kabel**

Pada penelitian ini jenis kabel yang digunakan adalah kabel dengan konduktor jenis alluminium dengan ukuran 70 mm. tabel 3 dibawah ini menunjukkan tipe kabel dan panjang kabel yang digunakan pada tiap saluran.

Tabel 3. Data Kabel

NO	TYPE	R	X	PANJANG (meter)
Cable1	3 - 1/C 70	0,32932	0,24278	1764 m
Cable2	3 - 1/C 70	0,32932	0,24278	1876 m
Cable3	3 - 1/C 70	0,32932	0,24278	1833 m
Cable4	3 - 1/C 70	0,32932	0,24278	1654 m
Cable5	3 - 1/C 70	0,32932	0,24278	2278 m
Cable6	3 - 1/C 70	0,32932	0,24278	1830 m
Cable7	3 - 1/C 70	0,32932	0,24278	1821 m
Cable8	3 - 1/C 70	0,32932	0,24278	1900 m
Cable9	3 - 1/C 70	0,32932	0,24278	1836 m
Cable10	3 - 1/C 70	0,32932	0,24278	1729 m
Cable11	3 - 1/C 70	0,32932	0,24278	2175 m
Cable12	3 - 1/C 70	0,32932	0,24278	1716 m
Cable13	3 - 1/C 70	0,32932	0,24278	1876 m
Cable14	3 - 1/C 70	0,32932	0,24278	1899 m
Cable15	3 - 1/C 70	0,32932	0,24278	1938 m
Cable16	3 - 1/C 70	0,32932	0,24278	1939 m
Cable17	3 - 1/C 70	0,32932	0,24278	2376 m
Cable18	3 - 1/C 70	0,32932	0,24278	1879 m
Cable19	3 - 1/C 70	0,32932	0,24278	1753 m
Cable20	3 - 1/C 70	0,32932	0,24278	1966 m
Cable21	3 - 1/C 70	0,32932	0,24278	1877 m

**C. Data Beban**

Data beban yang digunakan merupakan beban pada penyulang lela. Tabel 4 dibawah ini menunjukkan besarnya beban pada masing- masing gardu.

Tabel 4. Data Beban

ID	Rating/Limit (kVA)	ID	Rating/Limit (kVA)
Load1	83,14	Load16	26,33
Load2	40,81	Load17	27,02
Load3	32,56	Load18	22,86
Load4	51,96	Load19	85,22
Load5	48,5	Load20	25,63
Load6	50,58	Load21	26,33
Load7	12,47	Load22	24,94
Load8	25,63	Load23	45,03
Load9	27,71	Load24	30,48
Load10	23,56	Load25	31,18
Load11	26,33	Load26	20,78
Load12	24,94	Load27	22,17
Load13	29,1	Load28	22,86
Load14	22,86	Load29	23,56
Load15	20,3		

**D. Optimasi Penentuan Lokasi Kapasitor Dan DG Dengan Alogaritma Genetika**

Algoritma Genetika adalah teknik pencarian yang terinspirasi dari teori evolusi milik Charles Darwin. Metode kecerdasan buatan ini diperkenalkan oleh David Goldberg melalui penelitian salah satu mahasiswanya John Holland tahun 1960 [12]. Berikut adalah tahapan dari Algoritma Genetika yang digunakan dalam penelitian ini:

1) **Contrains**

Pada penelitian ini menggunakan batasan dari kondis yang optimal yaitu sebagai berikut :



*Constrain power balance:* Batasan ini diberikan berguna untuk membatasi agar daya dari kapasitor ataupun DG yang disuntikkan ke dalam sistem tidak melebihi dari beban pada sistem [13].

$$\sum_{k=1}^{nd} P_{k1}^{DG} \leq \sum_{k=2}^n P_k + \sum_{k=1}^{nb} P_{Loss,k,k+1}$$

$$\sum_{k=1}^{nc} Q_k^c \leq 0.8 \sum_{k=2}^n Q_k$$

Constrain batas *kapasitas* : batasan yang membatasi dari daya yang dikeluarkan atau yang mampu disuntikkan ke sistem yaitu dibatasi mampu mensupply hingga kapasitas 1 MW dan 200 KVAR.

$$P_{k,min}^{DG} \leq P_k^{DG} \leq P_{k,max}^{DG}$$

$$Q_{k,min}^c \leq Q_k^c \leq Q_{k,max}^c$$

Constrain tegangan: batasan untuk membatasi tegangan pada tiap bus agar memenuhi syarat yaitu antara 0.95 pu sampai 1.05 pu.

$$|V_1 - V_k| \leq \Delta V_{max}$$

2) Fungsi Objektif

Pada penelitian ini adalah memaksimalkan selisih rugi daya awal dengan rugi daya setelah pemasangan. Dengan memaksimalkan selisih maka sama dengan meminimalkan rugi daya yang dihasilkan setelah pemasangan DG dan kapasitor [13].

$$Maximize F = max (\Delta P_L^{DG} + \Delta P_L^C)$$

Dimana ,

$$\Delta P_L^{DG} = P_{T,Loss} - P_{T,Loss}^{DG}$$

$$\Delta P_L^C = P_{T,Loss} - P_{T,Loss}^C$$

**IV. Hasil dan Pembahasan**

Sebelum melakukan analisa hasil, perlu di ketahui terlebih dahulu aliran daya (load flow) pada sistem untuk mengetahui bagaimana profil daya dan tegangan pada sistem kelistrikan penyalang Lela.

Keluaran dari hasil simulasi aliran daya akan ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik, untuk lebih mempermudah dalam pemahaman hasil analisa.

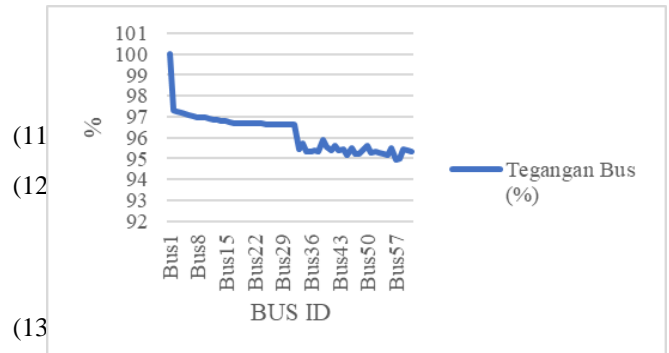
Pada tahap simulasi dari penelitian ini dilakukan 4 tahap pengujian dalam menentukan lokasi penempatan yang optimal dan untuk mengetahui besar rugi daya dan drop tegangan yang dihasilkan oleh masing-masng tahapan simulasi. Tahapan tersebut adalah sebagai berikut:

- 1.Simulasi sistem tanpa pemasangan kapasitor dan DG (base case)
- 2.Simulasi sistem dengan penempatan kapasitor dengan kapasitas yang optimal
- 3.Simulasi sistem dengan penempatan DG dengan kapasitas yang optimal
- 4.Simulasi sistem dengan penempatan kapasitor dan DG dengan ukuran yang optimal

A. Hasil Load Flow Tanpa Kapasitor dan DG

Pada sub bab ini akan dijelaskan bagaimana hasil dari analisa aliran daya pada system sebelum terpasang kapasitor dan DG. Parameter yang akan dianalisa adalah tegangan pada busbar, profil daya, dan losses pada kabel.

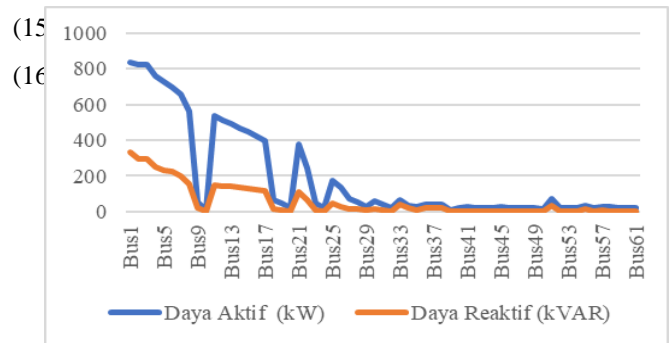
(10)1. Tegangan Bus



Gambar 7. Grafik Tegangan Bus

Dapat diketahui dari gambar 7 bahwa terdapat penurunan profil tegangan pada bus 57 dan 58 hingga mengalami *under voltage* dimana tegangan pada bus tersebut berada dibawah 95% dari tegangan nominalnya.

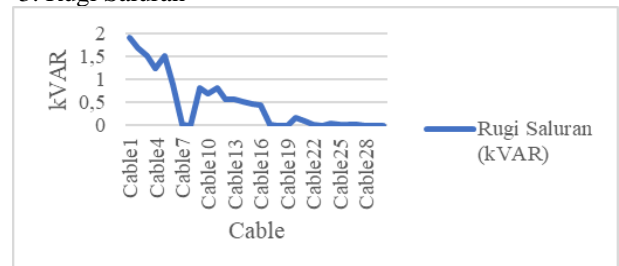
2. Profil Daya



Gambar 8. Grafik Profil Daya

Pada gambar 8 dapat diketahui bahwa besarnya daya aktif pada bus1 yang merupakan slack bus adalah 836,8 kW, sedangkan daya reaktif pada bus yang sama adalah 332,7 kvar.

3. Rugi Saluran

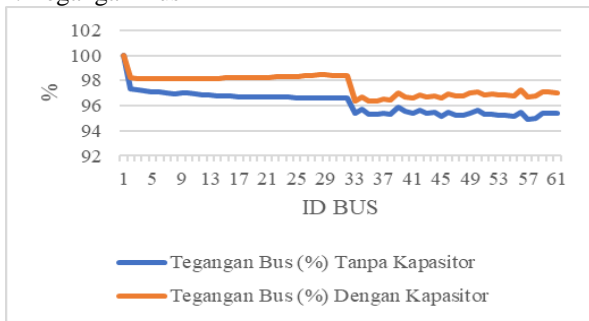


Gambar 9. Grafik Rugi Saluran

Dilihat dari gambar 9 kvar losses tertinggi berada pada kabel 1 dengan nilai daya reaktif sebesar 1,9 kvar. Hal ini karena kabel 1 yang terhubung langsung dengan *slack bus* sehingga cenderung memiliki daya reaktif yang lebih tinggi dikarenakan peran *slack bus* dalam menyeimbangkan daya reaktif pada sistem, variabilitas beban, dan reaktansi induktif kabel.

**B. Hasil Load Flow Dengan Pemasangan Kapasitor**

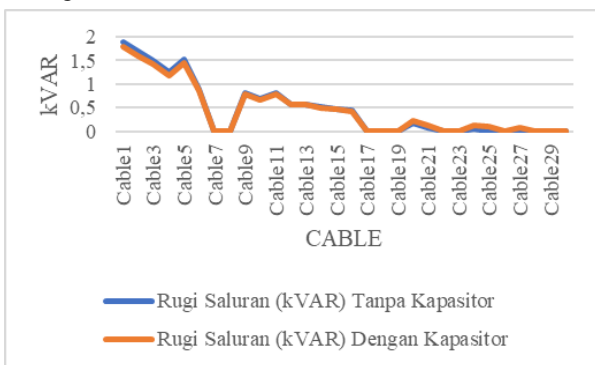
**1. Tegangan Bus**



Gambar 10. Grafik Tegangan Bus

Gambar 10 merupakan perbandingan profil tegangan bus antara sebelum pemasangan kapasitor dan sesudah di pasang kapasitor. Dapat kita ketahui bahwa tegangan bus sebelum pemasangan kapasitor terdapat 26 bus dalam kondisi marginal dan 2 bus dalam kondisi kritis. Sedangkan setelah dipasang kapasitor profil tegangan bus mengalami peningkatan, dapat dilihat pada bus 57 dan 58.

**2. Rugi Saluran**

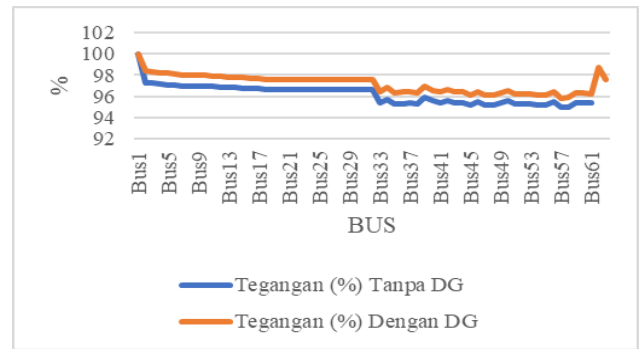


Gambar 11. Grafik Rugi Saluran

Dilihat dari gambar 11 rugi saluran pada kabel sebelum pemasangan kapasitor tertinggi berada pada kabel 1 dengan nilai daya reaktif sebesar 1,9 kVar dan setelah pemasangan kapasitor rugi daya pada kabel berkurang menjadi 1,619 kVar begitupun dengan bus-bus yang lain mengalami penurunan. Hal ini karena rugi daya pada kabel atau daya reaktifnya terpenuhi setelah pemasangan kapasitor.

**C. Hasil load flow Dengan Pemasangan DG**

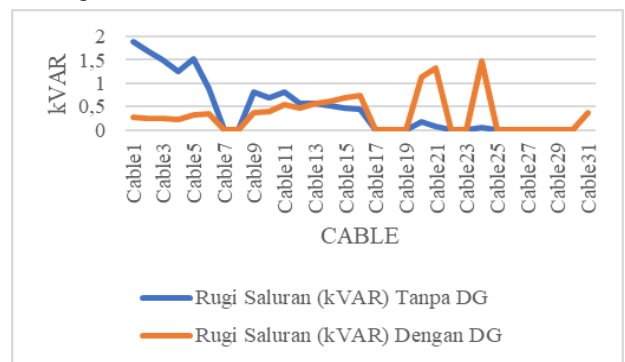
**1. Tegangan Bus**



Gambar 12. Grafik Tegangan Bus

Gambar 12 merupakan perbandingan profil tegangan bus adntara sebelum pemasangan DG dan setelah di pasangng DG, dapat kita ketahui bahwa tegangan bus sebelum pemasangan kapasitor terdapat 26 bus dalam marginal dan 2 bus dalam kondisi kritis. Sedangkan setelah dipasang DG profil tegangan bus mengalami peningkatan yang signifikan.

**2. Rugi Saluran**



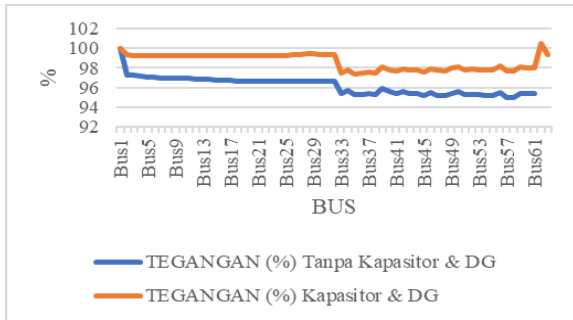
Gambar 13 Grafik Rugi Saluran

Gambar 13 rugi daya pada kabel sebelum pemasangan DG tertinggi berada pada kabel 1 dengan nilai daya reaktif sebesar 1,9 kVar dan setelah pemasangan DG rugi daya pada kabel berkurang menjadi 0,281 begitupun dengan bus – bus yang lain mengalami penurunan. Hal ini karena rugi daya pada kabel atau daya reaktifnya dikatakan terpenuhi setelah pemasangan DG.

**D. Hasil Load Flow Dengan Pemasangan Kapasitor dan DG**

**1. Tegangan Bus**

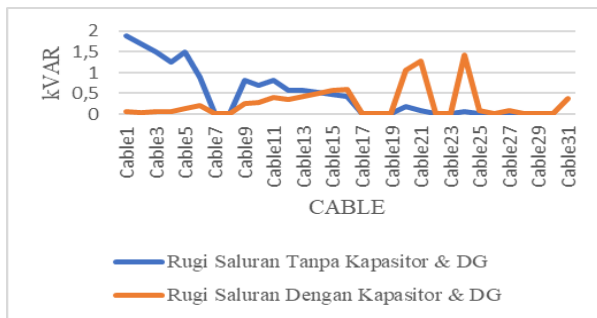
Dilihat dari gambar 14 bawah profil tegangan setelah pemasangan kapasitor dan *distributed generation* (DG) kembali normal dari sebelum pemasangan kapasitor dan DG yang mengalami *under voltage* dan dapat dibuktikan dari bus yang



Gambar 14 Grafik Tegangan Bus

sebelumnya berada di kondisi kritikal pada bus 57 dan 58 hingga mengalami *under voltage* dimana tegangan pada bus tersebut berada dibawah 95% dari tegangan nominalnya.

2. Rugi Saluran



Gambar15. Grafik Rugi Saluran

Gambar 15 membuktikan bahwa dengan di tambahkan kapasitor dan *distributed generation* dapat meminimalisasi rugi daya pada saluran sebesar 1,8493 kVar dan dapat dikatakan rugi saluran terpenuhi.

E. Hasil Analisa Aliran Daya Dari 4 Tahapan Simulasi

Tabel 4. Kesimpulan Simulasi

No	Keterangan	Lokasi Bus	size	P	Q	(%)	
						P	Q
1	Tanpa DG & Kapasitor	-	-	836,8	335,7	-	-
2	Dengan Penempatan Kapasitor	28	200 kVAR	860	146,8	2,77%	56,26%
3	Dengan Penempatan DG	26	1 MW	39,12	344,2	95,33%	2,53%
4	Dengan Penempatan Kapasitor & DG	28	Kapasitor 200 kVAR	16,01	146,3	98,09%	56,41%
		26	DG 1 MW				

V. Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang didapatkan dari simulasi dan analisis pada penelitian ini, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Dengan menempatkan Kapasitor dapat meminimalkan rugi daya reaktif lebih banyak dibandingkan dengan menempatkan DG. Sedangkan dengan menempatkan DG dapat memenuhi kebutuhan daya aktif lebih banyak dibandingkan dengan menempatkan kapasitor
2. Hasil optimasi penempatan 1 kapasitor dan 1 DG yang ditempatkan secara simultan didapatkan kapasitor pada bus 28 sedangkan DG pada bus 26.
3. Pada penempatan optimal 1 kapasitor dan 1 DG yang ditempatkan secara simultan dengan metode GA dapat memenuhi kebutuhan daya aktif dari 836,8 KW menjadi 16,01 KW dan kebutuhan daya reaktif dari 335,7 KVAR menjadi 146,3 KVAR.

VI. Daftar Pustaka

[1] Firdaus, Ontoseno Penangsang, Rony Seto Wibowo, and Umar, "Alokasi Optimal DG Sumber Energi Terbarukan Menggunakan Algoritme Multi-Verse Optimizer," *J. Nas. Tek. Elektro Dan Teknol. Inf.*, vol. 10, no. 3, pp. 291–299, Aug. 2021, doi: 10.22146/jnteti.v10i3.1462.

[2] M. Zainuddin and F. E. P. Surusa, "Pengaruh Grid-Connected Photovoltaic (GCPV) Rooftop Terhadap Jatuh Tegangan Dan Stabilitas Tegangan Pada Penyulang Distribusi Radial," vol. 18, no. 2, 2019.

[3] "Optimasi Jaringan Distribusi Listrik Dengan Pemasangan Kapasitor Pada Jaringan Tegangan Menengah 6.3 KV PT. Semen Tonasa," *Pros. Semin.*



- Nas. NCIET*, vol. 1, no. 1, Dec. 2020, doi: 10.32497/nciet.v1i1.167.
- [4] W. S. Anjas and M. Ilham, "Analisis Pembebanan Trafo Sebelum Penambahan Gardu Sisipan Terhadap Besarnya Kapasitas Daya untuk Memperbaiki Pembebanan pada Gardu Distribusi," vol. 14, 2022.
- [5] A. Arief and U. Hasanuddin, "Optimasi Penentuan Letak Pembangkit Tersebar (Distributed Generation) Pada Sistem Distribusi Radial Dengan Adanya Kapasitor," vol. 2, no. 1, 2023.
- [6] E. Dermawan and R. Samsinar, "Studi Optimasi Penempatan dan Ukuran Kapasitor Dengan Metode Genetik Algoritma Pada Distribusi Hotel Starlet".
- [7] Jonson M. Siburian, Thamrin Siahaan, Johannes Sinaga, "Analisis Peningkatan Kinerja Jaringan Distribusi 20KV Dengan Metode Thermovisi Jaringan PT. PLN (Persero) ULP Medan Baru," vol. 9, no. 1, 2020.
- [8] I. Hajar and S. M. Rahayuni, "Analisis Perbaikan Faktor Daya Menggunakan Kapasitor Bank Di Plant 6 PT. Indocement Tunggal Prakarsa Tbk. Unit Citeureup," *Setrum Sist. Kendali-Tenaga-Elektron.-Telekomun.-Komput.*, *Setrum Sist. Kendali-Tenaga-Elektron.-Telekomun.-Komput.*, vol. 9, no. 1, p. 8, Jun. 2020, doi: 10.36055/setrum.v9i1.8111.
- [9] G. P. C. Handani, H. Suyono, and R. N. Hasanah, "Optimasi Injeksi Distributed Generation Menggunakan Algoritma Cat Swarm Optimization dan Krill Herd Algorithm".
- [10] F. Dani, A. Hasibuan, M. Jannah, and I. M. A. Nrarta, "Simulasi Dan Analisa Pemasangan Distributed Generation Pada Sistem Distribusi 20 KV Menggunakan Etap 19.0," 2022.
- [11] A. Kiswantono and A. P. Putra, "Analisa Perancangan Sistem Transmisi Pembangkit dengan Power150 KVA dan proteksi gangguan listrik di penyaluran 10 KVA menggunakan UPS 8 KVA pada software etap 16.0.0".
- [12] A. S. Sampeallo, W. F. Galla, and D. H. L. Rohi, "Analisis Rugi Daya Di Penyulang Oebufu PT. PLN (Persero) ULP Kupang Menggunakan Alogaritma Genetika," *J. Media Elektro*, pp. 32–43, Apr. 2021, doi: 10.35508/jme.v0i0.3762.
- [13] D. Setianto, O. Penangsang, R. S. Wibowo, and J. A. R. Hakim, "Minimisasi Rugi Daya Pada Jaringan Distribusi Radial 3 Fasa Menggunakan Genetika Algoritma Untuk Mendapatkan Lokasi Kapasitor Dan DG Yang Optimal".