

Analisa Penempatan *Distributed Generator* Pada IEEE 33 Bus Sistem Distribusi Radial

Sulistianingsih Nur Fitri¹⁾, Nur Yasin Irwan²⁾, Annisa³⁾, Syarif Hidayatullah⁴⁾, Muhira Dzar Faraby⁵⁾, Ahmad Rizal Sultan⁶⁾

¹ Program Studi D3 Teknik Listrik, Politeknik Bosowa, Makassar
sulistianingsihnurfitri@politeknikbosowa.ac.id

² Program Studi D4 Teknik Listrik, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar
nur.yasin.irwan.1902@gmail.com,

³ Program Studi D4 Teknik Listrik, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar
tahirannisa4@gmail.com

⁴ Program Studi D4 Teknik Listrik, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar
syarifefari.11@gmail.com,

⁵ Program Studi D4 Teknik Listrik, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar
muhiradzfaraby@poliupg.ac.id

⁶ Program Studi D4 Teknik Listrik, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar
rizal.sultan@poliupg.ac.id

Abstrak

Rugi daya adalah masalah yang sering dihadapi dalam sistem distribusi. Istilah ini digunakan untuk menggambarkan kehilangan energi listrik dalam sistem distribusi atau transmisi daya. Rugi daya terjadi karena adanya resistansi, induktansi, dan kapasitansi, yang terdapat pada saluran distribusi maupun peralatan dan beban pada sistem. Pada sistem distribusi, rugi daya dapat menjadi signifikan dan mengurangi efisiensi keseluruhan sistem. Dalam pembahasan kali ini, dilakukan penelitian tentang efek dari pemasangan tiga unit pembangkit untuk meminimalkan rugi daya, dengan melakukan pengujian pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus dan simulasi menggunakan perangkat lunak MATLAB *power system analysis toolbox (PSAT)*. Dari hasil pengujian yang diperoleh, rugi-rugi daya pada kondisi beban meningkat mencapai 520,8 kW dan 408,5 kVA. Kemudian setelah pemasangan tiga unit generator, rugi-rugi daya pada sistem turun menjadi 412,5 kW dan 359,3 kVA sehingga dapat dibuktikan bahwa dengan memasang generator dapat mengurangi rugi daya pada sistem.

Keywords : *Distributed Generator, IEEE 33 Bus, rugi daya, Power System Analysis Toolbox (PSAT)*

I. PENDAHULUAN

Salah satu upaya untuk menjamin sistem tenaga listrik terjaga dengan baik dapat dinilai dari kualitas sistem kelistrikannya dapat terhindar dari kondisi *blackout* hingga kerusakan peralatan-peralatan listrik. Hal ini diinginkan oleh konsumen terutama di industri karena dengan kualitas sistem tenaga listrik yang baik maka produksi daya yang diberikan ke beban bisa maksimal dengan biaya produksi bisa seminimal mungkin [1]. Tetapi memperoleh tegangan yang konstan pada sistem kelistrikan sangat sulit ditemukan bahkan tidak ada, dikarenakan adanya kerugian daya dari sistem tersebut [2]. Salah satu cara untuk mempertahankan keandalan dan kualitas listrik pada sistem adalah dengan menambahkan generator ke dalam sistem jaringan distribusi. Integrasi *Distributed Generation (DG)* pada sistem distribusi radial aktif dapat mengurangi rugi-rugi daya pada saluran, mengurangi susut tegangan (drop tegangan) dan meningkatkan kapabilitas jaringan sistem distribusi [3].

Pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus mengalami *losses* pada beberapa bus, yaitu adanya energi yang hilang baik secara teknis maupun non teknis. Dalam studi skenario dalam penelitian ini, sistem distribusi 33 bus mengalami tiga kondisi yaitu kondisi normal (sesuai dengan data

impedansi dan pembebanan standar *IEEE 33 Bus Radial Distribution System*), kondisi beban meningkat (terjadi peningkatan beban 20% untuk setiap bus dan beban pada 3 bus ditingkatkan 3 kali dengan syarat ketiga bus tersebut adalah bus yang memiliki beban tertinggi), dan kondisi perbaikan yaitu dengan penambahan 3 unit pembangkit 200 kW.

Simulasi dilakukan dengan menggunakan *software* Matlab dan *power system analysis toolbox (PSAT)* untuk pemodelan sistem distribusi radial IEEE 33 bus, dan menunjukkan terjadi *losses* pada sistem yang menyebabkan kerugian. Oleh karena, itu penulis tertarik untuk menganalisa bagaimana efek dari penempatan 3 unit *distributed generator* berkapasitas 200 kW terhadap Rugi daya yang terjadi pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus.

II. KAJIAN LITERATUR

A. Jaringan Sistem Distribusi Radial

Sistem distribusi dengan pola Radial adalah sistem distribusi yang paling sederhana dan ekonomis. Pada sistem ini terdapat beberapa penyulang yang menyuplai beberapa gardu distribusi secara radial. Jaringan distribusi sistem radial ditandai dengan adanya satu jalur pengiriman tenaga

listrik mulai dari sumber gardu induk ke pelanggan. Sistem distribusi radial terdiri dari satu atau lebih trafo distribusi dan memiliki cabang-cabang menuju beban. Jaringan ini adalah topologi jaringan yang paling banyak digunakan. Sistem ini sering digunakan pada sistem kelistrikan, dikarenakan sebagai berikut [4]:

1. Pengamanan terhadap arus gangguan lebih mudah.
2. Arus gangguan lebih kecil.
3. Pengaturan tegangan lebih mudah.
4. Lebih mudah meramalkan dan mengatur aliran daya.
5. Biaya lebih murah.
6. Bentuknya sederhana

Salah satu kelemahan sistem ini adalah kontinuitas pelayanan kurang baik dan keandalannya rendah serta jatuh tegangan yang terjadi sangat besar, terutama untuk beban yang terdapat pada ujung saluran.

B. Distributed Generation

Distributed Generation (DG) dapat didefinisikan sebagai pembangkit skala kecil, yang terhubung langsung pada jaringan distribusi [5].

Kelebihan dari mengintegrasikan *Distributed Generator* pada sistem distribusi, yaitu dapat mengurangi rugi daya pada saluran, profil tegangan lebih stabil, dan kualitas daya yang lebih baik, meningkatkan efisiensi jaringan.[6]

Kapasitas maksimum yang mungkin disuplai oleh DG sebagai sumber energi listrik sering digunakan untuk membatasi kualifikasi dari DG itu sendiri. Klasifikasi DG berdasarkan kapasitas pembangkit adalah Mikro, Kecil, Sedang, dan besar. 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 [7].

C. Rugi Daya

Rugi (*losses*) daya biasanya dipahami sebagai perbedaan nilai yang dialirkan oleh pengirim (*power grid*) dan energi yang diterima konsumen.[8] Rugi daya ini dapat terjadi karena sifat resistansi, dan reaktansi pada komponen pada sistem distribusi dan konsumsi energi oleh beban.

Selain itu susut distribusi diklasifikasikan menjadi susut teknis dan susut non teknis.[9] Susut teknis merupakan daya yang hilang pada trafo distribusi, saluran distribusi dan alat meteran, sedangkan susut non teknis merupakan akibat dari faktor eksternal seperti pencurian listrik, tagihan tidak terbayar oleh konsumen dan kesalahan dalam membaca meter energi dan menyimpan data. Dalam setiap sistem pembangkitan dan distribusi, tidak ada efisiensi yang ideal, artinya tidak ada daya listrik yang disalurkan dan dikonsumsi secara total oleh konsumen tanpa ada pemborosan atau kehilangan daya. Oleh karena itu, selama daya listrik mengalir di setiap komponen distribusi, sejumlah daya tertentu akan hilang antara sumber daya listrik dan titik beban.[10]

Rugi daya pada saluran diakibatkan karena adanya nilai tahanan, induktansi, dan kapasitansi pada konduktor. Karena saluran distribusi primer ataupun sekunder berjarak pendek maka kapasitansi dapat diabaikan. Sehingga rugi daya pada saluran dapat dirumuskan seperti berikut:

$$\text{Rugi daya aktif} = \Delta P = I^2 R \frac{L^3}{3} \tag{1}$$

$$\text{Rugi daya reaktif} = \Delta Q = I^2 X \frac{L^3}{3} \tag{2}$$

Dimana :

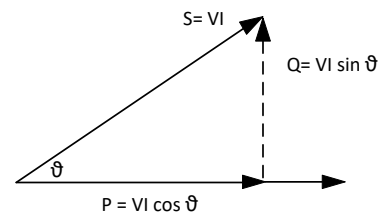
- P = Daya aktif (Watt)
- Q = Daya reaktif (VAR)
- R = Resistansi (Ohm/Km)
- X = Reaktansi (Ohm/Km)
- L = Panjang saluran (Km)

Faktor daya memiliki kaitan yang erat terhadap adanya rugi-rugi yang dapat dilihat pada gambar 1.. Faktor daya merupakan perbandingan daya aktif dan daya semu dan dirumuskan dengan persamaan berikut:

$$\text{Power factor} (\cos\phi) = \frac{\text{Daya Aktif}}{\text{Daya Semu}} = \frac{P}{S} \tag{3}$$

Dimana :

- Pf = Power Faktor ($\cos\phi$)/ Faktor daya
- P = Daya aktif (Watt)
- S = Daya Semu (VA)



Gambar 1. Segitiga Daya

Gambar 1 diperlihatkan hubungan antara daya semu (S), daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) secara matematis dapat dituliskan:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \tag{4}$$

Persentase rugi daya per-feeder merupakan perbandingan besarnya rugi daya per-feeder terhadap total daya per-feeder, dapat dirumuskan:

$$\%Losses = \frac{\Delta S}{S_{kirim}} \times 100\% \tag{5}$$

D. MATLAB dengan Power System Analysis Toolbox (PSAT)

MATLAB adalah lingkungan komputasi numerik yang kuat yang juga dapat digunakan untuk menganalisis aliran daya dalam sistem kelistrikan. MATLAB menyediakan berbagai fungsi dan alat bantu untuk mempermudah perhitungan dan analisis aliran daya. Proyek sistem tenaga

listrik memiliki masing-masing elemen rangkaian yang dapat diedit langsung dari diagram satu garis dan atau jalur sistem pentanahan. Untuk kemudahan hasil perhitungan analisis dapat ditampilkan pada diagram satu garis.

Matlab digunakan untuk menyelesaikan masalah-masalah yang melibatkan operasi matematika elemen, optimasi, aproksasi, matriks, dan lain-lain. Dalam hal ini Matlab banyak digunakan untuk [11]:

1. Pengembangan dan Algoritma.
2. Matematika dan komputasi.
3. Analisis Numerik dan Statistik.
4. Pengembangan Aplikasi Teknik.
5. Analisis Data, Eksplorasi dan Visualisasi.
6. Pemrograman pemodelan, Simulasi, dan Pembuatan Prototipe.

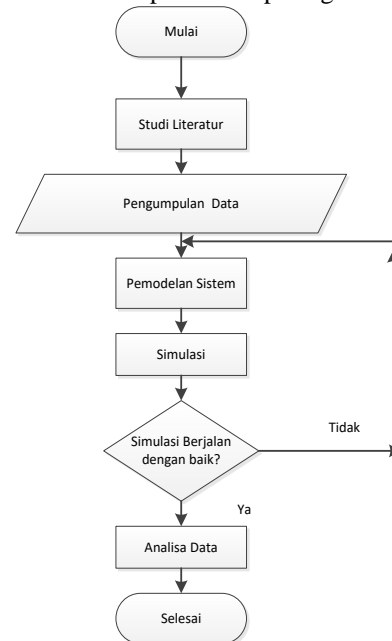
Sehingga software ini menyediakan *toolbox* yang berisi fungsi tambahan untuk aplikasi khusus.

Power System Analysis Toolbox (PSAT) adalah salah satu *toolbox* dari Matlab yang digunakan untuk analisis dan simulasi sistem tenaga listrik. Semua operasi dapat diakses menggunakan sistem grafis antarmuka (GUI), dan perpustakaan berbasis SIMULINK menyediakan alat yang diperlukan untuk merancang jaringan. Fitur utama PSAT termasuk Aliran Daya (*Power Flow*), Aliran Daya Kontinu (*Continuous Power Flow*), aliran daya optimal, analisis sinyal kecil (*Small Signal Analysis*), simulasi domain waktu, pemodelan FACTS, model turbin angin, dan konversi data dari berbagai Format [12].

III. METODE PENELITIAN

1. Studi Literatur: Literatur-literatur diambil dari penelitian-penelitian sebelumnya maupun dari jurnal – jurnal ilmiah yang berkaitan dengan materi penelitian untuk mendapatkan informasi terkait sistem distribusi radial IEEE 33 bus, *distributed generation*, dan rugi daya. Kami akan merujuk kepada jurnal ilmiah, artikel terkait, dan buku acuan yang relevan untuk memperoleh pemahaman yang mendalam tentang topik ini.
 2. Pengumpulan Data: Memperoleh data sistem distribusi sistem radial IEEE 33 bus. Adapun data yang dibutuhkan adalah data impedansi dan data pembebanan.
 3. Pemodelan Sistem: Merangkai sistem distribusi sesuai standar dan data dari sistem distribusi radial IEEE 33 bus pada *software* Matlab dengan *Power System Analysis Toolbox* (PSAT)
 4. Simulasi: Menyimulasikan sistem distribusi dalam 3 kondisi yaitu kondisi normal, kondisi beban ditingkatkan 20% dan 3 bus dengan beban tertinggi ditingkatkan tiga kali lipat, dan kondisi perbaikan dengan memasang 3 unit *distributed generation* 200 kW dengan menggunakan *software* Matlab dengan *Power System Analysis Toolbox* (PSAT)
- Analisa data: Menganalisis kinerja sistem distribusi pada penempatan pembangkitan setelah dilakukan peningkatan beban di setiap bus. Mengevaluasi hasil

yang diperoleh dari ketiga kondisi (normal, peningkatan beban, dan perbaikan). Alur Penelitian dapat dilihat pada gambar 2.

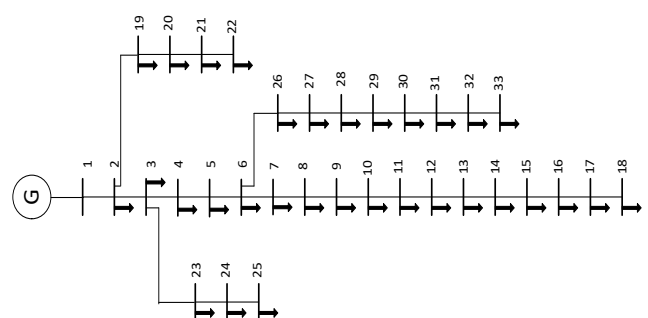


Gambar 2. Alur Penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Sistem Distribusi Radial 33 Bus

Model sistem distribusi yang digunakan pada penelitian ini adalah sistem distribusi IEEE 33 bus dengan tegangan kerja 12 kV, total beban 3,715 MW, dan 2,3 MVAR. *Single line diagram* untuk rangkaian sistem distribusi IEEE 33 bus dapat dilihat pada Gambar 3.



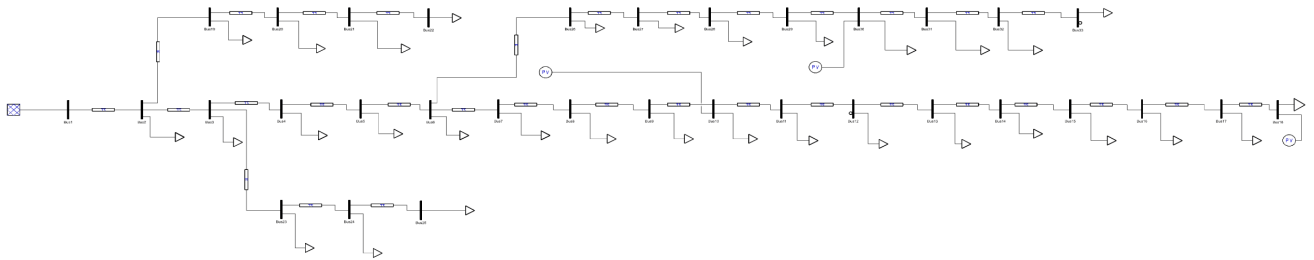
Gambar 3. SLD Sistem Distribusi Radial IEEE 33 Bus

B. Skenario A, B dan C

Simulasi Sistem distribusi radial 33 bus pada *software* Matlab dengan *Power System Analysis Toolbox* (PSAT), di dilakukan dalam 3 kondisi, sebagai berikut:

1. Skenario A: Skenario normal, impedansi dan pembebanan sesuai dengan data standar distribusi IEEE 33 bus.
2. Skenario B: Skenario peningkatan beban, Terjadi peningkatan beban 20% untuk setiap bus dan beban pada 3 bus (bus 23, 24, dan 29) ditingkatkan 3 kali lipat.
3. Skenario C: Perbaikan, Penambahan 3 unit pembangkit berkapasitas 200 kW pada bus 10, 18, dan 30.

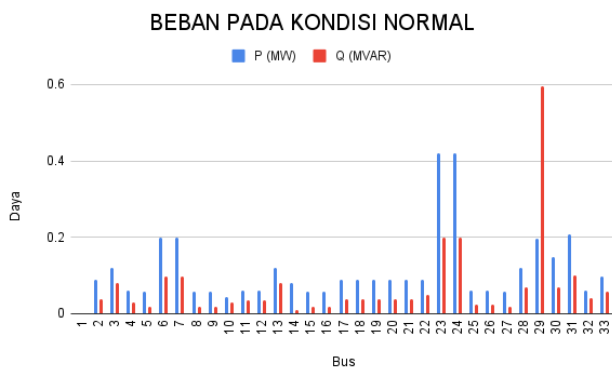
Adapun rangkaian simulasi pada PSAT dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Rangkaian Simulasi pada PSAT

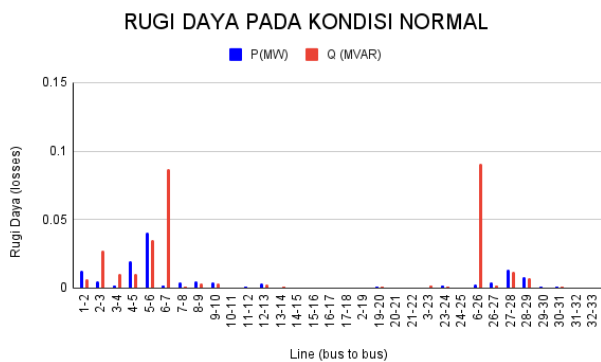
C. Simulasi dan Analisa

1. Skenario A : Skenario Normal Sistem Distribusi Radial IEEE 33 Bus. Pada kondisi Skenario A setelah disimulasikan di software Matlab. Total beban aktif yaitu 3,7068 MW dan total beban reaktif 2,2744 MVAR. Data beban pada kondisi normal dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Kondisi Normal

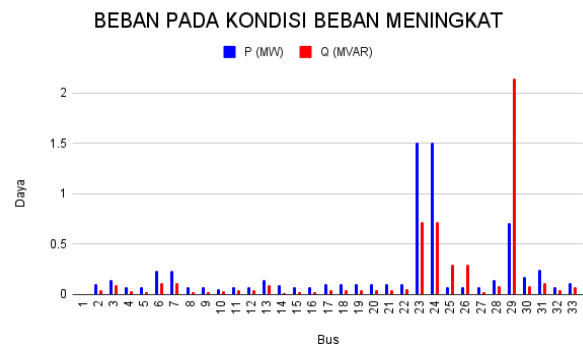
Pada kondisi normal, terjadi rugi daya pada sistem sebesar 0,1373 MW dan 0,0480 MVAR. Berikut grafik rugi daya pada kondisi normal. Hasil dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 6. Rugi Daya Kondisi Normal

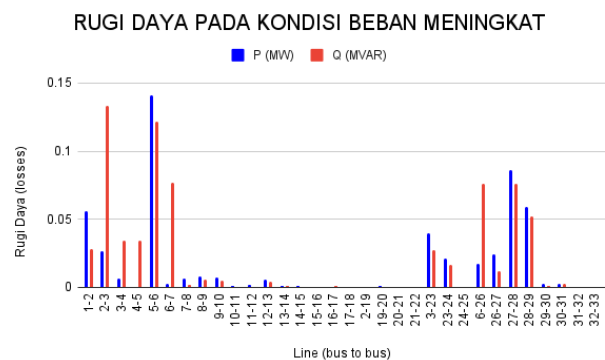
2. Skenario B : Peningkatan beban sebesar 20% untuk setiap bus dan peningkatan beban tiga kali lipat untuk bus 23,24,dan 29. Pada skenario ini setelah

disimulasikan pada software matlab kondisi beban mengalami peningkatan sebesar 6,9423 MW pada daya aktifnya dan 5,6557 MVAR pada daya reaktifnya.



Gambar 7. Kondisi Beban Meningkat

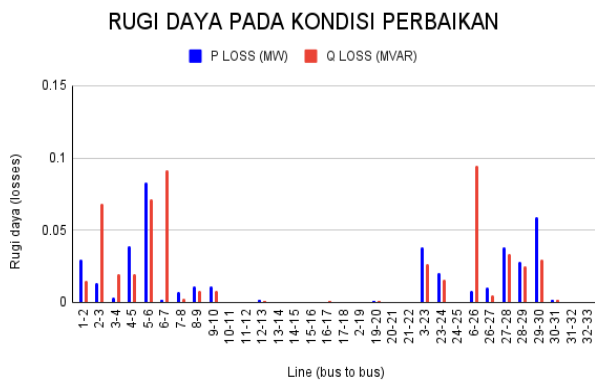
Sehingga total rugi daya kondisi beban meningkat yaitu 0,5208 MW untuk daya aktif dan 0,4085 MVAR untuk daya reaktifnya. Data beban dari skenario B dapat dilihat pada gambar 7, dan hasil rugi daya pada skenario B dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 8. Rugi Daya Kondisi Beban Meningkat

3. Skenario C : Kondisi perbaikan, dengan melakukan penambahan 3 unit generator 200 kW pada bus 10,18,dan 30. Pada kondisi perbaikan, beban masih dalam kondisi ditingkatkan, dan kemudian dilakukan penambahan 3 unit generator, Rugi-rugi daya pada sistem mengalai penurunan. Sehingga, total rugi daya pada kondisi perbaikan yaitu 0,4125 MW untuk daya aktifnya dan 0,3593 MVAR untuk daya reaktifnya.

Data rugi daya tiap line (bus-to-bus) dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 9. Rugi Daya Kondisi Perbaikan

Tabel 1. Perbandingan pada Skenario A,B, dan C

Skenario / Kondisi	Total Beban		Total Rugi Daya	
	P (MW)	Q (MVAR)	P (MW)	Q (MVAR)
A	3,7068	2,2744	0,1373	0,0480
B	6,9433	5,1222	0,5208	0,4085
C	6,9433	5,1222	0,4125	0,3593

Dapat dilihat data pada tabel 1. Kondisi A, merupakan kondisi normal dengan data total beban sesuai dengan Standar IEEE 33 Bus jaringan distribusi sistem radial. Kondisi B, merupakan kondisi peningkatan nilai total beban dari kondisi A, dan seiring dengan peningkatan beban, total rugi daya pada sistem meningkat. Kondisi C, merupakan kondisi perbaikan dari kondisi B, dengan penambahan 3 unit DG, dan menunjukkan total rugi daya pada sistem dapat menurun dari kondisi B.

V. KESIMPULAN

1. Pada kondisi normal dengan data yang sesuai dengan standar IEEE sistem distribusi radial 33 bus, sistem mengalami rugi daya sebesar 137,3 kW dan 48,0 kVAR.
2. Pada kondisi beban ditingkatkan 20% dan 3 bus (bus 23, 24, dan 29) ditingkatkan tiga kali lipat, sistem mengalami rugi daya sebesar 520,8 kW dan 408,5 kVAR.
3. Pada kondisi perbaikan dengan memasang 3 unit generator 200 kW pada bus 10,18, dan 30. Rugi daya pada sistem menurun, menjadi 412,5 kW dan 359,3 kVAR. Sehingga dengan pemasangan generator dapat menurunkan nilai rugi daya.

REFERENSI

[1] K.A. dongre dan A.P. Bhagat, "Power Flow Analysis Using Optimal Power Flow Method", *IEEE Conference*,2015.doi:10.1109/ICIIECS.2015.7193190.

[2] Leeton, D Uthisunthorn "Power Loss Minimization Using Optimal Power Flow Based on Particle Swarm Optimazation", *IEEE Jurnal*,2007.

[3] Faraby, Muhira Dzar, et al. "Pengaruh Optimasi Penempatan Distributed Generation Pada Sistem Distribusi Kota Lampung Mempertimbangkan Penyebaran Distorsi Harmonisa." *Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI)*. Vol. 8. No. 1. 2023.

[4] Marsudi, Djiteng. 2006 "Operasi Sistem Tenaga Listrik". Edisi Pertama. Yogyakarta: Graha Ilmu.

[5] Iweh, C.D. Dkk "Distributed Generation and Renewable Energy Integration into the Grid: Prerequisites, Push Factors, Practical Options, Issues and Merits" *Energies*, 2021.

[6] Bajaj, M.; Singh, A.K. "Grid integrated renewable DG systems: A review of power quality challenges and state-of-the-art mitigation techniques". *Int. J. Energy Res.* 2020.

[7] Yustika Umi F. "Optimasi Penempatan Kapasitas Distributed Generation Menggunakan Metode differential Evolution Untuk Meminimalkan Rugi Daya". 2015.

[8] "2nd CEER Report on Power Losses". March 2020, Ref: C19-EQS-101-03, Belgium.

[9] J. A. Mohammed, A. A. Hussein, and S. R. Al-Sakini, "Voltage disturbance mitigation in Iraq's low voltage distribution system," *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol.17,no.1,pp.47-60,Jan.2020. doi: 10.11591/ijeecs.v17.i1.pp47-60

[10] K. A. Ibrahim, M. T. Au, and C. K. Gan, "A new methodology for technical losses estimation of radial distribution feeder" *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol.16,no.3,pp.1126-1135,Dec.2019. doi: 10.11591/ijeecs.v16.i3.pp1126-1135

[11] Isnaini, Muhammad & Dewy, Mega Silfia, "Pemanfaatan Matlab Simulink Sebagai Media Pembelajaran Praktikum Secara Daring". *J.TIK dalam Pendidikan*, Vol. 8, No.2, 2021.

[12] Oktaviani dkk. "Continuous Power Flow and Time Domain Analysis for Assessing Voltage Stability". *J. Of Robotics and Control (JRC)*, Vol.1, Issue 6, 2020. doi:10.18196/jrc.1637.

[13] Meera,Hemamalini. "Optimal Siting of Distributed Generators in a Distribution Network using Artificial Immune System". *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, Vol. 7, No. 2, 2017. doi : 10.11591/ijece.v7i2.pp641-649