

Analisa Penempatan *Distributed Generation (DG)* Dan Kapasitor Bank Pada IEEE 118-Bus Sistem Distribusi Radial

Dewi Sri Wahyuni¹⁾, Ricky Rahmat²⁾, Mustika Ayu³⁾, Muhira Dzar Faraby⁴⁾ Ahmad Rizal Sultan⁵⁾

¹Program Studi D4 Teknik Listrik, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Ujung Pandang
dewisriwahyunitkj2@gmail.com,

²Program Studi D4 Teknik Listrik, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Ujung Pandang
rickyrahmat059@gmail.com ,

³Program Studi D4 Teknik Listrik, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Ujung Pandang
mustikaayucs02@gmail.com ,

⁴Program Studi D4 Teknik Listrik, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Ujung Pandang
muhiradzfaraby@poliupg.ac.id ,

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

Abstrak

Industri kelistrikan mengalami perkembangan pesat yang mendorong upaya peningkatan kualitas daya listrik untuk memastikan operasi sistem tenaga yang handal dan efisien. Namun, seringkali sistem distribusi menghadapi masalah yang menyebabkan rugi-rugi daya yang tinggi dan kualitas daya yang buruk bagi konsumen. Dalam penelitian ini, dilakukan pengujian pada sistem distribusi radial dengan 118-Bus. Setiap bus mengalami peningkatan beban sebesar 20%, sementara bus 50, 74, dan 111 mengalami peningkatan beban tiga kali lipat. Selain itu, dilakukan perbaikan dengan menambahkan dua unit pembangkit 300 kW dan dua unit kapasitor 150 kVAr. Simulasi dilakukan menggunakan aplikasi ETAP untuk menganalisis dampak dari peningkatan beban dan perbaikan yang dilakukan. Hasil simulasi menunjukkan pada kasus A yaitu kondisi awal dengan pembebanan sesuai IEEE 118-Bus Sistem Distribusi Radial, total pembebanannya adalah 22.709,72 kW dan 17.041,068 kVAr dan terjadi rugi daya sebesar 55,3 kW dan 42,2 kVAr. Lalu pada kasus B yaitu kondisi beban ditingkatkan, total pembebanannya adalah 27.251,664 kW dan 20.449,282 kVAr serta rugi daya yang dihasilkan sebesar 193,2 kW dan 139,3 kVAr. Sedangkan pada kasus C yaitu kondisi perbaikan dimana pada kondisi ini dilakukan perbaikan sistem dengan total pembebanan sama dengan kasus B, setelah di lakukan perbaikan rugi daya yang dihasilkan turun menjadi 188,7 kW dan 136,2 kVAr.

Kata Kunci: Rugi daya, Sistem Distribusi Radial IEEE 118-Bus, Peningkatan Beban, ETAP.

I. PENDAHULUAN

Peningkatan mutu pendistribusian tenaga listrik merupakan salah satu unsur penting dalam upaya meningkatkan pelayanan terhadap masyarakat dalam memenuhi kebutuhan energi listrik yang tumbuh cukup pesat[1]. Salah satu sistem tenaga listrik yang perlu diadakan peningkatannya adalah jaringan distribusi [2]. Kualitas daya listrik menjadi faktor krusial dalam memastikan kelancaran operasi sistem tenaga yang handal dan efisien. Sistem yang mempunyai keandalan yang tinggi akan mampu memberikan tenaga listrik setiap saat dibutuhkan, sedangkan sistem yang mempunyai keandalan rendah akan menyebabkan sering terjadinya pemadaman[3]. Selain itu masalah yang sering dihadapi dalam sistem distribusi yang dapat menyebabkan penurunan tegangan, peningkatan rugi-rugi daya, dan kualitas daya yang buruk bagi konsumen.

Dalam upaya untuk mengatasi masalah dan meningkatkan kualitas daya listrik, penempatan pembangkitan dan kapasitor di saluran distribusi telah menjadi fokus utama dalam penelitian terkait sistem tenaga listrik. Penempatan pembangkitan dan kapasitor dalam sistem distribusi dapat memberikan manfaat yang signifikan. Pembangkitan terdistribusi di titik strategis dapat membantu mengurangi beban pada saluran, meningkatkan tegangan, dan mengurangi rugi-rugi daya[4].

Sementara itu, kapasitor yang ditempatkan secara optimal dapat mengompensasi faktor daya reaktif, meningkatkan tegangan, dan mengurangi penurunan tegangan[5]. Namun, pemilihan lokasi yang tepat untuk penempatan pembangkitan dan kapasitor sangat penting agar dapat mengoptimalkan kualitas daya dengan efisiensi yang maksimal.

Dalam penelitian ini, bertujuan untuk menganalisis efek penempatan dua pembangkitan dan dua kapasitor pada Sistem Radial Distribusi IEEE 118-Bus setelah diberikan peningkatan pada beban.

II. KAJIAN LITERATUR

A. Jaringan Distribusi Sistem Radial

Sistem distribusi radial adalah sistem yang memiliki struktur yang sederhana, karena meliputi penyulang-penyulang atau rangkaian-rangkaian yang terpisah[6]. Secara sederhana bentuk sistem ini berupa sumber yang menyuplai beban-beban di bawahnya secara mengakar dan bercabang tanpa membentuk hubungan loop sehingga arus mengalir searah dari sumber searah menuju beban[7]. Sistem ini terdiri dari satu atau lebih trafo distribusi dan memiliki cabang-cabang yang terhubung dengan beban-beban. Terdapat beberapa alasan mengapa sistem distribusi radial sering digunakan dalam industri kelistrikan, di antaranya sebagai berikut:

1. Kemudahan Pengamanan: Sistem distribusi radial memudahkan proses pengamanan terhadap arus gangguan. Gangguan adalah suatu keadaan sistem yang tidak normal yang terjadi dalam sistem tenaga yang menyebabkan terganggunya aliran arus normal yang mengalir pada rangkaian tersebut. Gangguan dalam sistem tenaga listrik adalah keadaan yang tidak normal yang mana keadaan tersebut dapat mengakibatkan keberlanjutan pelayanan tenaga listrik terganggu [15]. Karena hanya terdapat satu jalur pengiriman tenaga, lokalisasi dan isolasi gangguan menjadi lebih mudah dilakukan.
2. Arus Gangguan yang Lebih Kecil: Dalam sistem distribusi radial, arus gangguan cenderung lebih kecil karena tidak terjadi percabangan arus yang signifikan. Hal ini membantu dalam mengurangi risiko kerusakan peralatan dan meningkatkan keandalan sistem.
3. Pengaturan Tegangan yang Lebih Mudah: Dalam sistem distribusi radial, pengaturan tegangan dapat dilakukan secara lebih efisien karena hanya memerlukan pengaturan pada satu titik, yaitu gardu induk. Hal ini mempermudah pengaturan tegangan untuk memenuhi kebutuhan pelanggan.
4. Kemudahan Peramalan dan Pengaturan Aliran Daya: Dalam sistem distribusi radial, peramalan dan pengaturan aliran daya menjadi lebih sederhana karena hanya terdapat satu jalur aliran daya yang perlu dipertimbangkan. Hal ini memudahkan perencanaan operasi sistem dan pengaturan pembebanan.
5. Biaya yang Lebih Murah: Sistem distribusi radial umumnya memiliki biaya yang lebih rendah dibandingkan dengan sistem distribusi lainnya. Dengan struktur yang sederhana dan penggunaan peralatan yang lebih sedikit, biaya instalasi dan pemeliharaan dapat dikurangi.
6. Kelebihan Sederhana: Sistem distribusi radial memiliki struktur yang sederhana [13]. Hal ini memudahkan pengoperasian, pemeliharaan, dan perbaikan sistem secara keseluruhan.

Berdasarkan keuntungan-keuntungan di atas, banyak sistem kelistrikan pabrik yang menggunakan sistem distribusi radial [8].

B. Penempatan Kapasitor

Penggunaan kapasitor dalam sistem distribusi memiliki beberapa manfaat, antara lain:

1. Kompensasi Daya Reaktif: Kapasitor dapat menghasilkan daya reaktif yang dibutuhkan oleh beban dengan faktor daya yang tertinggal. Memasang kapasitor secara paralel dengan beban, kapasitor menjadi sumber daya reaktif yang mengurangi beban pada sistem dan meningkatkan faktor daya.
2. Pengurangan Arus Saluran: Kapasitor yang dipasang secara paralel dengan beban mengurangi aliran arus pada saluran distribusi. Hal ini membantu mengurangi kerugian daya akibat hambatan saluran dan meningkatkan efisiensi sistem distribusi [9].
3. Pengurangan Penurunan Tegangan: ialah dengan mengurangi arus yang mengalir melalui saluran

distribusi, kapasitor membantu mengurangi penurunan tegangan yang terjadi pada saluran. Ini berkontribusi pada peningkatan tegangan bus dan kualitas tegangan yang lebih baik bagi pelanggan.

Pemasangan kapasitor pada gardu induk dan bus distribusi yang strategis dapat memberikan manfaat yang signifikan dalam meningkatkan kualitas daya listrik. Pemasangan kapasitor menyebabkan arus yang mengalir pada penghantar menjadi lebih kecil, sehingga akan mengurangi besarnya rugi-rugi daya dan jatuh tegangan [12]. Namun, pemilihan ukuran dan lokasi penempatan kapasitor perlu mempertimbangkan faktor-faktor seperti kebutuhan daya reaktif, distribusi beban, dan kondisi operasional sistem. Memanfaatkan kompensasi daya reaktif melalui kapasitor, sistem distribusi dapat mencapai tingkat tegangan yang lebih stabil, mengurangi kerugian daya, dan meningkatkan efisiensi operasional secara keseluruhan.

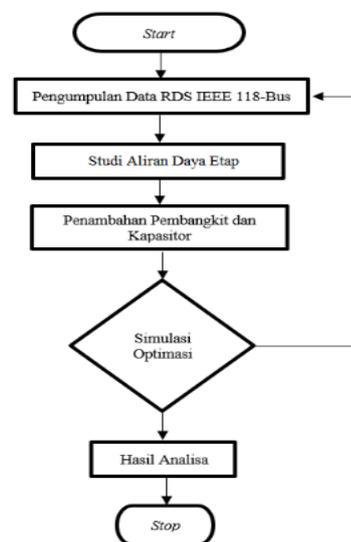
C. Rugi Daya

Rugi (losses) dalam sistem kelistrikan merupakan sesuatu yang sudah pasti terjadi. Pada dasarnya rugi daya adalah selisih jumlah energi listrik yang dibangkitkan dibandingkan dengan jumlah energi listrik yang sampai ke konsumen [14]. Setiap penyaluran energi listrik dari sumber tenaga listrik ke konsumen yang letaknya berjauhan selalu terjadi kerugian-kerugian [10]. Pada dasarnya, kerugian daya dalam sistem distribusi disebabkan oleh aliran arus yang terjadi akibat beban pada bus yang terhubung dan mengalir melalui saluran distribusi.

Pemasangan kapasitor bank merupakan salah satu alternatif yang dapat dilakukan untuk mengurangi rugi-rugi daya total dan memperbaiki jatuh tegangan di jaringan distribusi [11].

III. METODE PENELITIAN

Sistem distribusi radial IEEE 118-Bus terdiri dari 118-Bus. Sistem ini secara keseluruhan total beban aktif 22,709 MW dan total beban reaktif 17,041 MVar.

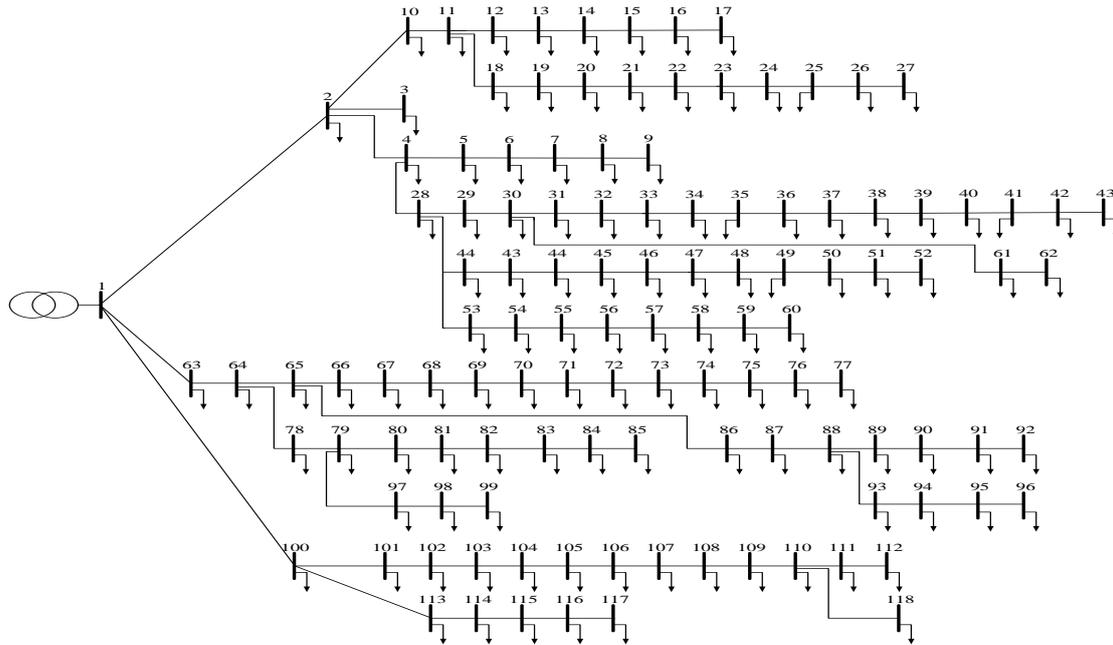


Gambar 1. Flowchart Kegiatan

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar dari sistem distribusi radial IEEE 118-Bus dapat di lihat pada Gambar 2. Sistem Distribusi Radial 118-Bus

A. Sistem Distribusi Radial IEEE 118-Bus



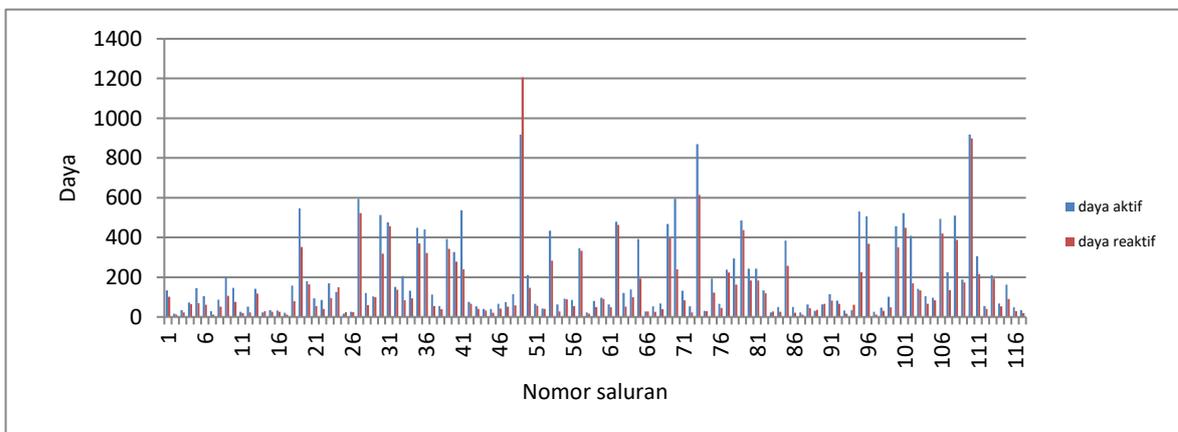
Gambar 2. Sistem Distribusi Radial 118-Bus

B. Kasus Optimasi

1. Kasus A: Kondisi Normal dimana beban sesuai dengan data *standart* sistem distribusi IEEE 118-Bus.
2. Kasus B: Kondisi Peningkatan beban 20% untuk setiap bus dan peningkatan bebab pada bus 50, bus 74 dan 111 sebanyak 3x lipat.
3. Kasus C: Kondisi Perbaikan dengan penambahan 2 unit pembangkitan 300 kW dan 2 unit kapasitor 150 kVAr.

C. Simulasi dan Analisa

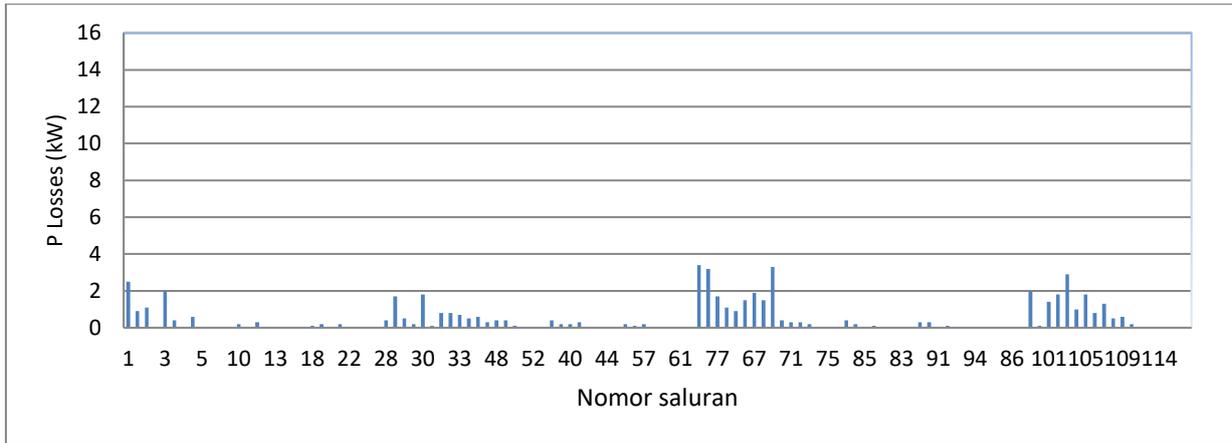
1. Kasus A Kondisi Normal Sistem Distribusi Radial IEEE 118-Bus. Pada kondisi kasus A setelah di lakukan uji coba di Aplikasi ETAP kondisi beban pada setiap bus sesuai standart yang telah di tetapkan Sistem Distribusi Radial IEEE 118-Bus. Kondisi beban dapat dilihat pada Gambar 3. Kondisi beban sebelum ditingkatkan.



Gambar 3. Kondisi beban sebelum ditingkatkan

Pada kondisi normal terjadi rugi daya sebesar 55,3 kW pada aktif dan 42,2 kVAr pada daya reaktif.

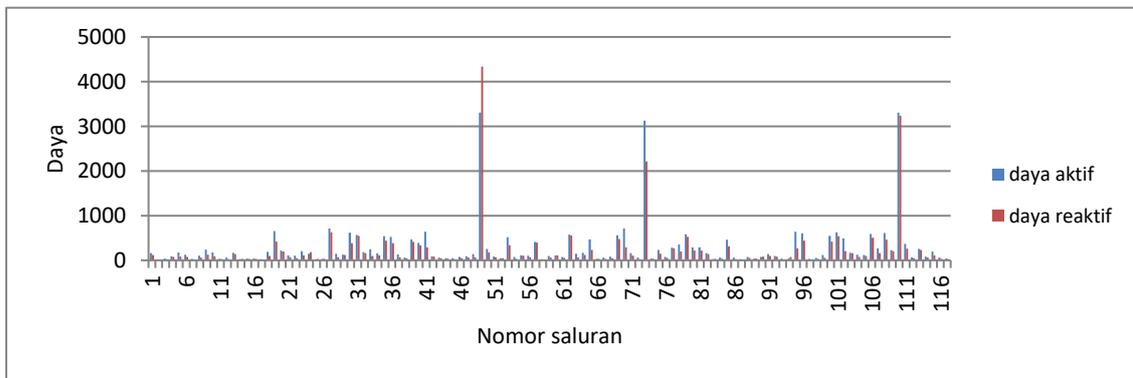
Berikut grafik rugi daya pada Gambar 4. Grafik rugi daya akatif pada kasus A.



Gambar 4. Grafik rugi daya aktif pada kasus A

2. Kasus B Peningkatan beban sebesar 20% untuk setiap bus dan peningkatan beban pada bus 50, bus 74 dan bus 111 sebanyak 3x lipat. Pada kasus B setelah di lakukan uji coba di aplikasi ETAP kondisi beban mengalami peningkatan sebesar 27251.664 kW pada daya aktif dan

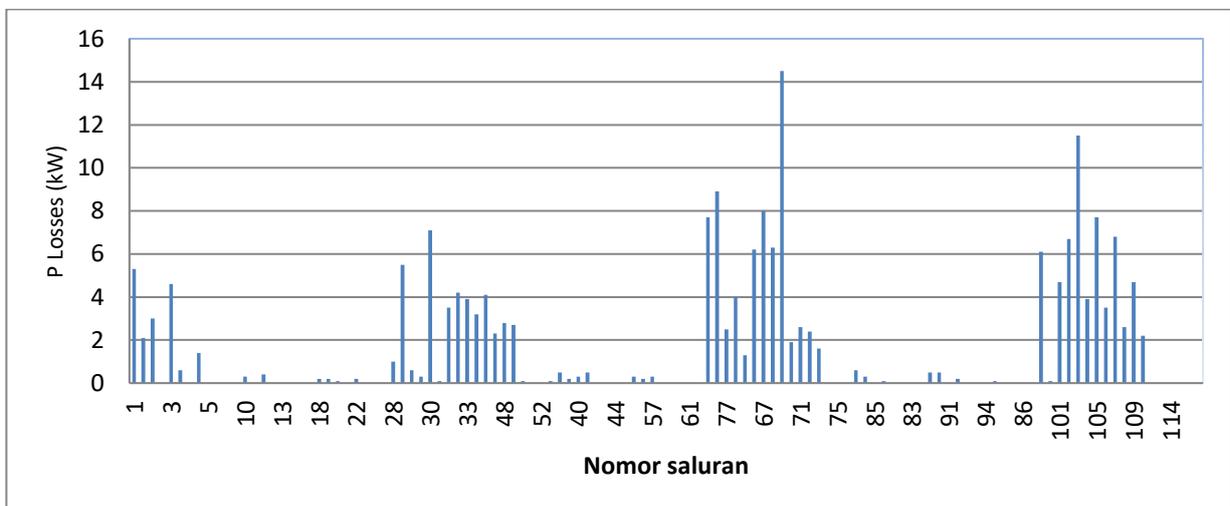
20449.282 kVAr pada daya reaktif. Pada kondisi setelah dilakukan peningkatan tidak terjadi *undervoltage*. Kondisi beban pada kasus B dapat dilihat pada Gambar 5. Kondisi beban setelah ditingkatkan.



Gambar 5. Kondisi beban setelah ditingkatkan

Setelah ditingkatkan terjadi rugi daya sebesar 193,2 kW pada daya aktif dan 139,3 kVAr pada

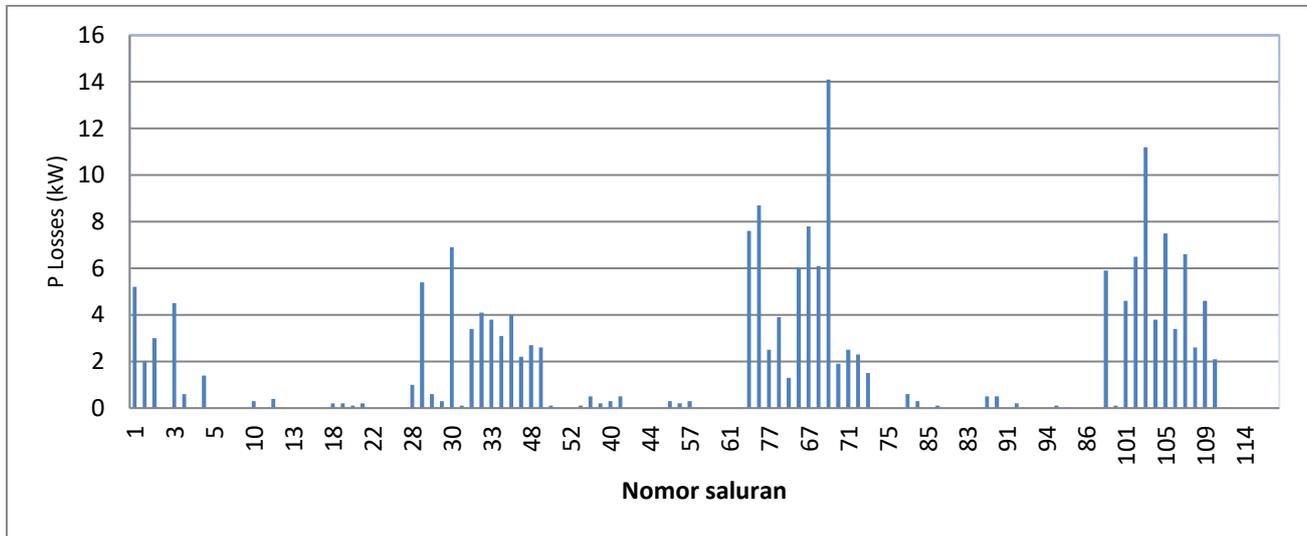
daya reaktif. Berikut grafik rugi daya pada Gambar 6. Grafik rugi daya aktif pada kasus B.



Gambar 6. Grafik rugi daya aktif pada kasus B

3. Kasus C Kondisi perbaikan dengan penambahan 2 unit pembangkitan *wind turbine generator* 300 kW dan 2 unit kapasitor 150 kVAr. Pada kondisi perbaikan penempatan *wind turbine generator* ditempatkan pada bus 9 dan bus 118. Sementara untuk penempatan kapasitor 150 kVAr di tempatkan pada bus 42 dan bus 77. Pemasangan kapasitor akan mengurangi suplai daya reaktif dari sumber, sehingga mengurangi arus yang mengalir pada saluran. Pada kasus C setelah di lakukan

uji coba di aplikasi ETAP perbaikan terjadi rugi daya sebesar 188,7 kW pada aktif dan 136,2 kVAr pada daya reaktif. Pada kasus C setelah di lakukan uji coba di aplikasi ETAP perbaikan terjadi rugi daya sebesar 188,7 kW pada aktif dan 136,2 kVAr pada daya reaktif. Namun terdapat *critical report* dimana *wind turbine generator* mengalami *overload*. Berikut grafik rugi daya pada Gambar 6. Grafik rugi daya aktif pada kasus C.



Gambar 7. Grafik rugi daya aktif pada kasus C

Tabel 1 Perbandingan pada kasus A, B, dan C

Perbandingan	Total Beban		Total Rugi daya	
	P (kW)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)
Kasus A Kondisi Awal	22709.72	17041.068	55.3	42.2
Kasus B Kondisi Beban Ditingkatkan	27251.664	20449.282	193.2	139.3
Kasus C Kondisi Perbaikan	27251.664	20449.282	188.7	136.2

Dari tabel 1 perbandingan pada kasus A, B, dan C dapat dilihat pada kasus A kondisi awal dengan pembebanan sesuai IEEE 118-Bus Sistem Distribusi Radial, total pembebanannya adalah 22.709,72 kW dan 17.041,068 kVAr dan terjadi rugi daya sebesar 55,3 kW dan 42,2 kVAr. Lalu pada kasus B kondisi beban ditingkatkan, total pembebanannya adalah 27.251,664 kW dan 20.449,282 kVAr serta rugi daya yang dihasilkan sebesar 193,2 kW dan 139,3 kVAr. Sedangkan pada kasus C kondisi perbaikan dimana pada kondisi ini dilakukan perbaikan sistem dengan total pembebanan sama dengan kasus B, setelah di lakukan perbaikan rugi daya yang dihasilkan turun menjadi 188,7 kW dan 136,2 kVAr.

V. KESIMPULAN

1. Pada kondisi beban normal sesuai dengan impedansi saluran dan data pembebanan awal sesuai IEEE 118-Bus Sistem Distribusi Radial, terjadi rugi daya sebesar 55,3 kW dan 42,2 kVAr.
2. Pada kondisi beban ditingkatkan sebanyak 20% di setiap bus dan 3 kali lipat di naikan pada bus 39, 74, dan bus 111, rugi daya meningkat menjadi 193,2 kW dan 139,3 kVAr.
3. Pada kondisi penempatan 2 unit pembangkit dan 2 unit kapasitor berkapasitas 150 kVAr sebagai metode untuk perbaikan, rugi daya mengalami penurunan menjadi 187,6 kW dan 136,8 kVAr.

REFERENSI

- [1] Cristoper Elchrisa, Lanto Kamil Amali, Ade Irawaty Tolago, "Analisis Optimasi Penempatan Kapasitor Bank pada Jaringan Tegangan Menengah 20kV Feeder IS.03 Rayon Limboto untuk Memperbaiki Kualitas Tegangan" *Journal of Electrical and Electronics Engineering*, vol 1, no 1, 2019.
- [2] Vinny Janis, Maickel Tuegeh, ST., MT., Ir. Fielman Lisi, MT., Ir. Hans Tumaliang, MT, "Perencanaan Sistem Distribusi 20 KV Siau Tahun 2020", e-Jurnal Teknik Elektro dan Komputer, Tahun 2013.
- [3] Muh.Rifqi Anshori, Ashar A R, Sofyan, " Studi Keandalan Sistem Jaringan Distribusi Penyulang 20 Kv Pada PT. PLN (Persero) Rayon Daya Dengan Metode *Failure Modes and*

- Effects Analysis (Fmea)*", Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI) 2020 Makassar, 7 Oktober 2020.
- [4] M. S. Illindala, R. G. Harley, and R. C. Dugan, "Distributed generation," *IEEE Industry Applications Magazine*, vol. 9, no. 2, pp. 18-26, 2003.
- [5] M. A. Kashem, R. A. Rahman, and M. M. A. Khan, "Optimal placement of capacitors in distribution networks using a novel particle swarm optimization," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 22, no. 2, pp. 660-670, 2007.
- [6] Niken Adriaty Basyarach, Ontoseno Penangsang, "Rekonfigurasi Jaringan Distribusi radial Untuk Minimisasi Rugi Daya Menggunakan *Binary Particle Swarm Optimization (BPSO)*", LPPM Untag Surabaya, Vol. 04, No. 01, hal 78 – 82, Januari 2019, jurnal.untag-sby.ac.id/index.php/jhp17.
- [7] M.D. Faraby, M.D.C. Putra, O. Penangsang, R.S. Wibowo, D.F.U. Putra, Mukhlisin, A. Fitriati, "Analisis Penyebaran Harmonisa Pada Sistem Distribusi Radial Kota Bandar Lampung Menggunakan Metode *Forward Backward Sweep dan Harmonic Load Flow*," *Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI 2021)*, pp.80-85
- [8] A. K. David, S. P. Chan, and K. M. Shahidehpour, "Distribution system analysis and automation," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 18, no. 2, pp. 458-465, 2003.
- [9] H. W. Dommel and W. F. Tinney, "Optimal power flow solutions," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol. 87, no. 10, pp. 1866-1876, 1968.
- [10] Paulus Mangera, Damis Hardiantono, "Analisis Rugi Tegangan Jaringan Distribusi 20 KV Pada PT. PLN (Persero) Cabang Merauke", *Jurnal MJEME*, Vol. 1, No. 2, April 2019 p-ISSN 2622-4593, e-ISSN 2622-4623, DOI: 10.5281/zenodo.3516283.
- [11] Sah, Awan, "Analisa jatuh tegangan dan rugi-rugi daya dengan pemempatan kapasitor bank pada penyulang nila PT. PLN Area Metro", *Epic Journal of Electrical Power Instrumentation and Control*, vol 4, no. 2, pp. 2021. DOI: 10.32493/epic.v4i2.14340.
- [12] Ismail, Sarma.T., Agus.S., Sofyan, "Optimasi Jaringan Distribusi Listrik dengan Pemasangan Kapasitor Pada Jaringan Tegangan Menengah 6.3 kV PT. SEMEN TONASA". *National Conference Of Industry Engineering And Technology*, Vol. 1, No.1, 2020.
- [13] Duyo,Rizal A., Andi.S, "Analisis Jaringan dan Pemeliharaan Pada Jaringan Distribusi di PT PLN Wilayah Cabang Pinrang" *Vertex Elektro*, Vol. 01, No. 02, 2019.
- [14]Husu,Sahrul., Agustina.L., Sahabuddin.H., Luther.P., Yuni.A.K., Indrayati.G, "Analisis Rugi-Rugi Daya Pada Jaringan Distribusi PT PLN Persero Rayon Raha". *Seminar Nasional Teknologi Terapan Inovasi dan Rekayasa*, 2019.
- [15] Makmur, Muh. Andikapati, "Studi Koordinasi Proteksi Transformator dan Penyulang di Gardu Induk Bolangi", Skripsi. Makassar. Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Makassar, 2020.