

Optimasi Sistem Distribusi melalui Penempatan *Express Feeder* Menggunakan Algoritma Genetika untuk Mengurangi Rugi Daya

Rizaldi Syauqil Aman¹, Edvin Pariatna², Muhammad Aris Risnandar³

¹²³Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Siliwangi, Jl. Mugarsari, Kecamatan Tamansari, Kota Tasikmalaya, Jawa Barat, 46196, Indonesia

Korespondensi: 217002068@student.unsil.ac.id

ARTICLE HISTORY

Received: 20-06-2025

Revised: 27-06-2025

Accepted: 28-06-2025

Abstrak

Rugi-rugi daya pada sistem distribusi merupakan salah satu masalah utama yang mempengaruhi efisiensi penyaluran energi listrik. Penelitian ini bertujuan untuk meminimalkan rugi daya melalui pemasangan *express feeder* dan *load break switch* (LBS) baru. Metode optimasi yang digunakan untuk menentukan titik lokasi penempatan optimal menggunakan Algoritma Genetika. Algoritma genetika dan perhitungan aliran daya diimplementasikan menggunakan *software* MATLAB2024a kemudian dilakukan proses validasi dengan membandingkan hasil aliran daya dari MATLAB2024a dengan hasil simulasi pada *software* ETAP 19.0.1. Studi kasus diterapkan pada sistem distribusi penyulang CLDG dengan membandingkan kondisi eksisting dan kondisi setelah optimasi. Hasil simulasi pada kondisi eksisting menunjukkan rugi daya total sebesar 554.109 kW. Setelah penerapan optimasi menggunakan metode algoritma genetika untuk mencari titik penempatan lokasi *express feeder* dan LBS baru, rugi daya berhasil diminimalkan menjadi 308.4 kW. Hasil ini membuktikan bahwa pemasangan *express feeder* dan LBS baru menggunakan metode algoritma genetika merupakan solusi yang efektif untuk meminimalkan rugi-rugi daya pada sistem distribusi.

Kata kunci: Algoritma Genetika, *Backward-Forward Sweep*, *Express Feeder*, Rugi Daya.

Optimization of Distribution Systems through Express Feeder Placement Using Genetic Algorithms to Reduce Power Loss

Abstract

Power losses in distribution systems are one of the main problems affecting the efficiency of electricity distribution. This study aims to minimize power losses through the installation of express feeders and new load break switches (LBS). The optimization method used to determine the optimal location for installation is the Genetic Algorithm. The Genetic Algorithm and power flow calculations were implemented using MATLAB 2024a software, followed by a validation process comparing the power flow results from MATLAB 2024a with simulation results from ETAP 19.0.1 software. The case study was applied to the CLDG distribution system, comparing the existing conditions with the conditions after optimization. The simulation results for the existing conditions showed a

total power loss of 554.109 kW. After applying optimization using the genetic algorithm method to determine the optimal locations for the express feeder and new LBS, power losses were successfully minimized to 308.4 kW. These results demonstrate that installing the express feeder and new LBS using the genetic algorithm method is an effective solution for minimizing power losses in the distribution system.

Key words: Backward-Forward Sweep, Express Feeder, Genetic Algorithm, Power Loss.

1. Pendahuluan

Untuk memenuhi kebutuhan energi listrik diperlukan sistem penyaluran energi listrik yang andal serta kualitas tegangan yang baik dan sesuai standar kerja. Standar rugi daya dalam sistem distribusi listrik ditetapkan untuk memastikan efisiensi dan keandalan operasional [1]. Besarnya rugi-rugi daya pada jaringan distribusi tergantung pada jenis dan panjang penghantar, tipe jaringan distribusi, kapasitas trafo, tipe beban, faktor daya, dan besarnya jumlah daya terpasang serta banyaknya pemakaian beban-beban yang bersifat induktif yang menyebabkan meningkatnya kebutuhan daya reaktif. Untuk mengurangi rugi-rugi daya bisa diminimalkan dengan berbagai cara salah satunya yaitu dengan melakukan perubahan kembali sistem dengan cara rekonfigurasi sistem [2].

Salah satu cara rekonfigurasi adalah dengan penambahan *express feeder*. *Express feeder* berfungsi untuk menjamin sistem tetap bekerja karena energi listrik langsung disalurkan dari sumber ke bus tertentu, sehingga dapat mengurangi resistansi total pada jalur penghantar. Dengan ini, distribusi beban dapat lebih diseimbangkan, aliran daya menjadi lebih efisien, dan rugi-rugi daya dapat diminimalkan [3].

Sebagian besar penelitian sebelumnya masih menggunakan cara konvensional dalam merencanakan penambahan *express feeder* dan LBS, yang kurang mampu mengoptimalkan pilihan lokasi pada jaringan distribusi yang kompleks. Salah satu metode yang digunakan dalam rekonfigurasi jaringan adalah algoritma genetika. Metode ini merupakan salah satu metode metaheuristik yang terbukti efektif dalam menyelesaikan masalah optimasi kombinatorial yang memiliki banyak kemungkinan solusi dan hubungan antar variabel. Algoritma genetika memiliki kemampuan eksplorasi ruang solusi yang luas dengan pendekatan berbasis populasi sehingga dapat menghindari jebakan solusi lokal (*local optimum*). Dalam konteks perencanaan penambahan *express feeder* dan LBS, metode ini dapat digunakan dalam waktu bersamaan untuk mencari konfigurasi lokasi yang meminimasi rugi daya pada sistem distribusi dengan tetap mempertimbangkan batasan teknis operasi jaringan [4].

Penyalang CLDG merupakan salah satu penyalang yang beroperasi di daerah Tasikmalaya dengan jenis topologi jaringan radial. Jumlah trafo yang beroperasi sebanyak 65 unit dengan total panjang saluran yaitu 32,75 KM yang melayani pelanggan perumahan dan beberapa fasilitas umum. Selain itu, terdapat penambahan unit trafo sebesar 1.600 kVA untuk memenuhi kebutuhan pasokan energi listrik di Universitas Siliwangi kampus 2 Mugarsari. Dengan adanya penambahan unit trafo yang besar maka akan berpengaruh juga terhadap beroperasinya penyalang CLDG. Dari data yang didapat

penyulang CLDG memiliki nilai rugi daya sebesar 554.109 kW dalam keadaan beban puncak.

2. Metode

2.1 Gardu Induk Distribusi

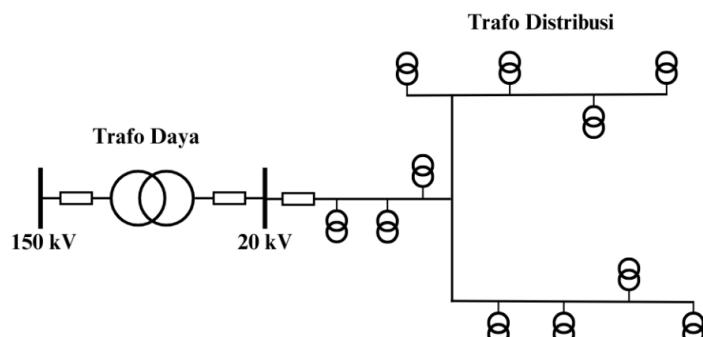
Gardu induk distribusi yaitu gardu yang menerima tenaga listrik dari gardu transmisi yang kemudian diturunkan tegangannya dari tingkat menengah (20kV) ke tegangan rendah yang sesuai dengan konsumen rumah tangga maupun industri. Kapasitas suatu gardu induk terletak pada kapasitas daya terpasang pada trafo yang digunakan [5].

2.2 Rekonfigurasi Jaringan

Rekonfigurasi jaringan merupakan suatu cara untuk mengubah konfigurasi jaringan yang telah ada yang memiliki berbagai tujuan, salah satunya yaitu untuk mengurangi rugi daya dan meningkatkan keandalan dari suatu jaringan distribusi. Rekonfigurasi jaringan distribusi dapat dilakukan dengan cara mengubah kondisi saklar yang menghubungkan berbagai penyulang. Proses ini memungkinkan aliran daya dialihkan dari penyulang yang mengalami gangguan ke penyulang lain yang masih berfungsi. Dengan demikian, pasokan listrik kepada konsumen tetap terjaga, meskipun terjadi gangguan pada salah satu bagian jaringan [3].

2.3 Topologi Jaringan Distribusi Radial

Jaringan radial hanya memiliki satu sumber dan memiliki jalur utama yang menghantarkan aliran listrik ke beban-beban yang terkoneksi pada satu penyulang tersebut. Jenis topologi ini yang paling sederhana dan umum digunakan [6]. Jenis topologi radial hanya memiliki satu sumber dan satu jalur sehingga apabila ada gangguan pada salah satu penyulang yang terhubung maka konsumen yang terhubung ke penyulang tersebut akan terdampak gangguan.



Gambar 1. Topologi Jaringan Radial.

2.4 Express Feeder

Saluran distribusi yang menghubungkan langsung dari sumber atau gardu induk menuju beban tertentu tanpa adanya sambungan ke beban lain di sepanjang jalurnya. Karena

express feeder tidak memiliki beban lain di sepanjang jalurnya maka dapat beroperasi secara bersamaan untuk mengantisipasi adanya gangguan atau adanya perbaikan di saluran tertentu [7].

Konsep dari *express feeder* yaitu untuk melayani beban dengan lokasi terjauh dari gardu induk untuk mengatasi jatuh tegangan dan rugi daya selain itu untuk melayani beban-beban esensial [8]. Dalam kondisi operasional, terutama pada saat terjadi gangguan pada saluran utama, *express feeder* dapat digunakan sebagai suplai langsung dari gardu induk. Ini untuk memastikan pasokan listrik ke area terganggu dapat dipulihkan melalui jalur *express feeder* [9].

2.5 Aliran Daya

Aliran daya dilakukan dengan menghitung beberapa parameter seperti besar beda potensial, sudut fasa tegangan, dan arus. Aliran daya dapat digunakan untuk menghitung jatuh tegangan dan rugi daya dalam suatu jaringan dengan perhitungan daya aktif dan daya reaktif pada pemberahan. Tujuan dari analisa aliran daya yaitu untuk mengetahui dan mendapatkan operasi sistem jaringan yang baik dan terevaluasi mulai dari sumber sampai beban akhir [10]. Salah satu metode perhitungan aliran daya yaitu dengan metode *backward-forward sweep* yang biasa digunakan untuk jenis jaringan radial.

2.6 Backward-Forward Sweep (BFS)

Perhitungan aliran daya yang paling efisien untuk jaringan distribusi dengan sistem topologi radial adalah dengan metode *backward-forward sweep* (BFS).

Metode *backward-forward sweep* (BFS) melibatkan dua tahap perhitungan iteratif. Pada *backward sweep*, perhitungan dimulai dari titik terjauh dari sumber (ujung *feeder*) menuju sumber. Pada tahap ini, arus yang mengalir pada setiap saluran dihitung dengan menjumlahkan arus beban dan arus cabang di hilir, berdasarkan asumsi atau hasil perhitungan tegangan dari iterasi sebelumnya.

Selanjutnya, pada *forward sweep*, perhitungan dimulai dari titik sumber menuju titik terjauh. Tegangan pada masing-masing titik bus diperbarui dengan mempertimbangkan jatuh tegangan di sepanjang saluran berdasarkan arus yang dihitung pada *backward sweep*. Proses ini berulang hingga kriteria konvergensi terpenuhi, yang biasanya ditandai dengan perubahan tegangan bus antar iterasi yang sangat kecil [11].

2.7 Rugi Daya

Rugi daya adalah selisih jumlah energi listrik yang dibangkitkan dengan jumlah energi listrik yang berhasil sampai dan dimanfaatkan oleh konsumen. Ini berarti ada sebagian energi yang hilang selama proses penyaluran [1].

Penyebab utama terjadinya rugi daya dalam jaringan distribusi listrik adalah karakteristik fisik dari saluran itu sendiri. Saluran distribusi memiliki nilai tahanan, induktansi, dan kapasitansi. Besarnya rugi daya yang terjadi pada suatu jaringan sangat ditentukan oleh seberapa besar nilai tahanan saluran serta kuat arus listrik yang mengalir di dalamnya. Untuk menghitung dan mengetahui secara kuantitatif besarnya rugi-rugi daya ini, digunakan persamaan seperti berikut [7].

Persamaan rugi daya satu fasa:

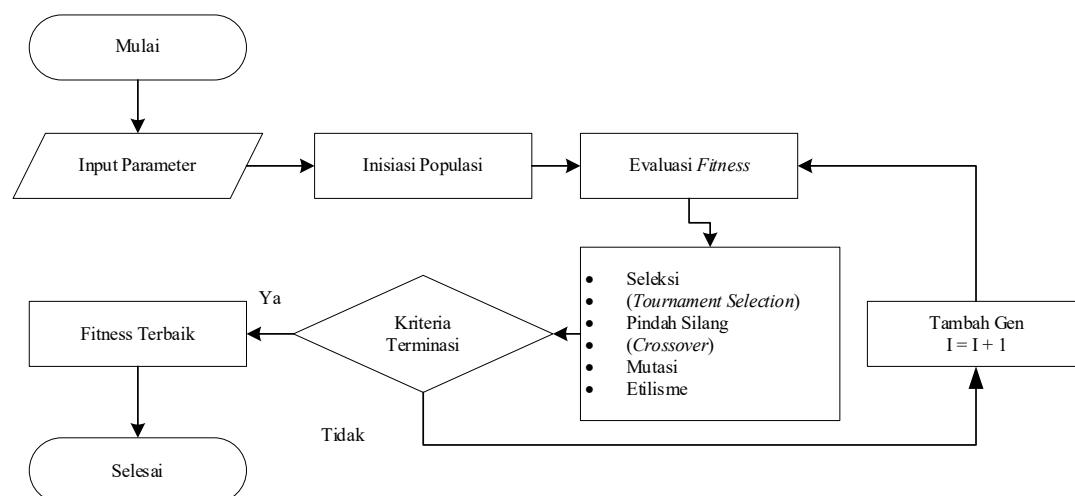
Persamaan rugi daya tiga fasa:

Dengan ΔP adalah rugi daya dalam satuan *watt*, I adalah arus pada beban jaringan distribusi dengan satuan *ampere*, dan R adalah tahanan dengan satuan *ohm*.

2.8 Algoritma Genetika

Algoritma Genetika adalah metode yang sering dipakai untuk menemukan nilai optimal dalam masalah optimasi. Cara kerjanya terinspirasi dari proses genetik yang terjadi pada makhluk hidup. Tujuan utama algoritma ini adalah mengidentifikasi individu dengan kualitas terbaik dalam suatu populasi untuk mendapatkan solusi dari masalah yang dihadapi.

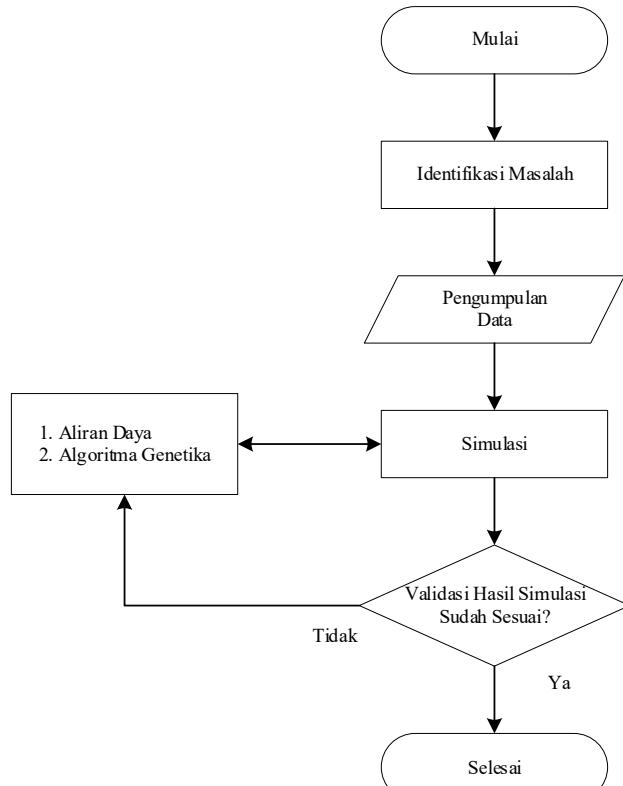
Supaya Algoritma Genetika bisa menghasilkan solusi yang optimal, diperlukan fungsi *fitness*. Fungsi ini berperan penting dalam mengukur seberapa baik kualitas suatu solusi. Dalam prosesnya, individu-individu terpilih yang berfungsi sebagai induk akan melalui tahap reproduksi, *crossover* (persilangan), dan mutasi untuk membentuk generasi baru. Apabila dirancang dengan baik, algoritma ini akan mencapai konvergensi, yang berarti menemukan solusi terbaik secara efektif [12]



Gambar 2. *Flowchart* Algoritma Genetika

Pada metode algoritma genetika yang pertama adalah untuk membuat suatu populasi yang di dalamnya adalah kumpulan dari beberapa kromosom dan dalam satu kromosom memiliki beberapa gen [12]. Kemudian beberapa kromosom tersebut masuk ke evaluasi *fitness* yang mengukur kualitas atau kecocokan dari sebuah kromosom. Langkah selanjutnya yaitu dengan seleksi setiap kromosom dengan cara *tournament selection*. Setelah tahap seleksi, kromosom akan melalui proses pindah silang (*crossover*). Tujuan dari langkah ini adalah untuk menciptakan keragaman gen pada setiap kromosom, menghasilkan variasi baru yang penting dalam pencarian solusi optimal. Kromosom-kromosom baru yang beragam dan dianggap terbaik kemudian akan disimpan melalui proses yang disebut elitisme. Dengan adanya elitisme, gen-gen dari kromosom terbaik dapat dipertahankan, memastikan bahwa karakteristik tetap ada dalam populasi untuk generasi selanjutnya.

2.9 *Flowchart* Penelitian



Gambar 3. *Flowchart* Metode Penelitian

Penelitian ini diawali dengan mengidentifikasi masalah pada penyulang CLDG. Setelah itu, dilakukan pengumpulan data yang mencakup topologi jaringan penyulang CLDG serta data terkait beban dan saluran pada penyulang tersebut.

Setelah semua data yang diperlukan terkumpul, langkah selanjutnya adalah menghitung aliran daya pada penyulang CLDG menggunakan metode *backward-forward sweep*. Hasil perhitungan aliran daya ini kemudian akan digunakan sebagai nilai *fitness* dalam implementasi algoritma genetika. Dalam penelitian ini, nilai *fitness* yang menjadi fokus adalah total rugi daya pada penyulang CLDG. Dengan demikian, algoritma genetika akan berupaya menemukan lokasi penempatan *express feeder* yang menghasilkan nilai *fitness* terkecil, yaitu total rugi daya yang paling minimal.

2.10 Proses Optimasi Algoritma Genetika

Langkah awal pada proses optimasi menggunakan metode algoritma genetika adalah untuk mengisiasi populas yang akan dilakukan dengan *random generator* untuk setiap gen sesuai dengan representasi kromosom. Langkah ini untuk mencari gen dan kromosom dengan memasukan jumlah populasi, jumlah kromosom, jumlah bus, dan jumlah saluran yang diinginkan untuk nantinya menjadi kandidat pemasangan *express feeder* dan LBS. Untuk kromosom dan gen direpresentasikan sebagai berikut:

Dengan;

X_j = Kromosom

x_1 = Bus asal *express feeder*

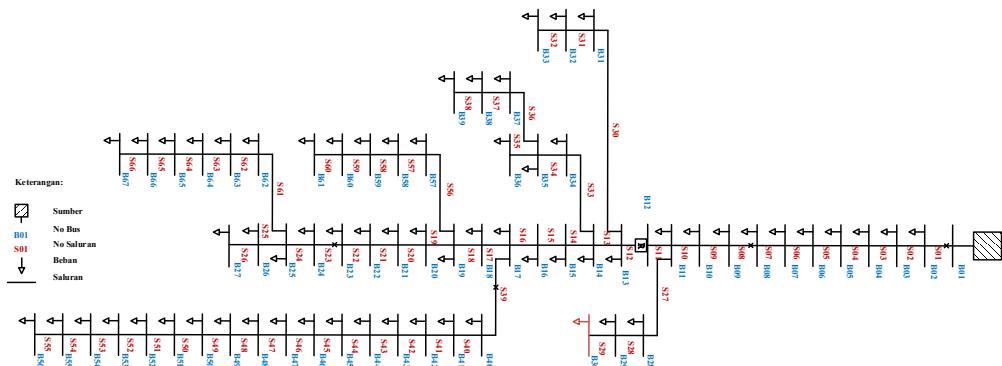
x_2 = Bus tujuan *express feeder*

x_3 = Bus asal LBS

x_4 = Bus asal LBS

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Topologi Jaringan Kondisi Eksisting



Gambar 4. Topologi Jaringan CLDG Kondisi Eksisting.

Penyalang CLDG memiliki jumlah total bus sebanyak 67 dan jumlah saluran sebanyak 66 saluran. Penamaan beban atau bus dalam penelitian ini adalah B dan penamaan saluran adalah S dengan masing-masing angka di belakangnya.

3.2 Perhitungan Rugi Daya Kondisi Eksisting

Rugi daya dihitung menggunakan metode *backward-forward sweep* yang diimplementasikan dengan *software* MATLAB 2024a. Untuk memastikan keakuratan dan sebagai pembanding, nilai rugi daya yang diperoleh kemudian divalidasi menggunakan *software* ETAP 19.0.1.

Tabel 1. Total Rugi Daya Kondisi Eksisting

Software	Total Rugi Daya
MATLAB2024a	554.109
ETAP 19.0.1	554

Total rugi daya pada penyalang CLDG dengan kondisi eksisting adalah sebesar 554.109 kW. Persentase rugi daya dari penyalang CLDG adalah 5.5% dihitung dengan membandingkan dengan total daya aktif yaitu sebesar 10025.75 kW.

3.3 Hasil Optimasi Algoritma Genetika

Hasil dari implementasi algoritma genetika untuk menurunkan rugi daya didapatkan untuk lokasi *express feeder* dari B01 ke B18 dipilih sebagai solusi optimal karena bus 18

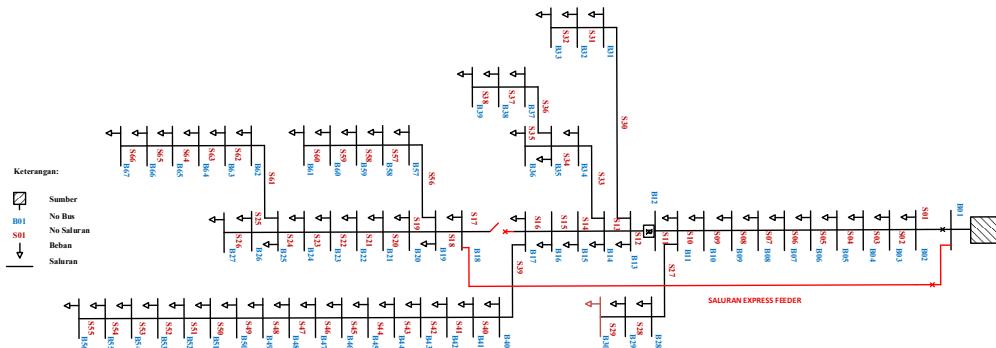
berada di posisi tengah jaringan dan melayani banyak cabang beban. Penempatan di lokasi ini memperpendek jalur aliran daya dan menyeimbangkan distribusi beban, sehingga menurunkan rugi daya lebih signifikan dibandingkan alternatif lainnya. Hal ini terlihat pada hasil optimasi yang menunjukkan nilai *losses* terendah saat *express feeder* menuju bus 18. Penambahan jalur ini juga meningkatkan *reliability* dengan menyediakan suplai cadangan saat gangguan.

Tabel 2. Hasil Proses Algoritma Genetika

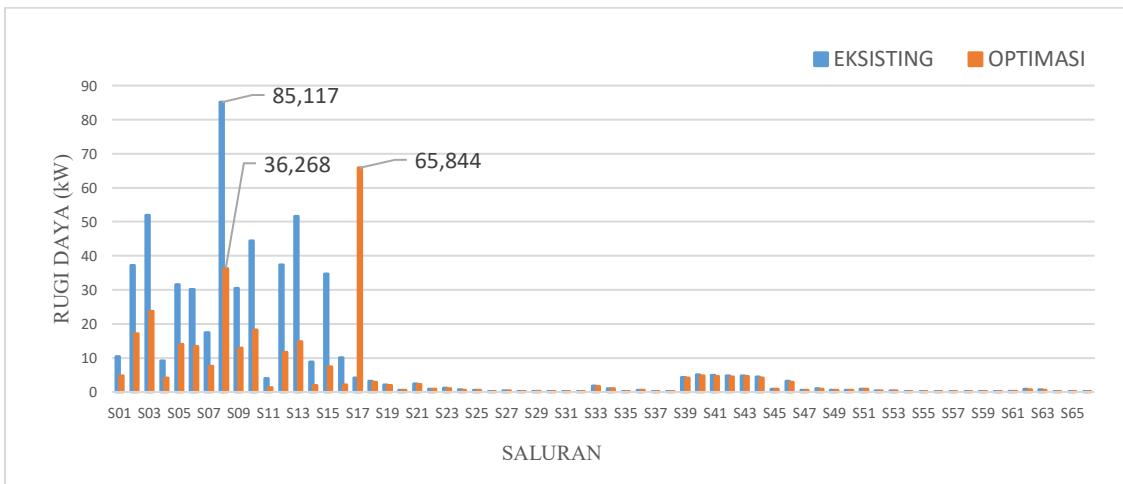
Populasi	Gen Max	Konvergen Iterasi Ke-	Kromosom Terbaik		Losses (kW)	Time (s)
			EF	LBS		
50	100	Max (100)	1;19	17;18	308.8857	34.7
50	250	190	1;44	17;40	318.3941	66.3
50	500	416	1;18	17;18	308.4196	136.1
100	100	Max (100)	1;18	17;18	308.4196	65.1
100	250	126	1;18	17;18	308.4196	94.2
100	500	261	1;18	17;18	308.4196	187

Tabel 2 memperlihatkan hasil optimasi dengan berbagai ukuran populasi dan generasi. Nilai *losses* yang dicapai cenderung stabil di sekitar 308–318 kW, menunjukkan konsistensi hasil algoritma genetika meskipun jumlah iterasi dan waktu komputasi berbeda.

3.4 Topologi Jaringan Setelah Optimasi



Tabel 3 menyajikan perbandingan rugi daya antara kondisi eksisting dan setelah optimasi. Pada kondisi eksisting, total rugi daya tercatat sebesar 554,109 kW. Namun, setelah dilakukan optimasi menggunakan metode algoritma genetika, total rugi daya berhasil diturunkan menjadi 308,42 kW. Ini menunjukkan adanya pengurangan rugi daya sebesar 2,4% dari kondisi awal pada penyulang CLDG.



Gambar 6. Perbandingan Rugi Daya Tiap Saluran

Gambar 6 memperlihatkan perbandingan rugi daya pada setiap saluran penyulang CLDG dalam kondisi eksisting (biru) dan setelah optimasi dengan penambahan *express feeder* (oranye). Pada kondisi eksisting, rugi daya sangat tinggi pada saluran-saluran awal seperti S08 (85.117 kW) karena arus masih besar di dekat sumber dan jarak saluran yang panjang. Setelah optimasi, rugi daya pada saluran utama menurun, misalnya S08 turun menjadi 36.268 kW.

Namun, pada kondisi optimasi muncul rugi daya tinggi pada saluran S17 (65.844 kW) karena saluran tersebut dijadikan jalur *express feeder* yang langsung menyalurkan arus besar dari sumber ke bus 18. Panjang saluran *express feeder* yang cukup jauh juga menyebabkan kenaikan rugi daya di S17. Meskipun demikian, secara keseluruhan distribusi rugi daya menjadi lebih seimbang dan total rugi daya jaringan berkurang.

4. Kesimpulan

Penyulang CLDG memiliki rugi daya sebesar 554.1 kW yang dihitung dengan metode *backward-forward sweep* menggunakan *software* MATLAB R2024a dan kemudian divalidasi dan disimulasikan dengan *software* ETAP 19.0.1. persentase rugi daya penyulang CLDG pada kondisi eksisting adalah sebesar 5.5%. Untuk mengurangi nilai rugi daya dari penyulang CLDG dilakukan penambahan *express feeder* dan LBS dengan mencari titik lokasi penambahan *express feeder* dan LBS menggunakan metode algoritma genetika didapat bahwa *express feeder* dipasang pada B18. Pemasangan LBS dipaang pada saluran S17 yang menghubungkan B17 dan B18. Nilai rugi daya setelah dilakukan optimasi yaitu sebesar 308.4 kW dengan persentase total rugi daya sebesar 3.3%. Penelitian ke depan dapat membandingkan metode optimasi lain dan menguji hasil pada variasi beban serta kondisi gangguan untuk menilai keandalan solusi. Analisis biaya investasi dalam penerapan algoritma genetika juga perlu dipertimbangkan.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dan mendukung proses penyusunan jurnal ini hingga selesai. Semoga hasilnya dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Daftar Pustaka

- [1] S. Husu, A. Lolok, S. Hay, L. Pagiling, Y. A. Koedoes, and I. Galugu, Analisis Rugi-Rugi Daya Pada Jaringan Distribusi Pt Pln Persero Rayon Raha.
- [2] Adrianus Dri, “ Meminimalkan Rugi-Rugi Pada Sistem Distribusi Tegangan Menengah Dengan Pemasangan Kapasitor,” Tanjungpura Jurnal, pp. 1–6, Aug. 2020.
- [3] S. Satriani, M. T. Akhmad, H. Fauziah, and M. F. Ali, “Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI) 2023-Teknik Listrik Rekonfigurasi Jaringan Distribusi 20 kV untuk Mengurangi Drop Voltage Pada Penyulang Asuhan GI Daya”.
- [4] M. Otong and A. Nurrohman, “Rekonfigurasi Jaringan Distribusi Menggunakan Algoritma Genetika di Interkoneksi Penyulang Pakupatan dan Palima pada Beban Prioritas untuk Mengurangi Rugi Daya dan Jatuh Tegangan,” Jurnal Ilmiah Setrum Article In Press, vol. 8, no. 2, pp. 158–165, 2019.
- [5] Dr. Ramadoni Syahputra, Transmisi Dan Distribusi Tenaga Listrik, vol. 1. Yogyakarta: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, 2021.
- [6] J. Kartoni and E. Ervianto, “Analisa Rekonfigurasi Pembebanan Untuk Mengurangi Rugi-Rugi Daya Pada Saluran Distribusi 20 kV,” 2016.
- [7] A. Van Anugrah and H. Eteruddin, “Studi Pemasangan Express Feeder Jaringan Distribusi 20 kV Untuk Mengatasi Drop Tegangan Pada Feeder Sorek PT PLN (Persero) Rayon Pangkalan Kerinci,” Jurnal Sain, Energi, Teknologi & Industri), vol. 4, no. 2, pp. 65–71, 2020.
- [8] Teuku Murisal Asyadi, “Analisis Peningkatan Keandalan Jaringan SUTM A3CS yang difungsikan Sebagai Incoming Baru dengan Skema Express Feeder,” Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering, vol. 5, pp. 1–7, 2023.
- [9] D. Hardiantono and P. Mangera, “Comparison using express feeder and capacitor bank allocation to corrective voltage level on primary distribution feeder,” European Journal of Electrical Engineering, vol. 21, no. 4, pp. 355–359, 2019, doi: 10.18280/ejee.210402.
- [10] U. Faruq, A. Ridho, M. Vrayulis, and E. Julio, “Analisa Aliran Daya pada Sistem Tenaga Listrik menggunakan ETAP 12.6,” Jurnal Sain, Energi, Teknologi & Industri), vol. 6, no. 1, pp. 16–22, 2021, doi: 10.31849/sainetin.v6i1.7031.
- [11] N. A. Musdir, A. Arief, and M. B. Nappu, “Penempatan Distributed Generation Optimal Mempertimbangkan Rekonfigurasi Jaringan,” Jurnal EKSITASI, vol. 1, no. 2, p. 2022.
- [12] Yuliana, Algoritma Genetika, vol. 1. Surabaya: Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, 2020.