

Optimasi Pengembangan *Express Feeder* pada Jaringan Distribusi untuk Mengurangi *Drop Voltage* Menggunakan *Particle Swarm Optimization*

Dendi Syaepul Alam¹, Nundang Busaeri², Muhammad Aris Risnandar³

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

Korespondensi: 217002017@student.unsil.ac.id

ARTICLE HISTORY

Received: 19-06-2025

Revised: 25-06-2025

Accepted: 25-06-2025

Abstrak

Drop voltage menjadi salah satu permasalahan utama pada sistem distribusi yang berdampak terhadap menurunnya kualitas tegangan yang diterima pelanggan. Penelitian ini bertujuan mengurangi *drop voltage* pada penyulang CLDG yang memiliki panjang saluran 32,75 km dan topologi jaringan radial, dengan menerapkan optimasi *Particle Swarm Optimization* (PSO) dalam pengembangan *express feeder*. Proses simulasi dilakukan untuk menganalisis kondisi eksisting dan setelah optimasi, menggunakan aliran daya *Backward Forward Sweep* (BFS) dengan bantuan *software* MATLAB R2023b untuk penerapannya dan divalidasi menggunakan ETAP 19.0.1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa PSO berhasil menentukan lokasi optimal pengembangan *express feeder* dari bus B01 menuju bus B18, dengan penempatan LBS baru pada bus B17. Pengembangan ini menurunkan jumlah bus kritis dari 52 menjadi 16 bus, dan *drop voltage* maksimum dari 9,86% menjadi 6,67%. Meskipun masih sedikit melebihi batas toleransi sesuai standar SPLN 72:1987, hasil ini menunjukkan bahwa metode PSO efektif dalam meningkatkan kualitas tegangan dan kinerja sistem distribusi.

Kata kunci: *Backward Forward Sweep, Drop Voltage, Express Feeder, Particle Swarm Optimization.*

Optimization of Express Feeder Development in Distribution Networks to Reduce Voltage Drop Using Particle Swarm Optimization

Abstract

Voltage drop is a common issue in electrical distribution systems, affecting the quality of power delivered to end users. This study aims to reduce voltage drop on the CLDG feeder, which spans 32.75 km and has a radial network topology, by applying the Particle Swarm Optimization (PSO) method to optimize the placement of an express feeder. Simulations were carried out using the Backward Forward Sweep (BFS) power flow method implemented in MATLAB R2023b and validated through ETAP 19.0.1. The optimization process identified the optimal express feeder route from bus B01 to B18, with a new Load Break Switch (LBS) installed at bus B17. This configuration successfully reduced the number of critical buses from 52 to 16 and decreased the maximum voltage drop from 9.86% to 6.67%. Although the result remains slightly above the SPLN 72:1987 tolerance

threshold, it demonstrates that PSO is effective in enhancing voltage quality and improving the performance of distribution systems.

Key words: *Backward Forward Sweep, Express Feeder, Particle Swarm Optimization, Voltage Drop*

1. Pendahuluan

Seiring meningkatnya kebutuhan energi, sistem distribusi dituntut bekerja secara optimal agar kualitas pasokan energi listrik tetap terjaga di seluruh area layanan. Sistem distribusi listrik merupakan sistem penyaluran energi listrik dari gardu induk ke konsumen [1]. Di wilayah Tasikmalaya, penyulang CLDG dikelola oleh PT PLN (Persero) ULP Tasikmalaya Kota yang merupakan salah satu jaringan distribusi yang mendapatkan suplai dari Gardu Induk (GI) SUTET Tasikmalaya. Penyulang ini memiliki panjang total saluran mencapai 32,75 km dengan 64 unit transformator, 3 unit *Load Break Switch* (LBS), dan 1 *recloser*.

Salah satu permasalahan yang umum terjadi pada sistem distribusi adalah terjadinya *drop voltage*, yaitu penurunan tegangan pada titik-titik tertentu akibat panjang saluran, beban yang tidak merata, serta pertumbuhan konsumsi listrik di ujung jaringan [2]. Salah satu contoh nyata terjadi di Kampus 2 Universitas Siliwangi Mugarsari, dengan total kebutuhan daya mencapai 1.600 kVA [3]. Hal tersebut menjadi salah satu penyebab terjadinya penurunan kualitas tegangan di beberapa titik. *Drop voltage* yang melebihi batas toleransi dapat menyebabkan peralatan listrik tidak dapat berfungsi dengan baik, bahkan dapat menimbulkan kerusakan [4]. PLN menetapkan standar dalam SPLN 72:1987 bahwa batas toleransi maksimum jatuh tegangan yang diizinkan pada jaringan tegangan menengah adalah 5% dari tegangan nominal [5].

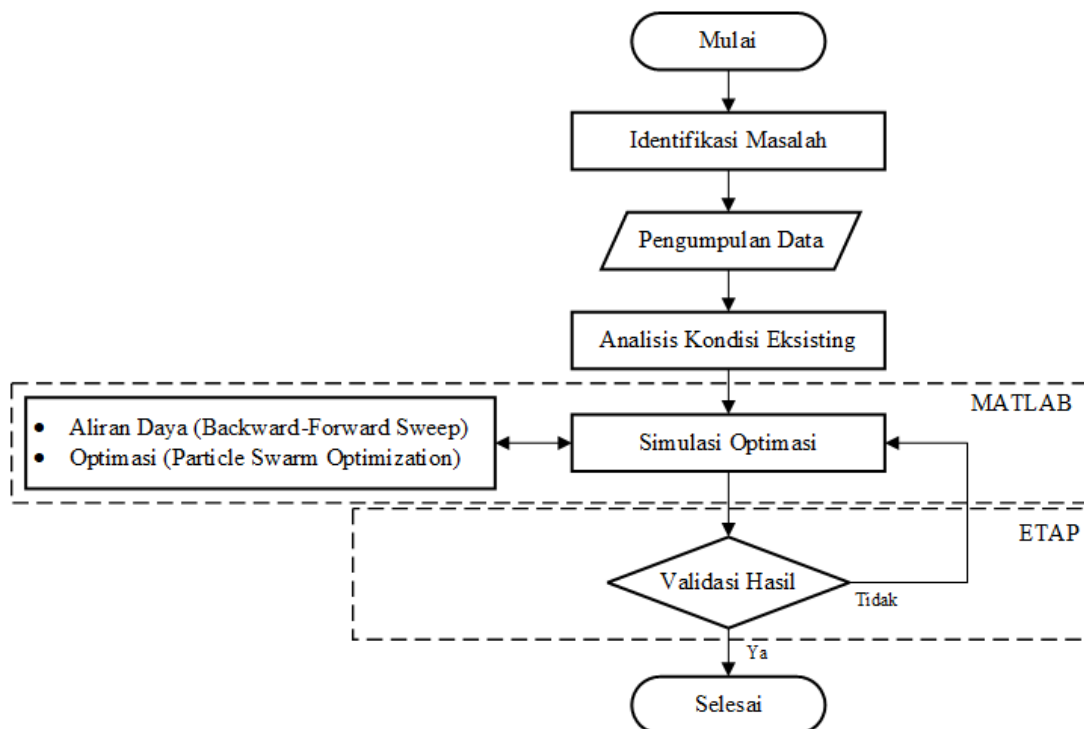
Berbagai metode telah diterapkan untuk mengatasi permasalahan *drop voltage*, mulai dari penggantian konduktor, pemasangan kapasitor bank, hingga rekonfigurasi jaringan distribusi. Rekonfigurasi jaringan distribusi dapat menurunkan nilai *drop voltage* secara signifikan dengan memanfaatkan pemasangan jalur *express feeder* [6]. Sementara itu pada penelitian lain menunjukkan bahwa perancangan sistem *express feeder* sebagai solusi untuk memperbaiki profil tegangan pada penyulang yang panjang dengan beban tersebar [7]. Penelitian lain juga menunjukkan bahwa penerapan *express feeder* secara efektif dalam mendistribusikan tenaga listrik ke area dengan kebutuhan tinggi, tanpa membebani jalur utama secara berlebihan [8]. Selain itu, penerapan *express feeder* lebih optimal dan efektif dibandingkan dengan pemasangan kapasitor bank dalam menjaga stabilitas tegangan [9].

Namun demikian, pada umumnya penentuan lokasi *express feeder* pada penelitian-penelitian tersebut masih dilakukan secara manual atau berbasis asumsi teknis tanpa melalui proses optimasi. Oleh karena itu, diperlukan metode pencarian solusi yang mampu mengevaluasi berbagai kemungkinan konfigurasi secara komputasi dan sistematis. Dalam konteks tersebut, *Particle Swarm Optimization* (PSO) menjadi salah satu metode yang relevan untuk digunakan, karena mampu melakukan pencarian solusi terbaik (*express feeder*) secara iteratif pada sistem yang kompleks [10].

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan mengurangi *drop voltage* pada sistem distribusi sesuai batas toleransi *drop voltage* sebesar 5% yang ditetapkan dalam SPLN 72:1987, dengan menerapkan metode PSO dalam pengembangan *express feeder* pada penyulang CLDG. Proses simulasi dilakukan menggunakan metode aliran daya *Backward Forward Sweep* (BFS) yang diimplementasikan pada *software* MATLAB R2023b dan divalidasi menggunakan ETAP 19.0.1.

2. Metode

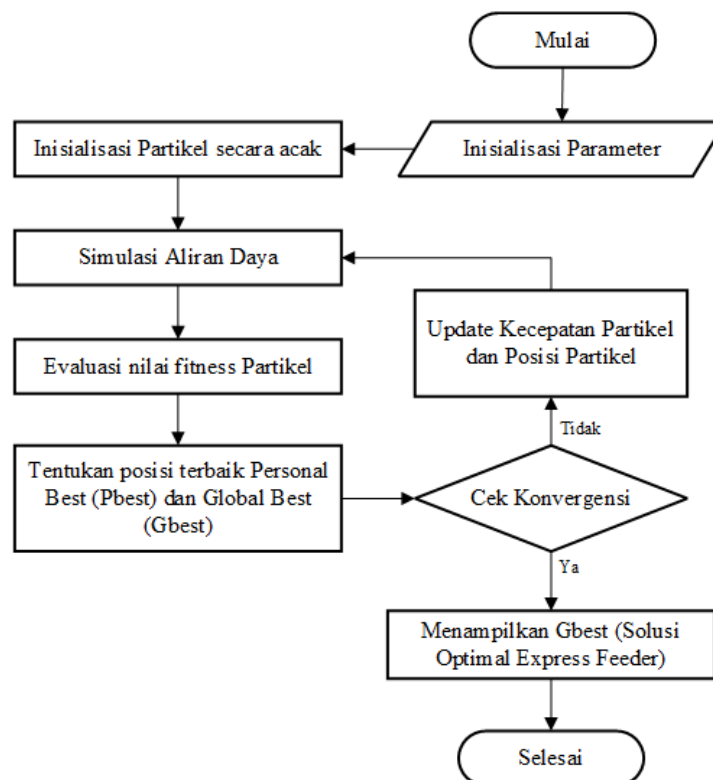
2.1 Proses Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Pada Gambar 1. menunjukkan proses penelitian, yang mulai dengan mengidentifikasi permasalahan yang terjadi pada sistem distribusi penyulang CLDG yang berada pada wilayah kerja PT PLN (Persero) ULP Tasikmalaya Kota, khususnya pada permasalahan *drop voltage* yang melebihi batas toleransi maksimum yang dibolehkan sebesar 5%. Kemudian dilanjut dengan pengumpulan data teknis jaringan, meliputi *single line diagram*, data beban, dan data saluran untuk memodelkan topologi sistem jaringan distribusi untuk dilakukan simulasi. Setelah itu, proses analisis kondisi eksisting dilakukan dengan metode aliran daya *Backward Forward Sweep* (BFS) untuk menghitung distribusi tegangan di setiap bus, sehingga dapat diidentifikasi bus-bus kritis yang mengalami *drop voltage* yang signifikan. Kemudian, dilakukan proses optimasi pengembangan *express feeder* dengan mencari lokasi pemasangannya menggunakan metode *Particle Swarm Optimization* (PSO). Kemudian, di akhir akan divalidasi dengan membandingkan hasil optimasi untuk memastikan akurasi perhitungan pada MATLAB R2023b dan hasil simulasi dari ETAP 19.0.1.

2.2 Proses Optimasi PSO



Gambar 2. Diagram Alir Optimasi PSO

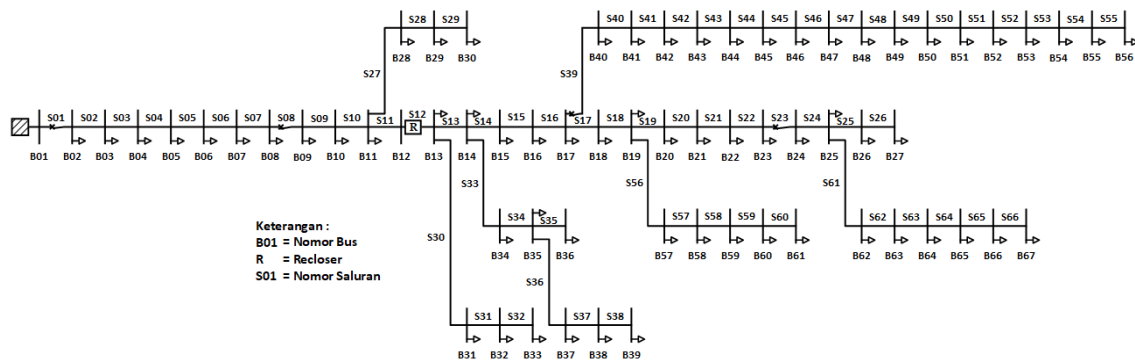
Pada Gambar 2. tersebut menunjukkan proses optimasi PSO yang dilakukan pada *software* MATLAB R2023b, mulai dari inisialisasi parameter. Terdapat parameter yang digunakan pada metode PSO, dengan jumlah partikel sebanyak 100, iterasi maksimum 20, dan bobot inersia (w) menurun dari 0,9 ke 0,4 secara linier. Nilai konstanta ($c1$ dan $c2$) masing-masing diatur sebesar 2. Hal tersebut memungkinkan setiap partikel menemukan posisi individu terbaik ($Pbest$) dan di evaluasi berdasarkan nilai *fitness* yang dihitung untuk mendapatkan nilai rata-rata drop tegangan yang terjadi pada sistem menggunakan persamaan (1):

$$f(x) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=2}^n \frac{|V_{base} - V_i|}{V_{base}} \times 100\% \quad (1)$$

Setelah itu, dilakukan pengecekan konvergensi terhadap *fitness* yang dihasilkan, hingga memperbarui posisi dan kecepatan partikel. Proses ini akan terus berjalan hingga menemukan kriteria konvergensi atau mencapai batas iterasi. *Output* dari proses ini adalah posisi global terbaik ($Gbest$) yang menunjukkan lokasi optimal untuk pengembangan *express feeder*.

2.3 Topologi Jaringan Penyulang CLDG

Jaringan distribusi penyulang CLDG memiliki topologi jaringan radial yang berarti proses distribusi daya listrik melalui satu saluran utama dari gardu induk menuju berbagai bus dan titik beban. Pada Gambar 3. disajikan bentuk topologi dari penyulang CLDG.



Gambar 3. Topologi Jaringan Distribusi Penyulang CLDG

Data sistem jaringan distribusi yang digunakan diperoleh dari data riil penyulang CLDG milik PT PLN (Persero) ULP Tasikmalaya Kota, yang memiliki jumlah titik beban sebanyak 67 bus dan 66 saluran distribusi. Data beban, impedansi saluran, dan posisi transformator digunakan untuk memodelkan sistem jaringan distribusi yang dijadikan sebagai dasar simulasi. Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi antara MATLAB dan ETAP 19.0.1.

3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini dilakukan pada penyulang CLDG milik PT PLN (Persero), yang berada pada wilayah kerja ULP Tasikmalaya Kota. Penyulang ini memiliki karakteristik topologi jaringan radial dengan total panjang saluran mencapai 32,75 km dengan melayani beban di 67 bus.

3.1 Kondisi Eksisting

Kondisi eksisting merupakan kondisi saat ini sebelum dilakukannya perbaikan atau optimasi pada sistem tersebut. berdasarkan analisis aliran daya metode BFS menggunakan *software* MATLAB R2023b, menunjukkan bahwa terjadi *drop voltage* yang cukup signifikan. Sebanyak 52 dari 67 bus mengalami *drop voltage* yang melebihi batas toleransi. Bus dengan tegangan terendah terjadi pada bus B56 sebesar 18,029 kV dengan persentase *drop voltage* 9,86%. Hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar bus di penyulang CLDG berada dalam kondisi kritis tegangan. Pada Tabel 1 disajikan setiap bus yang mengalami *drop voltage* melebihi batas toleransi sesuai dengan standar SPLN 72:1987.

Tabel 1. Data Bus Kritis Kondisi Eksisting

No. Bus	Tegangan (kV)	Drop Voltage (%)	No. Bus	Tegangan (kV)	Drop Voltage (%)	No. Bus	Tegangan (kV)	Drop Voltage (%)
B13	18,878	5,61	B33	18,859	5,71	B50	18,095	9,52
B14	18,679	6,60	B34	18,644	6,78	B51	18,087	9,56
B15	18,640	6,80	B35	18,617	6,91	B52	18,069	9,66
B16	18,485	7,58	B36	18,614	6,93	B53	18,059	9,70
B17	18,439	7,81	B37	18,589	7,01	B54	18,045	9,77
B18	18,403	7,99	B38	18,595	7,02	B55	18,040	9,80
B19	18,374	8,13	B39	18,593	7,03	B56	18,029	9,86
B20	18,345	8,27	B40	18,396	8,02	B57	18,370	8,15

B21	18,338	8,31	B41	18,356	8,22	B58	18,366	8,17
B22	18,314	8,43	B42	18,313	8,43	B59	18,362	8,19
B23	18,304	8,48	B43	18,270	8,65	B60	18,356	8,22
B24	18,290	8,55	B44	18,221	8,90	B61	18,356	8,22
B25	18,279	8,61	B45	18,174	9,13	B62	18,270	8,65
B26	18,257	8,72	B46	18,164	9,18	B63	18,246	8,77
B27	18,255	8,72	B47	18,124	9,38	B64	18,217	8,92
B31	18,870	5,65	B48	18,116	9,42	B65	18,207	8,96
B32	18,861	5,69	B49	18,104	9,48	B66	18,201	8,99
						B67	18,197	9,02

Nilai tegangan dan *drop voltage* tertinggi berdasarkan simulasi kedua *software* terjadi pada bus B56, dengan tegangan 18,029 kV dengan *drop voltage* 9,86%. Hasil ini menunjukkan bahwa hasil simulasi dapat dipercaya sebagai dasar evaluasi kondisi eksisting sebelum dilakukan optimasi yang disajikan pada Tabel 2 menunjukkan hasil simulasi pada *software* MATLAB R203b dan ETAP 19.0.1.

Tabel 2. Validasi Hasil *Drop Voltage* Maksimum Kondisi Eksisting

<i>Software</i>	Nomor Bus	Tegangan (kV)	<i>Drop Voltage</i> (%)	Bus Kritis
MATLAB R2023b	B56	18,029	9,86	52
ETAP 19.0.1	B56	18,029	9,86	52

3.2 Hasil Optimasi PSO

Untuk mengatasi masalah *drop voltage* tersebut, dilakukan optimasi pengembangan *express feeder* menggunakan metode PSO. Tujuan optimasi ini adalah menentukan lokasi optimal pemasangan *express feeder* untuk mengurangi nilai *drop voltage*. PSO berhasil menemukan konfigurasi optimal pada iterasi ke-4 dari total 20 iterasi. Dengan mengatur jumlah partikel sebanyak 100, dengan membatasi pencarian lokasi dari bus 13 hingga 67, bobot inersia (w) 0,9 ke 0,4, dan nilai konstanta kecepatan ($c1$ dan $c2$) masing-masing sebesar 2. Dengan menghasilkan solusi terbaik (*Gbest*), yaitu saluran *express feeder* dihubungkan dari bus B01 menuju B18, dan *Load Break Switch* (LBS) baru di pasang di bus B17, sebagai pemisah antara jalur utama dan jalur *express feeder*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.

```

Iterasi 1 | Express Feeder: [1 → 18] | LBS : Bus 17 | Jarak: 9.02 km | Vmin: 18.666 kV | Drop Maks: 6.67%
Iterasi 2 | Express Feeder: [1 → 18] | LBS : Bus 17 | Jarak: 9.02 km | Vmin: 18.666 kV | Drop Maks: 6.67%
Iterasi 3 | Express Feeder: [1 → 18] | LBS : Bus 17 | Jarak: 9.02 km | Vmin: 18.666 kV | Drop Maks: 6.67%
Iterasi 4 | Express Feeder: [1 → 18] | LBS : Bus 17 | Jarak: 9.02 km | Vmin: 18.666 kV | Drop Maks: 6.67%

Iterasi 4: KONVERGENSI
Posisi Express Feeder: [1 → 18]
Jarak Express Feeder: 9.02 km
Tegangan Minimum: 18.666 kV
Drop Tegangan Maksimum: 6.67%
LBS BARU: Bus 17

```

Gambar 4. Hasil Konvergensi Optimasi PSO

Berdasarkan hasil dari simulasi tersebut, saluran *express feeder* memiliki jarak sepanjang 9,02 km. Lokasi tersebut dianggap paling optimal karena mampu menyalurkan energi listrik secara langsung ke bagian jaringan yang sebelumnya terdampak oleh *drop voltage*, tanpa melewati seluruh jalur utama penyulang. Sehingga nilai tegangan terendah yang dihasilkan, yaitu sebesar 18,666 kV, dengan persentase *drop voltage* maksimum 6,67%.

Tabel 4. Validasi Hasil Setelah Optimasi Pengembangan *Express Feeder*

<i>Software</i>	<i>Nomor Bus</i>	<i>Tegangan (kV)</i>	<i>Drop Voltage (%)</i>	<i>Bus Kritis</i>
MATLAB R2023b	B56	18,666	6,67	16
ETAP 19.0.1	B56	18,666	6,67	16

Hasil simulasi yang diperoleh menggunakan metode aliran daya BFS, baik pada kondisi eksisting maupun kondisi setelah optimasi pengembangan *express feeder*, yang mana hasil tersebut mengalami penurunan nilai *drop voltage* yang signifikan. Pada Tabel 5 menunjukkan perbedaan hasil pada saat sebelum dan setelah optimasi.

Tabel 5. Perbandingan Hasil Sebelum dan Setelah Optimasi Pengembangan *Express Feeder*

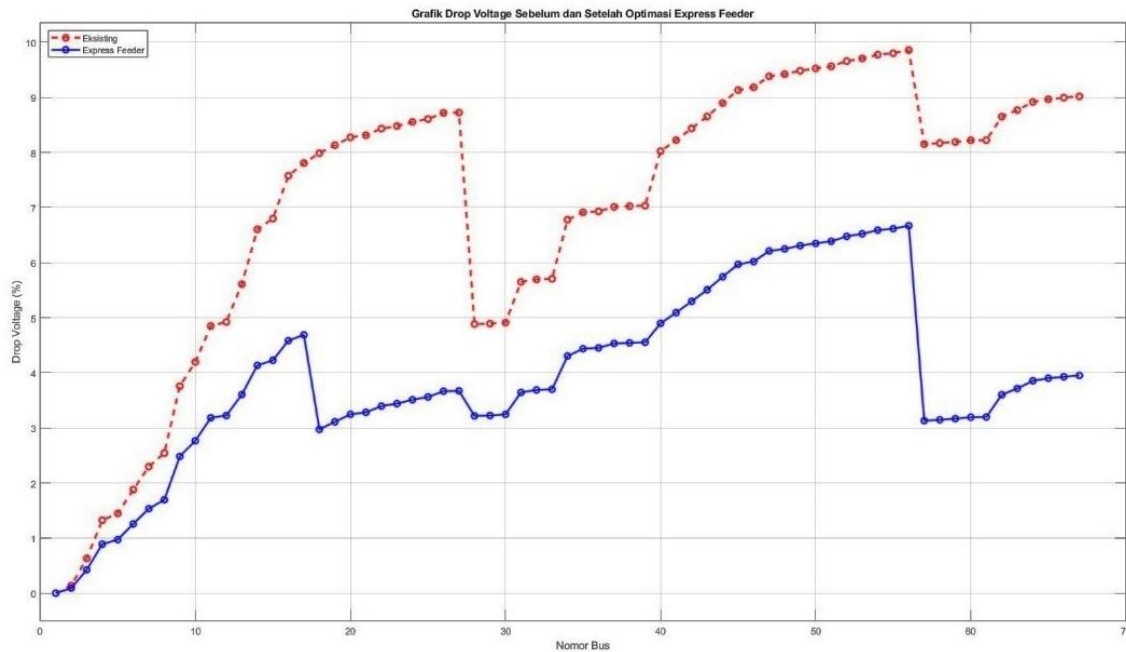
<i>Kondisi</i>	<i>Tegangan (kV)</i>	<i>Drop Voltage (%)</i>	<i>Bus Kritis</i>
Eksisting	18,029	9,86	52
Optimasi	18,666	6,67	16

Berdasarkan hasil optimasi dengan metode PSO menunjukkan penurunan nilai *drop voltage* maksimum dari 9,86% menjadi 6,67%, namun angka tersebut masih berada sedikit di atas batas toleransi maksimum 5% yang ditetapkan dalam SPLN 72:1987. Kondisi ini menunjukkan bahwa perbaikan yang dilakukan dengan pengembangan *express feeder* telah berhasil meningkatkan kualitas tegangan yang signifikan, namun belum sepenuhnya mampu memperbaiki seluruh titik beban ke dalam zona aman tegangan yang sesuai standar.

Namun terdapat beberapa faktor yang menyebabkan nilai *drop voltage* belum sepenuhnya berada di bawah 5%, salah satunya adalah karakteristik beban yang tersebar dan dominan berada pada bagian ujung jaringan, yang mengakibatkan penurunan tegangan lebih besar akibat jauhnya jarak dari sumber utama. Kemudian, panjang saluran dari gardu induk menuju titik beban terjauh mencapai lebih dari 30 km, dimana hal tersebut memberikan dampak terhadap penurunan tegangan meskipun telah dibantu dengan jalur *express feeder*.

Selain itu, pengembangan *express feeder* yang dilakukan dalam penelitian ini hanya mencakup satu jalur sepanjang 9,02 km dan hanya menjangkau sebagian area, sehingga belum sepenuhnya menjangkau titik beban yang mengalami *drop voltage* yang berat. Sejumlah bus di bagian ujung jaringan masih tetap dilayani oleh saluran utama, sehingga dampak optimasi belum merata ke seluruh sistem. Hal ini juga dipengaruhi oleh keterbatasan dalam jumlah dan lokasi LBS yang dipasang, serta tidak dilakukannya rekonfigurasi menyeluruh terhadap seluruh jaringan. Oleh karena itu, masih terdapat ruang pengembangan, seperti integrasi jalur *express feeder* tambahan atau pendekatan optimasi multi-objektif untuk menghasilkan solusi yang lebih optimal.

Dapat dilihat pada Gambar 6 yang menunjukkan perbandingan kondisi *drop voltage* sebelum dan setelah optimasi pengembangan *express feeder*.



Gambar 6. Grafik Perbandingan Hasil Drop Voltage Sebelum dan Setelah Optimasi Pengembangan Express Feeder

4. Kesimpulan

Penerapan metode *Particle Swarm Optimization* (PSO) terbukti efektif dalam menentukan lokasi optimal pemasangan *express feeder* untuk mengurangi *drop voltage* pada penyulang CLDG. Hasil optimasi menunjukkan solusi terbaik pemasangan *express feeder* dari bus B01 menuju B18 dan penempatan *Load Break Switch* (LBS) baru di bus B17. Berdasarkan hasil simulasi menggunakan aliran daya *Backward Forward Sweep* (BFS) yang divalidasi dengan ETAP 19.0.1, terjadi penurunan jumlah bus dengan kondisi kritis dari 52 menjadi 16 bus, serta penurunan *drop voltage* maksimum dari 9,86% menjadi 6,67%.

Meskipun demikian, nilai *drop voltage* masih sedikit melebihi batas toleransi yang ditetapkan, sehingga pengembangan ini masih belum sepenuhnya optimal untuk seluruh bus. Oleh karena itu, disarankan untuk penelitian selanjutnya melakukan pengembangan lebih lanjut dengan mempertimbangkan penambahan lebih dari satu jalur *express feeder*, penerapan metode optimasi *multi-objektif*, serta integrasi perangkat pendukung seperti kapasitor bank.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada pihak ULP Tasikmalaya Kota atas kesempatan dan dukungan yang diberikan selama proses pengumpulan data dan pelaksanaan penelitian. Ucapan terima kasih kepada dosen pembimbing yang memberikan arahan dan masukan dalam penyusunan artikel ini segala dukungan tersebut sangat berarti dalam penyelesaian penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] D. Agustian, “Pemeliharaan Jaringan Distribusi Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) 20 kV dengan Metode Right of Way (ROW) di PT PLN (Persero) ULP Serang,” *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 12, no. 3S1, Oct. 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i3S1.5413.
- [2] I. Affandy, I. Gd. D. Arjana, and C. G. I. Partha, “Pengaruh Rekonfigurasi Penyulang Terhadap Drop Tegangan Penyulang Penebel dan Penyulang Jatiluwih PT. PLN (Persero) ULP Tabanan,” *Jurnal Sosial dan Teknologi (SOSTECH)*, pp. 724–734, Jun. 2021.
- [3] F. N. Azizah, A. Andang, and Sutisna, “Perencanaan Kapasitas Transformator Distribusi Sesuai dengan Kebutuhan Daya Listrik di Kampus Mugarsari Universitas Siliwangi,” Universitas Siliwangi, 2024.
- [4] H. M. Yudha, “Kualitas Daya Listrik dan Penanganannya,” *Jurnal Desiminasi Teknologi*, vol. 5, no. 1, 2017.
- [5] PT. PLN (Persero), “SPLN 72:1987 Spesifikasi Desain untuk Jaringan Tegangan Menengah dan Tegangan Rendah,” *Perusahaan Umum Listrik Negara*, 1987.
- [6] S. Satriani, M. T. Akhmad, H. Fauziah, and M. F. Ali, “Rekonfigurasi Jaringan Distribusi 20 kV untuk Mengurangi Drop Voltage Pada Penyulang Asuhan GI Daya,” *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI)*, pp. 36–44, 2023.
- [7] N. Saputri, A. Asri, J. T. Elektro, P. Negeri, and U. Pandang, “Perancangan Pemasangan Express Feeder Untuk Perbaikan Profil Tegangan Pada Jaringan Distribusi 20 kV Penyulang Gardu Hubung Sungguminasa (GHSM) PT. PLN (Persero) ULP Sungguminasa,” *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI)*, pp. 376–380, 2022.
- [8] A. Shafitri *et al.*, “Dampak Pembangunan Express Feeder Jaringan Distribusi 20 KV untuk Mengatasi Drop Tegangan pada Feeder Retak Mudik PT PLN (Persero) ULP Mukomuko,” *Jurnal Pustaka Nusantara Multidisplin*, vol. 2, no. 3, 2024.
- [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] M. Faridha and Dewiana, “Pemanfaatan Aplikasi Particle Swarm Optimization (PSO) untuk Pengaturan Pengurangan Beban Tenaga Listrik,” *JTE UNIBA*, vol. 8, no. 2, 2024.