

Pengembangan Express Feeder pada Penyulang CLDG Tasikmalaya dengan Metode Particle Swarm Optimization untuk Mengurangi Rugi Daya

Bani Maulana¹, Nundang Busaeri², Muhammad Aris Risnandar³

¹²³Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Siliwangi, Jalan Siliwangi No. 24
Kahuripan Kota Tasikmalaya, Jawa Barat, 46115, Indonesia

Korespondensi: 217002030@student.unsil.ac.id

ARTICLE HISTORY

Received: 20-06-2025

Revised: 27-06-2025

Accepted: 28-06-2025

Abstrak

Sistem distribusi tenaga listrik memiliki peran penting dalam menyalurkan energi listrik secara andal dan efisien kepada konsumen. Salah satu tantangan utama dalam pengoperasiannya adalah tingginya rugi daya (*losses*) yang terjadi selama proses distribusi. Untuk mengatasi hal tersebut, penelitian ini menerapkan metode rekonfigurasi jaringan dengan menambahkan *express feeder* pada penyulang CLDG Tasikmalaya guna menurunkan rugi daya. Metode optimasi yang digunakan adalah *Particle Swarm Optimization* (PSO), yaitu algoritma yang meniru perilaku sosial kawanan burung atau ikan dalam mencari solusi terbaik. Setiap partikel mencari posisi optimal (*Pbest*), dan partikel lainnya mengikuti solusi terbaik global (*Gbest*). Perhitungan aliran daya dilakukan dengan metode *Backward Forward Sweep* (BFS) menggunakan perangkat lunak MATLAB 2024a dan divalidasi dengan ETAP 19.0.1. Metode BFS menyusun matriks BIBC dan BCBV berdasarkan topologi jaringan. Hasilnya, rugi daya turun dari 450,485 kW menjadi 245,1011 kW setelah rekonfigurasi dilakukan (pemasangan *express feeder*).

Kata kunci: *Backward Forward Sweep* (BFS), *Particle Swarm Optimization* (PSO), *ekspres feeder*, Rugi Daya.

Express Feeder Development in CLDG Tasikmalaya Feeder Using Particle Swarm Optimization Method for Power Loss Reduction

Abstract

The electrical power distribution system plays a crucial role in delivering reliable and efficient energy to consumers. One of the main challenges in its operation is the high level of power losses that occur during the distribution process. To address this issue, this study applies a network reconfiguration method by adding an *express feeder* to the CLDG Tasikmalaya feeder to reduce power losses. The optimization method used is *Particle Swarm Optimization* (PSO), an algorithm inspired by the social behavior of bird or fish swarms in finding the best solution. Each particle searches for an optimal position (*Pbest*), and others follow the global best solution (*Gbest*). Power flow analysis is performed using the *Backward Forward Sweep* (BFS) method, implemented in MATLAB 2024a and validated with ETAP 19.0.1. The BFS method constructs BIBC and BCBV

matrices based on network topology. As a result, power losses were reduced from 450.485 kW to 245.1011 kW after reconfiguration.

Key words: *Backward Forward Sweep (BFS), Particle Swarm Optimization (PSO), express feeder, Power Loss.*

1. Pendahuluan

Sistem distribusi tenaga listrik merupakan peran penting dalam menyediakan energi listrik yang andal dan efisien untuk konsumen. Saluran distribusi ini dibentangkan melintasi wilayah yang menerima pasokan listrik hingga mencapai pusat beban pada ujung akhir jaringan[1]. Akan tetapi salah satu permasalahan utama dalam pengoperasian jaringan distribusi adalah tingginya nilai rugi daya (*losses*) yang terjadi ketika penyaluran energi listrik. Rugi daya yang tinggi tidak hanya menyebabkan kerugian ekonomi bagi penyedia listrik (PT PLN Persero). Akan tetapi juga menurunkan efisiensi sistem dan berdampak pada keberlanjutan energi. Secara prinsip, rugi daya merupakan selisih antara jumlah energi listrik yang dihasilkan oleh pembangkit dengan energi listrik yang berhasil disalurkan hingga sampai ke konsumen [2].

Pada penyulang CLDG terdapat 64 trafo, 66 bus, dan 65 saluran. Dan juga nilai rugi-rugi daya sebesar 450,485 kW, dan itulah mengapa penelitian ini ditujukan pada penyulang CLDG karena nilai rugi daya yang besar yaitu 5,2%. Rugi daya dalam sistem tenaga listrik dapat disebabkan oleh berbagai faktor, seperti kebocoran pada isolator, panjang saluran transmisi, efek korona, serta faktor teknis lainnya. Meskipun kehilangan daya tidak dapat dihilangkan sepenuhnya, besarnya tetap perlu dianalisis dan dikendalikan agar tidak melebihi batas yang diizinkan. Analisis yang tepat diperlukan untuk memastikan bahwa rugi-rugi daya tersebut tidak mengurangi efisiensi sistem distribusi secara keseluruhan [3].

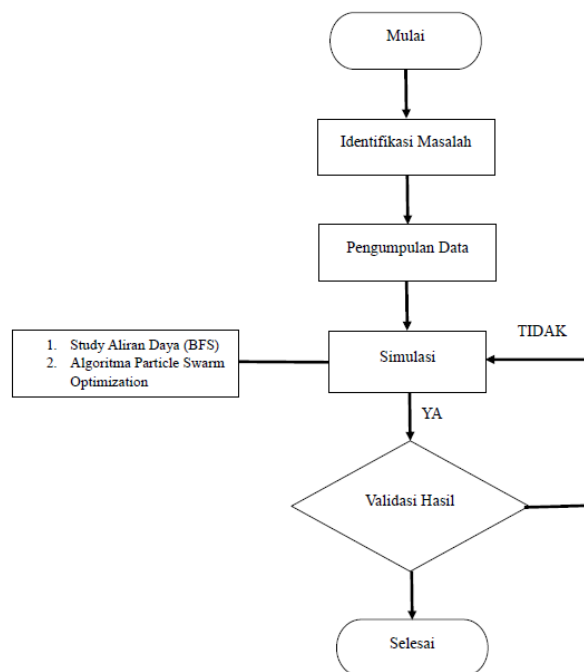
Jaringan distribusi *spindle* adalah sebuah bentuk dari jaringan distribusi radial dan loop. Dalam skema ini, sejumlah *feeder* yang berasal dari stasiun distribusi mengalirkan tenaga listrik menuju satu lokasi pengumpulan, yang dikenal sebagai gardu hubung [4]. Konfigurasi jaringan *spindle* umumnya terdiri atas enam penyulang utama yang beroperasi dalam kondisi berbeban dan satu penyulang tambahan yang tidak dialiri beban. Enam penyulang yang berfungsi untuk menyalurkan daya secara langsung ke beban disebut sebagai *working feeder* atau saluran kerja, sedangkan satu penyulang yang berada dalam kondisi siaga tanpa beban disebut sebagai *express feeder*. Pemasangan *express feeder* mampu meningkatkan profil tegangan dan mengurangi kehilangan daya listrik [5].

Express feeder adalah jalur distribusi listrik yang langsung menghubungkan gardu induk ke area beban utama tanpa banyak penyadapan atau percabangan. *Feeder* ini dirancang untuk meningkatkan keandalan pasokan listrik, mengurangi rugi-rugi daya, serta mempercepat pemulihan gangguan. Contoh studi kasus di *Feeder Sorek PT PLN* menunjukkan peningkatan tegangan dari 11.5 kV menjadi sekitar 17 kV setelah pemasangan *express feeder*. Studi menunjukkan bahwa pemasangan *express Feeder* dapat mengurangi rugi-rugi daya hingga 1.407 kW. yang berarti efisiensi energi meningkat[5].

Rekonfigurasi saluran distribusi adalah proses mengubah susunan jaringan melalui pengaturan saklar untuk mengurangi rugi daya dan meningkatkan efisiensi serta keandalan sistem distribusi[6]. Untuk menentukan posisi terbaik dalam perencanaan rekonfigurasi dengan menentukan penempatan *express feeder* dengan salah satu metode yaitu *particle swarm optimization* (PSO). *Particle Swarm Optimization* (PSO) adalah algoritma optimasi stokastik berbasis populasi yang diinspirasi oleh dinamika perilaku sosial pada kelompok hewan seperti kawanan burung dan gerombolan ikan[7]. Penerapan metode PSO dikarenakan konsepnya yang sederhana, mudah diimplementasikan, serta sangat efisien dalam perhitungan dibandingkan algoritma matematika dan heuristik lainnya[8]. Setiap metode optimasi memiliki kelebihan dan kekurangannya, PSO unggul karena cepat konvergen dan mudah diimplementasikan untuk masalah kontinu yang relatif mulus. Namun, untuk masalah diskrit atau yang punya banyak optimal lokal, GA atau ACO mungkin lebih baik dalam eksplorasi. Seringkali, menggabungkan berbagai metode adalah cara terbaik untuk masalah yang sangat kompleks.

2. Metode

Metode ini dilakukan dengan beberapa tahap untuk mencapai hasil yang dicari, di jelaskan dalam bentuk *flowchart*, seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Flowchart Penelitian

Pada gambar diatas merupakan *flowchart* penelitian yang dimulai dengan identifikasi masalah yang ada pada tempat yang akan dilakukan penelitian, dan tempat untuk dilakukan penelitian pada Penyulang CLDG Tasikmalaya dengan identifikasi masalah yaitu rugi daya, dengan tahap selanjutnya pengumpulan data yang ada pada penyulang CLDG mulai dari SLD, data beban, data saluran.

Setelah semua data dapat terpenuhi maka selanjutnya yaitu melakukan simulasi untuk mendapatkan nilai aliran daya awal sebelum rekonfigurasi atau kondisi eksisting dengan metode *backward forward sweep* (BFS) menggunakan data saluran dan data beban yang ada kemudian membuat *script* untuk mensimulasikan sehingga hasil didapatkan. Pada penelitian ini penulis menggunakan metode aliran daya *backward and forward sweep* (BFS) karena lebih efektif dalam metode komputasi dengan jumlah bus dan cabang yang banyak[9]. Perhitungan aliran daya menjadi alat bantu yang sangat penting untuk menilai kondisi operasi sistem tenaga. Analisis ini dilakukan pada kondisi operasi normal untuk mengetahui nilai tegangan, arus, dan faktor daya di setiap simpul dalam jaringan distribusi listrik[10]. Ketika sudah didapatkan hasil eksisting selanjutnya masuk ke metode *particle swarm optimization* (PSO) untuk menentukan titik penempatan *express feeder* dan titik LBS, metode BFS dan PSO disimulasikan menggunakan *software* Matlab 2024a. Dan untuk parameter PSO adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Parameter PSO

Max iterasi	Partikel	C1	C2	Wmin	Wmax
100	50	2	2	0,4	0,9

Untuk mendapatkan nilai *fitnes* rugi daya pada metode *particle swarm optimization* (PSO) menggunakan persamaan berikut:

$$f(x) = \sum (I_i^2 \times R_i) + \text{penalty terms} \dots\dots\dots (1)$$

$f(x)$: fungsi objektif
 $\sum(I_i^2 \times R_i)$: komponen utama dalam penacarian nilai rugi daya total
 I_i^2 : arus saluran
 R_i : resistansi pada saluran
 penalty terms : *constrained optimization*

Kemudian setelah hasil didapatkan (konvergensi). Konvergensi selesai apabila pada dua kondisi yaitu memaksimalkan jumlah iterasi atau bisa juga nilai setiap iterasi stabil tanpa adanya perubahan yang signifikan maka konvergen didapatkan. Dan setelah konvergensi pada Matlab 2024a akan divalidasi dengan Etap 19.0.1. kita membuat SLD di etap yang nantinya nilai rugi daya yang ada pada Matlab apakah sudah valid atau belum dengan SLD yang dibuat pada Etap 19.0.1, ketika sudah maka penelitian selesai dan apabila hasil belum valid maka ulangi tahap sebelumnya sampai hasil valid.

3. Hasil dan Pembahasan

Pada bab ini disajikan hasil dan pembahasan yang telah dilakukan hasil optimasi dan pengolahan data. Pada poin ini menampilkan hasil dari nilai rugi daya eksisting dan nilai rugi daya setelah pemasangan *express feeder* dengan metode yang telah ditetapkan di awal yaitu metode *backward forward sweep* yang disimulasikan menggunakan *software* MATLAB 2024a dan ETAP 19.0.1. Untuk mencari titik pemasangan *express feeder* dengan metode *particle swarm optimization* menggunakan *software* MATLAB 2024a.

Pengembangan *exspress feeder* ini agar hasil rugi daya setelah rekonfigurasi lebih kecil dari kondisi eksisting sebelum direkonfigurasi.

3.1 Kondisi Eksiting

Pada data awal penyulang CLDG mempunyai beberapa data yang dimasukan sebagai parameter yang akan digunakan pada optimasi. Dan data yang ada sebagai parameter utama mencakup seperti data saluran, resistansi, reaktansi, profil beban, arus saluran, kemudian data tegangan, yang nantinya akan di gunakan untuk mencari rugi daya yang akan di optimasikan. Menurut Irsyam dkk, Rugi-rugi daya merupakan kehilangan energi listrik yang terjadi selama proses penyaluran, yang umumnya disebabkan oleh adanya resistansi pada material konduktor[11]. Dan berikut adalah rumus untuk mencari rugi daya:

$$P_{loss} = I_j^2 \cdot R_j \dots\dots\dots (2)$$

Rumus untuk perhitungan satu fasa;

$$P_{loss} = 3 \cdot I_j^2 \cdot R_j \dots\dots\dots (3)$$

Untuk perhitungan tiga fasa

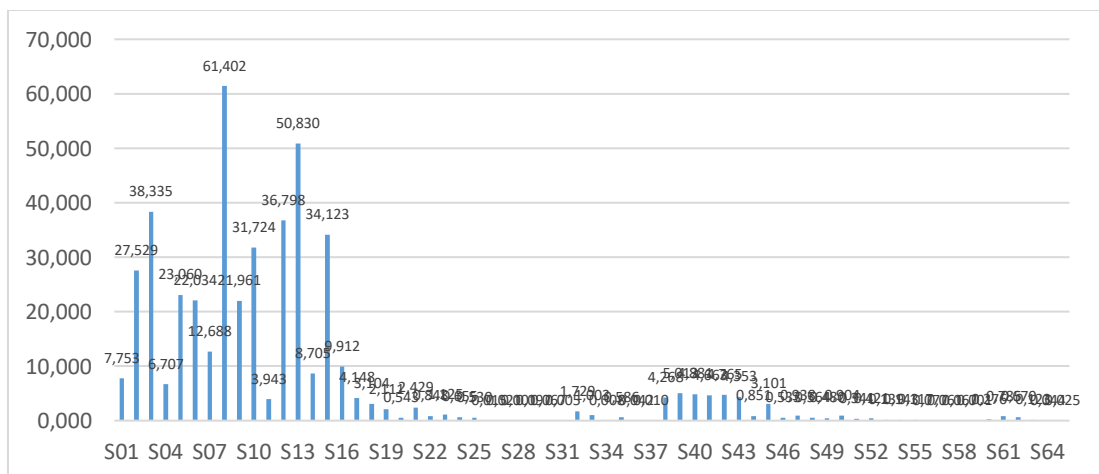
- P_{loss} : Rugi-rugi daya (w)
 I_j : Arus saluran (A)
 R_j : Hambatan saluran (Ω)

Tabel 2. Rugi Daya Eksisting

Software	Rugi Daya (kW)
MATLAB 2024a	450,485
ETAP 19.0.1	455,2

Tabel diatas merupakan hasil rugi daya eksisting sebelum adanya rekonfigurasi dengan pemasangan *exspress feeder*. Pada penyulang CLDG Tasikmalaya nilai rugi daya yaitu sebesar 450,485 kW (Matlab 2024a) sedangkan untuk nilai 455,2 kW pada Etap 19.0.1. dan apabila di buat persentase adalah 5,2%.

$$\text{Rugi daya \%} = \frac{450,485}{8665,75} \times 100\% = 5,2\%$$



Gambar 2. Rugi daya CLDG (kW) saluran eksisting

3.2 Pencarian titik *ekspres feeder*

Metode Particle Swarm Optimization (PSO)

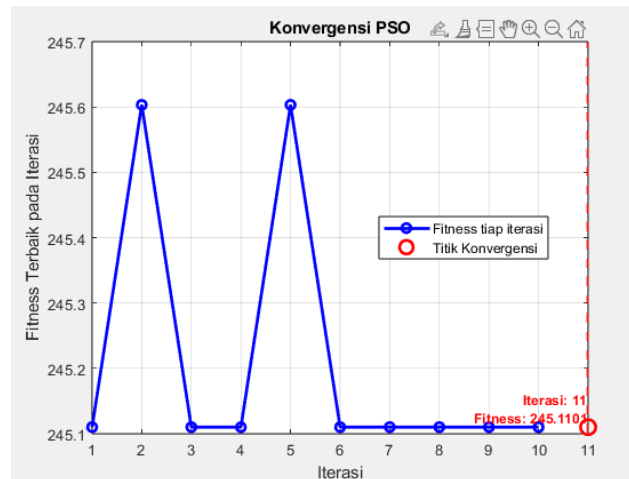
- a. Dengan metode PSO dilakukanlah optimasi terkait bus mana yang nantinya akan digunakan atau dipasangkan *ekspres feeder* dan penempatan LBS supaya rugi daya yang ada pada penyulang CLDG berkurang. Berikut penjelasan terkait metode *particle swarm optimization*.
- b. Untuk awal memulai metode PSO adalah dengan menentukan parameter-parameter kunci yang dapat mengendalikan algoritma. Dan didalamnya yang terdiri dari:
 - i. Jumlah partikel : menentukan partikel-partikel yang akan mencari solusi dalam ruang pencarian.
 - ii. Dimensi partikel : untuk dimensi partikel merupakan mengacu pada variabel yang akan dicarinya atau dioptimalkan seperti pada kasus ini adalah mempresentasikan dua variabel untuk *ekspres feeder* yaitu bus kirim dan bus terima (bus awal dan bus yang di tujua).
 - iii. Batas ruang pencarian: menentukan rentan nilai minimal untuk mulai mencari dan maksimum, contohnya mulai pencarian dari bus 12 sampai bus ke 66. Dengan bus sumber yang sama yaitu dari bus 1.
 - iv. Bobot inersia: mengontrol pengarus kecepatan partikel sebelumnya terhadap kecepatan saat ini. Nilai (w) yang tinggi akan melakukan eksplorasi yang luas dalam ruang pencarian, dan mencari solusi di area yang belum terjamah. Dan untuk nilai (w) yang rendah maka akan mendorong partikel tetap fokus pada eksploitasi, untuk mencari solusi yang lebih halus terbaik yang telah ditemukan.
 - v. Koefisien akselerasi (c_1, c_2): yang mana ini merupakan untuk mencari tujuan dengan posisi terbaik sendiri (P_{best}) dan terbaik secara global (G_{best}).
 - vi. Jumlah iterasi (ite): untuk jumlah iterasi adalah parameter batas untuk melakukan sebuah iterasi, misal maxiterasi dibuat 100 kali, maka iterasi maksimum yang dilakukan sebanyak 100 kali, dan apabila sudah mencapai 100 kali iterasi maka akan berhenti tahap pencarian.
 - vii. Konvergensi: Dengan konvergensi memungkinkan algoritma berhenti sebelum iterasi selesai secara keseluruhan, ketika nilai yang didapatkan tidak ada perbaikan secara signifikan atau bahkan sama, maka dikatakan konvergensi atau ketika memaksimalkan iterasi maka akan adanya hasil yang tidak terjadi kenaikan signifikan sampai akhirnya iterasi selesai. Pada penelitian ini menggunakan 10 kali nilai tanpa perubahan yang signifikan maka konvergensi didapatkan.
- c. Mekanisme kerja PSO
Setelah parameter sudah di atur maka proses selanjutnya adalah inisialisai partikel. Pada tahap ini kita bisa mengaturnya beberapa patikel yang nantinya akan mencari masing-masing dengan setiap patikel memiliki dimensi pertama (bus awal) yang selalu mencari dari bus awal, dan bus tujuan 12 sampai 66. Dan dipastikan juga bahwa pencarian setiap partikel secara acak, sehingga penentuan bus tujuan dapat dengan hasil yang valid.
- d. Fungsi Objektif
Untuk tujuan utama fungsi objektif ini adalah mengurangi rugi-rugi daya pada penyulang CLDG setelah adanya penempatan *ekspres feeder*.
- e. Hasil
Setelah dilakukannya algoritma PSO selesai, maka akan di temukannya nilai rugi daya, kemudian bus pemasangan *ekspres feeder* dan LBS, proses PSO selesai.

3.3 Setelah pemasangan *express feeder*

Setelah didapatkan bus awal dan bus tujuan untuk pemasangan *express feeder* pada penyulang CLDG dengan metode PSO menggunakan *software* MATLAB 2024a dengan tujuan untuk mengurangi rugi daya dan untuk pemasangan LBS baru sebagai pemutus pada jalur utama agar kondisi jaringan tidak di *loop*. Dan setelah dilakukannya rekonfigurasi dengan pemasangan *express feeder* nilai rugi daya berkurang dengan cukup signifikan.

Tabel 3. Optimasi

Iterasi	Bus Kirim	Bus Terima	Rugi Daya
1	1	18	245,1101
2	1	19	245,6032
3	1	18	245,1101
4	1	18	245,1101
5	1	19	245,6032
6	1	18	245,1101
7	1	18	245,1101
8	1	18	245,1101
9	1	18	245,1101
10	1	18	245,1101



Gambar 3. Grafik optimasi

Hasil optimasi (seperti pada Gambar 3) menunjukkan titik pencarian pemasangan *express feeder* yaitu pada *Gbest* 1-18 dengan nilai rugi daya 245,1101 dengan 10 kali iterasi. Penempatan titik *express feeder* pada bus 18 sudah optimal dikarenakan nilai rugi daya dapat berkurang secara signifikan dan menjadi nilai rugi daya *Gbest* paling optimal.

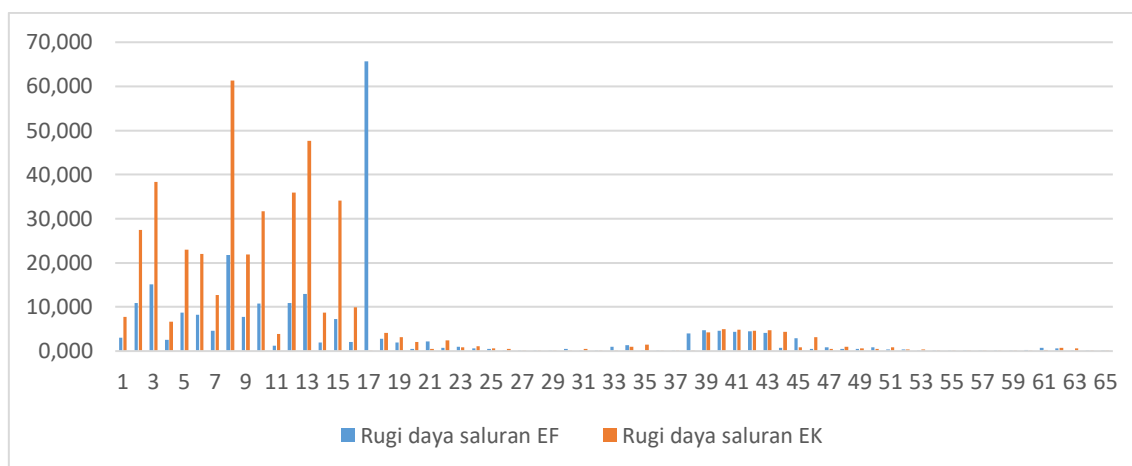
Tabel 4. Hasil optimasi

Bus kirim	Bus terima	LBS	Reaktansi (ohm)	Resistansi (ohm)	Jarak (km)	Rugi daya (kw)
1	18	S17 antara bus (17-18)	2.9811	1.9501	9,02	245,1101

Data diatas menunjukkan bahwa hasil dari optimasi mulai dari penempatan *express feeder*, LBS, jarak hingga hasil rugi daya didapatkan.

3.4 Perbandingan Eksisting dan *Express Feeder*

Perbandingan eksisting dan *express feeder* untuk memvalidasi bahwa hasil dari optimasi telah didapatkan dan untuk memvalidasi bahwa hasil dari optimasi telah mendapatkan hasil yang lebih baik dari hasil eksisting sebelum pemasangan *express feeder*.



Gambar 4. Perbandingan rugi daya saluran *Express Feeder* dan *Existing*

Dari grafik di atas merupakan sebuah perbedaan aliran daya sebelum dan sesudah pemasangan *express feeder*; yang mana grafik yang berwarna biru merupakan grafik untuk setelah pemasangan *express feeder* dan yang berwarna oren merupakan grafik untuk sebelum *express feeder*, dan dilihat bahwa setelah pemasangan *express feeder* rugi daya saluran lebih kecil dan terbesar pada saluran *express feeder*. Dan untuk hasil perbandingan rugi daya total terletak pada tabel di bawah:

Tabel 5. Perbandingan rugi daya

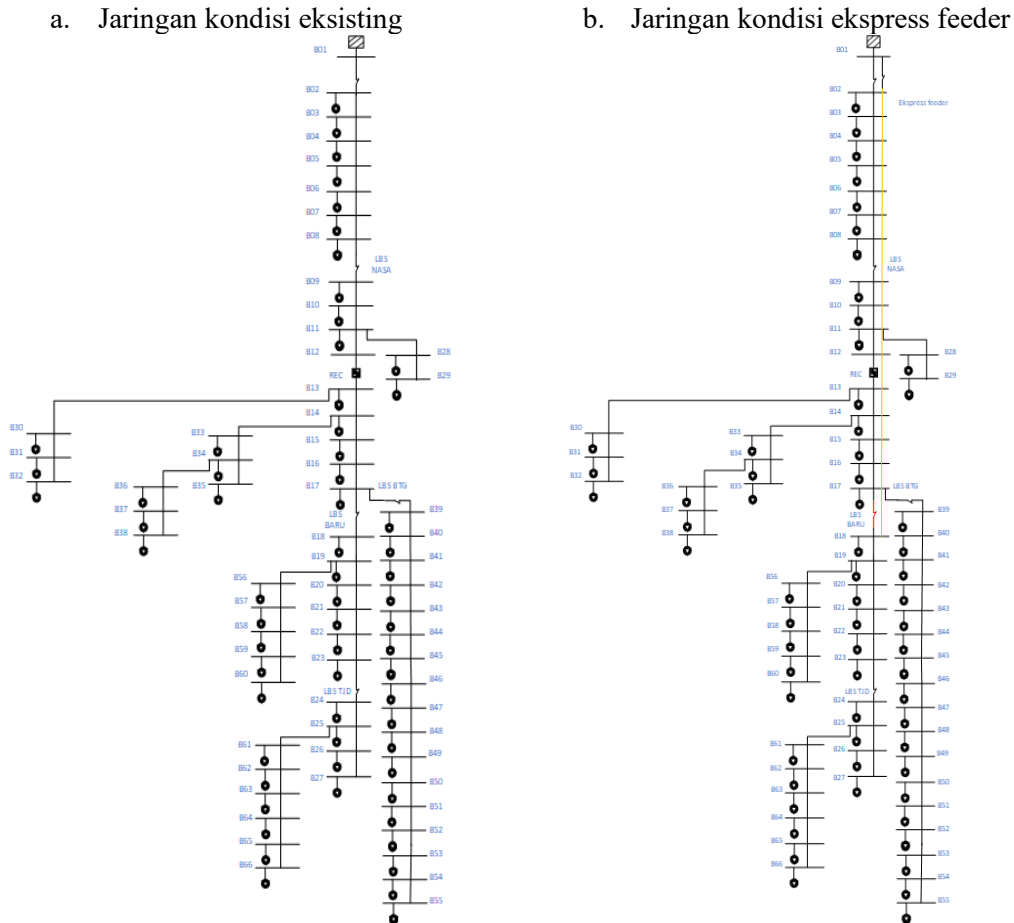
Software	Rugi Daya (kW)	Persentase %
MATLAB 2024a	450,485	5,2
ETAP 19.0.1	455,2	5,2
Perbandingan setelah pemasangan <i>express feeder</i>		
MATLAB 2024a	245,1011	2,8
ETAP 19.0.1	247,2	2,8

Pada tabel diatas bahwa hasil rugi daya telah turun ketika di pasang *express feeder* dari 450,485 kW menjadi 245,1011 kW dan ketika dimasukkan ke dalam persentase adalah 5,2 % menjadi 2,8%. Dan bukan hanya rugi daya saja yang berkurang, akan tetapi berpengaruh juga terhadap profil tegangan, berikut tabel drop tegangan pada bus:

Tabel 6. Drop tegangan

Jumlah	Eksisting	<i>Express feeder</i>
Drop tegangan pada bus	47 bus	13 bus

Dengan pemasangan *express feeder* jumlah drop tegangan pada penyulang CLDG berkurang cukup signifikan, pada awal kondisi eksisting jumlah bus dengan keadaan drop tegangan mencapai 47 bus dari total bus 65, setelah *express feeder* di pasang jumlah drop tegangan pada bus berkurang menjadi 13 bus.



Gambar 5. Perbedaan Kondisi Jaringan; a. Jaringan eksisting dan b. *Express feeder*

Pada gambar diatas merupakan jaringan penyulang CLDG, pada sebelah kiri adalah gambar jaringan yang tidak menggunakan ekspress feeder, dan pada gambar kanan adalah jaringan yang menggunakan *exspress feeder*, diberikan warna kuning pada jaringan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan pada penyulang CLDG Tasikmalaya maka dapat disimpulkan bahwa: Nilai rugi daya bernilai 450,485 dengan metode perhitungan *Backward Forward Sweep* (BFS) pada *software* Matlab 2024a dan divalidasi oleh Etap 19.0.1 dengan nilai 455,2 adanya perbedaan selisih nilai dikarenakan perhitungan belakang koma yang berbeda dan pada kondisi eksisting persentasenya adalah 5,2%. Hasil dari optimasi dengan menggunakan metode *Particle Swarm Optimization* (PSO) menunjukan bahwa bus 18 adalah bus tujuan dalam pemasangan *exspress feeder* dan juga penempatan LBS baru pada saluran 17 pada bus 17-18. Setelah dilakukan optimasi dan pemasangan *exspress feeder* nilai rugi daya menjadi 245,1011 kW dengan metode perhitungan yang sama dan divalidasi oleh etap bernilai 247,1 kW dan apabila di persentasekan maka menjadi 2,8%. Saran untuk kedepannya metode yang digunakan dalam satu penelitian bukan hanya satu, akan tetapi ada perbandingan dari metode yang lain, dan skala penelitian diperluas bukan hanya *exspress feeder* pada satu penyulang, akan tetapi *exspress feeder* pada satu gardu induk.

Ucapan Terima Kasih

Dengan selesainya penelitian ini, kami ucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu penelitian ini hingga terselesaikan.

Daftar Pustaka

- [1] A. Muhtar, I. H. Antarissubhi, and J. Elektro, "ANALISIS RUGI DAYA JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER PT. PLN ULP SENGKANG SULAWESI SELATAN," 2021.
- [2] Husu Sahrul, Lolok Agustinus, Hay Sahabudin, Pagiling Luther, Koedoes Ariyani Yuni, and Galugu Indrayati, *ANALISIS RUGI-RUGI DAYA PADA JARINGAN DISTRIBUSI PT PLN PERSERO RAYON RAHA*. 2019.
- [3] Manalu Trinaldi Jodi, Panggabean M Sukisan, Napitupulu Janter, Sinaga Joslen, and Jumari, "ANALISA RUGI-RUGI DAYA PADA SALURAN DISTRIBUSI TEGANGAN MENENGAH 20 KV DI PT.PLN (PERSERO) UP3 SIBOLGA," 2023.
- [4] A. Indra, A. Tanjung, and U. Situmeang, "Analisis Profil Tegangan Dan Rugi Daya Jaringan Distribusi 20 kV PT PLN (Persero) Rayon Siak Sri Indrapura Dengan Beroperasinya PLTMG Rawa Minyak," *Jurnal Sain, Energi, Teknologi & Industri*, vol. 4, no. 1, pp. 25–31, 2019.
- [5] Van Anugrah Andri, Eteruddin Hamzah, and Arlenny, "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.
- [6] Suardika Arya Putu I, Arjana Dyana Gede I, and Pemayun Maharta gede Agung Anak, "Desember 2018 I Putu Arya Suardika, I Gede Dyana Arjana," 2018.
- [7] R. Simanjuntak, A. Tanjung, and M. P. Halilintar, "Rekonfigurasi Jaringan Distribusi 20 kV Feeder Balam Dengan Metoda Binary Particle Swarm Optimization (BPSO) Di PT. PLN (Persero) Bagan Batu," *Jurnal Sain, Energi, Teknologi & Industri*, vol. 5, no. 2, pp. 60–67, 2021.
- [8] D. Alif Satria, D. Pembimbing Ir Ontoseno Penangsang, H. Suryoatmojo, and J. Teknik Elektro, "Optimasi Penempatan DG Menggunakan Metode PSO pada Jaringan Distribusi Mikrogrid untuk Meminimalisasi Rugi Daya."
- [9] A. S. Sampeallo, W. F. Galla, D. Dhanang, H. L. Rohi, and A. P. Kupang, "ANALISIS RUGI DAYA DI PENYULANG OEUFU PT. PLN (PERSERO) ULP KUPANG MENGGUNAKAN ALGORITMA GENETIKA," 2021.
- [10] A. Hasibuan *et al.*, "Analisa Aliran Daya Pada Sistem Tenaga Listrik Dengan Metode Fast Decoupled Menggunakan Software Etap," 2020, doi: 10.30596/rele.v1i1.5236.
- [11] M. Irsyam, M. Alagusri, L. Pandapotan Marpaung, K. Kunci, and P. Lvmdp, "ANALISA RUGI-RUGI DAYA (LOSSES POWER) PADA JARINGAN TEGANGAN RENDAH PT. MUSIMMAS BATAM," *Sigma Teknika*, vol. 6, no. 1, pp. 109–119, 2023.