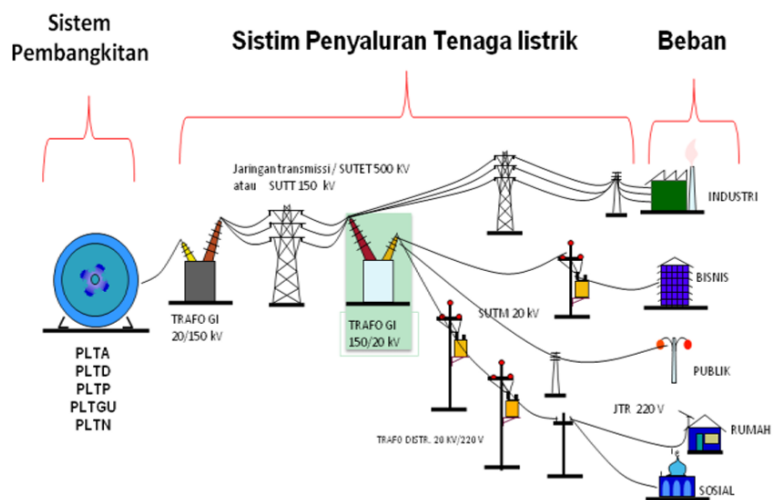


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem Tenaga Listrik adalah kumpulan pusat pembangkit dan pusat beban yang saling terhubung melalui jaringan transmisi dan distribusi, untuk membentuk suatu sistem yang terintegrasi. Umumnya pembangkit listrik berada cukup jauh dari pusat beban, terutama pembangkit listrik berskala besar, sehingga untuk menyalurkan tenaga listrik tersebut sampai ke pusat beban maka tenaga listrik tersebut harus disalurkan (Suardika Arya Putu I et al., 2018).



Gambar 2. 1 Sistem Tenaga Listrik

sumber: (Hajar1 et al., 2018)

2.2 Sistem Distribusi

2.2.1 Sistem Distribusi

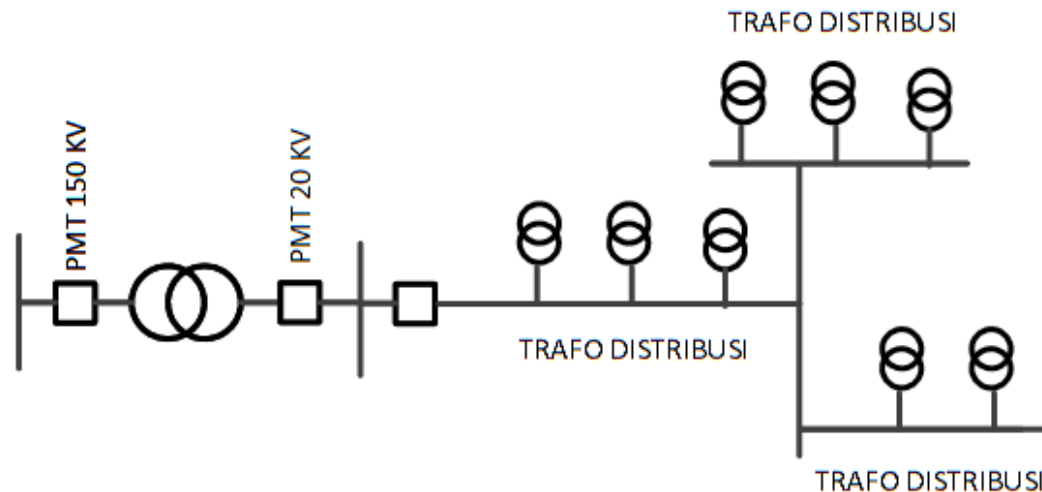
Sistem distribusi atau disebut jaringan distribusi listrik tegangan menengah berada diantara gardu induk dengan gardu distribusi yang memiliki tegangan sistem lebih tinggi dari tegangan untuk konsumen. Standar tegangan untuk jaringan distribusi primer ini adalah 6 kV, 10 kV, dan 20 kV (Suardika Arya Putu I et al., 2018).

Jaringan distribusi terdiri dari dua bagian: jaringan tegangan menengah (JTM) yang menyalurkan daya dari gardu induk ke gardu distribusi menggunakan sistem tiga atau empat kawat tiga fasa, dan jaringan tegangan rendah (JTR) yang menyalurkan daya dari gardu distribusi ke konsumen setelah diturunkan dari 20 kV menjadi 380/220 V oleh transformator distribusi. Jaringan JTR juga disebut jaringan distribusi sekunder. (Sugianto, Jaya Arif, et al., 2020). jaringan distribusi tegangan menengah umumnya berupa jaringan tiga fasa dengan tiga kawat. Penyaluran energi dilakukan melalui kawat udara, kabel udara, atau kabel tanah, tergantung tingkat keandalannya. Jaringan ini dibentangkan hingga mencapai pusat beban di ujung akhir sistem distribusi (Muhtar et al., 2021)

2.2.2 Sistem Distribusi Radial

Sistem jaringan distribusi radial adalah konfigurasi paling sederhana dengan biaya instalasi rendah, di mana beban terhubung langsung ke sumber daya. Umumnya digunakan di area dengan kepadatan beban rendah hingga sedang, namun keandalannya rendah. Gangguan pada satu titik saluran dapat menyebabkan pemadaman luas karena hanya memiliki satu saluran utama dari gardu induk yang bercabang ke berbagai beban yang dilayani. (Indra et al., 2019). Menurut (Julianto,

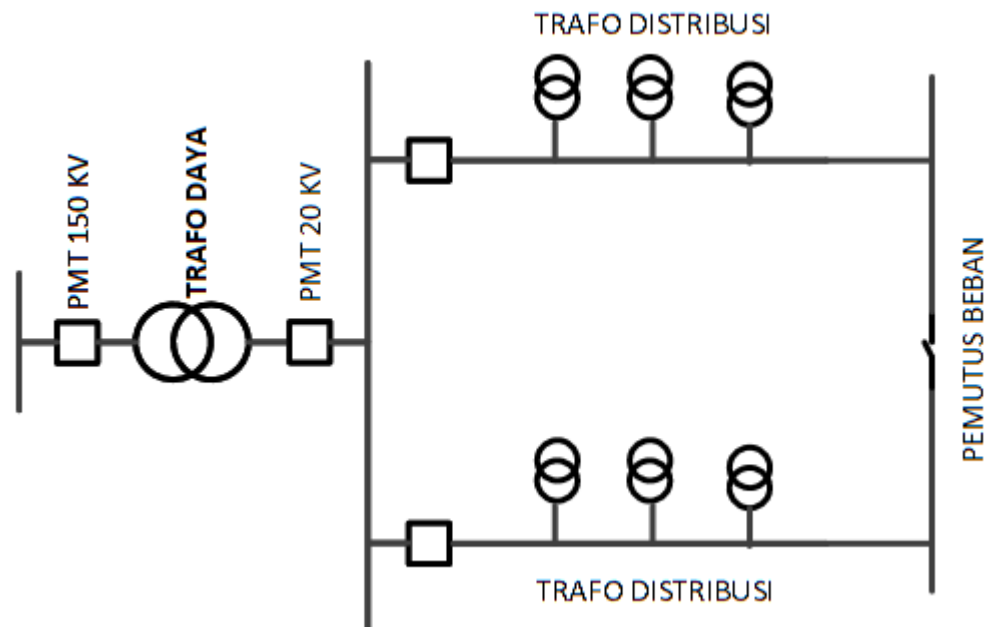
2023) Sistem distribusi tenaga listrik umumnya menggunakan bentuk radial, namun konfigurasi ini cenderung menghasilkan rugi daya dan tegangan yang lebih tinggi dibandingkan bentuk lainnya. Untuk menguranginya dan memperbaiki profil tegangan, salah satu metode yang sering digunakan adalah rekonfigurasi jaringan.



Gambar 2. 2 Konfigurasi Jaringan Radial

2.2.3 Sistem Distribusi Ring (*Loop*)

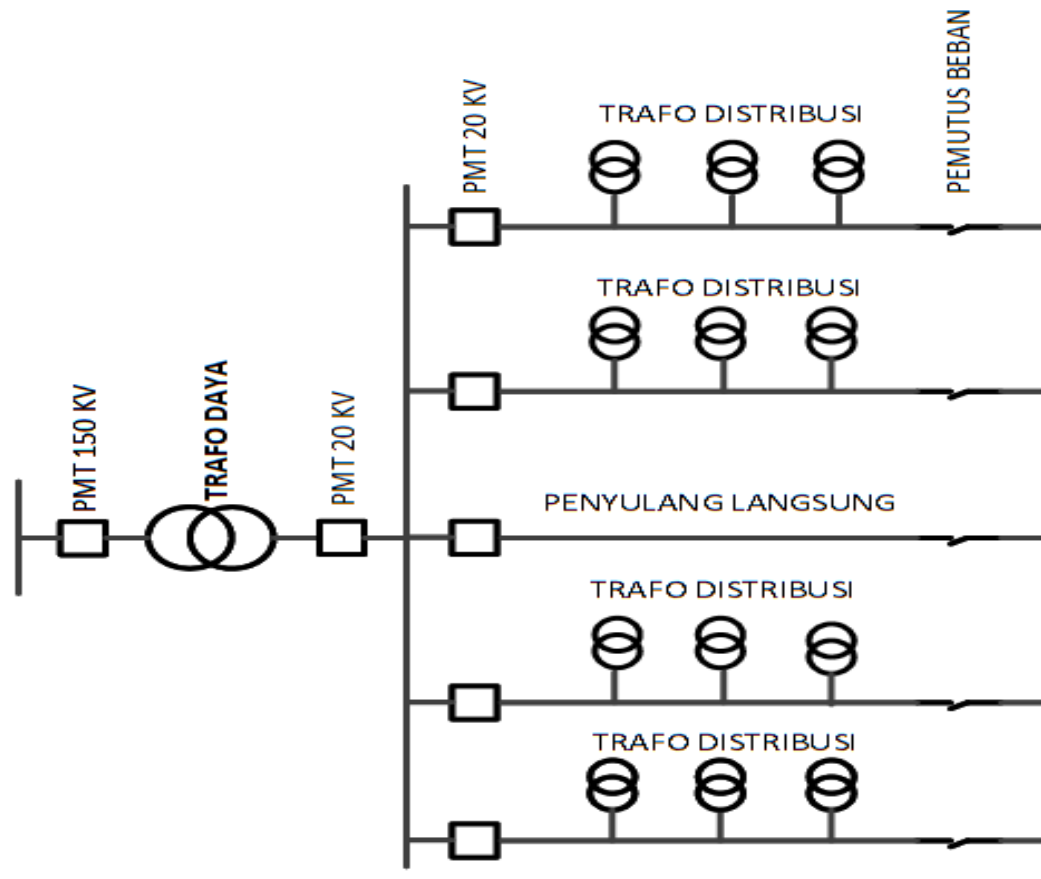
Sistem jaringan distribusi loop merupakan konfigurasi jaringan yang memungkinkan pasokan energi listrik berasal dari dua arah sebagai alternatif. Pendekatan ini digunakan untuk meminimalkan durasi pemadaman akibat gangguan dengan menghubungkan kedua ujung saluran. Dengan demikian, tingkat keandalan sistem ini lebih tinggi dibandingkan dengan sistem distribusi radial. Namun, salah satu kelemahan dari konfigurasi loop adalah biaya implementasinya yang cenderung lebih tinggi (Indra et al., 2019).



Gambar 2. 3 Konfigurasi Jaringan Loop

2.2.4 Sitem Distribusi *Spindel*

Sistem jaringan distribusi spindle merupakan hasil pengembangan dari konfigurasi jaringan distribusi radial dan loop. Dalam konfigurasi ini, terdapat beberapa penyulang yang mendapatkan suplai tegangan dari gardu induk distribusi, kemudian dialirkan menuju gardu hubung. Umumnya, sistem ini terdiri atas beberapa penyulang aktif serta satu penyulang langsung (*express feeder*) yang terhubung ke gardu hubung. Pada kondisi normal, penyulang langsung ini tidak membawa beban (Indra et al., 2019).



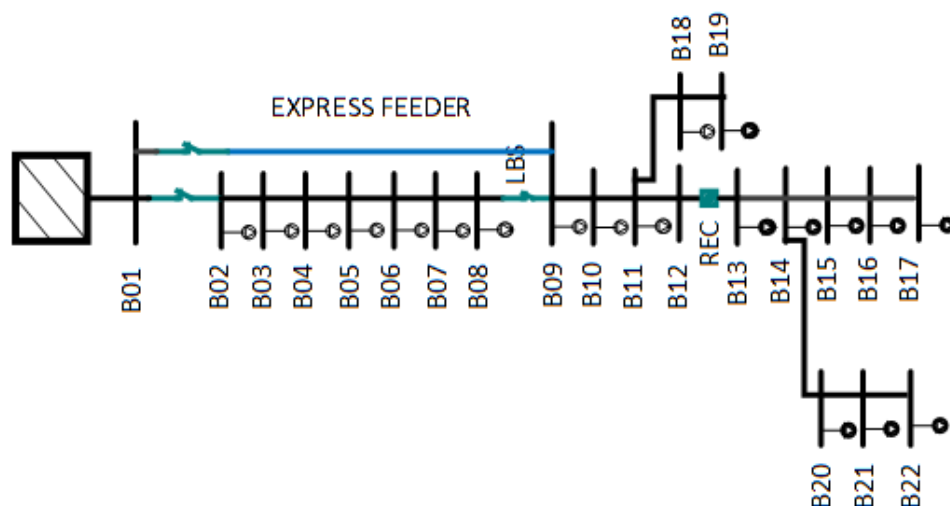
Gambar 2. 4 Konfigurasi Jaringan Spidel

2.2.5 Express Feeder

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 (Van Anugrah Andri et al., 2020)

Untuk menjaga dan memperbaiki profil tegangan serta mengurangi rugi-rugi daya pada jaringan distribusi, salah satu metode yang digunakan adalah penambahan penyulang ekspres (*express feeder*). Penyulang ini dapat berfungsi sebagai cadangan apabila terjadi gangguan pada salah satu penyulang utama (*working feeder*). Keunggulan dari *express feeder* adalah kemampuannya dalam memastikan sistem tetap beroperasi dengan baik, baik saat terjadi gangguan maupun selama proses pemeliharaan. (Indra et al., 2019). Pemasangan *express feeder* dilakukan untuk mengurangi rugi daya pada penyulang CLDG Tasikmalaya dengan mencari titik bus dengan nilai rugi daya terkecil pada penyulang. Pemasangan *express feeder* merupakan penambahan saluran baru pada penyulang CLDG, dapat ditulis dengan persamaan berikut:

$$\text{Express feeder: } DS_{\text{lama}} + 1 \quad (2.10)$$



Gambar 2. 5 Konfigurasi Jaringan ExpressFeeder

2.3 Rugi-Rugi Daya

Rugi daya dan jatuh tegangan terjadi akibat penurunan daya dan tegangan saat dikirim dari satu gardu induk ke gardu induk lainnya, sehingga muncul selisih antara nilai yang dikirim dan yang diterima (Khoirunnisa et al., 2024). Rugi daya merupakan kehilangan energi listrik akibat resistansi konduktor selama penyaluran, sedangkan jatuh tegangan terjadi ketika tegangan di titik penerima lebih rendah dibandingkan titik pengirim. Kedua masalah ini sangat berpengaruh terhadap kualitas daya, khususnya pada konsumen yang berada dekat dengan beban, sehingga perlu diperhatikan dalam perancangan dan pengoperasian jaringan distribusi (Irsyam et al., 2023).

Rugi-rugi daya pada saluran distribusi dipengaruhi oleh beberapa faktor utama. Ini termasuk jenis dan panjang saluran penghantar, tipe jaringan distribusi, dan tipe beban yang dilayani. Selain itu, faktor daya dan jumlah daya terpasang juga berperan penting. Peningkatan penggunaan beban induktif akan meningkatkan kebutuhan daya reaktif, yang pada akhirnya akan memperbesar rugi-rugi daya pada sistem distribusi (Nizar et al., 2021).

Pada satu konfigurasi radial rugi-rugi total penyulang dapat dituliskan pada persamaan berikut:

$$P_{loss} = I_j^2 \cdot R_j \quad (2.11)$$

Dimana:

P_{loss} : Rugi-rugi daya (w)

I_j : Arus saluran (A)

R_j : Hambatan saluran (Ω)

Untuk mengetahui besar rugi-rugi daya pada jaringan tiga fasa dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$P_{loss} = 3 \cdot I_j^2 \cdot R_j \quad (2.12)$$

Dan untuk rugi daya dalam bentuk persen sebagai berikut:

$$\text{Rugi daya dalam (\%)} = \frac{P_{loss}}{P_{input}} \times 100\% \quad (2.13)$$

Dimana:

P_{loss} : Rugi-rugi daya (w)

P_{input} : Daya total yang masuk ke sistem (w)

2.4 Aliran Daya Backward Forward Sweep

Studi aliran daya, atau *load flow study*, adalah analisis yang mempelajari distribusi daya listrik dalam suatu sistem, termasuk pergerakan daya dari satu titik ke titik lainnya serta profil tegangan pada setiap bus dalam sistem tersebut. Studi ini bertujuan untuk menentukan atau menghitung nilai tegangan, arus, daya aktif, daya reaktif, dan faktor daya di berbagai titik dalam jaringan sistem tenaga listrik saat beroperasi dalam kondisi normal, baik saat ini maupun dalam skenario masa depan. Perhitungan aliran daya dapat dilakukan secara manual maupun dengan bantuan perangkat lunak komputer. Adapun tujuan dari studi aliran daya antara lain:

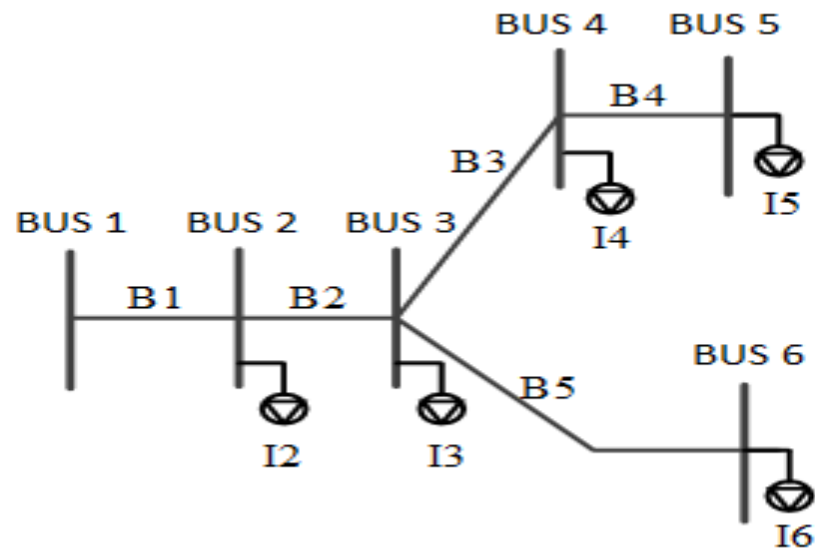
1. Mengidentifikasi komponen-komponen dalam sistem tenaga listrik.
2. Mengetahui nilai tegangan pada setiap bus dalam sistem.
3. Menghitung aliran daya aktif dan daya reaktif di setiap saluran.

4. Menentukan kerugian sistem secara optimal.
5. Membantu dalam perbaikan atau penggantian ukuran konduktor serta penyesuaian tegangan sistem.

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 (Hasibuan et al., 2020).

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. BFS merupakan metode komputasi iteratif untuk menyelesaikan persoalan aliran daya pada sistem distribusi radial (Rupang Meyke et al., 2022). Sebelum menerapkan metode *Backward Forward Sweep*, diperlukan modifikasi dalam proses perhitungan guna mempermudah pembentukan persamaan dan pelaksanaan iterasi. Salah satu langkah yang dilakukan adalah menyusun matriks *BIBC* (*Bus Injection to Branch Current*). Matriks BIBC ini merepresentasikan hubungan antara arus injeksi pada bus dan arus yang mengalir di setiap saluran dalam sistem distribusi listrik (Sampeallo et al., 2021).

Contoh gambar *single line* diagram untuk pembentukan matrik untuk persamaan aliran daya adalah sebagai berikut:



Gambar 2. 6 Single Line Diagram

Berdasarkan single line diagram di atas, dapat diperoleh persamaan untuk membentuk matriks BIBC dengan menggunakan Hukum Kirchhoff untuk arus (*Kirchhoff's Current Law/KCL*). Arus pada setiap cabang I dikaitkan dengan injeksi arus pada masing-masing bus atau saluran B. Dengan demikian, persamaan yang diperoleh dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$B_1 = I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6$$

$$B_2 = I_3 + I_4 + I_5 + I_6$$

$$B_3 = I_4 + I_5$$

$$B_4 = I_5$$

$$B_4 = I_6$$

Setelah didapatkan persamaan diatas kemudian dibentuk matrik BIBC adalah sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \end{bmatrix}$$

Angka 1 menyatakan adanya hubungan antara arus dan saluran pada sistem distribusi.

Angka 0 menyatakan tidak adanya hubungan antara keduanya.

Dan matrik BIBC dapat di sederhanakan menjadi berikut:

$$[B] = [\mathbf{BIBC}][I] \quad (2.14)$$

Hubungan antara arus cabang dan tegangan pada bus dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$V_2 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12}$$

$$V_3 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23}$$

$$V_4 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_3 \cdot Z_{34}$$

$$V_4 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_3 \cdot Z_{34} - B_4 \cdot Z_{45}$$

$$V_5 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_5 \cdot Z_{36}$$

Dari persamaan diatas dapat dibentuk matrik BCBV yang menyatakan bahwa ada hubungan antara tegangan bus dan arus saluran. Bentuk matrik BCBV sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_1 \\ V_1 \\ V_1 \\ V_1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} V_2 \\ V_3 \\ V_4 \\ V_5 \\ V_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & Z_{36} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \end{bmatrix}$$

Dan matrik BCBV dapat di sederhanakan menjadi berikut :

$$[\Delta V] = [\mathbf{BCBV}][B] \quad (2.15)$$

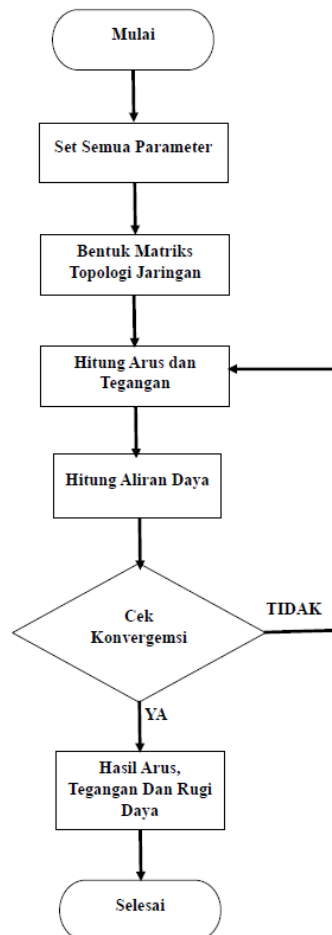
Kemudian didapatkan persamaan untuk matrik ΔV . Persamaan yang didapat adalah sebagai berikut:

$$[\Delta V] = [BCBV][BIBC][I] \quad (2.16)$$

$$[\Delta V] = [DLF][I] \quad (2.17)$$

Dengan didapatkan matrik BIBC. BCBV dan ΔV kita dapat menghitung nilai tegangan pada setiap bus. Persamaan untuk menghitung nilai tegangan pada setiap bus adalah sebagai berikut:

$$[V_i] = [V_1] - [\Delta V] \quad (2.18)$$



Gambar 2. 7 Flowchart Aliran Daya BFS

Flowchart diatas dijelaskan dalam poin alur setiap tahapannya, adapun keterangan alur *flowchart* sebagai berikut:

1. Proses dimulai. Ini merupakan langkah awal untuk menjalankan algoritma atau prosedur yang akan dilakukan program pada *software* MATLAB.
2. Pada tahap ini. semua parameter input seperti data saluran, panjang saluran, reaktansi saluran, resistansi saluran, bus kirim, bus terima, dan data beban.
3. Membentuk matriks topologi jaringan yang mana didalamnya terdapat bentuk matriks koneksi antar bus, sehingga diketahui hubungan antar bus, arah aliran daya, serta struktur jaringan radial distribusinya.
4. Kemudian dilakukan perhitungan arus dan tegangan dengan menggunakan pendekatan dua arah. Proses *backward sweep* dilakukan dari bus paling ujung menuju bus sumber, untuk menghitung arus pada setiap cabang. Dan untuk *forward sweep* merupakan perhitungan dari bus utama menuju ke ujung bus untuk menghitung tegangan pada setiap bus berdasarkan nilai arus dan impedansi saluran. Hitung nilai arus disetiap cabang persamaan sebagai berikut:

$$I_i^k = \text{conj} \left(\frac{P_i + Q_i}{V_i^k} \right) \quad (2.19)$$

Keterangan:

I_i^k : Arus cabang i pada iterasi ke- k

V_i^k : Tegangan bus i pada iterasi ke- k

$\left(\frac{P_i + Q_i}{V_i^k} \right)$: Daya total pada bus

Dan untuk persamaan menghitung tegangan setiap bus sebagai berikut:

$$V_j = V_i - (I_{ij} \cdot Z_{ij}) \quad (2.20)$$

V_j : Tegangan pada bus yang dihitung

V_i : Tegangan pada bus sebelumnya

I_{ij} : Arus yang mengalir dari bus i ke bus j

Z_{ij} : Resistansi dan Reaktansi saluran bus i ke bus j

5. Perhitungan aliran daya yang mana daya aktif dan reaktif pada setiap saluran dihitung dan akan menghasilkan nilai rugi daya yang ada pada saluran dan rugi daya total.
6. Dilakukan pengecekan apakah nilai hasil iterasi sudah memenuhi kondisi konvergensi (perubahan antar iterasi sudah sangat kecil atau mencapai nilai toleransi yang ditentukan) dan apabila belum mendapatkan nilai yang konvergensi maka perhitungan diulang dari perhitungan arus dan tegangan sampai mencapai batas toleransi yang ditentukan. Dapat dihitung dalam persamaan berikut:

$$\left| |V_i^{k+1}| - |V_i^k| \right| \quad (2.21)$$

V_i^{k+1} : Tegangan pada iterasi berikutnya

V_i^k : Tegangan pada iterasi ke K

7. Dan ketika sudah konvergensi hasil telah didapatkan dengan nilai rugi daya, arus, dan tegangan.
8. Proses selesai.

2.5 Rekonfigurasi Jaringan

Rekonfigurasi jaringan distribusi (*Network Reconfiguration*) adalah suatu upaya untuk mengubah susunan atau konfigurasi jaringan distribusi listrik dengan mengoperasikan saklar secara terkontrol dari jarak jauh (*Remotely Controlled Switching*). Proses ini dilakukan dengan membuka dan menutup saklar pada jaringan distribusi guna mengatur ulang aliran daya, tanpa menyebabkan gangguan atau risiko terhadap kestabilan operasi serta struktur sistem distribusi secara keseluruhan (Saputra Luvi Muhammad et al., 2019).

Rekonfigurasi saluran distribusi merupakan metode untuk mengatur ulang susunan jaringan distribusi dengan cara membuka dan menutup saklar (*switch*) yang terdapat pada sistem. Tujuan dari proses ini adalah untuk mengurangi rugi-rugi daya serta meningkatkan keandalan sistem distribusi, sehingga efisiensi penyaluran energi listrik dapat ditingkatkan (Suardika Arya Putu I et al., 2018). Besar kecilnya rugi-rugi daya dan jatuh tegangan pada saluran distribusi dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain jenis dan panjang penghantar, tipe konfigurasi jaringan distribusi, kapasitas transformator, jenis beban, faktor daya, serta total daya terpasang. Selain itu, tingginya penggunaan beban induktif juga turut meningkatkan kebutuhan daya reaktif. Upaya untuk mengurangi rugi-rugi daya dan penurunan tegangan dapat dilakukan melalui beberapa pendekatan, seperti pemasangan kapasitor bank, peningkatan luas penampang penghantar, serta rekonfigurasi ulang sistem distribusi listrik (Suardika Arya Putu I et al., 2018).

2.6 *Particle Swarm Optimization (PSO)*

Particle Swarm Optimization (PSO) merupakan salah satu metode optimasi stokastik berbasis populasi yang terinspirasi dari perilaku sosial hewan, khususnya pola pergerakan kelompok burung dan ikan. Metode ini pertama kali diperkenalkan oleh Russell C. Eberhart dan James Kennedy pada tahun 1995. Dalam algoritma ini, setiap agen atau partikel bergerak secara independen namun tetap dipengaruhi oleh pengalaman pribadi dan informasi dari kelompoknya. Jika salah satu partikel menemukan jalur terbaik menuju solusi (seperti burung yang menemukan sumber makanan), maka partikel lainnya akan mengikuti arah tersebut, meskipun posisi mereka dalam ruang solusi tidak saling berdekatan (Simanjuntak et al., 2021).

Algoritma *Particle Swarm Optimization (PSO)* diawali dengan menginisialisasi sejumlah partikel secara acak dalam ruang pencarian. Setiap partikel memiliki posisi yang merepresentasikan solusi potensial dan vektor kecepatan yang menentukan arah serta laju geraknya. Pada setiap iterasi, posisi dan kecepatan partikel diperbarui dengan mempertimbangkan dua hal utama: pengalaman terbaik partikel itu sendiri (*personal best*) dan solusi terbaik yang pernah ditemukan oleh seluruh kelompok partikel (*global best*). Pembaruan ini dilakukan secara iteratif hingga kriteria konvergensi terpenuhi. Persamaan matematis untuk memperbarui posisi dan kecepatan partikel dinyatakan sebagai berikut:

$$v_i^k = wv_i^{k-1} + c_1r_1(p_i - x_i^k) + c_2r_2(g - x_i^k) \quad (2.22)$$

Posisi partikel diperbaharui:

$$x_i^{k+1} = x_i^k + v_i^{k+1} \quad (2.23)$$

v_i^k = kecepatan partikel (i) pada waktu (t)

w = bobot inersia (mengontrol pengaruh kecepatan sebelumnya)

c_1 dan c_2 = merupakan parameter kognitif dan sosial ($Pbest$ dan $Gbest$)

r_1 dan r_2 = merupakan nilai acak antara 0 dan 1

p_i = merupakan solusi terbaik pribadi dari partikel (i)

x_i^k = merupakan posisi partikel (i) saat ini pada waktu (t)

g = merupakan Solusi terbaik yang ditemukan oleh gerombolan sejauh ini

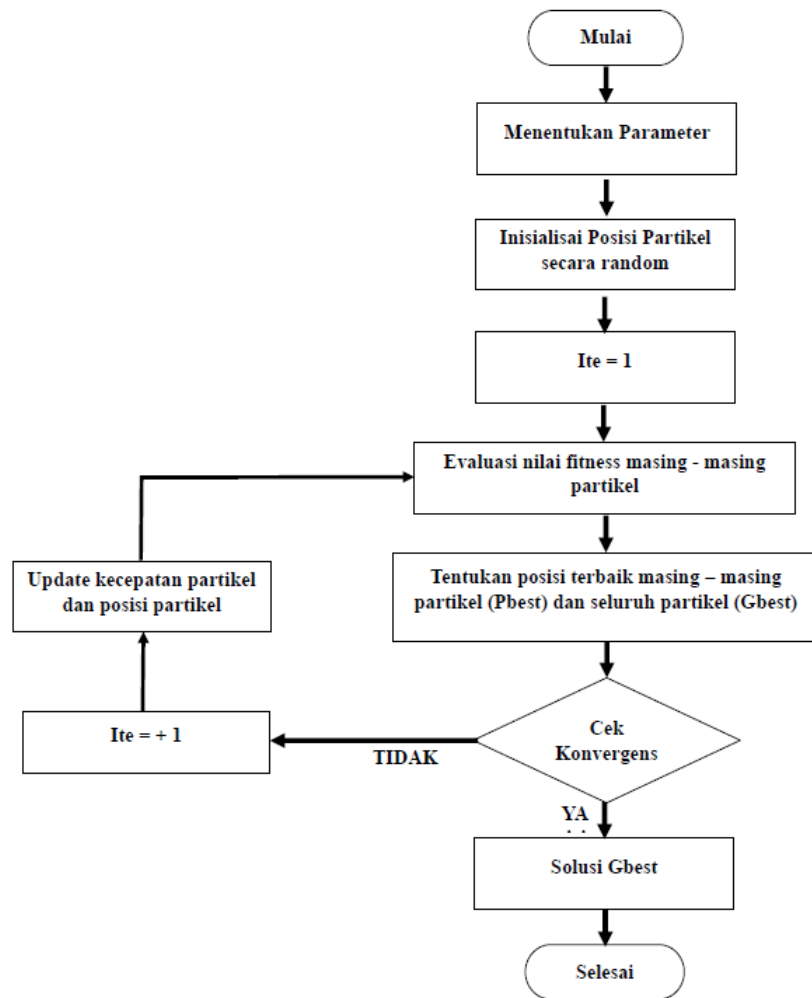
Bobot inersia berperan dalam mengatur keseimbangan antara eksplorasi global dan eksploitasi lokal dalam pencarian solusi. Nilai bobot inersia yang besar mendorong partikel untuk menjelajahi ruang pencarian secara luas (pencarian global), sedangkan nilai yang lebih kecil mendorong partikel untuk mengeksplorasi area sekitar solusi saat ini (pencarian lokal). Selain itu, parameter kognitif dan sosial mengatur sejauh mana pergerakan partikel dipengaruhi oleh pengalaman terbaiknya sendiri maupun oleh informasi dari partikel lain dalam kawanan. Proses iterasi algoritma PSO akan terus berlangsung hingga memenuhi kriteria penghentian, seperti tercapainya jumlah iterasi maksimum atau diperolehnya solusi yang dianggap cukup optimal.

Berikut merupakan parameter-parameter yang pada *Particle Swarm Optimization* (PSO), parameter ini merupakan untuk mengendalikan perilaku setiap partikel yang sehingga pada akhirnya mendapatkan hasil optimasi yang maksimal.

Tabel 2. 1 Tabel Parameter

No	Nama	Keterangan	Jumlah Parameter
1	n_partikel	Menentukan seberapa banyak pencari (partikel) yang akan menjelajahi ruang solusi	50 partikel
2	dim_partikel	Menentukan jumlah dimensi atau variabel dalam masalah optimasi yang sedang diselesaikan. Ini juga berarti setiap partikel akan memiliki posisi dan kecepatan dalam ruang 2 dimensi.	2
3.	Xmin	Merupakan batas minimum pencarian, tidak dapat mencari pada bus tersebut.	(1, 12)
4.	xmax	Menentukan nilai maksimum yang diizinkan untuk setiap dimensi (variabel) dari posisi partikel.	(1, 66)
5.	wmin	Nilai minimum yang akan digunakan untuk bobot inersia (w) selama proses optimasi.	0,4
6.	wmax	Nilai maksimum yang akan digunakan untuk bobot inersia (w) selama proses optimasi.	0,9
7.	C1	Koefisien Akselerasi Kognitif (<i>Cognitive Acceleration Coefficient</i>). Fungsi: Mengontrol seberapa besar partikel "belajar" dari pengalaman terbaiknya sendiri (pBest).	2

No	Nama	Keterangan	Jumlah Parameter
8.	C2	Koefisien Akselerasi Sosial (<i>Social Acceleration Coefficient</i>) untuk Mengontrol seberapa besar partikel "belajar" dari pengalaman terbaik seluruh kawanan (<i>gBest</i>).	2
9.	maxite	Iterasi Maksimum (<i>Maximum Iteration</i>) untuk Menentukan jumlah maksimum siklus pembaruan posisi dan kecepatan partikel yang akan dilakukan oleh algoritma.	100
10.	tolerance_limit	Batas Toleransi (<i>Tolerance Limit / Convergence Criterio</i>) untuk Menentukan ambang batas untuk menghentikan optimasi jika solusi telah konvergen atau perubahan nilai fitness menjadi sangat kecil.	1e-6
11.	max_no_improve = 10;	Untuk menghentikan proses optimasi jika solusi terbaik global (<i>gBest</i>) yang ditemukan oleh kawanan tidak mengalami peningkatan (nilai fungsi tujuan tidak membaik) selama sejumlah iterasi berturut-turut yang ditentukan.	10



Gambar 2. 8 Flowchart Metode PSO

Flowchart di atas merupakan alur kerja dari PSO, berikut merupakan langkah-langkah algoritma yang akan dilakukan:

1. Memulai proses
2. Menentukan parameter
3. Inisialisai posisi partikel dalam satu bidang pencarian.

4. Perhitungan iterasi dimulai dari 1
5. Evaluasi nilai fitness masing masing partikel berdasarkan posisi saat ini.
6. Penentuan posisi terbaik dari pencapaian individu dan posisi pencapaian terbaik semua partikel
7. Cek konvergensi apakah solusi sudah konvergen sesuai dengan yang telah ditetapkan nilai konvergensinya.
8. *Update* kecepatan dan posisi setiap partikel dengan persamaan:

$$v_i^k = wv_i^{k-1} + c_1r_1(p_i - x_i^k) + c_2r_2(g - x_i^k) \quad (2.24)$$

Posisi partikel diperbaharui:

$$x_i^{k+1} = x_i^k + v_i^{k+1} \quad (2.25)$$

v_i^k = kecepatan partikel (i) pada iterasi (k)

w = bobot inersia (mengontrol pengaruh kecepatan sebelumnya)

c_1 dan c_2 = merupakan parameter kognitif dan sosial (*Pbest* dan *Gbest*)

r_1 dan r_2 = merupakan nilai acak antara 0 dan 1

p_i = merupakan solusi terbaik pribadi dari partikel (i)

x_i^k = merupakan posisi partikel (i) saat ini pada waktu (t)

g = merupakan Solusi terbaik yang ditemukan oleh gerombolan sejauh ini

9. Ulangi langkah iterasi sehingga sesuai dengan kriteria yang ingin dicapai sampai terpenuhi.
10. Posisi *Gbest* dianggap solusi optimal.

2.7 Penelitian terkait

No.	Judul	Identitas Penelitian	Permasalahan	Pembahasan
1.	Network Reconfiguration for Power Loss Reduction on Distribution Feeder Using Particle Swarm Optimisation: Case study of 11kv Feeder in Ilorin. Nigeria	Ayodele I. Abdullateef. Bello S. Raji. Abimbola J. Gbenle. Momoh-jimoh E. Salami and Rasaq A. Alao	Permasalahan utama pada jurnal ini adalah rugi rugi daya pada sistem distribusi 11 kV Taiwo	Sistem distribusi merupakan segmen terbesar dalam sistem tenaga listrik dan tahap akhir dalam pengiriman listrik ke konsumen. yang sering mengalami rugi daya. baik teknis maupun non-teknis. akibat konfigurasi radial dan komponen yang terhubung. Rugi daya teknis. seperti disipasi energi dalam bentuk panas pada komponen sistem. tak terhindarkan dan memengaruhi efisiensi sistem serta meningkatkan biaya operasional. Studi ini bertujuan mengurangi rugi daya pada <i>feeder</i> distribusi 11 kV Taiwo di Ilorin melalui pendekatan rekonfigurasi jaringan. Evaluasi rugi daya dilakukan menggunakan metode <i>Backward Forward Sweep</i> untuk jaringan radial. sedangkan optimisasi jaringan setelah rekonfigurasi dilakukan dengan teknik <i>Particle Swarm Optimisation</i> (PSO). Hasil penelitian menunjukkan penurunan rugi daya nyata dari 176.883 kW menjadi 121.972 kW setelah rekonfigurasi. dan lebih lanjut menjadi 98.465 kW (penurunan 44.33% dari nilai awal). Untuk rugi daya reaktif. terjadi pengurangan dari 9.474 kVar menjadi 6.527 kVar setelah rekonfigurasi. dan lebih lanjut menjadi 3.101 kVar (penurunan 67.27% dari nilai awal). Hal ini membuktikan bahwa rekonfigurasi jaringan distribusi radial menggunakan PSO adalah

				metode yang efektif untuk mengurangi rugi daya pada jaringan distribusi.
2.	Analisis Profil Tegangan Dan Rugi Daya Jaringan Distribusi 20 kV PT PLN (Persero) Rayon Siak Sri Indrapura Dengan Beroperasinya PLTMG Rawa Minyak	Ade Indra1. Abrar Tanjung. Usaha Situmeang. Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lancang Kuning Pekanbaru	Permasalahan utama pada sistem distribusi adalah tegangan terima pada ujung saluran transformator DY 061 sebesar 17.975 kV dan rugi daya menjadi 27.694 kW	Pada kondisi awal (eksisting), tegangan terima di ujung saluran penyulang Saphire pada transformator DY 061 tercatat sebesar 17,975 kV, dengan rugi-rugi daya aktif sebesar 20,935 kW dan rugi-rugi daya reaktif sebesar 57,012 kVAr. Setelah PLTMG Rawa Minyak mulai beroperasi dan sistemnya terintegrasi ke dalam saluran penyulang Saphire, terjadi peningkatan pada profil tegangan di ujung transformator DY 061 menjadi 19,027 kV. Selain itu, rugi daya aktif menurun menjadi 19,431 kW dan rugi daya reaktif menjadi 52,963 kVAr. Dengan demikian, beroperasinya PLTMG Rawa Minyak mampu memperbaiki kualitas tegangan sekaligus menurunkan rugi daya aktif sebesar 1,504 kW dan rugi daya reaktif sebesar 4,049 kVAr.
3.	ANALISA RUGI-RUGI DAYA (<i>LOSSES POWER</i>) PADA JARINGAN TEGANGAN RENDAH PT. MUSIMMAS BATAM	Muhammad Irsyam. Missyamsu Aligusri. Linggom Pandapotan Marpaung. Program Studi Teknik Elektro. Fakultas Teknik. Universitas Riau Kepulauan	Membahas mengenai rugi rugi daya yang ada pada PT Musimmas Batam	Rugi-rugi Daya untuk kawat 400 mm ² ($R = 0.047 \Omega/\text{km}$) adalah $46.6 \text{ watt/km} = 0.046 \text{ kW/km}$. dan total ukuran panjang kabel penghantar dari Panel LVMDP ke beban adalah 500 M. Perhitungan rugi-rugi daya yaitu $P = 4833 \text{ watt/km}$. Sedangkan total <i>supply</i> daya adalah $8.0 \text{ Kw} = 8000 \text{ watt}$. sehingga dapat diketahui $= 3167 \text{ watt/km}$ (3.16 Kw). Dimana daya aktif trasformator (P) = 145.5 kW. Sehingga. persentase rugi-rugi akibat adanya

				arus netral pada penghantar netral transformator adalah 0.03 %.
4.	Studi Pemasangan Express Feeder Jaringan Distribusi 20 kV Untuk Mengatasi Drop Tegangan Pada Feeder Sorek PT PLN (Persero) Rayon Pangkalan Kerinci	Andri Van Anugrah. Hamzah Eteruddin. Arlenny. Program Studi Teknik Elektro. Fakultas Teknik. Universitas Lancang Kuning.	Panjangnya feeder Sorek ini menyebabkan terjadinya drop tegangan dan rugi-rugi daya yang sangat besar	Pada kondisi eksisting, tegangan pada ujung saluran BM 006 tercatat sebesar 11,181 kV, dengan total rugi-rugi daya aktif mencapai 2.063 kW dan rugi-rugi daya reaktif sebesar 3.703 kVAR. Setelah dilakukan pemasangan Express Feeder pada saluran OGF Sorek, terjadi perbaikan signifikan terhadap profil tegangan dan penurunan rugi daya, yakni hingga 1.407 kW, yang berdampak positif terhadap peningkatan kualitas layanan PLN. Setelah implementasi Express Feeder, tegangan terima di ujung saluran BM 006 meningkat menjadi 17,155 kV, sementara rugi-rugi daya aktif menurun menjadi 656 kW dan rugi-rugi daya reaktif menjadi 1.426 kVAR.