

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gardu Induk Distribusi

Gardu induk distribusi atau hanya disebut “gardu induk” yaitu gardu yang menerima tenaga listrik dari gardu transmisi yang kemudian di turunkan tegangannya dan disalurkan atau didistribusikan ke setiap beban akhir atau konsumen. Komponen utama dari gardu induk distribusi adalah transformator tenaga atau trafo daya. Kapasitas suatu gardu induk terletak pada kapasitas daya terpasang pada transformator tenaga yang digunakan (Ramadoni Syahputra, 2021).

2.2 Rekonfigurasi Jaringan Distribusi

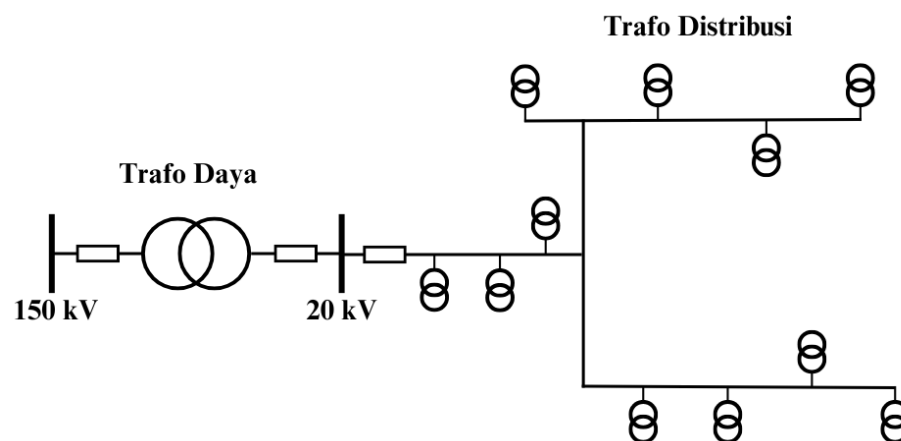
Rekonfigurasi jaringan merupakan suatu cara untuk mengubah konfigurasi jaringan yang telah ada dengan bertujuan untuk mengurangi rugi daya dan meningkatkan keandalan (Otong & Nurrohman, 2019). Prinsip sederhana dari rekonfigurasi jaringan adalah mengubah saklar pemisah dan saklar penghubung tanpa mengakibatkan risiko pada saat beroperasi. Salah satu cara rekonfigurasi jaringan adalah dengan mengubah topologi jaringan yang sudah ada untuk mencari bentuk topologi jaringan yang lebih optimal.

Rekonfigurasi jaringan distribusi dapat dilakukan dengan cara membuka atau menutup saklar yang menghubungkan berbagai penyulang. Dengan demikian, pasokan listrik kepada konsumen tetap terjaga, meskipun terjadi gangguan pada salah satu bagian jaringan (Satriani et al., n.d.).

2.3 Sistem Jaringan Distribusi Radial

Sistem jaringan radial adalah sistem dengan bentuk jaringan yang paling sederhana karena pada jaringan ini hanya mempunyai satu jalan aliran ke beban dan biasa dipakai untuk melayani daerah dengan kerapatan beban rendah dan sedang (Kartoni & Ervianto, 2016).

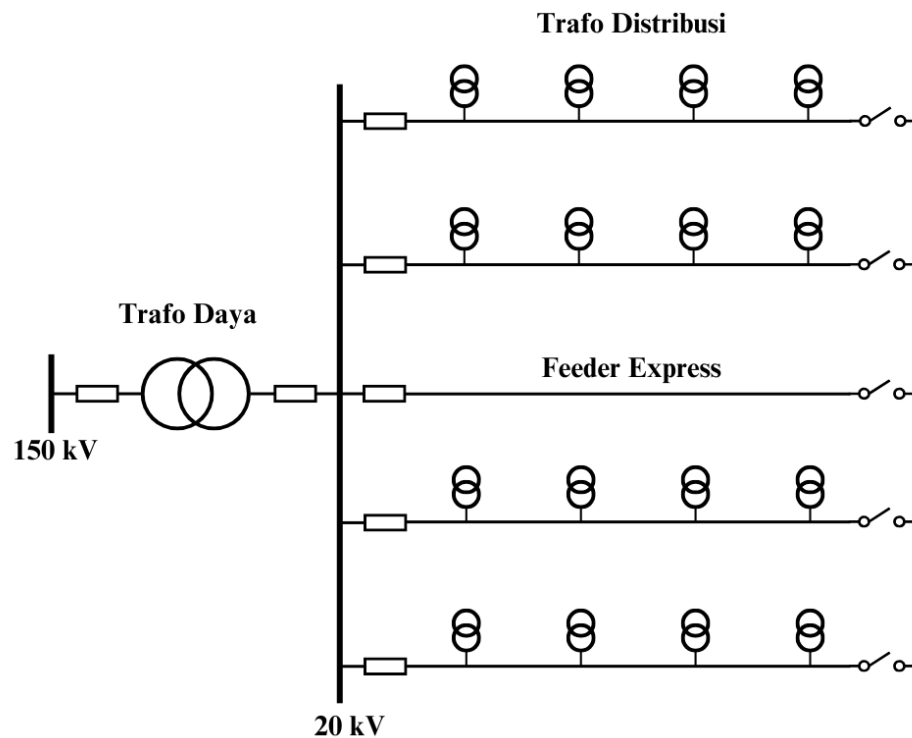
Pada sistem jaringan radial hanya mempunyai satu sumber untuk menuju konsumen, apabila penyaluran dari sumber ke konsumen ada gangguan dari salah satu penyulang yang terhubung maka seluruh konsumen yang terhubung ke penyulang tersebut terdampak gangguan tersebut.



Gambar 2.1 Jaringan Distribusi Radial

2.4 Sistem Jaringan Distribusi Spindel

Sistem jaringan spindel merupakan gabungan atau perkembangan dari sistem jaringan *loop*, pada jaringan spindel memiliki penambahan saluran utama yang bertemu pada satu titik, dimana titik tersebut merupakan sebuah gardu hubung (GH). Penambahan saluran utama ini terletak diantara beberapa gardu hubung, saluran utama ini beroperasi tanpa beban dan biasa disebut dengan *express feeder* (Abrar Tanjung, 2021).



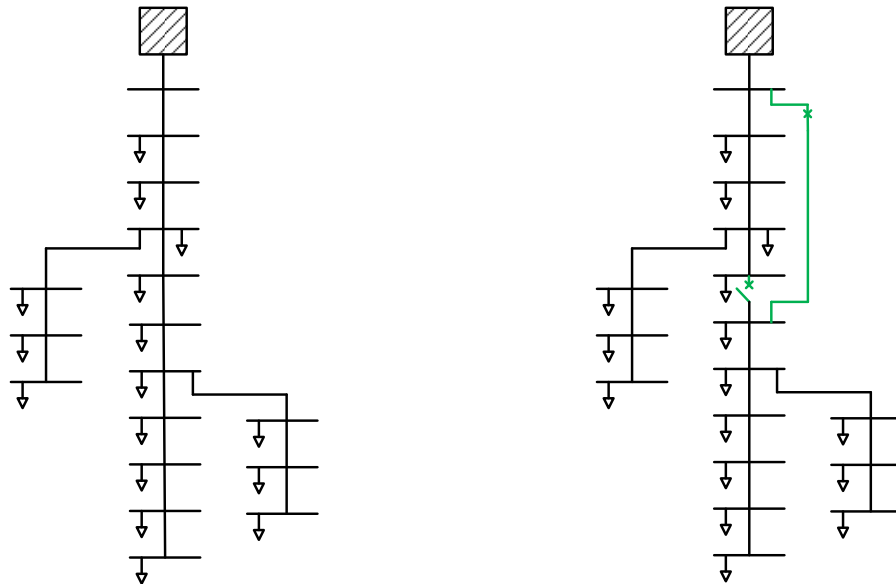
Gambar 2.2 Jaringan Distribusi Spindel

2.5 *Express feeder*

Saluran utama yang terdapat pada sistem jaringan spindel adalah *express feeder*, saluran distribusi listrik yang menghubungkan gardu induk langsung ke beban tertentu tanpa adanya sambungan ke pengguna lain di sepanjang jalurnya. Salah satu keuntungan dengan adanya saluran ini adalah bisa menekan rugi-rugi daya serta dapat dioperasikan secara bersamaan untuk mengantisipasi penambahan beban (Van Anugrah & Eteruddin, 2020).

Secara konseptual, *express feeder* merupakan saluran untuk melayani beban yang lokasinya lebih jauh dari gardu induk, dengan salah satu utamanya adalah untuk mengatasi masalah rugi daya dan jatuh tegangan (Teuku Murisal Asyadi, 2023). *Express feeder* perannya sebagai jalur suplai masuk (*incoming*) kedua yang bersifat independen atau tidak mempunyai beban. Konfigurasi ini akan membentuk sebuah konfigurasi suplai ganda (*double incoming*). Dalam kondisi operasional, terutama saat terjadi gangguan pada saluran utama, keberadaan *express feeder* memungkinkan dilakukan manuver. Hal ini untuk memastikan pasokan listrik ke area yang terganggu dapat dipulihkan melalui jalur suplai alternatif ini (Hardiantono & Mangera, 2019).

KONSEP EXPRESS FEEDER



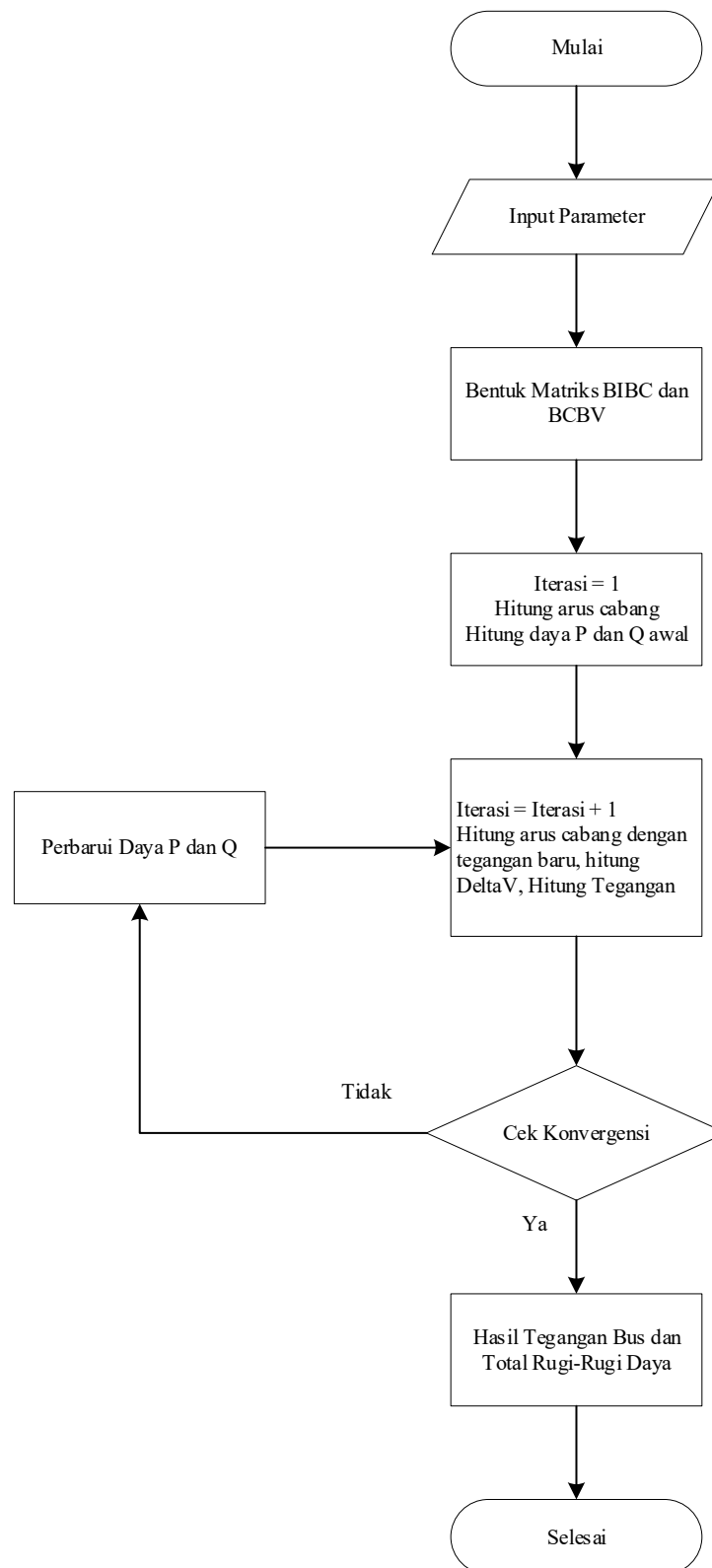
Gambar 2.3 Konsep *Express Feeder*

2.6 Aliran Daya

Studi aliran daya merupakan pembelajaran untuk mendapatkan informasi mengenai Analisa aliran daya pada saat beroperasi. Tujuan dari Analisa aliran daya untuk mengetahui dan mendapatkan operasi sistem yang baik dan terevaluasi sesuai dengan pembangkitan dan pembebanannya (Faruq et al., 2021).

Aliran daya dapat digunakan untuk menganalisa terhadap jatuh tegangan dan rugi-rugi daya pada sistem pembangkitan maupun pada pembebanan dengan perhitungan daya aktif (P) dan daya reaktif (Q). Salah satu metode untuk menghitung aliran daya, yaitu dengan metode *backward-forward sweep*.

2.7 Metode *Backward-Forward Sweep*



Gambar 2.4 *Flowchart* Metode *Backward Forward Sweep*

Metode *backward-forward sweep* merupakan yang paling efisien dari sekian banyaknya metode untuk analisis aliran daya untuk jaringan radial (attia2008). Dengan menerapkan metode ini, analisis aliran daya untuk sistem distribusi dapat diselesaikan dengan lebih efisien tanpa memerlukan banyak perhitungan di setiap iterasi.

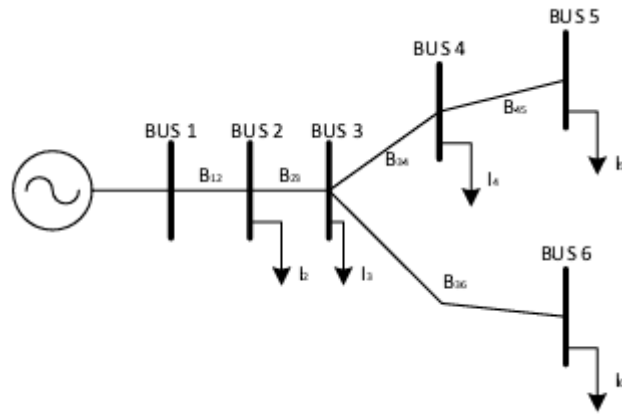
Pada *backward sweep*, perhitungan dimulai dari titik terjauh dari sumber. Arus yang mengalir pada saluran dihitung menurut asumsi atau hasil kalkulasi dari tegangan pada iterasi sebelumnya. Pada *forward sweep*, perhitungan dimulai dari titik sumber, tegangan dari masing-masing titik bus diperbarui. Setelah *forward sweep*, kompensasi arus injeksi dihitung. Lalu kriteria konvergensi diuji (Musdir et al., n.d.).

Metode *backward-forward sweep* didasarkan pada dua buah matrik yaitu BIBC (*Bus Injection to Branch Current*) yaitu matriks relasi antara arus injeksi pada bus-bus dengan arus cabang, sedangkan BCBV (*Bus Current to Bus Voltage*) adalah matrik relasi antara arus cabang dengan tegangan bus.

Untuk menghitung arus cabang didapatkan dari hubungan daya kompleks dan tegangan pada setiap bus, seperti persamaan berikut:

$$I_n = \left(\frac{P_n + jQ_n}{V_n} \right)^* \quad (2.1)$$

Contoh untuk pembentukan matriks untuk persamaan aliran daya dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.5 Single line diagram IEEE 6-bus

Pada *backward sweep* perhitungan dimulai dari bus 6 sampai bus 1 pada Gambar 2.4 menggunakan *Kirchhoff's Current Law* (KCL) dengan didapatkan arus cabang $[B]$ sebagai berikut (Faraby et al., 2021):

$$\begin{aligned}
 B_1 &= I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6 \\
 B_2 &= I_3 + I_4 + I_5 + I_6 \\
 B_3 &= I_4 + I_5 \\
 B_4 &= I_5 \\
 B_5 &= I_6
 \end{aligned} \tag{2.2}$$

Setelah didapat persamaan diatas kemudian dibentuk matriks BIBC sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \end{bmatrix} \tag{2.3}$$

Pada bentuk matriks BIBC (2.3) dapat dibuat persamaan sebagai berikut:

$$[B] = [BIBC] \times [I_{injeksi}] \tag{2.4}$$

Pada *forward sweep* perhitungan dimulai dari bus 2 sampai bus 6 menggunakan *Kirchhoff's Voltage Law* (KVL) dengan didapatkan (Faraby et al., 2021):

$$\begin{aligned}
 V_2 &= V_1 - B_1 Z_{12} \\
 V_3 &= V_1 - B_1 Z_{12} - B_2 Z_{23} \\
 V_4 &= V_1 - B_1 Z_{12} - B_2 Z_{23} - B_3 Z_{34} \\
 V_5 &= V_1 - B_1 Z_{12} - B_2 Z_{23} - B_3 Z_{34} - B_4 Z_{45} \\
 V_6 &= V_1 - B_1 Z_{12} - B_2 Z_{23} - B_5 Z_{36}
 \end{aligned} \tag{2.5}$$

Dari persamaan (2.5) dapat dibentuk matriks BCBV yang menyatakan bahwa ada hubungan antara tegangan bus dan arus saluran:

$$\begin{bmatrix} V_1 - V_2 \\ V_1 - V_3 \\ V_1 - V_4 \\ V_1 - V_5 \\ V_1 - V_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & Z_{36} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix} \tag{2.6}$$

Pada bentuk matriks BCBV (2.6) dapat dibuat persamaan dari matriks tersebut sebagai berikut:

$$[\Delta V] = [BCBV] \times [B] \tag{2.7}$$

Kemudian didapatkan persamaan untuk matriks $[\Delta V]$ persamaan yang didapat adalah sebagai berikut (Faraby et al., 2021):

$$[DLF] = [BCBV] \times [BIBC] \tag{2.8}$$

$$[\Delta V] = [DLF] \times [I_{injeksi}] \tag{2.9}$$

pada persamaan (2.8) $[DLF]$ adalah matriks distribusi jatuh tegangan terhadap arus cabang yang diperoleh dari perkalian matriks $[BCBV]$ dan $[BIBC]$.

Solusi aliran daya didapatkan dengan menggunakan proses iterasi, dapat ditulis sebagai berikut (Faraby et al., 2021):

$$[\Delta V^{k+1}] = [DLF] \times [I^k] \quad (2.10)$$

Nilai tegangan tiap bus dapat dihitung setelah dilakukan pembentukan matrik ΔV dengan komponen matriks BIBC dan BCBV sehingga didapatkan nilai tegangan tiap bus dengan persamaan berikut (Faraby et al., 2021):

$$[V^{k+1}] = [V^0] - [\Delta V^{k+1}] \quad (2.11)$$

Di mana $[V^0]$ merupakan nilai inisiasi tegangan bus. Proses iterasi dilakukan hingga perbedaan tegangan bus antar iterasi kurang dari atau sama dengan toleransi yang ditentukan ε .

$$\max_i (|V_i^{k+1}| - |V_i^k|) \leq \varepsilon \quad (2.12)$$

2.8 Rugi-Rugi Daya

Rugi daya merupakan selisih jumlah antar energi listrik yang dibangkitkan dibandingkan dengan jumlah energi listrik yang sampai ke konsumen. Setiap peralatan listrik yang digunakan semakin lama waktu pemakaian maka akan berkurangnya efisiensi dari peralatan tersebut sehingga akan mengakibatkan rugi-rugi yang semakin besar pula (Husu et al., n.d.).

Rugi daya terjadi disebabkan karena saluran distribusi mempunyai tahanan, induktansi dan kapasitansi. Besarnya rugi daya pada jaringan tergantung pada besarnya tahanan dan arus pada jaringan tersebut. Untuk mengetahui besar rugi-rugi daya dinyatakan dalam persamaan berikut (Van Anugrah & Eteruddin, 2020).

Besarnya rugi daya satu fasa dengan persamaan:

$$\Delta P = I^2 \times R \text{ [watt]} \quad (2.9)$$

Besarnya rugi daya tiga fasa dengan persamaan:

$$\Delta P = 3 \times I^2 \times R \text{ [watt]} \quad (2.10)$$

Dimana:

ΔP = Rugi daya pada jaringan (*watt*)

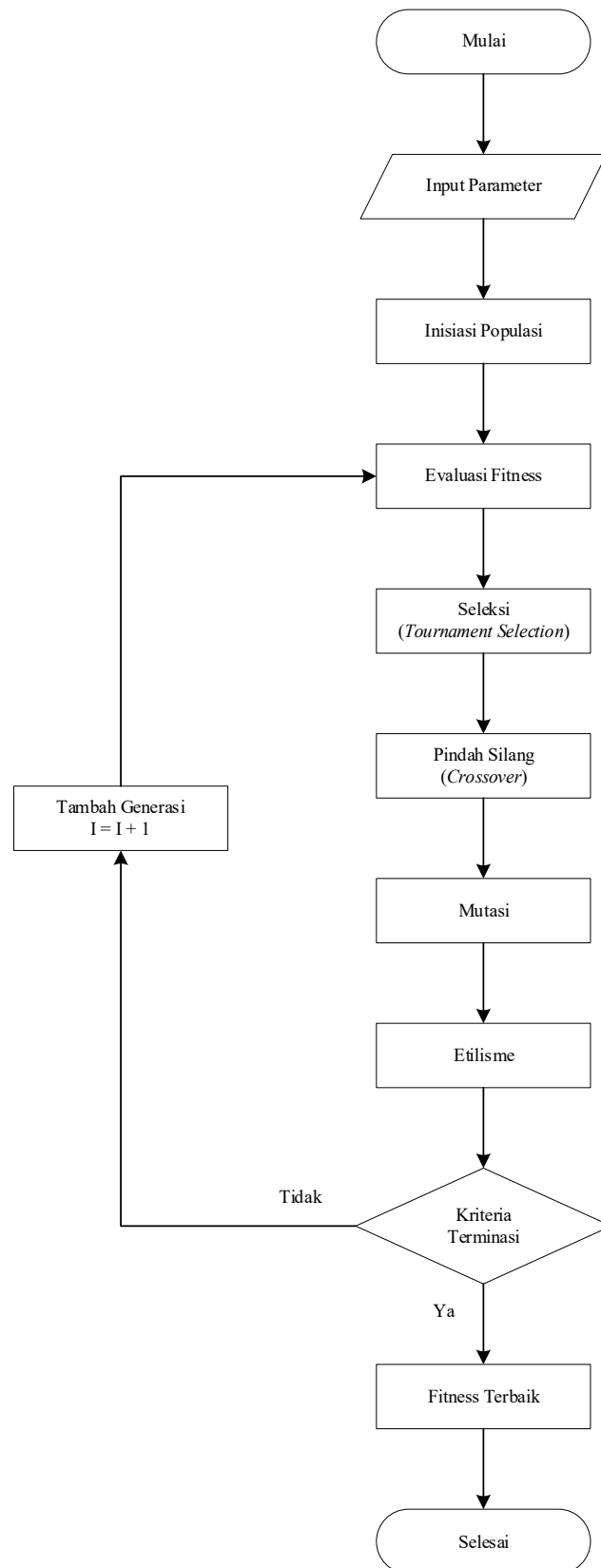
I = Arus beban pada jaringan (*ampere*)

R = Tahanan (*ohm*)

2.9 Metode Algoritma Genetika

Algoritma genetika merupakan metode yang biasa digunakan untuk memecahkan suatu pencarian nilai dalam sebuah optimasi. Algoritma genetika didasarkan pada proses genetik yang ada dalam makhluk hidup. Tujuannya adalah untuk menentukan struktur yang disebut individu yang berkualitas tinggi di dalam suatu populasi untuk mendapatkan solusi dari persoalan (Oton & Nurrohmah, 2019).

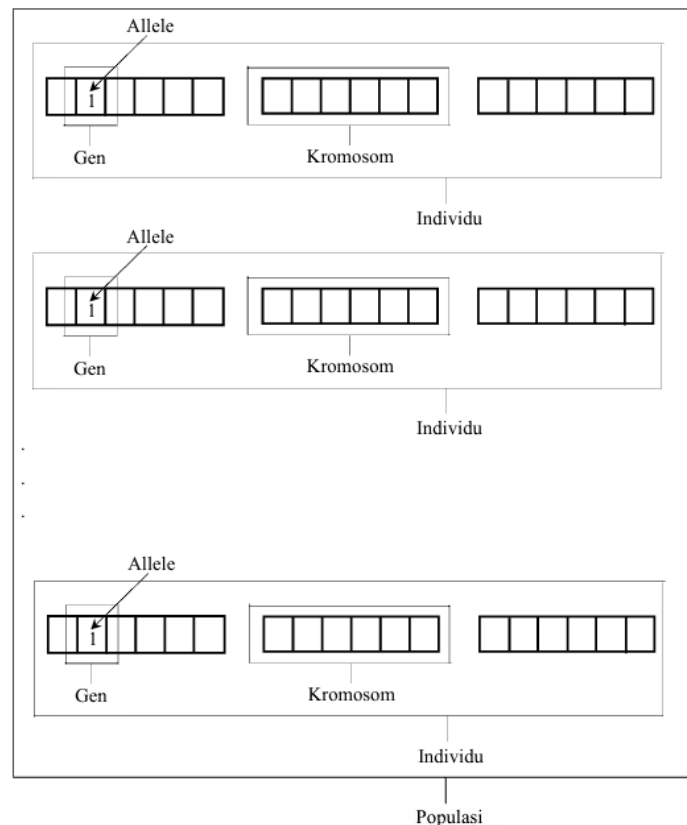
Agar algoritma genetika menghasilkan solusi yang optimal, diperlukan fungsi *fitness* yang mencerminkan kualitas solusi tersebut. Dalam prosesnya, individu-individu yang terpilih sebagai induk akan menjalani tahap reproduksi, *crossover*, dan mutasi untuk menghasilkan generasi baru. Jika metode ini dirancang dengan baik, algoritma akan mencapai konvergensi dan memberikan solusi yang optimal. (Yuliana, 2020).



Gambar 2.6 *Flowchart* Metode Algoritma Genetika

2.9.1 Populasi

Dalam algoritma genetika yang pertama yaitu membuat populasi, pada langkah ini harus menentukan banyak individu yang akan dibuat. Perlu diketahui bahwa dalam satu individu memiliki satu kromosom yang terdiri dari beberapa gen.



Gambar 2.7 Ilustrasi Populasi (Yuliana, 2020)

Pengertian dalam satu populasi dalam algoritma genetika, *Genotype* (gen) merupakan nilai yang menyatakan satuan dasar pembentuk arti tertentu dalam kesatuan gen yang disebut kromosom. Nilai dari sebuah gen disebut allele, yang berfungsi sebagai variasi atau kemungkinan nilai yang dapat dimiliki oleh gen tersebut. Kromosom sendiri adalah gabungan dari sejumlah gen yang tersusun dalam urutan tertentu untuk membentuk suatu nilai atau karakteristik khusus. Dalam konteks algoritma genetika, individu merepresentasikan satu nilai atau

keadaan yang menggambarkan salah satu solusi yang mungkin dari suatu permasalahan, sehingga setiap individu memiliki kombinasi gen dan kromosom yang unik.

Sekumpulan individu yang diproses bersama dalam satu siklus proses evolusi disebut populasi, di mana populasi ini menjadi bahan utama dalam proses pencarian solusi optimal. Evolusi berlangsung dalam beberapa tahap yang berulang, dan setiap tahap tersebut disebut generasi. Generasi menggambarkan satu siklus penuh dari proses evolusi atau satu iterasi di dalam algoritma genetika, yang melibatkan seleksi, perkawinan silang (*crossover*), dan mutasi untuk menghasilkan individu-individu baru dengan kualitas solusi yang diharapkan semakin baik (Yuliana, 2020).

2.9.2 Evaluasi *Fitness*

Evaluasi *fitness* merupakan elemen dalam algoritma genetika yang digunakan untuk menilai dan memilih individu-individu dalam populasi berdasarkan kualitasnya.

Fitness adalah ukuran atau nilai numerik yang digunakan untuk mewakili kualitas individu dalam populasi. Nilai *fitness* menggambarkan sejauh mana individu memenuhi tujuan optimasi yang diinginkan. Individu dengan nilai *fitness* yang lebih tinggi dianggap memiliki kualitas yang lebih baik.

Fungsi ini mengukur kualitas atau kecocokan setiap individu dalam konteks masalah yang dihadapi. Nilai *fitness* ditentukan berdasarkan sejauh mana individu memenuhi tujuan optimasi yang ditetapkan (Pane et al., 2019).

2.9.3 Seleksi

Pada langkah seleksi yang dilakukan adalah menentukan dua buah individu yang akan menjadi orang tua secara *random* (Raka Priyatama et al., 2024). Pada program ini orangtua dipilih berdasarkan nilai *fitness* yang paling rendah karena program yang diinginkan adalah nilai rugi-rugi daya yang terendah dari semua kemungkinan yang ada.

2.9.4 Pindah Silang (*Crossover*)

Dalam proses pindah silang, terdapat beberapa metode yang dapat dilakukan. Salah satunya adalah dengan menentukan titik poin, di mana titik ini biasanya ditentukan berdasarkan jumlah gen dalam satu individu (orang tua) yang dibagi menjadi dua bagian dengan panjang yang sama, kemudian kedua bagian tersebut ditukarkan antar kedua orang tua.

Meskipun demikian, terdapat kemungkinan bahwa setelah proses pindah silang, nilai *fitness* dari kedua anak yang dihasilkan menjadi lebih rendah dibandingkan dengan nilai *fitness* kedua orang tua. Oleh karena itu, jika nilai *fitness* anak hasil pindah silang lebih buruk, maka kedua anak tersebut akan digantikan oleh kedua orang tua.

2.9.5 Mutasi

Mutasi adalah proses mengubah satu atau beberapa gen dalam individu pada suatu populasi secara acak. Proses ini bertujuan untuk memperkenalkan variasi genetik baru yang sebelumnya tidak ada dalam populasi awal. Dengan adanya mutasi, algoritma genetika dapat lebih efektif dalam mengeksplorasi berbagai kemungkinan solusi untuk menemukan solusi yang optimal.

Gen yang akan dimutasi dipilih secara acak, lalu nilainya diubah dengan nilai acak yang baru. Besarnya perubahan dapat bervariasi, mulai dari perubahan kecil hingga perubahan besar, bergantung pada tingkat mutasi yang telah ditentukan sebelumnya.

2.9.6 Elitisme

Elitisme merupakan proses dimana untuk mempertahankan suatu individu terbaik dari proses sebelumnya dan mutasi individu tidak berubah maupun hilang.

Kelebihan elitisme adalah kemampuannya dalam mempercepat pencarian solusi optimal dan menjaga stabilitas kualitas solusi dari satu generasi ke generasi berikutnya. Karena individu terbaik tidak dimodifikasi, algoritma memiliki jaminan bahwa solusi dengan kualitas tertentu tidak akan menurun.

Proses terakhir dari algoritma genetika yaitu hasil dari beberapa proses sebelumnya dan akan dikembalikan ke proses awal dengan membuang individu dengan nilai yang belum sesuai yang ditentukan (Otong & Nurrohman, 2019).

2.10 Penelitian Terkait

No.	Judul	Identitas Penulis dan jurnal	Pembahasan Jurnal
1.	Studi Pemasangan <i>Express Feeder</i> Jaringan Distribusi 20 kV Untuk Mengatasi Drop Tegangan Pada Feeder Sorek PT PLN (Persero) Rayon Pangkalan Kerinci	Andri Van Anugrah, Hamzah Eteruddin, Arlenny, SainETIn (Jurnal Sain, Energi, Teknologi & Industri), Vol. 4 No. 2, Juni 2020, pp. 65 – 71 ISSN 2548-6888 print, ISSN 2548-9445	Panjangnya feeder Sorek ini menyebabkan terjadinya drop tegangan dan rugi-rugi daya yang sangat besar, dengan tegangan terendah pada ujung saluran mencapai 11,5 kV, kondisi tegangan yang disalurkan telah melampaui batas standar drop tegangan yaitu 10% (18 kV). Dengan dilakukannya pemasangan <i>Express Feeder</i> sepanjang 46 kms dari GH kerinci sampai ke GH Sorek, maka tegangan yang diterima seluruh Transformator mengalami peningkatan dan rugi daya pun berkurang.
2.	Rekonfigurasi Jaringan Distribusi Menggunakan Algoritma Genetika di Interkoneksi Penyulang Pakupatan dan Palima pada Beban Prioritas untuk Mengurangi Rugi Daya dan Jatuh Tegangan	Muhammad Otong, Arif Nurrohman / Jurnal Ilmiah Setrum 8:2 (2019) 158 – 165, p-ISSN : 2301-4652 / e-ISSN : 2503-068X	Cara konfigurasi yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah dengan cara melakukan looping pada titik tertentu. Dalam mempermudah untuk mencari titik looping maka digunakan algoritma genetika. Dalam mempermudah analisa aliran daya digunakan software ETAP. Dalam penelitian ini menggunakan jaringan di PT PLN (Persero) di wilayah Serang penyulang Pakupatan dan Palima yang akan di interkoneksi. Setelah melakukan rekonfigurasi didapatkan nilai total dari jatuh tegangan menurun dari 0,809 kV menjadi 0,693 kV.

No.	Judul	Identitas Penulis dan jurnal	Pembahasan Jurnal
3.	Algoritma Aliran Daya untuk Sistem Distribusi Radial dengan Beban Sensitif Tegangan	Rizka Winda Novialifiah, Adi Soeprijanto, Rony Seto Wibowo, JURNAL TEKNIK POMITS Vol. 3, No. 1, (2014) ISSN: 2337-3539	Pada penelitian ini beban berubah-ubah dikarenakan perubahan dari tegangan dan ini dinamakan dengan beban sensitif tegangan. Sudah banyak algoritma daya yang berbasis komputasi digital seperti metode fast decoupled, newton raphson dan gauiss seidel. Metode – metode tersebut tidak dapat selalu digunakan untuk perhitungan pada sistem distribusi radial yang memiliki nilai rasio R/X yang tinggi. Oleh sebab itu pada penelitian ini digunakan metode forward-backward sweep. Metode forward backward sweep ini komputasinya efektif disetiap iterasi, serta solusi dan perhitungan numeriknya tepat. Dengan menggunakan metode forward backward sweep dengan beban sensitif tegangan maka simulasi akan mendekati kondisi nyata seperti dilapangan.
4.	Perancangan Pemasangan Express feeder Untuk Perbaikan Profil Tegangan Pada Jaringan Distribusi 20 kV Penyulang Gardu Hubung Sungguminasa (GHSM) PT. PLN (Persero) ULP Sungguminasa	Nurhaliza Saputri, Bakhtiar, Andarini Asri, Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI), 2022	Pada penelitian ini untuk mengurangi rugi daya dan meningkatkan profil tegangan, dilakukan pemasangan <i>express feeder</i> , yang berfungsi sebagai jalur suplai tambahan guna menekan jatuh tegangan pada bus-bus percabangan yang mengalami <i>undervoltage</i> . Dengan adanya express feeder, beban pada penyulang memiliki dua sumber suplai, sehingga aliran daya lebih merata, rugi daya berkurang, dan sistem bekerja lebih stabil sesuai dengan standar SPLN 72:1987.