

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Yang Relevan

Dalam penelitian ini dilakukan studi literatur melalui penelaahan beberapa penelitian terdahulu yang memiliki keterkaitan dengan topik yang dibahas. Referensi yang digunakan berasal dari berbagai sumber seperti jurnal ilmiah, artikel penelitian, tugas akhir, dan buku yang relevan dengan bidang sistem distribusi tenaga listrik. Kajian terhadap penelitian sebelumnya dimaksudkan sebagai dasar pembandingan sekaligus pendukung dalam penyusunan penelitian ini.

Penelitian lain yang dilakukan oleh Defri Yandi S. dan Kartiria (2025) dengan judul “Analisis Pengaruh Penambahan Penyulang Baru terhadap Keandalan Jaringan Distribusi di PT PLN (Persero) ULP Tasikmalaya Kota” menunjukkan bahwa pembangunan penyulang tambahan mampu mengurangi pembebanan pada penyulang eksisting secara signifikan. Beban pada penyulang SPAN mengalami penurunan sebesar 27,76%, sedangkan penyulang RJPL menurun sebesar 29,73%. Penurunan pembebanan tersebut berdampak langsung pada peningkatan keandalan sistem yang ditunjukkan oleh perbaikan nilai indeks SAIDI, SAIFI, dan ENS.

Penelitian yang dilakukan oleh Raudhatina M. Adam dan Meyhart Bangkit Sitorus (2025) berjudul “Analisis Dampak Pemasangan Distributed Generation pada Penyulang Raflesia (GI Pancol Baru) Menggunakan PSS Sincal 21.0” membahas pengaruh pemasangan pembangkit tersebar terhadap kinerja sistem distribusi. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa integrasi Distributed Generation memberikan dampak positif berupa penurunan jatuh tegangan, peningkatan profil tegangan, pengurangan rugi-rugi daya, serta peningkatan keandalan sistem karena adanya tambahan sumber suplai ketika terjadi gangguan.

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Niken Endras Camarita dan Erlina (2025) dengan judul “Analisis Simulasi Perencanaan Pembangunan Penyulang Baru Pemecah Beban Penyulang Binor Menggunakan ETAP untuk Evakuasi Daya GI Paiton ke GI

Kraksaan.” Penelitian ini membahas kebutuhan redistribusi beban akibat keterbatasan kapasitas transformator pada Gardu Induk Paiton. Hasil penelitian merekomendasikan pembangunan penyulang baru sebagai jalur pemecah beban untuk menyalurkan daya secara lebih merata, sehingga kontinuitas pelayanan dapat terjaga, risiko kelebihan beban dapat dikurangi, dan kualitas tegangan menjadi lebih baik.

Penelitian yang dilakukan oleh Riski dan Rosita (2025) dengan judul “Analisa Perbaikan Dampak Gangguan Hubung Singkat pada Jaringan Distribusi 20 kV di PT. PLN (Persero) ULP Lhokseumawe Kota Menggunakan ETAP 19” membahas perhitungan arus gangguan hubung singkat serta simulasi sistem menggunakan perangkat lunak ETAP 19. Analisis dilakukan pada titik Bus 27 dengan fokus pada evaluasi koordinasi sistem proteksi menggunakan fuse untuk memisahkan bagian jaringan yang mengalami gangguan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai arus gangguan tiga fasa mencapai sekitar 1,141 kA dan dapat meningkat hingga 1,942 kA pada kondisi tertentu, sedangkan gangguan dua fasa dan satu fasa juga dianalisis secara rinci. Penerapan koordinasi proteksi menggunakan fuse terbukti mampu menghilangkan arus gangguan pada bagian jaringan yang terisolasi.

Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Kevin Ridha Erlangga dan Novi Gusti Pahiyanti (2022) berjudul “Analisis Drop Tegangan pada GI Ulee Kareng terhadap Trafo Distribusi 20 kV Penyulang Abulyatama ULP Syiah Kuala Area UP3 Banda Aceh” mengkaji perbandingan kinerja tegangan antara dua gardu induk melalui perhitungan jatuh tegangan dari sisi pengirim hingga sisi penerima. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Gardu Induk Ulee Kareng memiliki kinerja tegangan yang lebih baik dibandingkan Gardu Induk Banda Aceh. Tegangan kirim dari GI Banda Aceh sebesar 20,1 kV turun menjadi 19,05 kV pada sisi penerima, sedangkan tegangan kirim dari GI Ulee Kareng sebesar 20,27 kV hanya mengalami penurunan sekitar 103,31 V sehingga tegangan terima menjadi sekitar 20,16 kV. Tegangan pada sisi transformator distribusi masih berada dalam batas standar SPLN yang diizinkan.

Penelitian yang dilakukan oleh Muayyad Rosadi dan Christine Widyastuti (2023) berjudul “Rekonfigurasi Sistem Jaringan Radial Menjadi Loop sebagai Upaya Meminimalisir Nilai Drop Tegangan dan Susut Daya pada Penyulang Tanjung Bumi di

UP3 Pamekasan” menunjukkan bahwa perubahan konfigurasi jaringan dari sistem radial menjadi sistem loop mampu meningkatkan kualitas tegangan dan efisiensi penyaluran daya. Tegangan pada ujung penyulang meningkat dari 17,008 kV menjadi 18,037 kV, sedangkan rugi daya menurun dari 512,012 kW menjadi 307,18 kW. Hasil tersebut menunjukkan bahwa rekonfigurasi jaringan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan kinerja sistem distribusi

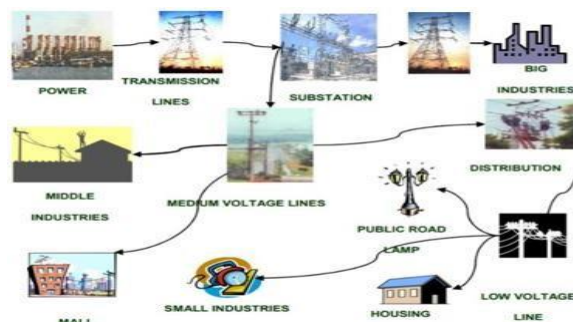
Berdasarkan beberapa penelitian terdahulu tersebut dapat disimpulkan bahwa metode simulasi menggunakan perangkat lunak analisis sistem tenaga listrik, khususnya PSS Sincal, sangat efektif digunakan untuk mengevaluasi kondisi jaringan distribusi tenaga listrik. Metode tersebut dapat digunakan untuk menganalisis perencanaan pembangunan jaringan baru serta perbaikan kualitas tegangan pada sistem distribusi.

Penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian sebelumnya dengan mengambil studi kasus pada wilayah PT. Bambu Kuning Enam Belas , dimana kondisi jaringan distribusi menunjukkan adanya penurunan tegangan yang cukup besar .

2.2 Landasan Teori

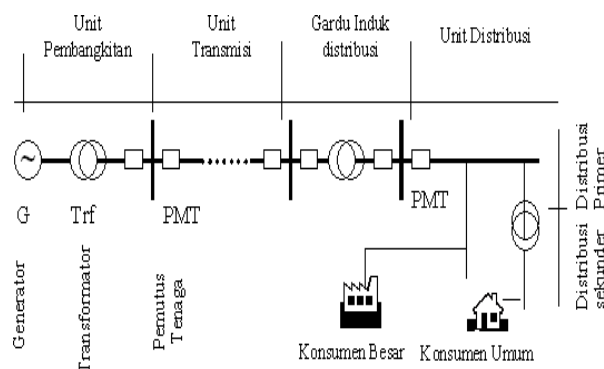
2.2.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik dapat didefinisikan sebagai suatu rangkaian terpadu yang terdiri atas berbagai komponen listrik, seperti generator, transformator, saluran transmisi, saluran distribusi, serta beban, yang saling berinteraksi dan berfungsi bersama untuk mentransfer energi listrik dari pusat pembangkit hingga ke pengguna akhir.



Gambar 2.2.1 Gambaran Penyaluran Listrik

Dalam praktik ketenagalistrikan, sering muncul permasalahan teknis karena lokasi pembangkitan energi listrik umumnya jauh dari pusat beban, sedangkan pelanggan tersebar di berbagai wilayah. Oleh karena itu, proses penyaluran energi listrik dari pembangkit (power plant) menuju pelanggan memerlukan perencanaan dan penanganan teknis yang baik agar energi dapat tersalurkan dengan efisien dan andal. Secara umum, alur sistem tenaga listrik dapat digambarkan melalui diagram blok yang menunjukkan tahapan pembangkitan, transmisi, dan distribusi tenaga listrik.



Gambar 2.2.2 Diagram Sistem Ketenagalistrikan

Energi listrik dihasilkan melalui berbagai jenis pembangkit tenaga listrik, antara lain Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU), Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG), Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP), serta Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD). Setelah dibangkitkan, tegangan dinaikkan menggunakan transformator step-up untuk mengurangi rugi-rugi daya selama penyaluran melalui saluran transmisi. Jaringan transmisi berfungsi menghubungkan pusat pembangkit dengan Gardu Induk (GI) dan menggunakan tegangan tinggi (70 kV atau 150 kV). Untuk sistem dengan tegangan 500 kV disebut Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET).

Saluran transmisi dapat berupa saluran udara atau kabel bawah tanah, namun di Indonesia umumnya digunakan saluran udara karena biayanya lebih ekonomis. Kekurangannya, saluran udara rentan terhadap gangguan eksternal seperti petir, pohon tumbang, hewan, atau layangan. Setelah sampai di GI, tegangan diturunkan menggunakan

transformator step-down menjadi tegangan menengah (6 kV, 12 kV, atau 20 kV) untuk disalurkan ke jaringan distribusi.

Jaringan distribusi primer berfungsi untuk menyalurkan daya listrik dari Gardu Induk (GI) menuju gardu distribusi.

Ditinjau dari jenis media penghantarnya, jaringan ini dapat dibedakan menjadi tiga tipe, yaitu SUTM (Saluran Udara Tegangan Menengah), SKUTM (Saluran Kabel Udara Tegangan Menengah), dan SKTM (Saluran Kabel Tanah Tegangan Menengah).

Selanjutnya, energi listrik diturunkan tegangannya oleh trafo distribusi menjadi 380/220 Volt untuk digunakan pelanggan rumah tangga maupun industri. Gardu distribusi (GD) biasanya ditempatkan di tepi jalan atau dekat dengan pusat beban. Dari sini, energi listrik dialirkan melalui sambungan rumah (SR) ke alat ukur (KWH meter) yang menjadi batas kepemilikan PLN dan pelanggan.

2.2.2 Sistem Jaringan Distribusi

Sistem distribusi tenaga listrik merupakan komponen vital dalam sistem tenaga listrik secara keseluruhan, yang berperan dalam menyalurkan energi listrik dari Gardu Induk (GI) ke konsumen dengan kualitas daya yang memenuhi standar pelayanan PLN. Sistem ini mencakup berbagai peralatan seperti PMT (Pemutus Tenaga), konduktor, transformator, dan APP (Alat Pembatas dan Pengukur) yang bekerja secara terpadu.

Pada jaringan distribusi, dikenal istilah penyulang (feeder) yaitu saluran 20 kV yang mengalirkan energi dari GI ke gardu distribusi atau langsung ke konsumen. Setiap penyulang harus memenuhi beberapa kriteria utama, yaitu:

1. Kontinuitas pelayanan yang baik,
2. Tingkat keandalan tinggi,
3. Jatuh tegangan seminimal mungkin, dan
4. Efisiensi ekonomi dalam penyaluran daya.

Fungsi utama sistem distribusi adalah menyalurkan energi listrik secara merata ke berbagai titik beban sehingga pelanggan dapat menerima pasokan daya secara stabil dan berkualitas.

2.2.3 Klasifikasi Sistem Jaringan Distribusi

Jaringan distribusi tenaga listrik dapat diklasifikasikan berdasarkan beberapa aspek, yaitu:

1. Tingkat tegangan,
2. Jenis arus listrik,
3. Sistem penyaluran,
4. Konstruksi jaringan, dan
5. Konfigurasi atau bentuk jaringan.

1. Berdasarkan ukuran tegangan

Jika ditinjau dari tingkat tegangannya, maka jaringan distribusi tenaga listrik terbagi menjadi dua jenis utama, yaitu jaringan distribusi primer dan jaringan distribusi sekunder.

a. Distribusi Primer (20 kV)

Merupakan jaringan tegangan menengah yang menghubungkan Gardu Induk dengan gardu distribusi atau pelanggan besar.

b. Distribusi sekunder (220/380)

Jaringan ini menyalurkan daya dari gardu distribusi ke pelanggan akhir, baik rumah tangga maupun industri kecil.

2. Berdasarkan ukuran arus

a. Jaringan Distribusi AC

Jaringan Distribusi AC – menggunakan arus bolak-balik yang umum digunakan oleh PLN.

b. Jaringan Distribusi DC

Jaringan Distribusi DC – digunakan pada sistem khusus dengan converter dan inverter untuk mengubah jenis arus sesuai kebutuhan.

3. Berdasarkan system penyalurannya

a. Saluran kabel udara (*overhead line*)

b. Saluran kabel bawah tanah (*underground cable*)

Saluran udara adalah sistem penyaluran energi listrik yang menggunakan kawat penghantar yang dipasang di atas tiang listrik sebagai penopang.

Sementara itu, saluran bawah tanah menyalurkan energi listrik melalui kabel berisolasi yang diletakkan atau ditanam di dalam tanah.

1. Saluran Udara (*Overhead Lines*)

Menggunakan konduktor telanjang seperti tembaga (BCC) atau aluminium (AAC, ACSR, AAAC) yang ditopang oleh isolator di tiang-tiang listrik. Kelebihan saluran udara adalah biaya pembangunan rendah dan mudah diperbaiki, namun kelemahannya mudah terganggu oleh faktor eksternal.

2. Saluran Bawah Tanah (*Underground Lines*)

Menggunakan kabel berisolasi seperti PVC atau XLPE yang ditanam di tanah. Jenis ini lebih estetik dan aman dari gangguan cuaca, tetapi biaya instalasi dan perbaikan jauh lebih mahal.

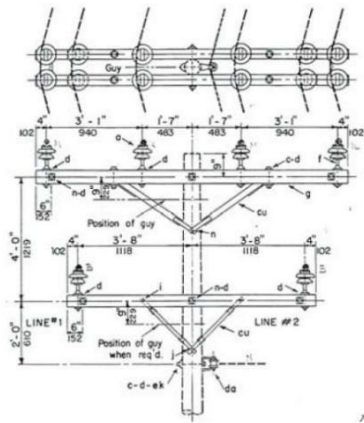
4. Berdasarkan konstruksi jaringan

Berdasarkan bentuk konstruksinya, jaringan distribusi tenaga listrik dengan saluran udara dapat dibedakan menjadi dua jenis utama, yaitu:

a. Konstruksi Horizontal :

Keuntungannya : ekanan angin yang muncul lebih terpusat pada bagian travers (cross-arm) sehingga memberikan kestabilan, dan dapat digunakan untuk saluran ganda tiga fasa.

Kerugiannya : Membutuhkan jumlah travers dan isolator yang lebih banyak, serta beban vertikal pada tiang menjadi lebih besar dibandingkan tipe lainnya.



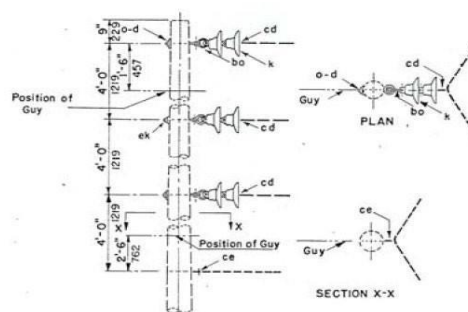
Gambar 2.2.3 Konstruksi Horizontal

b. Konstruksi Vertikal

Kelebihan: Tipe konstruksi ini sangat sesuai diterapkan pada area dengan bangunan bertingkat atau kawasan padat vertikal.

Beban yang diterima tiang relatif lebih ringan karena tekanan vertikal lebih kecil, serta tidak memerlukan travers (cross-arm) dan penggunaan isolator pasak (pin insulator) pun sangat minimal.

Kekurangan: Tekanan angin menyebar merata di seluruh permukaan tiang, dan penerapannya terbatas hanya pada jaringan tiga fasa tunggal.



Gambar 2.2.4 Konstruksi Vertikal

5. Berdasarkan bentuk jaringan

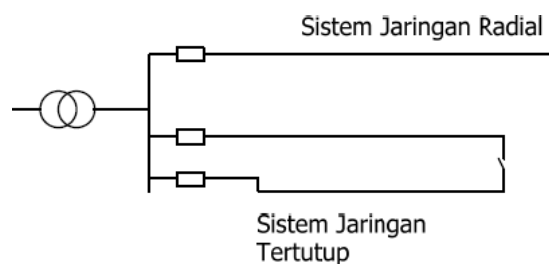
Secara umum, sistem jaringan distribusi tenaga listrik memiliki dua konsep dasar konfigurasi, yaitu jaringan radial dan jaringan tertutup (loop system).

a. Jaringan radial

Jaringan radial adalah sistem distribusi yang hanya memiliki satu sumber pasokan energi listrik. Apabila terjadi gangguan pada salah satu bagian jaringan, maka seluruh area setelah titik gangguan akan mengalami pemadaman atau blackout. Konfigurasi ini paling sederhana dan banyak digunakan pada wilayah dengan tingkat beban rendah hingga menengah.

b. Jaringan bentuk tertutup

Sistem tertutup memiliki sumber pasokan alternatif, sehingga ketika terjadi gangguan pada satu bagian jaringan, suplai daya dapat dialihkan melalui jalur lain. Dengan demikian, luas area yang padam dapat diminimalkan bahkan dihindari. Sistem ini banyak diterapkan di kawasan industri dan daerah padat beban yang menuntut keandalan tinggi.

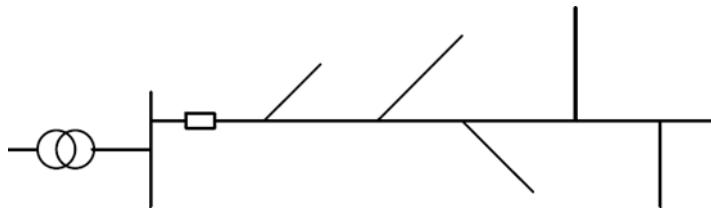


Gambar 2.2.5 Pola Jaringan Distribusi

Berdasarkan kedua pola dasar tersebut, berbagai konfigurasi jaringan distribusi kemudian dikembangkan untuk menyesuaikan kebutuhan perencanaan sistem tenaga listrik, di antaranya sebagai berikut:

1. Konfigurasi Tulang Ikan (*Fish Bone Configuration*)

Tipe konfigurasi ini merupakan bentuk jaringan radial yang paling umum digunakan pada Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM). Apabila terjadi gangguan pada salah satu bagian jaringan, segmen yang bermasalah dapat dipisahkan dengan menggunakan peralatan pemutus seperti Pole Top Switch (PTS), Air Break Switch (ABSW), atau melalui sistem pengendalian jarak jauh SCADA. Untuk menjaga keandalan dan kontinuitas suplai daya, biasanya dipasang Pemutus Balik Otomatis (PBO/Automatic Recloser) pada jalur utama serta Saklar Seksi Otomatis (SSO/Automatic Sectionalizer) di cabang-cabang saluran.



Gambar 2.2.6 Konfigurasi Tulang Ikan (*Fish-Bone*)

2. Konfigurasi Kluster (*Cluster / Leap Frog*)

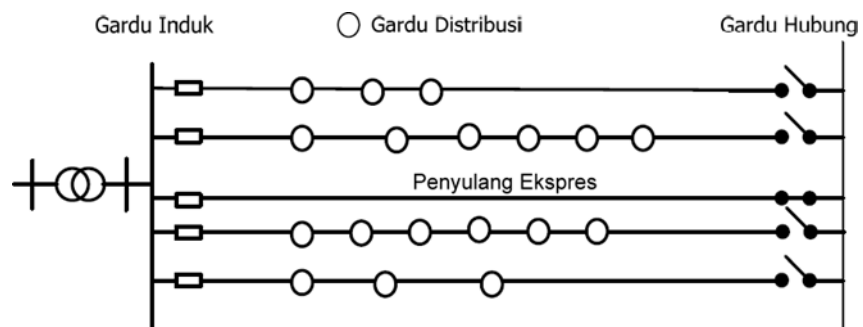
Konfigurasi kluster merupakan jaringan radial terbuka (radial open loop) yang memiliki karakteristik menyerupai sistem tertutup. Pada sistem ini, saluran utama dan cabang terhubung melalui penyulang cadangan dengan luas penampang konduktor lebih besar. Tujuannya agar bila terjadi gangguan, sebagian beban dapat dialihkan ke penyulang lain tanpa menyebabkan pemadaman total.



Gambar 2.2.7 Konfigurasi Kluster (*Cluster/Leap Frog*)

3. Konfigurasi Spindel (*Spindle Configuration*)

Konfigurasi ini banyak diterapkan pada saluran bawah tanah (*underground cable system*). Dalam sistem ini terdapat dua macam penyulang, yaitu penyulang operasi (*working feeder*) dan penyulang cadangan (*standby feeder*). Penyulang cadangan tidak membawa beban dan berfungsi sebagai back-up supply apabila penyulang utama mengalami gangguan. Untuk sistem dua penyulang, faktor pembebanan mencapai 50%, sedangkan pada konfigurasi spindel penuh (6 penyulang operasi + 1 cadangan), faktor pembebanan dapat mencapai 85%. Ujung penyulang dihubungkan ke Gardu Hubung (GH), di mana posisi normal penyulang operasi adalah NO (*Normally Open*), sementara penyulang cadangan dalam kondisi NC (*Normally Close*).



Gambar 2.2.8 Konfigurasi Spindel (*Spindle Configuration*)

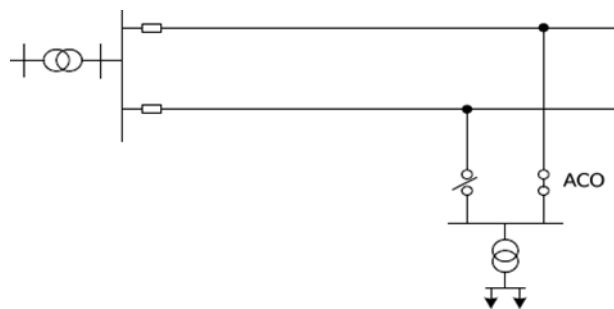
4. Konfigurasi *Fork*

Konfigurasi Fork merupakan sistem jaringan yang memungkinkan satu gardu distribusi memperoleh suplai energi listrik dari dua penyulang yang berbeda.

Desain ini dibuat untuk memastikan waktu pemadaman berlangsung sangat singkat (*short break time*) apabila salah satu penyulang mengalami gangguan.

Dengan dukungan perangkat *Automatic Change Over Switch* (ACOS), aliran daya dapat berpindah secara otomatis ke penyulang cadangan tanpa intervensi manual.

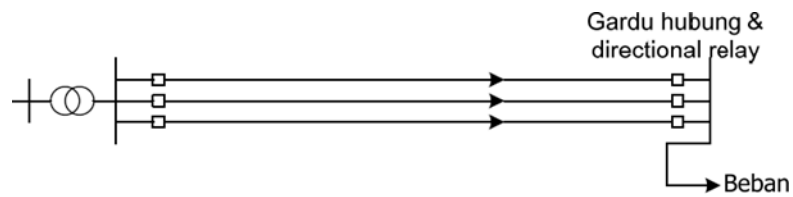
Proses penyambungan dapat dilakukan melalui sadapan Tee-Off (TO) pada saluran udara maupun pada gardu distribusi bawah tanah.



Gambar 2.2.9 Konfigurasi *Fork*

5. Konfigurasi Spotload (*Parallel Spot Configuration*)

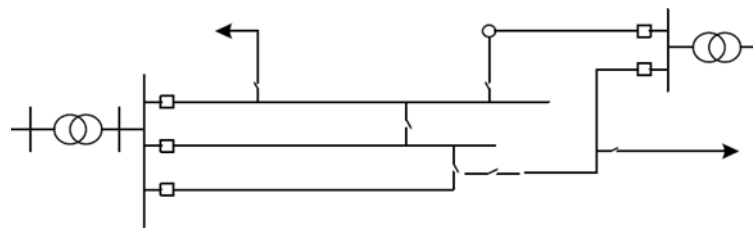
Konfigurasi ini memanfaatkan beberapa penyulang yang bekerja secara paralel dari sumber atau Gardu Induk (GI) menuju Gardu Distribusi. Penerapan sistem ini umumnya dilakukan ketika beban pelanggan melampaui kapasitas hantar arus satu penyulang tunggal. Untuk meningkatkan keandalan penyaluran daya, salah satu penyulang disiapkan sebagai cadangan (*backup feeder*). Selain itu, agar sistem tetap terlindungi, pada sisi gardu hilir dipasang Directional Relay (rele arah) yang berfungsi sebagai proteksi tambahan terhadap gangguan arus.



Gambar 2.2.10 Konfigurasi Spotload (*Parallel Spot Configuration*)

6. Konfigurasi Jala-Jala (*Grid, Mesh Configuration*)

Konfigurasi jala-jala (grid/mesh) merupakan sistem distribusi yang memungkinkan aliran energi listrik mengalir dari berbagai arah menuju titik-titik beban. Keunggulan utama dari konfigurasi ini terletak pada tingkat keandalan yang tinggi serta fleksibilitas operasi yang baik, meskipun di sisi lain memiliki kompleksitas tinggi dalam hal pengoperasian dan sistem proteksi. Jenis konfigurasi ini umumnya diterapkan pada wilayah perkotaan padat beban atau di area industri dengan kebutuhan daya besar.



Gambar 2.2.11 Konfigurasi Jala-jala (*Grid, Mesh*)

6. Jenis Saluran Jaringan Distribusi Primer

Sesuai dengan fungsinya, jaringan distribusi primer dibedakan menjadi dua jenis utama, yaitu saluran udara dan saluran bawah tanah.

a. Jaringan penghantar udara (*over head line*)

Saluran udara merupakan sistem penghantar yang menyalurkan energi listrik tegangan menengah (20 kV) atau tegangan rendah (220/380 V) di atas permukaan tanah menggunakan tiang listrik dan isolator.

Bahan konduktor yang digunakan antara lain:

- 1) AAAC-S10 (All Aluminium Alloy Conductor Shielded) → konduktor aluminium paduan berselubung XLPE, tahan hingga 6 kV.
- 2) AAAC9 (All Aluminium Alloy Conductor) → konduktor aluminium paduan tanpa isolasi, berurat banyak dengan diameter 1,5–4,5 mm.
- 3) AAC2 (All Aluminium Conductor) → penghantar seluruhnya dari aluminium murni.
- 4) ACSR (Aluminium Conductor Steel Reinforced) → penghantar aluminium dengan inti baja untuk kekuatan mekanis tambahan.
- 5) ACAR (Aluminium Conductor Alloy Reinforced) → penghantar aluminium diperkuat dengan campuran logam paduan.

Keuntungan saluran udara :

- 1) Biaya investasi lebih rendah dibanding kabel bawah tanah (perbandingan $\pm 1:5$ hingga $1:6$).
- 2) Proses pemasangan dan pemeliharaan relatif mudah.
- 3) Tidak membutuhkan penggalian lahan yang besar.

Kekurangan saluran udara :

- 1) Rentan terhadap gangguan eksternal seperti cuaca, petir, atau pohon.
- 2) Keandalan relatif rendah dan risiko pencurian konduktor tinggi.
- 3) Membutuhkan biaya pemeliharaan yang lebih sering.

Tabel 2.1 KHA Konduktor AAAC

Ukuran (mm ²)	KHA (A)	Resistansi R(Ω /km)	Reaktansi X(Ω /km)
70	240	0,460	0,38
95	290	0,320	0,38
120	330	0,253	0,38
150	380	0,206	0,38
185	430	0,164	0,38
240	490	0,124	0,38

Tabel 2.2 Tabel KHA Konduktor AAACS

Ukuran (mm ²)	KHA (A)	Resistansi R(Ω /km)	Reaktansi X(Ω /km)
95	300	0,310	0,39
120	340	0,243	0,39
150	390	0,198	0,39
185	440	0,158	0,39
240	500	0,124	0,39

b. Jaringan penghantaran bawah tanah (*under ground line*)

Saluran bawah tanah umumnya digunakan di daerah padat beban seperti pusat kota atau kawasan industri, di mana saluran udara tidak memungkinkan karena alasan estetika dan keamanan.

Bahan konduktor biasanya tembaga atau aluminium, dengan isolasi PVC, XLPE, atau minyak pada kabel bertegangan menengah.

Jenis kabel yang sering digunakan adalah NA2XSEYFGBY11, yaitu kabel berpenghantar aluminium berisolasi XLPE, berlapis pita tembaga dan dilindungi kawat baja pipih dengan selubung luar PVC

Keuntungan :

1. Lebih aman dan tidak mengganggu estetika lingkungan.
2. Tidak mudah dipengaruhi oleh cuaca dan gangguan eksternal.
3. Tingkat keandalan tinggi

Kerugian :

1. Biaya pemasangan sangat tinggi.
2. Gangguan bersifat permanen dan sulit dideteksi.
3. Perbaikan memerlukan waktu dan peralatan khusus.

7. Parameter Saluran Distribusi

Setiap saluran listrik memiliki parameter kelistrikan utama, yaitu resistansi (R), induktansi (L), kapasitansi (C), dan konduktansi (G).

Pada saluran distribusi yang relatif pendek (kurang dari 80 km) dan bertegangan rendah (≤ 20 kV), nilai kapasitansi dan konduktansi sangat kecil sehingga dapat diabaikan dalam perhitungan.

1. Resistansi saluran

Resistansi merupakan tahanan konduktor terhadap arus listrik yang menyebabkan rugi-rugi daya (losses). Nilainya bergantung pada jenis material penghantar, panjang konduktor, dan luas penampang.

Persamaan dasar resistans:

$$R = \rho \frac{L}{A} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana :

ρ : resistivitas penghantar

L : panjang kawat

A : luas penampang

Kenaikan nilai resistansi akibat pembentukan lilitan pada konduktor diperkirakan sekitar 1% untuk penghantar dengan tiga serat, dan dapat mencapai 2% pada penghantar dengan lilitan konsentris. Apabila hubungan antara suhu (sebagai sumbu vertikal) dan resistansi (sebagai sumbu horizontal) digambarkan dalam bentuk grafik, maka titik potong perpanjangan garis tersebut dengan sumbu suhu, di mana resistansi bernilai nol, merupakan konstanta karakteristik dari bahan logam yang digunakan. Berdasarkan hal ini, nilai tahanan arus searah dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\frac{R_{t2}}{R_{t1}} = \frac{T_0 + t_2}{T_0 + t_1} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana :

R_{t1} = resistansi penghantar pada suhu t_1 (temperatur sebelum operasi konduktor)

R_{t2} = resistansi penghantar pada suhu t_2 (temperatur operasi konduktor)

t_1 = temperatur awal (°C)

t_2 = temperatur akhir (°C)

T_0 = konstanta yang ditentukan oleh grafik.

Nilai-nilai konstanta T adalah sebagai berikut:

T_0 = 234,5 untuk tembaga dengan konduktivitas 100%

T_0 = 241 untuk tembaga dengan konduktivitas 97,3%

T_0 = 228 untuk aluminium dengan konduktivitas 61%

2. Induktansi Saluran

Nilai induktansi dari suatu saluran penghantar dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$L = (0,5 + 4,6 \log \frac{D - r}{r}) \times 10^{-7} \text{ H/m} \dots\dots\dots (3)$$

Apabila posisi konduktor tidak simetris, maka nilai D pada persamaan di atas diganti dengan jarak ekuivalen geometrik, yaitu:

$$D = \sqrt[3]{D_{12} D_{23} D_{31}} \dots\dots\dots (4)$$

Perhitungan ini menggunakan konsep Geometric Mean Radius (GMR), yang mencerminkan jarak efektif antar konduktor dalam sistem tiga fasa. Nilai karakteristik setiap penghantar, seperti induktansi dan konduktivitasnya, biasanya dapat diperoleh dari spesifikasi teknis pabrikan atau literatur standar kabel, dan dinyatakan dalam satuan mH/km.

Untuk menentukan jari-jari konduktor, digunakan hubungan antara luas penampang dan radius sebagai berikut :

$$A = \pi r^2 \dots\dots\dots (5)$$

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \dots\dots\dots (6)$$

3. Reaktansi Saluran

Nilai reaktansi induktif (X_L) diperoleh dari hasil perkalian antara induktansi dengan frekuensi sistem (f), sesuai persamaan :

$$X_L = 2\pi fL \dots\dots\dots (7)$$

Dimana :

X_L = Reaktansi induktif saluran (Ω)

L = Induktansi saluran (H)

f = Frekuensi (Hz)

4. Impedansi Saluran

Impedansi (Z_L) merupakan kombinasi dari resistansi (R) dan reaktansi (X_L) yang dinyatakan secara kompleks. Nilai total impedansi saluran dapat dihitung dengan rumus:

$$Z_L = \sqrt{R^2 + X_L^2} \dots\dots\dots (8)$$

Dimana :

Z_L = Impedansi Saluran

R = Resistansi Saluran

X_L = Reaktansi Induktif

5. Daya Listrik

Daya semu adalah daya total yang mengalir dalam sistem, tanpa memperhitungkan faktor kerja ($\cos \alpha$).

Daya semu 1 fasa :

$$S = V.I \dots\dots\dots (9)$$

Daya semu 3 fasa :

$$S = \sqrt{3}.V.I \dots\dots\dots (10)$$

Dimana :

V = Tegangan fasa-fasa (V)

I = Arus yang mengalir (A)

S = Daya semu (VA)

Daya Aktif

Daya aktif adalah daya yang benar-benar digunakan untuk melakukan kerja nyata (energi sesungguhnya), dengan satuan watt (W).

Daya aktif 1 fase :

$$P = V.I \cos \alpha \dots\dots\dots (11)$$

Daya aktif 3 fasa :

$$P = \sqrt{3}.V.I \cos \alpha \dots\dots\dots (12)$$

Dimana :

V = Tegangan fasa-fasa (V)

I = Arus yang mengalir (A)

P = Daya aktif (Watt)

Daya Reaktif

Daya reaktif merupakan daya yang dibutuhkan untuk membentuk medan magnetik pada beban induktif, seperti motor atau transformator.

Daya reaktif untuk satu fasa:

$$Q = V \cdot I \sin \alpha \dots\dots\dots (13)$$

Daya reaktif untuk 3 fasa :

$$Q = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \sin \alpha \dots\dots\dots (14)$$

Dimana :

V = Tegangan fasa-fasa(V)

I = Arus yang mengalir (A)

Q = Daya reaktif (VAR)

6. Rugi-Rugi Daya Jaringan

Dalam sistem distribusi tenaga listrik, rugi daya tidak dapat dihindari. Tujuannya adalah meminimalkan rugi-rugi daya (P_{loss}) agar energi yang diterima pelanggan mendekati daya kirim dari sumber.

Untuk jaringan tiga fasa, rugi daya dihitung dengan persamaan :

$$P_{\text{loss}} = 3 \cdot I^2 \cdot R \cdot L \cdot \text{LLF} \cdot \text{LDF} \dots\dots\dots (15)$$

Jika besar rugi daya diperoleh, maka besar daya yang diterima :

$$P_R = P_S - P_{\text{loss}} \dots\dots\dots (16)$$

Dimana :

P_{loss} = Rugi daya pada saluran (MW)

P_R = Besar daya yang diterima (MW)

P_S = Besar daya yang disalurkan (MW)

R = Tahanan jaringan (Ω/Km)

L = Panjang jaringan (Km)

I = Besar kuat arus pada beban (A)

LDF = Load Density Factor (0,333)

LLF = Loss Load Factor

7. Faktor Beban

Faktor beban (LF) menunjukkan perbandingan antara beban rata-rata dengan beban puncak dalam periode waktu tertentu.

$$LF = \frac{I_{\text{Rata-rata}}}{I_{\text{Puncak}}} \dots\dots\dots (17)$$

Nilai faktor beban dapat dihitung untuk periode harian, bulanan, atau tahunan, berguna untuk menganalisis tingkat pemanfaatan jaringan distribus

8. Faktor Rugi-Rugi (Losses Factor)

Loss Load Factor (LLF) adalah rasio antara rugi daya rata-rata terhadap rugi daya pada beban puncak selama periode tertentu. Secara empiris, nilai LLF dapat dihitung dengan pendekatan :

$$LLF = 0,3 LF + 0,7(LF)^2 \dots\dots\dots (18)$$

9. Efisiensi Penyaluran Daya

Efisiensi (η) menggambarkan seberapa besar daya nyata (P) yang berhasil diterima dibandingkan dengan daya yang dikirim dari sumber. Persamaannya Adalah :

$$\eta = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \times 100\% \dots\dots\dots (19)$$

Dimana :

P_out = Daya listrik keluaran (MW)

P_in = Daya listrik masukan (MW)

10. Jatuh tegangan (Voltage Drob)

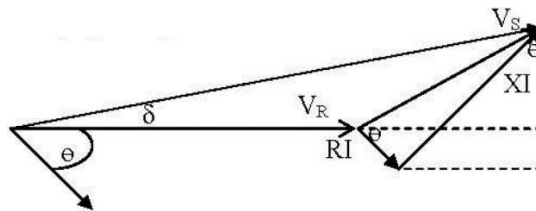
Jatuh tegangan adalah selisih antara tegangan kirim dan tegangan terima, disebabkan oleh tahanan (R) dan reaktansi (X) pada saluran.

Secara umum, besar penurunan tegangan berbanding lurus dengan panjang saluran dan arus beban, serta berbanding terbalik dengan luas penampang konduktor.

Penurunan tegangan terdiri dari dua komponen utama:

- I.R ,yaitu rugi tegangan akibat tahanan saluran
- I.X ,yaitu rugi tegangan akibat reaktansi induktif saluran

Dengan menggunakan diagram fasor arus dan tegangan, hubungan antara sudut fasa dan penurunan tegangan dapat ditentukan untuk analisis aliran daya pada saluran distribusi seperti yang terlihat pada gambar



Gambar 2.2.12 Diagram Vektor Arus dan Tegangan Saluran Distribusi

Pada gambar 2.1.12 dapat diperhatikan bahwa persamaan tegangan yang mendasari diagram vector tersebut adalah

$$\Delta V = \sqrt{(3 \times I \times l (R \cos \alpha + X_L \sin \alpha))} \dots \dots \dots (20)$$

Besar presentasi drop tegangan pada saluran dapat dihitung dengan :

$$\% \Delta V = \Delta V / V \times 100\% \dots \dots \dots (21)$$

Dimana :

ΔV = Rugi tegangan (Volt)

R = Resistansi saluran (Ω)

X_L = Reaktansi induktif saluran (Ω)

I = Arus beban (A)

l = Panjang hantaran tegangan menengah (km)

Mengacu pada ketentuan SPLN 72:1987, jaringan distribusi tegangan menengah (TM) wajib memenuhi batas toleransi jatuh tegangan (voltage drop) tertentu agar kualitas penyaluran daya tetap sesuai standar pelayanan.

Adapun batas maksimum jatuh tegangan yang diperkenankan adalah sebagai berikut:

1. Untuk sistem jaringan spindel, penurunan tegangan tidak boleh melebihi 2% dari tegangan nominal
2. Untuk sistem jaringan loop maupun radial, nilai maksimum penurunan tegangan yang diizinkan adalah 5% dari tegangan nominal.

2.2.4 Dasar Teori Rekonfigurasi Jaringan

1. Pengertian Rekonfigurasi Jaringan Distribusi

Rekonfigurasi jaringan 20 kV merupakan proses pengaturan ulang struktur topologi jaringan distribusi melalui pengubahan status switch seperti sectionalizing switch (normally closed) dan tie switch (normally open). Tujuan utama rekonfigurasi ialah memperoleh aliran daya yang lebih optimal dengan mempertimbangkan batasan teknis seperti kemampuan hantar arus (KHA), profil tegangan, dan rugi daya.

Secara operasional, jaringan distribusi 20 kV biasanya dibangun dengan pola radial, namun memiliki jalur cadangan (backup) melalui loop yang dapat dihubungkan saat diperlukan. Dengan memanfaatkan fleksibilitas ini, rekonfigurasi dapat dilakukan tanpa penambahan infrastruktur baru, sehingga menjadi solusi efisien untuk mengatasi masalah kualitas tegangan dan keandalan pasokan.

2. Fungsi Rekonfigurasi dalam Mengatasi Tegangan Drop

Rekonfigurasi jaringan 20 kV mampu memperbaiki profil tegangan melalui beberapa mekanisme berikut:

- a. Pemendekan Jarak Aliran Daya
- b. Redistribusi Beban
- c. Pengurangan Rugi Daya Aktif
- d. Meningkatkan Keandalan dan Kontinuitas

3. Metode Rekonfigurasi Jaringan

Beberapa pendekatan rekayasa yang umum digunakan dalam rekonfigurasi jaringan, antara lain:

- a. Metode Heuristik

Metode praktis yang memanfaatkan aturan sederhana, misalnya memindahkan beban dari penyulang dengan arus tertinggi ke penyulang dengan arus lebih rendah.

- b. Rekonfigurasi Berbasis Simulasi

Perangkat lunak seperti ETAP, PSS Sincal, DigSILENT PowerFactory, atau CYME banyak digunakan untuk memodelkan beban dan menentukan konfigurasi jaringan paling efisien

4. Tingkat Mutu Pelayanan (TMP) PT. PLN (Persero)

Tingkat mutu pelayanan tenaga listrik merupakan salah satu indikator utama dalam menilai kinerja penyelenggara ketenagalistrikan, khususnya dalam aspek kontinuitas dan kualitas penyaluran energi listrik kepada pelanggan. Salah satu parameter penting dalam mutu pelayanan tersebut adalah tegangan pelayanan. Tegangan pelayanan mencerminkan kemampuan sistem distribusi tenaga listrik dalam menyediakan tegangan yang stabil dan sesuai standar pada titik sambung pelanggan. Ketidaksesuaian tegangan pelayanan dapat berdampak langsung terhadap kenyamanan pelanggan serta kinerja dan umur peralatan listrik yang digunakan.

PT PLN (Persero) sebagai penyedia tenaga listrik untuk kepentingan umum bertanggung jawab memastikan bahwa tegangan yang diterima pelanggan berada dalam batas toleransi yang telah ditetapkan. Tegangan pelayanan sangat dipengaruhi oleh kondisi jaringan distribusi, panjang saluran, besarnya beban, serta konfigurasi sistem. Pada jaringan distribusi tegangan menengah dan tegangan rendah, penurunan tegangan (voltage drop) sering terjadi akibat meningkatnya arus beban dan impedansi saluran, terutama pada pelanggan yang berada di ujung jaringan.

Mutu pelayanan terkait tegangan pelayanan tidak hanya ditinjau dari nilai tegangan sesaat, tetapi juga dari kestabilan tegangan dalam periode waktu tertentu. Fluktuasi tegangan yang sering terjadi dapat menimbulkan gangguan pada peralatan listrik pelanggan, seperti pemanasan berlebih, penurunan efisiensi, hingga kerusakan peralatan. Oleh karena itu, pengendalian dan pemantauan tegangan pelayanan menjadi bagian penting dalam pengelolaan sistem distribusi tenaga listrik guna menjaga mutu pelayanan PLN.

Dalam praktik operasional, PLN melakukan berbagai upaya untuk menjaga tegangan pelayanan tetap dalam batas yang diizinkan, antara lain melalui pengaturan tap trafo distribusi, penyeimbangan beban antar fasa, rekonfigurasi jaringan, serta pemeliharaan peralatan distribusi secara berkala. Upaya-upaya tersebut bertujuan untuk meminimalkan penyimpangan tegangan yang diterima pelanggan, khususnya pada jam beban puncak yang berpotensi menurunkan kualitas tegangan.

Tegangan pelayanan yang memenuhi standar merupakan salah satu bentuk pemenuhan hak pelanggan atas layanan tenaga listrik yang bermutu. Apabila tegangan pelayanan berada di luar batas toleransi dalam jangka waktu tertentu, maka hal tersebut dapat dikategorikan sebagai penurunan mutu pelayanan. Kondisi ini tidak hanya berdampak pada tingkat kepuasan pelanggan, tetapi juga berimplikasi pada kewajiban PLN dalam memberikan kompensasi sesuai ketentuan yang berlaku.

Secara keseluruhan, mutu pelayanan PLN terkait tegangan pelayanan merupakan hasil interaksi antara perencanaan sistem distribusi, pengelolaan operasi jaringan, serta penerapan standar teknis yang konsisten. Dengan menjaga tegangan pelayanan sesuai standar, PLN dapat meningkatkan keandalan dan kualitas layanan tenaga listrik, sekaligus mendukung kegiatan ekonomi dan aktivitas masyarakat secara optimal.

Berdasarkan standar teknis yang digunakan oleh PT PLN (Persero), batas toleransi tegangan pelayanan dibedakan menjadi dua kategori. Batas $\pm 5\%$ dari tegangan nominal digunakan sebagai target mutu pelayanan yang baik dan stabil, sedangkan batas $\pm 10\%$ dari tegangan nominal merupakan batas maksimum yang masih diperbolehkan. Apabila tegangan pelayanan berada di luar batas $\pm 10\%$, maka kondisi tersebut dikategorikan sebagai tidak memenuhi standar TMP dan berpotensi menurunkan kepuasan pelanggan.

Pada sistem Tegangan Rendah (TR), tegangan nominal yang umum digunakan adalah 220/380 Volt. Untuk tegangan satu fasa 220 Volt, batas toleransi $\pm 5\%$ menghasilkan rentang tegangan 209 hingga 231 Volt, sedangkan batas toleransi $\pm 10\%$ menghasilkan rentang tegangan 198 hingga 242 Volt. Nilai ini digunakan sebagai acuan dalam menilai apakah tegangan pelayanan yang diterima pelanggan telah memenuhi standar mutu pelayanan PLN.

Sementara itu, pada sistem Tegangan Menengah (TM) dengan tegangan nominal 20 kV, batas toleransi $\pm 5\%$ menghasilkan rentang tegangan antara 19 kV hingga 21 kV. Adapun batas toleransi $\pm 10\%$ menghasilkan rentang tegangan antara 18 kV hingga 22 kV. Rentang tegangan ini digunakan dalam evaluasi jaringan distribusi 20 kV untuk memastikan bahwa sistem masih beroperasi dalam kondisi yang diizinkan sesuai standar TMP.

Upaya untuk menjaga tegangan pelayanan agar tetap berada dalam batas toleransi dilakukan melalui berbagai langkah teknis, antara lain pengaturan tap transformator distribusi, penyeimbangan beban antar fasa, perbaikan konfigurasi jaringan, serta pemeliharaan rutin peralatan distribusi. Dengan penerapan standar toleransi tegangan yang konsisten, PLN diharapkan mampu memberikan pelayanan tenaga listrik yang bermutu, andal, dan sesuai dengan ketentuan teknis yang telah ditetapkan.

Dasar Hukum dan Peraturan Terkait Tegangan Pelayanan PLN :

1. Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2009 tentang Ketenagalistrikan.

Mengatur kewajiban penyelenggara ketenagalistrikan untuk menyediakan tenaga listrik yang bermutu, andal, dan berkesinambungan, termasuk pemenuhan standar tegangan pelayanan kepada pelanggan.

2. Peraturan Pemerintah Nomor 14 Tahun 2012 tentang Kegiatan Usaha Penyediaan Tenaga Listrik.

Menjelaskan kewajiban badan usaha penyedia tenaga listrik dalam menjaga kualitas dan mutu pelayanan, termasuk aspek kualitas daya dan tegangan pelayanan.

3. Peraturan Menteri ESDM Nomor 27 Tahun 2017 tentang Tingkat Mutu Pelayanan dan Biaya yang Terkait dengan Penyaluran Tenaga Listrik oleh PT PLN (Persero).

Mengatur standar mutu pelayanan (TMP) PLN, termasuk ketentuan mengenai kualitas tegangan yang harus dipenuhi serta kompensasi kepada pelanggan apabila standar tidak tercapai.

4. Peraturan Menteri ESDM Nomor 18 Tahun 2019.

Merupakan perubahan atas Permen ESDM Nomor 27 Tahun 2017 yang memperjelas ketentuan mutu pelayanan dan mekanisme kompensasi terkait kualitas tegangan pelayanan.

5. Batasan Rekonfigurasi

- a. Tidak boleh melanggar KHA saluran.
- b. Tegangan pada seluruh bus harus berada dalam batas standar.
- c. Pola jaringan tetap harus radial untuk memudahkan proteksi.

6. Faktor-Faktor Penentu Kapasitas Penyulang

- a. Beban Terpasang dan Beban Puncak

Besarnya beban yang terhubung pada penyulang menjadi parameter utama penentuan kapasitas. Penyulang harus mampu melayani beban puncak harian (peak load) tanpa melampaui KHA (Kemampuan Hantar Arus).

- b. Pertumbuhan Beban

Perencanaan kapasitas harus memperhitungkan pertumbuhan beban 5–10 tahun ke depan menggunakan metode proyeksi seperti regresi linear, tren historis, atau rasio pertumbuhan pelanggan.

c. Panjang Penyulang

Semakin panjang saluran, semakin besar tegangan drop. Oleh karena itu, penyulang yang panjang sering membutuhkan konduktor berpenampang besar atau perlu dilakukan pemecahan penyulang.

d. Jenis dan Ukuran Konduktor

Setiap ukuran konduktor memiliki resistansi dan KHA berbeda. Pemilihan konduktor memengaruhi rugi tegangan, rugi daya, serta stabilitas penyulang.

2.2.5 Alur perhitungan PSS Sincal

1. Pengertian PSS Sincal

PSS SINCAL merupakan perangkat lunak analisis sistem tenaga listrik yang dikembangkan untuk melakukan perhitungan teknis pada jaringan listrik, mulai dari pembangkitan, transmisi, hingga distribusi. Dalam konteks jaringan distribusi Tegangan Menengah (TM) 20 kV PT PLN (Persero), PSS SINCAL digunakan sebagai alat bantu analisis untuk mengevaluasi kinerja jaringan secara menyeluruh berdasarkan data teknis yang dimodelkan. Aplikasi ini memungkinkan analisis dilakukan secara sistematis, akurat, dan efisien tanpa harus langsung melakukan pengujian di lapangan.

Simulasi jaringan 20 kV menggunakan PSS SINCAL bertujuan untuk menggambarkan kondisi operasi jaringan yang mendekati keadaan sebenarnya. Pemodelan jaringan dilakukan dengan memasukkan seluruh elemen utama sistem distribusi, seperti sumber tegangan, penyulang, transformator distribusi, saluran penghantar, serta beban. Setiap elemen dimasukkan berdasarkan parameter teknisnya, sehingga hasil simulasi dapat mencerminkan kondisi aktual jaringan distribusi PT PLN (Persero).

Salah satu analisis utama yang dilakukan menggunakan PSS SINCAL adalah analisis aliran daya (load flow analysis). Analisis ini digunakan untuk mengetahui

besarnya tegangan pada setiap bus, arus yang mengalir pada saluran, serta rugi-rugi daya yang terjadi pada jaringan. Pada jaringan TM 20 kV, hasil analisis aliran daya sangat penting untuk mengevaluasi apakah tegangan pada setiap titik jaringan masih berada dalam batas toleransi yang diizinkan sesuai standar mutu pelayanan PLN.

Selain analisis aliran daya, PSS SINCAL juga digunakan untuk mengevaluasi kondisi pembebanan jaringan distribusi. Dengan memasukkan data beban yang sesuai dengan kondisi operasi, simulasi dapat menunjukkan pengaruh pembebanan terhadap tegangan jaringan dan arus saluran. Evaluasi ini berguna untuk mengidentifikasi potensi permasalahan seperti tegangan rendah di ujung penyulang atau pembebanan berlebih pada saluran dan transformator distribusi.

PSS SINCAL juga berfungsi sebagai alat bantu dalam analisis perbaikan dan pengembangan jaringan distribusi 20 kV. Melalui simulasi, berbagai skenario teknis dapat diuji, seperti rekonfigurasi jaringan, pengalihan beban antar penyulang, maupun pengaturan tap transformator. Setiap skenario dianalisis untuk mengetahui dampaknya terhadap profil tegangan dan rugi-rugi daya, sehingga solusi yang dipilih merupakan solusi yang paling optimal sebelum diterapkan di lapangan.

Dalam penggunaannya pada PT PLN (Persero), hasil simulasi PSS SINCAL dibandingkan dengan standar teknis yang berlaku, seperti batas toleransi tegangan pelayanan dan kapasitas peralatan. Apabila hasil simulasi menunjukkan adanya penyimpangan dari standar tersebut, maka diperlukan tindakan teknis lanjutan untuk meningkatkan kinerja jaringan. Dengan demikian, PSS® SINCAL menjadi alat yang penting dalam mendukung pengambilan keputusan teknis yang berbasis data dan perhitungan.

Secara keseluruhan, aplikasi PSS SINCAL memiliki peran strategis dalam simulasi dan evaluasi jaringan Tegangan Menengah 20 kV. Dengan analisis yang terstruktur dan komprehensif, PSS SINCAL membantu PT PLN (Persero) dalam menjaga kualitas tegangan, meningkatkan keandalan jaringan distribusi, serta mendukung pencapaian Tingkat Mutu Pelayanan (TMP) tenaga listrik secara berkelanjutan.

Keunggulan Sincal dibanding perangkat lunak lain yaitu adanya integrasi antara modul load flow, proteksi, keandalan, dan perencanaan jaringan, sehingga cocok digunakan dalam tugas akhir yang membahas analisis jaringan distribusi.

2. Tahapan Umum Perhitungan pada PSS Sincal

Alur perhitungan jaringan distribusi 20 kV menggunakan Sincal umumnya meliputi:

- a. Pembuatan model jaringan (network modeling).

Pemodelan jaringan pada Sincal dimulai dengan menggambar struktur penyulang berdasarkan data lapangan atau single line diagram (SLD). Elemen yang dimodelkan mencakup : Gardu induk (GI) dan bus 20 kV, Penyulang (feeder), Saluran udara (SUTM) dan kabel tanah (SKTM), Titik beban dan Peralatan switching (LBS, recloser, sectionalisasi).

- b. Input data komponen dan parameter operasi.

Agar analisis Sincal valid, setiap komponen harus diisi dengan data teknis, antara lain: data saluran, data transformator, data beban,

- c. Penetapan skema operasi penyulang.

Setiap penyulang memiliki konfigurasi operasi tertentu, misalnya: status switch (open/close), arah aliran daya, Lokasi suplai utama dan penyulang penghubung.

- d. Analisis dan simulasi aliran daya (load flow analysis).

Analisis aliran daya merupakan inti dari perhitungan dalam Sincal. Proses ini digunakan untuk menghitung: P, Q, V , dan I pada setiap bus dan saluran.

- e. Evaluasi hasil dan perbandingan scenario.

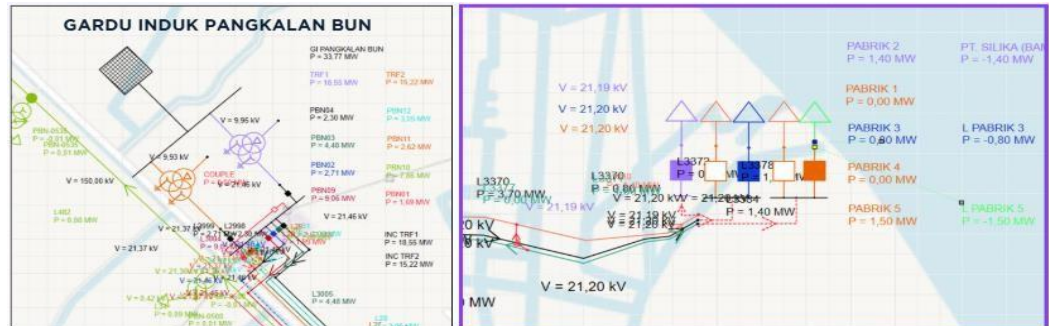
Setiap elemen diperiksa apakah: batas KHA, kapasitas transformator, switchgear sesuai rating arus hubung singkat, tegangan dan susut.

- f. Penyusunan rekomendasi teknis.

Tahap akhir analisis meliputi:

- 1) Menilai kesesuaian hasil simulasi dengan standar SPLN/TMP
- 2) Menentukan titik kritis penyulang
- 3) Menyusun rekomendasi teknis seperti penambahan penyulang dan rekonfigurasi jaringan.

- 4) Membuat kesimpulan bahwa skenario usulan memberikan peningkatan kinerja jaringan.



Gambar 2.2.13 Contoh Output Parameter Aplikasi PSS Sincall