

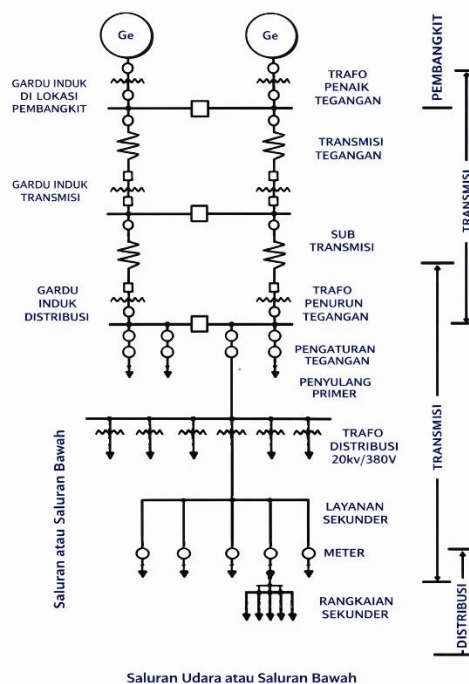
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem kelistrikan pada dasarnya memiliki tiga unsur elemen fundamental: stasiun pembangkit, jalur transmisi, dan jaringan penyaluran (distribusi). Listrik yang diproduksi di pusat-pusat pembangkit selanjutnya dialirkan menuju wilayah-wilayah yang membutuhkan melalui sistem penyaluran dan distribusi yang terintegrasi.

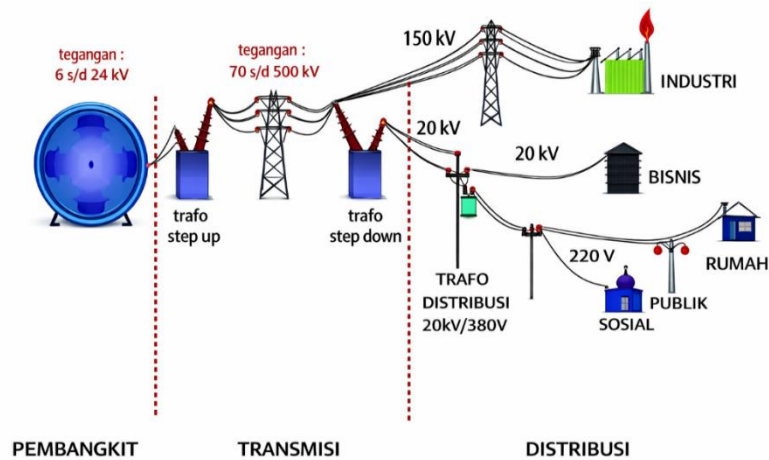


Gambar 2.1 Tiga komponen listrik

Jaringan distribusi memegang peranan vital dalam mengantarkan daya dari pusat pembangkit listrik skala besar (*bulk power sources*) untuk dialirkan seketika kepada konsumen akhir. Oleh karena itu, misi utama dari distribusi listrik adalah mendistribusikan atau membagi energi listrik ke berbagai lokasi dan pelanggan.

Pada fase awal penyaluran, Gardu Induk (GI) memanfaatkan transformator *step-up* atau penaikan tegangan sebagai sarana untuk meningkatkan level voltase. Misalnya, tegangan dinaikkan dari 11 kV menjadi 24 kV, dengan tegangan tinggi yang umum digunakan berkisar antara 70 kV hingga 500 kV. Peningkatan tegangan ini dilakukan sebelum daya dialirkan melalui Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT).

Peningkatan tegangan ini merupakan langkah krusial karena kehilangan daya (*power losses*) memiliki hubungan linier kuadratis dengan arus (I) yang mengalir pada tingkat daya yang sama. Dengan menaikkan tegangan, arus listrik akan berkurang secara signifikan, yang pada akhirnya meminimalkan kerugian daya yang tidak perlu selama proses penyaluran. Dalam proses penyaluran berikutnya, transformator penurun tegangan (*step-down*) di gardu induk akan menurunkan level tegangan kembali, seringkali menjadi 20 kV. Tegangan ini kemudian disalurkan ke sistem melalui saluran distribusi primer (utama). Akhirnya, trafo distribusi akan menurunkan tegangan lebih jauh lagi menjadi 220/380 volt sebelum mencapai pengguna akhir.



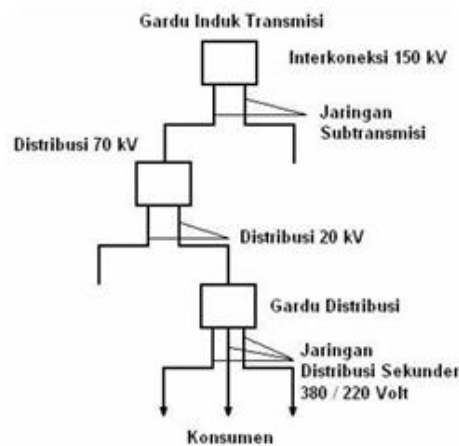
Gambar 2.2 Alur Proses Pembangkitan, Transmisi dan distribusi listrik

Sistem tenaga listrik merupakan gabungan dari komponen peralatan listrik seperti generator, transformator, saluran transmisi, saluran distribusi, dan beban, yang dihubungkan membentuk suatu sistem. Secara garis besar, sistem tenaga listrik terdiri dari tiga bagian yaitu sistem pembangkitan, sistem transmisi dan sistem distribusi. Suatu sistem dapat terdiri dari beberapa sub sistem yang saling terhubung satu sama lain atau bisa disebut Sistem Interkoneksi.

2.1.2 Jaringan Distribusi Tegangan Menengah

Bagian pertama dikenal sebagai Jaringan Tegangan Menengah (JTM) atau jaringan primer. Peran utamanya adalah mengalirkan daya listrik dari gardu induk (GI) subtransmisi menuju berbagai gardu distribusi. Jaringan distribusi primer ini biasanya menggunakan konfigurasi tiga atau empat kawat untuk menyalurkan sistem tiga fasa. Segmen kedua adalah Jaringan Tegangan Rendah (JTR), yang juga disebut jaringan distribusi sekunder. Jaringan ini bertugas mengalirkan daya dari gardu distribusi langsung ke pelanggan atau konsumen. Sebelum daya mencapai titik ini, tegangan pada gardu distribusi sudah diturunkan oleh transformator distribusi, dari level 20 kV menjadi 380/220 Volt. Jaringan sekunder ini membentang di antara trafo distribusi dan titik sambungan layanan (beban). Umumnya, JTR menggunakan penghantar udara terbuka atau kabel, dengan memanfaatkan sistem tiga fasa empat kawat (yang terdiri dari tiga kawat fasa dan satu kawat netral).

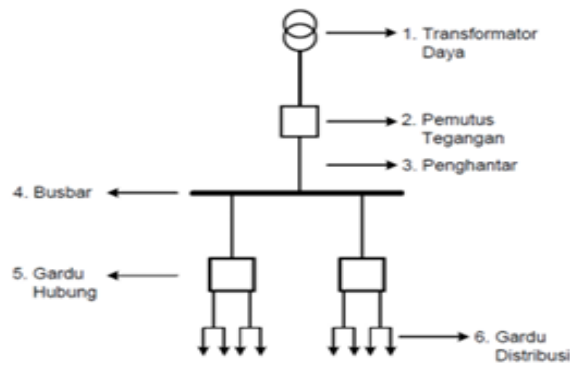
Proses penyediaan tenaga listrik hingga ke konsumen secara keseluruhan dapat divisualisasikan melalui diagram aliran daya yang relevan.



Gambar 2.3 Diagram sistem distribusi tenaga listrik.

a. Distribusi Primer :

Jaringan distribusi yang dimaksud adalah jaringan yang mengambil energi dari sistem transmisi, di mana tegangannya terlebih dahulu diturunkan di Gardu Induk (GI) menjadi Tegangan Menengah (TM), dengan tegangan nominal 20 kV. Jaringan ini dikenal sebagai JTM (Jaringan Tegangan Menengah). Dari JTM, daya disalurkan ke berbagai lokasi hingga mencapai gardu-gardu distribusi, tempat tegangan tersebut diturunkan kembali oleh trafo sebelum akhirnya dialirkan ke pelanggan. Secara umum, sistem distribusi primer memiliki tiga konfigurasi dasar: radial, *loop* (jaringan melingkar), dan sistem jaringan primer (atau *network*).



Gambar 2.4 Bagian-bagian sistem distribusi primer.

Bagian-bagian sistem distribusi primer terdiri dari :

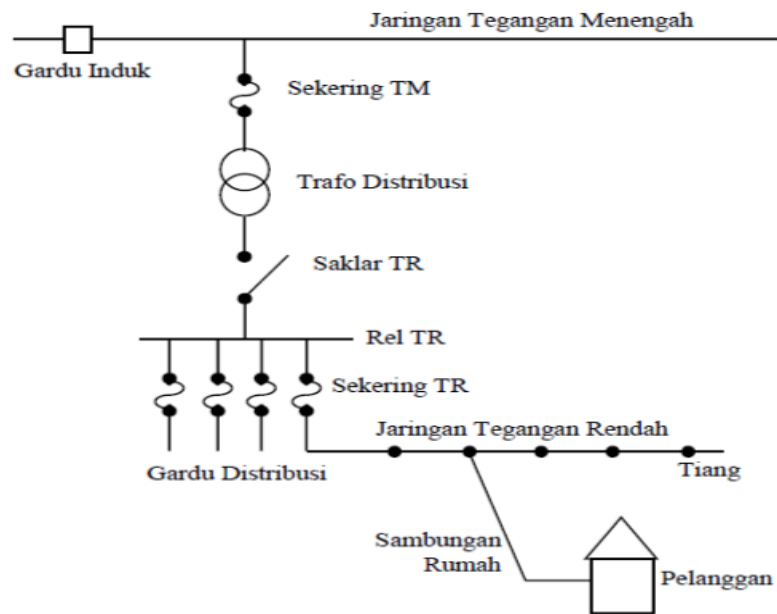
1. Fungsi utama dari transformator daya adalah melakukan konversi tegangan: menurunkan dari tegangan tinggi ke tegangan menengah, atau menaikkannya dari tegangan menengah ke tegangan tinggi.
2. Perangkat pemutus daya bertindak sebagai pengaman utama dengan cara memutuskan tegangan saat terjadi gangguan
3. Perangkat penghubung daya ini dikenal sebagai penghantar (konduktor).
4. Sebagai titik pertemuan, Busbar bertugas menyambungkan output dari trafo daya ke seluruh peralatan sistem lainnya.
5. Gardu hubung (Switching Station) memiliki tugas mengalirkan daya ke berbagai gardu distribusi tanpa melakukan perubahan pada level tegangan.
6. Di Gardu Distribusi, tegangan menengah diturunkan agar menjadi tegangan rendah.

b. Distribusi Sekunder :

Jaringan distribusi ini berasal dari gardu distribusi dan bertugas menyalurkan listrik ke pelanggan dengan klasifikasi tegangan rendah, yaitu 220 Volt atau 380 Volt (antar fasa). Kelompok pelanggan yang menggunakan tegangan rendah ini merupakan jumlah terbanyak karena kebutuhan daya mereka umumnya tidak terlalu besar.

Jaringan yang keluar dari gardu distribusi dikenal sebagai JTR (Jaringan Tegangan Rendah). Selanjutnya, daya dari JTR ini didistribusikan ke masing-masing rumah pelanggan melalui saluran yang disebut Sambungan Rumah

(SR). Mayoritas pelanggan pada tingkat tegangan ini menggunakan listrik satu fasa, meskipun terdapat juga sebagian kecil yang memakai listrik tiga fasa



Gambar 2.5 Diagram satu garis jaringan distribusi sekunder.

c. Struktur dan Komponen Sistem Distribusi 20 kV

Struktur sistem distribusi 20 kV tersusun atas berbagai elemen kunci yang terintegrasi menjadi satu kesatuan dalam konfigurasi jaringan *radial*, *loop*, maupun *mesh*, Berikut beberapa komponen-komponen penting antara lain :

1 Penyulang (Feeder)

Penyulang berfungsi sebagai jalur utama distribusi energi listrik dari gardu induk menuju konsumen melalui sistem jaringan 20 kV. Mengingat setiap penyulang memiliki profil beban, bentang jaringan, dan cakupan wilayah yang variatif, penelitian ini secara khusus meninjau Penyulang Cengkong Abang. Penyulang tersebut melayani area tertentu di bawah naungan PT PLN (Persero) UP3 Bangka ULP Pangkalpinang.

2 Tiang Distribusi

Tiang distribusi bukan sekadar batang beton atau besi yang berjajar di pinggir jalan; mereka adalah "tulang punggung" yang memikul denyut nadi kehidupan modern. Tanpa struktur kokoh ini, energi listrik dari Gardu Induk akan terhenti dan tidak akan pernah sampai ke rumah, sekolah, atau rumah sakit kita. Sebagai penopang utama jaringan udara 20 kV, tiang distribusi dirancang dengan presisi teknik tinggi untuk menjaga jarak aman antara kabel bertegangan dengan permukaan tanah, memastikan setiap aliran listrik tetap berada di jalurnya secara aman dan stabil di tengah cuaca ekstrem sekalipun.

3 Konduktor

Konduktor berfungsi sebagai penghantar energi listrik antar titik jaringan. Jenis konduktor yang digunakan pada sistem 20 kV umumnya AAAC (All Aluminium Alloy Conductor) atau A3CS (All Aluminium Alloy Conductor Steel Reinforced) yaitu jenis konduktor (kabel udara) yang digunakan secara luas oleh PT PLN (Persero) pada jaringan distribusi tegangan menengah 20 kV. Kabel ini terbuat dari inti baja (steel core) yang berfungsi sebagai penguat mekanis, dan lapisan luar berupa paduan aluminium (aluminium alloy) yang berfungsi sebagai penghantar

arus listrik. Kombinasi kedua bahan ini menghasilkan kabel yang memiliki daya hantar listrik tinggi, kekuatan tarik besar, serta ketahanan terhadap korosi dan beban lingkungan.

1 Isolator dan Arrester

Dalam arsitektur jaringan 20 kV, Isolator berperan sebagai perisai statis yang memastikan energi listrik tetap mengalir pada jalur kabel konduktor tanpa bocor ke struktur tiang. Tanpa komponen berbahan porselen atau polimer ini, tiang distribusi yang terbuat dari beton atau besi akan menjadi sangat berbahaya karena teraliri listrik. Fungsi utamanya adalah memberikan hambatan listrik yang sangat tinggi sekaligus menjadi penyangga mekanis yang kuat bagi beban kabel. Di wilayah pesisir seperti Pangkalpinang, kebersihan isolator menjadi kunci kehandalan; sebab debu atau uap garam yang menempel dapat menciptakan jalur konduktif yang memicu percikan bunga api (*flashover*) dan menyebabkan pemadaman yang tidak diinginkan.

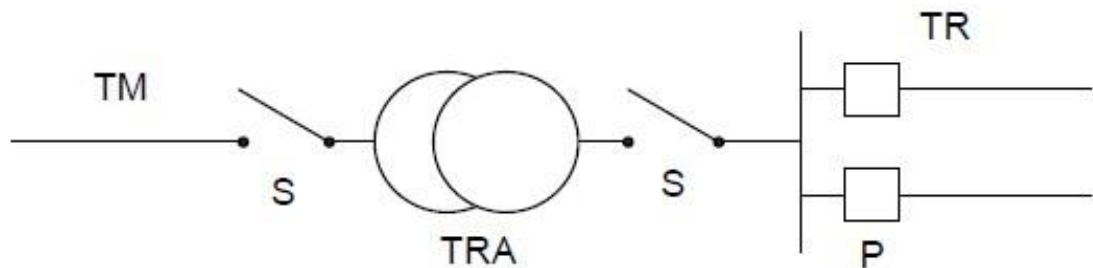
Jika isolator bekerja secara pasif setiap saat, Arrester (atau *Lightning Arrester*) adalah garda terdepan yang bekerja secara aktif saat terjadi darurat tegangan tinggi. Sebagai perangkat pengaman utama, Arrester berfungsi layaknya katup pelepas tekanan yang melindungi peralatan mahal seperti transformator dari hantaman petir atau surja hubung. Mengingat Pulau Bangka memiliki intensitas petir yang cukup tinggi, peran Arrester menjadi sangat vital; ia akan mendeteksi lonjakan tegangan ekstrem dan segera mengalihkannya ke sistem pentanahan (*grounding*) dalam hitungan milidetik. Begitu ancaman petir berlalu, Arrester secara otomatis kembali ke mode isolasi, memastikan distribusi listrik ke pelanggan tetap stabil tanpa interupsi.

2 Peralatan Proteksi

Seperti Fuse Cut Out (FCO), Recloser, Automatic Sectionalizer Switch, dan LBS (Load Break Switch) yang berfungsi untuk meminimalkan area gangguan bila terjadi trip atau hubung singkat

2.1.3 Gardu Distribusi

Sebuah gardu distribusi pada dasarnya merupakan tempat memasang transformator distribusi beserta perlengkapan. Sebagaimana diketahui, transformator distribusi berfungsi untuk menurunkan tegangan menengah (di Indonesia 20 kV) menjadi tegangan rendah (di Indonesia 220/380V). Dengan demikian transformator distribusi merupakan suatu penghubung antara jaringan tegangan menengah dan jaringan tegangan rendah. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa di dalam sebuah gardu distribusi akan “masuk” saluran tegangan menengah dan “keluar” saluran tegangan rendah, Paling banyak gardu distribusi hanya berisi satu transformator sebagaimana terlihat pada gambar 2.6



Gambar 2.6 Skema gardu distribusi

Keterangan:

TRA = Transformator Distribusi

P = Proteksi

S = Saklar atau Pemisah

TM = Tegangan Menengah

TR = Tegangan Rendah

Kabel tegangan menengah memasuki gardu dan melalui sebuah saklar atau pemisah dihubungkan pada transformator. Saklar atau pemisah pada sisi tegangan rendah sering tidak terpasang dan langsung disambungkan pada proteksi yang berupa sekring.

2.1.3.1 Gardu Portal

Umumnya konfigurasi Gardu Tiang yang dicatu dari SUTM adalah T *section* dengan peralatan pengaman *Fuse Cut-Out* (FCO) sebagai pengaman hubung singkat transformator dengan elemen pelebur (*pengaman lebur link type expulsion*) dan *Lightning Arrester* (LA) sebagai sarana pencegah naiknya tegangan pada transformator akibat surja petir.



Gambar 2.7 Gardu portal

Untuk Gardu Tiang pada sistem jaringan lingkaran terbuka (*open-loop*), seperti pada sistem distribusi dengan saluran kabel bawah tanah, konfigurasi peralatan adalah π *section* dimana transformator distribusi dapat di catu dari arah berbeda yaitu posisi *Incoming* – *Outgoing* atau dapat sebaliknya.

Guna mengatasi faktor keterbatasan ruang pada Gardu Portal, maka digunakan konfigurasi *switching*/proteksi yang sudah terakit ringkas sebagai RMU (*Ring Main Unit*). Peralatan *switching incoming-outgoing* berupa Pemutus Beban atau LBS (*Load Break Switch*) atau Pemutus Beban Otomatis (PBO) atau CB (*Circuit Br2eaker*) yang bekerja secara manual (atau digerakkan dengan remote control). *Fault Indicator* (dalam hal ini PMFD : *Pole Mounted Fault Detector*) perlu dipasang pada *section* jaringan dan percabangan untuk memudahkan pencarian

titik gangguan, sehingga jaringan yang tidak mengalami gangguan dapat dipulihkan lebih cepat.

2.1.3.2 Gardu Cantol

Pada Gardu Distribusi tipe cantol, transformator yang terpasang adalah transformator dengan daya ≤ 100 kVA Fase 3 atau Fase 1. Transformator terpasang adalah jenis CSP (Completely Self Protected Transformer) yaitu peralatan switching dan proteksinya sudah terpasang lengkap dalam tangki transformator.

Perlengkapan perlindungan transformator tambahan LA (Lightning Arrester) dipasang terpisah dengan penghantar pembumiannya yang dihubungkan langsung dengan badan transformator. Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB-TR) maksimum 2 jurusan dengan saklar pemisah pada sisi masuk dan pengaman lebur (type NH, NT) sebagai pengaman jurusan. Semua Bagian Konduktif Terbuka (BKT) dan Bagian Konduktif Ekstra (BKE) dihubungkan dengan pembumian sisi Tegangan Rendah.



Gambar 2.8 Gardu cantol

2.1.3.3 Gardu Beton

Seluruh komponen utama instalasi yaitu transformator dan peralatan *switching*/proteksi, terangkai didalam bangunan sipil yang dirancang, dibangun dan difungsikan dengan konstruksi pasangan batu dan beton (*masonry wall building*).

Konstruksi ini dimaksudkan untuk pemenuhan persyaratan terbaik bagi keselamatan ketenagalistrikan.



Gambar 2.9 Gardu beton

2.1.3.4 Gardu Kios

Gardu tipe ini adalah bangunan *prefabricated* terbuat dari konstruksi baja, *fiberglass* atau kombinasinya, yang dapat dirangkai di lokasi rencana pembangunan gardu distribusi. Terdapat beberapa jenis konstruksi, yaitu Kios Kompak, Kios Modular dan Kios Bertingkat.

Gardu ini dibangun pada tempat-tempat yang tidak diperbolehkan membangun Gardu Beton. Karena sifat mobilitasnya, maka kapasitas transformator distribusi yang terpasang terbatas. Kapasitas maksimum adalah 400

kVA, dengan 4 jurusan Tegangan Rendah. Khusus untuk Kios Kompak, seluruh instalasi komponen utama gardu sudah dirangkai selengkapnya di pabrik, sehingga dapat langsung di angkut kelokasi dan disambungkan pada sistem distribusi yang sudah ada untuk difungsikan sesuai tujuannya.



Gambar 2.10 Gardu kios

2.1.4 Penyulang Saluran Udara Tegangan Menengah

Penyulang adalah istilah yang sering dipakai untuk merujuk pada jaringan distribusi listrik tegangan menengah (JTM). Tugas utamanya adalah mengalirkan energi listrik dari gardu induk (GI) ke gardu-gardu distribusi yang tersebar di suatu area spesifik. Dari gardu distribusi inilah, daya selanjutnya didistribusikan kepada konsumen. Setiap Gardu Induk umumnya memiliki sejumlah penyulang yang jumlahnya bervariasi. Jika terjadi gangguan yang mengakibatkan salah satu penyulang mengalami *trip* (terputus), pasokan listriknya dapat dialihkan dan dipertahankan menggunakan penyulang lain. Proses pengalihan ini dapat dilakukan melalui manuver jaringan, baik secara manual maupun menggunakan sistem SCADA. Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) biasanya dicirikan oleh penggunaan penghantar telanjang (*bare conductors*). Ciri khas ini menjadi faktor kunci mengapa perawatan dan pengawasan saluran udara tegangan menengah harus dilakukan dengan sangat cermat. Terdapat berbagai jenis konstruksi TM yang diaplikasikan, di mana setiap rancangan SUTM memiliki fungsi spesifik yang berbeda.

Dalam implementasi berbagai jenis konstruksi tersebut, aspek keselamatan ketenagalistrikan menjadi perhatian utama. Hal ini mencakup pemenuhan jarak aman (jarak bebas) yang wajib dijaga antara penghantar bertegangan 20 kV dengan objek di sekitarnya, seperti:

- A. Antar penghantar fasa.
- B. Bangunan.
- C. Tanaman (pohon).
- D. Hewan.
- E. Jangkauan fisik manusia.

2.1.5 Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Keandalan didefinisikan sebagai parameter keberhasilan performa suatu sistem tenaga listrik dalam menjalankan fungsinya secara optimal pada periode dan kondisi operasional tertentu. Penentuan tingkat keandalan dilakukan melalui evaluasi matematis dan analisis kinerja sistem yang kemudian dikomparasikan dengan standar teknis yang berlaku. Dalam konteks ketenagalistrikan, aspek keandalan menitikberatkan pada kontinuitas penyaluran energi, khususnya bagi pelanggan industri atau daya besar yang memerlukan suplai listrik tanpa henti guna menghindari stagnasi proses produksi.

Struktur Jaringan Tegangan Menengah (JTM) memiliki peran krusial dalam menentukan kualitas penyaluran ini. Jaringan yang terancang dengan baik memberikan fleksibilitas operasional melalui mekanisme manuver tegangan, yang memungkinkan isolasi titik gangguan serta pengalihan beban ke jalur alternatif. Secara fundamental, kualitas pelayanan distribusi sangat bergantung pada konfigurasi sarana penyalur dan sistem proteksi yang digunakan, di mana efektivitasnya dipengaruhi oleh topologi jaringan serta strategi pengaturan operasi yang diterapkan.

2.1.5.1 Indeks Keandalan Sistem Distribusi

Indeks keandalan sistem distribusi adalah ukuran yang digunakan untuk menilai tingkat keandalan dan kontinuitas penyaluran energi listrik kepada pelanggan. Indeks ini menggambarkan seberapa sering dan seberapa lama pelanggan mengalami gangguan listrik dalam periode tertentu.

a. SAIDI (System Average Interruption Duration Index)

System Average Interruption Duration Index (SAIDI) merupakan salah satu indeks keandalan yang menggambarkan rata-rata lama pemadaman listrik yang dialami oleh pelanggan dalam periode tertentu. Nilai SAIDI diperoleh dari hasil pembagian antara jumlah total durasi padam dikalikan dengan jumlah pelanggan yang terdampak, kemudian dibagi dengan total pelanggan yang dilayani. Indeks ini memberikan gambaran seberapa lama rata-rata pelanggan mengalami pemadaman akibat gangguan pada sistem distribusi.

Semakin kecil nilai SAIDI, maka semakin baik kualitas pelayanan karena waktu padam yang dirasakan pelanggan lebih singkat. Sebaliknya, nilai SAIDI yang besar menunjukkan bahwa sistem distribusi kurang andal dan perlu evaluasi terhadap aspek operasi maupun pemeliharaan.

b. SAIFI (System Average Interruption Frequency Index)

System Average Interruption Frequency Index (SAIFI) adalah salah satu indeks keandalan yang digunakan untuk menunjukkan rata-rata frekuensi pemadaman listrik yang dialami pelanggan dalam periode tertentu. Nilai SAIFI dihitung dari jumlah total frekuensi padam dikalikan dengan jumlah pelanggan yang terdampak, kemudian dibagi dengan total pelanggan yang dilayani.

Indeks ini memberikan gambaran mengenai seberapa sering rata-rata pelanggan mengalami gangguan atau pemadaman pada sistem distribusi listrik. Semakin kecil nilai SAIFI, semakin jarang pelanggan mengalami pemadaman, yang berarti sistem distribusi lebih andal. Sebaliknya, nilai SAIFI yang tinggi menunjukkan tingkat gangguan yang sering terjadi, sehingga diperlukan evaluasi lebih lanjut terhadap peralatan, jaringan, maupun metode pemeliharaan yang digunakan.

2.1.6 Gangguan Tegangan Menengah

Gangguan pada Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) bersumber dari beragam faktor, meliputi: masalah pada komponen Jaringan Tegangan Menengah (JTM) (seperti kabel putus atau sambungan terminal yang kehilangan kontak), kegagalan pada peralatan JTM (misalnya tiang, gardu, atau proteksi), faktor lingkungan (cuaca), interaksi dengan pohon, serta ulah pihak ketiga, hewan, atau layang-layang. Sementara itu, Jaringan Kabel

Tegangan Menengah (SKTM) cenderung mengalami gangguan akibat kerusakan pada *jointing* (sambungan) dan isolasi kabel yang menurun kualitasnya.

Gangguan ini menimbulkan kerugian ganda. Bagi PT. PLN (Persero), gangguan berarti hilangnya pendapatan (*income*) karena energi (kWh) yang seharusnya tersalurkan menjadi terbuang sia-sia selama durasi pemadaman. Bagi pelanggan, pemadaman listrik mengganggu kenyamanan dan aktivitas mereka. Dampak gangguan SUTM dapat diukur secara kuantitatif melalui lama waktu padam (jam) dan energi listrik yang tidak tersalurkan (kWh). Jika gangguan tidak segera ditangani, kerugian bagi PLN dan ketidaknyamanan konsumen akan semakin besar.

Dalam operasional sistem tenaga listrik, insiden sering terjadi, yang menghambat penyaluran daya ke konsumen. Gangguan didefinisikan sebagai penyimpangan dari kondisi operasi normal atau menjadi penghalang bagi sistem penyaluran tenaga listrik yang sedang berjalan.

Dalam operasi sistem tenaga listrik sering terjadi gangguan - gangguan yang dapat mengakibatkan terganggunya penyaluran tenaga listrik ke konsumen. Gangguan adalah penghalang dari suatu sistem yang sedang beroperasi atau suatu keadaan dari sistem penyaluran tenaga listrik yang menyimpang dari kondisi normal.[4]

Klasifikasi gangguan yang terjadi pada jaringan distribusi adalah :

1. Gangguan yang Bersifat Temporer

Gangguan temporer adalah jenis gangguan yang berlangsung singkat dan sistem dapat pulih secara otomatis. Penanganannya melibatkan pemutusan daya sesaat pada bagian yang terganggu, diikuti dengan penutupan kembali peralatan penghubung. Jika gangguan sementara ini sering terjadi, lama-kelamaan dapat merusak peralatan dan berujung pada gangguan permanen.

Contoh: Gangguan yang disebabkan oleh sentuhan dahan pohon, binatang (seperti burung, kelelawar, atau ular), serta layang-layang.

2. Gangguan yang Bersifat Permanen

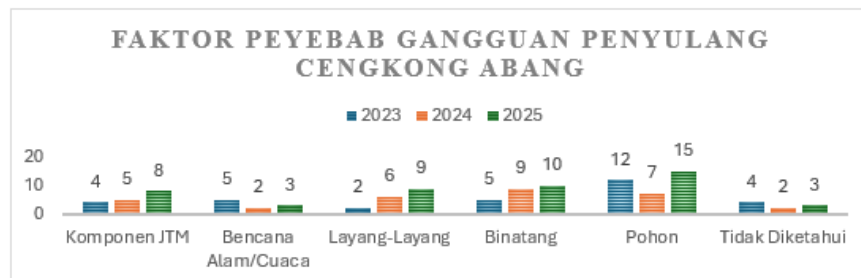
Gangguan permanen adalah jenis gangguan yang menyebabkan kerusakan fisik pada sistem, seperti kegagalan isolator, putusnya penghantar, atau kerusakan pada transformator/kapasitor. Kerusakan pada peralatan umumnya berakibat pada

hubung singkat. Untuk melindungi jaringan dari dampak ini, digunakan alat proteksi seperti sekring (*fuse*), recloser, atau Pemutus Sirkuit (*CB*). Gangguan ini tidak akan hilang kecuali penyebab kerusakan dihilangkan atau diperbaiki. Oleh karena itu, penanganannya memerlukan tindakan perbaikan atau penyingkiran sumber gangguan, seperti menyambung kembali kawat yang putus akibat hubung singkat atau menyingkirkan dahan pohon besar yang menimpa kawat fasa saluran udara



Gambar 2.11 Gangguan penyulang bersifat permanen.

Berdasarkan hasil observasi pada Jaringan Tegangan Menengah (JTM) PT PLN (Persero) ULP Pangkalpinang, ditemukan bahwa kondisi geografis dan lingkungan sangat memengaruhi performa penyaluran tenaga listrik. Sebagai representasi dari kendala tersebut, berikut adalah grafik faktor penyebab gangguan pada Penyulang Cengkong Abang:



Gambar 2.12 Faktor temuan gangguan.

Sumber data : apkt.pln.co.id

Analisis terhadap faktor penyebab gangguan pada penyulang menunjukkan tren yang fluktuatif namun memberikan gambaran jelas mengenai tantangan operasional di lapangan. Berdasarkan data historis, gangguan akibat pohon menjadi faktor dominan yang paling sering terjadi, dengan catatan 12 kejadian pada tahun 2023. Meskipun sempat mengalami penurunan menjadi 7 kasus pada tahun 2024, angka ini kembali melonjak tajam menjadi 15 gangguan pada tahun 2025. Kondisi ini menegaskan bahwa vegetasi merupakan ancaman utama terhadap stabilitas jaringan yang memerlukan penanganan intensif dan berkelanjutan.

Selain faktor alam, gangguan akibat binatang dan layang-layang menunjukkan tren peningkatan yang konsisten setiap tahunnya. Gangguan binatang meningkat dari 5 kasus pada 2023 menjadi 10 kasus pada 2025, sementara gangguan akibat layang-layang merangkak naik dari 2 kasus menjadi 9 kasus pada periode yang sama. Di sisi teknis, kerusakan pada komponen JTM (Jaringan Tegangan Menengah) juga mengalami kenaikan bertahap hingga mencapai 8 gangguan di tahun 2025. Sebaliknya, gangguan akibat bencana alam atau cuaca cenderung lebih terkendali dengan angka yang relatif rendah dibandingkan faktor lainnya. Kronologi ini menunjukkan perlunya strategi pemeliharaan yang berfokus pada mitigasi vegetasi dan perlindungan jaringan dari faktor eksternal guna meminimalkan durasi serta frekuensi padam di masa mendatang

2.1.7 Pemeliharaan Jaringan Tegangan Menengah

Perawatan peralatan listrik di jaringan tegangan menengah adalah kegiatan rutin yang dilakukan untuk memastikan semua alat berfungsi dengan baik dan mencegah gangguan yang bisa menyebabkan kerusakan.

Jaringan distribusi ini sering mengalami masalah, baik dari dalam sistem itu sendiri maupun dari faktor luar (alam). Karena sebagian besar jaringan kita berupa kabel listrik di udara (SUTM), jaringan ini sangat mudah terganggu.

Program yang disebut SEPANTAS mencakup perawatan menyeluruh, mulai dari kabel udara (SUTM), gardu listrik, hingga penanganan faktor eksternal seperti pohon dan hal-hal lain dari lingkungan luar.

Adapun pemeliharaan jaringan terbagi menjadi 3 macam, antara lain sebagai berikut:

1. Pemeliharaan Preventif (Preventive Maintenance)

Perawatan preventif adalah kegiatan yang direncanakan untuk mencegah kerusakan atau masalah pada jaringan sebelum hal itu terjadi. Ini berarti ada jadwal kerja yang disusun untuk beberapa waktu ke depan agar pemeliharaan dapat dilaksanakan secara teratur.

Tujuan dari perawatan pencegahan ini adalah:

- a. Memperpanjang umur pakai aset. Ini dilakukan dengan menemukan bagian kritis yang mulai aus dan kemungkinan besar akan segera rusak.
- b. Melakukan pemeriksaan yang teliti dan menjaga peralatan selalu dalam kondisi prima.
- c. Menghindari kegagalan alat, mencegah cacat produk, serta meningkatkan ketahanan dan kinerja mesin.
- d. Mengurangi waktu henti (waktu yang terbuang) akibat kerusakan mendadak. Hal ini dicapai dengan menyusun kegiatan perawatan peralatan secara terencana.

Menjaga agar biaya operasional dan produksi tetap rendah.

2. Pemeliharaan Korektif (Korektif Maintenance).

Pemeliharaan Korektif adalah tindakan perbaikan, penggantian, atau restorasi yang dilakukan pada jaringan atau peralatan listrik setelah terjadi kegagalan, kerusakan, atau gangguan. Tujuannya adalah untuk mengembalikan sistem ke kondisi operasional normal agar dapat berfungsi sesuai kebutuhan.

3. Pemeliharaan Darurat

Pemeliharaan Darurat adalah perbaikan yang harus dilaksanakan seketika dalam kondisi yang sangat mendesak atau kritis. Contohnya, jika terjadi ledakan pada transformator, perbaikan harus segera dilakukan tanpa penundaan.

2.1.7.1 Perogram Pemeliharaan Sehari Tuntas (SAPANTAS)

PT PLN UP3 Bangka ULP Pangkalpinang mengimplementasikan program Pemeliharaan Sehari Tuntas (SEPANTAS) di Unit Layanan Pelanggan (ULP) Pangkalpinang sebagai upaya strategis dalam memitigasi gangguan pada penyulang serta menjamin kualitas dan kontinuitas pasokan energi listrik. Inisiatif ini dirancang untuk mereduksi frekuensi serta durasi padam, yang pada akhirnya bertujuan untuk meningkatkan kepuasan pelanggan secara signifikan. Program SEPANTAS mencakup lima pilar utama sebagai berikut:

1. Optimalisasi Inspeksi (Sempurna Inspeksi) Pelaksanaan pemeriksaan menyeluruh secara periodik terhadap seluruh elemen jaringan merupakan langkah preventif yang krusial. Melalui inspeksi yang komprehensif, potensi kerusakan teknis dapat dideteksi lebih awal sebelum berkembang menjadi gangguan sistemik, sehingga stabilitas dan keandalan sistem tetap terjaga.
2. Standarisasi Kualitas Material (Sempurna Material) Penggunaan komponen dan peralatan yang memenuhi standar kualitas tinggi menjadi fondasi utama dalam mencapai performa jaringan yang optimal. Material dengan daya tahan prima tidak hanya meminimalisir kegagalan teknis, tetapi juga memperpanjang siklus hidup aset infrastruktur distribusi di berbagai kondisi lingkungan.
3. Ketepatan Teknis Instalasi (Sempurna Konstruksi) Proses pembangunan dan instalasi infrastruktur kelistrikan wajib mengacu pada spesifikasi teknis yang ketat untuk menghindari malfungsi akibat kesalahan konstruksi. Kepatuhan terhadap prosedur konstruksi yang benar menjamin keamanan dan stabilitas jangka panjang bagi jaringan distribusi.
4. Manajemen Ruang Bebas (Sempurna ROW) Pengelolaan *Right of Way* (ROW) secara intensif dilakukan untuk memastikan jalur distribusi bersih dari hambatan fisik, seperti vegetasi atau bangunan liar. Dengan menjaga area sekitar jaringan tetap kondusif, risiko gangguan eksternal dapat diminimalisir sekaligus mempermudah aksesibilitas petugas saat melakukan pemeliharaan rutin.
5. Keandalan Sistem Pengaman (Sempurna Proteksi) Penerapan sistem proteksi yang responsif merupakan langkah vital dalam melindungi integritas jaringan dari

anomali seperti arus pendek maupun beban berlebih. Sistem proteksi yang andal mampu mendeteksi gangguan secara cepat, sehingga dampak kerusakan sistemik dapat dicegah dan keselamatan penyaluran energi tetap terjamin.

Dalam upaya mengoptimalkan efisiensi dan efektivitas operasional di lapangan, pelaksanaan pekerjaan ini dilakukan melalui sinergi lintas sektor yang terintegrasi. Langkah strategis yang diterapkan melibatkan mobilisasi tim ahli yang terdiri dari unit pemeliharaan jaringan serta unit pembersihan vegetasi atau *Right of Way* (ROW). Seluruh personel tersebut merupakan representasi dari berbagai Unit Layanan Pelanggan (ULP) di bawah naungan PLN UP3 Bangka. Skema kolaborasi ini diimplementasikan dengan mendistribusikan tim ke titik-titik koordinat prioritas, di mana setiap kelompok bekerja berdasarkan Instruksi Kerja (IK) dan Prosedur Operasional Standar (SOP) yang ketat. Pendekatan sistematis ini bertujuan untuk memastikan realisasi pekerjaan berjalan sesuai ekspektasi dan target yang ditetapkan, sekaligus meminimalisir frekuensi pemadaman listrik yang disebabkan oleh aktivitas pemeliharaan jaringan tersebut.

2.1.7.2 Pemeliharaan Kerusakan

Breakdown Maintenance" atau pemeliharaan reaktif. Dalam pola ini, tindakan teknis hanya dilakukan setelah gangguan terjadi (pasca-padam), sehingga fungsi preventif untuk menekan angka SAIDI dan SAIFI tidak berjalan optimal. Pemeliharaan semacam ini tidak hanya menyebabkan ENS (Energy Not Served) yang tinggi, tetapi juga meningkatkan biaya operasional akibat mobilisasi darurat yang berulang di titik yang sama.

Secara spesifik, kegagalan sasaran dalam pemeliharaan jaringan biasanya disebabkan oleh beberapa faktor berikut:

1. Inspeksi Visual yang Dangkal (Inspeksi Formalitas): Pelaksanaan pengecekan jaringan hanya dilakukan di permukaan tanpa menggunakan alat ukur yang akurat (seperti thermovision atau ultrasound). Akibatnya, titik panas (hotspot) pada konektor atau gejala kerusakan isolator tidak terdeteksi, yang kemudian memicu gangguan hubung singkat di saat beban puncak.

2. Pemangkasan Vegetasi yang Tidak Tuntas: Program ROW yang dilakukan secara sporadis dan hanya menyasar dahan yang sudah menyentuh kabel, tanpa mempertimbangkan laju pertumbuhan pohon (growth rate) atau jarak aman ruang bebas. Hal ini menyebabkan gangguan akibat pohon kembali berulang dalam waktu singkat (re-gangguan).

3. Kualitas Material Non-Standar: Penggunaan material cadangan yang tidak sesuai spesifikasi teknis atau sudah melewati masa pakai demi mengejar kecepatan perbaikan. Penggunaan material "tambal sulam" ini justru menjadi titik lemah baru yang memicu gangguan susulan di kemudian hari.

4. Kurangnya Koordinasi Lintas Unit: Pekerjaan yang dilakukan secara terfragmentasi, di mana tim proteksi dan tim jaringan bekerja sendiri-sendiri tanpa sinkronisasi data gangguan. Ketidakselarasan ini sering menyebabkan salah koordinasi proteksi (mis-coordination), di mana gangguan kecil di sisi pelanggan justru memicu jatuhnya penyulang utama (trip).

5. Eksekusi Tanpa Skala Prioritas: Mobilisasi tim yang tidak berbasis pada data historis gangguan (frequent fault) atau penyulang kritis. Alokasi sumber daya yang tersebar di wilayah dengan risiko rendah, sementara penyulang penyumbang ENS terbesar seperti Penyulang Cengkong Abang tidak mendapatkan penanganan intensif, membuat program pemeliharaan menjadi tidak tepat sasaran.

Pendekatan yang tidak terukur ini mengakibatkan siklus pemeliharaan menjadi tidak berujung dan gagal memberikan dampak signifikan terhadap target kinerja utama perusahaan. Tanpa adanya SOP yang ketat dan integrasi tim ahli, pemeliharaan hanya menjadi rutinitas administratif yang menghabiskan anggaran tanpa menjamin keandalan pasokan listrik jangka panjang.

2.1.8 ROW (Right Of Way)

Memahami signifikansi Ruang Bebas (Right of Way/ROW) adalah esensial untuk menjaga stabilitas sistem kelistrikan. ROW didefinisikan sebagai area kosong yang wajib tersedia di antara komponen bertegangan listrik, seperti kawat atau fasa pada jaringan, dan semua objek di sekitarnya.[3]

Secara khusus, pada Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM), ROW merupakan elemen vital dalam proses pembangunan dan operasional. Tujuannya adalah untuk menjamin keamanan sekaligus keandalan operasional jaringan. Sangat penting untuk memastikan tidak ada kontak fisik antara kawat penghantar (termasuk tipe *twisted*) dengan vegetasi atau struktur bangunan di dekatnya. Standar jarak aman minimum 60 cm harus dipenuhi sebagai upaya preventif terhadap gangguan operasional. Oleh karena itu, pemeliharaan ROW adalah langkah berkelanjutan yang sangat penting agar area di sekitar jaringan distribusi tetap bersih dan terlindungi.

Pengendalian pemangkasan pohon, terutama pemangkasan pohon, di sekitar infrastruktur listrik dilakukan berdasarkan beberapa pertimbangan utama:

1. Mempertahankan Keandalan Pasokan: Ketika cabang pohon tumbuh dan bersentuhan dengan jaringan, hal itu dapat memicu gangguan, terutama saat terjadi cuaca ekstrem atau angin kencang. Kontak semacam ini berisiko menyebabkan penyulang mengalami *trip* (putus) dan mengakibatkan pemadaman
2. Mencegah Bahaya Keselamatan: Cabang pohon yang terlalu dekat berpotensi menjadi jalur penghantar arus listrik, menciptakan ancaman keselamatan yang serius bagi masyarakat umum. Program pemangkasan oleh otoritas terkait bertujuan untuk mengurangi frekuensi dan durasi pemadaman sambil tetap memprioritaskan keselamatan publik.
3. Mengurangi Kerugian Ekonomi: Gangguan pada pasokan listrik yang disebabkan oleh vegetasi menimbulkan kerugian finansial, tidak hanya bagi perusahaan penyedia listrik tetapi juga bagi para konsumen. Dengan proaktif memangkas pohon yang mengancam jaringan, risiko gangguan serta biaya perbaikan yang timbul dapat diminimalkan.[7]

Tabel 2.1 Jarak aman jaringan

No.	Uraian	Jarak Aman
1.	Terhadap permukaan jalan raya	≥ 6 meter
2.	Balkon rumah	$\geq 2,5$ meter
3.	Atap rumah	≥ 2 meter
4.	Dinding Bangunan	$\geq 2,5$ meter
5.	Antena TV/radio, menara	$\geq 2,5$ meter
6.	Pohon	$\geq 2,5$ meter
7.	Lintasan kereta api	≥ 2 meter dari atap kereta
8.	Underbuilt TM-TM	≥ 1 meter
9.	Underbuilt TM-TR	≤ 1 meter

Sumber data : Buku pln 5

2.1.9 Energy Not Serve (ENS)

Energy Not Served (ENS) merujuk pada kuantitas energi listrik yang gagal didistribusikan atau dijual kepada pengguna akhir karena adanya interupsi atau gangguan pada sistem jaringan. ENS diukur dalam satuan kilowatt-jam (kWh) dan berfungsi sebagai indikator volume energi yang terbuang karena tidak berhasil sampai ke tangan konsumen.

Mengelola dan meminimalisir nilai ENS merupakan salah satu tujuan strategis utama bagi penyedia listrik. Hal ini dilakukan untuk memastikan keandalan operasional jaringan, meningkatkan kepuasan pelanggan, dan secara simultan mengoptimalkan pendapatan dari penjualan daya listrik.

Untuk mencapai tujuan tersebut, berbagai strategi pencegahan diterapkan, seperti:

1. Pengendalian Vegetasi: Melakukan pemangkasan pohon secara berkala yang berada dekat dengan jaringan listrik untuk menghindari kontak fisik dan gangguan.

2. Pemeliharaan Preventif: Menerapkan perawatan rutin pada seluruh komponen jaringan guna mendeteksi dan memperbaiki potensi kerusakan sebelum menimbulkan gangguan.

Secara teknis, nilai ENS dihitung menggunakan formula yang mempertimbangkan daya yang hilang dan durasi pemadaman:

$$ENS = P \times T \dots\dots\dots(2)$$

Di mana:

ENS = Energy Not Served (kWh)

P = Daya yang tidak tersalurkan pada saat gangguan terjadi (kW)

T = Durasi pemadaman atau gangguan (jam)

Persamaan ENS dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Rumus daya aktif

$$P = V \times I \times \cos \varphi \times \sqrt{3} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dengan :

P : Daya aktif (Watt)

$\sqrt{3}$: 3 Phase

V : Tegangan (Volt)

I : Arus (Ampere)

$\cos \varphi$: 0,8 (Rata-rata factor daya masing-masing penyulang)

2. Rumus ENS

$$ENS = \sum \text{Gangguan (kW)} \times \text{Durasi (Jam)} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dengan :

ENS : Energi yang tidak tersalurkan

$\sum \text{Gangguan}$: Jumlah daya aktif yang mengalami gangguan (Kw)

Durasi : Lamanya terjadinya gangguan (Jam)

3. Menghitung ENS dengan Tarif Dasar Listrik

$$ENS (Rp) = ENS \times TDL \dots\dots\dots(2.3)$$

Dengan :

TDL : Tarif Dasar Listrik berdasarkan Peraturan Menteri ESDM No. 10 Tahun 2022. TDL sebesar Rp. 1.444,70

Evaluasi kerugian finansial dari energi yang tidak terjual ini dihitung menggunakan parameter Tarif Dasar Listrik (TDL) golongan rumah tangga non-subsidi (R-1/TR) dengan batas daya 1.300 VA dan 2.200 VA, yang merujuk pada Peraturan Menteri ESDM No. 10 Tahun 2022 dengan nilai Rp 1.444,70 per kWh.

4. Persentase Penurunan Energy Not Serve (ENS)

Persentase penurunan ens dapat di hitung dari sebelum dan sesudah program SEPANTAS pada tahun 2023, 2024 dan sesudah pelaksanaan program SEPANTAS pada tahun 2025 di semester 2.

$$\text{Persentase Penurunan} \frac{\text{Sebelum} - \text{Sesudah}}{\text{ENS Sebelum}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.4)$$

2.2 Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3)

Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) merupakan aspek fundamental dalam setiap aktivitas operasional di sektor ketenagalistrikan. Implementasi sistem K3 yang komprehensif menjadi prasyarat utama untuk menjamin keberhasilan pekerjaan, mengingat lingkungan kerja pada infrastruktur kelistrikan memiliki karakteristik risiko yang tinggi. Potensi bahaya utama yang diidentifikasi meliputi kegagalan isolasi peralatan, risiko jatuh dari ketinggian, hingga paparan energi listrik yang dapat mengancam keselamatan personel. Dalam lingkup operasional, penerapan K3 tidak hanya diprioritaskan untuk perlindungan tenaga kerja, tetapi juga berkorelasi langsung dengan pemeliharaan keandalan sistem distribusi. Insiden kerja di lapangan berpotensi memicu gangguan sistem yang lebih luas, yang berakibat pada pemadaman energi secara masif serta kerugian material yang signifikan bagi perusahaan dan konsumen. Oleh karena itu, efektivitas K3 menjadi indikator stabilitas layanan penyaluran tenaga listrik. Struktur pelaksanaan K3 mencakup beberapa elemen manajerial dan teknis, antara lain:

- 1 Standarisasi Prosedur: Penerapan *Standard Operating Procedure* (SOP) sebagai panduan baku di setiap tahapan kerja.
- 2 Alat Pelindung Diri (APD): Penggunaan perlengkapan keselamatan yang sesuai dengan standar teknis pekerjaan listrik.

- 3 Mitigasi Risiko: Pelaksanaan *Job Safety Analysis* (JSA) untuk mengidentifikasi potensi bahaya secara dini dan menentukan langkah pengendalian yang preventif.
- 4 Pengawasan Berlapis: Monitoring pelaksanaan kerja secara kontinu untuk memastikan kepatuhan terhadap regulasi keselamatan.

Selain aspek prosedural, kompetensi sumber daya manusia merupakan pilar utama dalam ekosistem K3. Personel diwajibkan memiliki sertifikasi kompetensi dan pemahaman mendalam mengenai karakteristik bahaya listrik serta teknik kerja aman. Hal ini bertujuan untuk menciptakan budaya kerja yang responsif terhadap risiko, guna meminimalisir faktor kesalahan manusia (*human error*) dalam operasional jaringan distribusi.

Penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) yang terstandarisasi merupakan prasyarat mutlak untuk memitigasi risiko kecelakaan kerja dan memastikan integritas operasional sistem tetap terjaga berikut alat kerja yang perlu dipersiapkan agar terhindar dari bahaya kecelakaan kerja :

- 1 Tool Sheet

Tool Set terdiri dari berbagai alat mekanik seperti tang, kunci, dan obeng yang digunakan untuk membuka baut, mur, dan tie wire selama proses pemeliharaan isolator.



Gambar 2.13 Tool set

- 2 Teropong

Digunakan untuk melakukan pengamatan visual kondisi jaringan dari jarak jauh sebelum dan sesudah pekerjaan dilakukan



Gambar 2.14 Teropong

3 Safety Helmet (Merah, Hijau, Biru)

Digunakan untuk melindungi kepala dari benturan dan benda jatuh



Gambar 2.15 Helmet

4 Safety Glasses UV

Melindungi mata dari percikan listrik dan debu.



Gambar 2.16 Glasses atauacamata

5 Insulating Shoes

Melindungi kaki dari aliran arus bocor dan tegangan sentuh.



Gambar 2.17 Sepatu saftey

6 Safety Belt

Digunakan sebagai pengaman pekerja saat bekerja di ketinggian.



Gambar 2.18 Safty belt

2.3 Penelitian yang Relevan

Dalam studi ini, penulis melaksanakan telaah pustaka terhadap sejumlah penelitian terkait yang digunakan sebagai acuan. Sumber referensi tersebut bisa berupa jurnal, artikel, skripsi, atau buku yang relevan. Beberapa acuan yang berhasil dikumpulkan penulis adalah:

1. Menurut Nopi Aryanto. 2021, dalam jurnal yang berjudul “ Tinjauan gangguan jaringan distribusi 20kV penyulang muara aman PT.PLN(Persero) ULP Rayon Muara Aman. Berdasarkan hasil penelitian gangguan jaringan distribusi 20 kV penyulang Muara Aman, maka dapat diambil beberapa kesimpulan. Pertama, gangguan yang terjadi pada penyulang Muara Aman bulan Maret s/d Mei 2020 terjadi sebanyak 73 kali. Gangguan yang sering terjadi adalah gangguan yang tidak terdeteksi (nihil) yaitu 56 kali. Gangguan lain yang

terjadi pada penyulang Muara Aman, seperti: ranting pohon mengenai jaringan distribusi, sambaran petir ke jaringan distribusi, hewan yang mengenai jaringan distribusi seperti (tupai, kalong, dan burung), tiang roboh akibat tertabrak mobil, dan CO Line terputus. Oleh karenanya perlu dilakukan pemeliharaan jaringan secara berkala, dapat mendeteksi gangguan yang tidak terdeteksi (nihil) dengan melakukan pengecekan atau inspeksi secara serius dan berkelanjutan terutama pengecekan arus dan beban yang mengalir ke rumah konsumen demi tercapainya keandalan jaringan distribusi untuk mencegah terjadinya kecurangan atau pelanggaran serta adanya pengawasan dan pengamanan bersama, dalam hal ini: masyarakat, pihak PLN dan penegak hukum. Kedua, pengaruh seringnya terjadi gangguan adalah *complain* dari masyarakat yang merasa terganggu akan kenyamanan pemanfaatan listrik karena berdampak dapat mengurangi pendapatan (*omset*) para konsumen listrik. Pengaruh lain adalah kerusakan peralatan sistem jaringan distribusi 20 kV dan kegagalan pada sistem pengamanan

2. Berlianti (2021) melakukan penelitian tentang Analisis Penerapan Tindakan Pemeliharaan Sistem Distribusi 20 kV dalam Pengoptimalan ENS dan FGTM. Penelitiannya yang mengkaji dampak kegiatan pemeliharaan jaringan distribusi terhadap pengurangan ENS dan peningkatan FGTM menunjukkan bahwa tindakan pemeliharaan berhasil menurunkan ENS di ULP Koto Tuo sebesar 50% dan meningkatkan indeks FGTM sebesar 56,3%. Semakin rutin pemeliharaan dilakukan, semakin baik pula keandalan jaringan dalam memastikan kelangsungan penyaluran energi listrik.[2].
3. Menurut Suwito. 2021, dalam jurnal yang berjudul “Pemeliharaan jaringan 20kV penyulang sukowati PT.PLN(Persero)ULP Curup” Pengaruh seringnya terjadi gangguan adalah *complain* dari masyarakat yang merasa terganggu akan kenyamanan pemanfaatan listrik karena berdampak dapat mengurangi pendapatan (*omset*) para konsumen listrik. Pengaruh lain adalah kerusakan peralatan sistem jaringan distribusi 20 kV dan kegagalan pada sistem pengamanan.
4. Menurut E. R. Mauboy, 2019 dalam jurnal yang berjudul Analisis kehandalan pada jaringan distribusi penyulang oeraso, Outage adalah suatu keadaan

komponen pada jaringan distribusi tidak bisa melakukan fungsinya karena beberapa hal yang berhubungan dengan komponen yang ada pada distribusi tenaga listrik. Forced outage adalah suatu keadaan darurat yang berhubungan dengan sebuah komponen, diperlu melepas komponen tersebut dari sistem dengan segera mungkin karena kesalahan operasi atau kelalaian manusia. Scheduled outage adalah suatu keadaan ketika komponen listrik atau peralatan listrik yang disengaja untuk dilepaskan dari sistem pada waktu tertentu yang telah terjadwal untuk pemeliharaan dan perbaikan berkala. Interruption ialah putusnya suplai pada satu konsumen atau lebih akibat outage pada sebuah komponen. Forced interruption, suatu akibat padam pada penyaluran energi listrik yang disebabkan dari kondisi forced outage. Scheduled interruption merupakan suatu akibat pemadaman pada penyaluran energi listrik yang disebabkan dari kondisi scheduled outage. Failure rate adalah jumlah rata-rata kegagalan yang terjadi. Outage time adalah waktu yang dipakai untuk memperbaiki peralatan listrik yang diakibatkan oleh gagalnya peralatan dari waktu gagal hingga dioperasikan kembali. Annual outage time merupakan lama waktu terputusnya energi listrik dalam periode waktu tertentu dinyatakan dalam hours/year. Agar Dapat meningkatkan keandalan suatu system distribusi menurut SPLN Tahun 1985 dan Standart IEEE P1366-2003 maka perlu dilakukan pemeliharaan secara berkala dan inspeksi gardu distribusi sehingga gangguan yang terjadi di PT. PLN (Persero) ULP Kota Barat bisa diminimalisir.

5. Eri, S., & Sofyan Putra, K. (2017). Kerugian Daya akibat Ketidakseimbangan Beban terhadap Arus Netral pada Transformator Distribusi, Ketidakseimbangan Beban Menyebabkan Arus Netral Tinggi: Ketidakseimbangan beban yang terjadi pada fasa transformator (R, S, T) akibat pola pemakaian daya pelanggan yang tidak merata akan menyebabkan timbulnya arus netral yang signifikan mengalir pada penghantar netral transformator. Peningkatan Rugi-Rugi Daya (Losses): Arus netral yang besar ini menimbulkan rugi-rugi daya (I^2R losses) tambahan baik pada penghantar netral maupun yang mengalir ke tanah (melalui pentanahan). Peningkatan rugi-rugi ini secara langsung menurunkan efisiensi

kerja transformator distribusi. Efektivitas Penyeimbangan Beban: Dengan menerapkan tindakan penyeimbangan beban (*load balancing*) pada trafo (misalnya, melalui metode 2 titik waktu), persentase ketidakseimbangan beban dapat diturunkan secara drastis (Contoh: dari 16% menjadi 5% pada siang hari). Penurunan Kerugian: Penurunan persentase ketidakseimbangan beban tersebut berbanding lurus dengan penurunan rugi-rugi daya akibat arus netral.

6. Menurut Funan dan Utama (2020), dalam penelitian berjudul “Evaluasi Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik Berdasarkan Indeks Keandalan SAIDI dan SAIFI pada PT PLN (Persero) Rayon Kefamenanu”, dibahas tentang tingkat keandalan jaringan distribusi listrik dengan menggunakan indeks SAIDI dan SAIFI serta perbandingan hasilnya terhadap standar SPLN 68-2:1986. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa nilai SAIFI di Rayon Kefamenanu melebihi batas standar sehingga frekuensi pemadaman cukup tinggi, sedangkan nilai SAIDI bervariasi antar periode. Penelitian ini juga menyoroti kerugian energi listrik (ENS) akibat pemadaman.
7. Menurut Cekdin dan Cekmas (2021) dalam buku “Distribusi Daya Listrik: Teori dan Praktik”, distribusi daya listrik merupakan bagian penting dari sistem tenaga listrik yang bertugas menyalurkan energi dari gardu induk atau jaringan tegangan menengah ke pelanggan akhir, baik rumah tangga, industri, maupun komersial. Buku ini menjelaskan prinsip-prinsip dasar sistem distribusi, termasuk penggunaan sistem tiga fasa, peralatan gardu distribusi, transformator, serta saluran udara atau kabel bawah tanah. Selain itu, Cekdin dan Cekmas juga menekankan pentingnya keandalan sistem distribusi, pemeliharaan rutin, dan pengukuran kinerja menggunakan indeks keandalan seperti SAIDI, SAIFI, dan CAIDI untuk memastikan kualitas pasokan listrik tetap optimal bagi pelanggan.
8. EVALUASI KEANDALAN JARINGAN PASCA PERALIHAN SISTEM RADIAL KE LOOP PENYULANG” N. Febriandi Samuda (ITPLN, 2025). Ringkasan: studi evaluasi keandalan (perbandingan metrik sebelum/ sesudah perubahan jaringan) termasuk perhitungan SAIDI/SAIFI. Relevan karena menyediakan metode dan contoh perhitungan keandalan yang dapat diaplikasikan untuk menilai dampak pemasangan penghalang hewan