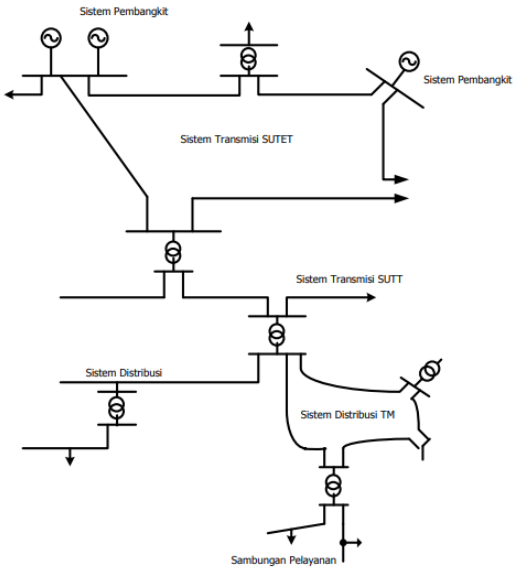
BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Konsep Dasar Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik

Jaringan tenaga listrik dasar umumnya terdiri dari beberapa komponen utama: sistem pembangkit, sistem transmisi beserta gardu induknya, jaringan distribusi, dan seksi penyaluran layanan. Semua elemen ini saling terhubung, membentuk sistem tenaga listrik yang terintegrasi dan fungsional. Di antara komponen-komponen ini, sistem distribusi memainkan peran krusial dalam menyalurkan energi listrik langsung kepada konsumen. Jaringan distribusi ini sendiri biasanya dikategorikan menjadi dua tingkatan—sistem distribusi tegangan menengah, yang menyalurkan daya dari gardu induk ke daerah-daerah, dan sistem distribusi tegangan rendah, yang memasok listrik langsung ke pengguna akhir atau rumah tangga.

Sistem distribusi tegangan menengah dirancang untuk beroperasi pada tingkat tegangan di atas 1 kV dan dapat mencapai sekitar 35 kV. Sebaliknya, sistem distribusi tegangan rendah beroperasi pada tegangan di bawah 1 kV. Umumnya, jaringan distribusi tegangan menengah berasal dari gardu induk atau pusat daya, yang dapat tergabung dalam jaringan listrik yang aman dan terlindungi atau sistem tenaga listrik independen, yang menjamin penyaluran listrik yang andal ke berbagai beban yang terhubung. Namun, di wilayah tertentu, jaringan dapat bermula langsung dari pembangkit listrik itu sendiri. Tergantung pada desain dan konfigurasinya, jaringan tegangan menengah dapat berupa sistem radial atau struktur tertutup (*radial loop* terbuka), masing-masing menawarkan keunggulan berbeda dalam hal keandalan dan fleksibilitas operasional.



Gambar 2. 1 Pola Sistem Tenaga Listrik

Jaringan distribusi tegangan rendah menggunakan bentuk radial murni. Sambungan tenaga listrik merupakan titik akhir sistem distribusi, di mana terpasang Alat Pembatas dan Pengukur (APP) sebelum listrik disalurkan ke pelanggan. Konstruksi keseluruhan sistem distribusi, mulai dari jaringan hingga sambungan tenaga listrik, dapat berupa saluran udara atau saluran bawah tanah. Pilihan jenis saluran ini ditentukan oleh faktor-faktor seperti kebijakan manajemen, kebutuhan akan kontinuitas pelayanan, jenis pelanggan, permintaan beban khusus, dan pertimbangan biaya investasi.

2.1.2 Aspek Perencanaan Jaringan Distribusi

Sistem distribusi tegangan menengah dapat menggunakan saluran udara (*overhead line*) maupun saluran bawah tanah (*underground line*), tergantung pada karakteristik spesifik wilayah layanan dan besarnya beban listrik. Umumnya, saluran udara lebih disukai untuk wilayah yang mencakup wilayah geografis yang luas, memiliki kepadatan beban rendah, atau berfungsi sebagai zona transisi antara perkotaan dan pedesaan. Saluran ini menawarkan beberapa manfaat, seperti biaya investasi awal yang lebih rendah, proses instalasi yang lebih sederhana, dan manajemen operasional yang lebih mudah. Namun demikian, saluran ini juga memiliki beberapa kekurangan, termasuk persyaratan perawatan yang lebih tinggi dan keandalan yang berkurang dalam layanan berkelanjutan. Umumnya, jenis jaringan ini mengadopsi konfigurasi radial, yang sering

disebut sebagai sistem *Fishbone*, yang menyederhanakan distribusi tetapi membatasi redundansi.

Kualitas penyaluran energi listrik sangat dipengaruhi oleh perencanaan dan evaluasi sistem jaringan distribusi yang memenuhi kriteria teknis. Peningkatan beban dapat menyebabkan perubahan parameter kualitas jaringan, seperti jatuh tegangan, pembebanan penyulang, dan tingkat keandalan sistem, sehingga diperlukan evaluasi kondisi eksisting secara berkala. Beberapa penyulang masih berada di luar kriteria desain yang ditetapkan sehingga memerlukan perbaikan konfigurasi jaringan. Hal ini menunjukkan bahwa pengawasan dan evaluasi berkelanjutan sangat penting untuk menjaga keandalan serta kualitas pelayanan jaringan distribusi listrik (Widyastuti et al., 2021).

Sistem distribusi tegangan rendah dan sambungan tenaga listrik umumnya menggunakan konfigurasi radial murni. Suplai daya alternatif hanya disediakan untuk pelanggan khusus guna mengatasi pemadaman. Secara umum, konstruksi jaringan distribusi ini adalah saluran udara. Penggunaan saluran bawah tanah lebih terbatas, biasanya untuk kabel daya penghubung (opstik atau kabel naik), di daerah eksklusif atas permintaan spesifik, di kawasan bisnis khusus, atau didasarkan pada kebijakan perencanaan otoritas setempat.

2.1.3 Standar Konstruksi Jaringan Tegangan Menengah

Penyaluran energi listrik kepada konsumen dalam suatu wilayah melalui Sistem Tegangan Menengah (STM) sebagai jaringan primer merupakan strategi krusial untuk mengurangi rugi-rugi distribusi sekaligus menjamin mutu tegangan tetap sesuai standar yang ditetapkan oleh PT PLN (Persero) sebagaimana diamanatkan dalam Undang-Undang Ketenagalistrikan No. 30 Tahun 2009. Di Indonesia, standar operasional sistem STM ditetapkan sebesar 20 kV. Oleh karena itu, pembangunan dan pemasangan Jaringan Tegangan Menengah (STM) harus benar-benar mematuhi prinsip-prinsip rekayasa keselamatan kelistrikan. Standar keselamatan ini mencakup beberapa aspek utama, seperti menjaga jarak aman minimum antara penghantar listrik (fase) dan lingkungan sekitarnya, termasuk tanah, saat menggunakan saluran distribusi udara. Saat kabel udara gabungan STM atau kabel bawah tanah STM diterapkan, sistem harus menunjukkan

resistansi isolasi yang cukup untuk mencegah bahaya kelistrikan. Lebih lanjut, desain jaringan STM juga harus memfasilitasi kegiatan operasi, inspeksi, dan pemeliharaan yang efisien, terutama selama prosedur Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB). Secara keseluruhan, penerapan pertimbangan teknis dan keselamatan ini memainkan peran penting dalam memastikan keandalan, stabilitas, dan kontinuitas layanan pasokan listrik yang diberikan kepada konsumen di seluruh wilayah distribusi.

Penyaluran tenaga listrik kepada konsumen di suatu wilayah tertentu melalui Sistem Tegangan Menengah (STM) sebagai jaringan primer berperan krusial dalam meminimalkan rugi-rugi distribusi sekaligus memastikan kualitas tegangan tetap sesuai dengan standar yang ditetapkan oleh PT PLN (Persero) sesuai ketentuan Undang-Undang Ketenagalistrikan No. 30 Tahun 2009. Di Indonesia, tegangan operasi resmi untuk sistem STM distandarisasi pada 20 kV. Oleh karena itu, perancangan dan konstruksi Jaringan Tegangan Menengah (JTM) harus benar-benar mematuhi prinsip-prinsip rekayasa keselamatan kelistrikan.

Standar keselamatan ini mencakup beberapa persyaratan utama, seperti menjaga jarak aman minimum antara konduktor listrik (fase) dan lingkungan sekitar, termasuk tanah, saat menggunakan saluran transmisi udara. Untuk sistem yang menggunakan kabel udara berisolasi STM atau kabel bawah tanah, resistansi isolasi yang memadai harus dipastikan untuk mencegah potensi gangguan atau bahaya. Lebih lanjut, perancangan jaringan STM juga harus mengutamakan efisiensi operasional dan memfasilitasi kegiatan Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) untuk meminimalkan gangguan layanan.

Secara keseluruhan, langkah-langkah ini dilaksanakan untuk menjamin keandalan, stabilitas, dan kontinuitas pasokan listrik kepada konsumen, yang mendukung integritas operasional jaringan dan kepuasan pelanggan sesuai dengan peraturan energi nasional sebagai berikut:

1. Saluran Udara Tegangan Menengah

Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) merupakan metode paling hemat biaya untuk menyalurkan energi listrik pada tingkat daya yang setara dan oleh karena itu merupakan jenis jaringan *Medium Voltage* (MV) yang paling umum diimplementasikan di Indonesia. Karakteristik yang menentukan dari sistem SUTM adalah penggunaan

konduktor telanjang yang terpasang pada isolator, yang ditopang oleh tiang besi atau beton bertulang. Karena sistem ini menggunakan konduktor telanjang yang dialiri arus, sangat penting untuk memastikan kepatuhan yang ketat terhadap standar keselamatan kelistrikan. Ini termasuk menjaga jarak bebas minimum antara konduktor (fase) dan objek di dekatnya seperti bangunan, pohon, atau area yang berada dalam jangkauan manusia.

Selain itu, dalam klasifikasi SUTM, terdapat sistem yang menggunakan konduktor semi-terisolasi, khususnya jenis *All Aluminium Alloy Conductor – Strengthened* (AAAC-S). Meskipun jenis konduktor ini tidak memberikan perlindungan penuh terhadap tegangan sentuh berbahaya, penerapannya membantu meminimalkan kemungkinan gangguan listrik sementara—terutama yang disebabkan oleh kontak yang tidak disengaja dengan vegetasi atau faktor eksternal lainnya.

Gambar 2. 2 Saluran Udara Tegangan Menengah

2. Saluran Kabel Udara Tegangan Menengah

Untuk meningkatkan keselamatan dan kinerja akustik sistem transmisi daya, konstruksi Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) yang beroperasi pada 20 kV dapat ditingkatkan dengan mengganti konduktor polos atau semi-terisolasi tradisional dengan konduktor pilin yang sepenuhnya terisolasi. Dalam desain jenis ini, setiap konduktor fasa sudah memiliki insulasi yang memadai, sehingga menghilangkan kebutuhan akan perlindungan mekanis tambahan. Namun demikian, perhatian yang cermat harus diberikan pada berat keseluruhan konduktor pilin, karena bobot tersebut

memainkan peran penting dalam menentukan kekuatan, stabilitas, dan daya dukung tiang beton penyangga yang dibutuhkan.

Gambar 2. 3 Saluran Kabel Udara Tegangan Menengah

3. Saluran Kabel Tanah Tegangan Menengah (SKTM)

Konstruksi Saluran Kabel Tanah Tegangan Menengah (SKTM) menawarkan tingkat keamanan dan keandalan yang tinggi dalam mendistribusikan listrik TM, berkat desain yang mencakup isolasi penuh pada setiap fase penghantar dan pelindung mekanis yang dipersyaratkan. Namun, konstruksi ini relatif lebih mahal dibandingkan metode penyaluran daya lain dengan kapasitas yang sama. Dalam hal biaya pembangunan SKTM itu sendiri, metode penanaman kabel langsung ke dalam tanah adalah yang paling murah, dibandingkan dengan menggunakan perantara seperti konduit atau membangun terowongan beton (t*unneling*).

Penerapan Jaringan Kabel Bawah Tanah Tegangan Menengah sebagai jaringan distribusi listrik utama merupakan langkah penting dalam meningkatkan keandalan dan kualitas penyaluran tenaga listrik secara keseluruhan. Dibandingkan dengan Jaringan Kabel Bawah Tanah Tegangan Menengah, Sistem Kabel Bawah Tanah menawarkan keunggulan yang signifikan, terutama dalam mengurangi kemungkinan gangguan operasional yang disebabkan oleh faktor lingkungan eksternal, sehingga memperkuat keamanan dan kontinuitas pasokan listrik. Secara umum, JST dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis utama: sistem bawah tanah dan sistem bawah laut, yang masing-masing dirancang untuk kondisi geografis dan lingkungan tertentu. Meskipun tingkat keamanan dan keandalannya lebih tinggi, sistem JST membutuhkan investasi dan biaya operasional

yang jauh lebih besar daripada sistem udara. Hal ini terutama disebabkan oleh kebutuhan akan isolasi menyeluruh pada setiap fasa konduktor dan penerapan langkah-langkah perlindungan mekanis yang ketat untuk memastikan ketahanan dan keamanan. Dalam aplikasi praktis, instalasi JST sering kali diintegrasikan dengan jaringan JST untuk menciptakan sistem distribusi hibrida. Akibatnya, transisi antara konstruksi bawah tanah dan di atas tanah menjadi aspek teknis yang sangat penting, yang memerlukan desain dan penerapan yang cermat untuk menjaga stabilitas sistem, efisiensi, dan keselamatan operasional jangka panjang..

Gambar 2. 4 Saluran Kabel Tanah Tegangan Menengah

2.1.4 Standart Konstruksi Gardu Distribusi

Secara umum, gardu induk distribusi tenaga listrik mengacu pada fasilitas atau struktur yang menaungi beberapa komponen utama, termasuk Gardu Induk Tegangan Menengah (PHB-TM), Trafo Distribusi, dan Gardu Induk Tegangan Rendah (PHB-TR). "Tujuan utama gardu induk ini adalah untuk memastikan pasokan listrik yang stabil dan andal kepada konsumen, melayani jaringan Tegangan Menengah (sekitar 20 kV) dan sistem Tegangan Rendah (sekitar 220/380 V). Desain dan konstruksi gardu induk distribusi umumnya berpedoman pada prinsip efisiensi biaya dan persyaratan fungsional, serta mematuhi standar pemerintah daerah dan kerangka peraturan yang berlaku.

Secara umum, gardu induk distribusi dapat dikategorikan menjadi beberapa jenis utama, yang umumnya diklasifikasikan berdasarkan:

1. Jenis pemasangannya :

a. Gardu pasangan luar : Gardu Portal, Gardu Cantol

b. Gardu pasangan dalam : Gardu Beton, Gardu Kios

2. Jenis Konstruksinya :

a. Gardu Beton (bangunan sipil : batu, beton)

b. Gardu Tiang : Gardu Portal dan Gardu Cantol

c. Gardu Kios

3. Jenis Penggunaannya :

a. Gardu Pelanggan Umum

b. Gardu Pelanggan Khusus

Gardu Hubung didefinisikan secara khusus sebagai gardu yang fungsinya adalah untuk mempermudah manuver pembebanan (pemindahan beban) dari satu penyulang (feeder) ke penyulang lainnya. Gardu ini dapat dilengkapi atau tidak dilengkapi dengan *Remote Terminal Unit* (RTU) untuk keperluan monitoring dan kontrol jarak jauh." Untuk menjalankan fungsi-fungsi ini, Gardu Hubung umumnya dilengkapi dengan fasilitas pasokan arus searah (*DC Supply*), yang sumbernya dapat berasal dari trafo distribusi untuk pemakaian sendiri atau trafo distribusi umum yang diletakkan di lokasi yang sama.

1. Gardu Portal

Secara umum, tata letak gardu induk tiang yang menerima daya dari saluran udara tegangan menengah (SUTM) biasanya mengikuti konfigurasi penampang-T. Pengaturan ini mencakup proteksi *Fuse Cut-Out* (FCO), yang berfungsi sebagai pengaman transformator terhadap hubung singkat melalui elemen sekering (khususnya, sekering penghubung tipe ekspulsi). Selain itu, Penangkal Petir (LA) dipasang untuk melindungi transformator dari lonjakan tegangan mendadak yang disebabkan oleh surja petir.

Sementara itu, gardu induk tiang yang beroperasi dalam sistem jaringan loop terbuka, seperti yang terhubung ke saluran distribusi kabel bawah tanah, biasanya dirancang dengan konfigurasi penampang-π. Pengaturan ini memungkinkan transformator distribusi menerima pasokan listrik dari berbagai arah—baik dari sisi Masuk ke Keluar maupun sebaliknya—memberikan fleksibilitas dan keandalan yang lebih besar dalam proses distribusi daya.

Secara umum, gardu distribusi dapat dikategorikan menjadi beberapa jenis berdasarkan konfigurasi jaringan, fungsi, dan metode pemasangannya, yang akan dijelaskan lebih lanjut di bawah ini.

Gambar 2. 5 Gardu Portal

Untuk mengatasi masalah keterbatasan ruang yang umum ditemukan di gardu induk portal, para insinyur memanfaatkan sistem switching dan proteksi yang ringkas dan efisien yang dikenal sebagai *Ring Main Unit* (RMU). Unit ini mengintegrasikan komponen switching masuk dan keluar, yang dapat mencakup Pemutus Beban (PB), Sakelar Pemutus Beban (LBS), Pemutus Beban Otomatis (PBO), atau Pemutus Sirkuit (CB). Perangkat ini dapat dikontrol secara manual atau melalui operasi jarak jauh, memberikan fleksibilitas dan keandalan operasional. Lebih lanjut, Indikator Gangguan—seperti Detektor Gangguan Terpasang Kutub (PMFD)—diwajibkan untuk dipasang di setiap segmen dan cabang jaringan. Tujuan utama dari indikator ini adalah untuk memfasilitasi deteksi dan lokalisasi gangguan yang cepat sehingga mempercepat proses perbaikan dan memastikan bahwa bagian jaringan listrik yang tidak terpengaruh dapat melanjutkan operasi normal tanpa penundaan yang signifikan.

2. Gardu Cantol

Gardu induk distribusi tipe cantol dirancang khusus untuk mendukung transformator dengan kapasitas hingga "100 kVA atau kurang", yang mengakomodasi "sistem tiga fase dan satu fase". Transformator yang digunakan dalam konfigurasi ini adalah "Transformator Terproteksi Mandiri Sepenuhnya (CSP)", yang berarti bahwa

semua "mekanisme pensaklaran dan proteksi" terintegrasi sepenuhnya di dalam "tangki transformator" itu sendiri, memastikan kekompakan dan efisiensi operasional.

Meskipun transformator memiliki fitur proteksi bawaan, "Penangkal Petir (LA) eksternal tambahan" tetap dipasang sebagai tindakan pencegahan terhadap lonjakan listrik. "Konduktor pentanahan" dari penangkal petir ini terhubung langsung ke "badan transformator" untuk menjaga jalur pelepasan yang aman. Dalam hal "Peralatan Distribusi Tegangan Rendah (PHB-TR)", desain sistem memungkinkan "maksimum dua pengumpan keluar", yang diamankan menggunakan "sakelar pemisah pada sisi masuk" dan "sekring tipe NH atau NT" untuk setiap arah keluar guna memastikan keamanan dan kontinuitas listrik.

Sebagai bagian dari persyaratan keselamatan, semua "Bagian Konduktif Terbuka (BKT)" dan "Bagian Konduktif Ekstra (BKE)" di dalam gardu induk secara teratur "diikat ke jaringan pembumian" pada "sisi tegangan rendah", sehingga meminimalkan risiko sengatan listrik dan meningkatkan perlindungan serta keandalan sistem gardu induk secara keseluruhan..

Gambar 2. 6 Gardu Cantol

3. Gardu Beton

Semua elemen instalasi penting-seperti transformator, perangkat sakelar, dan peralatan proteksi-dirakit dengan cermat dan tertutup rapat dalam struktur sipil khusus. Struktur ini, yang dibangun terutama dengan pasangan bata tahan lama dan beton

bertulang, dirancang khusus untuk memastikan keandalan optimal dan mematuhi standar keselamatan kelistrikan yang ketat.

Gambar 2. 7 Gardu Beton

4. Gardu Kios

Gardu distribusi jenis ini mengacu pada unit prafabrikasi yang biasanya dibangun dari material tahan lama seperti baja, fiberglass, atau kombinasi hibrida keduanya. Strukturnya dirancang agar mudah dirakit di lokasi, sehingga sangat adaptif terhadap berbagai lingkungan instalasi. Terdapat beberapa model konstruksi yang tersedia, termasuk gardu kios kompak, desain kios modular, dan konfigurasi kios bertingkat. Gardu jenis ini terutama digunakan di area yang terbatas atau tidak memungkinkan untuk memasang gardu beton permanen.

Karena sifatnya yang portabel, kapasitas trafo distribusi terpasang umumnya dibatasi sekitar 400 kVA dan dilengkapi dengan sistem Tegangan Rendah empat arah. Untuk kios kompak, semua komponen penting gardu—seperti trafo, gardu distribusi, dan sistem proteksi—sudah dirakit dan diuji di fasilitas manufaktur. Proses prafabrikasi ini memungkinkan seluruh gardu induk diangkut secara efisien ke lokasi yang ditentukan dan terintegrasi secara mulus ke dalam jaringan distribusi daya yang ada untuk pengoperasian yang cepat dan mengurangi waktu instalasi.

Gambar 2. 8 Gardu Kios

5. Gardu Pelanggan Umum

Konfigurasi umum peralatan di gardu induk pelanggan yang menerima daya melalui Saluran Kabel Bawah Tanah Tegangan Menengah (SKTM) umumnya mengikuti pengaturan penampang π (pi). Namun demikian, kondisi tertentu seperti keterbatasan spasial atau persyaratan pengurangan kebisingan tertentu mungkin memerlukan penggunaan konfigurasi penampang-T. Dalam pengaturan ini, daya listrik disuplai dari gardu induk Peralatan Distribusi Tegangan Menengah (PHB-TM) terdekat, yang biasa disebut sebagai gardu induk antena. Selain itu, pelanggan dengan sensitivitas yang lebih tinggi terhadap kebisingan listrik atau standar keandalan yang lebih ketat mungkin mengharuskan gardu induk mereka disuplai oleh saluran SKTM yang terhubung ke beberapa penyulang. Dalam keadaan ini, gardu induk dilengkapi dengan beberapa sakelar yang mampu beroperasi secara otomatis—dikenal sebagai Sakelar Pengalih Otomatis (ACOS)—atau dikendalikan dari jarak jauh untuk memastikan transfer daya yang lancar dan andal.

6. Gardu Pelanggan Khusus

Gardu Induk Pelanggan Khusus (GI Khusus) dirancang khusus untuk menyalurkan listrik kepada konsumen dengan kebutuhan energi tinggi. Selain fungsi utamanya sebagai pemutus arus dan proteksi, gardu induk ini juga diwajibkan menyediakan alat ukur presisi untuk memastikan pemantauan dan pengendalian penyaluran listrik yang akurat. Bagi pelanggan dengan kebutuhan daya di atas 197 kVA,

komponen penting gardu induk ini biasanya terdiri dari Peralatan Pemutus Arus Tegangan Menengah (PHB-TM), perangkat proteksi, dan sistem pengukuran Tegangan Menengah. Pada konfigurasi ini, transformator penurun tegangan (*step-down transformator*) ditempatkan di lokasi pelanggan, di luar tanggung jawab kepemilikan dan operasional PT PLN (Persero). Selain itu, gardu induk ini seringkali dilengkapi dengan transformator tambahan, yang memungkinkannya untuk mendukung tidak hanya pelanggan daya tinggi tertentu tetapi juga untuk memasok listrik ke konsumen umum di sekitarnya secara bersamaan.

7. Gardu Hubung

Gardu Induk Sakelar, sering disebut sebagai Gardu Hubung, berfungsi sebagai komponen penting dalam jaringan distribusi listrik yang memungkinkan manuver operasional dan manajemen beban. Peran utamanya adalah memastikan kontinuitas daya listrik dengan memulihkan aliran listrik selama gangguan, mendukung program pemeliharaan, dan menjaga kestabilan operasi layanan.

Setiap Gardu Induk Hubung biasanya dilengkapi dengan serangkaian Sakelar Pemutus Beban (LBS) dan/atau Pemutus Sirkuit (CB), yang saling terhubung secara paralel untuk memungkinkan kontrol aliran daya yang fleksibel. Dalam kasus tertentu, gardu induk juga dilengkapi dengan pemutus sirkuit yang berfungsi sebagai pembatas beban untuk pelanggan Tegangan Menengah (MV) tertentu, memastikan distribusi daya yang aman dan efisien.

Secara struktural, gardu induk ini sangat mirip dengan gardu distribusi beton. Di dalam fasilitas, biasanya terdapat ruangan terpisah untuk menampung peralatan gardu distribusi dan sistem layanan kendali jarak jauh. Unit kendali jarak jauh dapat ditempatkan di dalam gedung yang sama dengan gardu induk itu sendiri, tetapi harus diisolasi secara jelas dari ruang distribusi utama untuk menjaga keselamatan operasional dan mencegah interferensi antar sistem.

2.1.5 Standart Konstruksi Jaringan Tegangan Rendah

Jaringan distribusi tegangan rendah (TR) merupakan bagian paling akhir (hilir) dari sistem tenaga listrik yang berfungsi menyalurkan daya langsung kepada pelanggan atau pemanfaat listrik. Karena konstruksinya berada langsung di lingkungan berpenghuni,

jaringan ini wajib memenuhi dua kriteria utama: pertama, kualitas teknis pelayanan yang memadai, dan kedua, persyaratan keselamatan (aman) bagi pengguna serta harus ramah terhadap lingkungan. Konfigurasi saluran udara TR yang paling umum digunakan adalah bentuk radial.

Konstruksi Jaringan Tegangan Rendah (JTR) dikategorikan menjadi tiga jenis utama, yaitu: Saluran Udara Tegangan Rendah (SUTR) yang menggunakan kabel pilin berinsulasi, SUTR yang menggunakan konduktor telanjang, dan Saluran Kabel Bawah Tanah Tegangan Rendah (SKTR). Untuk jenis SUTR dengan kabel pilin, proses pemasangan dapat dilakukan pada struktur tiang independen dengan tinggi tiang standar sekitar 9 meter, di mana tiang tertanam ke dalam tanah pada kedalaman yang sama dengan seperenam dari total panjangnya. Sebagai alternatif, jenis saluran ini juga dapat dipasang di bawah jaringan Tegangan Menengah yang sudah ada atau di sepanjang dinding bangunan, tergantung pada kondisi lokasi dan persyaratan teknis.

2.1.6 Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3)

1. Dasar Hukum Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3)

Sumber hukum paling fundamental mengenai keselamatan kerja di Indonesia adalah "Undang-Undang Nomor 1 Tahun 1970 tentang Keselamatan Kerja." Undang-undang ini dibuat dengan menimbang bahwa :

a. "Bahwa setiap tenaga kerja berhak mendapat perlindungan ataskeselamatannya dalam melakukan pekerjaan untuk kesejahteraan hidup dan meningkatkan produksi serta produktivitas nasional."
b. "Bahwa setiap orang lainnya yang berada di tempat kerja perlu terjamin pula keselamatannya."
c. "Bahawa setiap sumber produksi perlu dipakai dan dipergunakan secara aman dan efisien."
d. "Bahwa berhubung dengan itu perlu diadakan segala daya upaya untuk membina norma-norma perlindungan kerja."
e. "Bahwa pembinaan norma-norma itu perlu di ujudkan dalam Undang-undang yang memuat ketentuan-ketentuan umum tentang keselamatan kerja yang sesuai dengan perkembangan masyarakat, industrialisas, teknik dan teknologi."

Sumber daya manusia adalah aset krusial dalam setiap kegiatan usaha, sehingga perusahaan wajib memberikan perlindungan keselamatan dan kesehatan (K3) tidak hanya bagi karyawan yang terlibat langsung, tetapi juga bagi pihak lain yang terkait dengan kegiatan usaha tersebut. Sebagai contoh, PT PLN yang bergerak di bidang pembangkitan, penyaluran, distribusi, dan pelayanan pelanggan, harus memastikan keselamatan dan kesehatan setiap individu yang terlibat dalam operasionalnya. Selain itu, masyarakat yang berada di sekitar area kegiatan usaha dan konsumen yang menggunakan produk energi listrik juga harus terjamin keselamatan dan kesehatannya.

Penegakan Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) bukanlah sekadar upaya peningkatan keuntungan, melainkan sebuah tindakan untuk memanusiakan pekerja serta membatasi atau meminimalkan kerugian akibat kecelakaan. Tanggung jawab pelaksanaan K3 ini diemban oleh manajemen perusahaan, atasan pekerja, dan pekerja itu sendiri. Dengan terjaminnya keselamatan dan kesehatan kerja, akan tercipta kondisi produksi yang aman (*safe production*), yang pada akhirnya akan berkontribusi pada peningkatan kesejahteraan dan kemakmuran masyarakat.

2. Pengertian Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3)

Keselamatan kerja berfokus pada segala upaya pencegahan dan pengurangan kecelakaan di tempat kerja, yang dapat menimbulkan kerugian berupa cidera fisik (jiwa/raga) maupun kerusakan harta benda. Sementara itu, kesehatan kerja adalah upaya yang ditujukan untuk mencegah dan mengurangi penyakit yang diakibatkan oleh pelaksanaan pekerjaan. "Dengan peraturan perundangan ditetapkan syarat-syarat keselamatan kerja untuk :

a. Mencegah dan mengurangi kecelakaan.
b. Mencegah, mengurangi dan memadamkan kebakaran.
c. Mencegah dan mengurangi bahaya peledakan.
d. Memberi kesempatan atau jalan menyelamatkan diri pada waktu kebakaran atau kejadian-kejadian lain yang berbahaya.
e. Memberi pertolongan pada kecelakaan.
f. Memberi alat-alat perlindungan diri pada para pekerja.

g. Mencegah dan mengendalikan timbul atau menyebar luasnya suhu, kelembaban, debu, kotoran, asap, uap, gas, hembusan angin, cuaca, sinar atau radiasi, suara atau getaran.
h. Mencegah dan mengendalikan timbulnya penyakit akibat bekerja baik physik maupun psychis, peracunan, infeksi, dan penularan.
i. Memperoleh penerangan yang cukup dan sesuai.
j. Menyelenggarakan suhu dan lembab udara yang baik.
k. Menyelenggarakan penyegaran udara yang cukup.
l. Memelihara kebersihan, kesehatan dan ketertiban.
m. Memperoleh keserasian antara tenaga kerja, alat kerja, lingkungan, cara dan proses kerjanya.
n. Mengamankan dan memperalancar pengangkutan orang, binatang, tanaman, atau barang
o. Mengamankan dan memelihara segala jenis bangunan.
p. Mengamankan dan memperlancar pekerjaan bongkar muat, perlakuan dan penyimpanan barang.
q. Mencegah terkena aliran listrik yang berbahaya.
r. Menyesuaikan dan menyempurnakan pengamanan pada pekerjaan yang bahaya kecelakaannya menjadi bertambah tinggi."

3. Tujuan Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3).

Tujuan utama dari penerapan Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) adalah mewujudkan kondisi masyarakat serta lingkungan kerja yang aman, sehat, dan sejahtera secara menyeluruh. Pencapaian tujuan tersebut memberikan berbagai manfaat penting, seperti terciptanya tempat kerja yang bebas dari potensi bahaya sehingga terasa lebih aman, sehat, dan nyaman bagi seluruh pekerja. Selain itu, K3 juga berperan dalam membentuk tenaga kerja yang sehat secara fisik, mental, dan sosial, serta terlindungi dari risiko kecelakaan maupun penyakit akibat kerja. Dengan kondisi kerja yang optimal, tingkat produktivitas dan efisiensi perusahaan akan meningkat, yang pada akhirnya berdampak positif terhadap kesejahteraan dan kualitas hidup para pekerja.

4. Kecelakaan Kerja

Secara umum, kecelakaan didefinisikan sebagai insiden yang terjadi akibat bahaya dan dapat mengakibatkan kerugian terhadap jiwa/raga, harta benda, atau efisiensi perusahaan. Dalam konteks pekerjaan, dikenal dua jenis kecelakaan: "kecelakaan kerja, yaitu kecelakaan yang menimpa seseorang karena hubungan kerja dan berhubungan langsung dengan bahaya pekerjaannya; dan kecelakaan dinas, yaitu kecelakaan yang terjadi karena hubungan kerja, yang mencakup insiden saat bekerja langsung maupun saat dalam perjalanan normal dari rumah menuju dan kembali dari tempat kerja.

Urutan proses terjadinya kecelakaan :

a. Kultur Lingkungan.

Kultur lingkungan, dalam hal ini berupa :

1) tingkat kematangan budaya kerja
2) pola pikir lingkungan masyarakat pada umumnya atau lingkungan tempat kerja pada khususnya
3) serta perhatian manajemen puncak dan menengah akan membentuk suatu *behavior* (paradigma, sikap, dan perilaku) para pekerjanya dalam menegakkan K3 di lingkungan kerja.

Lingkungan masarakat / tempat kerja yang secara sadar :

1) Menjunjung tinggi harkat manusia sebagai ciptaan tuhan yang paling tinggi nilainya.
2) Selalu berpikir selamat (*think safety*) di segala tindakannya, memiliki paradigma untuk memikirkan keselamatan bagi manusia maupun bagi proses produksinya.
3) Adanya komitmen yang tinggi dari manajemen untuk menegakkan K3 dsb."

b. Bahaya.

Meskipun tidak semua bahaya pasti berujung pada kecelakaan, setiap kecelakaan pada dasarnya terjadi karena adanya bahaya. Bahaya tersebut dapat bersumber dari tiga faktor utama: "tingkah laku yang tidak aman (*unsafe action*) yang dilakukan oleh individu, kondisi lingkungan kerja yang tidak aman (*unsafe condition*), atau manajemen/prosedur yang salah, tidak benar, atau bahkan tidak ada (*miss management*).

Contoh tingkah laku tak aman :

1) Bekerja mengabaikan prosedur.

2) Mengerjakan pekerjaan bukan bidangnya.
3) Bekerja tanpa kompetensi (rendah).
4) Tidak menggunakan alat keselamatan kerja.
5) Sikap tubuh yang tidak benar.
6) Bekerja dengan bersendau gurau.
7) Bekerja dengan kondisi fisik dan atau mental yang labil.
8) Bekerja dengan emosional / panik, dll.

Contoh kondisi yang tak aman :

1) Peralatan pelindung yang tak memenuhi syarat.
2) Bahan, peralatan yang aus atau rusak.
3) Kondisi lantai yang licin.
4) House keeping yang tidak tertata baik.
5) Kurang sarana pemberi tanda-tanda keselamatan kerja.
6) Keadaan udara beracun.
7) Bising.

Contoh miss manajemen :

1) Tidak tersedianya alat keselamatan kerja.
2) Tidak adanya petunjuk/prosedur kerja.
3) Tidak melakukan identifikasi bahaya dan cara penanggulangannya.
4) Tidak melakukan pembahasan tentang K3 secara terjadwal.

c. Insiden.

Sebuah kejadian yang tidak diinginkan, yang dapat berupa kecelakaan atau insiden hampir celaka (*near misses*), selalu memiliki potensi untuk menimbulkan kerugian. Kerugian yang diakibatkan dapat mencakup cidera atau kematian, kerusakan pada barang atau material, hingga penurunan efisiensi produksi perusahaan.

"Contoh kecelakaan : kejatuhan benda, terjepit, terkena listrik, terbakar."

"Contoh *near misses* : tersandung pipa atau terpeleset tanpa luka maupun rusaknya benda/barang."

d. Kerugian

Kecelakaan kerja menimbulkan kerugian bagi korban (jika ia adalah pekerja) dan perusahaan. Bagi korban, kerugian mencakup cidera, cacat tetap, atau kematian, yang

berakibat pada menurunnya atau hilangnya kesempatan memperoleh penghasilan karena hilangnya kemampuan kerja. Lebih lanjut, para korban seringkali mengalami penurunan moral dan hilangnya rasa memiliki atau tujuan dalam keluarga, lingkungan sosial, dan tempat kerja mereka. Di sisi lain, perusahaan juga mengalami kerugian yang signifikan, baik finansial maupun non-finansial. Secara finansial, mereka harus menanggung biaya terkait perawatan korban, perawatan medis, dan pembayaran kompensasi. Kerugian non-finansial dapat mencakup penurunan produktivitas akibat hilangnya jam kerja, kerusakan mesin atau material yang menghambat efisiensi produksi, dan pemborosan investasi sebelumnya yang telah dilakukan untuk mengembangkan keterampilan karyawan. Selain itu, insiden semacam itu dapat mencoreng citra dan reputasi publik perusahaan, sekaligus menyebabkan premi asuransi yang lebih tinggi dan risiko operasional dalam jangka panjang.

Untuk meminimalisasi atau mencegah kerugian yang timbul akibat kecelakaan, baik bagi individu (pekerja atau orang lain) maupun bagi perusahaan, langkah utama yang harus dilakukan adalah menghilangkan atau mengurangi sumber-sumber bahaya. Sumber bahaya ini meliputi tingkah laku yang tidak aman (*unsafe action*), kondisi lingkungan yang tidak aman (*unsafe condition*), dan kesalahan manajemen (*miss management*). Salah satu upaya penting untuk mengurangi bahaya adalah dengan melakukan identifikasi bahaya (termasuk *unsafe action, unsafe condition,* dan *miss management*) dan merumuskan tindakan atau cara untuk mengatasinya. Selain itu, setiap individu wajib untuk selalu memprioritaskan keselamatan (*think safety*) dalam setiap kegiatan kerja.

5. Kebijakan keselamatan, kesehatan kerja, keamanan, dan lingkungan

Komitmen:

PT PLN (Persero) berkomitmen:

1. Pelaksanaan kegiatan ketenagalistrikan harus dilakukan secara aman dan berwawasan lingkungan dengan mengaplikasikan standar tinggi Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Keamanan, dan Lingkungan (K3L). Penerapan K3L ini wajib selaras dengan tata nilai AKHLAK "Amanah, Kompeten, Harmonis, Loyal, Adaptif, Kolaboratif", serta memenuhi tuntutan pasar, kebutuhan dan harapan pelanggan, dan pemangku kepentingan. Semua ini dilakukan untuk mendukung tercapainya tujuan, visi, dan misi Perusahaan.

2. Bahwa tidak ada yang lebih penting dari jiwa manusia dan pengelolaan seluruh asset ketenagalistrikan akan mengutamakan aspek Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3), dengan tetap fokus pada keandalan sistem dan pelayanan kepada pelanggan.

Kebijakan:

Dalam upaya pencapaian hal tersebut dapat berjalan aman, efektif dan efisien maka PT PLN (Persero) berkomitmen:

1. Prioritaskan Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3), instalasi, dan keselamatan publik, keamanan, serta perlindungan lingkungan hidup di seluruh kegiatan operasional dan bisnis PT PLN (Persero). Aspek-aspek ini harus tertanam sebagai elemen inti dari setiap proses dan keputusan dalam organisasi.
2. Memastikan kepatuhan penuh terhadap semua hukum, peraturan, dan standar yang berlaku terkait keselamatan dan kesehatan kerja, keamanan, pengelolaan lingkungan hidup, dan keselamatan kelistrikan. Ini termasuk mematuhi pedoman nasional dan internasional untuk menjaga lingkungan kerja yang aman dan sesuai hukum.
3. Meningkatkan kinerja K3L secara berkelanjutan melalui inisiatif perbaikan yang sistematis. Inisiatif ini harus melibatkan karyawan secara aktif dalam proses pemantauan, evaluasi, dan pelaporan dengan mempertimbangkan kemajuan teknologi, kelayakan finansial, dan potensi implikasinya terhadap keseluruhan operasional perusahaan.
4. Menjamin ketersediaan sumber daya yang memadai dan mendorong pengembangan kompetensi berkelanjutan di bidang keselamatan dan kesehatan kerja, keamanan, perlindungan lingkungan hidup, dan keselamatan kelistrikan. Baik karyawan maupun mitra bisnis harus menerima dukungan dan pelatihan yang tepat untuk menegakkan budaya K3L secara efektif di seluruh organisasi. Meningkatkan kesadaran dan memberikan edukasi kepada seluruh karyawan untuk memperkuat pemahaman mereka tentang keselamatan, keamanan, dan pengelolaan lingkungan di tempat kerja. Selain itu, perusahaan harus meningkatkan kesadaran akan keselamatan lingkungan dan kelistrikan di kalangan pelanggan dan masyarakat luas.
5. Mengidentifikasi dan menilai potensi bahaya terkait K3, keamanan, dan dampak lingkungan. Langkah-langkah pencegahan harus diambil untuk menghindari insiden

yang dapat membahayakan personel, aset, operasional bisnis, keselamatan publik, atau reputasi dan integritas sosial perusahaan.

6. Menerapkan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) secara komprehensif sesuai dengan Peraturan Pemerintah No. 50 Tahun 2012 dan standar internasional ISO 45001. Sejalan dengan itu, PT PLN (Persero) harus menerapkan Sistem Manajemen Keselamatan Ketenagalistrikan (SMK2) di seluruh operasi ketenagalistrikan. Sistem ini harus didukung oleh Sistem Manajemen Keselamatan Kontraktor (CSMS) untuk pengawasan kontraktor dan praktik tata graha yang efektif di seluruh lingkungan kerja PLN.
7. Menerapkan Sistem Manajemen Keselamatan (SMP) di seluruh segmen kegiatan ketenagalistrikan PT PLN (Persero) untuk memastikan penerapan langkah-langkah keselamatan yang konsisten. Mengadopsi Sistem Manajemen Lingkungan (SML) yang komprehensif untuk memandu upaya konservasi dan pengelolaan limbah. Sistem ini mencakup penanganan limbah umum, pemanfaatan air dan sumber daya yang efisien, serta inisiatif yang mendorong pengurangan, penggunaan kembali, dan daur ulang limbah padat (baik B3 maupun non-B3), serta pengolahan air limbah yang tepat dari operasi perusahaan.
8. Berkomitmen untuk mengurangi emisi gas rumah kaca (GRK) dan non-GRK melalui program-program yang terarah seperti efisiensi energi, konservasi, dan inovasi rekayasa. Inisiatif-inisiatif ini terus ditingkatkan sejalan dengan kemajuan teknologi dan praktik pengelolaan lingkungan terbaik untuk mencapai pembangunan berkelanjutan.
9. Melaksanakan upaya pengendalian polusi dan pelestarian lingkungan terpadu yang mencakup pengelolaan kualitas udara, tanah, dan air. Program ini juga menekankan penanganan limbah B3 dan non-B3 yang tepat, pengurangan emisi, konservasi sumber daya, serta perlindungan keanekaragaman hayati dan ekosistem.
10. Menyiapkan dan menyampaikan laporan kepatuhan berkala terkait kewajiban Persetujuan Lingkungan kepada otoritas terkait—Menteri, Gubernur, atau Bupati/Walikota—dengan salinan yang diberikan kepada Badan Lingkungan Hidup. Laporan-laporan ini harus disampaikan dalam jangka waktu yang ditentukan oleh peraturan. Menerapkan sistem manajemen krisis dan darurat yang tangguh untuk

memastikan respons, pemulihan, dan keberlanjutan yang efektif jika terjadi krisis atau gangguan bisnis.

PT PLN (Persero) bertanggung jawab penuh untuk menegakkan kebijakan ini dan mengupayakan perbaikan berkelanjutan. Perusahaan juga menerapkan sistem penghargaan dan konsekuensi untuk memastikan kepatuhan. Lebih lanjut, pimpinan PT PLN (Persero) berdedikasi untuk mempromosikan, mengomunikasikan, dan memastikan bahwa kebijakan ini diterapkan secara efektif di seluruh jenjang organisasi, termasuk manajemen, karyawan, sub-holding, anak perusahaan, afiliasi, dan seluruh mitra kerja yang terlibat dalam operasional PLN.

2.1.7 Peralatan Kerja

1. Kamera CCTV tanpa kabel

Closed Circuit Television (CCTV) adalah sistem kamera pengawas yang digunakan untuk merekam, memantau, dan mengawasi aktivitas di area tertentu secara real-time atau rekaman. Kamera CCTV bekerja dalam jaringan tertutup, artinya hasil tangkapan kamera hanya bisa diakses oleh perangkat yang terhubung langsung atau melalui sistem tertentu. Teknologi ini sangat umum digunakan di berbagai tempat seperti perkantoran, pusat perbelanjaan, rumah, sekolah, pabrik, serta area publik dan proyek konstruksi sebagai bagian dari sistem keamanan dan keselamatan.

Gambar 2. 9 Kamera CCTV Wifi Tanpa Kabel

Kamera CCTV WiFi tanpa kabel adalah jenis kamera pengawas yang menggunakan jaringan nirkabel (*wireless*) untuk mengirimkan data video ke perangkat penerima seperti smartphone, komputer, atau penyimpanan cloud. Tidak seperti kamera CCTV konvensional yang memerlukan kabel koaksial dan kabel daya, kamera CCTV WiFi hanya memerlukan sumber listrik (biasanya melalui adaptor atau baterai) dan koneksi internet. Kamera ini sangat populer karena mudah dipasang tanpa harus membobol tembok atau menarik kabel panjang, sehingga cocok untuk rumah, toko kecil, kantor, atau lokasi proyek sementara.

Fitur utama dari kamera CCTV nirkabel ini meliputi akses jarak jauh melalui aplikasi mobile, penyimpanan cloud atau kartu microSD, notifikasi pergerakan secara *real-time*, hingga fitur audio dua arah (*two-way audio*). Beberapa kamera WiFi canggih juga dilengkapi dengan *Artificial Intelligence* (AI) seperti pendeteksi wajah, zona deteksi gerak khusus, dan kemampuan pelacakan objek secara otomatis. Meskipun praktis, kamera CCTV WiFi juga memiliki keterbatasan, seperti ketergantungan pada sinyal internet yang stabil dan potensi gangguan jaringan nirkabel.

Secara keseluruhan, kamera CCTV WiFi tanpa kabel merupakan solusi pengawasan modern yang efisien, mudah digunakan, dan sangat fleksibel. Teknologi ini juga mendukung praktik monitoring K3 di lokasi terbuka atau area terpencil tanpa perlu instalasi sistem kabel rumit, menjadikannya pilihan ideal dalam berbagai kebutuhan keamanan masa kini.

Kamera CCTV yang digunakan pada sistem kamera pengawas jarak jauh ini yaitu *Biota Smart Camera Battery Fixed* yang beroperasi menggunakan media transmisi jaringan Wi-Fi pada frekuensi 2.4 GHz. Kamera ini didukung oleh catu daya berupa baterai isi ulang terintegrasi dengan kapasitas sebesar 5200 mAh yang memiliki durasi pengisian daya penuh selama 6 hingga 8 jam pada tegangan input DC 5V/1A. Dalam aspek fungsionalitas visual, kamera ini memiliki resolusi sebesar 3 MPx dengan teknologi kompresi video standar H.264 untuk efisiensi penyimpanan data.

Keamanan fisik perangkat telah tersertifikasi *weatherproof* IP65, sehingga menjamin ketahanan komponen internal terhadap infiltrasi debu dan air dalam kondisi cuaca ekstrem. Fitur tambahan mencakup *Two-way Audio* melalui integrasi mikrofon dan speaker internal, sirine peringatan terintegrasi (*built-in siren*). Seluruh data rekaman dapat

disimpan melalui media penyimpanan eksternal kartu SD dengan kapasitas maksimal 128 GB, serta dapat diakses secara *remote* melalui sistem operasi Android maupun iOS di smartphone pengawas pekerjaan.

Gambar 2.10 Deskripsi Biota Smart Camera Battery Fixed

2. *Mobile Wifi Hotspot 4G LTE Modem Wireless Router*

Gambar 2. 11 *Mobile Wifi Hotspot 4G LTE Modem Wireless Router*

Mobile WiFi Hotspot 4G LTE Modem Wireless Router adalah perangkat portabel yang memungkinkan pengguna untuk mengakses internet menggunakan jaringan seluler 4G LTE dan membagikan koneksi tersebut secara nirkabel (*wireless*) ke berbagai perangkat seperti smartphone, laptop, tablet, dan perangkat IoT lainnya. Berbeda dari

modem konvensional yang terhubung melalui kabel, perangkat ini bekerja dengan cara mengubah sinyal seluler menjadi sinyal WiFi, mirip seperti router WiFi rumahan, namun lebih fleksibel dan tidak memerlukan instalasi kabel.

Perangkat ini biasanya menggunakan *Subscriber Identity Module* (SIM) card seluler, yang berarti koneksi internet tergantung pada cakupan sinyal dari operator jaringan yang digunakan. Kecepatan koneksi bisa mencapai puluhan hingga ratusan Mbps tergantung pada kualitas sinyal 4G LTE dan spesifikasi perangkat. Beberapa model juga dilengkapi dengan baterai internal, sehingga bisa digunakan secara mobile tanpa perlu listrik langsung, cocok untuk perjalanan, lokasi kerja di luar ruangan, atau daerah tanpa jaringan internet kabel.

Pada sistem kamera pengawas jarak jauh ini menggunakan Prolink DL-7202 sebagai perangkat *Portable 4G LTE Wi-Fi Hotspot* yang berfungsi sebagai *gateway* komunikasi data nirkabel dengan kemampuan transfer data berkecepatan tinggi mencapai 300 Mbps. Perangkat ini mengintegrasikan standar protokol IEEE 802.11 b/g/n pada rentang frekuensi 2400 MHz hingga 2483,5 MHz dengan daya output RF maksimal sebesar 20 dBm. Secara fungsional, perangkat ini mampu memfasilitasi akses jaringan internet secara simultan bagi maksimal 16 pengguna atau perangkat klien. Dukungan pita frekuensi yang luas, mencakup LTE TDD (Band 38/40), LTE FDD (Band 1/3/5/7/8), serta konektivitas UMTS dan GSM, memungkinkan alat ini beroperasi di berbagai wilayah geografis yang mencakup 185 negara.

Ditinjau dari aspek performa data, perangkat ini menggunakan teknologi LTE FDD Kategori 4 yang mampu memberikan kecepatan unduh (*downlink*) hingga 150 Mbps dan kecepatan unggah (*uplink*) hingga 50 Mbps. Untuk menunjang mobilitas operasional di lapangan, Prolink DL-7202 dilengkapi dengan baterai *Lithium-Ion* (Li-Ion) berkapasitas 3000 mAh yang diproyeksikan mampu beroperasi secara kontinu selama 12 jam dalam satu siklus pengisian daya penuh. Sistem pengisian daya dilakukan melalui antarmuka USB Type-C yang fleksibel untuk dihubungkan pada berbagai sumber daya portabel. Perangkat ini memiliki dimensi fisik yang kompak, yaitu 93 x 60 x 13 mm dengan bobot total 100 gram termasuk baterai, sehingga mendukung portabilitas tinggi untuk kebutuhan pemantauan teknis yang berpindah-pindah.

Dari sisi antarmuka dan kontrol, perangkat dilengkapi dengan panel LCD TFT berukuran 1,44 inci (resolusi 128 x 128) yang berfungsi sebagai indikator visual untuk status baterai, konektivitas Wi-Fi, sinyal jaringan, dan notifikasi SMS. Selain itu, terdapat fitur keamanan dan manajemen perangkat berupa tombol WPS (*Wi-Fi Protected Setup*), tombol reset, dan tombol *On / Off* fisik. Sistem ini kompatibel dengan berbagai arsitektur perangkat lunak, termasuk Windows (versi 7 hingga 10 atau yang lebih baru), Mac OS X 10.10 ke atas, serta Linux kernel 2.6+, yang menjamin integrasi lintas platform dalam lingkungan sistem informasi teknik.

3. SIM Card

Subscriber Identity Module (SIM) card adalah sebuah chip kecil berbentuk kartu yang digunakan pada perangkat seluler seperti ponsel, modem, atau router untuk mengidentifikasi pengguna ke dalam jaringan operator seluler. SIM card menyimpan informasi identitas unik pengguna, yaitu *International Mobile Subscriber Identity* (IMSI) dan kunci autentikasi, yang digunakan oleh operator untuk memberikan akses ke layanan seperti panggilan suara, *Short Message Service* (SMS), dan internet data. Kartu ini juga dapat menyimpan data lain seperti kontak, pengaturan jaringan, dan informasi layanan pelanggan.

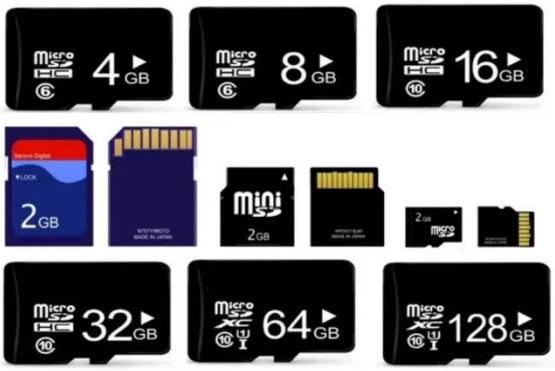
Gambar 2. 12 SIM Card

Cara kerja SIM card dimulai ketika pengguna menyalakan perangkat. Perangkat akan membaca data dari SIM card dan mengirimkan IMSI ke jaringan operator. Selanjutnya, operator akan mencocokkan data tersebut dengan database pusat untuk memastikan validitas pengguna. Jika cocok, maka jaringan akan mengirimkan token autentikasi untuk membuka akses komunikasi. Setelah proses autentikasi berhasil, pengguna dapat langsung mengakses layanan seluler. Dalam jaringan modern, SIM juga

digunakan untuk enkripsi komunikasi, sehingga data pengguna lebih aman. Dengan demikian, SIM card berfungsi sebagai kunci digital untuk mengakses jaringan seluler, dan bekerja secara otomatis untuk menghubungkan perangkat ke jaringan operator, sehingga anda dapat melakukan panggilan, mengirim SMS, dan menggunakan data seluler.

4. MicroSD Card

Micro Secure Digital (MicroSD) Card adalah jenis kartu memori portabel yang berukuran sangat kecil dan digunakan untuk menyimpan data secara digital pada berbagai perangkat seperti smartphone, kamera, tablet, drone, dan perangkat *Internet of Things* (IoT). MicroSD card menggunakan teknologi *flash memory non-volatile*, yang memungkinkan data tersimpan tanpa memerlukan sumber daya listrik. Fungsi utama microSD card adalah sebagai media penyimpanan eksternal yang dapat memperluas kapasitas penyimpanan perangkat, memungkinkan pengguna untuk menyimpan berbagai jenis file seperti foto, video, musik, aplikasi, dan dokumen penting. Selain itu, microSD card juga sering digunakan untuk mentransfer data antar perangkat, sehingga memudahkan pertukaran informasi secara fisik tanpa koneksi internet.



Gambar 2. 13 MicroSD Card

Dengan ukuran yang kecil dan kapasitas yang terus meningkat hingga terabyte, microSD card menjadi solusi praktis dan efisien untuk kebutuhan penyimpanan data di berbagai bidang, termasuk dalam aplikasi profesional seperti rekaman video berkualitas tinggi dan sistem pengawasan CCTV.

5. Tripod

Tripod adalah alat penyangga tiga kaki yang digunakan untuk menstabilkan kamera, smartphone, atau alat rekam lainnya agar dapat menghasilkan gambar atau video yang tajam dan tidak goyang. Fungsi utama tripod adalah memberikan kestabilan saat

pengambilan gambar, terutama dalam kondisi pencahayaan rendah atau saat menggunakan kecepatan rana lambat. Dengan tripod, fotografer dan videografer dapat menghindari blur akibat getaran tangan, memungkinkan pengambilan gambar dengan komposisi yang lebih presisi dan sudut yang sulit dicapai secara bebas. Selain itu, tripod juga memudahkan penggunaan kamera untuk pengambilan gambar berulang, pembuatan time-lapse, atau pemotretan grup dengan timer.

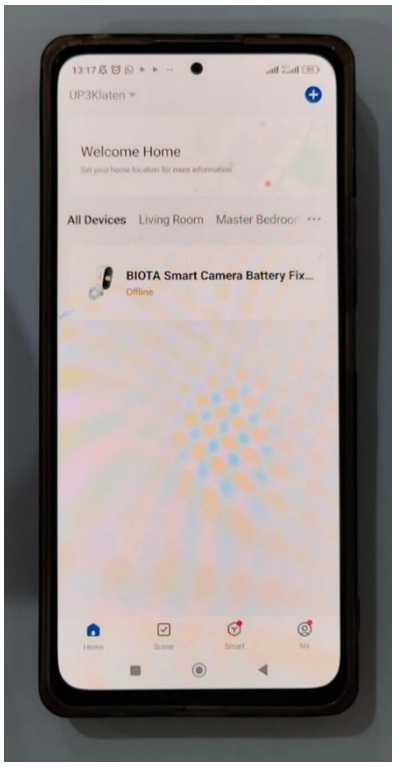
Gambar 2. 14 Tripod

6. Device (Smartphone)

Device adalah perangkat elektronik atau alat bantu yang digunakan untuk menjalankan fungsi tertentu dalam suatu sistem teknologi. *Device* merupakan komponen fisik (*hardware*) yang memungkinkan sistem untuk menerima input, memproses data, menyimpan informasi, dan menghasilkan output. Penggunaan *device* dalam konteks proyek konstruksi bertujuan untuk meningkatkan pengawasan di lapangan, mengurangi kesalahan manusia, dan mempercepat pengambilan keputusan.

Smartphone merupakan salah satu jenis device atau perangkat elektronik portabel yang memiliki kemampuan komputasi tinggi dan konektivitas jaringan, sehingga dapat digunakan untuk berbagai fungsi digital, termasuk dalam sistem pengawasan CCTV. Dalam konteks pengawasan, smartphone berperan sebagai alat bantu monitoring jarak jauh yang memungkinkan pengguna untuk mengakses tampilan kamera CCTV secara *real-time* melalui aplikasi khusus berbasis internet. *Smartphone* dapat diintegrasikan

dengan sistem CCTV berbasis IoT, sehingga pengguna dapat menerima notifikasi otomatis, melihat rekaman video, dan mengontrol kamera secara fleksibel kapan pun dan di mana pun.



Gambar 2. 15 *Device (Smartphone)*

Fungsi utama *smartphone* sebagai device dalam sistem ini adalah untuk meningkatkan efisiensi dan mobilitas dalam proses pengawasan, terutama di lingkungan konstruksi yang membutuhkan pemantauan rutin terhadap aktivitas kerja, keselamatan, dan keamanan proyek. Dengan integrasi *smartphone*, sistem CCTV tidak hanya berfungsi secara lokal, tetapi juga dapat diakses secara remote, sehingga memberikan kontrol penuh kepada pengguna meskipun berada jauh dari lokasi proyek.

2.2 KAJIAN RELEVAN

Pada penelitian, penulis melakukan tinjauan pustaka yang meliputi studi referensi dan studi yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan oleh penulis. Berikut beberapa referensi yang berkaitan dengan perancangan dan penerapan sistem kamera jarak jauh

untuk pengawasan pekerjaan konstruksi dan keselamatan kerja pada proyek jaringan PLN.

Pada tahun 2022, (Vivi Sahfitri, 2022) melakukan penelitian berjudul yaitu "**RANCANG BANGUN SISTEM INFORMASI PENGAWASAN PEMASANGAN JARINGAN LISTRIK PADA PT.PLN (Persero) AREA PALEMBANG"** Diterbitkan dalam "Jurnal Ilmiah Matrik", Volume 24, Nomor 2 (ISSN: 1411-1624; e-ISSN: 2621-8089), penelitian ini berfokus pada "perancangan dan pengembangan sistem aplikasi" yang dimaksudkan untuk membantu "PT. PLN (Persero)" dalam mengawasi pemasangan jaringan listrik yang dilakukan oleh vendor pihak ketiga. Penelitian ini mengadopsi "pendekatan penelitian pengembangan", yang bertujuan untuk meningkatkan atau menyempurnakan pengetahuan yang ada melalui penciptaan solusi praktis. "Model rekayasa web" berfungsi sebagai fondasi bagi proses pengembangan sistem. Hasil dari penelitian ini adalah terciptanya "sistem informasi untuk memantau dan mengelola pemasangan jaringan listrik", yang memungkinkan PT. PLN (Persero) untuk "mencatat, melacak, dan mengawasi" tugas-tugas yang dilakukan oleh vendor secara efisien. Melalui sistem ini, perusahaan dapat meningkatkan kinerja operasional, memastikan akurasi yang lebih tinggi dalam pengawasan, dan pada akhirnya "meningkatkan kepuasan pelanggan" dengan memberikan hasil layanan yang lebih andal dan transparan.

Pada tahun 2022, (Salianto, Mushtofainal Akhyar, dan Muhammad Subhan, 2022) melakukan penelitian berjudul yaitu "**Evaluasi penerapan keselamatan dan kesehatan kerja (K3) berdasarkan sistem manajemen keselamatan dan kesehatan kerja (SMK3) : studi literature"** Diterbitkan dalam Jurnal Ilmiah Multidisiplin Indonesia, Vol. 1 No. 6, ISSN: 2829-7466 (Cetak), ISSN: 2829-632X, studi ini menyoroti pentingnya penerapan Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3), terutama di perusahaan yang terlibat langsung di sektor konstruksi. Menjamin keselamatan, kenyamanan, dan keamanan karyawan sangat penting dalam lingkungan kerja berisiko tinggi tersebut. Mengingat pesatnya perkembangan konstruksi di Indonesia, kebutuhan untuk mengelola dan memitigasi risiko kecelakaan kerja menjadi semakin mendesak. Meskipun demikian, penerapan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) yang sebenarnya seringkali terabaikan, terbukti dari tingginya angka kecelakaan kerja. Di Indonesia, kecelakaan kerja dilaporkan terjadi setiap tujuh detik ("K3 Masih Dianggap

Sepele," Warta Ekonomi, 2 Juni 2006). Artikel ini menggunakan metodologi tinjauan pustaka, dengan fokus pada artikel penelitian yang diambil menggunakan kata kunci seperti SMK3, kecelakaan kerja, dan pekerja dari basis data Google Scholar dan ScienceDirect. Pendekatan komprehensif diadopsi, termasuk pencarian basis data dan sumber daya berbasis internet, untuk mengumpulkan informasi yang relevan. Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) berfungsi sebagai tindakan pencegahan terhadap kecelakaan kerja dan penyakit akibat kerja sekaligus mempromosikan lingkungan kerja yang aman dan nyaman. Mandat ini didukung oleh Peraturan Menteri Ketenagakerjaan No. 5 Tahun 1996, "yang mewajibkan semua perusahaan yang mempekerjakan lebih dari 100 pekerja atau menangani bahan yang berpotensi berbahaya untuk menerapkan SMK3." Temuan studi ini menggarisbawahi peran penting Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) dan SMK3 dalam mengurangi kecelakaan kerja. Menerapkan sistem ini tidak hanya meningkatkan keselamatan dan kenyamanan pekerja tetapi juga berdampak pada produktivitas dan kinerja organisasi secara keseluruhan. Terjadinya kecelakaan kerja yang terus-menerus menyoroti perlunya adopsi dan pemantauan praktik K3 dan SMK3 yang lebih ketat di dalam perusahaan, khususnya di sektor konstruksi.

Pada tahun 2023, (Sukoco, D. I., & Puariesthaufani, 2023) melakukan penelitian berjudul yaitu **“EFEKTIFITAS APLIKASI INSPEKTA DALAM PENINGKATAN BUDAYA K3 DI PLN ULP KISARAN”** Diterbitkan dalam J-Com (Jurnal Komputer), Vol. 3, no. 3, ISSN 2775-801X, penelitian ini mengkaji efektivitas Aplikasi Inspekta dalam meningkatkan budaya keselamatan dan kesehatan kerja (K3) di PLN ULP Kisaran. Dengan menggunakan pendekatan metode campuran yang mengintegrasikan tinjauan pustaka, survei kuesioner, dan analisis statistik, penelitian ini mengumpulkan dan mengkaji data komprehensif yang relevan dengan topik. Temuan dari tinjauan pustaka, observasi langsung, dan wawancara partisipatif menunjukkan bahwa Aplikasi Inspekta menerima respons yang sangat positif, dengan rata-rata indikator respons melebihi 50%. Hal ini menunjukkan peran signifikannya dalam memperkuat pemahaman karyawan tentang prinsip-prinsip K3 di lingkungan kerja PLN. Lebih lanjut, implementasi Aplikasi Inspekta telah terbukti memfasilitasi identifikasi potensi bahaya K3, mendorong pelaporan risiko, dan memungkinkan tindakan tindak lanjut yang cepat melalui transfer

informasi teknologi yang efisien. Secara kolektif, hasil-hasil ini berkontribusi pada pengurangan kecelakaan kerja dan pengembangan budaya keselamatan yang lebih aman, lebih sehat, dan lebih proaktif.

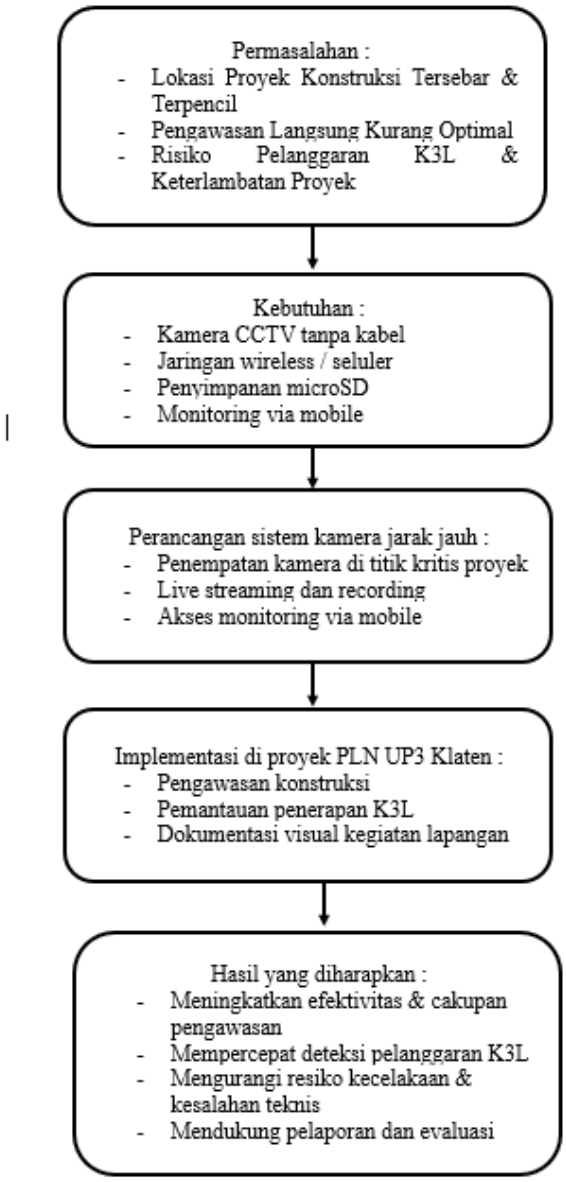
2.3 KERANGKA PEMIKIRAN

Dalam proyek pembangunan jaringan listrik oleh PLN, kegiatan konstruksi umumnya berlangsung di berbagai lokasi yang tersebar dan terkadang berada di daerah terpencil. Kondisi ini menyebabkan pengawasan langsung oleh pihak pengawas proyek menjadi kurang optimal, terutama dalam hal pemantauan progres pekerjaan dan penerapan prinsip-prinsip Keselamatan, Kesehatan Kerja, dan Lingkungan (K3L). Sementara itu, aspek K3L merupakan bagian penting yang harus ditegakkan secara konsisten guna mencegah terjadinya kecelakaan kerja, kerusakan lingkungan, maupun keterlambatan proyek pembanguann jaringan listrik akibat kelalaian. Oleh karena itu, dibutuhkan sistem pengawasan yang mampu bekerja secara jarak jauh dan real-time untuk mendukung efektivitas pengawasan di lapangan.

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi, khususnya di bidang kamera pengawas dan sistem monitoring berbasis jaringan, membuka peluang untuk diterapkannya sistem kamera jarak jauh dalam mendukung pengawasan proyek. Sistem ini memungkinkan pihak pengawas atau manajemen proyek untuk memantau kegiatan konstruksi secara langsung dari pusat kontrol, bahkan dari perangkat mobile, tanpa harus berada di lokasi. Dengan memanfaatkan teknologi seperti IP camera, jaringan wireless atau seluler, serta sistem penyimpanan berbasis *MicroSD card*, pengawasan dapat dilakukan lebih fleksibel dan efisien.

Melalui perancangan dan penerapan sistem kamera jarak jauh yang tepat, diharapkan pengawasan terhadap kegiatan konstruksi dan implementasi K3L di lapangan dapat dilakukan secara lebih efektif. Sistem ini tidak hanya berfungsi sebagai alat monitoring, tetapi juga sebagai sarana dokumentasi visual yang dapat digunakan untuk evaluasi, pelaporan, serta tindak lanjut terhadap potensi pelanggaran K3L. Dengan demikian, proyek ini bertujuan untuk merancang dan menerapkan sebuah sistem pengawasan yang mampu menjawab tantangan pengawasan lapangan dalam proyek

jaringan listrik PLN, khususnya dalam mendukung penerapan standar K3L secara lebih terintegrasi dan responsif.



Gambar 2. 16 Kerangka Pemikrian