

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Sistem Distribusi



Gambar 2.1 Sistem Distribusi

Sumber : PLN.ac.id

Secara umum, sistem tenaga listrik yang lengkap terdiri dari empat komponen utama. Pertama, terdapat elemen pembangkit listrik, di mana tegangan yang dihasilkan oleh pembangkit listrik biasanya berupa tegangan menengah (TM). Kedua, sistem transmisi yang dilengkapi dengan gardu induk. Mengingat jarak yang relatif jauh, penerapan tegangan tinggi (TT) atau tegangan ekstra tinggi (TET) diperlukan. Ketiga, saluran distribusi, yang umumnya meliputi tegangan menengah beserta transformator dan panel distribusi tegangan rendah (380 V dan 220 V), yang menyediakan tegangan operasional atau jaringan untuk kebutuhan industri dan konsumen rumah tangga. Sistem distribusi ini dapat diklasifikasikan menjadi dua tingkatan, yaitu:

1. Sistem distribusi primer juga dikenal sebagai Jaringan Tegangan Menengah (JTM). Dalam proses penyaluran tenaga listrik kepada konsumen di suatu wilayah, penerapan Sistem Tegangan Menengah sebagai jaringan utama merupakan langkah krusial untuk meminimalkan susut transmisi, sekaligus memenuhi standar mutu tegangan yang dipersyaratkan oleh PT PLN (Persero) sebagai pemegang Kuasa Usaha Utama sesuai dengan ketentuan Undang-Undang Ketenagalistrikan Nomor 30 Tahun 2009.
2. Jaringan Distribusi Sekunder, juga dikenal sebagai Jaringan Distribusi Tegangan Rendah (JTR), adalah bagian hilir dari sistem tenaga listrik dan berfungsi sebagai jaringan distribusi dengan tegangan rendah yang bermula dari transformator distribusi dan sampai ke kWh meter konsumen. Jaringan distribusi sekunder adalah sistem jaringan distribusi dengan tegangan rendah yang ditempatkan seperti jaringan tegangan rendah. PT. PLN

(Persero) menggunakan tegangan rendah 127/220 V dan 220/380 V.

2.1.2 Komponen Utama Jaringan Distribusi

1. Gardu Induk

Gardu Induk merupakan titik awal sistem distribusi. Fungsi Gardu Induk yaitu menurunkan tegangan dari sistem transmisi (150 kV / 500 kV) menjadi tegangan menengah (20 kV). Beberapa komponen yang ada pada Gardu Induk yaitu:

- a. Transformator daya → Menurunkan tegangan tinggi ke tegangan menengah.



Gambar 2.2 Transformator daya

Sumber : PLN.ac.id

- b. *Circuit Breaker* (PMT) → Memutus arus saat terjadi gangguan.



Gambar 2.3 *Circuit Breaker* (PMT)

Sumber : PLN.ac.id

- c. *Disconnecting Switch* (PMS) → Mengisolasi peralatan saat pemeliharaan.



Gambar 2.4 *Disconnecting Switch* (PMS)
Sumber : PLN.ac.id

- d. *Current Transformer* (CT) → Mengukur arus.



Gambar 2.5 *Current Transformer* (CT)
Sumber : PLN.ac.id

e. *Potential Transformer* (PT) → Mengukur tegangan.



Gambar 2.6 *Potential Transformer*

Sumber : PLN. ac.id

f. *Lightning Arrester* (LA) → Melindungi dari lonjakan tegangan akibat petir.



Gambar 2.7 *Lightning Arrester*

Sumber : PLN.ac.id

g. *Busbar* → Penghantar utama yang menghubungkan antar peralatan



Gambar 2.8 Lightning Arrester

Sumber : PLN.ac.id

2. Gardu Distribusi

Gardu distribusi adalah suatu bangunan gardu listrik yang terdiri dari instalasi panel Hubung Bagi Tegangan Menengah (PHB-TM), Trafo distribusi, dan panel Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB-TR) untuk memasok kebutuhan daya listrik para pelanggan baik dengan Tegangan Menengah (TM 20 kV) maupun Tegangan Rendah (TR 220/380). Fungsi gardu distribusi yaitu : Menurunkan tegangan dari jaringan distribusi utama (menengah) ke tegangan yang aman dan bisa digunakan oleh konsumen (rendah). Mengatur dan mendistribusikan listrik ke pelanggan di wilayah tertentu. Melindungi peralatan dan jaringan dari gangguan seperti hubung singkat atau beban lebih. Adapun Jenis-Jenis gardu distribusi yaitu:

- a. Gardu Beton adalah gardu distribusi yang seluruh komponen utamanya (seperti transformator dan peralatan proteksi) dirangkai di dalam sebuah bangunan sipil permanen yang terbuat dari pasangan batu dan beton.



Gambar 2.9 Gardu Beton

Sumber : PLN.ac.id

- b. Gardu Kios adalah gardu distribusi tenaga listrik yang seluruh komponen utamanya (trafo, kubikel tegangan menengah, dan panel tegangan rendah) terpasang di dalam sebuah bangunan prefabrikasi yang ringkas dan dapat dipindahkan.



Gambar 2.10 Gardu Kios

Sumber : PLN.ac.id

- c. Gardu Cantol adalah jenis gardu distribusi tenaga listrik yang seluruh komponennya, mulai dari transformator hingga peralatan proteksi, dipasang atau "dicantolkan" pada satu tiang listrik tunggal.



Gambar 2. 11 Gardu Cantol

Sumber : PLN.ac.id

3. Transformator Distribusi adalah perangkat elektrostatis yang bertanggung jawab untuk menurunkan tegangan menengah (atau tinggi) menjadi tegangan rendah (seperti 220V atau 380V) untuk memenuhi kebutuhan rumah tangga dan industri. Perangkat ini menandai tahap akhir dalam sistem distribusi listrik, biasanya dipasang pada tiang atau gardu induk, dan beroperasi dengan beban variabel, dengan kapasitas umumnya kurang dari 500 kVA. Berikut adalah poin-poin penting tentang transformator distribusi:

- a. Fungsi: Mengubah tegangan distribusi (menengah) menjadi tegangan aman untuk konsumen akhir (rendah) melalui induksi elektromagnetik.
- b. Jenis Utama: Biasanya diklasifikasikan sebagai transformator berpendingin oli dan tipe kering, dan dibedakan berdasarkan jumlah fasa (fasa tunggal atau tiga fasa).
- c. Instalasi: Biasanya dipasang pada tiang utilitas (dipasang di tiang) atau dipasang di alas di area perumahan dan industri.
- d. Komponen: Terbuat dari inti besi, gulungan (primer dan sekunder), bahan pendingin, bushing, pengubah tap, dan perangkat pengaman seperti sekering.



Gambar 2.12 Transformator Distribusi

Sumber : PLN.ac.id

4. Konduktor atau Kabel Kabel listrik adalah konduktor yang terbuat dari bahan penghantar, biasanya tembaga atau aluminium, yang dibungkus dengan isolator untuk mentransmisikan arus listrik dengan aman dari satu lokasi ke lokasi lain. Bahan ini kaya akan elektron bebas, yang memfasilitasi pergerakan muatan listrik yang lancar di dalamnya.



Gambar 2.13 Konduktor

Sumber : PLN.ac.id

5. Tiang Merupakan bagian jaringan distribusi tegangan menengah yang berfungsi sebagai penopang / penyangga penghantar. Tiang listrik harus memiliki daya mekanis yang tinggi sehingga dapat menahan beban tarikan penghantar atau terpaan angin. Berdasarkan bahannya, tiang listrik dibedakan menjadi 2 jenis:
- a. Tiang Besi adalah elemen struktural berupa potongan panjang (seperti profil baja, pipa, atau rongga) yang terbuat dari baja atau besi, dan berfungsi sebagai penopang beban utama untuk bangunan, fondasi, atau penyangga utilitas.



Gambar 2. 14 Tiang Besi

Sumber : PLN.ac.id

- b. Tiang Beton adalah komponen struktural berupa batang panjang, terbuat dari kombinasi beton dan tulangan baja, dan berperan dalam menopang beban bangunan, jembatan, atau infrastruktur lainnya sekaligus mentransfernya ke lapisan tanah yang kokoh.



Gambar 2.15 Tiang Beton

Sumber : PLN.ac.id

6. Peralatan proteksi

- a. Fuse/ Sekring adalah perangkat keselamatan listrik yang secara otomatis memutuskan sirkuit ketika arus listrik melebihi batas yang diizinkan. Sekring bekerja dengan melelehkan elemen penghantar di dalamnya karena panas yang dihasilkan oleh arus berlebih.



Gambar 2.16 Fuse/Sekring

Sumber : PLN.ac.id

- b. *Recloser* adalah perangkat pengaman otomatis dalam sistem distribusi listrik yang secara otomatis memutus dan menyambungkan kembali arus listrik ketika terjadi gangguan sementara.

Recloser biasanya dipasang pada jaringan tegangan menengah (seperti 20 kV) pada saluran distribusi.



Gambar 2. 17 Recloser

Sumber : PLN.ac.id

- c. **Circuit Breaker** atau Pemutus sirkuit (CB) adalah perangkat keselamatan listrik yang memutuskan dan menyambungkan kembali jaringan listrik, baik secara otomatis maupun manual, khususnya ketika terjadi masalah seperti: Hubungan pendek, Beban berlebih dan Gangguan arus tanah. Tidak seperti sekering yang hanya dapat digunakan sekali, pemutus sirkuit dapat digunakan kembali (diatur ulang) setelah kerusakan diperbaiki.
- d. **Lightning Arrester** adalah perangkat pengamanan dalam sistem tenaga listrik yang melindungi peralatan listrik dari tegangan berlebih yang disebabkan oleh: Sambaran petir langsung, Sambaran petir tidak langsung (petir induksi) dan Lonjakan tegangan akibat pengoperasian sakelar (lonjakan yang disebabkan oleh pengoperasian sakelar). Penangkal petir bekerja dengan mengarahkan tegangan berlebih ke tanah (pembumian) untuk mencegah kerusakan pada peralatan seperti transformator, isolator, atau panel listrik.



Gambar 2.18 Lightning Arrester

Sumber : PLN.ac.id

2.1.3 Pemeliharaan Dalam Kondisi Bertegangan

PDKB (Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan) seperti dikenal di Indonesia, terutama dilingkungan PT PLN (Persero) adalah pekerjaan dalam kondisi bertegangan (*hot line maintenance*), dimana pekerjaan ini biasanya menggunakan peralatan-peralatan yang sifatnya isolasi dengan tingkat ketahanan tegangan tertentu, untuk dapat melaksanakan pekerjaan pemeliharaan pada jaringan listrik terutama untuk tegangan menengah (TM) dan tegangan tinggi (TT).

Personil PDKB terbagi menjadi dua kompetensi bidang, yaitu bidang metode berjarak dan bidang metode sentuh langsung dengan kompetensi 5 level. Adapun beberapa metode kerja yaitu :

1. Metode *Barehand* (Sentuh Langsung)

Metode tanpa alat pelindung diri (*barehand method*) telah dikenal sejak tahun 1837, ketika Michael Faraday menemukan bahwa ruang tertutup yang terbuat dari bahan konduktif dapat menghalangi pengaruh medan listrik statis eksternal. Medan listrik statis eksternal akan memicu pergerakan dan redistribusi muatan listrik pada permukaan bahan konduktif, sehingga menghilangkan efek medan

listrik di dalam ruang tersebut. Prinsip ini dikenal sebagai Sangkar Faraday. Berdasarkan teori ini, seorang pekerja dapat terpapar kondisi tegangan tinggi tanpa mengalami bahaya, selama mereka dilindungi oleh sistem yang berfungsi seperti Sangkar Faraday dan terhubung ke konduktor yang bertegangan, memungkinkan mereka untuk bekerja langsung pada konduktor tersebut. Dalam metode tanpa alat pelindung diri, setiap pekerja diharuskan mengenakan alat pelindung diri berupa sarung tangan isolasi, pelindung lengan isolasi, sepatu kerja isolasi, dan kendaraan kerja isolasi. Tim Direct Touch PDKB adalah unit khusus yang melakukan perbaikan jaringan dengan menyentuh langsung jaringan yang bertegangan. Sebagai contoh, pada pekerjaan PDKB (Medium Voltage) dengan tegangan 70.000 volt, tim menggunakan truk derek berinsulasi yang mampu menahan tegangan hingga 24.000 volt untuk mengangkat personel di dekat saluran listrik. Selain itu, digunakan lengan berinsulasi dengan resistansi hingga 130 kV dan ember berinsulasi dengan kapasitas hingga 40 kV. Seluruh personel diwajibkan mengenakan pelindung lengan berinsulasi 40 kV, sarung tangan berinsulasi 30 kV, dan sepatu bot berinsulasi 30 kV. Keunggulan utama tim terletak pada efektivitasnya, yang dapat hingga tiga kali lebih besar daripada metode konvensional.



Gambar 2.19 PDKB Metode Sentuh Langsung

Sumber : PDKB. Id

2. Metode Hot Stick (Tongkat Berisolasi)

Metode Hot Stick adalah teknik kerja di mana operator bekerja dari sisi menara sambil terisolasi dari konduktor yang bertegangan. Metode ini menggunakan tongkat khusus (hot stick) dengan panjang dan jarak aman tertentu sehingga pekerjaan dapat dilakukan tanpa risiko kontak langsung dengan listrik. Metode hot stick juga dapat dikombinasikan dengan metode tangan kosong jika keduanya saling melengkapi dan meningkatkan efisiensi kerja. Peralatan hot stick yang digunakan umumnya terbuat dari Fiberglass Reinforced Plastic (FRP), yaitu bahan plastik yang diperkuat dengan fiberglass, sehingga memberikan kekuatan mekanik dan isolasi listrik yang baik. Menurut Pedoman PDKB (Pedoman Umum Pemeliharaan Transmisi TT/TET dengan PDKB) Edisi 01 oleh PT PLN (Persero) Pusat Distribusi dan Pengaturan Beban Jawa-Bali tahun 2005, Bab 2.3.2, halaman 8, menjelaskan bahwa PDKB-TM dapat dilakukan dari jarak jauh, menggunakan tongkat khusus tanpa kontak langsung dengan jaringan listrik yang bertegangan.



Gambar 2. 20 PDKB Metode Berjarak

Sumber : PDKB. Id

3. Jarak Aman Minimum.

Jarak aman minimum dalam metode Kerja di Bawah Tegangan (PDKB) adalah jarak terpendek yang diizinkan antara tubuh pekerja atau peralatan dengan komponen yang bertegangan untuk mencegah lonjakan listrik (flashover) dan kegagalan isolasi. Penentuan jarak ini sangat penting karena pekerjaan dilakukan tanpa pemadaman listrik, sehingga potensi sengatan listrik dan kilatan busur listrik tetap ada jika prosedur keselamatan tidak diikuti dengan benar. Dalam sistem distribusi tegangan menengah 20 kV, jarak aman minimum ditentukan berdasarkan standar keselamatan internasional seperti IEC dan standar internal PLN (SPLN). Penentuan tersebut mempertimbangkan berbagai aspek teknis, termasuk kondisi tegangan kerja, tingkat isolasi peralatan, faktor lingkungan, dan kemungkinan lonjakan listrik karena kondisi tertentu.

- a. Besarnya tegangan nominal sistem
- b. Tegangan lebih (overvoltage) akibat switching atau petir
- c. Kondisi lingkungan (kelembaban, polusi, ketinggian)
- d. Metode kerja yang digunakan (sentuh langsung, berjarak, atau barehand)
- e. Kelas isolasi peralatan yang digunakan

Untuk komponen hantar tertentu (penghantar fase struktur hantar dari jenis apa saja), yang potensialnya berbeda dari potensial pekerja, jarak aman minimum di udara adalah "D" yang merupakan jumlah dari jarak tegangan dan jarak lindung.

4. Jarak Tegangan

Jarak tegangan adalah jarak antara fase ke bumi "t" atau jarak antara fase ke fase "T" sesuai kasusnya. Jarak ini merupakan jarak minimum teoritis yang harus diperhatikan untuk menghindari setiap bahaya loncat (flashover) dalam kondisi tanpa gawai (pelindung, penyekat dsb) yang memadai. Untuk berbagai tegangan nominal yang lebih umum dipergunakan, jarak tegangan fase

ke bumi “t” dan jaarak tegangan antar fase “T” yang dinyatakan dalam meter, dengan “U” sebagai tegangan nominal sistem dalam kV.

Tabel 2.1 Ketentuan Jarak Tegangan sesuai SPLN

Tegangan	T (meter) Fasa ke netral (ground)	T (meter) Fasa ke Fasa
110 volt sampai 220 volt	0	0
≤ 22 kV	0.10	0.30
30 kV	0.20	0.40
66 kV	0.30	0.50
150 kV	0.80	1.30
275 kV	1.50	2.60
500 kV	2.90	5.70

5. Jarak lindung "g"

Ketentuan ini dirancang untuk menghilangkan kebutuhan pekerja untuk terus-menerus menyesuaikan jarak mereka ke tegangan, sehingga mereka dapat fokus pada tugas mereka sambil terlindungi dari risiko pergerakan yang tidak disengaja. Jarak aman yang ditentukan adalah 0,3 meter untuk kategori I dan 0,5 meter untuk kategori II dan III. Untuk berbagai tingkat tegangan nominal yang umum digunakan, terdapat jarak aman minimum "D" (fase-ke-fase) dan "d" (fase-ke-tanah). Meskipun jarak aman minimum ini terpenuhi, pekerja harus tetap sejauh mungkin dari bagian-bagian dengan potensial yang berbeda. Misalnya, pekerja di tangga isolasi masih dianggap berada pada potensial tanah karena peralatan isolasi yang digunakan dianggap tidak lengkap. Oleh karena itu, menjaga jarak aman dari komponen yang bertegangan sangat penting untuk keselamatan kerja dan hasil yang optimal.

Tabel 2.2 Jarak aman minimal menurut SPLN

Tegangan	d (meter) Fasa ke netral (ground)	D (meter) Fasa ke Fasa
110 volt sampai 220 volt	0.30	0.30
≤ 22 kV	0.60	0.80
30 Kv	0.70	0.90
66 kV	0.80	1.00
150 kV	1.30	1.80
275 kV	2.00	3.10
500 kV	3.40	6.20

6. Daerah Terlarang.

Area terlarang adalah area yang tidak boleh dimasuki pekerja tanpa perlindungan yang memadai terhadap tingkat tegangan. Area ini hanya dapat diakses menggunakan peralatan atau perangkat khusus yang memenuhi persyaratan untuk bekerja di bawah tegangan. Area terlarang mencakup semua titik yang terletak pada jarak kurang dari batas tegangan "t" atau "T" dari konduktor yang terbuka atau konduktor dengan isolasi yang tidak sempurna, terutama di mana terdapat perbedaan potensial antara pekerja dan konduktor. Namun, area terlarang dapat dikurangi dengan menggunakan perangkat pelindung tertentu, sehingga mencegah risiko percikan api atau kontak langsung antara pekerja dan konduktor dengan perbedaan potensial.

7. Cuaca

Kondisi udara yang terjadi di suatu daerah atau wilayah dalam periode waktu tertentu. Cuaca hanya terjadi dalam waktu singkat yaitu hanya beberapa jam yang disebabkan oleh adanya perbedaan suhu dan kelembaban (tingkat kebasahan udara). Faktor Lingkungan yang Mempengaruhi MAD :

- a. Kelembaban : Udara lembab menurunkan kekuatan isolasi → jarak aman perlu diperbesar.
- b. Polusi dan Debu : Polusi menyebabkan tracking pada permukaan isolator dan meningkatkan risiko flashover.
- c. Ketinggian Tempat : Semakin tinggi lokasi, semakin rendah densitas udara → kekuatan isolasi turun → MAD ditambah.
- d. Tegangan Lebih (Overvoltage) : Switching dan sambaran petir dapat menaikkan tegangan sesaat hingga 1,2–1,5 kali nominal.

Tabel 2.3 Pekerjaan Berdasarkan Kondisi Cuaca

PEKERJAAN BERDASARKAN KONDISI CUACA	
Baik	Pekerjaan dapat dilakukan dan diselesaikan.
Hujan dan angin kencang (Badai)	Pekerjaan tidak dapat dilakukan dan pekerjaan yang telah dilakukan harus dihentikan atau ditunda.
Ber-angin	Periksa apakah kondisi tersebut masih dapat melakukan pekerjaan atau tidak dapat dilanjutkan.
Cuaca baik dan tiba-tiba turun hujan	Periksa pekerjaan dapat diselesaikan dengan cepat dan jika tidak pekerjaan harus dihentikan.
Kering dan berkabut	Hindari melakukan pekerjaan, kecuali hanya pekerja yang dapat diselesaikan

	dengan cepat seperti penggantian isolator tumpu (jika perlu)
Lembab dan Berkabut	Jangan melakukan pekerjaan

2.1.4 Persyaratan PDKB

Syarat umum untuk Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) harus berdasarkan.Pedoman PDKB (Pedoman Umum Pemeliharaan Transmisi TT/TET dengan PDKB).Edisi 01 PT. PLN (Persero) Penyaluran dan Pusat Pengaturan Beban Jawa Bali 2005. Bab 2.1 Hal.7 Prosedur danInstruksi Kerja yang telah DISAHKAN, serta peralatan yang telah lulus uji oleh Lembaga Sertifikasi.

1. Penerima Surat Penunjukkan Pengawas Pekerjaan Bertegangan (SP3B) dan Surat Perintah melaksanakan Pekerjaan Bertegangan (SP2B) bertanggung jawab terhadap pelaksanaan PDKB, meliputi : Prosedur, Instruksi Kerja, Peralatan, dan Material yang digunakan.
2. Pelaksanaan PDKB adalah pengembangan dari pekerjaan padam (off line)
3. PDKB tidak boleh dilaksanakan pada pekerjaan yang tidak terencana.
4. Pengawas K3 bertanggung jawab atas keselamatan pelaksana, peralatan, dan pelaksanaan pekerjaan.
5. Keselamatan pribadi menjadi tanggung jawab masing-masing.
6. Dalam melaksanakan pekerjaan tidak diperbolehkan ada dua kegiatan yang dapat saling mempengaruhi pergerakan konduktor bila terjadi kegagalan peralatan atau material.
7. Semua peralatan harus lulus uji setiap 6 bulan sekali.
8. Semua pelaksana PDKB harus diperiksa kesehatannya (general check up) setiap satu tahun sekali.

2.1.5 Peralatan Pemeliharaan PDKB-TM Sentuh Langsung

Dalam PDKB-TM Sentuh Langsung peralatan yang digunakan telah diuji dengan tegangan 100 kV per 30 cm. Peralatan yang ada, berisolasi dan harus di uji tegangan secara berkala, sehingga jika terjadi kebocoran cepat diketahui. Pada PDKB PT. PLN UP3 Kupang, peralatan kerja dilakukan pemeriksaan setiap dua minggu sekali. Secara umum peralatan PDKB-TM Sentuh Langsung yang digunakan antara lain sebagai berikut:

1. **Hook Pole** adalah peralatan yang digunakan untuk pemasangan dan pembongkaran peralatan yang akan dipasang di konduktor bertegangan. Hook pole adalah salah satu peralatan utama dalam metode Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) yang digunakan untuk menarik, menggeser, membuka, atau mengait konduktor maupun peralatan jaringan tanpa kontak langsung dengan tangan pekerja. Hook pole termasuk kategori hot stick equipment, yaitu peralatan berisolasi yang dirancang untuk menjaga jarak aman antara pekerja dan bagian bertegangan pada jaringan distribusi tegangan menengah (20 kV). Dalam pekerjaan PDKB-TM (Tegangan Menengah), hook pole digunakan untuk mendukung metode sentuh langsung maupun metode berjarak.

Hook pole memiliki beberapa fungsi utama dalam pekerjaan jaringan 20 kV, antara lain:

- a. Mengait dan memposisikan konduktor saat pemasangan atau pelepasan.
- b. Membantu membuka atau menutup peralatan seperti fuse cut out (FCO) atau LBS.
- c. Menarik conductor cover atau insulating blanket.
- d. Mengatur jarak konduktor saat proses pengamanan zona kerja.
- e. Membantu evakuasi alat atau material dari area bertegangan.

Penggunaan hook pole bertujuan untuk menjaga **Minimum Approach Distance (MAD)** serta mengurangi risiko sengatan listrik.

Konstruksi dan Bagian Hook Pole umumnya terdiri dari beberapa bagian utama:

- a. **Ujung Kait (Hook Head)** Terbuat dari logam berkekuatan tinggi (biasanya alloy atau baja galvanis), Dirancang berbentuk lengkung untuk mengait konduktor atau komponen jaringan. Dan Didesain agar tidak mudah lepas saat digunakan.
- b. **Batang Isolasi (Insulating Pole)** Terbuat dari **fiberglass reinforced plastic (FRP)**, Memiliki daya tahan mekanis tinggi dan isolasi listrik yang baik dan Permukaan dilapisi resin epoksi untuk meningkatkan ketahanan terhadap kelembaban dan polusi.
- c. **Grip/Handle** Bagian pegangan pekerja. Biasanya dilengkapi batas pegangan aman (limit mark) untuk mencegah tangan melewati zona aman.

Spesifikasi Teknis Hook Pole untuk 20 kV. Beberapa parameter teknis hook pole pada jaringan distribusi 20 kV:

- Rating tegangan kerja: ≥ 20 kV
- Tegangan uji dielektrik: dapat mencapai 50–100 kV selama 1 menit
- Panjang efektif: $\pm 1,5$ m – 3 m (tergantung jenis pekerjaan)
- Bahan isolasi: fiberglass epoxy
- Standar rujukan: IEC 60832 dan standar internal PLN (SPLN)

Panjang isolasi disesuaikan agar memenuhi jarak aman minimum terhadap bagian bertegangan.

Prinsip Kerja Hook Pole berdasarkan dua prinsip utama:

- a. Prinsip Isolasi Listrik : Batang fiberglass mencegah arus listrik mengalir dari bagian bertegangan ke tubuh pekerja.
- b. Prinsip Jarak Isolasi Udara : Dengan panjang tertentu, hook pole menjaga tubuh pekerja tetap berada di luar zona jarak aman minimum.

Kombinasi kedua prinsip ini memberikan perlindungan ganda: isolasi padat (material pole) dan isolasi udara.



Gambar 2.21 Hook Pole

Sumber : PDKB.Id

2. Rubber Glove

Sarung tangan karet adalah sarung tangan khusus yang terbuat dari karet isolasi untuk melindungi tangan pekerja listrik dari risiko sengatan listrik saat menangani peralatan tegangan tinggi. Material ini memiliki sifat isolasi yang efektif, mencegah aliran arus listrik ke tubuh. Sarung tangan karet, atau sarung tangan isolasi listrik, termasuk di antara Alat Pelindung Diri (APD) terpenting yang digunakan dalam metode Kerja di Bawah Tegangan (PDKB), terutama dalam metode kontak langsung (metode sarung tangan). Sarung tangan ini dirancang dari karet isolasi khusus yang mampu menahan tingkat tegangan tertentu, sehingga memberikan perlindungan ketika pekerja bersentuhan langsung dengan bagian-bagian yang bertegangan dari jaringan distribusi 20 kV. Dalam sistem distribusi tegangan menengah 20 kV, penggunaan sarung tangan karet adalah perlindungan utama karena pekerja bersentuhan langsung dengan konduktor yang bertegangan, dengan tangan mereka bertindak sebagai media kerja yang dilindungi oleh isolasi.

Fungsi Rubber Gloves dalam PDKB adalah:

- a. Mengisolasi tangan pekerja dari konduktor bertegangan.
- b. Mencegah aliran arus listrik melalui tubuh pekerja.
- c. Menjadi bagian dari sistem proteksi berlapis bersama sleeve, blanket, dan cover isolasi.
- d. Mengurangi risiko cedera akibat arc flash ringan pada kontak tidak langsung.

Tanpa rubber gloves yang memenuhi standar, metode sentuh langsung tidak diperbolehkan dilakukan.

Konstruksi dan Material Rubber gloves dibuat dari: Karet alam (natural rubber) atau Karet sintetis (synthetic elastomer)

Material ini memiliki:

- Kekuatan dielektrik tinggi
- Elastisitas baik
- Ketahanan terhadap retak dan sobek
- Ketahanan terhadap ozon dan kelembaban

Bagian Utama Rubber Gloves:

- a. **Cuff (ujung atas)** – bagian terbuka untuk tangan masuk.
- b. **Palm (telapak tangan)** – bagian yang paling sering kontak dengan konduktor.
- c. **Finger area (jari-jari)** – harus fleksibel namun tetap tebal.
- d. **Bead edge (bibir penguat)** – memperkuat struktur cuff.

Ketebalan sarung tangan meningkat sesuai kelas tegangannya.

Tabel 2.4 Klasifikasi Rubber Gloves Berdasarkan Kelas Tegangan

Kelas	Tegangan Kerja Maksimum (AC)	Tegangan Uji
Class 00	500 V	± 2.500 V
Class 0	1.000 V	± 5.000 V
Class 1	7.500 V	± 10.000 V
Class 2	17.000 V	± 20.000 V
Class 3	26.500 V	± 30.000 V
Class 4	36.000 V	± 40.000 V

Untuk jaringan distribusi **20 kV**, biasanya digunakan minimal **Class 2** atau lebih tinggi sesuai kebijakan internal dan margin keselamatan. Karena sistem 20 kV memiliki tegangan maksimum sekitar 24 kV, maka pemilihan kelas harus mempertimbangkan faktor overvoltage.

Prinsip Kerja Isolasi Rubber Gloves :

- a. Isolasi Padat (Solid Insulation) Karet memiliki resistivitas tinggi sehingga menghambat aliran arus listrik.
- b. Ketebalan Material : Semakin tinggi kelas tegangan, semakin tebal materialnya.
- c. Margin Keamanan : Tegangan uji selalu lebih tinggi dari tegangan kerja untuk menjamin faktor keamanan. Jika sarung tangan mengalami kerusakan mikro (lubang kecil), maka arus bocor dapat meningkat dan membahayakan pekerja.



Gambar 2.22 Rubber glove

Sumber : PDKB.Id

3. Blanket adalah alat pelindung portabel yang digunakan untuk mencegah pekerja listrik secara tidak sengaja bersentuhan dengan konduktor, peralatan, atau sirkuit yang bertegangan. Selimut isolasi adalah peralatan berinsulasi yang digunakan dalam metode Kerja di Bawah Tegangan (PDKB) untuk menutupi bagian-bagian yang bertegangan dan komponen konduktif lainnya di sekitar lokasi kerja. Fungsinya sebagai penghalang isolasi sementara yang melindungi pekerja, peralatan, dan konduktor lainnya dari risiko kontak yang tidak disengaja pada jaringan distribusi 20 kV. Dalam metode kontak langsung (metode sarung tangan), selimut isolasi merupakan bagian dari sistem perlindungan berlapis yang digunakan bersamaan dengan sarung tangan karet, lengan pelindung, dan penutup konduktor untuk meningkatkan keselamatan kerja.

Fungsi Insulating Blanket sebagai berikut:

- a. Menutup konduktor fasa yang tidak sedang dikerjakan.
- b. Melindungi pekerja dari potensi sentuhan tidak disengaja.
- c. Mencegah hubung singkat antar fasa saat pekerjaan berlangsung.
- d. Mengisolasi bagian logam seperti cross-arm, braket, atau tiang baja.
- e. Mengurangi risiko arc flash akibat kontak tidak langsung.

Blanket tidak digunakan untuk menyentuh konduktor secara langsung, tetapi sebagai pelindung area sekitar zona kerja.

Material dan Konstruksi Insulating blanket umumnya terbuat dari: Karet alam (natural rubber) dan Karet sintetis elastomer dengan daya tahan dielektrik tinggi

Karakteristik material:

- Fleksibel dan lentur
- Tahan terhadap retak dan sobek
- Memiliki resistivitas tinggi
- Tahan terhadap kelembaban dan ozon

Bagian Utama Blanket:

- Body (lembar utama) – bagian isolasi utama.
- Lubang pengait (eyelet hole) – untuk pemasangan menggunakan tali atau hot stick.
- Tepi penguat – memperkuat struktur agar tidak mudah robek.
- Ketebalan blanket disesuaikan dengan kelas tegangannya.

Insulating blanket diklasifikasikan berdasarkan kelas tegangan yang mampu ditahan, mengikuti standar seperti IEC 61112 atau ASTM D1048.

Tabel 2.5 Klasifikasi dan Rating Tegangan Blanket

Kelas	Tegangan Kerja Maksimum (AC)	Tegangan Uji
Class 00	1 kV	± 5 kV
Class 1	7,5 kV	± 10 kV
Class 2	17 kV	± 20 kV
Class 3	26,5 kV	±30 kV
Class 4	36 kV	± 40 kV



Gambar 2.23 *Plastic Insulating*

Sumber : PDKB.Id

4. Conductor Cover adalah lapisan pelindung yang dipasang langsung pada konduktor atau kabel listrik. Peralatan berinsulasi ini digunakan dalam metode Kerja di Bawah Tegangan (PDKB) untuk menutupi konduktor yang bertegangan selama proses kerja. Tidak seperti selimut isolasi yang berupa lembaran fleksibel, penutup konduktor dirancang untuk menyesuaikan bentuk konduktor, memungkinkan pembungkus atau pelapisan yang lebih presisi dan stabil. Dalam jaringan distribusi tegangan menengah 20 kV, penutup konduktor merupakan komponen penting dari metode kontak langsung, memberikan perlindungan tambahan untuk mencegah kontak yang tidak disengaja dan korsleting antar fasa.

Fungsi Conductor Cover dalam pekerjaan PDKB adalah:

- Menutup konduktor fasa yang tidak sedang dikerjakan.
- Mencegah terjadinya hubung singkat antar fasa akibat pergerakan alat atau tubuh pekerja.
- Mengurangi risiko arc flash saat terjadi kesalahan posisi alat.
- Memberikan perlindungan tambahan selain jarak aman dan sarung tangan isolasi.
- Membantu menciptakan zona kerja aman pada ruang terbatas di jaringan 20 kV.

Conductor cover bekerja sebagai isolasi sekunder langsung pada penghantar.

Material dan Konstruksi Conductor cover umumnya terbuat dari: Karet isolasi khusus (elastomer) Atau bahan polimer isolasi seperti polyethylene tahan tegangan

Karakteristik material:

- Memiliki kekuatan dielektrik tinggi
- Fleksibel dan mudah dipasang
- Tahan terhadap UV dan kelembaban
- Tahan terhadap retak dan sobek

Bentuk dan Desain Conductor cover biasanya berbentuk:

- Silinder memanjang (line hose type)

- Bentuk semi-terbuka dengan sistem pengunci
- Tipe klip atau snap-lock agar tidak mudah lepas

Panjang cover dapat disesuaikan dengan kebutuhan (misalnya 30 cm – 1 meter per segmen).

Tabel 2.6 Klasifikasi dan Rating Tegangan Conductor Cover

Kelas	Tegangan Kerja Maksimum (AC)
Class 0	1 kV
Class 1	7,5 kV
Class 2	17 kV
Class 3	26,5 kV
Class 4	36 kV

Untuk jaringan distribusi **20 kV**, biasanya digunakan conductor cover dengan rating minimal Class 2 atau lebih tinggi, serta mempertimbangkan tegangan maksimum sistem dan faktor keselamatan. Tegangan uji laboratorium selalu lebih tinggi dari tegangan kerja sebagai margin keamanan.

Prinsip Kerja Conductor Cover:

a. **Isolasi Padat**

Material polimer/karet memiliki resistivitas tinggi sehingga mencegah aliran arus listrik keluar dari konduktor.

b. **Barrier Fisik**

Cover menciptakan penghalang fisik sehingga alat kerja atau bagian tubuh tidak langsung menyentuh konduktor aktif.

Namun penting dipahami bahwa conductor cover: Tidak dirancang untuk menggantikan jarak aman minimum sepenuhnya dan Tidak boleh dianggap sebagai perlindungan utama terhadap kontak langsung tanpa APD.



Gambar 2.24 Conductor Cover

Sumber : PDKB.Id

5. Measuring Rod adalah alat pengukur jarak yang digunakan untuk memastikan batas aman dan menentukan panjang kabel jumper yang dibutuhkan saat bekerja pada jaringan listrik yang bertegangan. Dalam metode Kerja di Bawah Tegangan (PDKB), batang pengukur berfungsi sebagai alat isolasi untuk mengukur dan mendeteksi tegangan pada konduktor tegangan menengah hingga tinggi atau peralatan listrik. Alat ini umumnya terbuat dari bahan isolasi tinggi, seperti fiberglass atau komposit fiberglass, sehingga pekerja dapat melakukan pengukuran dengan aman tanpa harus bersentuhan langsung dengan konduktor yang bertegangan. Dalam metode kontak langsung, batang pengukur juga berfungsi sebagai perpanjangan jarak aman, menghilangkan kebutuhan pekerja untuk mendekati konduktor secara fisik dan meminimalkan risiko bahaya listrik.

Fungsi utama measuring rod dalam PDKB 20 kV antara lain:

- a. **Deteksi Tegangan** – Untuk mengetahui apakah konduktor atau peralatan masih bertegangan atau sudah aman untuk dikerjakan.
- b. **Pengukuran Tegangan** – Memberikan indikasi kuantitatif pada sistem distribusi.
- c. **Proteksi Pekerja** – Menjaga pekerja agar tetap berada di jarak aman dari sumber tegangan.
- d. **Mendukung Penilaian Kondisi Peralatan** – Membantu teknisi menentukan apakah pemadaman lokal diperlukan atau pekerjaan bisa dilakukan dengan metode sentuh langsung.
- e. **Indikasi Visual/Audible** – Banyak measuring rod dilengkapi indikator tegangan yang memberikan tanda visual (lampu LED) atau suara saat mendeteksi tegangan.

Dengan demikian, alat ini termasuk dalam kategori peralatan pelindung berinsulasi aktif.

Material utama:

- **Fiberglass** atau serat kaca komposit, dengan resin tahan tegangan.
- Lapisan luar kadang diberi **epoxy atau polyurethane** untuk meningkatkan ketahanan mekanik dan isolasi.

Karakteristik material:

- Kekuatan dielektrik tinggi, mampu menahan tegangan hingga 100 kV atau lebih.
- Ringan dan tahan benturan.
- Tidak menghantarkan listrik dan isolasi stabil terhadap perubahan suhu atau kelembaban.

Konstruksi dan fitur:

- Batang teleskopik, panjang dapat disesuaikan (2–9 meter).
- Indikator tegangan terpasang di ujung atau di sepanjang batang.
- Sistem pengunci batang (locking system) agar posisi tetap stabil saat digunakan.
- Skala pengukuran dan tanda identitas kelas tegangan jelas.

Tabel 2.7 Klasifikasi dan Rating Tegangan Measuring Rod

Parameter	Spesifikasi Umum
-----------	------------------

Tegangan kerja	6 kV – 100 kV
Standar	IEC 61243 (voltage detectors)
Tegangan uji	Sesuai kelas alat, biasanya 100 kV / 1 menit untuk jaringan 20 kV
Panjang Batang	2 – 9 meter (teleskopik)
Indikasi	Visual dan/atau audible

Rating tegangan yang lebih tinggi dari tegangan sistem memberikan faktor keamanan tambahan.

Measuring rod bekerja berdasarkan **isolasi material** dan **sensor tegangan**:

- a. **Isolasi Batang:** Fiberglass atau serat kaca mencegah arus listrik mengalir ke pekerja.
- b. **Detektor Tegangan:** Sensor internal mendeteksi adanya medan listrik pada konduktor.
- c. **Indikator Tegangan:** Saat ada tegangan, alat memberi sinyal visual (lampu) atau suara peringatan.

Prinsip ini memungkinkan identifikasi cepat konduktor yang masih hidup tanpa kontak langsung.



Gambar 2.25 *Measuring Rod*

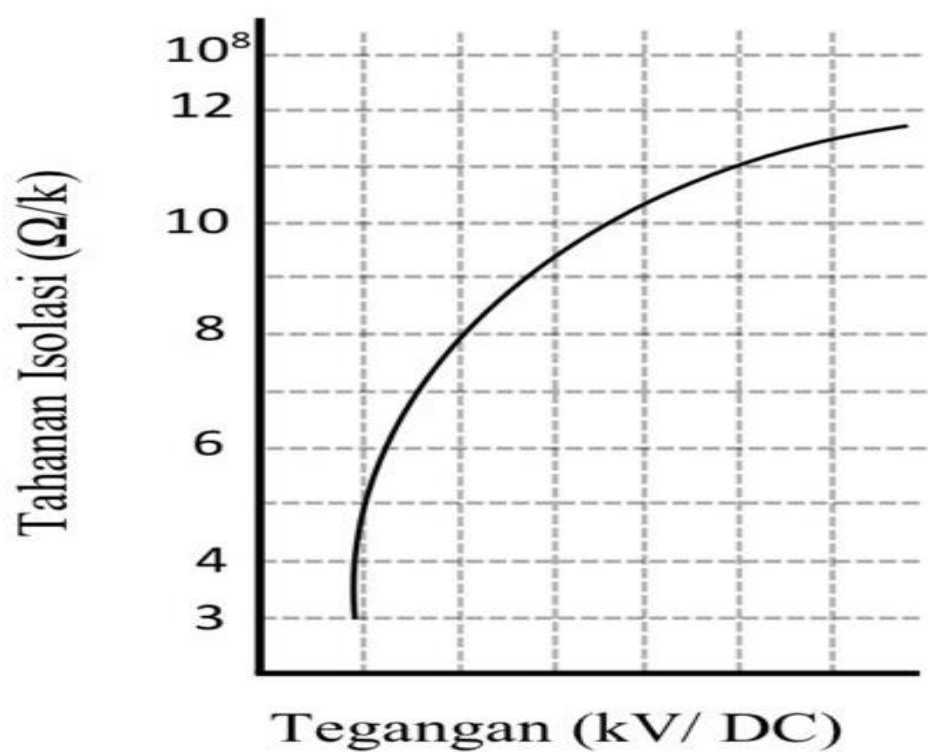
Sumber : PDKB.Id

2.1.6 Bahan Isolasi

Isolasi adalah sifat atau bahan yang dapat memisahkan secara elektris dua buah penghantar (atau lebih) yang berdekatan sehingga tidak terjadi kebocoran arus atau hal gradien tinggi, lompatan api flashover ataupun percikan sparkover.

Untuk tegangan yang semakin tinggi diperlukan bahan isolasi yang mempunyai kuat isolasi yang lebih tinggi. Apabila tegangan yang diterapkan mencapai tingkat ketinggian tertentu, maka bahan isolasi tersebut akan mengalami pelepasan muatan (lucutan, discharge) yang merupakan suatu bentuk kegagalan listrik. Kegagalan ini menyebabkan hilangnya tegangan dan mengalirkan arus dalam bahan isolasi. Disamping itu, beberapa penyebab kerusakan bahan isolasi listrik antara lain panas, kelembaban, kerusakan mekanis, korosi kimiawi, korona dan lain-lain.

Pengaruh tegangan pengujian yang ditetapkan pada bahan isolasi terhadap tegangan yang diterapkannya sebagai berikut:



Gambar 2.26 Hubungan Tahanan Isolasi Terhadap Tegangan

Pada umumnya, perbandingan ini naik dengan bertambah buruknya isolasi, meskipun dalam hal isolasi padat yang dikeringkan, tahanan isolasinya naik dengan naiknya tegangan yang diterapkan.

Menurut macam bahan yang dipakai, bahan isolasi dapat dibagi menjadi tiga golongan :

- (a) benda padat
- (b) benda cair
- (c) gas.

Berdasarkan fungsinya maka bahan isolasi dapat digolongkan sebagai berikut :

1. Penyangga / penggantung (solid supports), yang pasti berbentuk benda padat; yang sudah diketahui misalnya; epoxyglass, porselin, kayu, kertas, pernis, dan sebagainya.
2. Bahan pengisi (filling media), berupa bahan cairan atau gas, misalnya; udara (paling murah) minyak, bitumen (bahan tambang seperti aspal) dan sebagainya

3. Bahan penutup (covering materials), yaitu bahan biasanya yang terdapat pada bagian paling luar, berupa bahan padat atau cair, misalnya; mika, porsin dan enamel.

Pada umumnya bahan-bahan isolasi sangat sukar diketahui sifat listriknya. Benda padat dan cair lekas rusak atau berubah sifat listrik dan sifat mekanisnya. Meskipun benda padat lebih dapat dipercaya dibandingkan dengan minyak, benda padat yang paling sederhana pun memperlihatkan sifat yang berbeda dan tidak ada benda padat yang bagaimanapun sama macamnya yang memberikan hasil pengujian yang sama.

Biasanya karakteristik isolasi padat untuk suatu penerapan, merupakan kompromi karena perbaikan sifat dan bahan yang sama akan menyebabkan kekurangannya sifat lain dari bahan tersebut. Misalnya, dalam hal isolasi berlapis bila gaya dielektrik isolasi padat hendak dinaikkan sampai batas maksimumnya, maka ia akan menjadi patah/pecah atau tak sempurna bentuknya karena keretakan. Kualitas yang seimbang didapatkan dari pengalaman.

Suatu kenyataan yang banyak diakui kebenarannya menunjukkan bahwa gaya dielektrik suatu bahan isolasi jarang naik, bahkan dikatakan selalu turun, dengan kenaikan tebal isolasi, bila diuji dalam medan yang tak seragam. Banyak bahan isolasi yang dapat dibuat hanya dengan tebal terbatas. Ini berarti bahwa pada tegangan tinggi dimana diperlukan isolasi tebal, gradien tegangannya perlu diatur di dalam tubuh isolator dengan mengadakan elektroda tambahan atau dengan memakai bahan dengan konstanta dielektrik yang berbeda. Ini berarti bahwa isolasinya harus ditingkatkan lebih cepat dari pada tegangannya. Hal ini dapat dikatakan bahwa untuk meningkatkan gaya isolasinya dua kali, tebalnya harus dilipatkan tiga kali. Inilah sebabnya besar dan harga peralatan naik dengan cepat sekali dengan kenaikan tegangan nominal.

Faktor - Faktor yang mempengaruhi pengukuran tahanan isolasi antara lain adalah :

- (a) arus absorpsi
- (b) suhu
- (c) tegangan yang diterapkan.

Berhubung dengan adanya arus absorpsi seperti diuraikan di muka, maka dalam pengukuran tahanan perlu diperhatikan lamanya tegangan yang diterapkan dan bahwa sebelum pengukuran dimulai, bahan yang hendak diuji sudah dibebaskan dari muatan yang melekat padanya (waktu pelepasan biasanya 5 - 10 menit).

Material isolasi harus memenuhi persyaratan yaitu memiliki kekuatan menahan watlistrik (electric strength) yang tinggi, kerugian dielektrik yang rendah dan memiliki permukaan yang kuat dalam menahan jejak kuat listrik

Macam Bahan Isolasi

A. Bahan isolasi An-organik (Sintesis)

1) Mika

Mika adalah mineral dalam bentuk plat kristal dengan tebal 0,006- 3 mm. Tahanan panas 600° – 800 °C, tegangan tembus 25 KV/mm. Jika mika dipanasi terus akan mengeluarkan air sehingga padanya menjadi buram dan akan mudah hancur. Penggunaanya untuk menutup

elemen pemanas setrika dll.

2) Asbes

Asbes adalah bahan berserat, kurang baik sebagai isolasi karena tegangan tembusnya hanya 4 kV/mm. Keistimewaan Asbes adalah : tidak dapat terbakar, disamping penyekat listrik utamanya sebagai penyekat panas. Kemampuan panas mencapai 400°C, digunakan pada tegangan rendah dalam bentuk bubuk atau pintalan. Misal : Penyekat panas pada kompor listrik, pemanas dll.

3) Keramik

Keramik merupakan bahan galian yang dipanaskan pada 1400°C. Keramik dalam listrik tidak seperti keramik pada hiasan. Mereka mencakup silikat, oksida, metal dll. Untuk kebutuhan teknik listrik dibuat porselin dan steatite.

a) Porselin

Pembuatan porselin dari tanah liat (kaolin), kuarsa dan velspat. Porselin merupakan penyekat listrik yang baik, kekuatan mekaniknya tinggi, sehingga cocok untuk isolator alat listrik yang harus menahan gaya berat besar. Tegangan uji : 30- 35 kV/mm. Kuat tarik : 2,5 - 5 N/mm².

b) Steatit

Seperti halnya porselin, steatit kuat menahan panas, tahan mekanis, dan lain-lain. Tegangan tembus : 30 - 45 kV/mm. Kuat tarik () 55...85 N/mm². Penggunaan : Landasan elemen pemanas Rumah sekering dan resistor

4) Gelas

Bahan baku gelas adalah (SiO₂), kapur (CaCO₃), soda (Na₂CO₃) dll, dicairkan pada 1500....1600 °C. Tegangan tembus : 10.. 40 kV/mm, Kuat tekan : 400...1300N/mm². Penggunaan : Bola lampu, Selubung kabel (koaksial), dll)

5.) Eternit

Eternit adalah suatu bahan asbes semen bentuk tepung (powder), dalam pemakaian biasanya bentuk plat. Tidak dapat terbakar, menyerap air, berserat. Kerugiannya, eternit tidak boleh berhubungan langsung dengan tekanan.

Penggunaan : Kanal kabel, Kanal pipa, Plafon dan papan alat ukur B. Bahan isolasi organik (bahan baku alami).

B. Bahan Isolasi Organik (Bahan Baku Alami)

1) Kertas

Bahan baku kertas adalah Kayu, selulosa, zat pengurai, rami dan lain- lain. Untuk menahan air kertas dilapis dengan minyak. Tegangan tembus kertas 10 kv/mm. Kegunaan : Isolasi kabel, Kondesator, Isolasi kumparan.

2) Prespan

Pada dasarnya prespan adalah kertas yang dilakukan tekanan tinggi padanya, sehingga ia akan menjadi keras, kuat dan tahan terhadap lilitan. Kegunaan : Isolasi lilitan pada trafo, motor atau generator. Tegangan tembus : 25-30 k /mm², Kemampuan panas sampai 120°C

3) Karet

Karet diperoleh dari pohon karet berupa getah karet. Dicampur asam cuka, karet akan terapung pada cairan tersebut. Pada keadaan panas ia akan lunak dan lekat, pada keadaan dingin keras dan retak-retak atau rapuh . Karet bila dicampur bensol atau bensin akan menjadi lem, sedang bilamana dicampur belerang akan menjadi vulkanisasi.

Tegangan tembus : 10 - 20 kv /mm.

C. Thermo plastik

Thermo plastik adalah bahan plastik, ia akan lunak jika dipanasi serta keras pada keadaan dingin. Beberapa thermo plastik yang dikenal sbb :

1) PVC (Poly Vinyl Chlorid)

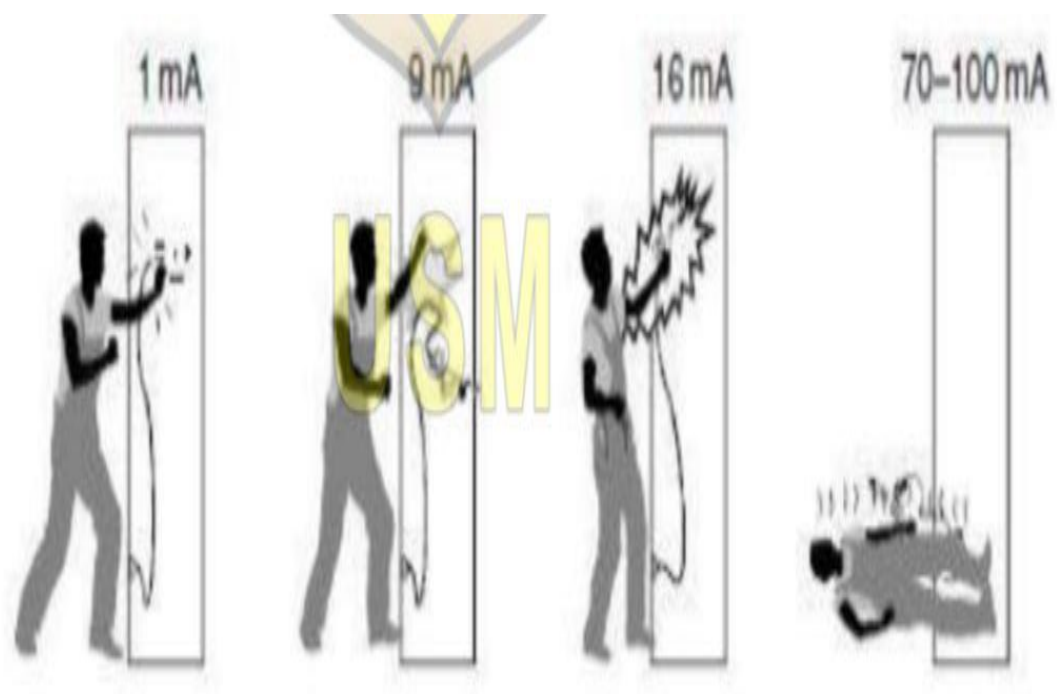
Elemen PVC yaitu asetelin (C_2H_2) dan asam garam (hcl) bersama Vinylchlorid. Sifat PVC : Dapat terbakar dan lama membara. Penggunaanya : Pipa PVC, bahan teknik listrik dan lain-lain. Tegangan tembus PVC sampai 50 kv /mm. Keadaan panas pada 6000C.

2.) PE (Polyethylene)

Termoplastik dari bahan athylen (C_2H_4), melalui polymerisation dan tekanan. Tegangan tembus 80kv/mm. Keadaansuhukerjasampai: 80- 100 0C. Dapat terbakar, tahan asam, tahan alkali dan keuntungannya pada temperatur tinggi akan mengeluarkan minyak. Kegunaan : Membuat ember, Isolasi kabel listrik dan kabel telepon, Isolasi kawat dll.

Pada saat pengujian ada batas arus bocor atau ketentuan arus yang dapat diterima oleh tubuh manusia Berdasarkan IEC 449 , IEC 60479 dan PUIL 2000 (Persyaratan Umum Instalasi Listrik). Rata-rata hambatan tubuh manusia adalah 1000 Ohm. Arus listrik maksimum yang dianggap aman untuk melewati tubuh manusia adalah 50mA. Berikut adalah ilustrasi Gambar grafik pengaruh arus listrik terhadap tubuh manusia.

Ada beberapa efek dari aliran arus yang merambat melalui tubuh seperti Gambar dibawah ini :



Gambar 2.27 Efek Aliran Arus Terhadap Tubuh Manusia

Efek Aliran Arus Terhadap Tubuh Manusia (Sumber : Hutaaruk 'Pentanahan netral sistem

tenaga 1991,136)

- a. Dimana dengan arus listrik 1mA akan menyebabkan kesemutan.
- b. Dengan arus listrik 9mA tubuh masih mampu melepaskan diri.
- c. Keadaan dimana arus listrik 16mA tubuh sudah tidak bisa melepaskan diri.
- d. 70-100 mA akan terjadi kematian yang disebabkan penyempitan otot dan sesak nafas.

Tabel 2.8 Pengaruh Aliran Listrik

Arus (mA)	Pengaruhnya Pada Tubuh Manusia
0,0-0,9	Belum dirasakan pengaruhnya, tidak menimbulkan reaksi apapun.
9,0-1,2	Tubuh mulai merasakan adanya arus listrik, tetapi tidak menimbulkan kejang-kejang, kontraksi atau kehilangan kontrol.
1,2-1,6	Mulai seperti ada yang merayap di tangan.
1,6-6,0	Tangan samapi ke siku terasa kesemutan.
6,0-8,0	Tangan mulai kaku, rasa kesemutan mulai bertambah.
13-14	Rasa sakit tidak tertahan penghantar masih dapat dilepaskan dengan gaya yang besar sekali.
15-20	Otot tidak sanggup lagi melepaskan penghantar.
20-50	Dapat mengakibatkan kerusakan pada tubuh manusia.
60-100	Besar arus yang dapat menyebabkan kematian.

Sementara di lapangan pekerjaan bertegangan ini dilaksanakan dalam keadaan cuaca kemarau, hujan, dan kabut seiring dengan cuaca yang ada di Indonesia. Dalam kondisi sedemikian itu, tentunya akan menimbulkan kekhawatiran dalam setiap pelaksanaan pekerjaan bertegangan bila peralatan yang dipergunakan terdapat goresan-goresan dipermukaannya terutama dalam kondisi basah. Agar keselamatan pekerja lebih terjamin, pelaksanaan kerja bertegangan harus memenuhi persyaratan kerja sebagai berikut ;

Untuk itu, diharapkan dengan dilakukan penelitian peralatan Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) metode sentuh langsung ini melalui pengujian di laboratorium, dapat memberikan masukan-masukan yang positif secara ilmiah kepada masyarakat pengguna teknologi pekerjaan bertegangan terutama dalam pencegahan kecelakaan kerja yang disebabkan dari pemakaian peralatan kerja bertegangan yang sudah tidak sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

2.1.7 Penelitian Yang Relevan

Dalam penelitian ini, penulis melakukan tinjauan pustaka terhadap beberapa penelitian terkait untuk dijadikan referensi. Sumber-sumber ini dapat diperoleh dari jurnal, artikel, tesis, atau buku yang relevan. Beberapa referensi yang berhasil penulis kumpulkan adalah sebagai berikut:

Adi Riyono. 2007, “STUDI EVALUASI PEMELIHARAAN SALURAN UDARA 20 KV DENGAN PEKERJAAN DALAM KEADAAN BERTEGANGAN DI PT. PLN (PERSERO) DISTRIBUSI JAWA TIMUR AREA PELAYANAN DAN JARINGAN MADIUN” Pekerjaan pemeliharaan saluran udara tegangan menengah 20 KV dalam keadaan bertegangan (PDKB) tidak boleh mengabaikan keselamatan dan keamanan para pekerja saluran (*linesman*). Metode penelitian yang digunakan penulis adalah metode pengamatan langsung dalam area kerja (dalam hal persiapan awal dilokasi pekerjaan, metode pekerjaan yang digunakan, kondisi jarak dan koordinasi isolasi peralatan yang digunakan), wawancara kepada TIM PDKB (pelaksana pekerja, pengawas, dan koordinator PDKB atau kepala operasi) dan dari buku-buku yang ada di PLN. Hasil penelitian menunjukkan dengan adanya pekerjaan pemeliharaan saluran udara tegangan menengah 20 KV dalam keadaan bertegangan dapat menyelamatkan dalam energi listrik pada tahun 2006 (Januari-Desember) sebesar 6.812.539,23 KWH dan pada tahun 2007 (Januari-Mei) sebesar 6.261.797,03 KWH. Bila dinyatakan dalam rupiah pada tahun 2006 (Januari-Desember) sebesar Rp. 3.626.914.211 dan pada tahun 2007 (Januari-Mei) sebesar Rp. 3.385.324.671,21. Selain itu dengan adanya pelaksanaan PDKB sangat menguntungkan bagi PLN dan pelanggan.

Menurut Hanif Fauji, Samsurizal 2020. “Studi Susut Energi Pada Penyulang Perunggu Gardu Induk Sutami. Penelitian ini mengkaji tentang susut energi listrik yang terjadi pada penyulang Perunggu PT.PLN (Persero)Area Lampung. Dengan menggunakan metode statis deskriptif dengan cara mendeskripsikan atau menggambarkan data yang telah didapat kemudian diolah dengan melakukan perhitungan yang sesuai standar. Hasil yang didapatkan yaitu besarnya susut daya pada satu saluran distribusi terpengaruh oleh panjang penghantar, jenis dan diameter penghantar dan juga suhu dari kawat penghantar.

Menurut I Winata, dkk. 2023, “ANALISA ENERGI TIDAK TERSALURKAN PEMELIHARAAN METODE PDKB BERJARAK PADA PENYULANG BUKIT JATI” Pekerjaan pemeliharaan biasanya dilakukan dengan keadaan tidak bertegangan, namun cara tersebut menyebabkan kerugian berhentinya kontinuitas pelayanan pendistribusian tenaga listrik, sedangkan untuk perusahaan listrik menimbulkan kerugian disisi tidak terjualnya energi listrik. Untuk menangani hal tersebut, PT. PLN (Persero) ULP Klungkung menggunakan metode Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) 20 kV pada pekerjaan pemeliharaan jaringan pada penyulang Bukit Jati. penyusunan Laporan Tugas Akhir ini metode pengambilan data yang dilakukan oleh penulis yakni metode studi literatur, metode dokumentasi, metode observasi, dan metode wawancara. Dari hasil analisis yang diperoleh, nilai ENS atau Energi Tidak Tersalurkan yang dapat diselamatkan dengan menggunakan metode pekerjaan PDKB Berjarak pada pekerjaan

pemeliharaan jaringan SUTM penggantian jumper di penyulang Bukit Jati senilai 471,116 kWh. Metode PDKB Berjarak dapat menyelamatkan nilai SAIDI sebesar 0.09161 Jam/Pelanggan, SAIFI sebesar 0.03053 Kali/Pelanggan. Penggunaan metode PDKB Berjarak lebih unggul karena dapat menyelamatkan nilai SAIDI 18,7%, penyelamatan nilai SAIFI 6,93%.

Menurut M. Susilowati. 2023, “PENGELOLAAN SERTIFIKASI TIM PEKERJAAN DALAM KEADAAN BERTEGANGAN (PDKB) PT PERUSAHAAN LISTRIK NEGARA (PERSERO) UNIT INDUK DISTRIBUSI BANTEN” Penelitian ini mengkaji pengelolaan sertifikasi tim Pekerjaan dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) di PT Perusahaan Listrik Negara (Persero) Unit Induk Distribusi Banten. Metode kualitatif dengan pendekatan deskriptif digunakan untuk memahami fenomena ini dalam konteks alamiah. Data dikumpulkan melalui wawancara mendalam, observasi lapangan, dan telaah dokumen. Hasil analisis mengungkapkan strategi penempatan pegawai berdasarkan sistem merit. Studi ini menekankan pentingnya makna dibandingkan generalisasi. Hasilnya memberikan wawasan mendalam terkait pengelolaan sertifikasi PDKB di PT Perusahaan Listrik Negara (Persero) Unit Induk Distribusi Banten. Penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam memperbaiki proses pengelolaan sertifikasi dan memastikan kepatuhan terhadap peraturan dan undang-undang yang berlaku.

Tabel 2.9 Penelitian Yang Relevan

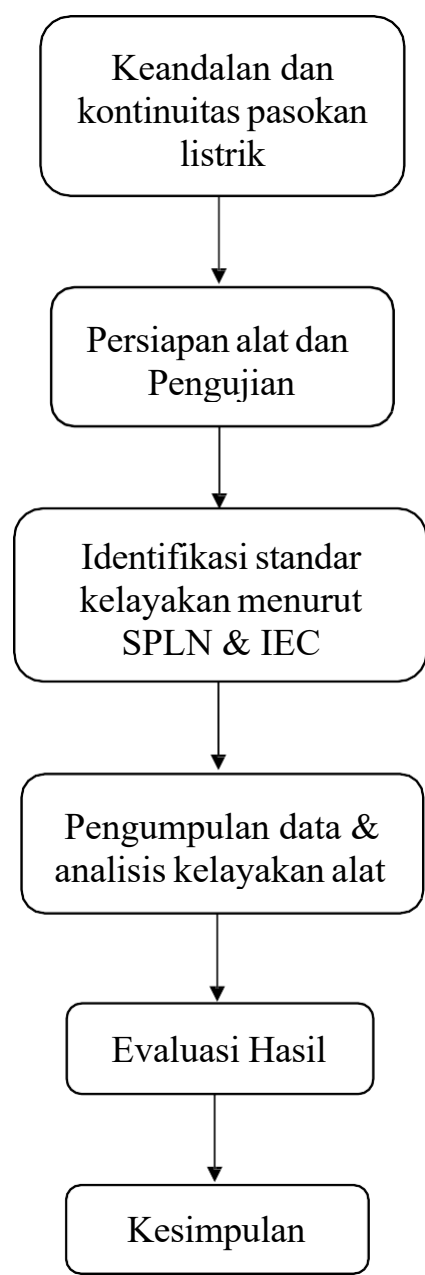
No	Judul dan Tahun	Masalah	Metodologi	Hasil	Riset Gab
1	“Studi Evaluasi Pemeliharaan Saluran Udara 20 kV Dengan Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan di PT.PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur Area Pelayanan dan Jaringan Madiun. 2007	Masalah yang diangkat yaitu kelayakan peralatan kerja PDKB di PT.PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur Area Pelayanan dan Jaringan Madiun	Metode penelitian yang digunakan penulis adalah metode pengamatan langsung dalam area kerja (dalam hal persiapan awal dilokasi pekerjaan, metode pekerjaan yang digunakan, kondisi jarak dan koordinasi isolasi peralatan yang digunakan), wawancara kepada TIM PDKB (pelaksana pekerja, pengawas, dan koordinator PDKB atau kepala operasi)	Hasil penelitian menunjukkan dengan adanya pekerjaan pemeliharaan saluran udara tegangan menengah 20 KV dalam keadaan bertegangan dapat menyelamatkan dalam energi listrik pada tahun 2006 (Januari-Desember) sebesar 6.812.539,23 KWH dan pada tahun 2007 (Januari-Mei) sebesar 6.261.797,03 KWH. Bila dinyatakan dalam rupiah pada tahun 2006 (Januari-Desember) sebesar Rp. 3.626.914.211 dan pada tahun 2007 (Januari-Mei)	Penelitian ini berfokus pada keandalan peralatan kerja yang digunakan PDKB 20 kV. Dengan peralatan yang baik dan sesuai pekerjaan menjadi lebih efisien dan membawa keuntungan bagi PLN maupun pelanggan.

				sebesar Rp. 3.385.324.671,2 1. Selain itu dengan adanya pelaksanaan PDKB sangat menguntungkan bagi PLN dan pelanggan.	
2	Studi Susut Energi Pada Penyulang Perunggu Gardu Induk Sutami. 2020	Masalah yang diambil yaitu susut Energi akibat loses yang melebihi standar dapat menyebabkan kerugian bagi Perusahaan	Metode penelitian Statis Deskriptif yaitu teknik analisis yang dilakukan dengan cara mendeskripsikan atau menggambarkan data yang telah didapat, kemudian diolah dengan melakukan perhitungan dengan rumus yang sesuai standar.	Hasil yang didapat yaitu besarnya susut daya pada saluran distribusi dipengaruhi oleh panjang penghantar, jenis dan diameter penghantar dan juga suhu kawat tersebut.	Penelitian ini berfokus pada perhitungan susut energi dengan mengumpulkan data konduktor, Data beban penyulang dan perhitungan nilai resistansi.
3	Analisa Energi Tidak Tersalurkan Pemeliharaan Metode PDKB Berjarak Pada Penyulang Bukit Jati. 2023	Masalah yang diangkat yaitu jumlas ENS Yang diselamatkan dengan pelaksanaan metode kerja PDKB pada pekerjaan penggantian	Metode pengambilan data yang dilakukan oleh penulis yakni metode studi literatur, metode dokumentasi, metode observasi, dan Metode	Hasil analisis yang diperoleh, nilai ENS atau Energi Tidak Tersalurkan yang dapat diselamatkan dengan menggunakan metode pekerjaan PDKB Berjarak pada pekerjaan pemeliharaan jaringan SUTM	Penelitian ini berfokus pada perhitungan nilai ENS yang dapat diselamatkan dengan metode kerja PDKB serta perhitungan keuntungan

		jumper di penyulang Bukit Jati dan jumlah nilai SAIFI dan SAIDI yang terselamatkan dengan menggunakan metode kerja PDKB	wawancara.	penggantian jumper di penyulang Bukit Jati senilai 471,116 kWh. Metode PDKB Berjarak dapat menyelamatkan nilai SAIDI sebesar 0.09161 Jam/Pelanggan, SAIFI sebesar 0.03053 Kali/Pelanggan. Penggunaan metode PDKB Berjarak lebih unggul karena dapat menyelamatkan nilai SAIDI 18,7%, penyelamatan nilai SAIFI 6,93%.	SAIDI SAIFI.
4	Pengelolaan Sertifikasi Tim PDKB di PT.PLN (Persero) Unit Induk Distribusi Banten	PT.PLN (Persero) mempunyai peran penting dalam ranah publik pada penyedia layanan secara cepat, ekonomis, serta efektif. Oleh sebab itu, PT PLN (Persero)	Metode yang digunakan adalah wawancara mendalam, observasi lapangan, dan telaah dokumen	Hasil analisis mengungkapkan strategi penempatan pegawai berdasarkan sistem merit. Studi ini menekankan pentingnya makna dibandingkan generalisasi. Hasilnya memberikan wawasan mendalam terkait pengelolaan sertifikasi PDKB di	Penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam memperbaiki proses pengelolaan sertifikasi dan memastikan kepatuhan terhadap peraturan dan undang-undang yang

		senantiasa berusaha meningkatkan kinerjanya.		PT Perusahaan Listrik Negara (Persero) Unit Induk Distribusi Banten.	berlaku.
--	--	--	--	--	----------

2.1.8 Kerangka Pemikiran



Gambar 2.20 Kerangka Pemikiran

Sesuai dengan kerangka pemikiran penulis, sebelum dimulainya evaluasi kelayakan alat pemeliharaan dalam keadaan bertegangan pada jaringan distribusi 20 kV, perlu diketahui keandalan dan kontinuitas distribusi listrik pada jaringan distribusi 20 kV yang harus dijaga melalui kegiatan pemeliharaan efektif. Kesiapan dan kesesuaian peralatan yang digunakan, diperlukan tahap persiapan dan pengujian. Penilaian kesesuaian peralatan PDKB dilakukan dengan menggunakan standar SPLN dan IEC sebagai referensi untuk aspek teknis dan keselamatan kerja. Tahap evaluasi meliputi pengumpulan data, inspeksi fisik, dan analisis kinerja peralatan untuk menilai kepatuhannya terhadap standar yang berlaku. Hasil analisis ini kemudian digunakan untuk menentukan kesesuaian peralatan

PDKB, yang menjadi dasar untuk menarik kesimpulan dan mengembangkan rekomendasi mengenai perbaikan atau penggantian peralatan.