

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian yang Relevan

Pada penelitian dilakukan tinjauan literatur untuk menemukan referensi yang relevan dengan pokok bahasan penelitian ini. Referensi ini dapat berasal dari buku, artikel, jurnal, atau proposal skripsi yang relevan. Beberapa referensi yang berkaitan dengan penelitian ini, yaitu :

1. Menurut Catur Bayu Setiawan, dan Tri Rijanto, tahun 2017 dalam penelitian yang berjudul “Analisis Kwh Terselamatkan Pada Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) di PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur Area Surabaya Selatan” dinyatakan bahwa energi kWh terselamatkan adalah energi listrik yang masih dapat tersalurkan saat dilakukan pekerjaan tanpa dilakukan pemadaman. Sedangkan energi tak terselamatkan adalah energi yang hilang akibat pemadaman untuk pekerjaan pemeliharaan, perbaikan, dan perluasan jaringan. Dengan pekerjaan menggunakan metode PDKB dapat meningkatkan kWh terselamatkan.
2. Menurut Dian Eka Putra, tahun 2016 pada jurnal yang berjudul “Analisa Kontribusi Peran Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) Terhadap Peningkatan Kwh Jual Pada Penyulang Virgo di PT. PLN (Persero) WS2JB Area Lahat” dinyatakan berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa ada empat manfaat yang diharapkan dapat dicapai dengan pelaksanaan PDKB yaitu menekan angka rasio SAIDI & SAIFI pada bulan April 2015 dengan nilai rata-rata SAIDI 61,6 menit/pelanggan dan SAIFI 0,28 kali padam/pelanggan. Serta dengan peningkatan penjualan kWh salur kepada pelanggan sebesar 308.629 kWh dan pendapatan perusahaan sebesar Rp. 238.733.435,- pada bulan April 2015.
3. Menurut Surya Darma, tahun 2015 dalam jurnal yang berjudul “Analisa Kontribusi Peran Pekerjaan Dalam Keadaan Berbeban (PDKB) Terhadap Peningkatan Kwh Jual Pada Penyulang Virgo” dinyatakan bahwa Berdasarkan uraian diatas dapat disimpulkan bahwa ada empat manfaat yang diharapkan dapat dicapai dengan pelaksanaan PDKB yaitu peningkatan keandalan dan kontinuitas pendistribusian energi listrik, peningkatan penjualan kWh salur kepada pelanggan sebesar 308.629 kWh dan pendapatan perusahaan sebesar Rp. 238.733.435,- pada bulan April 2015, menekan angka rasio SAIDI & SAIFI pada bulan April 2015 dengan nilai rata-rata

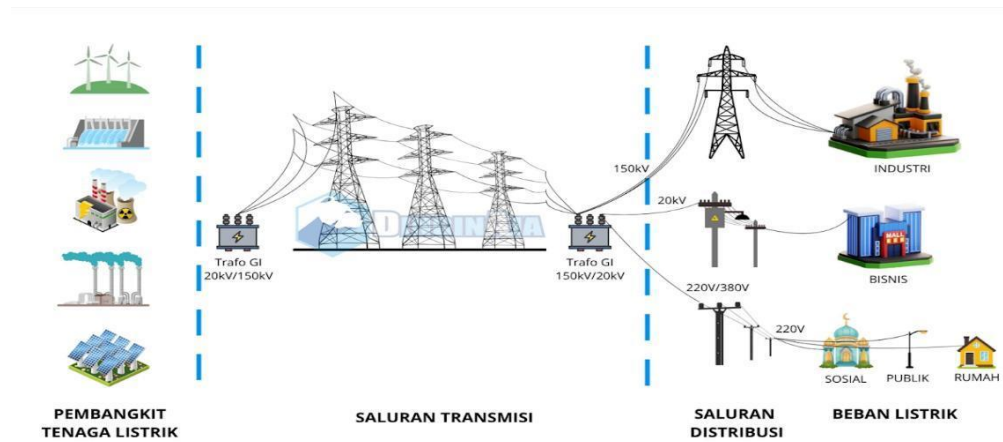
SAIDI 61,6 menit/pelanggan dan SAIFI 0,28 kali padam/pelanggan, dan peningkatan citra pelayanan perusahaan terhadap pelanggan PT. PLN (Persero) Area Lahat.

Dari berbagai penelitian sebelumnya yang telah penulis paparkan di atas memiliki satu kesamaan dengan penelitian yang akan penulis lakukan saat ini, yaitu membahas tentang perhitungan susut teknis. Namun terdapat perbedaan pada penelitian ini dari penelitian terdahulu, dimana yang dianalisa dalam penelitian ini lebih spesifik terhadap pekerjaan PDKB Sentuh Langsung dalam menangani gangguan ROW dan menekan ENS.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik merupakan sistem yang kompleks yang terdiri dari pusat pembangkitan, saluran transmisi dan jaringan distribusi yang berfungsi untuk menyalurkan daya listrik dari pusat pembangkit menuju ke pusat-pusat beban.



Gambar 2.1 Sistem Tenaga Listrik

Pembangkit listrik merupakan salah satu bagian dari alat industri yang digunakan untuk memproduksi atau membangkitkan energi listrik dari berbagai sumber tenaga, seperti PLTD, PLTU, PLTS dan lain-lain. Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit listrik bervariasi mulai dari 11kV sampai 24kV kemudian ditingkatkan tegangannya oleh gardu induk dengan transformator stepup menjadi 70kV, 150kV, 270kV atau 500kV kemudian disalurkan melalui saluran transmisi, tujuan meningkatkan tegangan ialah untuk memperkecil rugi-rugi daya saat proses transmisi. Tenaga listrik di Indonesia ditransmisikan oleh suatu bahan konduktor dari bahan aluminium, berdasarkan sistem transmisi dan kapasitas tegangan yang disalurkan saluran transmisi terdiri dari:

a. Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) 200kV-500kV

Pada umumnya saluran transmisi di Indonesia digunakan pada pembangkit dengan kapasitas 500kV dan 275kV. Tujuannya adalah agar drop tegangan dari penampang kawat dapat direduksi secara maksimal, sehingga dapat diperoleh transmisi daya yang lebih efektif dan efisien.

b. Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 30kV-150kV

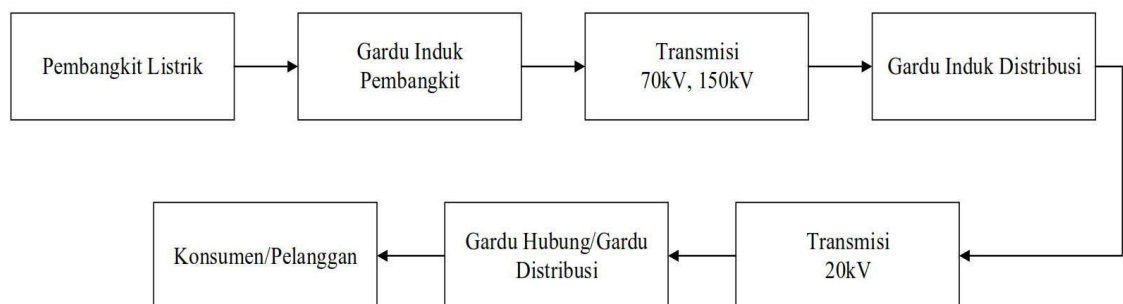
Pada saluran transmisi ini memiliki tegangan operasi antara 30 kV sampai 150 kV. Konfigurasi jaringan pada umumnya single atau double circuit, 1 sirkuit terdiri dari 3 fasa dengan 3 atau 4 kawat. Biasanya hanya 3 kawat dan penghantar netralnya diganti oleh tanah sebagai saluran kembali. Apabila

kapasitas daya yang disalurkan besar, maka penghantar pada masing-masing phasa terdiri dari dua atau empat kawat (*double* atau *quadrupole*) dan berkas konduktor disebut bundle conductor.

c. Saluran Kabel Tegangan Tinggi (SKTT) 30kV-150kV.

Saluran kabel bawah tanah (underground cable), saluran transmisi yang menyalurkan energi listrik melalui kabel yang dipendam didalam tanah. Kategori saluran ini biasa digunakan untuk pemasangan sistem transmisi didalam kota, karena berada di dalam tanah maka tidak mengganggu keindahan kota ataupun perumahan dan juga tidak mudah terjadi gangguan akibat kondisi cuaca atau kondisi alam.

Dari jaringan transmisi, selanjutnya di Gardu Induk dilakukan penurunan tegangan dari 150 kV menjadi 20 kV dengan menggunakan Transformator step down. Untuk selanjutnya Setelah melewati proses penurunan tegangan, listrik dialirkan melalui saluran distribusi ke berbagai wilayah, baik untuk pelanggan rumah tangga, industri, maupun fasilitas umum lainnya.



Gambar 2.2 Sistem kelistrikan secara umum

2.2.2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

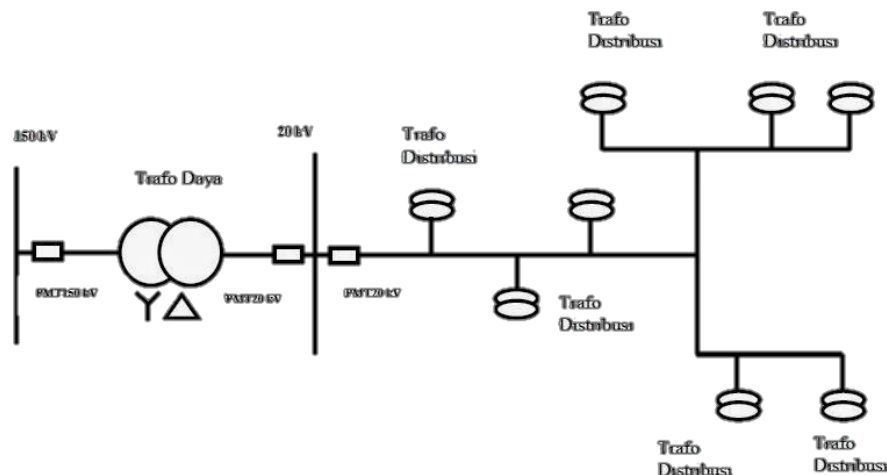
Sistem distribusi tenaga listrik merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang bertanggung jawab untuk mengalirkan listrik dari jaringan transmisi ke konsumen akhir (rumah tangga, perkantoran, industri, dan sebagainya). Setelah listrik dihasilkan oleh pembangkit dan ditransmisikan melalui jaringan tegangan tinggi, sistem distribusi menurunkan tegangan tersebut ke tingkat yang aman dan sesuai untuk digunakan oleh konsumen. Sistem distribusi biasanya menggunakan tegangan menengah (20 kV) dan tegangan rendah (220/380 V).

Jaringan pada sistem distribusi tegangan menengah (Primer 20kV) dapat dikelompokkan menjadi lima model, yaitu jaringan *radial*, jaringan hantaran penghubung (*tie line*), jaringan lingkaran (*loop*), jaringan *spindel* dan sistem gugus (*cluster*). Hampir seluruh sistem di bawah ini digunakan di area Pasuruan dan

sekitarnya namun yang paling sering ditemui yaitu sistem jaringan *Loop*, tergantung dari jenis pelanggannya atau kontrak yang telah di setujui oleh pihak PT. PLN UP3 Pasuruan.

a. Sistem *Radial*

Merupakan jaringan sistem distribusi primer yang sederhana dan ekonomis. Pada Gambar 2.3 ini jaringan hanya mempunyai satu pasokan tenaga listrik yang didapat dari daya trafo 150 kV dan terdapat beberapa penyulang yang menyuplai beberapa gardu distribusi secara radial. Daya yang dimiliki dari penyulang terdapat pada trafo 20 kV setelah mengalami *step-down* dari 150kV.



Gambar 2.3 Jaringan Sistem *Radial*

(PLN Buku-1, 2010)

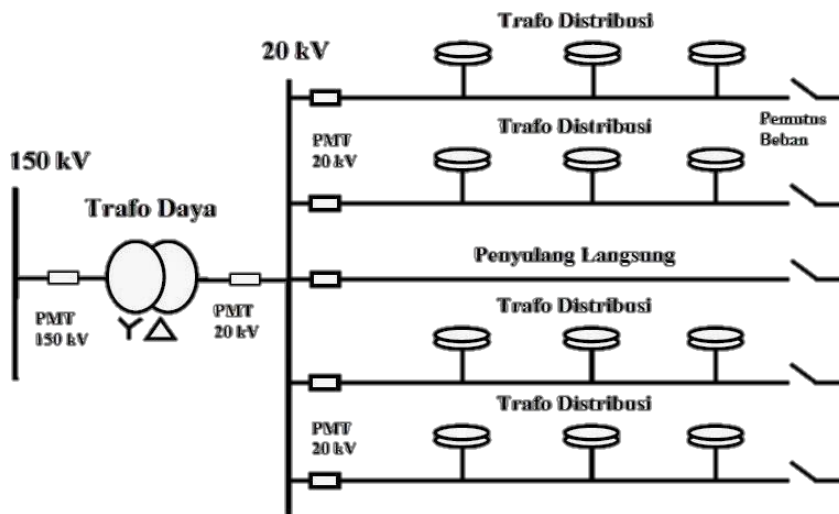
Suatu sistem disebut radial jika daya yang disalurkan dari sumber ke konsumen hanya dalam satu arah melayani beban yang jauh dari penyulang utama, ditambahkan saluran cabang karena daya yang disalurkan hanya dalam satu arah maka kerapatan arusnya berbeda-beda. Daerah yang dekat gardu induk mempunyai kerapatan arus yang berbeda. [14] Kerugian lain yaitu mutu tegangan pada gardu distribusi yang paling ujung kurang baik, hal ini dikarenakan jatuh tegangan terbesar ada di ujung saluran. Keuntungan menggunakan jaringan ini adalah sistemnya yang tidak rumit dan biaya pemasangan yang murah.

b. Jaringan *Tie Line*

Sistem distribusi *tie line* digunakan untuk pelanggan penting yang tidak boleh padam seperti bandar udara, rumah sakit, dan lain-lain. Oleh karena hal tersebut, akan terdapat sebuah trafo 20 kV yang dihubungkan dengan beberapa jalur yang terdapat PMT (Pemutus Tenaga) atau PMS (Pemisah) di awal dan di ujung jalur. Sehingga jika terdapat salah satu jalur yang mengalami kendala maka terdapat jalur backup yang dapat digunakan. Sistem jaringan dapat dilihat pada Gambar 2.4

d. Sistem *Spindel*

Sistem *spindle* pada Gambar 2.6 menggunakan 2 jenis penyulang yaitu penyulang cadangan (*standby* atau *express feeder*) dan penyulang operasi (*working feeder*). Saat dalam keadaan normal jaringan ini akan bekerja seperti sistem *radial*. Penyulang cadangan tidak dibebani dan berfungsi sebagai *back-up supply* jika terjadi gangguan pada penyulang operasi, sehingga sistem ini tergolong sistem yang handal. dalam pembangunannya. Dan untuk penyulang operasi akan dibebani dengan trafo distribusi untuk didistribusikan. Ditiap jalur akan terdapat PMT yang berfungsi untuk menentukan jalur mana yang akan digunakan.



Gambar 2.6 Jaringan Sistem *Spindle*

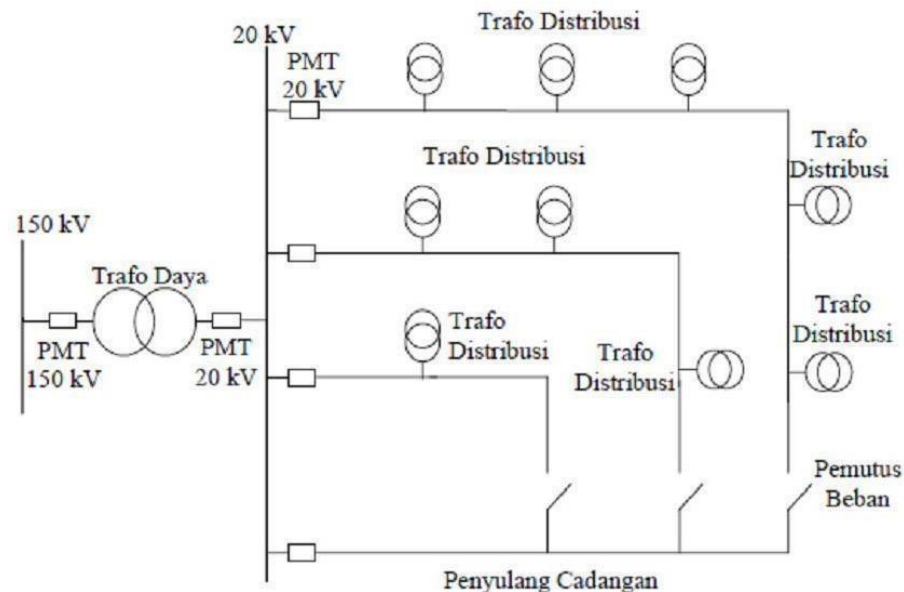
(PLN Buku-1, 2010)

Sistem ini sudah memperhitungkan perkembangan beban atau penambahan jumlah konsumen sampai beberapa tahun ke depan, sehingga dapat digunakan dalam waktu yang cukup lama, hanya saja investasi pembangunannya juga lebih besar, proteksinya masih sederhana, mirip dengan sistem *loop*. Pada bagian tengah penyulang biasanya dipasang gardu tengah yang berfungsi sebagai titik *manuver* ketika terjadi gangguan pada jaringan tersebut.

Untuk konfigurasi 2 penyulang, maka faktor pembebanan hanya 50%. Berdasarkan konsep *spindle* jumlah penyulang pada 1 *spindel* adalah 6 penyulang operasi dan 1 penyulang cadangan sehingga faktor pembebanan konfigurasi *spindel* penuh adalah 85%. Ujung-ujung penyulang berakhir pada gardu yang disebut gardu hubung dengan kondisi penyulang operasi “NO” (*Normally Open*), kecuali penyulang cadangan dengan kondisi “NC” (*Normally Close*).

e. Sistem *Cluster*

Sistem pada Gambar 2.7 ini mirip dengan sistem *spindle*. Bedanya pada sistem *cluster* tidak digunakan gardu hubung atau gardu *switching*, sehingga *express feeder* dari gardu hubung ke tiap jaringan. *Express feeder* ini dapat berguna sebagai titik *manuver* ketika terjadi gangguan pada salah satu bagian jaringan.

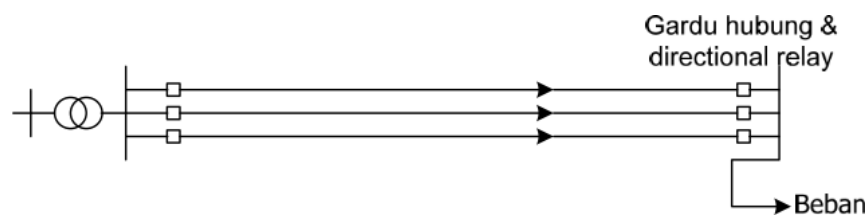


Gambar 2.7 Jaringan Sistem *Cluster*

(PLN Buku-1, 2010)

f. Konfigurasi *Spotload (Parallel Spot Configuration)*

Konfigurasi yang terdiri sejumlah penyulang beroperasi paralel dari sumber atau Gardu Induk yang berakhir pada Gardu Distribusi. Konfigurasi ini dipakai jika beban pelanggan melebihi kemampuan hantar arus penghantar. Salah satu penyulang berfungsi sebagai penyulang cadangan, guna mempertahankan kontinuitas penyaluran. Sistem harus dilengkapi dengan rele arah (Directional Relay) pada Gardu Hilir (Gardu Hubung).

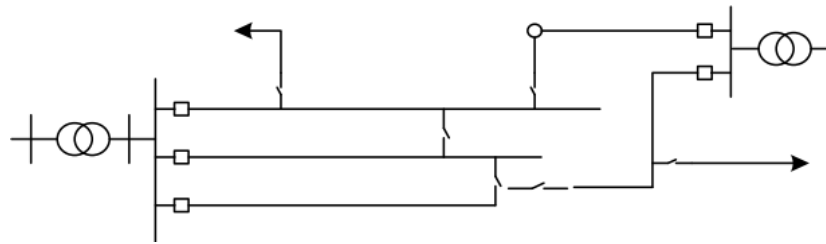


Gambar 2.8 Jaringan Sistem *Spotload*

(PLN Buku-1, 2010)

g. Konfigurasi Jala-jala (*mesh*)

Konfigurasi jala- jala, memungkinkan pasokan tenaga listrik dari berbagai arah ke titik dari sumber atau Gardu Induk yang berakhir pada Gardu Distribusi. Konfigurasi ini dipakai jika beban pelanggan melebihi kemampuan hantar arus penghantar. Salah satu penyulang berfungsi sebagai penyulang cadangan, guna mempertahankan kontinuitas penyaluran. Sistem harus dilengkapi dengan rele arah (Directional Relay) pada Gardu Hilir (Gardu Hubung).



Gambar 2.9 Jaringan Sistem Jala-jala (*mesh*)

(PLN Buku-1, 2010)

2.2.3 Konstruksi Jaringan Tegangan Menengah

Pada pendistribusian tenaga listrik ke pengguna tenaga listrik di suatu kawasan, penggunaan sistem Tegangan Menengah sebagai jaringan utama adalah upaya utama menghindarkan rugi-rugi penyaluran (*losses*) dengan kualitas persyaratan tegangan yang harus dipenuhi oleh PT PLN Persero selaku pemegang Kuasa Usaha Utama sebagaimana diatur dalam UU ketenagalistrikan No 30 tahun 2009.

Dengan ditetapkannya standar Tegangan Menengah sebagai tegangan operasi yang digunakan di Indonesia adalah 20 kV, konstruksi JTM wajib memenuhi kriteria enjinering keamanan ketenagalistrikan, termasuk didalamnya adalah jarak aman minimal antara Fase dengan lingkungan dan antara Fase dengan tanah, bila jaringan tersebut menggunakan Saluran Udara atau ketahanan Isolasi jika menggunakan Kabel Udara Pilin Tegangan Menengah atau Kabel Bawah Tanah Tegangan Menengah serta kemudahan dalam hal pengoperasian atau pemeliharaan Jaringan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) pada jaringan utama. Hal ini dimaksudkan sebagai usaha menjaga keandalan kontinyuitas pelayanan konsumen. Kabel listrik merupakan komponen listrik yang berfungsi untuk menghantarkan energi listrik ke sumber-sumber beban listrik atau alat- alat listrik. [15]

Konstruksi jaringan Tenaga Listrik Tegangan Menengah dapat dikelompokkan menjadi 3 macam konstruksi sebagai berikut :

a. Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM)

Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) adalah sebagai konstruksi termurah untuk penyaluran tenaga listrik pada daya yang sama. Konstruksi ini terbanyak digunakan untuk konsumen jaringan Tegangan Menengah yang digunakan di Indonesia. Ciri utama jaringan ini adalah penggunaan penghantar telanjang yang ditopang dengan isolator pada tiang besi/beton. Penggunaan penghantar telanjang, dengan sendirinya harus diperhatikan faktor yang terkait dengan keselamatan ketenagalistrikan seperti jarak aman minimum yang harus dipenuhi penghantar bertegangan 20 kV tersebut antar Fase atau dengan bangunan atau dengan tanaman atau dengan jangkauan manusia. Termasuk dalam kelompok yang diklasifikasikan SUTM adalah juga bila penghantar yang digunakan adalah penghantar berisolasi setengah AAAC-S (half insulated single core). Penggunaan penghantar ini tidak menjamin keamanan terhadap tegangan sentuh yang dipersyaratkan akan tetapi untuk mengurangi resiko gangguan temporer khususnya akibat sentuhan tanaman.



Gambar 2.10 Konstruksi SUTM

b. Saluran Kabel Udara Tegangan Menengah (SKUTM)

Untuk lebih meningkatkan keamanan dan keandalan penyaluran tenaga listrik, penggunaan penghantar telanjang atau penghantar berisolasi setengah pada konstruksi jaringan Saluran Udara Tegangan Menengah 20 kV, dapat juga digantikan dengan konstruksi penghantar berisolasi penuh yang dipilin. Isolasi penghantar tiap Fase tidak perlu di lindungi dengan pelindung mekanis. Berat kabel pilin menjadi pertimbangan terhadap pemilihan kekuatan beban kerja tiang beton penopangnya. Jenis penghantar yang sering dipakai adalah NFA2XSY-T dengan ukuran $3 \times 150 \text{ mm}^2$ dan $3 \times 240 \text{ mm}^2$. Untuk di wilayah jawa timur, ditambahkan *Galvanized Steel wire 70 mm* dan *Connection Clamp For Neuntral* sebagai penguatan sekaligus agar kabel terpasang lebih rapi.



Gambar 2.11 Konstruksi SKUTM

c. Saluran Kabel Tanah Tegangan Menengah (SKTM)

Konstruksi SKTM ini adalah konstruksi yang aman dan andal untuk mendistribusikan tenaga listrik Tegangan Menengah, tetapi relatif lebih mahal untuk penyaluran daya yang sama. Keadaan ini dimungkinkan dengan konstruksi isolasi penghantar per Fase dan pelindung mekanis yang dipersyaratkan. Pada rentang biaya yang diperlukan, konstruksi ditanam langsung adalah termurah bila dibandingkan dengan penggunaan conduit atau bahkan tunneling (terowongan beton).



Gambar 2.12 Sambungan SKTM ke JTM

2.2.4 Komponen Jaringan Tegangan Menengah

Dalam sebuah sistem jaringan tegangan menengah tentunya tidak hanya memerlukan kabel saja dalam proses transmisi namun tentunya memerlukan komponen-komponen yang lain sebagai penunjang transmisi, komponen-komponen penunjang transmisi terdiri dari penghantar, isolator, dan aksesories penunjang. Switch dalam sistem ini tidak semuanya hanya berfungsi sebagai pemutus dan penghubung namun ada juga yang berfungsi sebagai pengamanan.

a. Penghantar

Penghantar pada jaringan distribusi berguna untuk menyalurkan energi listrik dari gardu induk ke konsumen melalui tiang-tiang listrik atau yang biasa disebut dengan penyulang, penghantar yang digunakan memiliki tiga jenis, yaitu:

1. Penghantar Telanjang (BC : *Bare Conductor*/ AAAC)
2. Penghantar Berisolasi Setengah (*Half Insulated Single Core*), contohnya: AAAC-S / A3C-S (*All Aluminium Alloy Conductor – Solated*)
3. Penghantar Berisolasi Penuh (*Three Single Core*), contohnya: MVTIC (*Medium Voltage Twisted Insulated Cable*) / Kabel udara berpilin & XLPE (*Cross-Linked Polyethylene*) / Kabel tanah.

b. Isolator

Isolator dalam jaringan distribusi tenaga listrik berfungsi sebagai penyangga kawat penghantar pada tiang listrik sekaligus sebagai pemisah listrik antara dua atau lebih kawat penghantar. Tujuan utamanya adalah mencegah kebocoran arus (*leakage current*) serta menghindari loncatan bunga api (*flash over*) yang dapat merusak sistem jaringan distribusi. Umumnya, isolator dibuat dari bahan padat seperti porselin, gelas, mika, ebonit, keramik, parafin, kuarsa, dan feldspar. Isolator yang digunakan untuk saluran distribusi tenaga listrik berdasarkan fungsi dan konstruksinya dapat dibedakan dalam 4 macam, yaitu:

1. Isolator Tumpu (*Pin Insulator*)

Isolator jenis tumpu digunakan pada tiang lurus (*tangent pole*) serta tiang sudut (*angle pole*) dengan sudut antara 5° hingga 30° . Desain kepingannya melebar ke bawah menyerupai payung, sehingga dapat mengalirkan air hujan dengan lebih efektif dan mencegahnya mengenai permukaan kepingan secara langsung. Jumlah kepingan yang digunakan bergantung pada kekuatan elektris bahan penyusunnya, dengan batas maksimum umumnya hingga lima keping. Pin Insulator dapat dilihat pada gambar 2.13.



Gambar 2.13 Pin Isolator

2. Isolator Pos (*Post Insulator*)

Isolator jenis ini digunakan pada tiang-tiang lurus (*tangent pole*) dan pada tiang sudut (*angle pole*) untuk sudut 5° sampai 15° . Isolator jenis ini hampir sama dengan isolator pasak, namun jika dibandingkan dengan isolator jenis tumpu, isolator jenis pos ini lebih sederhana perencanaannya. Diameternya lebih kecil dan tak menggunakan kepingan-kepingan seperti isolator jenis tumpu. Terdapat lekukan-lekukan pada permukaannya untuk mengurangi hantaran yang terjadi pada isolator. Makin tinggi tegangan isolasinya makin banyak lekukan-lekukan tersebut. Pos Insulator dapat dilihat pada Gambar 2.14



Gambar 2.14 Post Isolator

3. Isolator Tarik (*Suspension Insulator*)

Isolator jenis ini digunakan pada konstruksi penegang, selain itu juga digunakan untuk konstruksi dengan sudut diatas Dibandingkan isolator jenis tumpu, isolator tarik ini hanya mempunyai satu piringan yang terbuat dari bahan porselin atau bahan gelas biru kelabu. Dengan menggunakan bahan gelas biru kelabu ini harga isolator dapat ditekan lebih murah dan dapat digunakan untuk beberapa gandingan. Isolator tarik dapat dilihat pada Gambar 2.15



Gambar 2.15 *Suspension Isolator*

c. Tiang

Dalam proses pemasangan Jaringan Tegangan Menengah, Baik Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM), maupun Saluran Kabel Udara Tegangan Menengah (SKUTM), tiang memiliki peranan penting dalam pembangunan jaringan tersebut. Ada beberapa macam tiang yang digunakan dalam pembangunan SUTM/SKUTM. Untuk saat ini Tiang beton adalah material yang sering digunakan dalam pemasangan SUTM dan SKUTM, biasanya jenis tiang beton yang digunakan adalah ukuran 13 m/350 dAN. Namun dalam kondisi tertentu yang tidak memungkinkan menggunakan tiang beton, alternatif lain dengan menggunakan tiang besi.



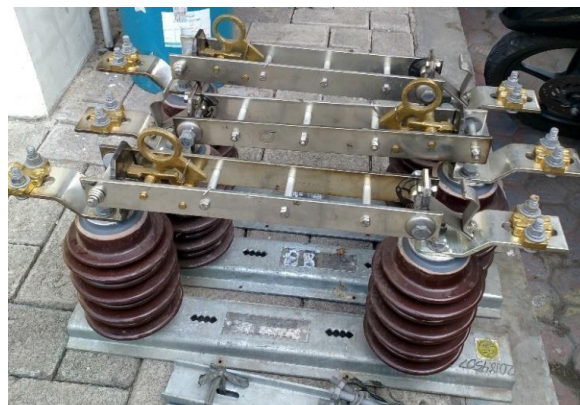
Gambar 2.16 Tiang Beton

d. Peralatan Hubung (*Switching*)

Fungsi saklar pada Jaringan Tegangan Menengah memiliki 2 fungsi yaitu ada yang hanya sebagai saklar biasa (pemisah & penghubung) dan ada yang sebagai pengaman saat terjadi gangguan pada saluran Distribusi. Untuk saklar sebagai pemisah dan penghubung biasa ada 3 jenis yaitu:

1. DS (*Disconnecting Switch*)

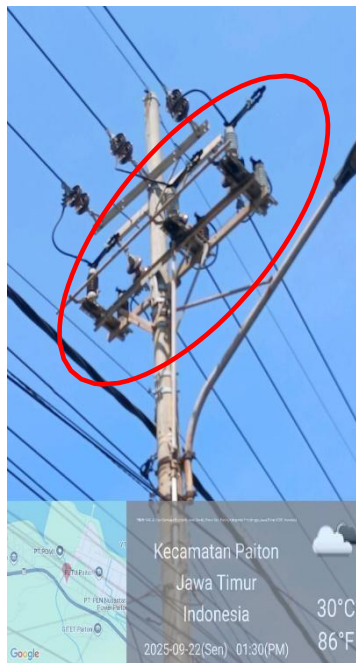
Disconnecting Switch (DS) adalah peralatan Alat ini berfungsi untuk menyatakan secara visual bahwa jaringan yang terhubung dengan DS ini sudah benar-benar tidak teraliri listrik. Oleh karena itu saat pelepasan alat ini tidak boleh dalam keadaan berbeban karena proses pelepasannya satu per satu di tiap fasa, karena jika dalam keadaan berbeban akan terjadi percikan api bahkan bisa terjadi ledakan.



Gambar 2.17 *Disconnecting Switch*

2. Load Break Switch (LBS)

Alat ini memiliki fungsi sebagai penghubung dan pemutus untuk antar penyulang ataupun satu penyulang. LBS tidak dapat mendeteksi jika terjadi gangguan sehingga alat ini hanya digunakan untuk menghubungkan dua penyulang menjadi satu jika salah satu penyulang membutuhkan daya lebih dari penyulang lain atau juga bisa sebagai pemutus saat akan ada perbaikan. Perbedaan alat ini dengan DS yaitu LBS dapat dioperasikan saat kondisi tidak berbeban atau berbeban dapat dihubungkan maupun dipisah, karena saat proses pemisahan dilakukan secara bersamaan 3 fasa sekaligus menggunakan tuas yang berada di bawah tiang, namun loncatan listrik masih dapat terjadi saat terjadi pelepasan maupun pemasangan karena efek dari medan listrik di sekitar penghantar.



Gambar 2.18 Load Break Switch

3. Recloser

Recloser atau Penutup Balik Otomatis (PBO) adalah salah satu perangkat proteksi paling vital dalam sistem distribusi tenaga listrik yang dirancang khusus untuk mendeteksi dan memutus arus gangguan, serta secara otomatis melakukan penutupan kembali (*reclosing*) dalam jangka waktu yang telah ditentukan. Prinsip kerja recloser didasarkan pada fakta lapangan bahwa sebagian besar gangguan pada jaringan distribusi udara bersifat temporer, seperti sentuhan dahan pohon yang tertiup angin, kilatan petir, atau hewan yang melintas. Tanpa recloser, gangguan singkat ini akan menyebabkan pengaman lebur (*fuse*) putus atau pemutus tenaga (PMT) di gardu induk terbuka secara permanen, yang berujung pada pemadaman listrik total bagi pelanggan. Dengan adanya recloser, sistem secara cerdas akan "mencoba" menyambungkan kembali aliran listrik beberapa saat

setelah gangguan terdeteksi, sehingga jika gangguan tersebut memang bersifat sementara, aliran listrik akan kembali normal dalam hitungan detik tanpa perlu intervensi manual dari petugas lapangan.

Secara teknis, recloser beroperasi melalui serangkaian siklus kerja yang dapat diatur, biasanya terdiri dari kombinasi operasi cepat (*fast trip*) dan operasi lambat (*delayed trip*). Operasi cepat bertujuan untuk memutus gangguan sebelum *fuse* di sisi hilir sempat meleleh, sementara operasi lambat memberikan kesempatan bagi perangkat proteksi lain untuk mengisolasi gangguan jika gangguan tersebut bersifat permanen. Jika setelah beberapa kali percobaan penutupan (biasanya 3 hingga 4 kali) gangguan tetap terdeteksi, maka recloser akan masuk ke posisi *lockout*, yaitu memutus aliran listrik secara permanen untuk melindungi peralatan sistem dari kerusakan yang lebih parah akibat arus hubung singkat yang terus-menerus. Kondisi *lockout* ini merupakan sinyal bagi tim teknis bahwa telah terjadi gangguan permanen, seperti kabel putus atau tiang roboh, yang memerlukan perbaikan fisik di lokasi.

Komponen utama dari sebuah recloser terdiri dari tangki pemutus yang berisi media pemadam busur api umumnya menggunakan teknologi vakum atau gas SF₆ dan sebuah kotak kontrol elektronik yang berfungsi sebagai otak dari perangkat tersebut. Kotak kontrol ini dilengkapi dengan sensor arus dan tegangan serta relai proteksi yang sangat sensitif. Di era modern, recloser telah bertransformasi menjadi perangkat pintar yang terintegrasi dengan sistem *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA). Integrasi ini memungkinkan operator di pusat kontrol untuk memantau status recloser, mengubah parameter pengaturan secara jarak jauh, hingga melakukan manuver jaringan secara *real-time*. Hal ini sangat krusial dalam skema otomatisasi jaringan distribusi (*Distribution Automation*), di mana recloser dapat bekerja sama dengan perangkat lain untuk melakukan lokalisasi gangguan secara otomatis, sehingga area yang terdampak pemadaman dapat diminimalisir sekecil mungkin.

Dari sisi manajemen keandalan, penggunaan recloser memberikan dampak positif yang sangat signifikan terhadap indikator SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*) dan SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*). Dengan kemampuannya mengatasi gangguan temporer secara otomatis, recloser secara langsung mengurangi frekuensi pemadaman yang dialami pelanggan dan mempercepat durasi pemulihan listrik. Selain itu, perangkat ini juga berfungsi sebagai titik pemisah atau penyekat dalam skema manuver beban, yang memungkinkannya untuk membagi jaringan yang panjang menjadi beberapa segmen yang lebih kecil. Fleksibilitas ini memastikan

bahwa kegagalan di satu titik tidak melumpuhkan seluruh penyulang, sehingga stabilitas energi tetap terjaga dan efisiensi operasional perusahaan listrik dapat terus ditingkatkan demi pelayanan publik yang lebih baik.



Gambar 2.19 *Recloser*

e. Aksesories Pendukung

Selain material-material utama diatas, ada beberapa material pendukung yang juga digunakan dalam pemasangan baik SUTM maupun SKUTM, diantaranya material pembesian seperti *Cross Arm*, *Arm Tie*, *Arm tie band*, *single arm band*, *double arm band*, Baut ukuran 350 mm dan 400 mm. Ada juga material *connector* seperti *Joint Sleeve*, *line tap connector* dan *terminal lug*. Dan material pendukung lain seperti *Top ties*, *Side ties*, dan *double side ties*.



Gambar 2.20 *Cross Arm dan Single Arm Band*

2.2.5 Pengertian PDKB

Berdasarkan Keputusan Direktur Jendral Listrik dan Pengembangan Energi Nomor : 73-12/40/600.1/1993, tanggal 16-8-1993, tentang : Petunjuk Pelaksanaan Jaringan dalam keadaan bertegangan dan Keputusan Direksi PLN No. 036.T.K./453/DIR/1992, tanggal 2 Nopember 1992, tentang Pembentukan TIM Pengarah dan TIM Kerja untuk persiapan dan pelaksanaan PDKB. Dikenal sebagai pasukan Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB), unit PLN ini merupakan orang-orang pilihan dengan keterampilan dan kompetensi yang khusus. Pasukan ini terlatih melakukan pemeliharaan, perbaikan, dan penggantian isolator, konduktor maupun komponen lainnya pada jaringan listrik.

Layaknya prajurit yang memiliki kesatuan khusus dengan keterampilan tempur istimewa, PT PLN (Persero) juga memiliki pasukan khusus yang dikomando dalam penugasan-penugasan berisiko tinggi. Dikenal sebagai pasukan Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB), unit PLN ini merupakan orang-orang pilihan dengan keterampilan dan kompetensi yang khusus.

Pasukan ini terlatih melakukan pemeliharaan, perbaikan, dan penggantian isolator, konduktor maupun komponen lainnya pada jaringan listrik. Mereka memiliki kemampuan khusus dan berisiko tinggi untuk bekerja tanpa harus memadamkan aliran listrik. Berkat kerja keras PDKB, selama ini banyak masyarakat yang tetap dapat menikmati listrik meski terjadi gangguan. Meski tak banyak dikenal luas oleh masyarakat, PDKB senantiasa bekerja dengan profesional. Di tangan mereka pemeliharaan tower listrik dijalankan meski dengan kondisi arus listrik yang kuat. Ini yang membuat PLN mampu menghadirkan keandalan listrik bagi pelanggan di seluruh tanah air.

Terdapat ribuan insan PLN yang tergabung dalam pasukan khusus PDKB ini. Mereka terbagi dalam kerja-kerja khusus seperti PDKB Tegangan Extra Tinggi, PDKB Tegangan Tinggi, dan PDKB Tegangan Menengah. Bahkan setiap anggotanya memiliki beragam sertifikasi, di antaranya sertifikasi internal PLN, Sertifikasi internasional dari Omaka New Zealand dan Terex Ritz Brazil, hingga sertifikasi Direktur Jenderal Ketenagalistrikan (DJK) Kementerian ESDM yang terkait bidang dan level kompetensinya. Pasukan PDKB pun harus mengedepankan konsep zero accident atau nihil kecelakaan, patuh pada SOP, mengutamakan tim kerja, dan berpegang teguh pada profesionalisme kerja.

2.2.6 Jenis Metode PDKB

Dalam pelaksanaannya PDKB TM memakai 3 macam metode yang digunakan yaitu Metode Sentuh langsung, Metode Berjarak dan Metode Kombinasi

1. PDKB Sentuh Langsung

Singkatan dari "Sentuh Langsung", yang merujuk pada metode kerja dalam PDKB di mana petugas langsung menyentuh konduktor bertegangan. Metode ini 3 kali lebih cepat daripada metode berjarak, mengutamakan *zero accident*, dan menggunakan alat pelindung khusus berisolasi, sarung tangan berisolasi dan mobil *skylift* berisolasi.



Gambar 2.21 PDKB Sentuh Langsung

Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) dengan metode **Sentuh Langsung** merupakan salah satu puncak inovasi teknologi pemeliharaan pada sistem kelistrikan yang memungkinkan personel melakukan perbaikan, penggantian komponen, atau pemeliharaan jaringan tanpa harus mematikan aliran listrik kepada konsumen. Metode ini berbeda secara fundamental dengan metode "jarak jauh" (*stick*) karena pada metode sentuh langsung, petugas atau lineman berinteraksi secara fisik dengan konduktor yang bertegangan menggunakan sarana isolasi tertentu. Secara teknis, prinsip utama yang digunakan adalah memastikan bahwa petugas berada pada potensi yang sama dengan tegangan jaringan atau terlindungi

sepenuhnya oleh lapisan isolasi yang memiliki kekuatan dielektrik lebih tinggi daripada tegangan sistem yang dikerjakan. Di Indonesia, penerapan metode ini biasanya dilakukan pada jaringan Tegangan Menengah (TM) 20 kV, yang menuntut disiplin tinggi, kesiapan mental, dan kepatuhan mutlak terhadap Standar Operasional Prosedur (SOP).

Daya tarik utama dari metode Sentuh Langsung terletak pada efisiensi dan dampaknya terhadap kualitas pelayanan pelanggan. Dengan tidak adanya pemadaman selama proses pemeliharaan, indikator kinerja keandalan seperti *System Average Interruption Duration Index* (SAIDI) dan *System Average Interruption Frequency Index* (SAIFI) dapat ditekan secara signifikan. Dari sisi ekonomi, metode ini mencegah hilangnya pendapatan akibat energi yang tidak terjual (*Energy Not Served*)—sebagaimana yang sering digambarkan dalam grafik pencapaian kinerja energi. Bagi sektor industri dan bisnis, keberlangsungan aliran listrik tanpa kedip selama pemeliharaan adalah sebuah jaminan kualitas yang krusial bagi produktivitas mereka. Oleh karena itu, tim PDKB Sentuh Langsung sering dianggap sebagai pasukan khusus dalam dunia kelistrikan karena risiko yang mereka hadapi dan nilai tambah yang mereka berikan bagi perusahaan maupun masyarakat luas.

Keselamatan dalam PDKB Sentuh Langsung tidak hanya bergantung pada keahlian individu, tetapi juga pada ekosistem peralatan yang sangat terspesialisasi. Personel yang bertugas wajib menggunakan Alat Pelindung Diri (APD) khusus yang meliputi sarung tangan isolasi (*rubber insulating gloves*) dengan kelas tegangan yang sesuai, pelindung lengan (*sleeves*), serta sepatu dan helm pelindung. Selain itu, sarana akses utama yang digunakan biasanya berupa truk yang dilengkapi dengan *boom* isolasi (*aerial device* atau *bucket truck*). *Bucket* atau keranjang tempat petugas berdiri memiliki lapisan isolasi ganda yang harus diuji secara berkala untuk memastikan tidak ada arus bocor yang dapat membahayakan petugas di atas maupun personel yang berada di permukaan tanah. Sebelum pekerjaan dimulai, dilakukan prosedur "pengujian udara" dan pengecekan kelembapan, karena air adalah konduktor yang dapat merusak sifat isolasi peralatan.

Prosedur kerja dalam metode ini sangat rigid dan dimulai dengan persiapan yang matang melalui *pre-job briefing*. Setiap gerakan petugas di atas jaringan dipandu oleh pengawas K3 dan pengawas pekerjaan untuk memastikan jarak aman minimum (*Minimum Approach Distance*) terhadap potensi yang berbeda tetap

terjaga. Salah satu teknik yang krusial adalah menutup bagian bertegangan lain yang tidak sedang dikerjakan dengan penutup isolasi (*rubber blankets* atau *line covers*) untuk mencegah terjadinya hubungan singkat akibat sentuhan tidak sengaja. Kedisiplinan dalam merawat peralatan juga menjadi kunci; setiap goresan kecil atau kontaminasi debu pada peralatan isolasi dapat menyebabkan kegagalan fungsi yang fatal, sehingga prosedur pembersihan dan inspeksi visual dilakukan setiap kali alat akan digunakan dan setelah selesai digunakan.

2. PDKB Berjarak

Metode ini menggunakan peralatan *hot stick* dengan jarak tertentu sehingga aman dikerjakan. Metode *hot stick* dapat juga digunakan bersamaan dengan metode sentuh langsung selama metode tersebut bisa saling melengkapi. *Hot stick* yang digunakan pada metode ini terbuat dari *Fibreglass Reinforced Plastic (FRP)* yaitu plastik yang diperkuat dengan fiberglass.



Gambar 2.22 PDKB Berjarak

Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) dengan **Metode Berjarak** (*Distance Method*) merupakan teknik pemeliharaan jaringan listrik di mana petugas melakukan perbaikan atau penggantian komponen tanpa memutus aliran listrik, namun tetap menjaga jarak aman tertentu dari bagian yang bertegangan. Berbeda dengan metode sentuh langsung yang menggunakan sarung tangan isolasi dan *bucket truck*, metode berjarak mengandalkan alat bantu utama berupa tongkat isolasi yang dikenal sebagai **Stik Isolasi** (*Hot Sticks*). Dengan menggunakan stik ini, tangan

petugas tidak pernah menyentuh secara langsung kabel atau peralatan yang dialiri arus listrik. Metode ini sangat umum diterapkan pada jaringan Tegangan Menengah (TM) hingga Tegangan Tinggi, terutama di lokasi-lokasi yang sulit dijangkau oleh kendaraan berat atau pada konstruksi tiang yang tidak memungkinkan posisi *bucket* masuk ke area kerja.

Prinsip dasar dari metode berjarak adalah pemanfaatan udara dan material isolasi pada stik sebagai media penghambat arus listrik. Setiap peralatan stik dirancang dengan panjang tertentu yang disesuaikan dengan level tegangan jaringan untuk memastikan bahwa petugas tetap berada di luar zona bahaya atau di luar **Jarak Bebas Minimum** (*Minimum Approach Distance*). Peralatan stik ini memiliki berbagai ujung yang dapat diganti (*attachments*), seperti kunci pas, pemotong kabel, atau pengait, yang memungkinkan petugas melakukan gerakan mekanis dari jarak jauh dengan presisi tinggi. Keberhasilan metode ini sangat bergantung pada keterampilan motorik petugas dalam mengoperasikan stik yang panjang dan berat, serta koordinasi mata yang tajam untuk memanipulasi komponen kecil di ketinggian.

Dari sisi prosedur keselamatan, PDKB Metode Berjarak menuntut disiplin yang luar biasa ketat. Sebelum memulai pekerjaan, petugas harus melakukan pengujian nilai isolasi pada stik menggunakan alat ukur khusus guna memastikan tidak ada keretakan mikroskopis atau kelembapan yang dapat menjadi jalur hantar arus. Selain itu, faktor cuaca memegang peranan yang sangat krusial; pekerjaan harus segera dihentikan jika kelembapan udara meningkat atau muncul tanda-tanda mendung dan hujan, karena air yang menempel pada permukaan stik dapat menurunkan kemampuan isolasinya secara drastis. Penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) standar seperti helm, sepatu isolasi, dan kaca mata pelindung tetap wajib digunakan untuk memitigasi risiko jika terjadi loncatan bunga api (*flashover*) akibat kesalahan prosedur atau kegagalan isolasi peralatan.

Meskipun secara fisik lebih melelahkan karena petugas harus menahan beban stik dalam durasi yang cukup lama, metode berjarak tetap menjadi pilihan favorit karena fleksibilitasnya. Metode ini memungkinkan tim PDKB untuk menjangkau titik-titik jaringan di daerah pelosok, gang sempit, atau medan pegunungan yang hanya bisa diakses dengan memanjat tiang secara manual. Secara manajerial, penerapan metode ini memberikan kontribusi besar bagi perusahaan listrik dalam menjaga kontinuitas distribusi energi dan meningkatkan kepuasan pelanggan, karena pemeliharaan rutin seperti pembersihan isolator atau penggantian *arrester* dapat

diselesaikan tanpa menimbulkan pemadaman yang mengganggu aktivitas sosial dan ekonomi masyarakat.

3. PDKB Kombinasi

Metode ini menggunakan peralatan *hot stick* dengan jarak tertentu sehingga aman dikerjakan. Tetapi tidak menggunakan tangga berisolasi, melainkan sebagai gantinya menggunakan mobil *skylift* yang tidak berisolasi.



Gambar 2.21 PDKB Kombinasi

Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) dengan Metode Kombinasi merupakan sebuah teknik adaptif yang menggabungkan prinsip dasar Metode Berjarak dengan penggunaan sarana akses mekanis berupa mobil *skylift* (sering disebut *Crane* atau *Bucket Truck*) yang tidak memiliki isolasi (*non-insulated*). Dalam metode ini, mobil *skylift* berfungsi murni sebagai pengganti tangga atau sarana panjat untuk memposisikan petugas pada ketinggian yang ideal di dekat jaringan. Berbeda

dengan metode sentuh langsung di mana *bucket* berfungsi sebagai pelindung dielektrik, pada metode kombinasi ini, *bucket* dan lengan *skylift* dianggap sebagai benda berpotensi tanah (ground). Oleh karena itu, keamanan sepenuhnya tetap bersandar pada penggunaan tongkat isolasi (*hot sticks*) sebagai media pemisah antara petugas dan bagian yang bertegangan.

Secara teknis, metode ini memberikan keuntungan signifikan dalam hal ergonomi dan kecepatan kerja dibandingkan dengan metode memanjat tiang secara manual. Petugas yang berada di dalam *bucket* non-isolasi memiliki landasan berdiri yang lebih stabil dan ruang gerak yang lebih luas untuk mengoperasikan stik isolasi dengan presisi tinggi. Kondisi ini sangat membantu dalam mengurangi kelelahan fisik petugas, terutama saat harus melakukan manuver mekanis yang kompleks pada jaringan Tegangan Menengah. Namun, karena kendaraan yang digunakan tidak memiliki sifat isolasi, aturan mengenai Jarak Bebas Minimum (*Minimum Approach Distance*) menjadi harga mati yang tidak boleh dilanggar. Bagian dari *skylift* maupun tubuh petugas harus tetap berada pada jarak aman dari konduktor, di mana interaksi dengan arus listrik hanya dilakukan melalui perantara stik isolasi yang telah diuji kualitas dielektriknya.

Aspek keselamatan dalam Metode Kombinasi menuntut ketelitian ganda. Sebelum operasional dimulai, pengawas pekerjaan harus memastikan bahwa posisi parkir mobil *skylift* stabil dengan menggunakan *outrigger* yang terpasang sempurna. Karena *boom* dan *bucket* tidak terisolasi, risiko terbesar adalah terjadinya kontak tidak sengaja antara lengan metalik kendaraan dengan kabel bertegangan, yang dapat menyebabkan kegagalan sistem atau bahaya bagi personel di darat. Oleh karena itu, komunikasi antara operator *skylift* dan petugas di atas *bucket* harus sangat intensif. Setiap gerakan lengan hidrolik harus dipandu untuk menghindari area bahaya, dan seringkali diperlukan pemasangan penutup isolasi (*cover equipment*) pada bagian-bagian tertentu di sekitar area kerja sebagai langkah proteksi tambahan untuk mencegah loncatan bunga api jika terjadi kesalahan manuver.

Penerapan metode ini biasanya dipilih untuk lokasi yang dapat dijangkau oleh kendaraan namun memiliki kompleksitas pekerjaan yang memerlukan kestabilan lebih tinggi daripada sekadar memanjat tiang. Metode Kombinasi menjadi solusi jembatan yang efisien: ia menawarkan kecepatan mobilisasi alat berat namun tetap menggunakan prosedur kerja jarak jauh yang konservatif dan aman.