

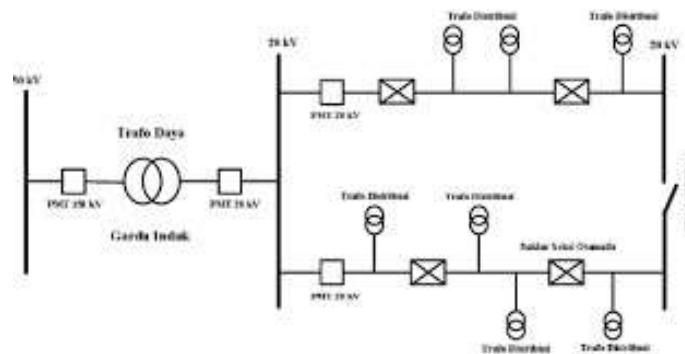
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Sistem Distribusi

Sistem distribusi tenaga listrik merupakan bagian penting dari keseluruhan sistem kelistrikan yang berfungsi mengalirkan energi listrik dari sumber (bulk power source) hingga sampai ke pelanggan akhir. Namun, dalam praktiknya, sistem ini kerap mengalami pemadaman yang disebabkan oleh berbagai faktor seperti gangguan hewan, kerusakan peralatan, pekerjaan pemeliharaan hingga pemadaman akibat penyambungan jaringan baru. Oleh karena itu, tantangan utama dalam sistem distribusi adalah bagaimana meminimalkan gangguan tersebut guna menjaga kontinuitas suplai listrik ke pelanggan.



Gambar 2.1 Jaringan Distribusi

Sistem distribusi pada saat ini dapat dibedakan dalam 2 macam yaitu distribusi primer, atau sering disebut Sistem Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dan distribusi sekunder, atau sering disebut Sistem Jaringan Tegangan Rendah (JTR).

a. Sistem jaringan distribusi primer

Sistem jaringan distribusi primer merupakan bagian dari sistem tenaga listrik antara Gardu Induk (GI) dan gardu distribusi. Pada jaringan distribusi primer umumnya terdiri

dari jaringan tiga fasa dengan menggunakan tiga atau empat kawat/kabel sebagai penghantar, dengan besar tegangan antara 6kV, 12kV, atau 20kV. 2)

b. Sistem jaringan distribusi sekunder

Sistem jaringan distribusi sekunder merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang dimulai dari sisi sekunder trafo distribusi sampai dengan sambungan rumah pada pelanggan yang berfungsi untuk mendistribusikan energi listrik dari gardu distribusi ke pelanggan dengan tegangan operasi yakni tegangan rendah 380/220V.

Sistem distribusi tenaga listrik di Indonesia pada umumnya terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu:

a. Gardu induk

Gardu induk merupakan bagian dari sistem transmisi listrik yang berfungsi menurunkan tegangan tinggi dari pembangkit menjadi tegangan menengah agar dapat disalurkan ke sistem distribusi.

b. Sistem Distribusi Tegangan Menengah

Sistem distribusi tegangan menengah ini dikenal sebagai sistem distribusi primer, dengan rentang tegangan antara 1kV hingga 35kV. Media penyaluran pada sistem ini bisa melalui Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) atau Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM).

c. Gardu Distribusi

Berfungsi sebagai titik peralihan antara sistem distribusi tegangan menengah ke sistem distribusi tegangan rendah dan pelanggan. Gardu ini menjadi komponen vital dalam sistem distribusi PLN.

d. Sistem Distribusi Tegangan Rendah

Disebut juga sebagai sistem sekunder, sistem ini memiliki tegangan kerja sekitar 380/240V hingga maksimal 1kV. Distribusi ini dimulai dari sisi sekunder trafo step-down dan berakhir di sambungan listrik rumah tangga atau pelanggan.

2.1.2 Saluran Udara Tegangan Menengah

Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) adalah sebagai konstruksi termurah untuk penyaluran energi listrik pada daya yang sama. Konstruksi ini terbanyak dipakai pada pelanggan jaringan tegangan menengah yang digunakan di Indonesia. Ciri utamanya ialah penggunaan penghantar telanjang yang di topang 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.

2.1.2.1 Komponen Saluran Udara Tegangan Menengah

a. Penghantar/Konduktor

1) Penghantar Tanpa Isolasi AAAC atau (BC : Bare Conductor)

Penghantar Tanpa Isolasi AAAC atau (BC : Bare Conductor) Konduktor yang bahan utamanya aluminium (Al) yang dipilin bulat padat, sesuai SPLN 4 -1 : 1986 dan SPLN74 : 1987.



Gambar 2.2 Kawat AAAC

2) Penghantar Berisolasi Setengah AAAC-S

Konduktor dengan bahan utama aluminium ini diisolasi dengan material XLPE (crosslink polyethylene langsung), dengan batas tegangan 6 kV dan harus memenuhi SPLN No 43-5-6 tahun 1998.



Gambar 2.3 Kawat AAAC-S

3) Penghantar Berisolasi Penuh (There Single Core)

Konduktor dengan bahan XLPE dan berselubung PVC berpenggantungan penghantar baja dengan tegangan Pengenal 12/20 (24) kV Penghantar jenis ini khusus digunakan untuk (Saluran Kabel Udara Tegangan Menengah) SKUTM dan berisolasi penuh. SPLN 43-5-2:1995-Kabel



Gambar 2.4 Penghantar Beriaolasi Penuh

b. Tiang Listrik

Sebagai penyangga kawat agar berada di atas tiang dengan jarak aman sesuai dengan ketentuan. Terbuat dari bahan yang kuat untuk menahan bebant tarik maupun tekan yang berasal dari kawat ataupun tekanan angin. Menurut bahannya tiang terdiri dari 3 jenis yaitu tiang kayu, tiang besi dan tiang beton.

c. Isolator

Pada jaringan SUTM, Isolator pengaman penghantar bertegangan dengan tiang penopang / traves dibedakan jenis konstruksinya adalah :

1) Isolator Tumpu



Gambar 2.5 Isolator Tumpu

2) Isolator Tarik



Gambar 2.6 Isolator Tarik

d. Traves (Cross Arm)

Berfungsi sebagai penopang isolator atau dipakai untuk menjaga penghantar dan peralatan yang dipasang diatas tiang. Material terbuat dari besi dan dipasang pada tiang,

dengan memasang klem – klem, disekrup dengan baut dan mur secara langsung. Pada traves dipasang baut – baut penyangga isolator dan peralatan lainnya, biasanya traves ini di bor terlebih dahulu untuk membuat lubang – lubang baut.



Gambar 2.7 Traves

e. Lightning Arrester

Lightning arrester merupakan alat proteksi untuk peralatan listrik terhadap tegangan lebih yang disebabkan oleh petir atau surja hubung. Alat ini bersifat sebagai by-pass disekitar isolasi yang membentuk jalan dan mudah dilalui arus kilat ke sistem pentanahan sehingga tidak menimbulkan tegangan lebih yang tinggi dan tidak merusak isolasi peralatan listrik. Saat keadaan normal arrester berlaku sebagai isolator, bila terjadi tegangan surja alat ini bersifat sebagai konduktor yang tahannya relatif rendah sehingga dapat menyalurkan arus yang tinggi ke tanah. Setelah surja hilang arrester dapat dengan cepat kembali sebagai isolasi.

f. Peralatan Switching

Pada percabangan atau pengalokasian seksi pada jaringan SUTM untuk maksud kemudahan operasional harus dipasang Pemutus Beban (Load Break Switch: LBS), selain LBS dapat juga dipasangkan Fuse Cut-Out (FCO).

g. Recloser / Pemutus Balik Otomatis (PBO)

Recloser merupakan rangkaian listrik yang terdiri pemutus tenaga yang dilengkapi kotak kontrol elektronik (Electronic Control Box) recloser, yaitu suatu peralatan elektronik sebagai kelengkapan recloser dimana peralatan ini tidak berhubungan dengan tegangan

menengah dan pada peralatan ini recloser dapat dikendalikan cara pelepasannya. Dari dalam kotak kontrol inilah pengaturan (setting) recloser dapat ditentukan.

h. Transformator

Berfungsi sebagai trafo distribusi mengubah tegangan menengah (20 kV) menjadi tegangan rendah (380/220V). Pemilihan kapasitas trafo bergantung kepada seberapa besar beban pelanggan yang akan di tanggung oleh sebuah trafo. PLN kVA. memberikan pelayanan kapasitas trafo distribusi mulai dari 50 kVA hingga 315 KVA.

2.1.3 Gardu Distribusi

Gardu distribusi berperan penting dalam sistem distribusi tenaga listrik sebagai penghubung dan penyalur energi ke konsumen, baik dalam tegangan menengah maupun tegangan rendah. Di dalam gardu distribusi, terdapat dua bagian utama: Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Menengah (PHB-TM) dan Tegangan Rendah (PHB-TR). Trafo distribusi biasanya memiliki daya ≤ 100 kVA dan berfungsi untuk menyesuaikan tegangan dengan kebutuhan pelanggan.

Jenis gangguan pada gardu distribusi dapat dibedakan menjadi dua :

a. Gangguan internal, seperti:

- Hubung singkat (short circuit)
- Overheating pada inti transformator

b. Gangguan eksternal, seperti:

- Gangguan dari Jaringan Tegangan Menengah (JTM): sambaran petir, hubung singkat
- Gangguan dari Jaringan Tegangan Rendah (JTR): beban lebih, gangguan akibat penurunan beban tiba-tiba

Gardu distribusi dengan jaringan tegangan menengah sangat krusial dalam menjamin kelancaran suplai energy listrik. Ketika terjadi gangguan pada jaringan tegangan menengah, proteksi otomatis pada gardu seperti fuse cut-out akan bekerja untuk memutus sambungan agar tidak terjadi kerusakan lanjutan. Begitu juga gardu yang terhubung dengan JTR memiliki peran penting, karena merupakan jalur terakhir penyaluran daya ke konsumen.

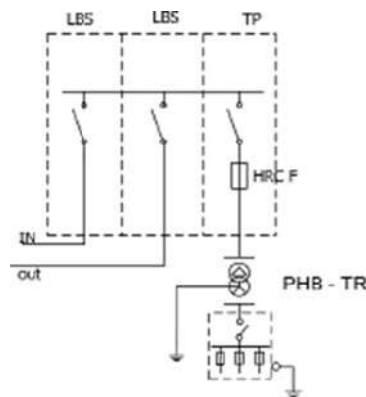
2.1.4 Jenis Gardu Distribusi

Jenis gardu distribusi dibedakan menjadi dua

1. Berdasarkan Penggunaan:
 - Gardu pelanggan umum
 - Gardu pelanggan khusus
 - Gardu hubung
2. Berdasarkan Pemasangan:
 - Gardu pasang dalam ruangan: Gardu kios, gardu beton
 - Gardu pasang luar: Gardu cantol, gardu portal

2.1.4.1 Gardu Pelanggan Umum

Jenis gardu ini biasanya menggunakan konfigurasi π section dan dicatu dari SKTM. Untuk menjaga keandalannya, gardu ini umumnya dipasok dari lebih dari satu penyulang serta dilengkapi sistem otomatis seperti (*Automatic Change Over Switch*) atau remote control.



Gambar 2.8 Struktur Gardu Pelanggan Umum

2.1.4.2 Gardu Pelanggan Khusus

Dirancang khusus untuk pelanggan dengan kebutuhan daya besar. Gardu ini dilengkapi alat proteksi, pengukuran, serta hubung bagi yang disesuaikan dengan spesifikasi pelanggan.

2.1.4.3 Gardu Hubung

Gardu ini berfungsi untuk mendistribusikan daya dari gardu induk menuju beberapa gardu distribusi. Fungsinya juga meliputi pemindahan beban dari satu penyulang ke penyulang lain saat terjadi gangguan.

2.1.4.4 Gardu Beton

Seluruh konstruksi gardu ini terbuat dari beton atau pasangan batu. Seluruh peralatan distribusi dipasang di dalam bangunan tersebut.



Gambar 2.9 Gardu Beton

2.1.4.5 Gardu Kios

Merupakan gardu dengan struktur baja atau fiberglass yang dirancang modular dan dapat dirakit langsung di lokasi. Tipe kios ini terdiri dari kios kompak, kios modular, dan kios bertingkat.



Gambar 2.10 Gardu Kios

2.1.4.6 Gardu Cantol

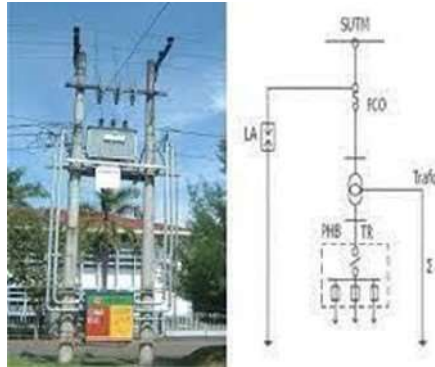
Gardu tipe pasang terbuka atau (out-door) dengan pemasangan pada satu tiang. Komponen seperti trafo dan PHB-TR dicantolkan langsung pada tiang. Daya trafo maksimum biasanya ≤ 100 kVA, dan menggunakan trafo tipe CSP (*Completely Self Protected Transformer*).



Gambar 2.11 Gardu Cantol

2.1.4.7 Gardu Portal

Dipasang dengan dua tiang atau lebih dan komponen trafo berada di atas, sedangkan PHB di bawah. Umumnya dilengkapi FCO (*Fuse Cut Out*) sebagai pengaman arus lebih dan LA (*Lightning Arrester*) sebagai pelindung dari tegangan lebih akibat petir.



Gambar 2.12 Gardu Portal

2.1.5 Peralatan Switching Distribusi

a. Pemutus Tenaga (PMT)

Pemutus tenaga (PMT) adalah perangkat yang membuka dan menutup jaringan listrik dalam segala kondisi untuk melindungi sistem tenaga listrik jika terjadi gangguan.



Gambar 2.13 Pemutus Tenaga (PMT)

b. Saklar Pemisah (PMS) / Disconnecting Switch (DS)

Saklar pemisah atau saklar pemutus merupakan pemisah dan penghubung jaringan listrik 20kV yang dimana saklar ini hanya bisa dioperasikan dalam keadaan tidak berbeban.



Gambar 2.14 Disconnecting Switch (DS)

c. Load Break Switch (LBS)

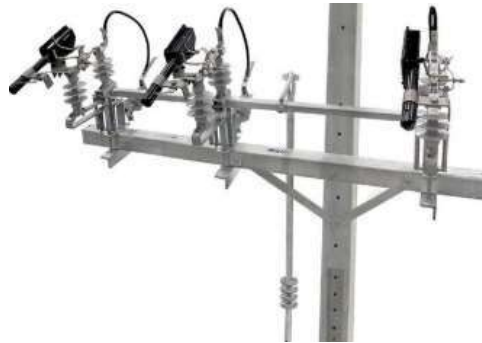
Berfungsi sebagai pemutus atau penghubung instalasi listrik 20kV. Pemutus beban dapat dioperasikan dalam keadaan berbeban dan terpasang pada kabel masuk atau keluar gardu distribusi.



Gambar 2.15 Load Break Switch (LBS)

d. Air Break Switch (Absw)

Saklar Pemutus Udara adalah perangkat penghubung yang memisahkan jaringan tiga fasa secara bersamaan. Dibawah level tegangan, Absw memiliki peredam busur api berupa hembusan angin yang berfungsi untuk melunakan busur api yang dihasilkan saat membuka atau menarik bilah Absw.

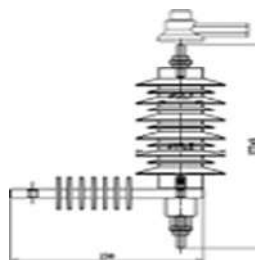


Gambar 2.16 Air Break Switch (Absw)

2.1.6 Peralatan Proteksi Jaringan

a. LA (*Lightnng Arrester*)

Merupakan peralatan yang didesain untuk melindungi peralatan instalasi tenaga listrik atau gardu induk dari gangguan tegangan lebih akibat surja hubung maupun surja petir. Proteksi jenis ini umumnya dipasang pada gardu pasangan luar dan juga dipasang pada ujung saluran yang akan memasuki gardu induk. Arrester bekerja dengan cara membatasi switching atau membuang sisa tegangan lebih akibat adanya sambaran petir yang kemudian dialirkan ke tanah. Pada kondisi normal arrester bekerja sebagai isolator, namun ketika adanya lonjakan tegangan arrester akan berkerja sebagai konduktor yang memiliki tahanan yang relatif rendah sehingga dapat mengalirkan arus ke tanah.



Gambar 2.17 Arrester

b. FCO (*Fuse Cut Out*)

Merupakan suatu peralatan instalasi listrik yang digunakan sebagai pengaman atau proteksi untuk melindungi jaringan dari arus lebih yang mengalir melebihi dari batas maksimumnya, dengan cara meleburkan fuse link.



Gambar 2.18 Fuse Cut Out (FCO)

c. Recloser

Recloser adalah alat yang digunakan pada jaringan distribusi tegangan menengah untuk memutus aliran tenaga listrik dengan tujuan untuk memisahkan daerah yang terkena arus gangguan dengan yang tidak terkena gangguan.

2.1.7 Gangguan Jaringan Distribusi

Dalam operasi sistem tenaga listrik sering terjadi gangguan-gangguan yang dapat mengakibatkan terganggunya penyaluran tenaga listrik ke konsumen. Gangguan adalah penghalang dari suatu sistem yang sedang beroperasi atau suatu keadaan dari sistem penyaluran tenaga listrik yang menyimpang dari kondisi normal. Gangguan di dalam peralatan listrik didefinisikan sebagai terjadinya suatu kerusakan di dalam jaringan listrik yang menyebabkan aliran arus listrik keluar dari saluran penghantar. Pada dasarnya gangguan yang sering terjadi pada sistem distribusi saluran 20 kVA dapat digolongkan menjadi dua macam yaitu gangguan dari dalam sistem dan gangguan dari luar sistem. Gangguan yang berasal dari luar sistem disebabkan oleh sentuhan daun/pohon, sambaran petir, manusia, binatang, cuaca dan lain-lain. Sedangkan gangguan dalam sistem dapat

berupa kegagalan dari fungsi peralatan atau kerusakan dari peralatan jaringan, kerusakan dari peralatan pemutus beban dan kesalahan pada alat pendeteksi.

Klasifikasi gangguan yang terjadi pada jaringan distribusi adalah:

a. Gangguan yang bersifat temporer

Gangguan yang bersifat temporer ini apabila terjadi, maka gangguan tersebut tidak akan lama dan dapat di normal kembali. Gangguan ini dapat ditangani dengan memutus sesaat bagian yang terganggu dari sumber tegangannya. Kemudian disusul dengan penutupan kembali peralatan penghubungnya. Apabila gangguan temporer sering terjadi dapat menimbulkan kerusakan pada peralatan dan akhirnya menimbulkan gangguan yang bersifat permanen. Salah satu contoh gangguan yang bersifat temporer adalah gangguan akibat sentuhan pohon yang tumbuh disekitar jaringan, akibat binatang seperti burung kelelawar, ular dan layangan. Apabila gangguan temporer sering terjadi maka hal tersebut akan menimbulkan kerusakan pada peralatan dan akhirnya menimbulkan gangguan yang bersifat permanen.

b. Gangguan yang bersifat permanen

Gangguan permanen adalah gangguan yang menyebabkan kerusakan permanen pada sistem. Seperti kegagalan isolator, kerusakan penghantar, kerusakan pada peralatan seperti transformator atau kapasitor. Kebanyakan gangguan pada peralatan akan mengakibatkan terjadinya hubung singkat. Maka untuk melindungi jaringan dari gangguan digunakan fuse, recloser atau CB. Gangguan permanen tidak akan dapat hilang sebelum penyebab gangguan dihilangkan terlebih dahulu. Gangguan yang bersifat permanen dapat disebabkan oleh kerusakan peralatan, sehingga gangguan ini baru hilang setelah kerusakan ini diperbaiki atau karena gangguan yang disebabkan bersifat permanen. Maka penanganannya diperlukan tindakan perbaikan atau menyingkirkan penyebab gangguan tersebut. Contoh gangguan ini yaitu adanya kawat yang putus karna terjadinya gangguan hubung singkat, akibat dahan yang menimpa kawat phasa dari saluran udara.

2.1.8 Pemeliharaan Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM)

Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) adalah sarana instalasi tenaga listrik diatas tanah untuk menyalurkan energi listrik dari Gardu Induk (GI) ke Gardu distribusi.

- a. Pengertian pemeliharaan adalah kegiatan yang meliputi : perawatan / pemeriksaan, perbaikan, penggantian dan pengujian.
- b. Tujuan pemeliharaan yaitu: untuk mempertahankan kemampuan kerja peralatan, memperpanjang umur peralatan, menghilangkan dan mengurangi resiko kerusakan, mengembalikan kemampuan kerja peralatan, mengurangi kerugian secara ekonomis, dan memberi keyakinan keandalan operasinya.

Bentuk pemeliharaan yang sering ditemui, antara lain:

- a. Pemeliharaan Preventif

Pemeliharaan preventif adalah bentuk pemeliharaan yang mencegah terjadinya kerusakan peralatan secara tiba-tiba dengan mempertahankan unjuk kerja jaringan agar selalu beroperasi dengan keandalan dan efisiensi yang tinggi.

- a. Pemeliharaan korektif

Pemeliharaan korektif dapat dibedakan dalam dua kegiatan, yaitu terencana dan tidak terencana. Kegiatan terencana diantaranya adalah pekerjaan perubahan penyempurnaan yang dilakukan pada jaringan untuk memperoleh keandalan yang baik (dalam batas pengertian operasi) tanpa mengubah kapasitas semula. Sedang kegiatan yang tidak terencana misalnya mengatasi kerusakan peralatan atau gangguan.

- b. Pemeliharaan Khusus

Pemeliharaan khusus atau disebut juga pemeliharaan darurat adalah pekerjaan pemeliharaan untuk memperbaiki jaringan yang rusak akibat force majeure seperti bencana alam, kebakaran, huru-hara dan sebagainya.

2.1.9 Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Keandalan merupakan tingkat keberhasilan kinerja suatu sistem atau bagian dari sistem tenaga listrik, untuk dapat memberikan hasil yang lebih baik pada periode waktu dan dalam kondisi operasi tertentu. Untuk dapat menentukan tingkat keandalan dari

suatu sistem, harus diadakan pemeriksaan dengan cara melalui perhitungan maupun analisa terhadap tingkat keberhasilan kinerja atau operasi dari sistem yang ditinjau, pada periode tertentu kemudian membandingkannya dengan standar yang ditetapkan sebelumnya. Keandalan tenaga listrik adalah menjaga kontinuitas penyaluran tenaga listrik kepada pelanggan terutama pelanggan daya besar yang membutuhkan kontinuitas penyaluran tenaga listrik secara mutlak. Apabila tenaga listrik tersebut putus atau tidak tersalurkan akan mengakibatkan proses produksi dari pelanggan besar tersebut terganggu. Struktur jaringan tegangan menengah memegang peranan penting dalam menentukan keandalan penyaluran tenaga listrik karena jaringan yang baik memungkinkan dapat melakukan manuver tegangan dengan mengalokasikan tempat gangguan dan beban dapat dipindahkan melalui jaringan lainnya. Kontinuitas pelayanan yang merupakan salah satu unsur dari kualitas pelayanan tergantung kepada macam sarana penyalur dan peralatan pengaman. Jaringan distribusi sebagai sarana penyalur tenaga listrik mempunyai tingkat kontinuitas tergantung kepada susunan saluran dan cara pengaturan operasinya.

2.1.10 Indeks keandalan

Indeks keandalan merupakan indikator keandalan yang dinyatakan dalam besaran atau satuan yang beberapa distandarkan dalam standar internasional yaitu IEEE. Beberapa indikator keandalan yaitu:

- a. SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*)

Indeks ini menunjukkan rata-rata durasi pemadaman yang dialami oleh pelanggan dalam satu tahun. Rumus perhitungannya berdasarkan SPLN 59:1985 adalah:

$$d = \frac{\sum_{i=1}^m C_i t_i}{N} \frac{\text{jam}}{\text{tahun}} \quad (2.1)$$

Dimana :

d = lama pemadaman rata-rata

m = Jumlah pemadaman dalam satu tahun
 Ci = Jumlah konsumen mengalami pemadaman
 Ti = lamanya tiap-tiap pemadaman
 N = Jumlah pelanggan yang dilayani

b. SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*)

SAIFI mengukur frekuensi rata-rata pemadaman yang dialami pelanggan dalam setahun. Rumus menurut SPLN 59:1985 adalah:

$$f = \frac{\sum_{i=1}^m C_i}{N} \frac{\text{pemadaman}}{\text{tahun}} \quad (2.2)$$

Dimana:

f = frekuensi pemadaman rata-rata
 m = Jumlah pemadaman dalam satu tahun
 Ci = Jumlah konsumen mengalami pemadaman
 N = Jumlah pelanggan yang dilayani

2.1.11 Standar Nilai Keandalan

Tabel 2.1 Standar Indeks Keandalan

Standar Indeks Keandalan	SAIDI	SAIFI
	Jam/Pelanggan/Tahun	Kali/Pelanggan/Tahun
Standard SPLN 68-2 :1986	21.09	3.2
Standar KPI UP3 Belitung	0.08	0.18

2.1.12 Sejarah PDKB Di Dunia

Pada tahun 1960, Harold L. Roden, seorang insinyur praktisi tegangan tinggi dari perusahaan pelayanan Tenaga Listrik Amerika, berkerjasama dengan Dr. Charles D Miller, seorang insinyur peneliti muda perusahaan Ohio Brass, mengadakan sebuah program pengujian untuk mengevaluasi faktor-faktor yang tidak diketahui dan aspek keselamatan dari metode barehand. Metode ini telah dikembangkan dan disempurnakan dalam pengujian mereka, sehingga dapat dilakukan oleh semua pelaksana dalam pemeliharaan bertegangan saluran tegangan tinggi.

Tiga alasan utama yang menyebabkan metode barehand digunakan yaitu :

- a. Kurangnya sistem interkoneksi transmisi sehingga pekerjaan dalam keadaan bertegangan menjadi sangat penting.
- b. Bertambahnya ukuran konduktor dan asesorisnya menyebabkan penggunaan hot stick menjadi kurang praktis.
- c. Bertambahnya tegangan sistem sehingga mengakibatkan bertambahnya jarak aman.

Teknik ini bukan merupakan pengganti metode lain dari pemeliharaan saluran bertegangan tetapi lebih merupakan sebuah prosedur pelengkap yang terkait dalam bidang ini. Hot stick dan live line rope merupakan komponen yang diperlukan pada sebagian besar pengoperasian metode barehand. Penggunaan teknik "Sangkar Faraday" telah diganti dengan pakaian konduktif pada metode bare hand.

Dengan pakaian konduktif, intensitas listrik di tubuh pelaksana dapat dibatasi sehingga pelaksana dapat bekerja dalam kondisi yang aman dan nyaman meskipun bekerja pada tegangan yang tinggi.

2.1.13 Sejarah PDKB di Indonesia

Sejak tahun 1974 sebenarnya PLN telah melakukan persiapan dan pengadaan peralatan PDKB-TM dan pada tahun 1985 untuk peralatan PDKBTT/TET serta pada tahun yang sama telah dilaksanakan pelatihan PDKB secara "off-line" di Udiklat Cibogo, namun belum dapat diaplikasikan secara "on line" karena belum adanya undang - undang atau peraturan yang menunjang pelaksanaan pemeliharaan bertegangan. Sejarah PDKB di

Indonesia sebetulnya belum begitu panjang jika dihitung dari pelaksanaan pertamanya pada 10 November 1993 di PLN Udiklat Semarang yang dikenal dengan Pencanaan Pelaksanaan PDKB di Indonesia oleh Dirjen Listrik dan Pengembangan Energi pada waktu itu, Prof Dr Artono Arismunandar. Pencanaan itu didahului dengan terbitnya Keputusan Dirjen Listrik dan Pengembangan Energi Nomor : 73-12/40/600.111993 tentang Petunjuk Pelaksanaan Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan.

2.1.14 Sejarah PDKB Tegangan Menengah (PDKB-TM)

Sejarah PDKB-TM diawali dengan Pelatihan Tim PD KB-TM untuk pertama kalinya diadakan pada awal tahun 1994 sebagai angkatan I dengan peserta yang berasal dari PLN Cabang Tangerang dimana durasi pelatihan Tim PDKB-TM dilaksanakan selama 3 (tiga) bulan dan dilanjutkan dengan Pelatihan Tim PDKB-TM angkatan berikutnya yang diikuti oleh peserta berasal dari Cabang yang lainnya.

Pada tahun 1995 PLN telah melaksanakan pengadaan peralatan PDKB-TM sebanyak 13 set untuk PLN Cabang dan sampai saat ini telah 27 Tim PDKB-TM memiliki peralatan yang lengkap dan kepada Tim PD KB-TM telah diberikan juga pelatihan oleh instruktur PDKB yang telah menyelesaikan tugas belajar di EDF Prancis. Sejak tahun 1995 PDKB-TM telah diimplementasikan oleh PLN Area hingga saat ini.

2.1.15 Definisi Pekerjaan Dalam Keadaan bertegangan (PDKB)

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). Sebuah pemeliharaan dapat dilaksanakan dengan metode PDKB bila terdapat disekitar wilayah terdampak ada pelanggan premium yang pada umumnya sangat diprioritaskan untuk tidak mengalami padam sama sekali.

PDKB di PT PLN (Persero) terbagi menjadi dua, yaitu PDKB-TM (PDKB Tegangan Menengah) dan PDKBTT (PDKB Tegangan Tinggi), yang membedakan 17 antara keduanya yaitu lingkup pelaksanaan pekerjaan. PDKB-TM bekerja di wilayah kerja distribusi dengan tegangan 20 kV, sedangkan PDKB-TT bekerja di wilayah kerja transmisi dengan tegangan 150 kV hingga 500 kV.

Peran utama PDKB adalah sebagai solusi untuk meminimalisir pemadaman terencana akibat adanya pekerjaan dalam jaringan listrik. Keuntungan yang diperoleh jika meminimalkan pemadaman terencana yaitu menekan rasio SAIDI dan SAIFI, menyelamatkan energi listrik (kWh) tidak tersalurkan, serta yang paling penting pelayanan terhadap pelanggan akan semakin baik. Semakin sering listrik mengalir maka semakin banyak pendapatan untuk perusahaan.

Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) Tegangan Menengah (TM) ialah pelaksanaan pekerjaan pemeliharaan tegangan nominalnya yaitu 20.000 Volt (20 KV) yang dapat berupa penyambungan baru, perluasan jaringan maupun perbaikan jaringan listrik dimana saat pelaksanaan pekerjaan tersebut kondisi jaringan listrik tetap berada pada keadaan operasi normal (bertegangan), dengan menggunakan peralatan serta perlengkapan yang sesuai dengan peraturan yang berlaku. Dengan demikian Pekerjaan Dalam keadaan bertegangan adalah suatu pekerjaan yang memiliki resiko yang sangat tinggi sekali. Ketelitian, kesiapan, dan disiplin yang tinggi sangat mempengaruhi keselamatan kerja, disamping peralatan yang selalu teruji minimal pengujian tegangan listrik satu tahun sekali.

Ketentuan yang menjadi dasar pelaksanaan Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangannya diantaranya yaitu Standar Perusahaan Listrik Negara SPLN 82-1:1991 tentang pengetahuan umum, SPLN 82-3:1993 tentang Persyaratan Kerja Dan Spesifikasi Teknik Peralatan Kerja, kementrian ESDM 0001:2005 tentang Pelaksanaan Pekerjaan Jaringan Dalam Keadaan Bertegangan. SPLN U2.001:2020 tentang Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan Persyaratan Umum dan Tata Kelola. SPLN D3.032:2020 tentang Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan Peralatan Tegangan Menengah.

2.1.16 Metode PDKB

Metode kerja pada Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan saat ini dikenal tiga macam metode yaitu;

1. Metode Berjarak (Distance Method)

Pada cara ini pekerja berada di luar daerah terlarang dalam hubungan dengan penghantar (atau struktur bertegangan) di tempat ia bekerja, pekerjaan dilaksanakan dengan bantuan perkakas yang dipasang pada ujung galah isolasi atau tali isolasi.



Gambar 2.19 Metode Berjarak

2. Metode Sentuhan Langsung (Contact Method)

Pada cara ini pekerja memasuki daerah terlarang dalam hubungan dengan penghantar (atau struktur bertegangan) yang sedang dikerjakan dengan bantuan sarung tangan dan sarung lengan isolasi.



Gambar 2.20 Metode Sentuh Langsung

3. Metode Potensial (Potensial Method)

Pada cara ini pekerja meniadakan daerah terlarang dalam hubungan dengan penghantar (atau struktur bertegangan) dimana ia bekerja dengan menempatkan dirinya pada potensial yang sama dengan potensial penghantar (atau struktur bertegangan) itu. Tetapi ia akan membuat daerah terlarang baru yang berhubungan dengan penghantar (atau struktur bertegangan) yang memiliki potensial berbeda.

2.1.17 Metode Sentuh Langsung (Contact Method)

Dari ketiga metode kerja PDKB tersebut hanya metode Sentuh Langsung Tegangan Menengah yang digunakan dalam penelitian kali ini. Seperti penjelasan diatas tampak bahwa dalam metode sentuh langsung ini bekerja memasuki daerah terlarang dengan menggunakan alat pelindung diri dan mobil hydroelevator (mobil isolasi).

2.1.18 Persyaratan Kerja PDKB TM 20KV

PDKB bukan pekerjaan yang bisa dilakukan setiap orang. Ada hal-hal yang harus diperhatikan sebelum melakukan pekerjaan. Beberapa persyaratan tersebut adalah:

- a. Harus Ada Linemen
- b. Harus Ada Groundmen
- c. Harus Ada Pengawas K3, dan Pengawas Pekerjaan
- d. Menandatangani SP2B (Surat Perintah melaksanakan Pekerjaan Bertegangan) untuk Linesmen dan groundmen.
- e. Menandatangani SP3B (Surat Perintah Pengawas Pekerjaan Bertegangan)
- f. Alat pelindung diri (APD) dalam keadaan baik yang dicek oleh pengawas K3 sebelum bekerja.
- g. Peralatan diberi lapisan silikon untuk mencegah aliran rur disaat pekerjaan dalam keadaan hujan.

2.1.19 Peralatan Yang Digunakan Oleh PDKB-TM

Dalam PDKB digunakan peralatan-peralatan yang telah diuji dengan tegangan 100KV per 30 cm. Peralatan yang ada, berisolasi dan harus di uji tegangan secara berkala, sehingga jika terjadi kebocoran cepat diketahui. Secara umum peralatan yang dipakai antara lain sebagai berikut:

a. Hook Pole

Hook pole adalah peralatan yang digunakan untuk pemasangan dan pembongkaran peralatan yang akan dipasang di konduktor bertegangan.



Gambar 2.21 Hook Pole

b. Tie Pole

Tie pole adalah peralatan yang digunakan untuk membuka dan memasang tie wire pada konduktor sebagai pengikat di isolator.



Gambar 2.22 Tie Pole

c. Rack Wire Cutter

Rack wire cutter adalah peralatan yang digunakan untuk memotong konduktor. biasanya digunakan pada pekerjaan jumper pada konstruksi Tegangan Menengah.



Gambar 2.23 Rack Wire Cutter

d. Wire Holding Stick

Wire Holding Stick adalah peralatan yang digunakan untuk menahan konduktor bertegangan.



Gambar 2.24 Wire Holding Pole

e. By Pass Jumper SL

Temporary Jumper SL adalah kabel jumper yang bersifat sementara, biasa digunakan pada pekerjaan pergantian jumper tegangan menengah metode sentuh langsung.



Gambar 2.25 By Pass Jumper SL

f. Measuring Rod

Measuring Rod adalah alat ukur jarak, untuk mengukur jarak pekerjaan dan mengukur panjang kabel jumper yang dibutuhkan, pengukuran panjang kabel jumper disesuaikan dengan konstruksi tiang.

g. Connector Cleaning Bursh

Connector Cleaning Bursh adalah peralatan berupa sikat yang berungsi sebagai pembersih konduktor yang akan di jumper baru,



Gambar 2.26 Connector Cleaning Bursh

h. Polyethylene Insulating Tubes

Polyethylene Insulating tubes adalah penutup konduktor yang dipakai agar linesmen tidak bersentuhan langsung dengan konduktor.



Gambar 2.27 Polyethylene Insulating Tubes

i. Plastic Insulating Blanket

Plastic Insulating Blanket adalah selimut yang bersifat isolasi, mengamankan Linesman saat bersentuhan langsung terhadap konduktor maupun ground.



Plastic Insulating Blanket

Gambar 2.28 Plastic Insulating Blanket

j. Blanket Clamp

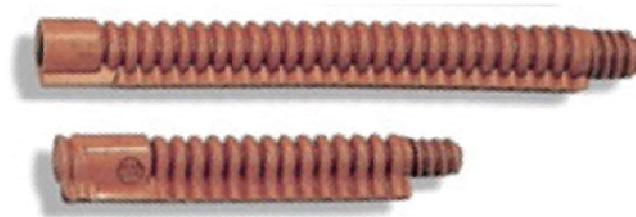
Blanket clamp adalah alat penjepit khusus yang digunakan oleh teknisi listrik (lineman) untuk menahan atau mengikat selimut isolasi (insulating blankets) pada konduktor atau peralatan listrik.



Gambar 2.29 Blanket clamp

k. Rubber Insulating Line Hose

Rubber Insulating Line Hose digunakan sebagai perangkat pelindung portable untuk melindungi pekerjaan listrik dari Kontak yang tidak disengaja dengan konduktor listrik langsung, atau sirkuit.



Gambar 2.30 Rubber Insulating Line Hose

l. Cable Peeler

Cable Peeler adalah alat untuk pengupas kabel konduktor berisolasi dengan ukuran kabel : 70, 150 dan 240



Gambar 2.31 Cable Peeler

2.2 Penelitian yang Relevan

Beberapa studi sebelumnya yang mendukung penelitian ini antara lain:

1. (Aryanto, N., & Balqis Maryani. 2021) dalam penelitian yang berjudul **Tinjauan Gangguan Jaringan Distribusi 20kV penyulang Muara Aman PT. PLN (Persero) ULP Rayon Muara Aman** yang membahas mengenai gangguan yang terjadi pada penyulang muara aman berupa gangguan ranting pohon mengenai jaringan distribusi, tiang listrik roboh, CO line putus, hewan mengenai jaringan distribusi dan petir menyambar jaringan distribusi. Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah metode deskripsi yaitu memberikan gambaran tentang fakta-fakta yang diteliti di lapangan . Oleh karena itu perlu dilakukan pemeliharaan jaringan secara berkala.
2. (Senen, A., Ratnasari, T., & Anggaini, D. 2019) dalam penelitian yang berjudul **Studi Perhitungan Indeks Keandalan Sistem Tenaga Listrik Menggunakan Graphical User Interface Matlab pada PT PLN (Persero) Rayon Kota Pinang** berfokus pada evaluasi keandalan penyulang (feeder). Studi ini menggunakan metode *Analytical* (SAIDI, SAIFI, CAIDI) yang diolah melalui GUI MATLAB untuk mempermudah perhitungan, memberikan hasil yang lebih cepat dibandingkan perhitungan manual, serta membandingkan nilai indeks keandalan dengan standar PLN.

3. (Deden Pangestu,. 2022) dalam penelitian dengan judul **Evaluasi Keandalan Sistem Jaringan Dsitribusi Menggunakan Indeks SAIDI dan SAIFI di PT. PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan Tanjung Pandan UP3 Belitung** yang membahas mengenai keandalan, saidi dan saifi diUP3 Belitung, metode yang digunakan adalah metode studi literature, observasi, analisa kuantitatif, memberikan hasil Perbandingan indeks SAIDI dan SAIFI sebelum dan setelah dilakukan pemasangan perangkat hewan apakah sudah sesuai standard yang ditetapkan.
4. (Kevin Gabriel Manopo, Hans Tumaliang, Sartje Silimang. 2020) dalam penelitian dengan Judul **Analisis Indeks Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik Berdasarkan SAIFI dan SAIDI Pada PT. PLN (Persero) Area Minahasa Utara** yang membahas mengenai keandalan, kerugian biaya. Penelkitian ini menggunakan metode studi literature, pengumpulan data, penghitungan indeks keandalan, kemudian menganalisa hasil sesuai satandar dari SPLN, IEEE, WCS & WCC, memberikan hasil perbandingan antara nilai SAIDI dan SAIFI tahun 2019 dengan tahun 2020, serta membandingkan kerugian tahun 2019 dengan 2020.
5. (Martawijaya, Ady. 2023) dalam penelitian dengan Judul **Analisa Peningkatan Kemampuan Pemeliharaan Preventif Sistem Jaringan SUTM 20 KV Terhadap Nilai SAIDI SAIFI Pada Jaringan PT.PLN (PERSERO) ULP Pelabuhan Ratu. S1 thesis, UNIVERSITAS MERCU BUANA** yang membahas mengenai keandalan dengan menghitung nilai indeks SAIDI dan SAIFI, metode penelitian menggunakan metode studi literature, pengumpulan data dan menghitung nilai Indeks keandandalan dan menganalisa hasil, Berdasarkan hasil analisa dan perbaikan yang dilakukan kemudian membandingkan hasil sebelum dan setelah dilakukan peneliharaan preventif dengan menghitung nilai SAIDI dan SAIFI