

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1. Sistem Jaringan Distribusi

Sistem jaringan distribusi listrik meliputi Jaringan Tegangan Menengah (JTM) 20 kV dan Jaringan Tegangan Rendah (JTR) 380/220 Volt, yang berfungsi mendistribusikan energi listrik dari gardu distribusi hingga ke meteran pelanggan sebagai titik pemakaian akhir. Proses penyaluran energi listrik tersebut dilakukan melalui untai kawat udara maupun untai kabel bawah tanah, yang dirancang untuk menghubungkan sentral distribusi dengan berbagai titik beban secara kontinu dan andal. Penggunaan instalasi kabel bawah tanah umumnya diterapkan pada kawasan perkotaan padat penduduk, pusat bisnis, dan area dengan tingkat aktivitas manusia yang tinggi, karena dinilai mampu meningkatkan estetika lingkungan, keamanan publik, serta keandalan sistem distribusi dengan meminimalkan risiko gangguan akibat cuaca ekstrem, pohon tumbang, maupun aktivitas eksternal lainnya. Selain itu, sistem kabel bawah tanah juga memberikan keuntungan dalam hal pengurangan gangguan visual dan peningkatan kualitas tata kota. Namun demikian, pada wilayah dengan keterbatasan lahan, kondisi geografis yang menantang, atau daerah dengan tingkat kepadatan penduduk yang relatif rendah, masih banyak digunakan jaringan kawat udara tiga fasa tiga kawat. Hal ini disebabkan oleh keunggulannya yang lebih fleksibel, ekonomis, serta mudah dalam proses pemasangan, pengembangan jaringan, dan kegiatan pemeliharaan. Jaringan udara juga memungkinkan waktu pemulihan gangguan yang relatif lebih cepat karena akses inspeksi dan perbaikan yang lebih mudah dibandingkan dengan sistem bawah tanah. Oleh karena itu, pemilihan jenis jaringan distribusi harus mempertimbangkan aspek teknis, ekonomis, lingkungan, serta karakteristik wilayah pelayanan agar sistem distribusi listrik dapat beroperasi secara optimal dan berkelanjutan (Kajian & Elektro, 2023)

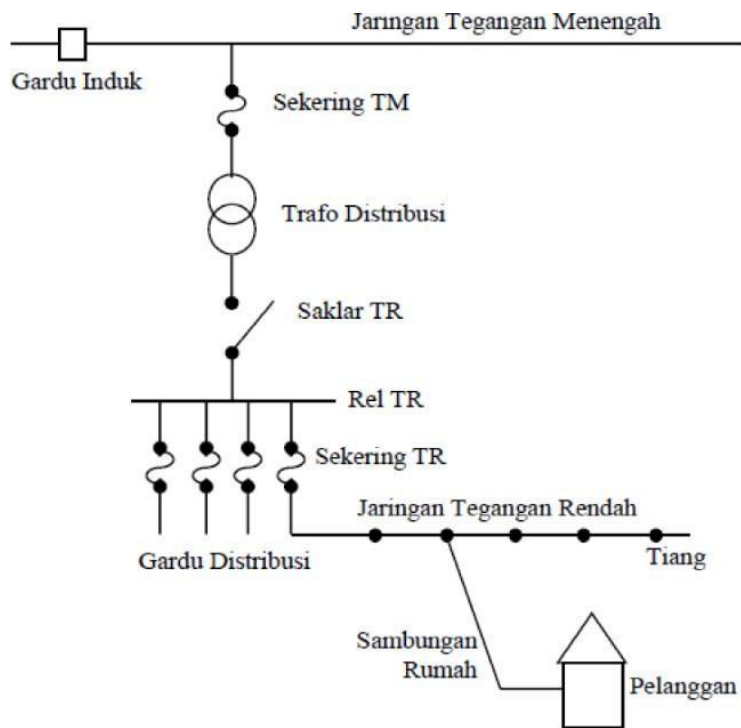


Gambar 2. 1 Sistem Jaringan Distribusi

2.1.2. Jaringan Distribusi Tegangan Menengah 20 kV

Tegangan menengah yang digunakan secara standar dalam sistem distribusi tenaga listrik di Indonesia adalah 20 kV. Penetapan tegangan ini bertujuan untuk memperoleh keseimbangan optimal antara efisiensi penyaluran daya, tingkat rugi-rugi energi, serta aspek keselamatan dan keandalan sistem. Pada sistem distribusi tenaga listrik, Jaringan Tegangan Menengah (JTM) berfungsi sebagai penghubung antara sumber energi listrik dan konsumen akhir sebelum tegangan diturunkan ke level tegangan rendah.

Secara operasional, jaringan distribusi 20 kV membentang mulai dari titik keluaran pemutus tenaga (circuit breaker) pada transformator penurun tegangan di Gardu Induk (GI), atau dari transformator penaik tegangan pada pembangkit listrik berskala kecil (seperti PLTM atau PLTD), hingga ke peralatan proteksi sisi masuk transformator distribusi 20 kV. Transformator distribusi ini kemudian menurunkan tegangan dari 20 kV menjadi 231/400 V untuk disalurkan kepada konsumen tegangan rendah. (Ardha Ibrahim et al., n.d.)



Gambar 2. 2 Jaringan Tegangan Menengah

Berdasarkan konstruksi fisik dan metode pemasangannya, jaringan distribusi tegangan menengah di Indonesia dibedakan menjadi tiga jenis utama, yaitu Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM), Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM), dan Saluran Kabel Udara Tegangan Menengah (SKUTM) (PLN, 2010).

1. Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM)

Saluran Udara Tegangan Menengah merupakan jenis jaringan distribusi yang paling banyak digunakan di Indonesia, terutama karena biaya investasi dan pemeliharaannya relatif lebih ekonomis dibandingkan dengan jenis jaringan lainnya. SUTM umumnya digunakan pada wilayah dengan kepadatan penduduk rendah hingga sedang, serta daerah yang memiliki kondisi geografis yang luas dan terbuka.



Gambar 2. 3 Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM)

SUTM menggunakan penghantar telanjang, yaitu konduktor tanpa lapisan isolasi, seperti ACSR atau AAAC, yang dipasang pada tiang beton atau baja dengan bantuan isolator. Isolator berfungsi sebagai pemisah antara konduktor bertegangan dengan struktur penyangga, sehingga arus listrik tidak mengalir ke tanah.

Namun, penggunaan penghantar telanjang ini menuntut perhatian yang tinggi terhadap aspek keselamatan dan keandalan jaringan, terutama terkait dengan:

1. Jarak aman minimum antara konduktor dengan tanah,
2. Jarak antar fase
3. Jarak terhadap bangunan, pepohonan, dan fasilitas umum
4. Risiko gangguan akibat cuaca, petir, dan sentuhan tidak disengaja oleh manusia atau hewan.

Gangguan pada SUTM relatif lebih sering terjadi akibat faktor eksternal, seperti dahan pohon, embusan angin kencang, atau aktivitas manusia. Perlu dicatat bahwa jaringan yang menggunakan penghantar AAAC-S (half insulated single core), yaitu penghantar dengan isolasi parsial, tetap dikategorikan sebagai SUTM karena masih memiliki karakteristik saluran udara.

2. Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM)

Saluran Kabel Tegangan Menengah merupakan jaringan distribusi yang menggunakan kabel berisolasi penuh yang ditanam di bawah permukaan tanah. SKTM dikenal memiliki tingkat keamanan, keandalan, dan estetika yang lebih baik dibandingkan SUTM, karena tidak terpapar langsung oleh kondisi lingkungan luar. Salah satu metode distribusi jaringan listrik tegangan menengah yang dikenal karena keamanan dan keandalannya adalah dengan menanam kabel di bawah tanah. Namun, implementasi metode ini memerlukan biaya ekonomi yang besar dibanding metode lainnya untuk kapasitas daya yang serupa. Hal ini disebabkan oleh perlunya penggunaan kabel dengan isolasi khusus untuk setiap fase dan perlindungan mekanis yang sesuai dengan standar keselamatan. Di antara berbagai opsi penanaman kabel, metode penanaman langsung dianggap sebagai yang paling ekonomis, terutama jika dibandingkan dengan penggunaan terowongan beton yang memerlukan biaya tambahan untuk konstruksi pelindung.



Gambar 2. 4 Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM)

Namun demikian, penerapan SKTM memerlukan biaya investasi yang relatif tinggi, terutama karena:

1. Penggunaan kabel berisolasi khusus untuk setiap fase
2. Kebutuhan perlindungan mekanis terhadap tekanan tanah dan beban di atasnya
3. Proses instalasi yang lebih kompleks dan memerlukan peralatan khusus.

Beberapa metode pemasangan SKTM antara lain penanaman langsung (direct buried), pemasangan dalam pipa pelindung, dan pemasangan dalam terowongan beton. Di antara metode tersebut, penanaman langsung merupakan pilihan yang paling ekonomis, meskipun tetap harus memenuhi standar kedalaman dan perlindungan mekanis sesuai ketentuan keselamatan ketenagalistrikan.

SKTM umumnya diaplikasikan di daerah perkotaan dengan kepadatan tinggi, kawasan industri, serta wilayah yang menuntut keandalan pasokan listrik yang tinggi dan minim gangguan visual.

3. Saluran Kabel Udara Tegangan Menengah (SKUTM)

Saluran Kabel Udara Tegangan Menengah merupakan alternatif pengembangan jaringan distribusi yang mengombinasikan keunggulan SUTM dan SKTM. SKUTM menggunakan penghantar berisolasi penuh yang dipilin (twisted cable) dan dipasang di udara menggunakan tiang beton atau baja.



Gambar 2. 5 Saluran Kabel Udara Tegangan Menengah (SKUTM)

Penerapan SKUTM bertujuan untuk:

1. Meningkatkan tingkat keamanan penyaluran tenaga listrik,
2. Mengurangi risiko gangguan hubung singkat akibat sentuhan antar konduktor,
3. Menekan frekuensi gangguan akibat cuaca dan vegetasi.

Dibandingkan dengan SUTM, SKUTM memiliki keandalan yang lebih tinggi, namun juga memiliki beban mekanis yang lebih besar akibat berat kabel yang dipilin. Oleh karena itu, dalam perencanaan SKUTM perlu diperhitungkan secara cermat kekuatan struktur tiang penyangga, jarak antar tiang, serta sistem penegangan kabel agar tidak terjadi kegagalan mekanis.

Transformator merupakan satu dari sekian komponen yang ada pada sistem distribusi dalam pemilihan kapasitas transformator berdasarkan beban yang akan dilayani, dan umumnya beban transformator distribusi mendekati nilai 80%. Jika transformator mempunyai beban yang tinggi, maka wajib dilakukan pergantian transformator atau mutasi. (Samsurizal & Hadinoto, 2020)

Dalam dunia kelistrikan, pemilihan material penghantar merupakan hal yang krusial. Tembaga dan aluminium adalah dua opsi yang paling sering digunakan. Tembaga, misalnya, dikenal karena kemampuannya dalam menghantarkan arus listrik dengan sangat baik, serta kemudahan dalam proses penyambungan dan terminasi. Selain itu, tembaga juga memiliki keunggulan dalam hal konduktivitas, elastisitas, dan stabilitas dimensi terhadap perubahan suhu, bahkan dengan ukuran penampang yang lebih kecil dibandingkan aluminium untuk kapasitas daya yang sama. Berikut adalah beberapa logam yang memiliki kemampuan menghantarkan listrik yang baik, lengkap dengan data mengenai tahanan jenisnya.

2.1.3. Gardu Distribusi

Gardu distribusi merupakan salah satu komponen yang sangat penting dalam sistem distribusi tenaga listrik, karena berfungsi sebagai titik penurunan tegangan dari tegangan menengah (20 kV) ke tegangan rendah (231/400 V) yang langsung digunakan oleh konsumen. Jumlah dan persebaran gardu distribusi di suatu wilayah dapat menggambarkan tingkat kepadatan beban dan intensitas konsumsi energi listrik di wilayah tersebut, semakin banyaknya gardu induk yang tersebar dapat merepresentasikan bahwa di wilayah tersebut mempunyai kepadatan beban dan jumlah konsumen tenaga listrik yang tinggi. (Senen, Handayani, & Widyastuti, 2023)

Jenis-jenis gardu distrivusi berdasarkan pemasangannya :

1. Gardu Pasangan Luar

a. Gardu Portal



Gambar 2. 6 Gardu Portal

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

b. Gardu Cantol



Gambar 2. 7 Gardu Cantol

Pada Gardu Distribusi tipe cantol, transformator yang terpasang adalah transformator dengan daya ≤ 100 kVA Fase 3 atau Fase 1. Transformator terpasang adalah jenis CSP (Completely Self Protected Transformer) yaitu peralatan switching dan proteksinya sudah terpasang lengkap dalam tangki transformator. Perlengkapan perlindungan transformator tambahan LA (Lightning Arrester) dipasang terpisah dengan Penghantar pembumiannya yang dihubungkan langsung dengan badan transformator. Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB- TR) maksimum 2 jurusan dengan saklar pemisah pada sisi masuk dan pengaman lebur (type NH, NT) sebagai pengaman jurusan. Semua Bagian Konduktif Terbuka (BKT) dan Bagian Konduktif Ekstra (BKE) dihubungkan dengan pembumian sisi Tegangan Rendah.

2. Gardu Pasangan Dalam

a. Gardu Beton



Gambar 2. 8 Gardu Beton

Gardu beton merupakan seluruh komponen utama instalasi yaitu transformator dan peralatan switching/proteksi, terangkai didalam bangunan sipil yang dirancang, dibangun dan difungsikan dengan konstruksi pasangan batu dan beton (masonry wall building). Konstruksi ini dimaksudkan untuk pemenuhan persyaratan terbaik bagi keselamatan ketenagalistrikan

b. Gardu Kios



Gambar 2. 9 Gardu Kios

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



Gambar 2. 10 Gardu Kios Bertingkat

Gardu ini dibangun pada tempat-tempat yang tidak diperbolehkan membangun Gardu Beton. Karena sifat mobilitasnya, maka kapasitas transformator 4 jurusan Tegangan Rendah. Khusus untuk Kios Kompak, seluruh instalasi komponen utama gardu sudah dirangkai selengkapnyanya di pabrik, sehingga dapat langsung di angkut kelokasi dan disambungkan pada sistem distribusi yang sudah ada untuk difungsikan sesuai tujuannya.

Uraian di atas menjelaskan berbagai jenis gardu distribusi berdasarkan metode pemasangannya. Pengelompokan ini dilakukan untuk menyesuaikan kebutuhan sistem distribusi listrik dengan kondisi geografis, kepadatan beban, serta karakteristik lingkungan di lokasi pemasangan. Setiap jenis gardu distribusi memiliki konstruksi, kapasitas, dan tingkat keandalan yang berbeda, sehingga pemilihannya harus mempertimbangkan aspek teknis, keselamatan, kemudahan pemeliharaan, serta efisiensi operasional. Dengan penerapan jenis gardu distribusi yang tepat, kontinuitas penyaluran energi listrik dapat terjaga secara optimal sekaligus mendukung peningkatan mutu pelayanan kepada pelanggan. (Penyusun Buku et al., n.d.)

2.1.4. Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB)

Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) merupakan metode pemeliharaan dan perbaikan jaringan listrik yang dilakukan tanpa memutus tegangan listrik pada jaringan yang sedang beroperasi. Dalam metode ini, konduktor tetap berada pada kondisi bertegangan nominal (20 kV), sementara petugas melakukan pekerjaan dengan menggunakan peralatan berisolasi khusus, prosedur kerja standar, serta sistem pengamanan berlapis.



Gambar 2. 11 Pekerja Dalam Keadaan Bertegangan

PDKB diterapkan oleh PT PLN (Persero) sebagai salah satu strategi utama dalam pengelolaan sistem distribusi, khususnya untuk meningkatkan keandalan sistem, kontinuitas pasokan listrik, dan mutu pelayanan pelanggan. Metode ini dikembangkan untuk menjawab tuntutan meningkatnya kebutuhan listrik masyarakat serta target penurunan angka pemadaman yang tercermin dalam indikator SAIDI dan SAIFI.

Secara teknis, PDKB memungkinkan pekerjaan pemeliharaan dilakukan pada jaringan distribusi 20 kV tanpa menyebabkan pemadaman, sehingga pelanggan tetap memperoleh suplai listrik selama proses pekerjaan berlangsung. Jenis pekerjaan yang umumnya dilakukan dengan metode PDKB meliputi:

1. Penggantian dan perbaikan isolator,
2. Perbaikan konektor dan sambungan penghantar,
3. Penataan jarak aman jaringan terhadap bangunan dan vegetasi,
4. Penggantian peralatan proteksi tertentu pada jaringan distribusi.

Menurut penelitian yang dipublikasikan dalam Jurnal (FEBRIANTO, R., & Husada, H. (2025).penerapan PDKB pada jaringan distribusi 20 kV terbukti mampu menurunkan jumlah pemadaman terencana secara signifikan, terutama pada kegiatan

pemeliharaan rutin yang sebelumnya selalu memerlukan pemadaman. Penurunan pemadaman ini berdampak langsung pada penurunan nilai SAIDI dan SAIFI, serta peningkatan kepuasan pelanggan.

Dengan PDKB, energi listrik yang seharusnya tidak tersalurkan akibat pemadaman dapat tetap disalurkan kepada pelanggan. Oleh karena itu, PDKB menjadi solusi yang efektif dalam menekan energi tidak tersalurkan (Energy Not Supplied/ENS) dan meningkatkan efisiensi operasional sistem distribusi tenaga listrik.

PDKB atau *Live Line Maintenance* merupakan metode pemeliharaan jaringan distribusi di mana petugas melakukan perbaikan tanpa memutuskan aliran listrik. Landasan teori PDKB bertumpu pada tiga pilar utama: kompetensi personel yang memiliki sertifikat khusus, penggunaan alat kerja yang memiliki tingkat isolasi yang telah diuji secara periodik, dan kepatuhan mutlak terhadap Instruksi Kerja (IK) yang ketat. Dalam jurnal-jurnal teknik elektro, PDKB sering disebut sebagai solusi "interupsi nol". Artinya, secara teknis, pekerjaan ini tidak menyumbang angka pada perhitungan SAIDI maupun SAIFI karena pelanggan sama sekali tidak merasakan pemutusan aliran. Di sinilah letak nilai strategisnya; PDKB memungkinkan PLN melakukan perawatan rutin—seperti pembersihan isolator atau penggantian komponen—tanpa harus mengorbankan kenyamanan pelanggan.

Metode Non-PDKB atau pemeliharaan dalam kondisi padam (*Offline Maintenance*) adalah cara konvensional yang mengharuskan aliran listrik diputus demi keamanan personel. Meskipun metode ini secara prosedural lebih sederhana dan bisa dilakukan oleh lebih banyak petugas, dampaknya terhadap indikator keandalan sangat signifikan. Setiap kali pemeliharaan Non-PDKB dilakukan, PLN secara sengaja "menyumbang" angka pada statistik SAIDI dan SAIFI terencana. Dalam literatur manajemen operasional, hal ini sering disebut sebagai *Planned Outage*. Analisis kontribusi Non-PDKB dalam studi Anda bertujuan untuk melihat sejauh mana efisiensi pengerjaan dan seberapa besar beban pemadaman yang harus ditanggung oleh sistem jika dibandingkan dengan pengerjaan menggunakan tim PDKB.

2.1.5. Pemeliharaan jaringan tanpa PDKB (Non-PDKB)

Pemeliharaan jaringan tanpa Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (Non-

PDKB) merupakan metode pemeliharaan konvensional pada sistem distribusi tenaga listrik, di mana tegangan listrik pada bagian jaringan yang akan dikerjakan harus dipadamkan terlebih dahulu. Pemadaman ini dilakukan dengan tujuan utama untuk menjamin keselamatan petugas, karena seluruh aktivitas pekerjaan dilaksanakan pada kondisi jaringan tidak bertegangan (de-energized).



Gambar 2. 12 Pekerjaan Non - PDKB

Dalam praktik operasional sistem distribusi, metode Non-PDKB masih banyak diterapkan oleh PT PLN (Persero), khususnya pada jaringan distribusi tegangan menengah 20 kV yang belum sepenuhnya memenuhi persyaratan teknis dan keselamatan untuk dilakukan pekerjaan bertegangan. Prosedur Non-PDKB umumnya diawali dengan pelepasan beban, pemutusan sumber tegangan melalui peralatan switching, pemasangan pentanahan sementara (grounding), serta verifikasi kondisi bebas tegangan sebelum pekerjaan dimulai. (Diva Pratiwindhya et al., n.d.)

Kondisi Penerapan Metode Non-PDKB

Metode Non-PDKB umumnya diterapkan pada kondisi jaringan tertentu, antara lain:

1. Jaringan yang belum memenuhi persyaratan teknis PDKB, seperti keterbatasan ruang
Kondisi peralatan jaringan yang tidak memungkinkan pekerjaan bertegangan, misalnya konduktor yang mengalami kerusakan berat, isolator pecah, atau peralatan proteksi yang harus dilepas secara menyeluruh.
2. Pekerjaan berskala besar, seperti penggantian struktur tiang, penambahan atau relokasi jaringan, rekonfigurasi sistem distribusi, serta pekerjaan konstruksi yang melibatkan perubahan permanen pada struktur jaringan.

Dampak Non-PDKB terhadap Keandalan Sistem Distribusi

Meskipun aman dari sisi keselamatan kerja, pemeliharaan dengan metode Non-PDKB memiliki dampak signifikan terhadap keandalan sistem distribusi tenaga listrik. Setiap kegiatan pemeliharaan Non-PDKB secara langsung menyebabkan pemadaman terencana, yang akan dirasakan oleh pelanggan sebagai gangguan pelayanan listrik.

Dampak utama metode Non-PDKB terhadap keandalan sistem antara lain:

1. Meningkatnya nilai SAIDI (System Average Interruption Duration Index)

Karena pekerjaan dilakukan dalam kondisi jaringan padam, durasi pemadaman cenderung panjang, terutama jika pekerjaan bersifat kompleks. Hal ini menyebabkan meningkatnya rata-rata lama pemadaman yang dialami pelanggan dalam satu tahun.

2. Meningkatnya nilai SAIFI (System Average Interruption Frequency Index)

Setiap kegiatan pemeliharaan Non-PDKB dihitung sebagai satu kejadian pemadaman. Semakin sering pemeliharaan dilakukan dengan metode ini, maka semakin tinggi pula frekuensi pemadaman yang dialami pelanggan.

3. Meningkatnya Energi Tidak Tersalurkan (Energy Not Supplied/ENS)

Selama periode pemadaman, energi listrik yang seharusnya disalurkan kepada pelanggan tidak dapat terdistribusi. Energi yang hilang ini dikenal sebagai ENS, yang berdampak pada kerugian teknis dan ekonomi bagi perusahaan

Penelitian oleh (Agung et al., 2024a) menunjukkan bahwa jaringan distribusi yang masih didominasi oleh pemeliharaan Non-PDKB memiliki nilai SAIDI dan SAIFI yang secara statistik lebih tinggi dibandingkan jaringan yang telah menerapkan PDKB secara konsisten.

2.1.6. Aliran Daya (*Load Flow Analysis*)

Analisis aliran daya adalah salah satu dari sedikit solusi untuk jaringan listrik pada kondisi stabil yang tunduk pada perbedaan tertentu untuk membatasi sistem kerja dimana analisa ini cukup penting untuk merancang sistem tenaga listrik baru dan untuk membuat perpanjangan yang ada untuk meningkatkan permintaan beban. (Hakim, et al., 2019)

Analisa ini dilakukan untuk mengetahui beberapa parameter seperti nilai tegangan, nilai arus, faktor daya, nilai daya aktif dan daya reaktif disetiap titik dalam sistem jaringan. Bukan hanya itu pada analisa aliran daya ini dapat diketahui bahwa nilai tegangan pada setiap bus dalam sistem, baik itu besaran ataupun sudut fasa dari tegangan, daya aktif, dan daya reaktif yang mengalir pada sistem jaringan listrik. (Hasibuan, Isa, Yusoff, & Rahim, 2020)

Pada analisa ini digunakan metode yang umum digunakan yaitu metode Gauss- Seidel dan Newton Raphson. Adapun tujuan dilakukannya analisa aliran daya, antara lain sebagai berikut :

1. Mengetahui nilai tegangan di setiap titik pada sistem jaringan, baik dari segi magnitude ataupun sudut fasanya.
2. Mengetahui daya aktif dan daya reaktif yang mengalir pada sistem jaringan.
3. Memastikan kondisi peralatan sesuai standar dan batas yang ditentukan.

4. Memperoleh data awal untuk perencanaan sistem baru.
5. Menjadi dasar untuk melakukan studi lebih lanjut seperti studi hubung singkat, stabilitas, dan perhitungan ekonomis.

Dalam sistem tenaga listrik, perancangan sistem interkoneksi antara sistem kelistrikan dengan pembangkit menjadi salah satu cara dalam meningkatkan keandalan sistem distribusi listrik.

2.1.7. Tegangan Jatuh (Drop Voltage)

Tegangan Jatuh (Drop Voltage) merupakan kondisi tegangan pada ujung penghantar yang dikirimkan oleh sumber tidak sama dengan tegangan pada ujung penghantar yang diterima. (Yusra, Muliadi, & Syukri, 2022). Standar yang telah ditetapkan PLN pada SPLN 1: 1995 menyatakan bahwa toleransi tegangan yang diperbolehkan adalah maksimum +5% dan minimum 10% .

Pada saluran arus bolak-balik sebenarnya jatuh tegangan tergantung dai impedansi saluran serta beban dan factor daya. Untuk jarak yang dekat jatuh tegangan tidak begitu berarti. Perhitungan jatuh tegangan yang diperlukan tidak hanya untuk peralatan sistem saja namun juga untuk dapat menjamin tegangan terpasang yang dapat dipertahankan dalam batas-batas yang layak. Oleh karena itu perlu diketahui hubungan asor antar tegangan dan arus serta reaktansi dan resistansi pada perhitungan yang akuran.

Secara umum kawat – kawat penghantar terdiri dari kawat pilin untuk menghitung pengaruh dari pilin, panjang kawat dikalikan 1,02 (2% dari faktor koreksi). Tahanan kawat berubah oleh temperatur dalam batas temperatur 10 °c sampai 100 °c, maka tembaga dan alumunium

2.1.8. Rugi – Rugi Daya (Power Losses)

Rugi – Rugi Daya (Power Losses) merupakan hilangnya daya dalam penyaluran daya listrik dari sumber energi utama ke setiap titik beban. Semakin panjang saluran maka hambatan dan reaktansi semakin besar, sehingga rugi-rugi meningkat baik itu pada rugi- rugi daya aktif maupun daya reaktif. Resistansi (R) dan Intensitas arus beban (I) yang secara konstan mengalir melalui konduktor memiliki dampak signifikan terhadap disipasi daya pada kawat tersebut. Besarnya kehilangan daya dalam sistem dapat diukur dengan merubah panjang konduktor (L).

(Manalu, Panggabean, Napitupulu, Sinaga, & Jumari, 2023)

Menurut SPLN No.72 Tahun 1987 batasan nilai kerugian daya dan penurunan tegangan yang diperbolehkan dalam rangka menjaga keandalan sistem kelistrikan tidak boleh melampaui ambang batas yang telah ditentukan. Batasan tersebut adalah maksimal 10% untuk penurunan tegangan dan 5% untuk kerugian daya.

2.1.9. Klasifikasi Pembebanan

Dalam sistem jaringan distribusi bukan hanya berbicara tentang *Drop Voltage* (Jatuh Tegangan) dan *Losses* (Rugi – Rugi Daya), (Widyastuti, Senen, & Handayani, 2021) tetapi kita harus juga mengevaluasi pembebanan trafo distribusi.

Suatu studi beban ialah penentuan atau perhitungan tegangan, arus, daya, dan faktor daya atau daya reaktif yang terdapat pada berbagai-bagai titik dalam suatu jala-jala listrik pada keadaan pengoperasian normal baik yang sedang berjalan maupun yang diharapkan akan terjadi dimasa yang akan datang. Studi beban sangat penting dalam perencanaan perkembangan suatu sistem untuk masa yang akan datang karena pengoperasiannya yang baik dari sistem tersebut banyak tergantung pada diketahuinya efek-efek interkoneksi dengan sistem tenaga lain dari beban-beban yang baru, stasiun-stasiun pembangkit baru, serta saluran-saluran transmisi baru, sebelum semuanya itu dipasang.

Kelompok pembebanan transformator adalah sebagai berikut :

1. Pembebanan ringan, pembebanan dibawah 40 %
2. Pembebanan sedang, pembebanan antara 40% sampai dengan 80%
3. Pembebanan berat, pembebanan diatas 80%

Bukan hanya pembebanan trafo, pembebanan penyulang juga diperhitungkan

Kelompok pembebanan transformator adalah sebagai berikut :

1. Pembebanan ringan, pembebanan dibawah 40 %
2. Pembebanan sedang, pembebanan antara 40% sampai dengan 70%
3. Pembebanan berat, pembebanan diatas 70%

2.1.10. Hubung Singkat

Dalam operasi sistem tenaga listrik sering terjadi gangguan-gangguan yang dapat mengakibatkan terganggunya penyaluran tenaga listrik ke pusat beban. Berdasarkan

ANSI/IEEE Std. 100-1992 gangguan didefinisikan sebagai suatu kondisi fisis yang disebabkan kegagalan suatu perangkat, komponen, atau suatu elemen untuk bekerja sesuai dengan fungsinya. Gangguan hampir selalu ditimbulkan oleh hubung singkat antar fase atau hubung singkat fase ke tanah. Suatu gangguan hampir selalu berupa hubung langsung atau melalui impedansi. Istilah gangguan identik dengan hubung singkat, sesuai standart ANSI/IEEE Std. 100-1992.

Istilah gangguan atau gangguan hubung singkat digunakan untuk menjelaskan suatu hubungan singkat. Untuk mengatasi gangguan tersebut, perlu dilakukan analisis hubung singkat sehingga sistem Proteksi yang tepat pada Sistem Tenaga Listrik dapat ditentukan. Analisis hubung singkat adalah analisis yang mempelajari kontribusi arus gangguan hubung singkat yang mungkin mengalir pada setiap cabang didalam sistem (di jaringan distribusi, transmisi, trafo tenaga atau dari pembangkit) sewaktu gangguan hubung singkat yang mungkin terjadi di dalam sistem tenaga listrik. Analisis hubung singkat memiliki tujuan yaitu sebagai berikut: Untuk menentukan arus maksimum dan minimum hubung singkat, untuk menentukan arus gangguan tak simetris bagi gangguan satu dan dua line ke tanah, line ke line, dan rangkaian terbuka, menentukan kapasitas PMT dan CB, penyelidikan operasi rele-rele proteksi.

Gangguan hubung singkat ini dapat digolongkan menjadi dua kelompok yaitu gangguan hubung singkat simetri dan asimetri. Gangguan asimetri akan menyebabkan tegangan dan arus yang mengalir pada tiap fasanya menjadi tidak seimbang. Gangguan asimetri terdiri dari tiga yaitu

1. Gangguan satu fasa ke tanah
2. Gangguan dua fasa
3. Gangguan dua fasa ke tanah

Gangguan simetri merupakan gangguan yang terjadi pada semua fasa, sehingga arus maupun tegangan setiap fasanya tetap seimbang setelah gangguan terjadi. Gangguan ini terdiri dari dua yaitu

1. Gangguan hubung singkat tiga fasa
2. Gangguan hubung singkat tiga fasa ke tanah
 - a) Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

Gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik merupakan gangguan asimetris sehingga memerlukan metode komponen simetris untuk menganalisa tegangan dan arus

pada saat terjadi gangguan. Gangguan yang terjadi dapat dianalisa dengan menghubungkan singkat semua sumber tegangan yang ada pada sistem dan mengganti *node* gangguan dengan sebuah sumber tegangan yang besarnya sama dengan tegangan sesaat sebelum terjadinya gangguan di titik gangguan tersebut. Dengan menggunakan metode ini sistem tiga fasa tidak seimbang dapat direperesentasikan dengan menggunakan teori komponen simetris yaitu berdasarkan komponen urutan positif, komponen urutan negatif, komponen urutan nol

b) Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa

Gangguan hubung singkat 2 fasa bisa diibaratkan sebagai sebuah "shortcut" atau jalur pintas maut yang terjadi ketika dua dari tiga kabel utama (fasa R, S, atau T) saling bersentuhan, baik secara langsung maupun melalui perantara seperti dahan pohon atau benda asing lainnya. Secara teknis, saat kedua kabel ini beradu, hambatan listrik di titik sentuh tersebut mendadak hilang atau menjadi sangat kecil, yang mengakibatkan arus listrik melonjak drastis hingga ribuan kali lipat dari kondisi normal dalam hitungan milidetik. Lonjakan arus yang luar biasa besar ini menciptakan panas yang ekstrem dan gaya mekanis yang sangat kuat yang bisa mengguncang tiang listrik, merusak isolator, bahkan dalam skenario terburuk bisa memutuskan kabel konduktor itu sendiri.

c) Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa

Gangguan tiga fasa termasuk dalam klasifikasi gangguan simetris, dimana arus maupun tegangan setiap fasanya tetap seimbang setelah gangguan terjadi. Sehingga pada sistem seperti ini dapat dianalisa hanya dengan menggunakan komponen positif saja

2.1.11. Kemampuan Hantar Arus Penghantar

Kemampuan hantar arus (KHA) penghantar adalah kemampuan dari suatu penghantar untuk mengalirkan arus dengan nilai tertentu secara terus menerus pada kondisi tertentu, tanpa menimbulkan kenaikan suhu melebihi nilai tertentu. Berdasarkan PUIL 2000 nomor 7.3 tentang pembebanan penghantar, setiap penghantar harus mempunyai kemampuan hantar arus tidak kurang atau sama dengan arus yang akan mengalir melaluinya. Setiap penghantar mempunyai KHA yang berbeda-beda tergantung dari beberapa hal antara lain:

1. bahan jenis penghantar. Umumnya penghantar terbuat dari bahan tembaga ataupun aluminium. Sudah barang tentu kedua bahan ini mempunyai bahan jenis yang berbeda.

2. konstruksi penghantar. Umumnya penghantar mempunyai konstruksi berinti tunggal hingga berinti banyak. Jumlah inti dari suatu penghantar juga mempengaruhi KHA dari penghantar tersebut.
3. teknik pemasangannya. Sebuah penghantar apakah dipasang didalam pipa, dipasang di udara, atau di pasang didalam tanah.

Jika arus listrik mengalir pada sebuah penghantar dengan besar arus melebihi dari nilai KHA penghantar tersebut, maka akan menyebabkan kabel tersebut menjadi panas. Nila panas berlebih ini terjadi dalam waktu yang lama dan terus-menerus, maka akan menyebabkan rusaknya isolasi. Daftar KHA penghantar dihitung atas dasar kondisi-kondisi berikut:

1. kecepatan angin 0,6 m/s
2. suhu keliling akibat sinar matahari 35°C
3. suhu penghantar maksimum 80°C
4. bila tidak ada angin maka KHA dikali dengan 0,7

2.1.12. Segitiga Daya

Suatu segitiga daya dapat digambar buntut suatu beban induktif, seperti gambar 2.5. untuk beberapa beban-beban dihubungkan paralel, P total adalah jumlah rata-rata dari semua beban, yang harus digambar pada sumbu mendatar untuk suatu analisis grafis. Untuk suatu beban Q digambarkan vrtikal ke atas karena bertanda positif. Suatu beban kapasitif akan mempunyai daya reaktif negative, dan kerennanya W digamabarkan ke bawah. Gambar 2.6 melukiskan segitiga daya yang disusun dari P_1 , Q_1 , dan S_1 untuk suatu beban tertinggal dengan sudut fasa θ_1 dikombinasikan dengan segitiga daya yang disusun dari P_2 , Q_2 , dan S_2 yang merupakan beban kapasitif dengan θ_2 yang negatif. Kedua beban yang dihubungkan parallel ini menghasilkan suatu segitiga dengan sisi-sisi $P_1 + P_2$ dan $Q_1 + Q_2$ dan hipotenusa S_R . Sudut fasa anatar tegangan dan arus yang dicatu kebebabn kombinasi adal ah θ_R .

2.1.13. Indeks Keandalan Sistem Distribusi

Sistem distribusi tenaga listrik merupakan bagian akhir dari sistem tenaga listrik yang berfungsi menyalurkan energi listrik dari gardu induk hingga ke pelanggan akhir. Keandalan sistem distribusi menjadi aspek yang sangat krusial karena secara langsung memengaruhi kontinuitas suplai listrik, kualitas pelayanan, dan tingkat kepuasan pelanggan. Gangguan yang terjadi pada sistem distribusi, baik yang bersifat teknis maupun non-teknis, akan berdampak langsung pada terjadinya pemadaman listrik.

Untuk mengevaluasi tingkat keandalan sistem distribusi tenaga listrik, industri ketenagalistrikan secara internasional maupun nasional menggunakan indikator-indikator statistik yang mampu menggambarkan performa sistem secara kuantitatif. Indikator ini dirancang untuk mengukur durasi gangguan, frekuensi gangguan, serta dampak gangguan terhadap pelanggan dalam suatu wilayah pelayanan tertentu. (Manopo et al., n.d.)

Peran Indeks Keandalan dalam Evaluasi Kinerja Sistem Distribusi

Indeks keandalan sistem distribusi memiliki fungsi strategis dalam berbagai aspek pengelolaan ketenagalistrikan, antara lain:

1. Sebagai indikator mutu pelayanan pelanggan

Nilai SAIDI dan SAIFI yang rendah menunjukkan bahwa pelanggan mengalami pemadaman dengan durasi dan frekuensi yang minimal, sehingga mutu pelayanan tenaga listrik dapat dikategorikan baik.

2. Sebagai alat evaluasi kinerja operasional

Indeks keandalan digunakan oleh perusahaan listrik, seperti PT PLN (Persero), untuk mengevaluasi efektivitas operasi dan pemeliharaan jaringan distribusi.

3. Sebagai dasar pengambilan keputusan pemeliharaan

Data SAIDI, SAIFI, dan kWh terselamatkan menjadi dasar dalam menentukan strategi pemeliharaan jaringan, termasuk pemilihan metode Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) atau Non-PDKB.

4. Sebagai parameter perencanaan pengembangan jaringan

Wilayah dengan nilai keandalan yang rendah memerlukan peningkatan investasi jaringan,

penambahan peralatan proteksi, atau penerapan teknologi pemeliharaan yang lebih andal.

Untuk mengevaluasi tingkat keandalan sistem distribusi listrik, industri ketenagalistrikan umumnya menggunakan indikator-indikator statistik yang dapat mengukur durasi dan frekuensi gangguan yang dialami oleh pelanggan. Tiga indeks yang paling sering digunakan adalah:

1. *SAIDI (System Average Interruption Duration Index)*

System Average Interruption Duration Index (SAIDI) merupakan salah satu indeks utama yang digunakan untuk mengukur keandalan sistem distribusi tenaga listrik dari sisi durasi pemadaman. SAIDI menunjukkan rata-rata total waktu pemadaman yang dialami oleh setiap pelanggan dalam suatu periode tertentu, umumnya dinyatakan dalam satuan jam per pelanggan per tahun. Indeks SAIDI memberikan gambaran seberapa lama pelanggan harus mengalami gangguan pasokan listrik akibat gangguan teknis, pemeliharaan jaringan, maupun gangguan eksternal lainnya. Semakin besar nilai SAIDI, maka semakin lama waktu pemadaman yang dirasakan pelanggan, yang berarti mutu pelayanan tenaga listrik semakin rendah. (WANLIHANDAELNI, W., & Samsurizal, S. 2024)

Secara matematis, *SAIDI* dirumuskan sebagai berikut:

$$SAIDI = \frac{\text{Durasi Padam} \times \text{Pelanggan Padam}}{\text{Jumlah Pelanggan Total}}$$

Nilai SAIDI sangat dipengaruhi oleh:

- a. Lama waktu pemadaman pada setiap terjadinya gangguan,
- b. Jumlah pelanggan yang terdampak pemadaman
- c. Jenis pekerjaan pemeliharaan yang dilakukan (PDKB atau Non-PDKB).

Pada metode pemeliharaan Non-PDKB, pekerjaan dilakukan dengan memutus tegangan sehingga pelanggan mengalami pemadaman selama pekerjaan berlangsung. Hal ini menyebabkan durasi pemadaman bertambah dan secara langsung meningkatkan nilai SAIDI. Sebaliknya, pada metode Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB), pekerjaan pemeliharaan dilakukan tanpa memutus suplai listrik, sehingga durasi pemadaman dapat ditekan atau bahkan dihilangkan sama sekali. Oleh karena itu, penerapan PDKB secara konsisten menjadi salah satu strategi utama dalam upaya penurunan nilai SAIDI, khususnya pada jaringan distribusi 20 kV yang melayani pelanggan dengan tingkat kebutuhan kontinuitas listrik yang tinggi.

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

System Average Interruption Frequency Index (SAIFI) merupakan indeks keandalan yang menunjukkan rata-rata frekuensi terjadinya pemadaman listrik yang dialami oleh setiap pelanggan dalam suatu periode tertentu. *SAIFI* dinyatakan dalam satuan kali per pelanggan per tahun. *SAIFI* menggambarkan seberapa sering pelanggan mengalami gangguan pasokan listrik, tanpa memperhatikan lama waktu gangguan tersebut. Dengan kata lain, *SAIFI* lebih menekankan pada jumlah kejadian pemadaman dibandingkan durasinya.

Nilai SAIFI dipengaruhi oleh:

- a. Jumlah kejadian gangguan pada jaringan distribusi,
- b. Frekuensi pemeliharaan jaringan yang memerlukan pemadaman,
- c. Keandalan peralatan dan sistem proteksi jaringan.

Rumus perhitungan *SAIFI* adalah sebagai berikut:

$$SAIFI = \frac{\text{Pelanggan Padam (Diselamatkan)}}{\text{Jumlah Pelanggan Total}} \quad (2.2)$$

Pemeliharaan jaringan dengan metode Non-PDKB umumnya dilakukan secara berkala dan memerlukan pemadaman terencana. Setiap pemadaman tersebut akan dihitung sebagai satu kejadian gangguan, sehingga semakin sering dilakukan pemeliharaan Non-PDKB, maka nilai SAIFI akan semakin meningkat. Sebaliknya, penerapan PDKB memungkinkan pekerjaan pemeliharaan dilakukan tanpa pemadaman, sehingga jumlah kejadian pemadaman dapat dikurangi secara signifikan. Dengan demikian, PDKB berkontribusi langsung terhadap penurunan nilai SAIFI dan peningkatan kontinuitas pelayanan tenaga listrik. Nilai SAIFI yang rendah mencerminkan sistem distribusi yang lebih andal dan stabil, serta menunjukkan bahwa pelanggan jarang mengalami gangguan pasokan Listrik.

3. Energi Listrik Terselamatkan (kWh Saving)

Selain SAIDI dan SAIFI, indikator lain yang sangat penting dalam evaluasi kinerja pemeliharaan jaringan distribusi adalah Energi Listrik Terselamatkan (kWh Saving). Energi listrik terselamatkan merupakan jumlah energi listrik yang tetap dapat disalurkan kepada pelanggan karena tidak terjadinya pemadaman selama pekerjaan pemeliharaan. Dalam kondisi pemeliharaan Non-PDKB, pemadaman menyebabkan terjadinya energi tidak tersalurkan (Energy Not Supplied/ENS), yaitu energi yang seharusnya dikonsumsi oleh pelanggan namun tidak dapat disalurkan karena suplai listrik dihentikan. Sebaliknya, pada metode PDKB, energi listrik tetap disalurkan selama pekerjaan berlangsung, sehingga energi tersebut dapat dikategorikan sebagai kWh terselamatkan.

Secara sederhana, perhitungan energi listrik terselamatkan dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$\text{kWh Terselamatkan} = \frac{\sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \phi \cdot t}{1000} \quad (2.3)$$

Hubungan keandalan dengan pertumbuhan ekonomi lokal secara makroekonomi, keandalan listrik memiliki korelasi positif dengan pertumbuhan ekonomi daerah. Jurnal-jurnal pembangunan sering menekankan bahwa kestabilan suplai listrik di pusat-pusat pemerintahan dan bisnis, seperti Jayapura, merupakan magnet bagi investasi. Jika indeks SAIDI dan SAIFI buruk, biaya operasional industri dan bisnis akan membengkak karena mereka harus menyediakan sumber energi cadangan (genset) yang lebih mahal. Oleh karena itu, penerapan PDKB di UP3 Jayapura bukan hanya masalah teknis kabel, melainkan upaya menjaga kepercayaan publik dan stabilitas ekonomi Papua. Dengan menjaga lampu tetap menyala, PLN berperan dalam memastikan bahwa seluruh sektor, mulai dari UMKM hingga fasilitas publik, dapat beroperasi secara optimal tanpa interupsi.

Berdasarkan analisis yang telah kita bahas, dapat ditarik tiga kesimpulan utama mengenai kontribusi PDKB di PT PLN (Persero) UP3 Jayapura:

1. Penyelamat Rapor Keandalan (SAIDI & SAIFI): Setiap pengerjaan yang dilakukan oleh tim PDKB secara otomatis menghentikan penambahan angka pada indeks pemadaman. Jika kita mengandalkan metode Non-PDKB, rapor keandalan Jayapura akan terus membengkak setiap kali pemeliharaan rutin dilakukan. PDKB adalah solusi agar sistem tetap andal tanpa harus mengorbankan kenyamanan pelanggan.
2. Efisiensi Ekonomi Melalui kWh Terselamatkan: Dari sisi finansial, PDKB berhasil memulihkan potensi pendapatan yang hilang (*Energy Not Served*). Setiap kWh yang terselamatkan bukan hanya soal rupiah bagi PLN, tapi soal berputarnya roda ekonomi di Jayapura—mulai dari kulkas pedagang kecil yang tetap dingin hingga mesin industri yang terus beroperasi.
3. Menjaga Kepercayaan Publik: Di pusat pemerintahan dan bisnis seperti Jayapura, listrik yang stabil adalah harga mati. PDKB membuktikan komitmen PLN dalam memberikan layanan kelas dunia, di mana pemeliharaan infrastruktur tidak lagi menjadi alasan untuk menghentikan aktivitas masyarakat.

2.2 Penelitian Terkait

Pada penelitian ini, penulis melakukan tinjauan pustaka yang meliputi studi referensi dan studi penelitian terdahulu yang berkaitan dengan pekerjaan pemeliharaan jaringan distribusi, khususnya Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) dan pemeliharaan dengan pemadaman, serta pengaruhnya terhadap kWh terselamatkan dan keandalan sistem distribusi tenaga listrik.

Pada tahun 2023, (Putra, Nugroho, dan Santoso, 2023) melakukan penelitian dengan judul “Analisis Kontribusi Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) Terhadap Keandalan Jaringan Distribusi 20 kV” yang terbit pada Jurnal Kajian Teknik Elektro Vol. 8 No. 2. Penelitian ini mengkaji dampak penerapan PDKB terhadap pengurangan pemadaman listrik pada jaringan distribusi. PDKB merupakan salah satu metode pemeliharaan jaringan yang dilakukan tanpa memutus suplai listrik kepada pelanggan. Apabila pemeliharaan dilakukan dengan metode pemadaman, maka akan terjadi energi tidak tersalurkan (Energy Not Supplied/ENS) yang berdampak pada penurunan mutu pelayanan pelanggan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan PDKB mampu menekan durasi pemadaman secara signifikan, sehingga nilai SAIDI mengalami penurunan dibandingkan sebelum penerapan PDKB. Selain itu, jumlah kejadian pemadaman juga menurun, yang tercermin dari perbaikan nilai SAIFI. Dengan demikian, PDKB dinilai efektif dalam meningkatkan keandalan sistem distribusi tanpa mengganggu kontinuitas suplai listrik.

Pada tahun 2022, (Hidayat & Pratama, 2022) melakukan penelitian berjudul “Analisis Energi Listrik Terselamatkan Akibat Penerapan PDKB Pada Jaringan Distribusi 20 kV” yang diterbitkan pada Jurnal Energi dan Kelistrikan, Vol. 10 No. 1. Penelitian ini membahas perbandingan antara pemeliharaan jaringan menggunakan metode PDKB dan pemeliharaan dengan pemadaman. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan energi listrik dan tuntutan mutu pelayanan, pemadaman terencana menjadi salah satu faktor utama penyebab berkurangnya energi listrik yang dapat disalurkan kepada pelanggan. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung besarnya kWh terselamatkan akibat penerapan PDKB. Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh bahwa selama

kegiatan pemeliharaan dengan metode PDKB, energi listrik tetap dapat disalurkan sehingga tidak terjadi kehilangan energi. Sebaliknya, pada metode pemeliharaan dengan pemadaman, terjadi ENS yang cukup signifikan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan PDKB mampu meningkatkan kWh terselamatkan secara langsung dan memberikan dampak ekonomi positif bagi perusahaan penyedia tenaga listrik.

Pada tahun 2024, (Agung, Ramadhan, dan Wijaya, 2024) melakukan penelitian dengan judul “Perbandingan Pemeliharaan Jaringan Distribusi Menggunakan Metode PDKB dan Non-PDKB Terhadap Indeks Keandalan Sistem” yang terbit pada Jurnal Teknik Elektro dan Energi, Vol. 9 No. 1. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan dampak pemeliharaan jaringan dengan metode PDKB dan Non-PDKB terhadap nilai SAIDI dan SAIFI. Metode penelitian yang digunakan adalah pengolahan data gangguan dan pemadaman selama periode satu tahun operasional jaringan distribusi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jaringan distribusi yang dominan menggunakan metode Non-PDKB memiliki nilai SAIDI dan SAIFI yang lebih tinggi dibandingkan jaringan yang telah menerapkan PDKB secara konsisten. Selisih nilai indeks keandalan menunjukkan bahwa PDKB memiliki kontribusi yang kuat dan positif terhadap peningkatan keandalan sistem distribusi.

Pada tahun 2021, (Siregar, Lubis, dan Harahap, 2021) melakukan penelitian dengan judul “Analisis Dampak Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) Terhadap Penurunan Pemadaman Terencana Pada Jaringan Distribusi 20 kV” yang diterbitkan pada Jurnal Teknik Elektro Universitas Sumatera Utara, Vol. 6 No. 2. Penelitian ini membahas penerapan metode PDKB sebagai solusi untuk mengurangi pemadaman terencana akibat kegiatan pemeliharaan jaringan distribusi. Pemadaman terencana yang dilakukan secara berulang dapat menurunkan mutu pelayanan pelanggan dan meningkatkan nilai SAIDI serta SAIFI. Berdasarkan hasil analisis, diperoleh bahwa setelah penerapan PDKB terjadi penurunan signifikan pada durasi pemadaman, sehingga nilai SAIDI menurun dibandingkan sebelum PDKB diterapkan. Penelitian ini menyimpulkan bahwa PDKB merupakan metode pemeliharaan yang efektif untuk meningkatkan kontinuitas pasokan listrik dan keandalan sistem distribusi.

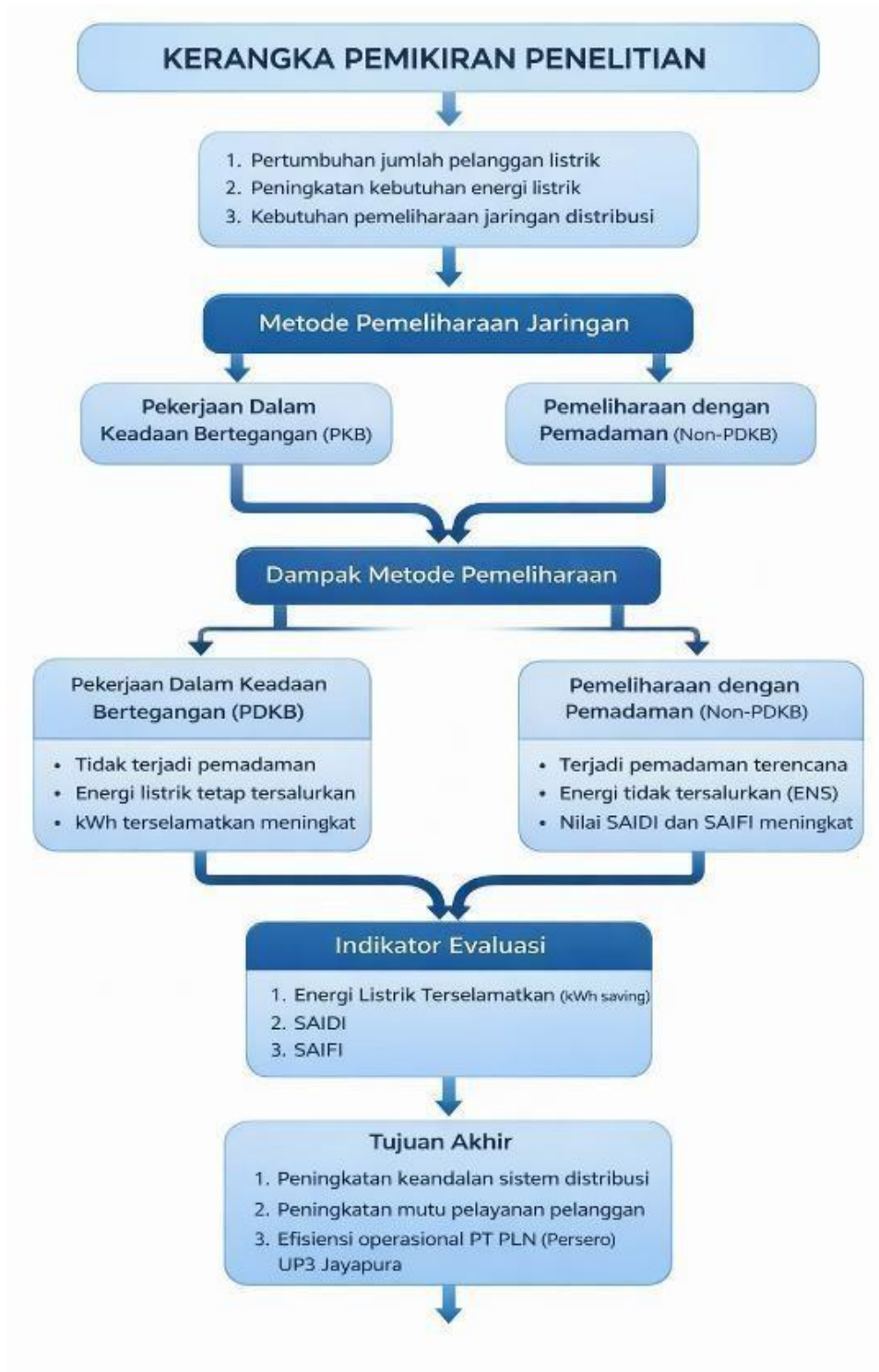
Pada tahun 2022, (Prasetyo & Wibowo, 2022) melakukan penelitian berjudul “Evaluasi Energi Tidak Tersalurkan (ENS) Akibat Pemeliharaan Jaringan Distribusi 20 kV” yang terbit pada Jurnal Energi dan Kelistrikan, Vol. 11 No. 1. Penelitian ini mengkaji besarnya energi tidak tersalurkan akibat pemadaman terencana selama kegiatan pemeliharaan jaringan distribusi. Penelitian dilakukan dengan membandingkan energi listrik yang hilang pada saat pemeliharaan Non-PDKB dengan kondisi jaringan yang menerapkan PDKB. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemeliharaan dengan pemadaman menyebabkan nilai ENS yang cukup besar, terutama pada penyulang dengan jumlah pelanggan dan beban tinggi. Sebaliknya, penerapan PDKB mampu menekan ENS secara signifikan sehingga energi listrik tetap dapat disalurkan kepada pelanggan. Hal ini menunjukkan bahwa PDKB berkontribusi langsung terhadap peningkatan kWh terselamatkan

Pada tahun 2023, (Maulana, Putri, dan Haryanto, 2023) melakukan penelitian dengan judul “Analisis Pengaruh Metode Pemeliharaan Jaringan Distribusi Terhadap Indeks Keandalan Sistem (SAIDI dan SAIFI)” yang diterbitkan dalam Jurnal Rekayasa Sistem Tenaga, Vol. 7 No. 3. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan antara metode pemeliharaan jaringan dan tingkat keandalan sistem distribusi. Data yang digunakan berupa data pemadaman dan gangguan jaringan selama satu tahun operasional. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jaringan distribusi yang lebih sering menggunakan metode pemeliharaan Non-PDKB memiliki nilai SAIDI dan SAIFI yang lebih tinggi dibandingkan jaringan yang menerapkan PDKB. Berdasarkan analisis tersebut, disimpulkan bahwa metode PDKB memiliki korelasi positif terhadap peningkatan keandalan sistem distribusi tenaga listrik.

Pada tahun 2024, (Febrianto & Husada, 2024) melakukan penelitian berjudul “Optimalisasi Pemeliharaan Jaringan Distribusi 20 kV Menggunakan Metode Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan” yang terbit pada Jurnal Kajian Teknik Elektro, Vol. 9 No. 1. Penelitian ini membahas optimalisasi kegiatan pemeliharaan jaringan distribusi dengan memanfaatkan PDKB untuk menekan angka pemadaman dan meningkatkan mutu pelayanan pelanggan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan PDKB mampu mengurangi jumlah pemadaman terencana secara

signifikan, sehingga berdampak pada penurunan nilai SAIDI dan SAIFI serta peningkatan kepuasan pelanggan. Selain itu, penelitian ini juga menyebutkan bahwa PDKB memberikan keuntungan ekonomi melalui peningkatan energi listrik yang tersalurkan selama kegiatan pemeliharaan berlangsung.

2.3 Kerangka Pemikiran



Gambar 2. 13 Kerangka Pemikiran

Kerangka Rangkaian pemikiran pada penelitian ini diawali dari kondisi sistem distribusi tenaga listrik yang terus mengalami perkembangan. Pertumbuhan jumlah pelanggan listrik, peningkatan kebutuhan energi listrik, serta tuntutan pemeliharaan jaringan distribusi menjadi faktor utama yang mempengaruhi kinerja sistem distribusi. Kondisi tersebut menuntut metode pemeliharaan yang tepat agar keandalan penyaluran energi listrik tetap terjaga.

Berdasarkan kondisi tersebut, diterapkan metode pemeliharaan jaringan distribusi yang terbagi menjadi dua pendekatan, yaitu Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) dan pemeliharaan dengan pemadaman (Non-PDKB). Kedua metode ini memiliki karakteristik dan dampak yang berbeda terhadap kontinuitas pelayanan listrik kepada pelanggan.

Pada metode PDKB, kegiatan pemeliharaan dilakukan tanpa melakukan pemadaman jaringan, sehingga energi listrik tetap tersalurkan kepada pelanggan. Kondisi ini mengakibatkan tidak terjadinya pemadaman, meningkatnya energi listrik yang terselamatkan (kWh saving), serta terjaganya kontinuitas pelayanan. Sebaliknya, pada metode Non-PDKB, pemeliharaan dilakukan dengan pemadaman terencana yang menyebabkan energi tidak tersalurkan (*Energy Not Supplied/ENS*) dan berpotensi meningkatkan nilai indeks keandalan sistem, yaitu SAIDI dan SAIFI.

Dampak dari kedua metode pemeliharaan tersebut kemudian dianalisis melalui indikator evaluasi, yang meliputi besarnya energi listrik terselamatkan (kWh saving), nilai SAIDI (System Average Interruption Duration Index), dan SAIFI (System Average Interruption Frequency Index). Indikator-indikator ini digunakan untuk menilai sejauh mana efektivitas metode PDKB dibandingkan dengan metode Non-PDKB dalam meningkatkan keandalan sistem distribusi.

Rangkaian pemikiran ini bermuara pada tujuan akhir penelitian, yaitu meningkatkan keandalan sistem distribusi tenaga listrik, meningkatkan mutu pelayanan kepada pelanggan, serta mendukung efisiensi operasional PT PLN (Persero) UP3 Jayapura. Dengan demikian, penerapan metode PDKB diharapkan mampu menjadi solusi strategis dalam menjaga kontinuitas pasokan listrik sekaligus meningkatkan kinerja sistem distribusi secara keseluruhan.