

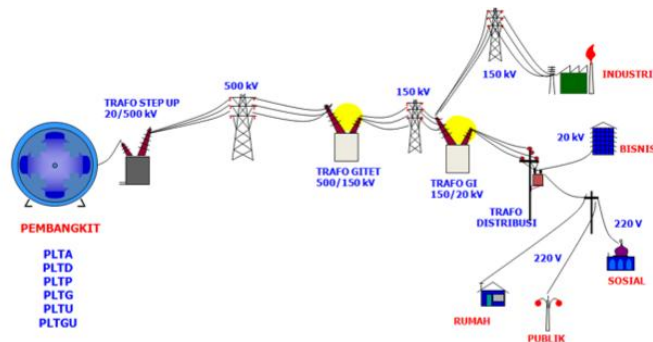
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik adalah suatu sistem yang terdiri dari beberapa komponen, antara lain pembangkitan, saluran transmisi, distribusi dan beban yang berhubungan sedemikian rupa dan berkerja sama untuk melayani kebutuhan tenaga listrik bagi pelanggan sesuai kebutuhan (Suripto, 2017). Diagram sistem tenaga listrik ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Sistem Tenaga Listrik (Suripto, 2017)

Sistem tenaga listrik pada dasarnya merupakan suatu kesatuan yang tersusun dari beberapa komponen utama, yaitu pembangkitan, transmisi, distribusi, serta beban listrik. Keempat bagian ini saling berhubungan dan bekerja secara terpadu agar kebutuhan listrik masyarakat dapat terpenuhi dengan baik. Prosesnya dimulai dari pembangkitan tenaga listrik di pembangkit, kemudian dialirkan melalui jaringan transmisi jarak jauh menuju pusat beban, selanjutnya didistribusikan melalui jaringan distribusi agar dapat sampai ke konsumen. Beban

yang dimaksud adalah semua peralatan atau kebutuhan listrik yang digunakan pelanggan.

2.1.2 Sistem Distribusi Listrik

Jaringan distribusi adalah bagian dari sistem tenaga listrik yang berupa jaringan penghantar yang menghubungkan antara gardu induk pusat beban dan pelanggan. Ruang lingkup jaringan distribusi meliputi seluruh komponen mulai penyulang atau feeder di dekat terminal sekunder trafo gardu induk hingga alat pembatas dan pengukur (APP) di pelanggan (Suripto, 2017). Jaringan distribusi berperan dalam menyalurkan energi listrik kepada pelanggan sesuai kapasitas daya serta level tegangan yang diperlukan. Komponen sistem tenaga listrik ini menjadi bagian yang berhubungan secara langsung dengan konsumen, sehingga mutu penyelenggaraan jaringan distribusi memberikan pengaruh signifikan terhadap kenyamanan dan kualitas layanan yang diterima pelanggan.

2.1.3 Komponen Distribusi Listrik

a) Gardu Induk

Gardu Induk (GI) berfungsi sebagai titik pemberi pasokan listrik ke jaringan distribusi (Patasik et al., 2025). Tegangan yang disalurkan dari gardu induk berada pada level tegangan menengah. Hal ini karena tegangan tinggi yang diterima dari jaringan transmisi terlebih dahulu diturunkan di gardu induk sebelum didistribusikan menuju area beban yang menjadi tujuan penyaluran (Syafar, 2019). Dengan proses penurunan tegangan tersebut, penyaluran energi listrik menjadi lebih aman dan sesuai dengan kapasitas jaringan distribusi yang melayani konsumen.

b) Gardu Hubung

Gardu hubung merupakan gardu penghubung antara gardu induk dengan trafo distribusi. Gardu ini tidak berisikan transformator, tetapi hanya perlengkapan hubung bagi (Syafar, 2019). Peran gardu hubung penting dalam menjaga fleksibilitas sistem distribusi, karena memungkinkan pengalihan jalur suplai saat terjadi gangguan maupun perawatan tanpa memutus total pasokan ke pelanggan.

c) Gardu Distribusi

Gardu distribusi adalah suatu tempat instalasi listrik yang didalamnya terdapat alat-alat pemutus, penghubung (Telaumbanua et al., 2024). Gardu distribusi berperan sebagai titik penyalur energi listrik dari gardu induk menuju pelanggan akhir atau konsumen. Pada gardu ini, energi listrik yang telah berada pada level tegangan menengah diturunkan kembali menjadi tegangan rendah melalui transformator distribusi sehingga sesuai untuk kebutuhan penggunaan di lingkungan rumah tangga, bisnis, maupun fasilitas umum.

Sebagai contoh penerapan Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) pada gardu distribusi, salah satu kegiatan yang dilakukan adalah pemeliharaan jumper tiga fasa pada transformator distribusi seperti ditunjukkan pada gambar 2.2. Pekerjaan ini dilaksanakan tanpa mematikan sistem, sehingga kontinuitas penyaluran tenaga listrik kepada pelanggan tetap terjaga. Pemeliharaan jumper tiga fasa bertujuan untuk memastikan kondisi sambungan listrik tetap andal, mencegah terjadinya

kenaikan tahanan kontak, serta mengurangi potensi gangguan akibat sambungan yang longgar atau mengalami degradasi.



Gambar 2.2 Pemeliharaan jumper transformator

Sumber: Instruksi kerja PDKB

d) Penyulang

Penyulang dalam jaringan distribusi merupakan saluran yang menghubungkan gardu induk dengan gardu distribusi (Syafar, 2019). Penyulang menjadi jalur utama penyaluran energi listrik pada sisi tegangan menengah, sehingga kontinuitas dan kapasitasnya sangat menentukan keandalan aliran daya menuju transformator distribusi.

Sebagai contoh penerapan Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) pada penyulang, gambar 2.3 menunjukkan salah satu kegiatan yang dilakukan adalah pemeliharaan konduktor rantas. Pekerjaan ini dilaksanakan tanpa melakukan pemadaman jaringan, sehingga kontinuitas penyaluran tenaga listrik kepada pelanggan tetap terjaga. Pemeliharaan konduktor rantas bertujuan untuk menghilangkan potensi gangguan akibat

sentuhan vegetasi, benda asing, atau kondisi konduktor yang dapat menurunkan jarak bebas (*clearance*) terhadap lingkungan sekitar.



Gambar 2.3 Pemeliharaan konduktor rantas

Sumber: Instruksi kerja PDKB

2.1.4 Keandalan Distribusi Listrik

Kendalan sistem distribusi merupakan standar pelayanan energi listrik yang dikaitkan dengan seberapa sering terjadi pemadaman atau pemutusan aliran listrik yang sampai ke pelanggan (Suripto, 2017). Jaringan distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang paling dekat serta berinteraksi langsung dengan pelanggan. Oleh karena itu, kondisi dan kinerja jaringan distribusi memiliki pengaruh besar terhadap mutu energi listrik yang diterima konsumen. Kualitas jaringan yang kurang baik dapat menyebabkan peningkatan gangguan, tegangan tidak stabil, serta penurunan keandalan sistem secara keseluruhan.

2.1.5 Indeks Keandalan Distribusi Listrik

Beberapa indeks keandalan yang umum digunakan dalam menentukan tingkat keandalan suatu sistem distribusi tenaga listrik adalah:

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

SAIDI merupakan indeks durasi pemadaman rata-rata yang dialami tiap pelanggan dan jangka waktu setahun (Suripto, 2017). *SAIDI* dinyatakan dalam persamaan (2.1).

$$SAIDI = \frac{\sum U_i \times N_i}{N_t} \quad (2.1)$$

Keterangan:

U_i = Durasi Padam

N_i = Jumlah Pelanggan Padam

N_t = Jumlah Pelanggan Penyulang

Jumlah pelanggan padam adalah total pelanggan yang terdampak pemadaman, sedangkan jumlah pelanggan total merupakan jumlah dari seluruh pelanggan yang terdampak pemadaman dan menjadi dasar perhitungan indeks keandalan *SAIDI*.

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

SAIFI merupakan indeks frekuensi pemadaman rata-rata, yaitu jumlah banyaknya kegagalan pemadaman yang terjadi per pelanggan yang dilayani oleh sistem dalam satu tahun (Suripto, 2017), *SAIFI* dinyatakan dalam persamaan (2.2).

$$SAIFI = \frac{\sum \lambda_i \times N_i}{N_t} \quad (2.2)$$

Keterangan:

λ_i = Laju Kegagalan

N_i = Jumlah Pelanggan Padam

N_t = Jumlah Pelanggan Penyulang

Jumlah pelanggan padam adalah total pelanggan yang terdampak pemadaman, sedangkan jumlah pelanggan total merupakan jumlah dari seluruh pelanggan yang terdampak pemadaman dan menjadi dasar perhitungan indeks keandalan *SAIDI* dan menjadi dasar perhitungan indeks keandalan *SAIFI*.

2.1.6 Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB)

Berdasarkan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (Permen ESDM) Nomor 001 Tahun 2005 tentang Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB), pelaksanaan pekerjaan pemeliharaan maupun perluasan jaringan tenaga listrik dapat dilakukan tanpa memutus aliran listrik (2005). Regulasi ini menyatakan bahwa upaya peningkatan kualitas pelayanan kepada pelanggan dapat dicapai melalui pengurangan pemadaman listrik, sehingga pekerjaan pada jaringan tegangan rendah, tegangan menengah, tegangan tinggi, hingga tegangan ekstra tinggi dapat dilaksanakan dalam keadaan bertegangan.

Dalam praktiknya Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) menggunakan beberapa metode kerja, diantaranya:

a. Metode Sentuh Langsung

Metode Sentuh Langsung adalah teknik Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan di mana pekerja melakukan kontak langsung dengan bagian bertegangan. Pada metode Sentuh Langsung, pekerja menggunakan peralatan khusus berupa truk sentuh langsung yang memiliki kemampuan isolasi hingga 100 kV seperti ditunjukkan pada gambar 2.4, sehingga dapat menjaga pekerja tetap terisolasi dari tanah maupun fase lain saat beroperasi pada jaringan bertegangan.



Gambar 2.4 Metode sentuh langsung

Sumber: PDKB.id

b. Metode Berjarak

Metode Berjarak adalah teknik Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan yang dilakukan dengan menjaga jarak aman antara pekerja dan konduktor bertegangan menggunakan tongkat isolasi. Pada metode ini, pekerja tidak menyentuh langsung bagian bertegangan, melainkan melakukan operasi penggantian, pemeliharaan, atau pemasangan komponen melalui alat bantu berisolasi tinggi yang mampu menahan tegangan sesuai standar seperti ditunjukkan pada gambar 2.5. Dengan memanfaatkan jarak sebagai media proteksi, metode ini mengurangi risiko aliran arus listrik ke tubuh pekerja, dan umumnya digunakan pada sistem distribusi tegangan menengah hingga tinggi.



Gambar 2.5 Metode berjarak

Sumber: PDKB.id

2.2 Penelitian Terkait dan Keterbaruan Penelitian

2.2.1 Penelitian Terkait

Ringkasan data penelitian terkait keandalan sistem distribusi serta Pekerja

Dalam Keadaan Bertegangan ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Penelitian Terkait

No	Peneliti & tahun	Judul Penelitian	Masalah	Hasil Utama
1.	Muhazir Is, Tarmizi, Ramzi Adriman (2025)	<i>Evaluation of PDKB Performance's Impact on SAIFI at PT. PLN UP3 Langsa</i>	Tingginya nilai dan <i>SAIFI</i> pada sistem distribusi PT PLN UP3 Langsa yang menuntut penerapan strategi pemeliharaan efektif.	Pelaksanaan PDKB mampu menurunkan nilai dan <i>SAIFI</i> secara signifikan sehingga meningkatkan keandalan dan kontinuitas pelayanan listrik.
2.	Ari Juliasandi, Ikrima Alfi (2020)	ANALISA KWH TERSELAMATKAN PADA PEMELIHARAAN ABSW (<i>AIR BREAK SWITCH</i>) DENGAN METODE PDKB (PEKERJAAN DALAM KEADAAN BERTEGANGAN) DI PT.PLN (PERSERO) DISTRIBUSI JAWA TENGAH DAN D.I. YOGYAKARTA RAYON PURWOKERTO.	Menganalisis efektivitas metode PDKB pada pemeliharaan <i>Air Break Switch</i> (ABSw) dalam menjaga kontinuitas pasokan listrik dan menekan kerugian akibat pemadaman.	Penerapan PDKB mampu menyelamatkan energi dan nilai finansial secara signifikan serta menurunkan nilai dan <i>SAIFI</i> dibandingkan metode pemeliharaan padam

No	Peneliti & tahun	Judul Penelitian	Masalah	Hasil Utama
3.	Rusliadi, Yulianti La Elo (2024)	Frekuensi Gangguan dan Energi Tak Tersalurkan Sebagai Indikator keandalan Sistem Jaringan Tegangan Menengah	Penelitian ini mengkaji tingginya frekuensi dan durasi gangguan pada Penyulang Wagom yang berdampak pada peningkatan nilai <i>Energy Not Supplied (ENS)</i> .	Meskipun <i>ENS</i> meningkat pada bulan-bulan tertentu, nilai dan <i>SAIFI</i> secara tahunan masih berada di bawah batas SPLN 68-2:1986 sehingga penyulang Wagom tergolong andal.
4.	Gunawan Sihombing (2022)	Analisis Indeks Keandalan Secara Teknis dan Ekonomis Jaringan Distribusi 20 KV Menggunakan Metode Section Technique pada PT. PLN (Persero) Rayon Belawan	Perlunya evaluasi keandalan Penyulang Lima Puluh akibat kehilangan energi listrik yang dipengaruhi oleh gangguan dan pemeliharaan.	Nilai <i>LOLP</i> dan <i>LOLE</i> masih dalam batas yang dapat dikendalikan, namun diperlukan peningkatan pemeliharaan preventif dan pengelolaan aset untuk menekan risiko kegagalan sistem distribusi.
5.	Evan Bagas Pratama (2022)	Analisa Perbaikan Jaringan Tegangan menengah Tanpa Pemadaman Pada penyulang 04 GI Sayung 150/20 kV Demak	Mengkaji keandalan Penyulang 04 GI Sayung akibat gangguan yang menyebabkan pemadaman dan energi tidak tersalurkan.	Frekuensi dan durasi gangguan berpengaruh langsung terhadap peningkatan nilai <i>ENS</i> , sementara sebagian indeks <i>SAIDI</i> dan <i>SAIFI</i> masih berada dalam batas standar SPLN.
6.	Onglan Nainggolan, Bustani, Arbain (2023)	Evaluasi Keandalan Sistem Distribusi 20 Kv Pada Penyulang J4 J5 J6 Di PT. PLN (Persero) Area Balikpapan Menggunakan Nilai dan <i>SAIFI</i>	Mengevaluasi keandalan sistem distribusi 20 kV pada penyulang J4, J5, dan J6 di Area Balikpapan yang masih mengalami gangguan listrik.	Penyulang J4 mendekati standar keandalan, sedangkan penyulang J5 dan J6 memiliki nilai <i>SAIDI</i> dan <i>SAIFI</i> melebihi batas standar sehingga dikategorikan kurang andal.
7.	Slamet Nurhadi, Mochammad Mieftah, Heri Sungkowo (2024)	Peningkatan Keandalan Berbasis Nilai <i>Energy Not Supplied (ENS)</i> Pada Penyulang Banyu Biru.	tingginya tingkat gangguan pada Penyulang Banyu Biru yang berdampak pada besarnya nilai <i>ENS</i> , dan <i>SAIFI</i> .	Penerapan skenario teknis berupa pemindahan LBSM, penambahan FCO, dan pemasangan recloser mampu menurunkan nilai <i>ENS</i> secara signifikan serta memperbaiki indeks <i>SAIDI</i> dan <i>SAIFI</i>

No	Peneliti & tahun	Judul Penelitian	Masalah	Hasil Utama
8.	R. Harahap, Hasbie Farizi, Surya Tarmizi, Kasim, Syafrudin HS. (2022)	ANALISIS INDEKS KEANDALAN PADA JARINGAN DISTRIBUSI 20 KV PENYULANG KA.1, KU.1 DAN TW.1 DI PT. PLN (Persero) UP3 LUBUK PAKAM.	Mengevaluasi keandalan jaringan distribusi 20 kV pada penyulang KA.1, KU.1, dan TW.1 akibat tingginya frekuensi gangguan dan pemadaman.	Berdasarkan SPLN 68-2:1986 sistem tergolong andal dari sisi <i>SAIDI</i> dan <i>CAIDI</i> , namun tidak andal dari sisi <i>SAIFI</i> , sedangkan menurut standar IEEE 1366-2003 sistem distribusi dikategorikan tidak andal.
9.	Mochamad Aji Gema Pribaya, Ivany Syarif (2021)	ANALISIS ENERGI TERSELAMATKAN PADA PDKB PT. PLN (PERSERO) JAWA BARAT BANDUNG.	Penyulang Sunan Giri dan Pahlawan yang masih mengalami gangguan dengan frekuensi relatif tinggi.	Meskipun nilai <i>SAIDI</i> masih dalam batas standar, nilai <i>SAIFI</i> pada kedua penyulang melebihi batas SPLN 68-2:1986 sehingga sistem distribusi dinilai belum andal dari sisi frekuensi pemadaman.
10.	Febri Hariadi, Verani Hartati (2022)	Analisis Risiko Kecelakaan pada Tim PDKB-TM Menggunakan Metode <i>Hazard and Operability Study (HAZOP)</i> (Studi Kasus: PT PLN (Persero) UP3 Cimahi).	Mengkaji risiko keselamatan kerja pada pelaksanaan PDKB-TM yang memiliki potensi kecelakaan cukup tinggi.	Risiko utama berupa sengatan listrik dan jatuh dari ketinggian berada pada kategori sedang hingga ekstrem, sehingga diperlukan pengendalian melalui kepatuhan SOP, penggunaan APD yang sesuai, serta peningkatan pengawasan kerja.

2.2.2 Kebaruan Penelitian

Kebaruan penelitian ini terletak pada fokus analisis yang tidak hanya mengevaluasi manfaat penerapan Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) dari aspek operasional, tetapi secara khusus menganalisis pengaruh PDKB terhadap tingkat keandalan sistem distribusi tenaga listrik melalui perbandingan nilai *SAIDI* dan *SAIFI* pada kondisi dengan dan tanpa PDKB di wilayah ULP Singaparna. Penelitian terdahulu umumnya berfokus pada analisis energi tidak tersalurkan

(ENS), energi terselamatkan, manfaat ekonomi, atau peningkatan keandalan akibat rekayasa jaringan dan pemeliharaan sistem distribusi.

Penelitian ini mengisi celah kajian dengan mengevaluasi sejauh mana penerapan Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) berkontribusi terhadap peningkatan keandalan sistem distribusi tenaga listrik. Berbeda dengan penelitian terdahulu yang umumnya hanya menghitung nilai indeks keandalan atau mengevaluasi efektivitas PDKB secara deskriptif, penelitian ini menganalisis pengaruh penerapan PDKB secara kuantitatif melalui perbandingan nilai *SAIDI* (*System Average Interruption Duration Index*) dan *SAIFI* (*System Average Interruption Frequency Index*) pada kondisi dengan dan tanpa PDKB.