

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik adalah jaringan terpadu yang mencakup tiga bagian utama, yaitu pembangkitan, transmisi, dan distribusi. Bagian pembangkitan berperan dalam menghasilkan listrik dari berbagai sumber energi seperti tenaga air, uap, gas, maupun energi terbarukan. Listrik yang dihasilkan kemudian disalurkan melalui jaringan tegangan tinggi agar dapat menjangkau lokasi yang jauh dari sumber pembangkit dengan kerugian energi yang minimal. Sesampainya di wilayah konsumen, listrik diturunkan melalui sistem distribusi ke tegangan yang sesuai sehingga dapat digunakan untuk kebutuhan rumah tangga, industri, maupun komersial. Sistem tenaga listrik dirancang agar beroperasi dengan andal, aman, dan efisien guna memastikan pasokan energi listrik dapat terpenuhi secara berkelanjutan. [9]

Dalam sistem tenaga listrik terdapat empat komponen utama yang memiliki peran penting dalam proses pembangkitan, transmisi, dan distribusi listrik. Komponen pertama adalah pembangkit listrik, yang berfungsi mengubah berbagai sumber energi menjadi energi listrik. Sumber energi tersebut dapat berupa energi termal, hidroelektrik, nuklir, angin, atau surya. Efisiensi pembangkit dihitung dengan membandingkan energi listrik yang dihasilkan dengan energi yang digunakan, sementara daya listrik dihitung menggunakan persamaan tertentu. Distribusi energi listrik sendiri berkaitan dengan proses penyaluran listrik dari gardu distribusi menuju konsumen akhir seperti rumah tangga, industri, dan sektor bisnis[10]. Jaringan distribusi bekerja pada tegangan yang lebih rendah dibandingkan jaringan transmisi, dengan tujuan menyesuaikan tingkat tegangan agar sesuai dengan kebutuhan peralatan pengguna akhir.[11]. Sistem tenaga listrik tidak hanya berfokus pada penyaluran energi, tetapi juga mencakup aspek pengendalian, monitoring, dan pemeliharaan untuk memastikan sistem berfungsi optimal. Selain tiga bagian utama, sistem ini juga melibatkan sistem proteksi yang berperan untuk mendeteksi gangguan atau kesalahan pada jaringan dan segera memutus bagian yang bermasalah agar tidak merusak sistem secara keseluruhan. Selain komponen utama

tersebut, sistem tenaga listrik juga mencakup elemen-elemen pendukung seperti sistem proteksi, sistem kontrol, monitoring, dan pemeliharaan. Sistem proteksi berfungsi untuk mendeteksi adanya gangguan atau kesalahan pada jaringan, misalnya hubung singkat, arus lebih, atau tegangan abnormal. Ketika gangguan terdeteksi, sistem proteksi akan secara otomatis memutus bagian jaringan yang bermasalah untuk mencegah kerusakan lebih luas dan melindungi peralatan. Di sisi lain, sistem kontrol memanfaatkan teknologi otomasi dan digitalisasi yang semakin berkembang, sehingga memungkinkan operator untuk memantau kondisi jaringan secara real-time, mengatur aliran daya, mengendalikan kestabilan frekuensi serta tegangan, dan merespons gangguan dengan lebih cepat[12]. Teknologi kontrol modern, seperti Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA), bahkan memungkinkan pengendalian jarak jauh sehingga efisiensi operasional meningkat. Selain itu, ada sistem kontrol yang menggunakan teknologi otomasi dan digital untuk memantau kondisi jaringan secara real-time, mengatur aliran daya, dan memastikan kestabilan tegangan serta frekuensi. Tidak kalah penting, aspek monitoring dan pemeliharaan juga menjadi bagian integral dari sistem tenaga listrik. Monitoring dilakukan secara terus-menerus untuk memastikan bahwa parameter sistem, seperti tegangan, arus, daya, dan frekuensi, tetap berada pada batas standar yang diizinkan. Sementara itu, pemeliharaan dilakukan secara berkala untuk mencegah terjadinya kerusakan atau gangguan, serta menjamin umur peralatan dapat bertahan lebih lama. Pemeliharaan ini dapat berupa pemeliharaan preventif, korektif, maupun prediktif, yang masing-masing disesuaikan dengan kondisi peralatan dan tingkat keandalan yang ingin dicapai.[13]

Dengan adanya integrasi antara pembangkitan, transmisi, distribusi, proteksi, kontrol, monitoring, dan pemeliharaan, sistem tenaga listrik dirancang agar mampu beroperasi dengan andal, efisien, dan aman. Keandalan sistem tidak hanya berdampak pada kontinuitas pasokan listrik kepada konsumen, tetapi juga berkontribusi pada stabilitas ekonomi dan sosial, mengingat listrik merupakan kebutuhan dasar dalam mendukung aktivitas rumah tangga, layanan publik, dan sektor industri. Oleh karena itu, pengelolaan sistem tenaga listrik yang baik menjadi hal yang mutlak untuk menjamin keberlangsungan pasokan energi secara berkelanjutan dan sesuai dengan standar kualitas pelayanan yang diharapkan

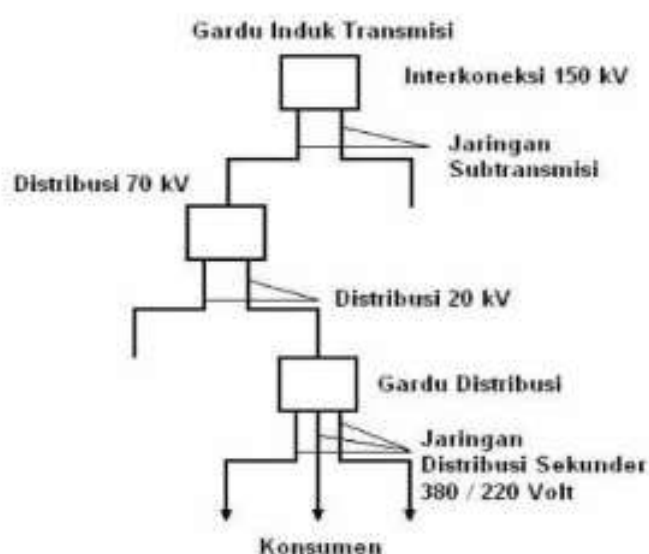


Gambar 2. 1 Sistem Tenaga Listrik

2.1.2 Jaringan Distribusi Listrik

Sistem distribusi adalah bagian penting dari sistem tenaga listrik yang berfungsi menyalurkan energi listrik dari sumber daya besar hingga ke konsumen. Listrik yang dihasilkan oleh pembangkit dengan tegangan tertentu dinaikkan terlebih dahulu oleh gardu induk menggunakan transformator step-up menjadi tegangan tinggi untuk mengurangi kerugian daya selama transmisi, karena kerugian daya berbanding lurus dengan kuadrat arus. Setelah melewati saluran transmisi, tegangan diturunkan kembali menjadi 20 kV pada gardu induk distribusi. Tegangan ini disalurkan melalui saluran distribusi primer, lalu diturunkan lagi oleh gardu distribusi menggunakan transformator distribusi menjadi tegangan rendah (220/380 Volt) untuk disalurkan ke konsumen melalui saluran distribusi sekunder. Penggunaan tegangan tinggi pada penyaluran jarak jauh memang mengurangi kerugian daya, namun memiliki konsekuensi seperti biaya peralatan yang tinggi dan risiko bahaya, sehingga diperlukan penurunan tegangan pada pusat beban agar sesuai kebutuhan konsumen. Sistem distribusi ini merupakan bagian krusial dalam keseluruhan sistem tenaga listrik[14]. Sistem distribusi listrik tidak hanya berperan sebagai jalur akhir penyaluran energi listrik, tetapi juga berfungsi sebagai penghubung antara jaringan transmisi dan konsumen akhir[15]. Selain menurunkan tegangan menjadi tingkat yang aman untuk digunakan, sistem distribusi juga berperan dalam menjaga

kualitas daya listrik seperti kestabilan tegangan, frekuensi, serta meminimalkan gangguan pada jaringan. Sistem distribusi terdiri dari jaringan primer yang menyalurkan energi listrik ke gardu distribusi dan jaringan sekunder yang mendistribusikan energi ke konsumen[16]. Selain itu, sistem distribusi modern kini semakin mengintegrasikan teknologi smart grid yang memungkinkan pemantauan dan pengendalian jaringan secara real-time. Integrasi ini membuat sistem distribusi lebih adaptif terhadap fluktuasi beban, mempermudah deteksi gangguan, serta meningkatkan efisiensi dan keandalan penyediaan energi listrik bagi konsumen.[17]



Gambar 2. 2 Diagram Jaringan Distribusi

2.1.3 Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB)

Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) 20 kV merupakan salah satu upaya strategis yang dilakukan oleh PLN dalam menjaga keandalan dan kontinuitas sistem distribusi tenaga listrik. PDKB didefinisikan sebagai pekerjaan pemeliharaan, perbaikan, maupun pemasangan komponen pada jaringan distribusi bertegangan 20 kV tanpa harus memutus aliran listrik yang sedang mengalir. Tujuan utama pelaksanaan PDKB adalah memastikan suplai listrik kepada konsumen tetap terjaga, sekaligus meningkatkan tingkat keandalan jaringan distribusi dengan cara mengurangi jumlah serta durasi pemadaman yang biasanya timbul akibat pekerjaan pemeliharaan. Dengan demikian, PDKB menjadi

salah satu program penting untuk mendukung pencapaian target kualitas pelayanan tenaga listrik, khususnya yang diukur melalui indeks keandalan SAIDI dan SAIFI.

Pada jaringan distribusi 20 kV, PDKB dilakukan dengan prosedur dan metode kerja khusus yang dirancang untuk menjamin keselamatan tenaga kerja sekaligus menjaga stabilitas sistem tenaga listrik. Metode yang umum digunakan dalam PDKB meliputi tiga pendekatan utama, yaitu metode berjarak (*live line bare hand*), metode sentuh langsung (*live line contact*), dan metode potensial (*live line potential*). Masing-masing metode ini memiliki standar operasi yang ketat, peralatan khusus, serta syarat kompetensi tenaga kerja. Misalnya, metode berjarak memanfaatkan tongkat isolasi untuk memberikan jarak aman antara petugas dan konduktor bertegangan, sedangkan metode sentuh langsung menggunakan perlengkapan pelindung khusus agar pekerja dapat melakukan kontak langsung dengan konduktor. Adapun metode potensial digunakan dengan menyamakan potensial tubuh pekerja dengan konduktor melalui peralatan khusus sehingga pekerjaan dapat dilakukan tanpa risiko kejutan listrik.

Ruang lingkup pekerjaan PDKB pada jaringan distribusi 20 kV sangat beragam, mulai dari penggantian isolator yang rusak, perbaikan konduktor, pemasangan dan perawatan peralatan proteksi, hingga pemeliharaan gardu distribusi. Dengan pelaksanaan PDKB, pekerjaan tersebut dapat dilakukan tanpa mengganggu pasokan listrik kepada pelanggan, sehingga gangguan dapat diminimalkan. Hal ini sangat penting terutama di wilayah dengan tingkat permintaan listrik yang tinggi, seperti kawasan industri, pusat kota, atau daerah dengan beban puncak yang padat, termasuk pada gardu distribusi 20 kV di wilayah kerja UP3 Kotabumi.

Penerapan PDKB 20 kV juga memberikan berbagai manfaat tambahan, antara lain mengurangi kerugian energi akibat pemadaman, meningkatkan efisiensi operasional, serta mendukung citra positif PLN sebagai penyedia layanan listrik yang andal dan responsif terhadap kebutuhan pelanggan. Di samping itu, PDKB juga menjadi salah satu indikator profesionalisme dan kesiapan teknis PLN dalam menghadapi tantangan sistem distribusi modern, di mana permintaan listrik semakin meningkat dan toleransi terhadap pemadaman semakin kecil. Dengan demikian, implementasi PDKB tidak hanya berdampak pada peningkatan keandalan teknis jaringan, tetapi juga memiliki peran

penting dalam menunjang kepuasan pelanggan serta mendukung pertumbuhan ekonomi yang membutuhkan kontinuitas pasokan energi listrik secara berkesinambungan.



Gambar 2. 3 Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) TM

2.1.4 Langkah Pekerjaan Dalam keadaan Beertegangan Tegagan Menengah

Tahapan pelaksanaan pekerjaan pemeliharaan isolator tumpu phasa R dengan metode sentuh langsung dilakukan secara sistematis untuk menjamin keselamatan tenaga kerja serta menjaga kontinuitas penyaluran tenaga listrik. Langkah pertama dilakukan dengan memasang No Voltage Detector pada phasa R dengan jarak minimal dua kali panjang Conductor Cover dari posisi pin insulator dan memastikan alat berada dalam kondisi aktif (ON) guna mendeteksi keberadaan tegangan pada jaringan.

Selanjutnya dipasang satu buah Conductor Cover dan satu buah Line Hose pada phasa R terdekat dengan posisi boss menghadap ke arah pin insulator. Setelah itu dilakukan pemasangan Pin Type Insulator Cover pada phasa R dengan menghubungkan Conductor Cover ke Pin Type Insulator Cover. Pada sisi lain phasa R dipasang dua buah Conductor Cover yang kemudian disambungkan kembali dengan Pin Type Insulator Cover untuk memastikan seluruh bagian konduktor terlindungi.

Pada tahap berikutnya dipasang dua buah Conductor Cover pada phasa S dengan posisi boss menghadap ke arah pin insulator, kemudian dipasang Pin Type Insulator Cover phasa S dan disambungkan dengan Conductor Cover. Untuk melindungi bagian cross arm, dipasang Insulating Flexible Cover Without Opening yang kemudian dijepit

menggunakan Plastic Peg agar posisinya stabil. Selanjutnya dipasang kembali dua buah Conductor Cover pada sisi lain fasa S dan dihubungkan dengan Pin Type Insulator Cover.

Bagian konduktif dari pin insulator kemudian ditutup menggunakan Cross Arm Cover atau Insulating Flexible Cover With Opening. Salah satu sisi cover dibalik agar dapat tersambung dengan cover lainnya sehingga seluruh bagian terbuka tertutup secara sempurna. Setelah perlindungan terpasang dengan baik, Pin Type Insulator Cover pada fasa R dibuka dan ikatan Tie Wire pada pin insulator dilepas menggunakan tang kombinasi, kemudian tie wire dipotong secara bertahap setiap kurang lebih sepuluh sentimeter.

Konduktor fasa R kemudian disambungkan kembali menggunakan Conductor Cover pada kedua sisi dan diletakkan di atas Cross Arm Cover dengan posisi menghadap ke arah tiang. Apabila menggunakan Cross Arm Cover, penutup digeser terlebih dahulu ke arah tiang, sedangkan jika menggunakan Insulating Flexible Cover With Opening maka cover dibuka dan dijepit menggunakan Plastic Peg di atas Cross Arm Cover.

Tahap inti pekerjaan dilakukan dengan mengganti Pin Insulator. Mur dan baut pin insulator dibuka menggunakan tool kit, kemudian isolator lama diturunkan dan isolator baru dinaikkan dengan bantuan Sling. Setelah penggantian selesai, konduktor fasa R dikembalikan ke posisi pin insulator dan sambungan Conductor Cover dilepas setelah konduktor berada pada tempat yang benar.

Konduktor fasa R kemudian diikat kembali pada pin insulator menggunakan Tie Wire sesuai dengan standar ikatan konstruksi jaringan. Setelah itu dipasang kembali Pin Type Insulator Cover pada pin insulator fasa R, kemudian salah satu sisi cover dibalik dan disambungkan pada kedua sisi untuk menutup seluruh bagian terbuka.

Tahap akhir pekerjaan dilakukan dengan melepas seluruh peralatan pelindung secara bertahap, dimulai dari pelepasan Cross Arm Cover atau Insulating Flexible Cover With Opening, kemudian Conductor Cover fasa S sisi terjauh, Pin Type Insulator Cover fasa S, Insulating Flexible Cover Without Opening, Conductor Cover fasa S sisi terdekat, Conductor Cover fasa R sisi terjauh, Pin Type Insulator Cover fasa R, serta

Conductor Cover dan Line Hose phasa R sisi terdekat. Setelah seluruh perlindungan dilepas, No Voltage Detector dilepaskan sebagai penanda bahwa pekerjaan telah selesai dilakukan dengan aman.

2.1.5 Alat Perlengkapan Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan TM

Peralatan kerja Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) merupakan seperangkat alat khusus yang dirancang untuk memungkinkan pekerjaan pemeliharaan jaringan listrik dilakukan tanpa memutus aliran listrik. Peralatan ini memiliki kemampuan isolasi tinggi serta memenuhi standar keselamatan kerja sesuai dengan ketentuan Standar PLN (SPLN) dan Instruksi Kerja PDKB.

Berdasarkan Instruksi Kerja PDKB-TM Metode Sentuh Langsung, peralatan kerja PDKB terdiri atas peralatan utama, perlengkapan isolasi, serta alat bantu pendukung yang digunakan untuk menjamin keselamatan tenaga kerja dan menjaga kestabilan sistem selama pekerjaan berlangsung

1. No Voltage Detector, No Voltage Detector digunakan untuk memastikan ada atau tidaknya tegangan pada konduktor sebelum pekerjaan dimulai. Alat ini dipasang pada phasa tertentu untuk memastikan kondisi jaringan aman dan sesuai prosedur kerja.



Gambar 2. 4 No Voltage Detector

2. Conductor Cover, Conductor Cover berfungsi sebagai pelindung isolasi sementara pada konduktor bertegangan agar tidak terjadi kontak langsung antara pekerja dengan bagian konduktif. Alat ini dipasang di sekitar konduktor selama proses pekerjaan berlangsung.



Gambar 2. 5 Conductor Cover

3. Pin Type Insulator Cover

Digunakan untuk menutup bagian isolator tipe pin agar mencegah terjadinya sentuhan langsung terhadap bagian bertegangan di sekitar isolator saat dilakukan penggantian atau pemeliharaan.



Gambar 2. 6 Pin Typer Insulator Cover

4. Insulating Flexible Cover Without Opening

Berfungsi sebagai penutup isolasi fleksibel pada bagian cross arm atau bagian logam terbuka tanpa lubang, sehingga mencegah terjadinya hubungan singkat atau sentuhan tidak sengaja.



Gambar 2. 7 Insulating Flexible Cover Without Opening

5. Insulating Flexible Cover With Opening

Digunakan untuk menutup bagian konduktif yang memiliki bukaan tertentu, sehingga memungkinkan pemasangan pada bagian tertentu tanpa mengganggu posisi konduktor.



Gambar 2. 8 Insulating Flexibel Cover With Opening

6. Cross Arm Cover

Cross Arm Cover berfungsi melapisi bagian cross arm yang terbuat dari logam agar tidak menjadi jalur konduksi listrik selama pekerjaan berlangsung.



Gambar 2. 9 Cross Arm Cover

7. Line Hose

Line Hose digunakan sebagai selubung isolasi pada konduktor atau bagian jaringan tertentu untuk mencegah terjadinya kontak langsung antara pekerja dengan bagian bertegangan.



Gambar 2. 10 Line Hose

8. Sling

Digunakan untuk membantu proses penurunan isolator lama dan pengangkatan isolator baru pada saat penggantian isolator dilakukan.



Gambar 2. 11 Sling

9. Plastic Peg

Plastic Peg digunakan untuk menjepit dan menahan posisi insulating cover agar tetap stabil selama proses pekerjaan berlangsung.



Gambar 2. 12 Plastic Peg

10. Tool Set

Tool Set terdiri dari berbagai alat mekanik seperti tang, kunci, dan obeng yang digunakan untuk membuka baut, mur, dan tie wire selama proses pemeliharaan isolator.



Gambar 2. 13 Tool Set

11. Teropong

Digunakan untuk melakukan pengamatan visual kondisi jaringan dari jarak jauh sebelum dan sesudah pekerjaan dilakukan.



Gambar 2. 14 Teropong

12. Tool Box

Berfungsi sebagai tempat penyimpanan seluruh peralatan kerja agar tertata rapi dan mudah dibawa ke lokasi pekerjaan.



Gambar 2. 15 Tool Box

Alat Pelindung Diri Pekerja PDKB TM

1. Safety Helmet (Merah, Hijau, Biru)

Digunakan untuk melindungi kepala dari benturan dan benda jatuh.



Gambar 2. 16 Safety Helm

2. Safety Glasses UV

Melindungi mata dari percikan listrik dan debu.



Gambar 2. 17 Safety Glasses

3. Insulating Gloves

Melindungi tangan dari sentuhan langsung tegangan listrik.



Gambar 2. 18 Insulating Gloves

4. Insulating Sleeves

Melindungi lengan dari kontak tidak sengaja dengan konduktor bertegangan.



Gambar 2. 19 Insulating Sleeves

5. Insulating Shoes

Melindungi kaki dari aliran arus bocor dan tegangan sentuh.



Gambar 2. 20 Insulating Shoes

6. Safety Belt

Digunakan sebagai pengaman pekerja saat bekerja di ketinggian.



Gambar 2. 21 Safety Belt

2.1.6 Saidi Dan Saifi Pada PDKB TM

1. SAIDI (System Average Interruption Duration Index)

SAIDI adalah indikator keandalan sistem tenaga listrik yang menunjukkan rata-rata durasi gangguan listrik yang dialami oleh pelanggan dalam suatu periode tertentu, biasanya dalam satu tahun. Indeks ini digunakan untuk mengukur lamanya waktu pelanggan tidak mendapatkan pasokan listrik akibat gangguan pada sistem tenaga listrik. Nilai SAIDI dihitung dengan membagi total durasi gangguan semua pelanggan dengan jumlah total pelanggan. Satuan SAIDI biasanya adalah jam atau menit per pelanggan per tahun. Nilai SAIDI yang rendah menunjukkan bahwa sistem tenaga listrik memiliki tingkat keandalan yang baik karena pelanggan mengalami gangguan dalam waktu yang lebih singkat, UP3 Kotabumi, pengukuran SAIDI sangat penting karena dapat menjadi indikator kualitas pelayanan listrik yang diberikan kepada pelanggan di wilayah

tersebut. Nilai SAIDI yang tinggi akan menandakan bahwa pelanggan sering mengalami pemadaman dengan durasi yang cukup lama, sehingga berpotensi menurunkan kepuasan pelanggan, menghambat kegiatan usaha, bahkan mengganggu aktivitas masyarakat sehari-hari. Oleh karena itu, pemantauan nilai SAIDI dapat membantu PLN dalam menentukan strategi perbaikan, seperti mempercepat penanganan gangguan, memperkuat peralatan proteksi, serta melakukan modernisasi jaringan distribusi. Selain itu, hasil analisis SAIDI juga dapat digunakan untuk mengevaluasi efektivitas program peningkatan keandalan, misalnya optimalisasi manajemen pemeliharaan maupun penerapan teknologi Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) yang mampu mengurangi waktu padam tanpa harus memutus pasokan listrik. Dengan demikian, pengendalian SAIDI di UP3 Kotabumi berperan penting dalam mendukung kontinuitas pelayanan, meningkatkan keandalan sistem distribusi, serta memastikan pasokan listrik yang stabil dan andal bagi seluruh pelanggan.[18]

2. SAIFI (System Average Interruption Frequency Index) adalah indikator keandalan yang mengukur rata-rata frekuensi gangguan yang dialami oleh pelanggan dalam periode tertentu. Indeks ini menunjukkan seberapa sering pelanggan mengalami pemadaman listrik. SAIFI dihitung dengan membagi jumlah total gangguan yang dialami semua pelanggan dengan jumlah total pelanggan. Satuan SAIFI adalah kali gangguan per pelanggan per tahun. Nilai SAIFI yang rendah menunjukkan sistem distribusi listrik yang lebih handal karena pelanggan mengalami gangguan listrik lebih jarang, UP3 Kotabumi, analisis SAIFI memiliki peranan strategis untuk menilai seberapa handal kinerja jaringan distribusi di wilayah kerja tersebut. Dengan karakteristik beban yang terus berkembang, baik untuk kebutuhan rumah tangga, bisnis, maupun sektor industri, frekuensi gangguan yang tinggi tentu akan berdampak langsung pada kepuasan pelanggan dan produktivitas masyarakat. Oleh karena itu, pemantauan nilai SAIFI dapat membantu PLN dalam mengidentifikasi penyulang atau daerah mana yang paling sering mengalami gangguan, sehingga tindakan perbaikan dan pemeliharaan dapat dilakukan secara lebih terarah. Selain itu,

hasil analisis SAIFI juga dapat dijadikan dasar dalam mengevaluasi efektivitas program peningkatan keandalan, seperti modernisasi jaringan, perbaikan peralatan distribusi, maupun penerapan teknologi PDKB (Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan). Dengan demikian, pengendalian nilai SAIFI di UP3 Kotabumi sangat penting untuk menjaga kontinuitas pasokan listrik, meningkatkan keandalan sistem distribusi, serta memastikan pelayanan listrik yang optimal bagi seluruh pelanggan[19].

3. Peran Saidi Dan Saifi

Peran SAIDI dan SAIFI sangat penting dalam analisis keandalan sistem tenaga listrik karena kedua indikator ini memberikan gambaran yang jelas tentang kualitas layanan yang diberikan kepada pelanggan. SAIDI digunakan untuk mengukur durasi rata-rata gangguan listrik yang dialami oleh pelanggan, sedangkan SAIFI mengukur frekuensi gangguan tersebut. Dengan data ini, perusahaan listrik seperti PLN dapat menilai kinerja jaringan distribusi secara objektif dan mengetahui area mana yang membutuhkan perhatian khusus. Selain itu, informasi dari SAIDI dan SAIFI dapat digunakan sebagai dasar untuk merencanakan perbaikan dan pemeliharaan jaringan secara tepat sehingga gangguan dapat diminimalkan. Kedua indikator ini juga menjadi alat penting untuk mengukur efektivitas program seperti Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) dalam menjaga kontinuitas pasokan listrik, memastikan bahwa layanan listrik tetap andal dan memenuhi kebutuhan pelanggan. Selain itu, indikator SAIDI dan SAIFI juga berfungsi sebagai ukuran keberhasilan terhadap implementasi program-program peningkatan keandalan, misalnya Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB)[20]. Melalui pemantauan yang konsisten, perusahaan dapat mengevaluasi sejauh mana program tersebut berkontribusi dalam menjaga kontinuitas pasokan listrik. Secara keseluruhan, kedua indikator ini tidak hanya sekadar angka statistik, tetapi juga menjadi instrumen pengambilan keputusan yang strategis guna memastikan layanan listrik tetap stabil, andal, dan mampu memenuhi kebutuhan masyarakat maupun sektor industri[21].

2.1.7 Konsumsi Energi Listrik

Energi listrik adalah jumlah daya listrik yang digunakan selama periode waktu tertentu. Besarnya energi listrik yang dipakai oleh suatu peralatan listrik sebanding dengan hasil perkalian antara tegangan listrik (V), arus listrik (I), dan waktu pemakaian. Energi listrik merupakan bentuk energi yang digunakan untuk menjalankan peralatan listrik seperti lampu, mesin industri, atau alat elektronik di rumah tangga. Besarnya konsumsi energi listrik dipengaruhi oleh tingkat tegangan, arus yang mengalir, dan lamanya penggunaan peralatan tersebut.[22]

1. Tegangan

Tegangan listrik adalah beda potensial antara dua titik dalam suatu rangkaian listrik yang berfungsi sebagai “gaya dorong” untuk memindahkan elektron sehingga menghasilkan arus listrik. Besarnya tegangan diukur dalam satuan volt (V) dan dapat berupa tegangan bolak-balik (AC) yang berubah arah dan besarnya secara periodik, atau tegangan searah (DC) yang memiliki nilai tetap dan arah konstan. Tegangan memegang peran penting dalam sistem tenaga listrik karena menentukan kemampuan sistem dalam menyalurkan energi listrik ke beban, di mana penggunaan tegangan tinggi pada penyaluran jarak jauh dapat meningkatkan efisiensi dengan mengurangi kerugian daya akibat resistansi konduktor.[23]

2. Arus Listrik

Arus listrik adalah aliran elektron dari atom ke atom yang terjadi pada suatu penghantar dengan kecepatan tertentu dalam suatu waktu tertentu. Terjadinya arus listrik disebabkan oleh adanya beda potensial antara kedua ujung penghantar, yang menciptakan tenaga pendorong sehingga elektron-elektron dapat berpindah tempat. Laju perpindahan elektron tersebut dalam penghantar inilah yang disebut sebagai arus listrik, dan besarnya arus diukur dalam satuan ampere (A), yang menunjukkan jumlah muatan listrik yang mengalir melalui penghantar setiap detiknya.[24]

3. Daya Listrik

Daya listrik adalah laju atau kecepatan energi listrik yang digunakan atau dihasilkan oleh suatu alat dalam waktu tertentu. Besarnya daya listrik dihitung sebagai hasil kali tegangan (V) dan arus listrik (I), dengan satuan watt (W), yang menunjukkan besarnya energi listrik yang dikonsumsi atau disalurkan setiap detik.

2.1.8 Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Keandalan sistem distribusi tenaga listrik merupakan kemampuan sistem dalam menyalurkan energi listrik kepada pelanggan secara kontinu, aman, dan sesuai dengan standar mutu pelayanan yang telah ditetapkan. Keandalan menjadi salah satu indikator utama dalam menilai kualitas pelayanan perusahaan penyedia tenaga listrik, karena berkaitan langsung dengan kepuasan pelanggan dan kontinuitas aktivitas masyarakat.

Sistem distribusi dikatakan andal apabila mampu meminimalkan terjadinya gangguan, memperpendek waktu pemulihan apabila gangguan terjadi, serta membatasi jumlah pelanggan yang terdampak. Dalam praktiknya, keandalan sistem distribusi dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti kondisi peralatan, kualitas jaringan, sistem proteksi, metode pemeliharaan, serta kemampuan personel dalam menangani gangguan.

Indeks keandalan yang umum digunakan untuk mengukur mutu pelayanan tenaga listrik adalah SAIDI dan SAIFI. SAIDI menggambarkan lamanya rata-rata waktu pemadaman yang dialami pelanggan, sedangkan SAIFI menggambarkan seberapa sering pelanggan mengalami gangguan. Kedua indeks ini digunakan sebagai dasar evaluasi kinerja sistem distribusi dan sebagai acuan dalam perencanaan peningkatan keandalan jaringan.

Keandalan sistem distribusi juga berkaitan erat dengan aspek ekonomi dan sosial. Gangguan listrik yang sering dan berdurasi lama dapat mengganggu kegiatan industri, layanan publik, serta aktivitas rumah tangga. Oleh karena itu, peningkatan keandalan jaringan distribusi menjadi prioritas utama dalam pengelolaan sistem tenaga listrik modern.

2.1.9 Faktor Penyebab Gangguan Jaringan Distribusi 20 kV

Gangguan pada jaringan distribusi 20 kV dapat disebabkan oleh berbagai faktor, baik yang bersifat internal maupun eksternal. Faktor internal meliputi kondisi peralatan jaringan yang telah menua, kualitas isolasi yang menurun, sambungan konduktor yang tidak sempurna, serta kegagalan peralatan proteksi.[25]

Faktor eksternal meliputi gangguan alam seperti petir, hujan lebat, angin kencang, banjir, serta tumbang pohon yang menyentuh konduktor. Gangguan Binatang seperti Tupai, burung, kukang atau ular sering kali memanjat tiang dan menyebabkan hubung singkat antar fasa atau fasa ke tanah. Selain itu, gangguan juga dapat disebabkan oleh aktivitas manusia, seperti pembangunan di sekitar jaringan, kecelakaan kendaraan yang menabrak tiang listrik, serta vandalisme.

Jenis gangguan pada jaringan distribusi dapat dibedakan menjadi gangguan sementara dan gangguan permanen. Gangguan sementara biasanya disebabkan oleh petir atau sentuhan sesaat benda asing, dan dapat hilang setelah sistem proteksi bekerja. Sementara itu, gangguan permanen disebabkan oleh kerusakan peralatan atau putusnya konduktor, sehingga memerlukan tindakan perbaikan langsung di lapangan.

Tingginya frekuensi dan durasi gangguan akan berdampak langsung terhadap nilai SAIDI dan SAIFI. Oleh karena itu, identifikasi faktor penyebab gangguan menjadi langkah penting dalam perencanaan pemeliharaan jaringan serta penerapan metode PDKB sebagai upaya untuk menekan gangguan tanpa memutus pasokan listrik.

2.1.10 Sistem Proteksi Jaringan Distribusi

Sistem proteksi merupakan bagian penting dalam sistem distribusi tenaga listrik yang berfungsi melindungi peralatan dan jaringan dari kerusakan akibat gangguan. Sistem ini bekerja dengan cara mendeteksi kondisi abnormal seperti arus lebih, hubung singkat, atau gangguan tanah, kemudian memutus bagian jaringan yang terganggu secara cepat dan selektif.

Peralatan proteksi pada jaringan distribusi 20 kV meliputi pemutus tenaga (circuit breaker), recloser, fuse cut out (FCO), relay proteksi, dan sectionalizer. Peralatan tersebut

bekerja secara terkoordinasi untuk memastikan bahwa hanya bagian jaringan yang terganggu saja yang terputus, sementara bagian lain tetap beroperasi normal.

Sistem proteksi yang baik akan mampu memperkecil cakupan wilayah terdampak gangguan serta mempercepat proses pemulihan. Dengan demikian, sistem proteksi berperan penting dalam menurunkan nilai SAIDI dan SAIFI serta meningkatkan keandalan jaringan distribusi.

2.2. Penelitian yang Relevan

Pada penelitian ini penulis melakukan tinjauan literatur pada beberapa penelitian yang relevan untuk dijadikan referensi. Referensi dapat berasal dari jurna, artikel, skripsi, atau buku yang relevan. Beberapa referensi yang penulis dapatkan sebagai berikut :

1. Penelitian N. G. Pahiyanti (2019) berjudul “Penurunan Susut Jaringan Dengan Penertiban Pemakaian Tenaga Listrik” membahas upaya pengurangan rugi-rugi energi pada jaringan distribusi melalui program penertiban pemakaian listrik yang tidak sesuai standar, sehingga efisiensi penyaluran daya dapat meningkat. Berbeda dengan penelitian ini yang berfokus pada keandalan jaringan 20 kV melalui analisis SAIDI dan SAIFI berdasarkan pelaksanaan PDKB, penelitian Pahiyanti lebih menitikberatkan pada penyebab dan solusi susut jaringan yang bersifat teknis serta non-teknis pada sisi pelanggan. Meskipun berbeda fokus, penelitian tersebut tetap relevan karena sama-sama menyoroti langkah peningkatan kinerja jaringan distribusi, di mana penelitian Pahiyanti memperkuat pemahaman bahwa intervensi operasional terhadap jaringan, baik berupa penertiban maupun pemeliharaan bertegangan seperti PDKB, berperan penting dalam meningkatkan kualitas pelayanan dan performa sistem distribusi listrik secara keseluruhan.
2. Menurut M. Is, T. Tarmizi, dan R. Adriman (2025) berjudul “Evaluation of PDKB Performance’s Impact on SAIDI SAIFI at PT. PLN UP3 Langsa” membahas evaluasi kinerja Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) pada jaringan distribusi listrik dan dampaknya terhadap indeks keandalan SAIDI (System Average Interruption Duration Index) dan SAIFI (System Average Interruption Frequency Index). Penelitian ini menekankan bagaimana penerapan PDKB dapat mempengaruhi durasi serta frekuensi gangguan listrik, sehingga berdampak langsung pada peningkatan kontinuitas pasokan energi listrik kepada pelanggan. Hasil penelitian ini memberikan gambaran penting tentang efektivitas PDKB dalam meningkatkan keandalan sistem distribusi serta menjadi acuan dalam perencanaan strategi pemeliharaan jaringan di PLN, khususnya pada jaringan distribusi tegangan menengah.

3. T. W. Pamungkas (2022) yang berjudul “Analisis Dampak Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) 20 KV Terhadap Penyelamatan kWh Dan Nilai SAIDI, SAIFI, CAIDI PT. PLN (Persero) Area Malang Rayon Kota” membahas pengaruh pelaksanaan PDKB pada jaringan distribusi tegangan 20 kV terhadap efisiensi energi dan indikator keandalan sistem tenaga listrik. Penelitian ini menekankan bagaimana penerapan PDKB dapat menyelamatkan energi listrik (kWh) serta mempengaruhi nilai SAIDI, SAIFI, dan CAIDI, yang merupakan indikator utama keandalan jaringan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa PDKB dapat meningkatkan kontinuitas pasokan listrik sekaligus mengurangi durasi dan frekuensi gangguan. Temuan ini menjadi acuan penting dalam strategi pemeliharaan jaringan distribusi PLN untuk meningkatkan efisiensi, keandalan, dan kualitas layanan kepada pelanggan.
4. N. Aryanto dan M. Balkis (2021) yang berjudul “Tinjauan Gangguan Jaringan Distribusi 20 kV Penyulang Muara Aman PT. PLN (Persero) ULP Rayon Muara Aman” membahas analisis gangguan yang terjadi pada jaringan distribusi tegangan 20 kV. Penelitian ini menyoroti jenis dan frekuensi gangguan serta dampaknya terhadap kontinuitas pasokan listrik di wilayah penyulang Muara Aman. Selain itu, penelitian ini juga mengevaluasi faktor-faktor penyebab gangguan pada jaringan distribusi dan memberikan rekomendasi untuk strategi pemeliharaan serta peningkatan keandalan jaringan. Hasil penelitian ini relevan sebagai dasar untuk memahami kondisi nyata jaringan distribusi 20 kV dan pentingnya upaya pemeliharaan seperti Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) dalam menjaga keandalan pasokan listrik kepada pelanggan.
5. Penelitian yang dilakukan oleh M. Asrul Sani, A. Pengalaman Tarigan, dan S. Anisah (2025) berjudul “Optimization and Reliability Analysis Based on SAIDI, SAIFI Values on 20 kV Distribution System Channels at PT. PLN ULP Labuhan Haji” membahas analisis keandalan sistem distribusi listrik 20 kV dengan menggunakan dua indikator utama, yaitu SAIDI (System Average Interruption Duration Index) dan SAIFI (System Average Interruption Frequency Index). Penelitian ini menyoroti upaya optimasi sistem distribusi untuk meningkatkan kontinuitas suplai daya kepada pelanggan. Kajian tersebut

menjadi referensi penting karena memiliki kesamaan metode dalam penggunaan indeks keandalan sebagai alat ukur performa jaringan distribusi, sehingga dapat dijadikan acuan dalam melakukan evaluasi sistem kelistrikan di wilayah kerja PLN lainnya. Perbedaannya dengan penelitian yang dilakukan di UP3 Kotabumi terletak pada fokus utama, di mana penelitian Asrul Sani dkk berorientasi pada analisis keandalan sistem distribusi secara umum, sedangkan penelitian di UP3 Kotabumi menitikberatkan pada peran Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) sebagai langkah operasional untuk meningkatkan keandalan jaringan tanpa mengganggu kontinuitas pasokan listrik kepada pelanggan.

2.3 Kerangka Pemikiran

Kerangka pemikiran penelitian ini menggambarkan alur dari permasalahan gangguan pada jaringan distribusi 20 kV yang berdampak pada keandalan sistem, hingga upaya peningkatannya melalui PDKB. Data PDKB digunakan untuk menghitung indeks keandalan SAIDI dan SAIFI serta dianalisis kontribusinya dalam menurunkan frekuensi dan durasi gangguan, sehingga diperoleh kesimpulan mengenai efektivitas PDKB terhadap keandalan jaringan distribusi di UP3 Kotabumi.



Gambar 2. 22 Kerangka Pemikiran

Kerangka pemikiran penelitian ini dimulai dari latar belakang, yaitu adanya permasalahan pada jaringan distribusi 20 kV berupa gangguan, tingginya frekuensi padam, dan lamanya durasi padam listrik yang berpengaruh pada keandalan sistem. Selanjutnya, penelitian didukung dengan landasan teori yang mencakup konsep keandalan sistem distribusi, indikator pengukuran keandalan seperti SAIDI dan SAIFI, serta peran Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) dalam meningkatkan keandalan jaringan. Berdasarkan hal tersebut, disusun rumusan masalah yang meliputi kondisi keandalan jaringan distribusi di UP3 Kotabumi, metode perhitungan SAIDI dan SAIFI, serta kontribusi PDKB terhadap penurunan frekuensi dan durasi gangguan.

Tahap berikutnya adalah metodologi penelitian, yang mencakup pengumpulan data gangguan dan pelaksanaan PDKB, studi literatur pendukung, perhitungan indeks keandalan (SAIDI dan SAIFI), serta analisis data yang diperoleh. Setelah itu, penelitian

diarahkan untuk menarik kesimpulan berupa nilai keandalan jaringan distribusi 20 kV, efektivitas penerapan PDKB, serta dampaknya terhadap mutu pelayanan listrik di UP3 Kotabumi. Dengan alur tersebut, kerangka pemikiran ini menggambarkan proses penelitian secara sistematis dari permasalahan hingga pada hasil yang diharapkan.