

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.2. Penelitian yang Relevan

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

1. Christine Widyastuti, Oktaria Handayani, Tony Koerniawan, dan Intan Dhiya Dyra (2021) dalam jurnal Energi dan Kelistrikan berjudul “Analisis Keandalan Sistem Penyaluran Listrik Berdasarkan SAIDI dan SAIFI Sebelum dan Sesudah Pemasangan Kubikel Arrester di PT PLN UP3 Serpong” melakukan penelitian mengenai peningkatan keandalan jaringan distribusi melalui penerapan kubikel arrester pada saluran kabel tegangan menengah (SKTM). Penelitian ini dilatarbelakangi oleh tingginya frekuensi gangguan yang disebabkan oleh arus inrush dan kerusakan pada titik sambungan kabel (jointing). Melalui metode kuantitatif, peneliti membandingkan nilai SAIDI dan SAIFI sebelum dan sesudah pemasangan arrester. Hasilnya menunjukkan bahwa sebelum pemasangan kubikel arrester, nilai SAIDI sebesar 9,39 jam/pelanggan/tahun dan SAIFI sebesar 6,98 kali/pelanggan/tahun, yang belum memenuhi standar SPLN 68-2:1986. [3]
2. Fadjat Kurniadi, Ahmad Deni Aji, dan Guruh Diyuksamana (2021) dalam jurnal Energi dan Kelistrikan berjudul “Penambahan DGR (Directional Ground Relay) pada Recloser untuk Menurunkan SAIDI/SAIFI di ULP Lamongan” melakukan penelitian mengenai peningkatan keandalan jaringan distribusi 20 kV melalui penambahan Directional Ground Relay (DGR) pada peralatan recloser. Penelitian ini dilakukan di Unit Layanan Pelanggan (ULP) Lamongan, di mana sebagian besar jaringan menggunakan sistem pentanahan tahanan tinggi (500 ohm). Pada kondisi tersebut, proteksi konvensional berupa OCR (Over Current Relay) dan GFR (Ground Fault Relay) tidak dapat bekerja secara selektif dan optimal terhadap gangguan tanah. Oleh

karena itu, dilakukan modifikasi recloser dengan penambahan DGR Relay guna meningkatkan sensitivitas dan selektivitas pengaman. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan DGR pada recloser mampu menurunkan nilai SAIDI kumulatif sebesar 86% dan SAIFI sebesar 58% dibandingkan dengan kondisi sebelumnya. Artinya, frekuensi dan durasi padam pelanggan berkurang secara signifikan setelah modifikasi proteksi dilakukan. Relevansi penelitian ini dengan penelitian penulis terletak pada fokus peningkatan keandalan jaringan distribusi melalui optimalisasi peralatan *Switching* dan proteksi, di mana keduanya berperan penting dalam mempercepat isolasi gangguan dan meminimalkan area padam. [4]

3. Sofyan, Alamsyah Achmad, dan Ikhlahsul Amal S.P. (2022) dalam jurnal Jurnal Teknologi Elekterika yang berjudul “Studi Perbaikan Keandalan Sistem Jaringan Distribusi Melalui Penambahan Recloser pada Penyulang Pajalau PT PLN (Persero) Menggunakan Metode Section Technique” melakukan penelitian terhadap peningkatan keandalan jaringan distribusi 20 kV di PT PLN (Persero) ULP Kalebajeng. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dan memperbaiki kinerja sistem distribusi pada penyulang Pajalau dengan menambahkan peralatan recloser menggunakan pendekatan Section Technique dan simulasi ETAP. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi awal penyulang memiliki nilai indeks keandalan SAIDI sebesar 22,348 jam/pelanggan/tahun dan SAIFI sebesar 4,494 kali/pelanggan/tahun, yang belum memenuhi standar SPLN 59:1985. Setelah dilakukan simulasi penambahan recloser, diperoleh hasil peningkatan signifikan pada skenario kedua, di mana nilai SAIDI turun menjadi 11,204 jam/pelanggan/tahun dan SAIFI menjadi 2,711 kali/pelanggan/tahun. Hal ini membuktikan bahwa pemasangan recloser sangat efektif dalam mempercepat proses isolasi gangguan serta mengurangi luas area padam. [5]
4. Halomoan M. Muskita dan Misna Dewi Hailin (2023) dalam jurnal Jurnal Energi berjudul “Analisa Keandalan Sistem Distribusi 20 kV di PT. PLN (Persero) UL-PLTD Hative Kecil untuk Penyulang Lateri 2 dengan Metode FMEA” melakukan penelitian mengenai evaluasi keandalan penyulang distribusi menggunakan metode Failure Modes and Effects Analysis (FMEA). Analisis dilakukan dengan mempertimbangkan

laju kegagalan, repair time, dan *Switching* time dari tiap komponen jaringan distribusi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa indeks keandalan SAIFI mengalami penurunan dari 1,299 gangguan/pelanggan menjadi 0,398 gangguan/pelanggan, yang berarti terjadi peningkatan keandalan dari sisi frekuensi pemadaman. Namun, SAIDI justru mengalami kenaikan dari 3,146 jam/pelanggan menjadi 41,802 jam/pelanggan, sehingga durasi padam pelanggan cenderung lebih tinggi dibandingkan standar PLN. Penelitian ini menegaskan bahwa penerapan metode FMEA efektif dalam mengidentifikasi kelemahan sistem distribusi serta memberikan gambaran solusi teknis berupa penambahan peralatan *Switching* seperti PMCB dan LBS. Relevansi penelitian ini terhadap penelitian penulis adalah pada pemanfaatan indeks SAIDI dan SAIFI sebagai ukuran kinerja penyulang serta pentingnya strategi penambahan *Switching* untuk memperbaiki keandalan jaringan distribusi . [6]

5. Ali Muhtar dan Syamsyarief Baqaruzi (2020) dalam E-JOINT (Electronica and Electrical Journal of Innovation Technology) berjudul “Perbaikan Keandalan Sistem Distribusi” meneliti pengaruh penerapan Distributed Generation (DG) terhadap keandalan sistem distribusi tenaga listrik. Penelitian ini menggunakan sistem distribusi radial IEEE 33-bus sebagai studi kasus, dengan optimasi penempatan dan kapasitas DG menggunakan algoritma Particle Swarm Optimization (PSO). Parameter keandalan dianalisis melalui indeks SAIDI dan SAIFI serta profil tegangan dan rugi-rugi daya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan satu unit DG mampu menurunkan rugi-rugi distribusi sebesar 1,94%, sedangkan dengan dua unit DG rugi-rugi menurun hingga 1,09% dari kondisi awal. Selain itu, nilai SAIDI turun dari 4,7 jam/pelanggan/tahun menjadi 3,43 jam/pelanggan/tahun (perbaikan 27%), dan SAIFI turun dari 1,47 kali/pelanggan/tahun menjadi 1,41 kali/pelanggan/tahun (perbaikan 4%). Dengan demikian, penerapan DG tidak hanya mengurangi rugi-rugi dan memperbaiki profil tegangan, tetapi juga terbukti meningkatkan keandalan jaringan distribusi .[7]

Tabel 2.1 Penelitian yang Relevan

No	Judul dan Tahun	Masalah	Metodologi	Hasil	Riset Gap
1.	“Analisis Keandalan Sistem Penyaluran Listrik Berdasarkan SAIDI dan SAIFI Sebelum dan Sesudah Pemasangan Kubikel Arrester di PT PLN UP3 Serpong” (Christine Widyastuti, 2021)	Tingginya frekuensi gangguan pada saluran kabel tegangan menengah (SKTM) akibat arus inrush dan kerusakan pada titik sambungan kabel (<i>jointing</i>) yang menurunkan keandalan sistem.	Penelitian menggunakan metode kuantitatif dengan membandingkan nilai SAIDI dan SAIFI sebelum dan sesudah pemasangan kubikel arrester pada jaringan distribusi 20 kV..	Sebelum pemasangan kubikel arrester, SAIDI sebesar 9,39 jam/pelanggan/tahun dan SAIFI sebesar 6,98 kali/pelanggan/tahun (belum memenuhi standar SPLN 68-2:1986). Setelah pemasangan arrester, nilai SAIDI dan SAIFI menurun signifikan sehingga keandalan meningkat.	Penelitian ini hanya berfokus pada penggunaan kubikel arrester sebagai solusi peningkatan keandalan. Belum membahas peran <i>Switching</i> lain (misalnya recloser/sectionalizer) serta belum mengkaji optimalisasi posisi perangkat untuk

					penyulang Rawan Gangguan.
2.	“Penambahan DGR (Directional Ground Relay) pada Recloser untuk Menurunkan SAIDI/SAIFI di ULP Lamongan” (Fadjar Kurniadi, Ahmad Deni Aji, Guruh Diyuksama, 2021)	Proteksi konvensional OCR dan GFR pada jaringan distribusi dengan sistem pentanahan tahanan tinggi (500 ohm) tidak dapat bekerja selektif, sehingga sering terjadi gangguan tanah yang menyebabkan tingginya nilai SAIDI dan SAIFI.	Penelitian dilakukan dengan memodifikasi recloser melalui penambahan Directional Ground Relay (DGR). Evaluasi kinerja proteksi dilakukan dengan membandingkan nilai SAIDI dan SAIFI sebelum dan sesudah penambahan DGR.	Hasil menunjukkan bahwa penambahan DGR mampu menurunkan nilai SAIDI kumulatif sebesar 86% dan SAIFI sebesar 58%, sehingga frekuensi dan durasi padam pelanggan menurun signifikan.	Penelitian ini hanya berfokus pada modifikasi proteksi recloser dengan penambahan DGR.
3.	“Studi Perbaikan Keandalan	Penyulang Pajalau pada jaringan	Menggunakan metode <i>Section Technique</i>	Sebelum perbaikan: SAIDI = 22,348	Penelitian hanya menyoroti

	Sistem Jaringan Distribusi Melalui Penambahan Recloser pada Penyulang Pajalau PT PLN (Persero) Menggunakan Metode Section Technique” (Sofyan, Alamsyah Achmad, Ikhlasul Amal S.P., 2022)	distribusi 20 kV memiliki nilai indeks keandalan SAIDI dan SAIFI yang tinggi, melebihi standar SPLN 59:1985, sehingga keandalan sistem masih rendah.	dengan bantuan perangkat lunak ETAP untuk simulasi kinerja sistem. Nilai SAIDI dan SAIFI dihitung sebelum dan sesudah penambahan recloser.	jam/pelanggan/tahun, SAIFI = 4,494 kali/pelanggan/tahun. Setelah penambahan recloser (skenario terbaik): SAIDI turun menjadi 11,204 jam/pelanggan/tahun, SAIFI turun menjadi 2,711 kali/pelanggan/tahun.	penambahan recloser pada satu penyulang (Pajalau). Belum mengkaji variasi jenis <i>Switching</i> lain atau strategi penempatan optimal di beberapa titik jaringan, khususnya pada penyulang Rawan Gangguan dengan gangguan berulang.
4.	“Analisa Keandalan Sistem Distribusi 20 kV di PT. PLN (Persero)	Penyulang Lateri 2 pada jaringan distribusi PT PLN UPLTD Hative Kecil memiliki nilai	Menggunakan metode Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) dengan	Hasil penelitian menunjukkan nilai SAIFI turun dari 1,299 menjadi 0,398 gangguan/pelanggan,	Penelitian ini terbatas pada analisis berbasis FMEA dan hanya fokus pada satu

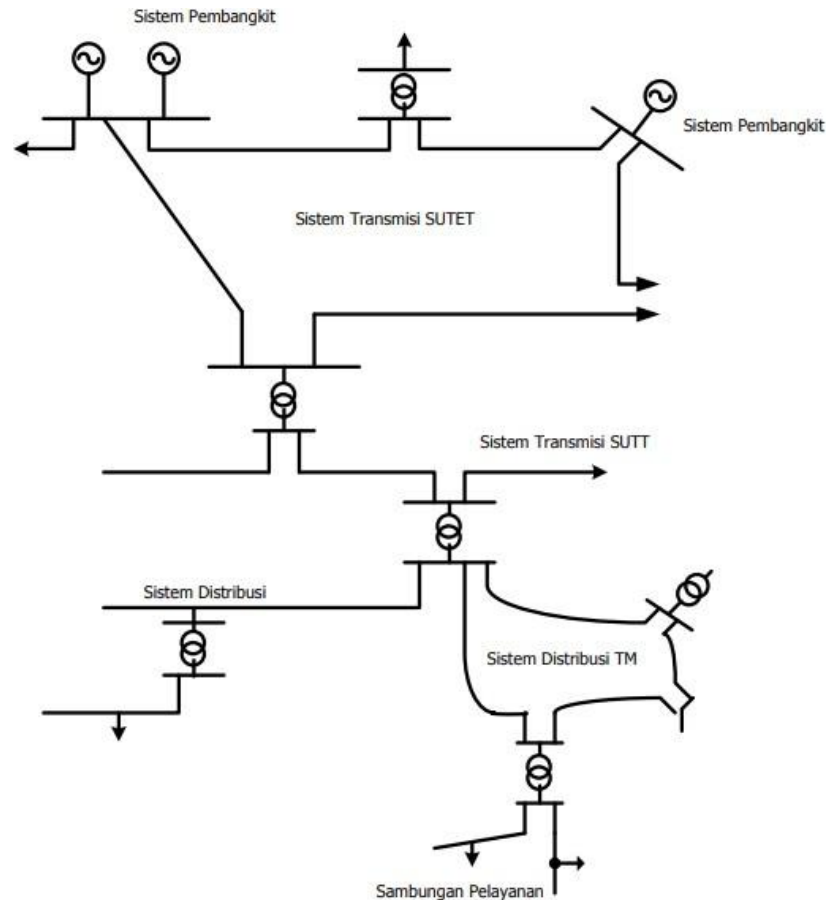
	UL-PLTD Hative Kecil untuk Penyulang Lateri 2 dengan Metode FMEA” (Halomoan M. Muskita, Misna Dewi Hailin, 2023)	SAIDI dan SAIFI yang belum sesuai standar, sehingga keandalan sistem perlu ditingkatkan.	menghitung <i>failure rate</i>, <i>repair time</i>, dan <i>Switching time</i> pada tiap komponen. Analisis dilakukan dengan membandingkan nilai SAIDI dan SAIFI hasil perhitungan FMEA dengan standar PLN.	menandakan penurunan frekuensi padam. Namun, SAIDI meningkat signifikan dari 3,146 jam/pelanggan menjadi 41,802 jam/pelanggan, sehingga durasi padam bertambah lama.	penyulang (Lateri 2). Belum membahas solusi teknis berbasis penambahan <i>Switching</i> yang dapat mengurangi durasi padam pelanggan serta memperbaiki nilai SAIDI.
5.	“Perbaikan Keandalan Sistem Distribusi” (Ali Muhtar, Syamsyarief Baqaruzi, 2020)	Sistem distribusi radial memiliki keterbatasan dalam keandalan, ditandai dengan tingginya nilai SAIDI dan SAIFI serta rugi-rugi daya.	Menggunakan sistem distribusi IEEE 33-bus sebagai studi kasus. Optimasi penempatan dan kapasitas Distributed Generation (DG).	Hasil menunjukkan penambahan 1 unit DG menurunkan rugi-rugi distribusi sebesar 1,94%, sedangkan 2 unit DG menurunkan hingga 1,09%.	Penelitian ini menggunakan pendekatan Distributed Generation (DG), bukan fokus pada penambahan <i>Switching</i>.

2.1.1 Jaringan Distribusi Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik secara umum terdiri dari tiga bagian utama, yaitu pembangkitan, transmisi, dan distribusi. Energi listrik yang dibangkitkan pada pusat-pusat pembangkit disalurkan melalui jaringan transmisi tegangan ekstra tinggi dan tegangan tinggi, sebelum akhirnya didistribusikan ke konsumen melalui jaringan distribusi. Pada tahap inilah jaringan distribusi memegang peranan penting sebagai ujung tombak pelayanan tenaga listrik kepada masyarakat, karena secara langsung berhubungan dengan konsumen akhir. [8]

Jaringan distribusi tenaga listrik dibedakan menjadi dua bagian utama, yaitu distribusi primer dan distribusi sekunder. Distribusi primer umumnya menggunakan tegangan menengah (TM) sebesar 20 kV di Indonesia, yang disalurkan melalui saluran udara tegangan menengah (SUTM) atau kabel tanah tegangan menengah (KTM). Dari jaringan ini kemudian diturunkan melalui gardu distribusi menjadi tegangan rendah (TR) sebesar 220/380 V untuk melayani pelanggan rumah tangga, bisnis, dan sebagian industri. Dengan demikian, kualitas dan keandalan jaringan distribusi akan sangat menentukan mutu pelayanan PLN terhadap konsumen. [9]

Pada Gambar 2.1 ditunjukkan struktur sistem tenaga listrik yang terdiri dari pembangkit, transmisi, dan distribusi hingga sambungan pelayanan ke pelanggan. Energi listrik dibangkitkan pada sistem pembangkit, kemudian dinaikkan tegangannya melalui gardu induk untuk disalurkan melalui saluran transmisi SUTET (Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi) atau SUTT (Saluran Udara Tegangan Tinggi). Setelah melalui gardu induk distribusi, energi listrik diturunkan tegangannya menjadi tegangan menengah dan disalurkan melalui jaringan distribusi TM, lalu didistribusikan ke konsumen melalui jaringan tegangan rendah.



Gambar 2.1 Pola Sistem Tenaga Listrik [8]
(Sumber : Kriteria Disain Enjinereng Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik)

Keandalan jaringan distribusi sangat dipengaruhi oleh konfigurasi jaringan dan peralatan proteksi yang digunakan. Umumnya, jaringan distribusi dioperasikan dalam bentuk sistem radial karena lebih sederhana dan ekonomis, namun memiliki kelemahan: apabila terjadi gangguan pada salah satu penyulang, maka seluruh pelanggan di hilir penyulang tersebut dapat terdampak pemadaman. Untuk itu, strategi peningkatan keandalan, salah satunya melalui penambahan peralatan *Switching*, menjadi sangat penting. *Switching* memungkinkan bagian jaringan yang terganggu diisolasi sehingga gangguan tidak meluas ke seluruh penyulang, sekaligus mempercepat proses pemulihan layanan. [2]

Dengan memahami struktur jaringan distribusi tenaga listrik secara menyeluruh, penelitian ini dapat lebih fokus menyoroti titik kritis yang disebut sebagai penyulang Rawan Gangguan, yakni penyulang dengan tingkat gangguan tinggi, serta mencari upaya teknis untuk meningkatkan keandalannya melalui penambahan *Switching*. [10]

2.1.2 Keandalan Sistem Distribusi 20 kV

Keandalan (*reliability*) merupakan salah satu parameter kunci dalam sistem distribusi tenaga listrik. Keandalan didefinisikan sebagai kemampuan sistem untuk menyalurkan energi listrik kepada konsumen dengan kontinuitas dan mutu yang baik, sesuai dengan standar yang berlaku. Pada sistem distribusi 20 kV, keandalan menjadi perhatian utama karena saluran ini berfungsi sebagai penghubung langsung antara jaringan transmisi dan pelanggan melalui penyulang. Gangguan yang terjadi pada level distribusi akan langsung dirasakan oleh konsumen, baik dalam bentuk pemadaman maupun penurunan kualitas daya.[11]

Indikator keandalan yang umum digunakan adalah SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*), SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*), dan ENS (*Energy Not Supplied*). SAIDI mengukur rata-rata lama gangguan yang dialami pelanggan dalam satu periode tertentu, sedangkan SAIFI menunjukkan rata-rata frekuensi gangguan per pelanggan. Adapun ENS mencerminkan jumlah energi yang tidak tersalurkan akibat gangguan [12]. Nilai-nilai indeks tersebut menjadi acuan penting dalam mengevaluasi kinerja distribusi tenaga listrik, baik di tingkat nasional maupun unit pelayanan lokal PLN. Penelitian yang dilakukan oleh F. Nurfadillah dan L. Liliana (2022) pada ULP Panam menunjukkan bahwa nilai SAIDI dan SAIFI yang tinggi menandakan keandalan sistem distribusi belum optimal dan masih perlu perbaikan melalui strategi teknis tertentu.

Salah satu aspek penting dalam pembahasan keandalan adalah keberadaan penyulang Rawan Gangguan, yaitu penyulang dengan tingkat gangguan tinggi atau berulang dalam periode tertentu. Penyulang Rawan Gangguan menjadi penyumbang terbesar terhadap meningkatnya nilai SAIDI dan SAIFI, sehingga perlu mendapatkan penanganan khusus. Studi pada sistem distribusi 20 kV di PLN UP3 Metro juga menemukan bahwa penyulang

dengan frekuensi gangguan tinggi memberikan kontribusi signifikan terhadap penurunan indeks keandalan secara keseluruhan. Oleh karena itu, identifikasi penyulang Rawan Gangguan menjadi langkah awal yang penting dalam strategi peningkatan keandalan jaringan distribusi.

Upaya peningkatan keandalan dapat dilakukan dengan berbagai cara, salah satunya adalah dengan menambahkan perangkat *Switching* seperti recloser atau sectionalizer [13]. *Switching* berfungsi untuk mengisolasi bagian jaringan yang terganggu, memperkecil area padam, dan mempercepat pemulihan pasokan listrik. Penelitian oleh A. Arman dan T. Rijanto (2024) menunjukkan bahwa penempatan recloser pada jaringan distribusi 20 kV di PT PLN (Persero) ULP Amuntai mampu menurunkan nilai SAIDI dan SAIFI secara signifikan, sehingga meningkatkan mutu pelayanan listrik kepada pelanggan.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa peningkatan keandalan sistem distribusi 20 kV sangat bergantung pada strategi teknis yang tepat dalam mengurangi dampak penyulang Rawan Gangguan. Penambahan *Switching* menjadi salah satu metode yang relevan dan efektif, karena secara langsung berkontribusi pada perbaikan indeks keandalan sekaligus mendukung pencapaian target standar pelayanan PLN. [14]

2.1.3 SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*)

System Average Interruption Duration Index (SAIDI) merupakan salah satu parameter utama yang digunakan untuk mengukur tingkat keandalan sistem distribusi tenaga listrik [15]. SAIDI didefinisikan sebagai rata-rata durasi pemadaman yang dialami oleh setiap pelanggan dalam suatu sistem pada periode waktu tertentu, biasanya dalam satu tahun. Indeks ini menggambarkan seberapa lama, secara rata-rata, pelanggan mengalami gangguan suplai listrik. Semakin kecil nilai SAIDI, semakin baik tingkat keandalan sistem distribusi tersebut.

Berikut merupakan rumus untuk menghitung SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*) yaitu : [16]

$$= \frac{\text{Jumlah Padam permanen pelanggan}}{\text{Jumlah seluruh pelanggan dalam satu unit layanan}} \quad (1)$$

Satuan SAIDI adalah jam/pelanggan/tahun atau menit/pelanggan/tahun, tergantung standar yang digunakan.

Nilai SAIDI berfungsi sebagai indikator lama rata-rata pemadaman per pelanggan. Indeks ini sangat penting bagi penyedia tenaga listrik, karena memberikan gambaran langsung mengenai mutu pelayanan. Menurut standar yang berlaku di PLN, target SAIDI ditetapkan agar layanan dapat mencapai tingkat kontinuitas tertentu sesuai dengan ketentuan Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan (DJK) maupun regulasi internal perusahaan. Apabila nilai SAIDI aktual lebih tinggi daripada standar, maka hal ini menunjukkan perlunya tindakan perbaikan pada sistem distribusi.[15]

Penelitian di Indonesia menunjukkan bahwa tingginya nilai SAIDI pada jaringan distribusi seringkali disebabkan oleh frekuensi gangguan yang berulang di penyulang tertentu. Misalnya, studi yang dilakukan oleh Nurfadillah dan Liliana (2022) pada ULP Panam menemukan bahwa nilai SAIDI yang tinggi disebabkan oleh banyaknya pelanggan terdampak akibat gangguan di penyulang dengan keandalan rendah [1]. Demikian pula, penelitian Arman dan Rijanto (2024) membuktikan bahwa penambahan recloser pada jaringan distribusi 20 kV di ULP Amuntai mampu menurunkan nilai SAIDI secara signifikan, sehingga meningkatkan keandalan sistem distribusi [2].

Dengan demikian, SAIDI dapat dikatakan sebagai indikator yang tidak hanya mencerminkan kondisi keandalan sistem distribusi, tetapi juga dapat digunakan sebagai dasar evaluasi efektivitas penerapan strategi teknis, seperti penambahan *Switching* pada penyulang Rawan Gangguan.

2.1.4 SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*)

System Average Interruption Frequency Index (SAIFI) adalah salah satu indeks keandalan utama yang digunakan untuk mengukur rata-rata frekuensi gangguan yang dialami pelanggan dalam suatu sistem distribusi tenaga listrik pada periode tertentu. SAIFI memberikan gambaran seberapa sering, secara rata-rata, seorang pelanggan mengalami

pemadaman listrik dalam satu tahun. Semakin rendah nilai SAIFI, semakin jarang pelanggan mengalami gangguan, yang berarti tingkat keandalan sistem semakin baik. [16]

$$= \frac{\text{jumlah lama padam permanen pelanggan dalam periode waktu}}{\text{jumlah seluruh pelanggan dalam suatu unit layanan}} \quad (2)$$

Satuan SAIFI adalah gangguan/pelanggan/tahun. Nilai SAIFI berfungsi untuk menilai seberapa sering pelanggan mengalami gangguan dalam periode tertentu. Jika nilai SAIFI tinggi, maka pelanggan sering mengalami pemadaman, meskipun durasinya mungkin singkat. Hal ini tentu berpengaruh terhadap kepuasan pelanggan, karena kontinuitas pasokan listrik tidak hanya dinilai dari lamanya padam (SAIDI), tetapi juga dari seberapa sering padam terjadi (SAIFI). Oleh karena itu, PLN menetapkan target tertentu untuk SAIFI sesuai standar pelayanan yang diatur dalam kebijakan internal maupun ketentuan Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan. [17]

Penelitian di Indonesia mendukung pentingnya penggunaan SAIFI sebagai indikator mutu pelayanan. Misalnya, studi yang dilakukan oleh Azzam, Gusmedi, dan Huda (2024) pada UP3 Metro menunjukkan bahwa nilai SAIFI yang tinggi berasal dari tingginya frekuensi gangguan di beberapa penyulang yang tergolong tidak andal [1]. Selain itu, penelitian Arman dan Rijanto (2024) membuktikan bahwa penempatan recloser pada jaringan distribusi 20 kV tidak hanya menurunkan SAIDI, tetapi juga secara signifikan menurunkan nilai SAIFI, sehingga pelanggan lebih jarang mengalami gangguan [2]. Temuan ini menunjukkan bahwa strategi teknis seperti penambahan *Switching* sangat berpengaruh terhadap perbaikan nilai SAIFI, sekaligus mendukung peningkatan mutu pelayanan listrik kepada pelanggan. [18]

Dengan demikian, SAIFI menjadi indikator penting yang harus diperhatikan dalam setiap analisis keandalan jaringan distribusi. Penambahan *Switching* pada penyulang Rawan Gangguan diharapkan dapat menekan nilai SAIFI, sehingga pelanggan mengalami gangguan lebih jarang dan kontinuitas pasokan listrik dapat terjamin.

2.1.5 Prinsip Kerja *Switching* pada Penyulang Lenggang

Prinsip kerja *Switching* pada Penyulang Lenggang didasarkan pada koordinasi antara peralatan proteksi dan peralatan manuver yang terpasang pada jaringan distribusi 20 kV. *Switching* berfungsi untuk memutus dan menghubungkan kembali bagian jaringan secara terkontrol dengan tujuan mengamankan sistem, mengisolasi gangguan, serta menjaga kontinuitas penyaluran tenaga listrik pada seksi jaringan yang tidak terdampak. Penerapan prinsip ini memungkinkan pengoperasian jaringan yang lebih fleksibel dan responsif terhadap kondisi gangguan. [19]

Pemutus Tenaga (PMT) berperan sebagai pengaman utama penyulang yang terpasang di Gardu Induk. PMT dirancang untuk bekerja memutus suplai apabila terdeteksi gangguan dengan karakteristik arus tertentu yang berpotensi membahayakan sistem. Dengan adanya PMT, gangguan yang terjadi pada jaringan dapat dicegah agar tidak merusak peralatan dan tidak meluas ke bagian sistem lainnya. PMT menjadi lapisan proteksi pertama yang menjamin keamanan operasi penyulang secara keseluruhan. [20]

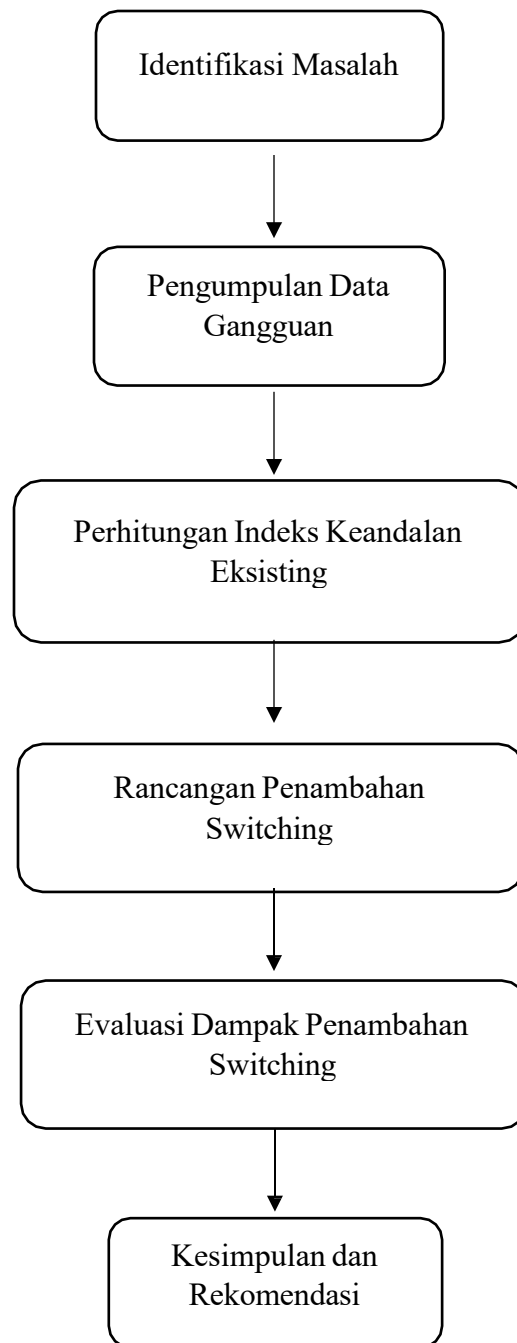
Recloser berfungsi sebagai peralatan proteksi otomatis yang ditempatkan pada titik tertentu di sepanjang penyulang. Peralatan ini mampu melakukan pemutusan dan penyambungan kembali secara otomatis untuk menangani gangguan yang bersifat sementara. Apabila gangguan tidak hilang setelah beberapa kali percobaan penyambungan, recloser akan berada pada kondisi terbuka sehingga gangguan dapat dilokalisir pada bagian jaringan tertentu. Peran recloser ini penting dalam mengurangi dampak gangguan dan mempercepat pemulihan pada jaringan distribusi.

Load Break Switch (LBS) digunakan sebagai peralatan manuver untuk memisahkan atau menghubungkan seksi jaringan secara manual maupun melalui kendali jarak jauh. LBS tidak berfungsi sebagai proteksi utama, namun sangat berperan dalam proses lokalisir gangguan dan penormalan beban. Dengan pengoperasian LBS yang tepat, bagian jaringan yang mengalami gangguan dapat diisolasi, sementara seksi jaringan lain yang tidak terganggu dapat segera dinormalkan.

Konsep lokalisir gangguan dan sectionalizing menjadi inti dari prinsip kerja *Switching* pada Penyulang Lenggang. Jaringan dibagi menjadi beberapa seksi menggunakan recloser

dan LBS, sehingga gangguan yang terjadi dapat dibatasi hanya pada seksi tertentu. Melalui penerapan prinsip ini, dampak gangguan terhadap luas area padam dan jumlah pelanggan terdampak dapat diminimalkan, serta proses pemulihan sistem dapat dilakukan secara lebih efektif dan terarah.

2.3. Kerangka Pemikiran



Gambar 2.2 Kerangka Pemikiran

Kerangka pemikiran penelitian ini diawali dengan identifikasi masalah, yaitu tingginya tingkat gangguan pada penyulang Rawan Gangguan yang berdampak pada penurunan mutu pelayanan dan meningkatnya nilai indeks keandalan SAIDI serta SAIFI. Selanjutnya dilakukan pengumpulan data gangguan historis dari PLN (Persero) UP2D UID S2JB sebagai dasar analisis. Data yang diperoleh digunakan untuk melakukan perhitungan indeks keandalan eksisting (SAIDI, SAIFI, ENS) agar dapat diketahui kondisi aktual keandalan penyulang sebelum adanya penambahan *Switching*. Setelah itu, dilakukan perancangan penambahan *Switching* dengan menentukan titik atau lokasi strategis pada jaringan distribusi yang dapat mengisolasi gangguan dan mempercepat pemulihan. Tahap berikutnya adalah evaluasi dampak penambahan *Switching*, yaitu membandingkan nilai indeks keandalan sebelum dan sesudah skenario pemasangan *Switching*. Perubahan nilai SAIDI dan SAIFI menjadi indikator utama untuk menilai keberhasilan penambahan *Switching*. Akhirnya, penelitian ini ditutup dengan kesimpulan dan rekomendasi berupa saran teknis penambahan *Switching* pada penyulang Rawan Gangguan, yang diharapkan dapat meningkatkan keandalan jaringan distribusi tenaga listrik di wilayah studi.