

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

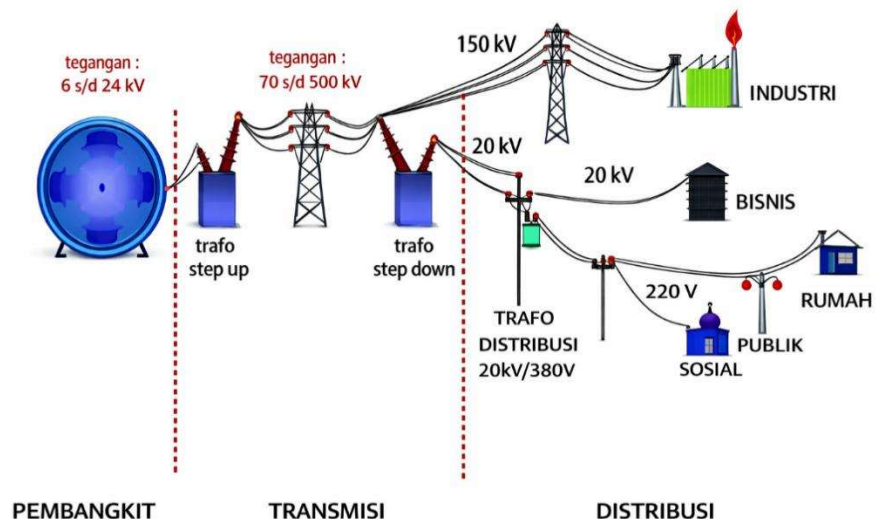
2.1.1 Sistem Kelistrikan

Sistem kelistrikan merupakan jaringan terpadu yang terdiri dari tiga elemen utama yaitu, pembangkitan, transmisi, dan distribusi. Ketiga elemen ini bekerja secara harmonis untuk menjamin penyaluran energi listrik dari sumber ke pengguna berlangsung dengan efisiensi dan keandalan tinggi. Selain itu, sistem ini juga mencakup berbagai peralatan serta infrastruktur pendukung, seperti transformator, saluran listrik udara, dan kabel bawah tanah.

1. Komponen utama sistem kelistrikan

a. Pembangkitan

Proses pembangkitan energi listrik dilakukan menggunakan dari berbagai sumber energi primer, seperti bahan bakar fosil, energi air, angin, atau sinar matahari. Pembangkit listrik memproduksi listrik pada tegangan rendah atau menengah, yang kemudian ditingkatkan menggunakan transformator untuk keperluan transmisi.



Gambar 2. 1 Alur Proses Pembangkitan, Transmisi dan distribusi listrik.

Pada umumnya pembangkit listrik berada di lokasi yang cukup jauh dari area pemukiman, kawasan industri, maupun wilayah komersial. Maka, diperlukan sebuah sistem penyaluran untuk mendistribusikan listrik dari pembangkit hingga ke konsumen. Sistem penyaluran listrik ini dua bagian, yaitu sistem transmisi dan sistem distribusi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1. Kedua sistem tersebut saling terintegrasi menjadi satu kesatuan dalam proses penyaluran listrik. Perbedaan utama antara keduanya terletak pada tingkat tegangan listrik yang digunakan oleh masing-masing sistem.

b. Transmisi

Energi listrik disalurkan dari pembangkit ke pusat konsumsi melalui saluran transmisi dengan tegangan tinggi (HV) atau ekstra tinggi (EHV). Penggunaan tegangan tinggi dalam sistem transmisi bertujuan untuk mengurangi kerugian daya yang disebabkan oleh resistansi penghantar. Sistem transmisi listrik berfungsi untuk mendistribusikan energi dari pembangkit menuju gardu induk, dengan jarak yang sering kali cukup jauh, antara 300 hingga 3000 kilometer. Jarak yang panjang ini dapat mempengaruhi kerugian energi.

Pada saluran transmisi, tegangan dapat mencapai lebih dari 550 kV, sementara tegangan yang dihasilkan oleh generator biasanya berkisar antara 15 hingga 25 kV, yang relatif rendah untuk transmisi jarak jauh. Berdasarkan rumus $\text{Daya} = \text{Tegangan} \times \text{Arus}$, daya listrik ditentukan oleh tegangan dan arus. Oleh karena itu, dengan tegangan rendah pada daya tertentu, arus yang besar akan muncul. Karena kerugian daya berbanding kuadrat dengan arus, arus yang besar menyebabkan lebih banyak energi hilang dalam bentuk panas. Untuk itu, transformator digunakan untuk meningkatkan tegangan listrik yang dihasilkan oleh generator. Listrik kemudian disalurkan melalui saluran udara bertegangan ekstra tinggi, yang dikenal sebagai SUTET (Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi), setelah tegangan listriknya cukup tinggi.



Gambar 2. 2 Saluran udara tegangan tinggi (SUTET)

Sistem transmisi udara mengandalkan sinergi antara konduktor, isolator, dan struktur menara. Penggunaan paduan aluminium pada konduktor dioptimalkan untuk hantaran arus listrik yang maksimal. Sementara itu, integrasi lapisan isolator berfungsi sebagai pelindung termal dan elektrik guna meningkatkan efisiensi energi serta memitigasi risiko operasional.

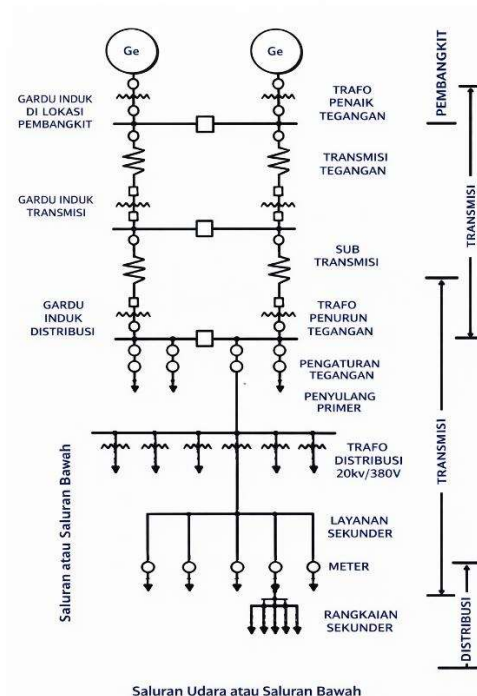
c. Sistem Distribusi Daya Listrik

Sistem distribusi adalah bagian integral dari sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk mengalirkan listrik dari sumber daya listrik besar ke konsumen. Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit dengan tegangan antara 11 kV hingga 24 kV akan ditingkatkan tegangannya melalui Gardu Induk (GI) dengan menggunakan transformator penaik tegangan, sehingga mencapai 70 kV, 154 kV, 220 kV, atau 500 kV, sebelum akhirnya disalurkan melalui saluran transmisi. Tujuan dari

peningkatan tegangan ini adalah untuk mengurangi kerugian daya listrik pada saluran transmisi, di mana kerugian tersebut sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir ($I^2.R$) [4]

2.1.2 Jaringan Distribusi

Jaringan tegangan menengah/primer (JTM) berfungsi untuk mengalirkan listrik dari gardu induk subtransmisi ke gardu induk distribusi, dan merupakan bagian pertama dari dua komponen yang membentuk sistem distribusi. Jaringan distribusi primer biasanya menggunakan tiga atau empat kabel untuk tiga fasa. Sedangkan jaringan distribusi sekunder, yang juga dikenal dengan jaringan tegangan rendah (JTR), mengalirkan listrik dari gardu induk distribusi ke konsumen. Sebelum sampai ke pelanggan, tegangan listrik diturunkan dari 20 kV menjadi 380/220 Volt melalui trafo distribusi. Jaringan distribusi sekunder menghubungkan trafo distribusi dengan sambungan layanan (beban) dan menggunakan penghantar terbuka atau kabel.[5] Proses distribusi listrik kepada pelanggan digambarkan dalam diagram berikut.



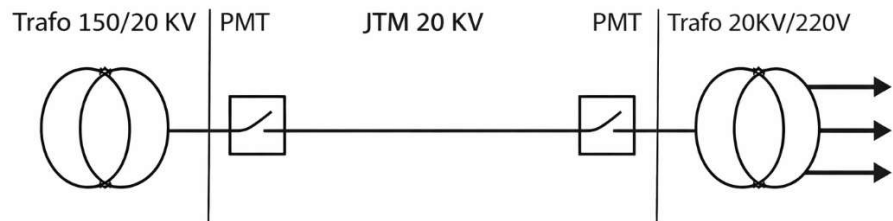
Gambar 2. 3 Diagram satu garis Pengelompokan Sistem Tenaga Listrik [6]

2.1.3 Jaringan Sistem Distribusi Primer

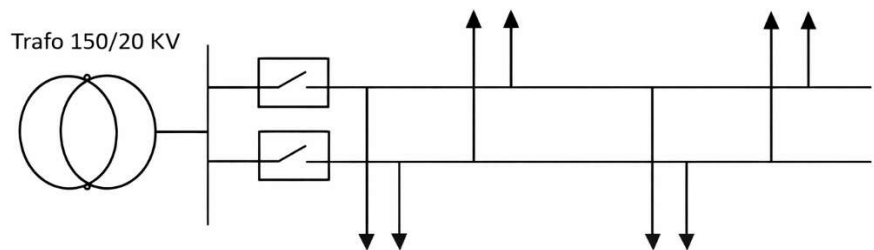
Jaringan distribusi tegangan menengah (Primer 20 kV) dapat dibagi menjadi lima jenis, yakni Jaringan Radial, Jaringan Penghubung (*Tie Line*), Jaringan *Loop*, Jaringan *Spindel*, dan Sistem Kluster atau Gugus. [6]

a. Jaringan Radial

Jaringan radial adalah tipe paling sederhana yang menghubungkan beban ke sumbernya. Karakteristiknya meliputi biaya rendah, ketiadaan sumber suplai alternatif, keandalan relatif rendah, dan pengaturan tegangan yang dapat dikelola dengan baik.[7]



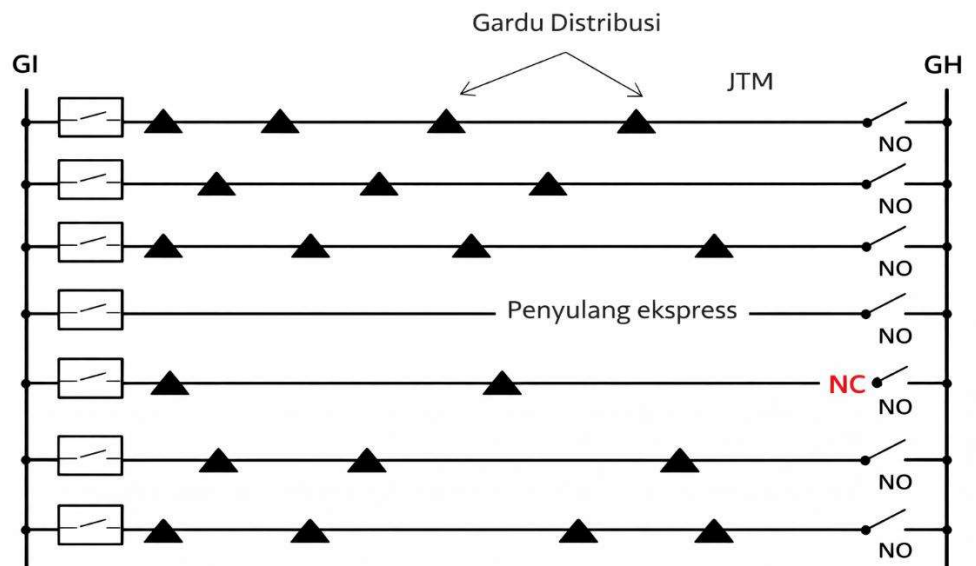
Gambar 2. 4 Jaringan Distribusi [7]



Gambar 2. 5 Jaringan Distribusi Tipe Radial [7]

b. *Sistem Spindle*

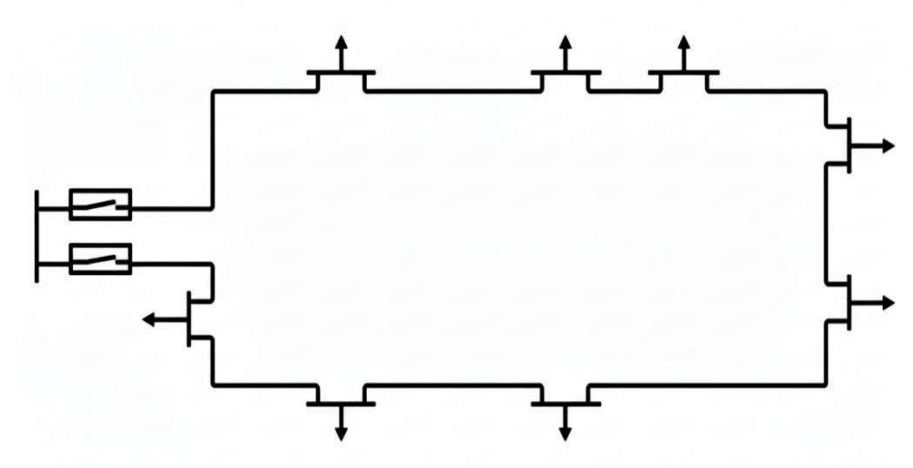
Sistem *spindle* dirancang untuk meningkatkan keandalan dengan mengumpulkan seluruh penyulang yang keluar dari Gardu Induk ke satu titik pertemuan, membentuk lingkaran terbuka, titik pertemuan ini disebut titik refleksi, biasanya berupa gardu hubung (GH). Struktur *spindle* dilengkapi penyulang cadangan (penyulang ekspres) yang berfungsi sebagai jalur penghubung antara Gardu Induk dan Gardu Hubung untuk menjaga kontinuitas suplai jika terjadi gangguan pada penyulang utama.[7]



Gambar 2. 6 Jaringan Distribusi Tipe Spindel [7]

c. Struktur Gelang (*Loop*)

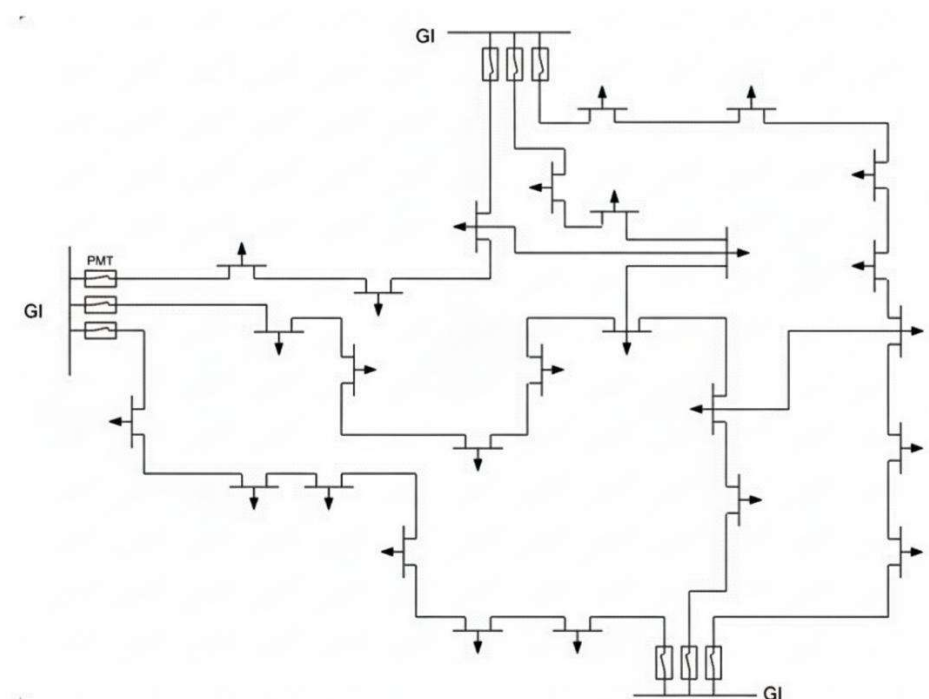
Struktur Gelang (*Ring/Loop*) menawarkan keandalan lebih tinggi dibanding sistem radial karena jaringan menerima suplai dari kedua ujungnya. Jika terjadi gangguan, PMT di GI akan memutus area terdampak dan setelah gangguan dilokalisir, suplai dapat dipulihkan dari sisi lain. Biasanya loop dirancang dalam kondisi terbuka (*open loop*) untuk menjaga keandalan. [7]



Gambar 2. 7 Jaringan Struktur Gelang/Tertutup [7]

d. Sistem Anyaman

Jaringan anyaman/mesh adalah struktur kompleks yang dirancang untuk kontinuitas distribusi dan kualitas layanan tinggi, umumnya dipakai pada jaringan tegangan rendah dengan kepadatan beban tinggi.[7]



Gambar 2. 8 Jaringan Sistem Anyaman [7]

2.1.4 Recloser

Recloser merupakan perangkat proteksi pada sistem distribusi jaringan tegangan menengah 20 kV yang berfungsi untuk menganalisis apakah suatu gangguan bersifat sementara atau permanen [8]. *Recloser* adalah perangkat yang memiliki kemampuan untuk mendeteksi kondisi arus fasa-ke-fasa maupun fasa-ke-tanah, membuka sirkuit jika gangguan arus tetap berlanjut melampaui waktu yang telah ditentukan, dan kemudian secara otomatis menutup kembali sirkuit pada saluran tersebut [9]. Jika gangguan masih tetap ada setelah urutan operasi selesai, maka *recloser* akan tetap terbuka (*lockout*) setelah mencapai jumlah operasi yang telah ditentukan sebelumnya, sehingga mengisolasi bagian yang terganggu dari sistem lainnya [9].



Gambar 2. 9 *Recloser* [10]

2.1.4.1 Bagian-Bagian Recloser

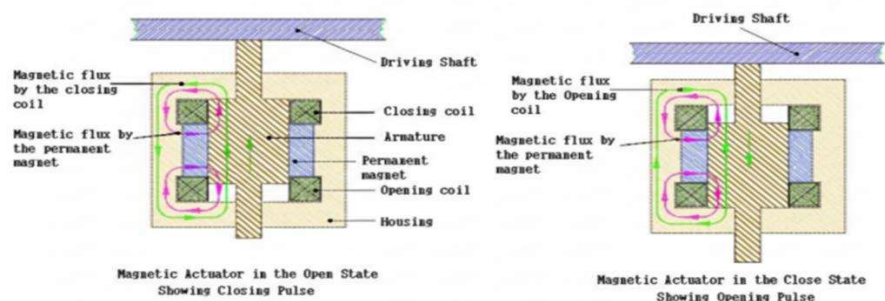
1. Pemutus

Penggunaan pemutus vakum pada *recloser* memberikan fleksibilitas operasional yang tinggi dalam menangani gangguan arus berkat desainnya yang tersegel rapat dan kebutuhan pergerakan kontak yang

minimal. Teknologi ini sangat ideal jika dikombinasikan dengan mekanisme penggerak magnetik, karena sinergi keduanya menciptakan sistem dengan keandalan operasional yang tinggi sekaligus menjaga prosedur pemeliharaan tetap sederhana dan efisien [11].

2. Penggerak Magnetik

Penggerak magnetik yang dirancang dengan teknologi terbaru ini memberikan tenaga yang dibutuhkan bagi pemutus tersebut. Karena konsumsi dayanya yang rendah, operasi pemindahan (*switching*) dapat dilakukan menggunakan tegangan AC 110V atau 220V dari sumber daya eksternal, maupun melalui baterai yang diisi oleh sumber tegangan DC [11]. Mekanisme penggerak magnetik meningkatkan keandalan perangkat karena hanya memiliki satu bagian bergerak, yang secara drastis mengurangi jumlah komponen internal. Berkat penggunaan magnet permanen untuk sistem penguncian (*latching*) serta kumparan *trip* dan *close* yang terpisah, sistem ini menjadi lebih sederhana dan meminimalkan kebutuhan perawatan rutin [11]. Mekanisme penggerak magnetik bekerja dengan memanfaatkan batang isolasi berkekuatan tinggi untuk menggerakkan pemutus melalui induksi gaya magnet. Saat arus mengalir ke kumparan *close*, *plunger* bergerak mendorong pemutus hingga terkunci di posisi tertutup, sedangkan arus pada kumparan *trip* akan melepas pengunci tersebut untuk mengembalikan pemutus ke posisi terbuka [11].



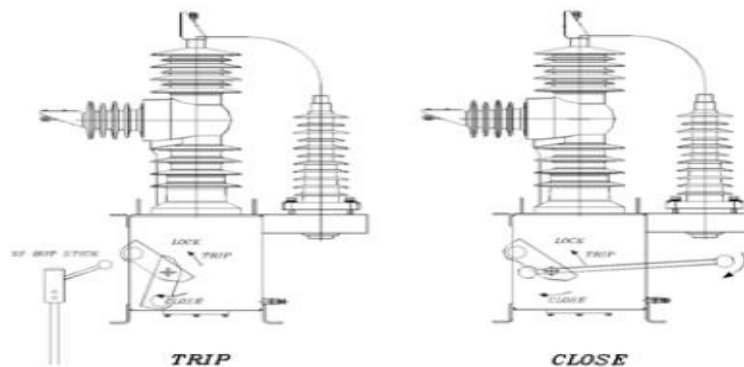
Gambar 2. 10 Prinsip *magnetic* pada operasional penggerak [11]

3. Box isolasi

Box isolasi berbahan resin epoksi ini dibuat dengan teknik cetakan APG untuk menghasilkan perlindungan luar yang hidrofobik dan tahan cuaca ekstrem. Di dalamnya terintegrasi komponen sensor vital, yaitu inti cincin CT untuk memantau aliran arus yang terhubung ke relai mikroprosesor, serta Kapasitor Pembagi Tegangan (CVD) yang berfungsi sebagai pengukur tegangan sekunder sistem secara akurat[11].

4. Alat penguncian/manual *trip*/penutup

Apabila terjadi kegagalan pada sirkuit kontrol atau selama pemeliharaan jalur, operator dapat langsung melakukan operasi *trip*, penutupan (*closing*), atau penguncian (*locking*) secara manual menggunakan tuas terkait yang terletak di sisi depan kotak. Operasi ini dapat dilakukan secara manual menggunakan stik pemutus arus (*COS hot stick*). Operasi manual tersedia melalui tuas *trip*; jika tuas *trip/locking* berada pada posisi kunci (*lock*), *recloser* tidak dapat dioperasikan melalui kontrol lokal maupun jarak jauh karena daya penggerak terputus. Dalam posisi kunci (*lock*), petugas harus mendorong tuas *trip/locking* kembali ke posisi *trip* untuk memulihkan status kunci pada *recloser*. Setelah dipulihkan, *recloser* dapat dioperasikan kembali melalui kontrol lokal maupun jarak jauh [11].



Gambar 2. 11 Peralatan Manual *Recloser Trip/Closing/Locking*[11]

5. Kubikel Kontrol / Panel *Advanced Controller (ADVC)*

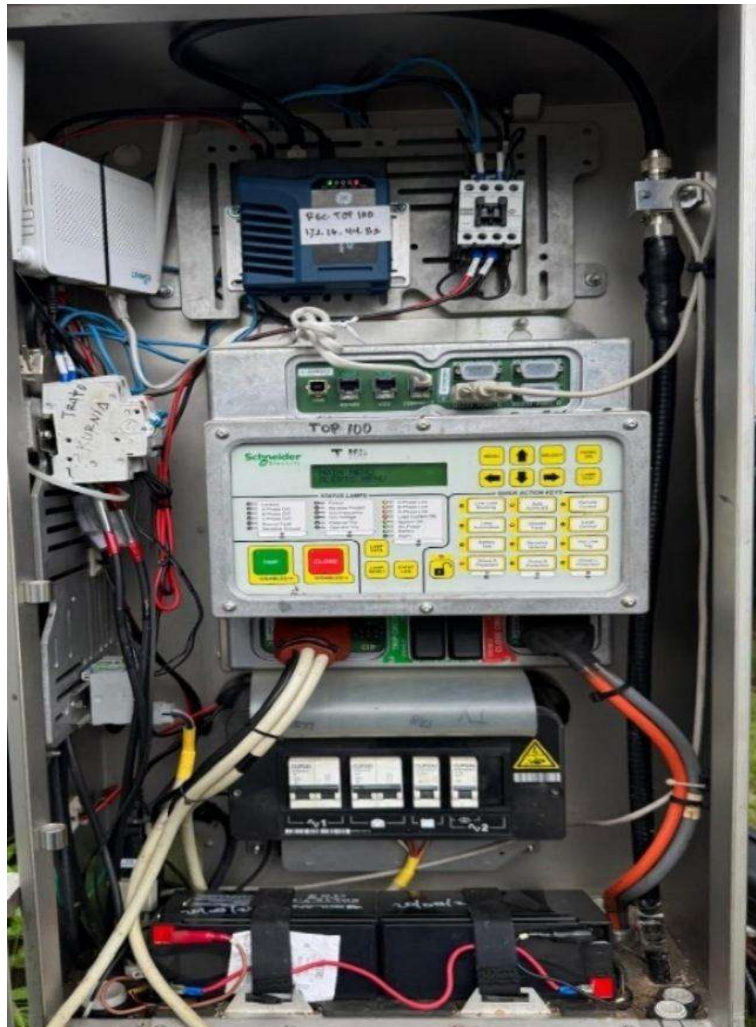
Kubikel kontrol *recloser* dirancang untuk dipasang pada tiang luar ruangan (*outdoor*) dan gardu operasi, dengan material yang terbuat dari baja tahan karat (*stainless steel*) anti-korosi. Kompartemen kontrol berbasis mikroprosesor ini tersegel sepenuhnya terhadap rembesan air, bahkan ketika pintu dibuka dalam kondisi hujan selama proses pengoperasian maupun pemeliharaan. Kubikel kontrol standar berisi relai, baterai untuk daya cadangan (*backup power*), dan catu daya untuk mekanisme penggerak[11].



Gambar 2. 12 Panel ADVC[10]

6. Baterai dan pengisiannya

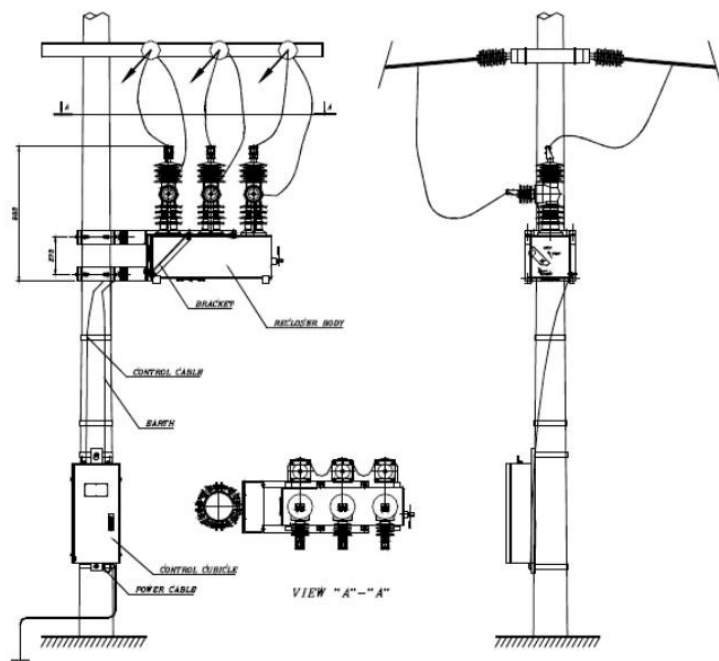
Sistem Catu Daya Cadangan Unit baterai dan *charger* terintegrasi pada kompartemen bawah kubikel kontrol untuk memudahkan aksesibilitas penggantian. Sistem ini berfungsi memasok daya ke mekanisme penggerak *recloser* dan sirkuit kontrol. Secara desain, baterai memiliki *life expectancy* selama 5 tahun dengan catatan pemeliharaan yang sesuai standar. Dalam kondisi *full charge*, baterai memiliki kapasitas otonomi untuk menyuplai beban operasi selama 30 jam tanpa dukungan catu daya eksternal[11].



Gambar 2. 13 Baterai pada panel *control recloser*

7. Tambahan tenaga suplai

Sistem Suplai Daya Tambahan pada perangkat ini dirancang secara fleksibel dengan beberapa opsi sumber tenaga. Pertama, daya dapat diperoleh dari sumber eksternal 110V atau 220V melalui trafo daya tambahan (*auxiliary transformer*), atau melalui koneksi langsung ke suplai tegangan rendah pada jalur distribusi. Selain opsi tersebut, sistem juga mendukung penggunaan sumber DC 110V dari pasokan eksternal maupun penggunaan baterai primer DC 135V untuk memastikan keandalan operasional perangkat dalam berbagai kondisi lapangan[11]. Pada dasarnya, pasokan daya bantu digunakan untuk mengoperasikan *recloser* melalui rangkaian penyearah sekaligus menjaga level pengisian daya baterai. Operasional *recloser* dapat terpenuhi selama pasokan daya bantu diteruskan melalui rangkaian untuk mengisi baterai secara kontinu. Baterai ini berfungsi sebagai sumber daya cadangan (*back-up*) untuk menjamin operasional *recloser* apabila catu daya bantu mengalami kegagalan atau hilang [11].



Gambar 2. 14 Tambahan tenaga suplai[11]

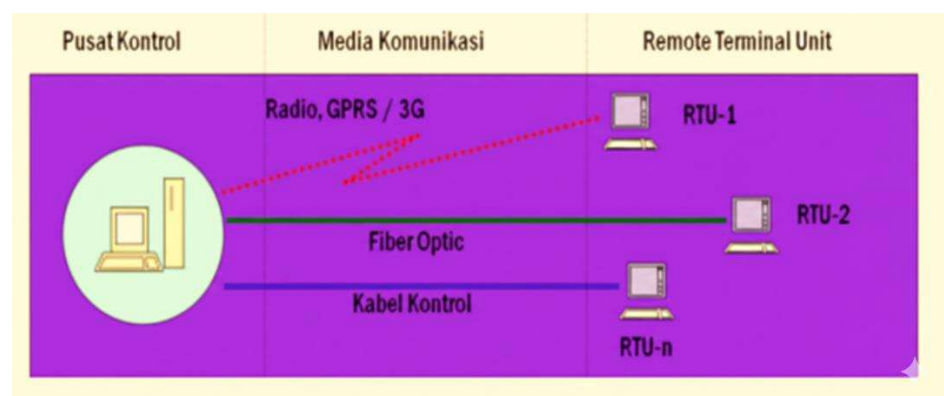
2.1.5 SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*)

Sistem SCADA merupakan sebuah kesatuan unit yang terdiri dari berbagai perangkat terintegrasi yang saling berkomunikasi untuk menjalankan fungsi kontrol, pemantauan (*monitoring*), serta pemrosesan data secara terpusat. Secara terminologi, SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*). Didefinisikan sebagai sistem yang mengintegrasikan fungsi pengawasan, pengendalian jarak jauh, serta pengumpulan data secara real-time[12]

- Supervisory = Pengawasan
- Control = Kontrol
- Data Acquisition = Permintaan/Pengiriman Data

2.1.5.1 Proses pengendalian sistem SCADA

Sistem SCADA dapat dioperasikan dari pusat kendali melalui komputer utama. Melalui tampilan pada layar komputer utama inilah, petugas *dispatcher* dapat melakukan pengawasan dan kendali terhadap jaringan tenaga Listrik. Saat dispatcher memberikan suatu perintah, komputer utama akan mengirimkan sinyal ke *Remote Terminal Unit* (RTU) melalui media komunikasi. Jika kualitas media komunikasi buruk, sinyal tersebut tidak akan sampai ke RTU. [12] Oleh karena itu, diperlukan media komunikasi yang handal agar sinyal dapat diterima oleh RTU dalam waktu singkat sehingga perintah dapat terlaksana sebagaimana mestinya.



Gambar 2. 15 Mekanisme SCADA

Setelah RTU menerima sinyal dari komputer utama, RTU akan mengeksekusi perintah berdasarkan sinyal tersebut, seperti perintah untuk membuka atau menutup PMT (Pemutus Tenaga), PMS (Pemisah), atau LBS (*Load Break Switch*). Setelah RTU melaksanakan perintah, RTU akan memberikan laporan kepada *dispatcher* bahwa perintah tersebut telah berhasil dijalankan. Hal ini dilakukan dengan mengirimkan sinyal balik ke komputer utama melalui media komunikasi, sehingga status PMT / PMS / LBS akan terbaca dalam kondisi terbuka atau tertutup.[12]

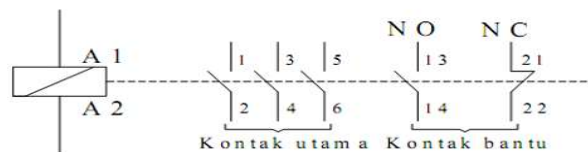
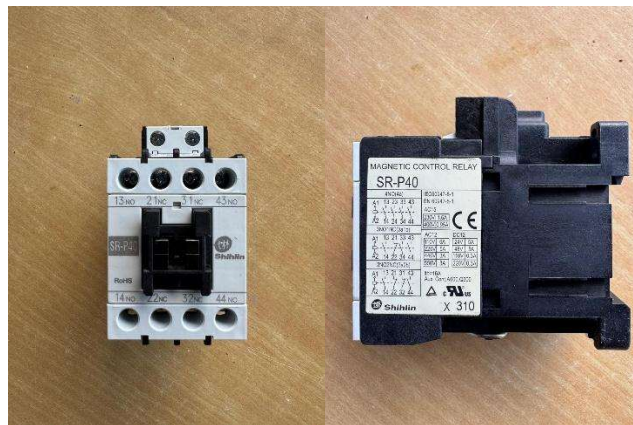
2.1.5.2 RTU (Remote Terminal Unit)

RTU Merupakan komponen krusial dalam sistem pengendalian tenaga listrik yang tergolong sebagai perangkat elektronik pintar. Unit ini umumnya dipasang di gardu induk maupun pusat pembangkit guna menjembatani kebutuhan pusat kendali dalam melakukan akuisisi data lapangan. RTU memfasilitasi tiga fungsi utama, yaitu kendali jarak jauh, pemantauan status dan pengukuran parameter Listrik. Dalam ekosistem SCADA, perangkat ini diibaratkan sebagai 'indera' dan 'tangan' pusat kendali yang bekerja langsung di lokasi proses. Agar seluruh peristiwa yang terjadi di fasilitas PLN mulai dari Gardu Induk (GI), Gardu Hubung (GH), hingga Gardu Distribusi (GD) dapat dipantau dan dikendalikan dari Pusat Kontrol, maka setiap gardu tersebut wajib dilengkapi dengan RTU. Perangkat RTU ini harus mampu menjalankan fungsi Tele-informasi Status (TS), Remote Control (RC), dan Tele-informasi Ukur (TM).[12]

2.1.6 Kontaktor

Kontaktor adalah perangkat elektromekanik yang berfungsi sebagai sakelar pengontrol untuk rangkaian daya, yang dioperasikan oleh sinyal kontrol berdaya rendah. Komponen utamanya meliputi kumparan elektromagnetik (koil) dan beberapa set kontak: *Normally Open* (NO) dan *Normally Close* (NC). Dalam keadaan normal (tidak aktif), kontak NO terbuka dan kontak NC tertutup. Pemberian tegangan pada koil akan menginduksi medan

magnet, yang kemudian menarik jangkar atau inti bergerak untuk mengonfigurasi ulang keadaan kontak. Akibatnya, kontak NO tertutup untuk menghubungkan rangkaian, sementara kontak NC terbuka untuk memutuskan rangkaian. Kontaktor elektromagnetis telah menjadi elemen krusial dalam sistem kelistrikan modern berkat keandalannya dalam mengendalikan sirkuit daya[13].



Gambar 2. 16 kontaktor

2.1.7 MCB (*Miniatur Circuit Breaker*)

MCB merupakan perangkat pengaman listrik yang berfungsi untuk memutus aliran arus secara otomatis ketika terdeteksi kondisi arus berlebih atau hubung singkat. Mekanisme kerjanya mengandalkan salah satu dari dua prinsip utama elektromagnet atau elemen bimetal.

Pada MCB tipe termal-magnetik, pemutusan arus terjadi melalui kombinasi kedua elemen tersebut. Elemen bimetal, yang terdiri dari dua logam dengan koefisien muai yang berbeda, akan memuai ketika dialiri arus listrik yang melebihi batas aman. Pemuaian yang tidak merata ini menyebabkan elemen bimetal melengkung, sehingga memicu tuas pemutus untuk melepaskan

kontak listrik dan menghentikan aliran arus. Sementara itu, elemen elektromagnet merespons lonjakan arus mendadak akibat hubung singkat dengan menghasilkan medan magnet kuat yang seketika menarik pelat besi, yang juga memicu mekanisme pemutusan.



Gambar 2. 17 MCB 220 VAC

Fungsi utama MCB dalam instalasi listrik meliputi:

- Pengaman terhadap Beban Lebih (*Overload Protection*): Mencegah kerusakan peralatan dan risiko kebakaran akibat penggunaan listrik melebihi kapasitas yang dirancang.
- Pengaman terhadap Hubung Singkat (*Short Circuit Protection*): Memutus arus seketika saat terjadi korsleting, yang berpotensi menimbulkan percikan api berbahaya dan kerusakan parah.
- Memfasilitasi Pemeliharaan dan Keamanan: Memungkinkan pemutusan aliran listrik secara aman saat dilakukan perbaikan atau modifikasi pada instalasi.

2.1.8 Keandalan Sistem Distribusi

Keandalan sistem distribusi merepresentasikan ketersediaan energi listrik. Penilaian keandalan dilihat dari waktu dan frekuensi terjadinya pemadaman serta seberapa cepat sistem kembali beroperasi normal pascagangguan. Keandalan dibagi menjadi tiga.[14]

1. Keandalan sistem tinggi

Sistem mampu menyediakan tenaga sesuai kapasitas pada beban puncak dengan variasi tegangan sesuai ketentuan; memerlukan banyak perangkat proteksi.

2. Keandalan sistem menengah

Sistem mampu menyediakan energi pada beban puncak dan menyuplai sebagian beban saat gangguan; memerlukan perangkat proteksi signifikan.

3. Keandalan sistem rendah

Sistem tidak mampu menyediakan pasokan memadai saat gangguan sehingga membutuhkan perbaikan terlebih dahulu dilengkapi perlindungan minim sehingga banyak pelanggan terdampak.

2.1.9 Faktor Keandalan

Instalasi baru sering menghadapi risiko kegagalan saat fase awal operasi akibat kondisi tak terduga. Keandalan merujuk pada keamanan sistem dan kemampuan menghindari gangguan yang disebabkan faktor alam (petir, angin, hujan, hewan) maupun kerusakan material/peralatan.

Empat faktor penting yang mempengaruhi keandalan:

- a. Probabilitas: Frekuensi atau kemungkinan terjadinya suatu peristiwa pada perangkat Tampilan Kinerja
- b. Tampilan Kinerja: Indikator bahwa perangkat atau sistem berfungsi dengan baik.
- c. Rentang Waktu: Durasi pengamatan yang dipakai untuk menentukan probabilitas; tanpa periode waktu, keandalan tidak dapat dihitung akurat
- d. Pengoperasian: Kondisi uji yang mempengaruhi keandalan seperti lingkungan, suhu, bencana alam, dll.

Keandalan sistem distribusi erat kaitannya dengan ketersediaan, yaitu total waktu sistem beroperasi sesuai fungsi.

2.1.10 Energi Not Supplied (ENS)

Gangguan pada jaringan distribusi mengganggu aliran energi ke pelanggan, disebabkan oleh faktor eksternal (iklim, organisme, objek) dan internal (peralatan tidak optimal, proteksi gagal). Saat gangguan terjadi terdapat energi yang tidak tersalurkan (*Energy Not Supplied*, ENS) yang menimbulkan kerugian bagi PLN[15]

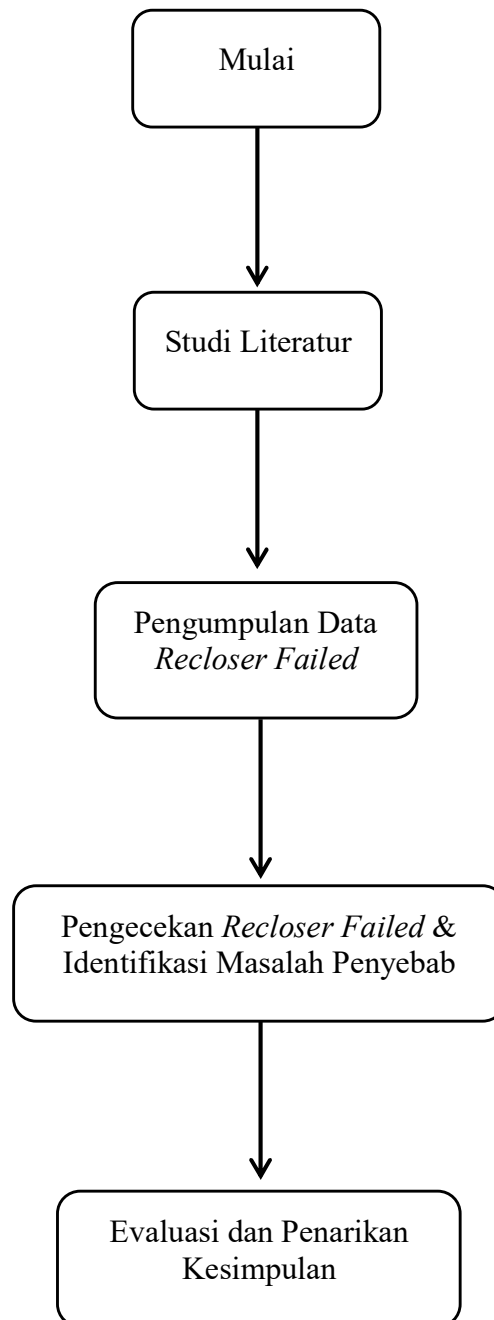
2.2 Penelitian Terkait

Pada penelitian dilakukan tinjauan literatur untuk menemukan referensi yang relevan dengan pokok bahasan penelitian ini. Referensi ini dapat berasal dari buku, artikel, jurnal, atau proposal skripsi yang relevan. Beberapa referensi yang berkaitan dengan penelitian ini, yaitu:

1. Hayatul Illahi, Noveri L. M dalam Jom FTEKNIK Volume 4 No.1 Februari 2017 berjudul “Analisa dan Evaluasi Penggunaan SCADA Pada Keandalan Sistem Distribusi PT. PLN (Persero) Area Pembagi Distribusi Riau dan Kepulauan Riau”. Penelitian ini menegaskan pentingnya SCADA dalam mengurangi gangguan dan meningkatkan indeks keandalan jaringan. Metode deskriptif digunakan dengan data observasi dan dokumentasi. Hasil menunjukkan peningkatan indeks keandalan pada APD Riau dan Kepri pasca integrasi SCADA dengan parameter SAIDI; peningkatan tercatat sebesar 41,62% [16].
2. Alimuddin, S.T., M. T. Jurusan, T. Elektro, P. Katolik, and P. Sorong, berjudul “Analisa kerja recloser untuk memproteksi jaringan distribusi di PT PLN (persero) area sorong.” Penelitian ini menganalisis kinerja *recloser* sebagai sistem proteksi otomatis pada jaringan distribusi di PT. PLN (Persero) Area Sorong untuk mengatasi gangguan listrik yang seringkali bersifat sementara. Penggunaan *recloser* dinilai lebih efisien dibandingkan *circuit breaker* konvensional karena kemampuannya mendeteksi arus lebih akibat hubung singkat dan melakukan operasi buka-tutup sirkuit secara otomatis sesuai pengaturan waktu yang ditentukan. Integrasi teknologi *recloser* bermerk Entec tipe EVRC 2A dengan aplikasi WinSMART GRID berbasis *SMS Gateway* memungkinkan pemantauan status kontrol, *metering*, dan sinyal secara *real-time*. Implementasi sistem otomasi ini terbukti meningkatkan keandalan pelayanan listrik kepada konsumen dengan meminimalisir durasi pemadaman dan melindungi komponen jaringan dari kerusakan permanen akibat gangguan arus[17]

3. Ery Gunawan, Eko Wahyono dalam jurnal cahaya bagasjara vol. 1 no. 1 Januari 2017 berjudul “Rancangan instalasi lampu penerangan jalan umum dengan system kontaktor dan timer”. Penelitian ini merancang dan menguji sistem instalasi Lampu Penerangan Jalan Umum (PJU) yang lebih efisien dengan menggunakan kombinasi kontaktor magnet dan *timerswitch*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan *timerswitch* jauh lebih efektif dibandingkan *photocell* konvensional karena tidak bergantung pada kondisi cuaca (seperti mendung) dan dapat diatur secara presisi untuk menyala pada pukul 18.00 dan padam pada pukul 06.00, sehingga mampu menghemat biaya penggunaan listrik. Kontaktor Magnet Terbukti dapat bekerja secara normal pada rentang tegangan 110 volt hingga 240 volt. Namun, sistem akan mengalami gangguan berupa bunyi keras dan risiko kerusakan jika tegangan turun di bawah 110 volt.[18]
4. Tri Irianto Tjendrowasono, Supriyana Nugroho, Ni Kadek Devi Suyastini dalam Jurnal Fortech Vol. 4 No. 2 (Desember 2023) berjudul “Pengaruh Automatic Change Over Switch Terhadap Peningkatan Keandalan Gardu Distribusi T3-200A/1 Penyulang PLR-04”. Penelitian ini mengkaji dampak kuantitatif penggunaan ACOS. Hasil menunjukkan ACOS dapat mengurangi ENS dari 17.872,46 kWh (setara Rp.25.820.342) menjadi 11.690,5 kWh (setara Rp.16.889), sehingga potensi penghematan energi tidak tersalurkan sekitar 17.860,769 kWh (setara Rp.25.803.453). Peningkatan keandalan ini membantu menjaga kontinuitas penyaluran tenaga ke pelanggan dan pencapaian target kinerja [19]

2.3 Kerangka Pemikiran



Gambar 2. 18 Diagram Kerangka Pemikiran

Studi literatur mengenai kegagalan *recloser* merupakan fondasi krusial untuk memahami fenomena yang terjadi dalam sistem distribusi tenaga listrik. Proses ini diawali dengan pengumpulan data yang komprehensif terkait event kegagalan *recloser*. Pengumpulan data tidak hanya terbatas pada statistik jumlah kegagalan, tetapi juga mencakup kondisi lingkungan saat terjadi kegagalan, serta riwayat pemeliharaan unit *recloser* yang bersangkutan. Selanjutnya, tahapan pengecekan *recloser* yang mengalami kegagalan melibatkan serangkaian investigasi teknis untuk memverifikasi status operasionalnya dan mengidentifikasi gejala awal kerusakan. Pendekatan sistematis dalam pengecekan, mulai dari pemeriksaan visual hingga pengujian fungsional, menjadi kunci untuk mengungkap akar permasalahan.

Identifikasi masalah penyebab kegagalan *recloser* memerlukan pemahaman mendalam tentang berbagai faktor yang dapat berkontribusi, baik dari sisi internal komponen *recloser* maupun eksternal sistem. Berdasarkan tinjauan literatur, penyebab kegagalan dapat dikategorikan menjadi beberapa area utama, seperti kegagalan komponen internal akibat usia pakai atau cacat produksi, pengaruh kondisi lingkungan yang ekstrem (misalnya, kelembaban tinggi, suhu ekstrem, atau kontaminasi debu), lonjakan tegangan transien akibat gangguan eksternal (seperti petir), serta kesalahan dalam operasi atau pemeliharaan.

Evaluasi mendalam terhadap data dan hasil identifikasi penyebab kegagalan menjadi langkah selanjutnya yang tak kalah penting. Tahap ini melibatkan analisis statistik, pemodelan berbasis data, dan terkadang simulasi untuk mengkuantifikasi dampak dari setiap potensi penyebab kegagalan. Hasil evaluasi ini kemudian digunakan untuk merumuskan Kesimpulan.

Oleh karena itu, pengkajian literatur mengenai kegagalan *recloser* berfungsi sebagai landasan teoretis yang solid dalam penelitian ini. Dengan mensintesis temuan dari berbagai studi, penelitian ini berupaya membangun pemahaman mengenai mekanisme kegagalan, faktor-faktor dominan yang mempengaruhinya, serta metodologi yang efektif untuk identifikasi dan evaluasi. Hasil kajian literatur ini diharapkan dapat memberikan kerangka konseptual yang kuat, mengarahkan pemilihan metodologi penelitian yang tepat, dan memfasilitasi interpretasi temuan yang lebih bermakna dalam konteks peningkatan keandalan operasional *recloser* di lapangan.