

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

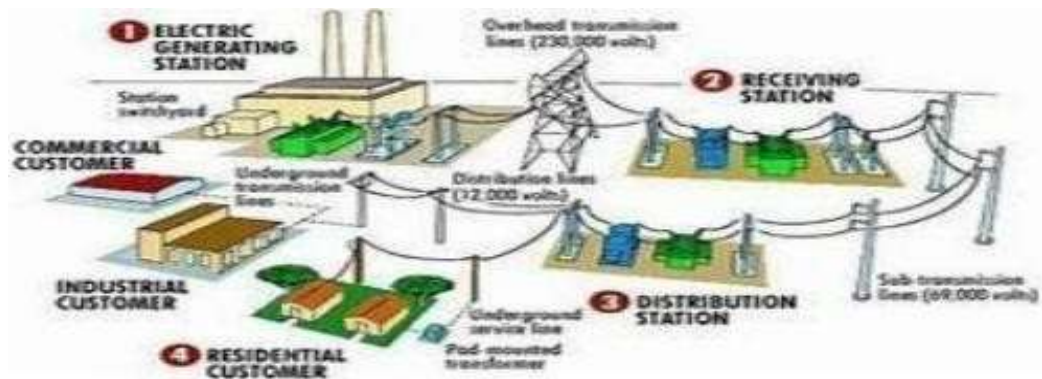
2.1 Landasan Teori

2.1.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem distribusi tenaga listrik merupakan bagian akhir dari sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan energi dari sistem transmisi ke konsumen dengan tingkat tegangan yang sesuai. Sistem ini biasanya beroperasi pada tegangan menengah (6,6–20 kV) dan tegangan rendah (220/380 V) [5].

Jaringan distribusi pada umumnya menggunakan konfigurasi radial, di mana aliran daya berasal dari satu sumber menuju beban tanpa jalur balik. Kelebihan sistem radial adalah sederhana dan ekonomis, namun kelemahannya terletak pada tingkat keandalan yang rendah karena jika terjadi gangguan pada salah satu titik, maka seluruh pelanggan di belakang titik tersebut akan mengalami pemadaman [6].

Untuk meningkatkan keandalan, PLN menerapkan otomatisasi sistem distribusi, di antaranya melalui pemasangan Load Break Switch (LBS) Motorized yang dapat dioperasikan secara jarak jauh menggunakan sistem SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) [7].



Gambar 2. 1 Sistem Penyaluran Eenergi Listrik ke Konsumen



2.1.2 Keandalan Sistem Distribusi

Keandalan (reliability) merupakan ukuran kemampuan sistem tenaga listrik untuk menyalurkan energi secara kontinu dengan gangguan minimal [8]. Dalam sistem distribusi, keandalan diukur menggunakan beberapa indeks standar IEEE, antara lain:

1. SAIFI (System Average Interruption Frequency Index)

Menunjukkan frekuensi rata-rata gangguan yang dialami pelanggan dalam periode tertentu:

$$SAIFI = \frac{\sum_{i=1}^n N_{iN_i}}{NTN_TNT} \quad (2.1)$$

Keterangan:

= jumlah pelanggan yang mengalami gangguan pada kejadian ke-i

= total pelanggan yang dilayani

di mana N_{iN_i} = jumlah pelanggan yang terdampak gangguan, dan NTN_TNT
= total pelanggan yang dilayani.

2. SAIDI (System Average Interruption Duration Index)

Menggambarkan durasi rata-rata pemadaman listrik yang dialami pelanggan:

$$SAIDI = \frac{\sum_{i=1}^n N_{iD_i}}{NTN_TNT} \quad (2.2)$$

Keterangan:

= jumlah pelanggan terdampak pada kejadian ke-i

= durasi gangguan (jam/menit) pada kejadian ke-i

= total pelanggan yang dilayani

Ketiga indeks ini menjadi parameter utama dalam menilai performa keandalan jaringan distribusi. Semakin kecil nilai SAIDI dan SAIFI, maka semakin andal sistem distribusi yang bersangkutan[9].

2.1.3 Load Break Switch (LBS)

a. Pengertian Load Break Switch Motorized

Load Break Switch Motorized (LBS-M) adalah perangkat pemutus beban tegangan menengah yang dilengkapi dengan motor penggerak elektrik dan sistem kendali jarak jauh (*remote control system*). Fungsi utamanya adalah memutus dan menghubungkan arus listrik dalam kondisi berbeban secara otomatis, serta memungkinkan pengoperasian dari pusat kendali SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) tanpa intervensi langsung di lapangan [10].

LBS-M termasuk dalam kategori *switching device* yang dapat beroperasi di bawah arus nominal sistem untuk melakukan proses isolasi dan manuver jaringan. Keberadaan motor listrik sebagai aktuator membuat alat ini mampu melakukan tindakan otomatisasi jaringan (*automatic feeder switching*) dalam sistem distribusi 20 kV yang dikelola oleh PLN [11].

Dalam konteks modernisasi jaringan distribusi, LBS-M menjadi komponen penting dalam sistem Smart Distribution Network, karena berperan dalam mempercepat proses isolasi gangguan, mengurangi area terdampak pemadaman, serta meningkatkan keandalan sistem tenaga listrik secara keseluruhan [12].



Gambar 2. 3 Load Break Switch Motorized

b. Prinsip Kerja dan Struktur Load Break Switch Motorized

Prinsip kerja LBS Motorized didasarkan pada mekanisme *arc-quenching* (pemadaman busur api) di dalam ruang pemutus (*interrupter chamber*). Ketika perintah buka (*open command*) diberikan melalui sistem kendali, motor penggerak akan menggerakkan tuas

mekanis pemutus. Proses ini memutus aliran arus listrik pada kondisi berbeban dengan cepat, sementara busur api yang terbentuk dipadamkan oleh gas isolasi (biasanya SF₆ atau udara bertekanan) [13].

Struktur utama LBS Motorized meliputi:

1. Ruang Pemutus (Interrupter Chamber) – tempat terjadinya proses pemutusan arus berbeban.
2. Motor Actuator – penggerak elektromekanis yang memungkinkan operasi buka-tutup secara otomatis.
3. Kontrol Elektronik (Control Unit) – berfungsi menerima sinyal perintah dari SCADA atau panel lokal.
4. Sistem Komunikasi (Communication Module) – digunakan untuk mengirimkan data status posisi saklar (open/close) dan menerima perintah kendali dari pusat kontrol.
5. Sensor Tegangan dan Arus – mendeteksi kondisi beban dan tegangan untuk menjamin keamanan operasi.

Dengan sistem ini, operator dapat memantau, mengendalikan, dan melakukan manuver jaringan secara real-time melalui *Remote Terminal Unit (RTU)* yang terhubung ke Distribution Control Center (DCC).

c. Fungsi dan Peranan LBS Motorized dalam Sistem Distribusi

Fungsi utama LBS Motorized dalam jaringan distribusi tenaga listrik antara lain :

1. Isolasi Gangguan Otomatis

LBS-M mampu memisahkan bagian jaringan yang terganggu secara cepat, sehingga pemadaman tidak meluas ke seluruh penyulang.

2. Manuver Beban Jarak Jauh

Operator dapat melakukan pengalihan beban dari sumber lain melalui sistem SCADA

tanpa turun ke lapangan.

3. Pemulihan Daya (Service Restoration)

Setelah isolasi selesai, LBS-M dapat menutup kembali jaringan secara otomatis, mempercepat proses pemulihan suplai listrik.

4. Peningkatan Keandalan Sistem

Penggunaan LBS-M terbukti menurunkan nilai SAIDI dan SAIFI secara signifikan. Penerapan LBS-M dapat menurunkan durasi padam rata-rata hingga 40% dan frekuensi gangguan hingga 35% [14].

5. Integrasi Smart Grid

Sebagai bagian dari sistem otomasi, LBS-M berperan penting dalam implementasi Smart Distribution System yang menjadi arah kebijakan PLN UID Sumatera Barat.

2.1.4 Sistem SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)

SCADA merupakan sistem kendali dan pengawasan jarak jauh yang digunakan dalam pengoperasian sistem tenaga listrik. Melalui SCADA, operator dapat memantau kondisi jaringan, melakukan manuver beban, serta membuka atau menutup saklar seperti Recloser dan Load Break Switch Motorized dari pusat kontrol [15].

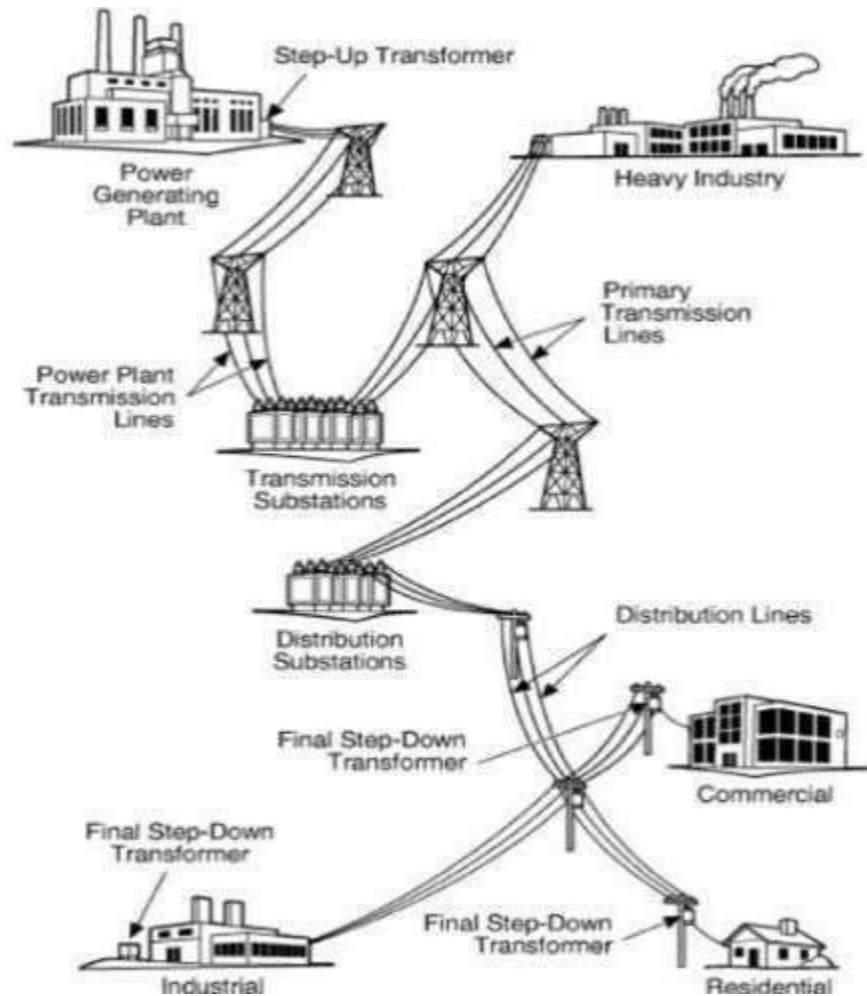
Integrasi SCADA pada sistem distribusi dapat mempercepat waktu respon terhadap gangguan hingga 60% dibandingkan sistem manual. SCADA juga memungkinkan analisis berbasis data historis untuk menentukan lokasi optimal peralatan switching otomatis [16].

Dalam konteks Feeder Tapakis Zona 2 Section 1, penerapan LBS Motorized yang terintegrasi dengan SCADA diharapkan dapat mengurangi waktu isolasi gangguan di Recloser Sei Abang, sehingga menurunkan nilai SAIDI dan SAIFI secara signifikan.

2.1.5 Keandalan Sistem Tenaga Listrik pada Jaringan Distribusi

Keandalan sistem tenaga listrik merupakan kemampuan sistem untuk menyalurkan energi listrik secara kontinu kepada pelanggan dengan tingkat gangguan seminimal mungkin. Pada jaringan distribusi, keandalan menjadi aspek yang sangat penting karena

jaringan inilah yang secara langsung berhubungan dengan pelanggan. Setiap gangguan yang terjadi pada jaringan distribusi akan berdampak langsung pada kualitas pelayanan dan kepuasan pelanggan.



Gambar 2. 4 Sistem Distribusi Listrik

Dalam sistem distribusi tenaga listrik, gangguan dapat disebabkan oleh berbagai faktor, seperti kondisi lingkungan, usia peralatan, kesalahan operasi, maupun gangguan eksternal seperti pohon tumbang dan hewan. Oleh karena itu, keandalan sistem distribusi tidak hanya ditentukan oleh kualitas peralatan, tetapi juga oleh desain jaringan, sistem proteksi, serta metode pengoperasian jaringan tersebut.

Secara kuantitatif, tingkat keandalan sistem distribusi dinilai menggunakan indeks

keandalan yang telah distandardisasi secara internasional, seperti SAIDI dan SAIFI. Indeks-indeks ini digunakan sebagai dasar evaluasi kinerja jaringan dan menjadi parameter utama dalam penelitian ini untuk menilai kondisi eksisting serta perencanaan peningkatan keandalan pada Feeder Tapakis Zona 2 Section 1.

2.1.6 Hubungan Segmentasi Jaringan dengan Nilai SAIDI dan SAIFI

Segmentasi jaringan distribusi merupakan salah satu metode utama untuk meningkatkan keandalan sistem tenaga listrik. Dengan membagi jaringan menjadi beberapa section yang lebih kecil, gangguan yang terjadi pada satu section tidak akan memadamkan seluruh feeder. Segmentasi ini dilakukan dengan menambahkan peralatan switching pada titik-titik strategis jaringan.

Tanpa segmentasi yang baik, satu gangguan akan menyebabkan pemadaman pada seluruh pelanggan di belakang titik gangguan. Hal ini akan meningkatkan nilai SAIFI karena banyak pelanggan terdampak, serta meningkatkan nilai SAIDI karena proses pemulihan menjadi lebih lama. Oleh karena itu, segmentasi jaringan memiliki pengaruh langsung terhadap kedua indeks keandalan tersebut.

Dalam perencanaan segmentasi jaringan, digunakan pendekatan perhitungan jumlah pelanggan per section sebagai berikut:

$$' = \quad (2.3)$$

dengan:

'=jumlah pelanggan per section setelah segmentasi

=jumlah pelanggan sebelum segmentasi

= jumlah section hasil pembagian

Pendekatan ini digunakan pada Bab IV untuk mengevaluasi efektivitas perencanaan pemasangan LBS Motorized.

2.1.7 Load Break Switch Motorized (LBS-M) sebagai Solusi Otomasi Jaringan

Load Break Switch Motorized merupakan pengembangan dari LBS konvensional yang dilengkapi dengan sistem penggerak motor dan antarmuka komunikasi. Dengan teknologi ini, operasi buka-tutup jaringan dapat dilakukan secara otomatis atau melalui perintah jarak jauh dari pusat pengendalian.



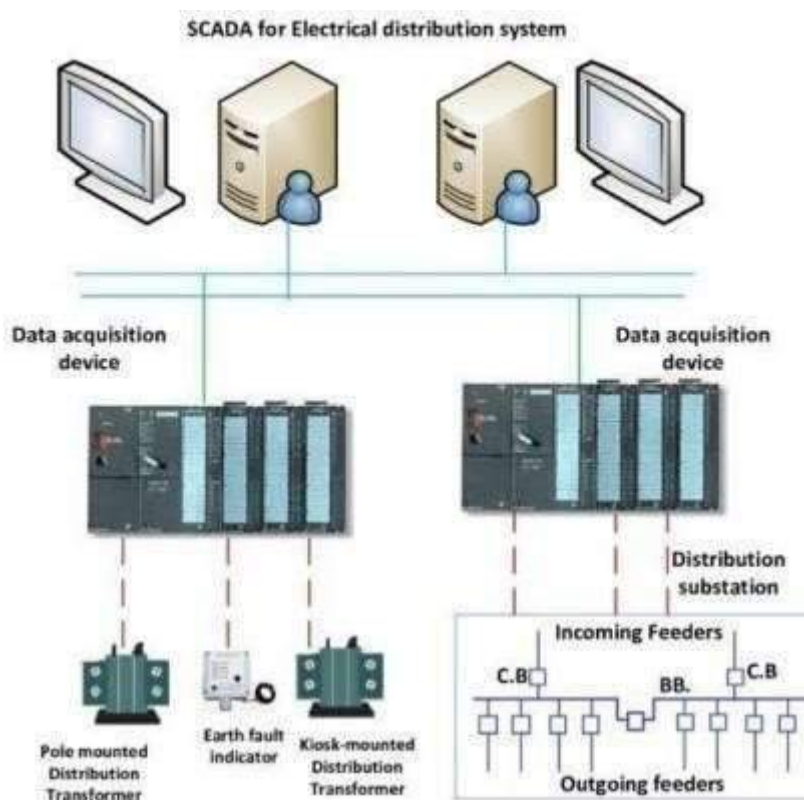
Gambar 2. 5 LBS Motorized

Keunggulan utama LBS Motorized adalah kemampuannya dalam mempercepat proses isolasi gangguan dan restorasi suplai listrik. Waktu yang sebelumnya dibutuhkan untuk perjalanan petugas dan manuver manual dapat dikurangi secara signifikan. Hal ini berdampak langsung pada penurunan nilai SAIDI.

Selain itu, LBS Motorized juga berperan dalam mengurangi nilai SAIFI karena mampu membatasi area terdampak gangguan melalui segmentasi jaringan yang lebih baik. Oleh karena itu, perencanaan pemasangan LBS Motorized menjadi salah satu strategi utama dalam peningkatan keandalan sistem distribusi.

2.1.8 Sistem Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) pada Jaringan Distribusi

Sistem Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) merupakan sistem pengendalian dan pemantauan jarak jauh yang digunakan untuk meningkatkan efisiensi dan keandalan pengoperasian jaringan distribusi tenaga listrik. SCADA memungkinkan operator di pusat pengendalian untuk memantau kondisi jaringan secara real-time, termasuk parameter arus, tegangan, status saklar, serta indikasi gangguan yang terjadi di lapangan. Dengan sistem ini, keputusan operasional dapat diambil secara cepat dan tepat berdasarkan data aktual.



Gambar 2. 6 SCADA Jaringan Listrik

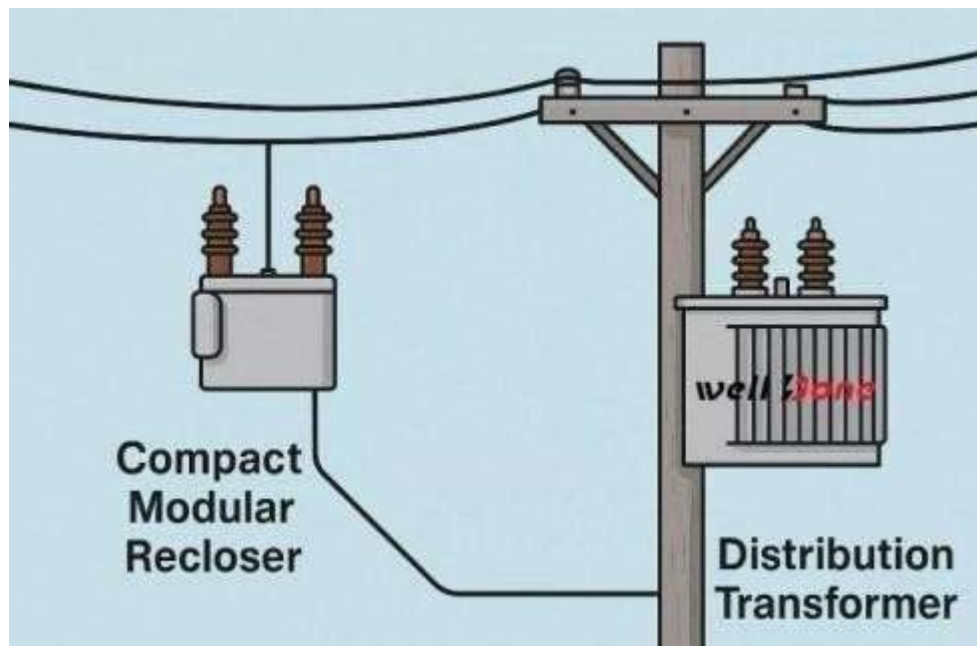
Pada jaringan distribusi konvensional tanpa SCADA, proses penanganan gangguan sangat bergantung pada laporan pelanggan dan inspeksi lapangan oleh petugas. Kondisi ini menyebabkan keterlambatan dalam identifikasi lokasi gangguan dan memperpanjang durasi pemadaman. Dengan integrasi SCADA, informasi gangguan dapat diterima secara

langsung oleh operator, sehingga proses isolasi gangguan dapat segera dilakukan tanpa menunggu konfirmasi manual dari lapangan.

Dalam konteks keandalan sistem distribusi, SCADA memiliki peran penting dalam menurunkan nilai SAIDI karena mampu mempercepat proses restorasi suplai listrik. Selain itu, dengan adanya kendali jarak jauh terhadap peralatan switching seperti LBS Motorized, SCADA juga mendukung segmentasi jaringan yang lebih efektif, sehingga jumlah pelanggan terdampak gangguan dapat dikurangi dan nilai SAIFI menjadi lebih rendah.

2.1.9 Koordinasi Proteksi antara Recloser dan Load Break Switch Motorized

Koordinasi proteksi merupakan pengaturan kerja antar peralatan proteksi pada jaringan distribusi agar gangguan dapat diisolasi secara selektif dan efisien. Pada feeder distribusi, peralatan proteksi utama seperti recloser harus dikoordinasikan dengan peralatan switching lainnya, termasuk Load Break Switch Motorized, untuk memastikan bahwa hanya bagian jaringan yang terganggu saja yang diputuskan.



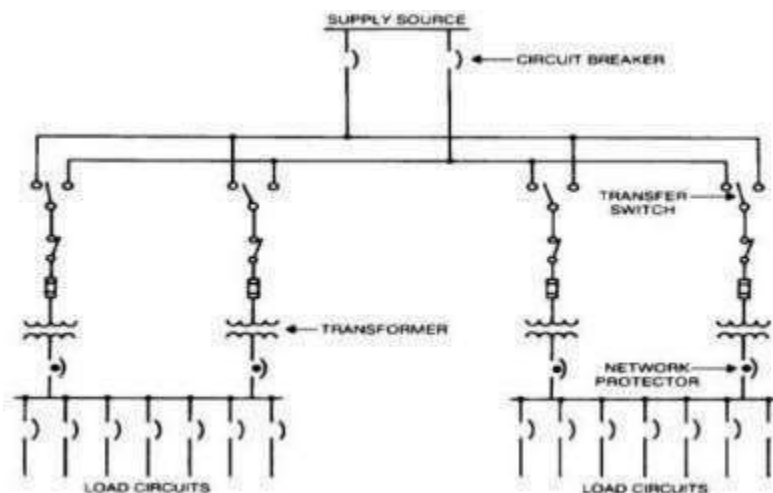
Gambar 2. 7 Recloser Jaringan Distribusi

Recloser berfungsi sebagai pengaman utama yang akan membuka rangkaian secara otomatis ketika terjadi gangguan arus lebih atau hubung singkat. Namun, tanpa dukungan segmentasi jaringan yang baik, operasi recloser dapat menyebabkan pemadaman meluas. Dengan adanya LBS Motorized yang terkoordinasi dengan recloser, proses isolasi gangguan dapat dilakukan secara bertahap, sehingga area yang tidak terganggu dapat segera dipulihkan.

Koordinasi proteksi yang baik akan berdampak langsung terhadap peningkatan keandalan sistem distribusi. Dengan pengaturan koordinasi yang tepat, jumlah pelanggan terdampak gangguan dapat diminimalkan, sehingga nilai SAIFI menurun. Selain itu, waktu pemulihan suplai listrik juga menjadi lebih singkat karena proses manuver jaringan dapat dilakukan secara sistematis dan terencana.

2.1.10 Konfigurasi Jaringan Distribusi Radial dan Kelemahannya

Konfigurasi jaringan distribusi radial merupakan konfigurasi yang paling umum digunakan pada sistem distribusi tenaga listrik, khususnya di wilayah dengan kepadatan beban rendah hingga menengah. Pada konfigurasi ini, energi listrik disalurkan dari satu sumber menuju pelanggan melalui satu jalur utama tanpa jalur alternatif. Keunggulan utama jaringan radial adalah kesederhanaan desain dan biaya investasi yang relatif rendah.



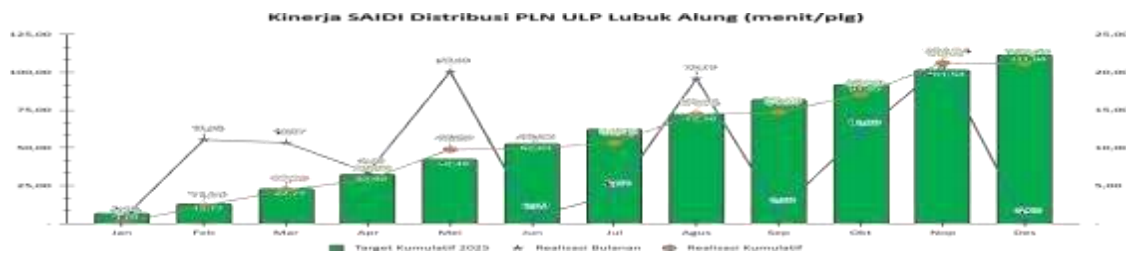
Gambar 2. 8 Konfigurasi Jaringan Radial

Namun, jaringan distribusi radial memiliki kelemahan utama dari sisi keandalan. Apabila terjadi gangguan pada satu titik di jalur utama, maka seluruh pelanggan di bagian hilir jaringan akan mengalami pemadaman. Kondisi ini menyebabkan jaringan radial sangat rentan terhadap gangguan, terutama pada feeder dengan panjang jaringan yang besar dan jumlah pelanggan yang banyak.

Dalam penelitian ini, Feeder Tapakis memiliki konfigurasi jaringan radial, sehingga satu gangguan pada Zona 2 Section 1 dapat berdampak pada banyak pelanggan. Oleh karena itu, diperlukan upaya peningkatan keandalan melalui penambahan peralatan switching dan segmentasi jaringan, seperti yang dianalisis melalui perencanaan pemasangan LBS Motorized.

2.1.11 Pengaruh Durasi Pemadaman terhadap Nilai SAIDI

Durasi pemadaman merupakan salah satu faktor utama yang mempengaruhi nilai SAIDI pada sistem distribusi tenaga listrik. Semakin lama waktu pemadaman yang dialami pelanggan, maka semakin besar nilai SAIDI yang dihasilkan. Durasi pemadaman ini dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti waktu deteksi gangguan, waktu perjalanan petugas, serta kompleksitas manuver jaringan.



Gambar 2. 9 Pengaruh Durasi Padam terhadap SAIDI PT PLN ULP Lubuk Alung Pada

sistem distribusi tanpa otomasi, durasi pemadaman cenderung lebih lama karena proses penanganan gangguan dilakukan secara manual. Petugas harus melakukan penelusuran gangguan di lapangan, mengidentifikasi lokasi gangguan, dan melakukan manuver jaringan secara bertahap. Proses ini membutuhkan waktu yang tidak sedikit, terutama pada jaringan dengan cakupan wilayah yang luas.

Dengan penerapan peralatan switching otomatis seperti LBS Motorized dan dukungan SCADA, durasi pemadaman dapat ditekan secara signifikan. Hal ini karena proses isolasi gangguan dan restorasi suplai dapat dilakukan lebih cepat dan terkoordinasi, sehingga nilai SAIDI dapat diturunkan sebagaimana dianalisis pada Bab IV.

2.1.12 Analisis Jumlah Pelanggan Terdampak dalam Evaluasi Keandalan

Jumlah pelanggan terdampak merupakan parameter penting dalam evaluasi keandalan sistem distribusi tenaga listrik. Parameter ini secara langsung mempengaruhi nilai SAIFI dan SAIDI, karena kedua indeks tersebut mempertimbangkan jumlah pelanggan yang mengalami gangguan. Oleh karena itu, analisis jumlah pelanggan terdampak menjadi dasar utama dalam perencanaan peningkatan keandalan jaringan.

Tabel 2. 1 Jumlah Pelanggan Tedampak

Bulan	Jumlah Plg	Jam x Plg Padam		Plg Padam	
		Bulanan	Kumulatif	Bulanan	Kumulatif
Jan	64,838	525	525	570	570
Feb	65,027	12,006	12,530	12,161	12,731
Mar	65,209	11,595	24,126	7,968	20,699
Apr	65,402	7,371	31,496	6,059	26,758
Mei	65,624	21,980	53,476	9,869	36,627
Jun	65,809	954	54,430	1,064	37,691
Jul	66,040	4,212	58,642	1,960	39,651
Agus	66,264	21,150	79,792	6,290	45,941
Sep	66,460	1,767	81,559	1,851	47,792
Okt	66,683	13,215	94,774	12,805	60,597
Nop	66,683	23,297	118,071	11,516	72,113
Des	66,983	275	118,345	140	72,253

Pada jaringan distribusi tanpa segmentasi yang memadai, satu gangguan dapat menyebabkan pemadaman pada seluruh pelanggan di belakang titik gangguan. Kondisi ini

menyebabkan jumlah pelanggan terdampak menjadi besar, sehingga nilai SAIFI dan SAIDI meningkat. Hal ini terjadi meskipun frekuensi gangguan relatif rendah.

Dalam perencanaan keandalan, digunakan pendekatan pengurangan pelanggan terdampak melalui segmentasi jaringan. Secara matematis, pengurangan pelanggan terdampak dapat dinyatakan sebagai:

$$= \frac{N - N'}{N} \times 100\% \quad (2.4)$$

dengan:

N = jumlah pelanggan terdampak sebelum segmentasi

N' = jumlah pelanggan terdampak setelah segmentasi

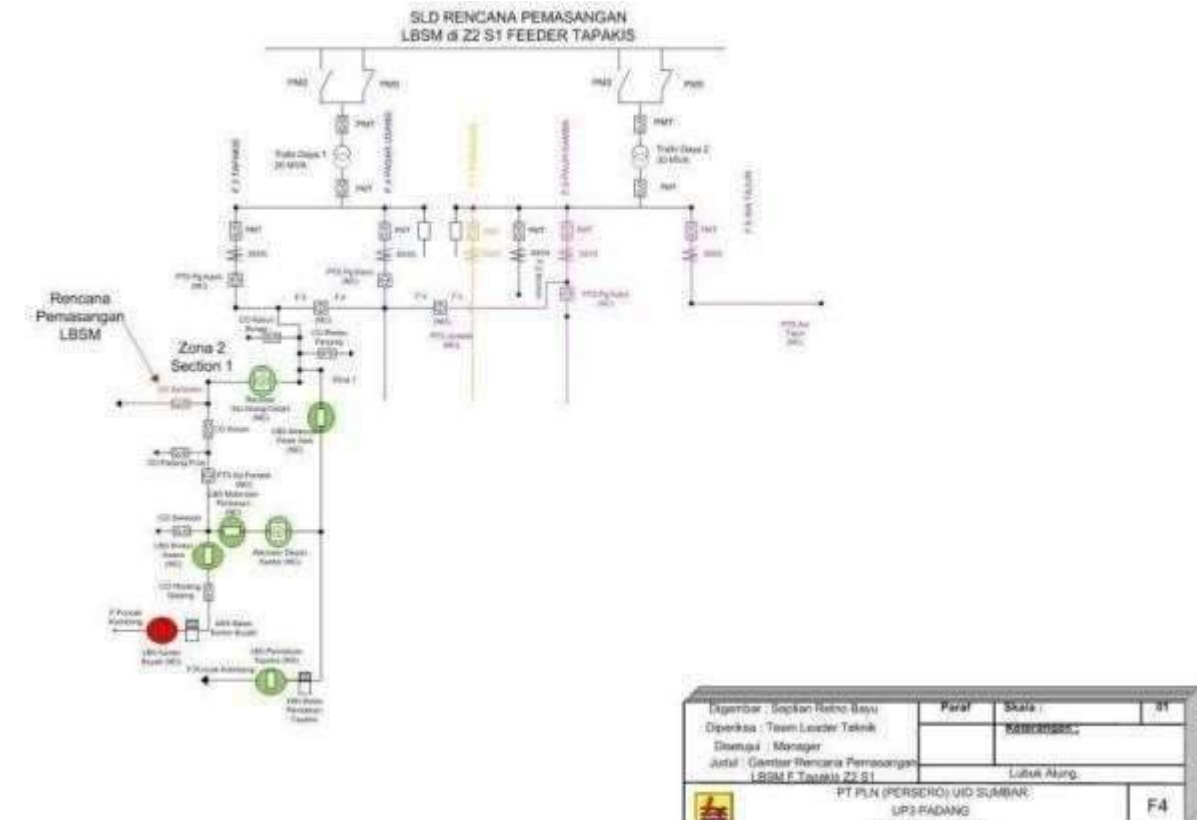
Rumus ini digunakan pada Bab IV untuk mengevaluasi efektivitas perencanaan pemasangan LBS Motorized pada Feeder Tapakis.

2.1.13 Perencanaan Pemasangan Load Break Switch (LBS) pada Jaringan Distribusi

Perencanaan pemasangan Load Break Switch (LBS) pada jaringan distribusi tenaga listrik merupakan tahapan penting dalam upaya peningkatan keandalan sistem. Perencanaan ini dilakukan untuk menentukan lokasi pemasangan LBS yang paling efektif dalam membatasi area terdampak gangguan serta mempercepat proses pemulihan suplai listrik. LBS dipasang bukan sekadar sebagai peralatan pemutus, tetapi sebagai bagian dari strategi segmentasi jaringan agar sistem distribusi dapat dioperasikan secara lebih fleksibel dan selektif.

Dalam perencanaan pemasangan LBS, beberapa faktor utama harus dipertimbangkan, antara lain konfigurasi jaringan, distribusi jumlah pelanggan, panjang jaringan, serta riwayat gangguan. Pada jaringan distribusi dengan konfigurasi radial, satu gangguan dapat menyebabkan pemadaman pada seluruh pelanggan di sisi hilir jaringan. Oleh karena itu, pemasangan LBS direncanakan pada titik-titik strategis yang mampu

memisahkan jaringan menjadi beberapa section operasional. Dengan demikian, gangguan yang terjadi hanya berdampak pada section tertentu tanpa memadamkan seluruh feeder.



Gambar 2. 10 Singel Line Diagram Pemasangan LBS

Pendekatan kuantitatif digunakan dalam perencanaan pemasangan LBS untuk memastikan bahwa lokasi yang dipilih memberikan dampak maksimal terhadap peningkatan keandalan. Salah satu pendekatan yang digunakan adalah analisis jumlah pelanggan pada setiap section jaringan.

Selain itu, perencanaan pemasangan LBS juga mempertimbangkan potensi penurunan indeks keandalan SAIDI dan SAIFI. Dengan berkurangnya jumlah pelanggan terdampak dan semakin cepatnya proses isolasi gangguan, nilai SAIFI dapat ditekan karena frekuensi gangguan yang dirasakan pelanggan menjadi lebih kecil. Sementara itu, nilai

SAIDI dapat diturunkan karena durasi pemadaman menjadi lebih singkat akibat kemudahan manuver jaringan.

Dalam penelitian ini, perencanaan pemasangan LBS difokuskan pada Zona 2 Section 1 Feeder Tapakis, yang memiliki jumlah pelanggan besar dan berpotensi menimbulkan dampak pemadaman yang luas. Perencanaan ini dilakukan sebagai langkah strategis untuk meningkatkan keandalan jaringan distribusi secara menyeluruh dan menjadi dasar analisis pada Bab IV dalam mengevaluasi peningkatan kinerja sistem distribusi tenaga listrik.

2.1.14 Karakteristik dan Pemilihan Merk Load Break Switch (LBS) pada Jaringan Distribusi

Pemilihan merk Load Break Switch (LBS) pada jaringan distribusi tenaga listrik merupakan bagian penting dalam tahap perencanaan peralatan sistem distribusi. Setiap merk LBS memiliki karakteristik teknis, fitur operasional, serta tingkat kompatibilitas yang berbeda terhadap sistem jaringan dan sistem pengendalian yang digunakan oleh perusahaan penyedia tenaga listrik. Oleh karena itu, pemilihan merk LBS tidak hanya didasarkan pada ketersediaan di pasaran, tetapi juga harus mempertimbangkan kesesuaian spesifikasi teknis dengan kebutuhan sistem, tingkat keandalan, serta kemudahan integrasi dengan sistem otomasi dan SCADA.

Beberapa merk LBS yang umum digunakan dan tersedia di pasar jaringan distribusi tegangan menengah antara lain ENTEC, SINTRA, TECHPRO, KWANGMYUNG, SCHNEIDER, JOONGWON, COOPER, JINKWANG, YASKAWA, SHINSUNG, ADVVC, dan RECCOOPER. Merek-merek tersebut berasal dari berbagai produsen internasional maupun regional yang telah mengembangkan LBS untuk aplikasi jaringan distribusi luar ruang (outdoor) maupun dalam gardu distribusi. Perbedaan utama antar merk biasanya terletak pada media pemutus, kapasitas arus nominal, kemampuan pemutusan arus gangguan, sistem penggerak (manual atau motorized), serta dukungan sistem komunikasi untuk keperluan otomasi jaringan.

Dalam konteks perencanaan pemasangan LBS pada jaringan distribusi, karakteristik teknis seperti tegangan nominal, arus nominal, breaking capacity, dan tingkat proteksi lingkungan menjadi parameter utama yang harus dipenuhi. Selain itu, kemampuan LBS untuk dioperasikan secara motorized dan terintegrasi dengan sistem pengendalian jarak jauh menjadi faktor penting dalam mendukung peningkatan keandalan jaringan. LBS dengan kemampuan motorized memungkinkan proses isolasi gangguan dan manuver jaringan dilakukan lebih cepat dibandingkan LBS manual, sehingga berdampak langsung pada penurunan durasi pemadaman dan peningkatan keandalan sistem.

Tabel 2. 2 Perbandingan Umum Spesifikasi Teknis Merk Load Break Switch (LBS)

Merk	Tegangan Nominal (kV)	Arus Nominal (A)	Breaking Capacity (kA)	Media Pemutus	Motorized
ENTEC	24-Dec	200–1250	12,5–25	SF ₆ / Vacuum	Ya
SINTRA	24-Dec	400–1250	12,5–20	SF ₆ / Vacuum	Ya
TECHPRO	24-Dec	200–630	10–16	Vacuum	Opsional
KWANGMYUNG	24-Dec	400–1250	12,5–16	SF ₆	Ya

Merk	Tegangan Nominal (kV)	Arus Nominal (A)	Breaking Capacity (kA)	Media Pemutus	Motorized
SCHNEIDER	24-Dec	200–1250	12,5–25	Vacuum / SF ₆	Ya
JOONGWON	24-Dec	200–630	12–16	SF ₆ / Vacuum	Ya
COOPER	24-Dec	200–1250	12,5–25	Vacuum / SF ₆	Ya
JINKWANG	24-Dec	200–630	12,5–16	SF ₆	Ya
YASKAWA	–	–	–	–	Ya (motor)
SHINSUNG	24-Dec	200–1250	12,5–20	SF ₆ / Vacuum	Ya

Merk	Tegangan Nominal (kV)	Arus Nominal (A)	Breaking Capacity (kA)	Media Pemutus	Motorized
ADVC	24-Dec	200–630	12–16	Vacuum	Ya
RECCOOPER	24-Dec	200–1250	12,5–25	Vacuum / SF ₆	Ya

Berdasarkan tabel perbandingan spesifikasi, dapat diketahui bahwa secara umum seluruh merk LBS yang digunakan telah memenuhi kebutuhan dasar jaringan distribusi tegangan menengah, yaitu mampu beroperasi pada tegangan 12 kV hingga 24 kV serta memiliki kapasitas arus nominal yang sesuai dengan beban feeder distribusi. Namun demikian, perbedaan karakteristik teknis antar merk perlu diperhatikan secara cermat dalam tahap perencanaan, khususnya terkait kemampuan pemutusan arus gangguan dan dukungan sistem otomasi.

Merk-merk LBS yang telah dilengkapi dengan sistem penggerak motorized dan antarmuka komunikasi memiliki keunggulan dalam mendukung peningkatan keandalan jaringan. Dengan fitur motorized, LBS dapat dioperasikan dari jarak jauh sehingga proses isolasi gangguan dapat dilakukan lebih cepat tanpa menunggu petugas di lapangan. Hal ini sangat relevan dengan analisis keandalan yang dilakukan pada Bab IV, di mana pengurangan durasi pemadaman dan jumlah pelanggan terdampak menjadi faktor utama dalam penurunan nilai indeks SAIDI dan SAIFI.

Dalam penelitian ini, LBS merk **JOONGWON** dipilih sebagai acuan perencanaan karena memiliki spesifikasi teknis yang sesuai dengan kebutuhan jaringan, mendukung pengoperasian motorized, serta kompatibel dengan sistem pengendalian jarak jauh.

Pemilihan merk ini didasarkan pada pertimbangan teknis dan operasional, bukan semata-mata faktor merek, sehingga hasil perencanaan tetap bersifat objektif dan dapat diaplikasikan pada merk LBS lain dengan spesifikasi setara.

Dengan demikian, pembahasan mengenai merk LBS dalam penelitian ini tidak dimaksudkan untuk membandingkan kualitas antar produsen secara komersial, melainkan untuk menunjukkan bahwa pemilihan LBS dalam perencanaan jaringan distribusi harus mempertimbangkan kesesuaian spesifikasi teknis, kemampuan otomasi, serta kontribusinya terhadap peningkatan keandalan sistem distribusi tenaga listrik.

2.2. Penelitian yang Relevan

Beberapa penelitian terdahulu yang relevan dengan kajian mengenai penerapan Load Break Switch Motorized untuk meningkatkan keandalan jaringan distribusi dijabarkan sebagai berikut:

1. Menurut Izadd, A. (2022), dalam jurnal yang berjudul “Load Break Analysis on Distribution Feeder Power Flow using ETAP Software” Studi ini menggunakan simulasi ETAP 12.6.0 untuk menganalisis pengaruh pemasangan Load Break Switch (LBS) terhadap profil tegangan dan rugi daya pada jaringan distribusi tegangan menengah. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan tegangan ujung penyulang dari 19,27 kV menjadi 19,7 kV serta penurunan rugi daya dari 0,183 MW menjadi 0,116 MW [17]
2. Menurut Agarwal, U., Jain, N., & Kumawat, M. (2022), dalam jurnal yang berjudul “Reliability Enhancement of Distribution Networks with Remote-Controlled Switches Considering Load Growth under the Effects of Hidden Failures and Component Aging” Penelitian ini menganalisis dampak penerapan Remote-Controlled Switches (RCS) pada sistem distribusi 11 kV dan 20 kV. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pemasangan peralatan otomasi seperti LBS Motorized dan Recloser dapat menurunkan nilai SAIFI hingga 49% dan SAIDI hingga 35% dibandingkan sistem manual. Studi ini juga menunjukkan bahwa pertumbuhan beban

dan usia komponen berpengaruh terhadap tingkat keandalan, sehingga dibutuhkan strategi perencanaan berbasis otomatisasi jaringan [18].

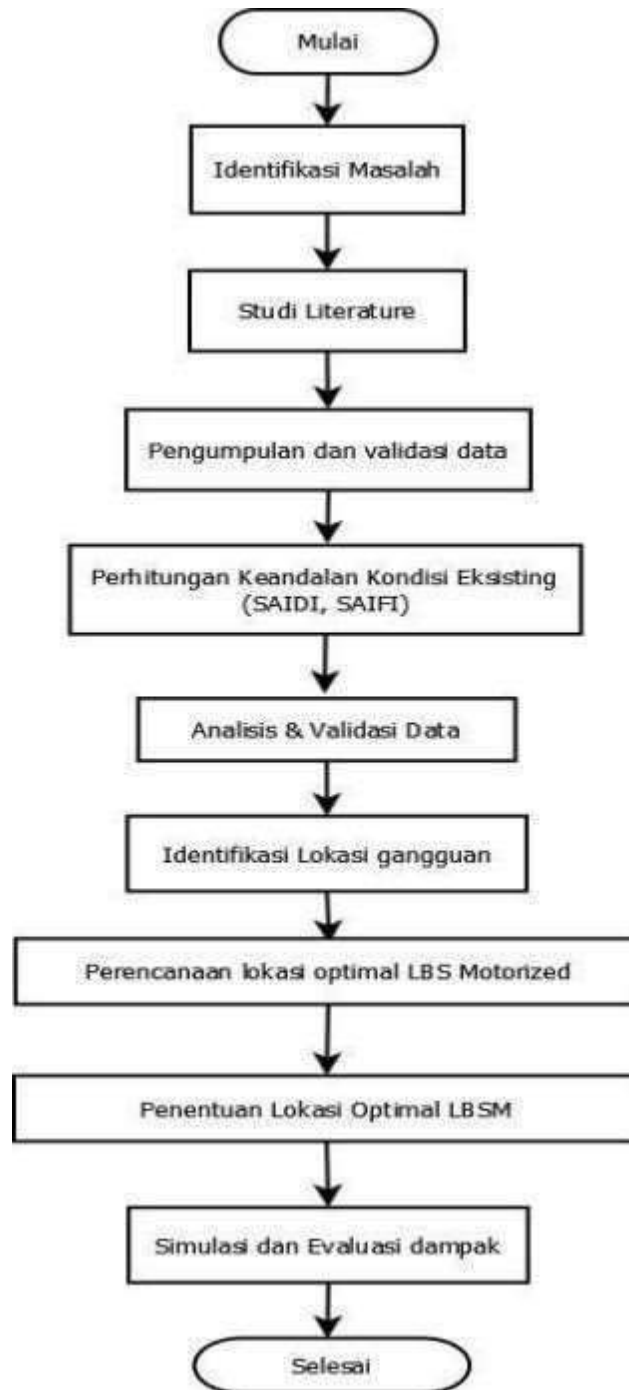
3. Menurut Sadiq, E. (2025), dalam jurnal yang berjudul “Reliability Improvement of Distribution Networks: A Case Study” Penelitian ini mengkaji penerapan LBS Motorized dan Recloser pada jaringan distribusi 20 kV di wilayah perkotaan dengan sistem radial. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan keandalan sistem dengan penurunan SAIDI sebesar 41% dan SAIFI sebesar 33%. Selain itu, waktu isolasi gangguan dapat dipangkas dari 8 menit menjadi hanya 25 detik berkat otomatisasi sistem SCADA [19].
4. Lubis, M. D., & Saragih, I. (2021), dalam jurnal yang berjudul “Reliability Distribution System on Load Break Switch Addition at PT PLN (Persero) ULP Langsa City Using RIA-Section Technique Combined Method on ETAP 14.1.0” Penelitian ini dilakukan di lingkungan PT PLN (Persero) ULP Langsa, dengan tujuan menilai peningkatan keandalan sistem distribusi melalui penambahan Load Break Switch (LBS) menggunakan metode RIA-Section dan simulasi ETAP. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan nilai keandalan sistem hingga 27,68%, serta pengurangan luas area terdampak setiap kali gangguan terjadi [20].

Berdasarkan berbagai penelitian terdahulu di atas, dapat disimpulkan bahwa penerapan Load Break Switch Motorized (LBS-M) secara strategis pada jaringan distribusi 20 kV:

- a. Terbukti meningkatkan keandalan sistem dengan menurunkan nilai SAIDI dan SAIFI,
- b. Mengurangi durasi dan frekuensi gangguan melalui isolasi otomatis,
- c. Memperbaiki efisiensi sistem distribusi melalui pengendalian jarak jauh berbasis SCADA,
- d. Dan relevan untuk diterapkan pada Feeder Tapakis Zona 2 Section 1 ULP Lubuk Alung, yang memiliki tingkat gangguan tinggi (31 kali dalam 18 bulan).

Dengan demikian, penelitian ini memperkuat justifikasi teknis dan ilmiah terhadap perancangan pemasangan Load Break Switch Motorized sebagai strategi peningkatan keandalan jaringan distribusi PLN UID Sumatera Barat.

2.3 Kerangka Pemikiran



Gambar 2. 11 Kerangka Pemikiran

Berdasarkan uraian di atas, kerangka pemikiran penelitian ini dibangun dari hubungan antara permasalahan keandalan jaringan distribusi dan solusi peningkatan melalui penerapan Load Break Switch Motorized.

Melalui analisis keandalan, perancangan titik optimal, serta simulasi sistem, diharapkan penelitian ini dapat menunjukkan peningkatan nilai SAIDI dan SAIFI setelah pemasangan Load Break switch Motorized, memberikan rekomendasi teknis yang aplikatif bagi PLN ULP Lubuk Alung, mendukung pengembangan Smart Distribution System di lingkungan PLN UID Sumatera Barat.