

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Yang Relevan

Bagian ini menerangkan ringkasan singkat mengenai penelitian terdahulu yang berkaitan dengan topik penelitian. Peneliti menggunakan jurnal terdahulu yang selaras terhadap topik yang bertujuan untuk memperkuat maksud dan tujuan penelitian ini dilakukan. Beberapa hasil penelitian terdahulu yang dijadikan acuan yakni :

1. I wayan sukadana, I nyoman suartika, tahun 2019.

Dalam jurnal tersebut dilakukan analisa terhadap optimalisasi LBS Motorized pada penyulang cokro disimpulkan bahwa dapat mempersingkat proses manuver, sehingga SAIDI dan potensi kehilangan kWh jual dapat ditekan. Hasil analisa pada penyulang cokro menunjukkan bahwa jika terjadi gangguan permanen pada section 3, optimalisasi LBS terbukti menurunkan 95% kWh tidak terjual yaitu 525 kwh menjadi 26,25 kWh.[1]

2. Ganda Prawira, Usaha Situmeang, Monice, Juni 2025.

Dalam jurnal tersebut dilakukan analisa kelayakan pemasangan LBS pada penyulang Anoa. Metode penelitian menggunakan simulasi untuk memperkecil jumlah pelanggan padam. Total rata – rata indeks SAIDI dalam satu tahun 2022 sebelum pemasangan LBS adalah 5,2 jam/pelanggan/tahun, setelah pemasangan LBS menjadi 1,4 jam jam/pelanggan/tahun. Selisi SAIDI sebelum dan sesudah pemasangan LBS sebesar 73%. Total indeks SAIFI sebelum pemasangan LBS yaitu 3,2 kali/pelanggan/tahun, setelah pemasangan menjadi 3,2 kali/pelanggan/tahun. Selisih indeks sebelum dan sesudah pasang LBS adalah 89%. Total ENS sebelum pemasangan LBS sebesar 61215,906 kWh, setelah pemasangan total ENS menjadi 17941,67 kWh, dengan total selisih sebesar 70,69% penurunan.[2]

3. Syarifah, Rudy Kurniawan, Asmar tahun 2021

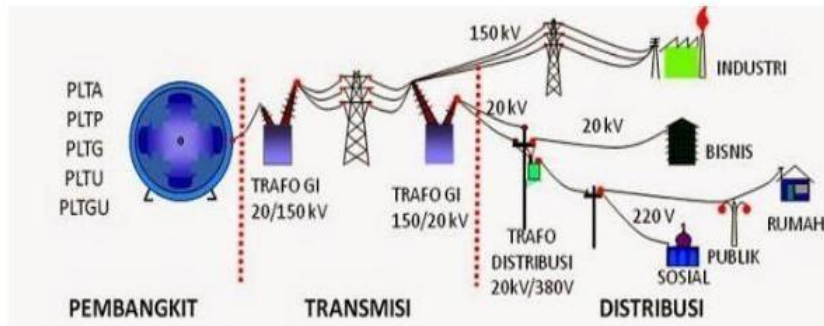
Dalam jurnal tersebut dilakukan analisa kelayakan pemasangan LBS pada penyulang rindik pada proses manuver antar penyulang dengan menggunakan pendekatan simulasi summry report pada software. Simulasi tersebut dilakukan pada 3 penyulang berbeda yaitu penyulang bencah, penyulang rindik dan penyulang kota. Hasil simulasi manver beban dari ketiga penyulang yang paling direkomendasikan sebagai lokasi pemasangan LBS untuk manuver yaitu penyulang Bencah dengan

- rugi daya paling kecil yaitu 0,129 MW. Hasil analisa tersebut menunjukkan bahwa pemasangan LBS menghasilkan tegangan ujung yang baik, serta memiliki rugi – rugi daya paling kecil.[3]
4. Ibnu Hajar, Muhammad Hasbi Pratama, Juni 2018
Dalam jurnal tersebut dilakukan analisa nilai SAIDI dan SAIFI sebagai indeks keandalan pada penyulang cahaya berdasarkan data gangguan dan pemadaman yang terjadi. Dalam penelitian ini, diperoleh $SAIDI \leq 12,842$ jam/pelanggan dan $SAIFI \leq 2,415$ pemadaman/pelanggan. Maka hasil Analisa SAIDI SAIFI pada penyulang cahaya adalah handal karena sesuai dengan SPLN 59:1985 tentang kehandalan 20 kV.[4]
 5. Nurmiati Pasra, Muh Fajri, Samsurizal, Juni 2022
Dalam jurnal tersebut dilakukan analisa tingkat kehandalan pada sistem UP3 Biak dengan menggunakan indeks SAIDI SAIFI. Setelah dilakukannya pemeliharaan secara berkala berupa perbaikan konstruksi dihasilkan adanya penurunan 90% dan 86% untuk SAIDI dan SAIFI.[5]

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik merupakan suatu kesatuan yang terintegrasi mulai dari pembangkit, transmisi, sampai distribusi dalam upaya menyalurkan listrik dari produsen kepada konsumen. Ada tiga bagian penting dalam proses penyaluran tenaga listrik, yaitu pembangkitan, penyaluran (transmisi), dan distribusi. Struktur tenaga Listrik atau system tenaga Listrik sangat besar dan kompleks karena terdiri atas komponen peralatan atau mesin Listrik seperti generator, transformator, beban dan alat – alat pengaman dan pengaturan yang saling dihubungkan membentuk suatu sistem yang digunakan untuk membangkitkan, menyalurkan, dan menggunakan energi Listrik. Skema Sistem tenaga listrik di perlihatkan pada Gambar 2.1



Gambar 2. 1 Skema Sistem tenaga Listrik

Sistem distribusi tenaga listrik berfungsi untuk menyalurkan energi listrik dari gardu induk ke konsumen. Pada umumnya sistem distribusi tenaga listrik terdiri dari dua bagian yaitu :

1. Sistem Distribusi Primer

Jaringan distribusi primer berfungsi sebagai sistem tenaga listrik yang menyalurkan energi listrik dari gardu induk / gardu hubung menuju gardu distribusi dengan tegangan 20kV. Komponen utama dari sistem distribusi primer antara lain penyulang (*Feeder*), gardu distribusi serta komponen proteksi jaringan dan pengendalian seperti *Circuit Breaker* (CB), Recloser, dan *Load Break Switch* (LBS). Sistem konstruksi saluran distribusi primer terdiri dari saluran udara (SUTM) dan saluran bawah tanah (SKTM).

2. Sistem Distribusi Sekunder

Jaringan distribusi sekunder berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik bertegangan rendah (misal 220 V/380 V). Penghantar dari distribusi sekunder ini berupa LVTC (*Low Voltage Twisted Cable*) yang menghubungkan dari gardu distribusi ke pelanggan. Tegangan.

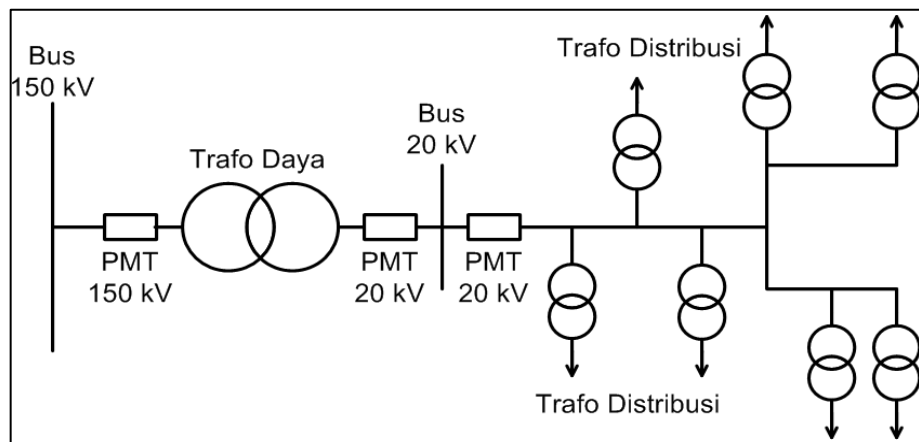
2.2.2 Konfigurasi Jaringan Distribusi

Jaringan pada sistem Distribusi tegangan menengah (Primer 20 kV) dapat dikelompokkan menjadi yaitu jaringan radial, jaringan lingkaran (Loop) dan jaringan spindel.

- Konfigurasi Jaringan Distribusi Radial

Jaringan radial merupakan konfigurasi dengan satu daya berasal dari satu titik sumber dan karena adanya percabangan maka arus beban yang mengalir disepanjang saluran menjadi tidak sama sehingga luas penampang konduktor pada jaringan tidak sama karena arus yang paling besar mengalir pada jaringan yang paling dekat dengan

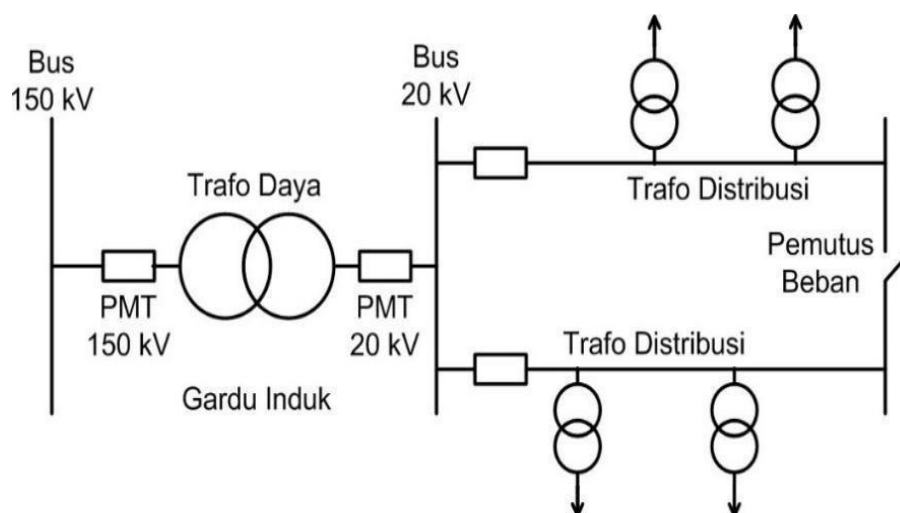
gardu induk. Jaringan ini hanya mempunyai satu pasokan tenaga listrik, jika terjadi gangguan akan terjadi “black-out” atau padam pada bagian yang tidak dapat dipasok.



Gambar 2. 2 Konfigurasi Jaringan Radial

- Konfigurasi Jaringan Distribusi Loop

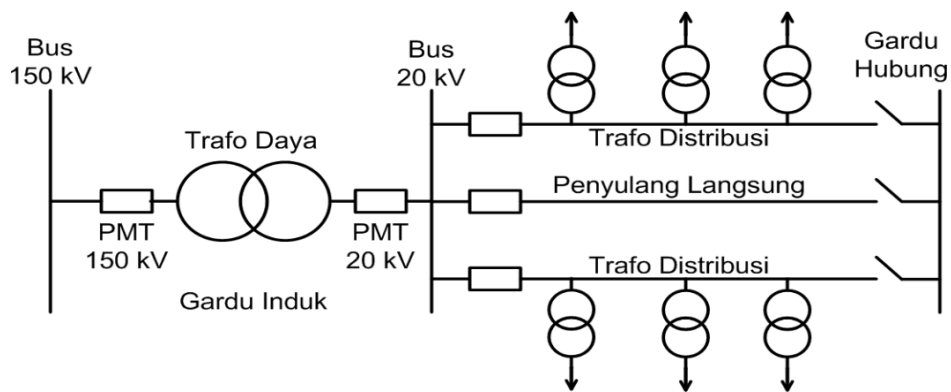
Sistem jaringan distribusi Loop adalah bentuk konfigurasi jaringan yang memungkinkan alternatif lain dalam pemasokan sumber energi listrik dari dua arah. Konfigurasi ini dengan skema untuk mengurangi lama pemutusan daya yang disebabkan oleh gangguan dengan menyambungkan kedua ujung saluran, sehingga keandalan sistem ini lebih baik dari pada sistem jaringan distribusi radial. [6]



Gambar 2. 3 Konfigurasi Jaringan Loop

- Konfigurasi Jaringan Distribusi Spindel

Jaringan distribusi spindel merupakan pola jaringan dari pola radial dan loop. Sistem spindel menggunakan 2 jenis penyulang yaitu penyulang cadangan dan penyulang operasi. Penyulang cadangan tidak dibebani dan berfungsi sebagai *back-up supply* jika terjadi gangguan pada penyulang operasi, sehingga sistem ini sudah memperhitungkan perkembangan beban atau penambahan jumlah konsumen sampai beberapa tahun kedepan, sehingga dapat digunakan dalam waktu yang cukup lama.[7]



Gambar 2. 4 Konfigurasi Jaringan Spindel

2.2.3 Keandalan Sistem Distribusi Listrik

Keandalan pada sistem distribusi merupakan ukuran tingkat ketersediaan atau mutu pelayanan dalam penyaluran tenaga listrik dari sistem kepada pengguna atau pelanggan. Tingkat keandalan ini dapat dinilai berdasarkan frekuensi terjadinya pemadaman, durasi pemadaman, serta kecepatan sistem dalam memulihkan kondisi setelah terjadi gangguan (restoration).[8]

Keandalan jaringan distribusi sangat berkaitan dengan terjadinya pemutusan beban atau pemadaman yang disebabkan oleh gangguan pada sistem. Dalam hal ini, keandalan sistem distribusi berbanding terbalik dengan tingkat pemadaman yang terjadi. Semakin sering dan semakin lama pemadaman berlangsung, maka tingkat keandalan sistem akan semakin menurun, dan sebaliknya. Sistem dengan tingkat keandalan yang tinggi mampu menyuplai tenaga listrik secara kontinu sesuai kebutuhan, sedangkan sistem dengan keandalan rendah ditandai oleh rendahnya ketersediaan energi listrik dan seringnya terjadi gangguan atau pemadaman.[6]

2.2.4 Analisis Tingkat Keandalan Jaringan Distribusi

Analisis tingkat keandalan jaringan distribusi adalah suatu metode untuk mengevaluasi dan mengukur keandalan sistem tenaga listrik dalam memberikan pasokan listrik kepada pelanggan. Analisis tingkat keandalan jaringan distribusi bertujuan untuk mengevaluasi keandalan jaringan distribusi dan menentukan faktor-faktor yang dapat mempengaruhi keandalan jaringan distribusi, seperti kegagalan peralatan dan gangguan pada jaringan. Analisis ini dilakukan dengan menggunakan data historis tentang kejadian pemadaman listrik pada jaringan distribusi.[2]

Analisis ini meliputi pengukuran keandalan, ketersediaan, dan kehandalan pasokan listrik dari sistem jaringan distribusi, serta mencari cara untuk meningkatkan kualitas pelayanan, meminimalkan energi yang tidak tersalurkan (ENS), meminimalkan potensi SAIDI dan SAIFI.[5]

Adapun macam-macam tingkatan keandalan dalam pelayanan dapat dibedakan menjadi 3 (tiga) hal, yaitu:

1. Keandalan sistem yang tinggi (*High Reliability System*)

Pada kondisi normal, sistem akan memberikan kapasitas yang cukup untuk menyediakan daya pada beban puncak dengan variasi tegangan yang baik dan dalam keadaan darurat bila terjadi gangguan pada jaringan, maka sistem ini tentu saja diperlukan beberapa peralatan dan pengamanan yang cukup banyak untuk menghindarkan adanya berbagai macam gangguan pada sistem.

2. Keandalan sistem yang menengah (*Medium Reliability System*)

Dalam kondisi operasi normal, sistem mampu menyediakan kapasitas daya yang memadai untuk memenuhi kebutuhan beban puncak dengan kualitas variasi tegangan yang masih berada dalam batas yang diizinkan. Sementara itu, pada kondisi darurat akibat terjadinya gangguan pada jaringan, sistem tersebut tetap dapat melayani sebagian beban meskipun berada pada kondisi beban puncak. Oleh karena itu, diperlukan ketersediaan peralatan yang memadai dalam sistem untuk mengatasi serta menanggulangi berbagai gangguan yang mungkin terjadi.

3. Keandalan sistem yang rendah (*Low Reliability System*)

Pada kondisi operasi normal, sistem mampu menyediakan kapasitas daya yang mencukupi untuk melayani beban puncak dengan kualitas variasi tegangan yang baik. Namun, apabila terjadi gangguan pada jaringan, sistem tersebut tidak dapat melayani

beban sama sekali sehingga diperlukan tindakan perbaikan terlebih dahulu. Pada sistem ini, jumlah peralatan proteksi yang digunakan relatif terbatas.[9]

Kontinuitas pelayanan pada jaringan distribusi sangat bergantung pada jenis dan karakteristik sarana penyalur serta peralatan pengamanan yang digunakan. Sarana penyalur berupa jaringan distribusi memiliki tingkat kontinuitas pelayanan yang ditentukan oleh konfigurasi jaringan dan metode pengaturan operasi sistem, yang secara khusus direncanakan dan dipilih untuk menyesuaikan dengan kebutuhan dan karakteristik beban.[4]

Tingkat kontinuitas pelayanan jaringan distribusi diklasifikasikan berdasarkan lamanya waktu yang dibutuhkan untuk menghidupkan kembali suplai tenaga listrik setelah terjadi pemutusan akibat gangguan (SPLN 52, 1983). Tingkatan kontinuitas tersebut adalah sebagai berikut:

- 1) **Tingkat 1:** Pemadaman berlangsung selama beberapa jam, yaitu waktu yang diperlukan untuk melakukan pencarian dan perbaikan pada bagian jaringan yang mengalami kerusakan akibat gangguan.
- 2) **Tingkat 2:** Pemadaman selama beberapa jam, yang mencakup waktu pengiriman petugas ke lokasi, pelokalisiran gangguan, serta pelaksanaan manuver jaringan untuk menghidupkan sementara suplai dari sumber atau saluran lain.
- 3) **Tingkat 3:** Pemadaman dalam hitungan menit, yaitu melalui manuver yang dilakukan oleh petugas siaga di gardu atau melalui proses deteksi, pengukuran, serta pengendalian jarak jauh dengan bantuan Distribution Control Centre (DCC).
- 4) **Tingkat 4:** Pemadaman dalam hitungan detik, yang ditangani melalui sistem pengamanan dan pengendalian otomatis dari DCC.
- 5) **Tingkat 5:** Tanpa pemadaman, yaitu jaringan dilengkapi dengan instalasi cadangan terpisah serta sistem pengendalian otomatis penuh melalui DCC.

2.2.5 Load Break Switch (LBS)

Berfungsi sebagai pemutus atau penghubung instalasi listrik 20 kV. Pemutus beban dapat dioperasikan dalam keadaan berbeban dan terpasang pada kabel masuk atau keluar gardu distribusi. Kubikel LBS dilengkapi dengan sakelar pembumian yang bekerja secara interlock dengan LBS (PT.PLN, 2010)[10]

Ciri-ciri LBS antaran lain sebagai berikut :

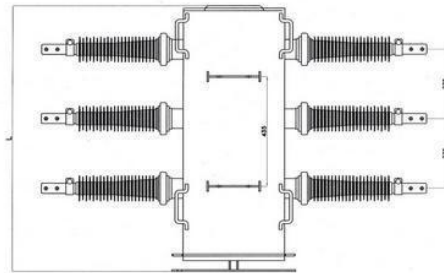
- a) Kemampuan memutus beban: LBS dirancang khusus untuk memutus arus dalam kondisi beban normal atau beroperasi (arus kerja), bukan arus gangguan yang besar.
- b) Operasi manual atau otomatis: LBS dapat dioperasikan secara manual menggunakan tuas atau stik, tetapi juga tersedia dalam versi yang dapat dikendalikan secara otomatis menggunakan panel kontrol atau remote (motorized).
- c) Tidak memiliki proteksi gangguan: LBS tidak dilengkapi dengan sistem proteksi untuk memutus arus hubung singkat. Oleh karena itu, LBS sering kali dipasang bersama dengan sekering (fuse) untuk memberikan perlindungan terhadap arus gangguan.
- d) Media pemadam busur api: Saat memutus aliran listrik, LBS menghasilkan busur api. Untuk memadamkan busur api ini, LBS menggunakan berbagai media, seperti gas SF₆, udara terkompresi, atau oli.
- e) Instalasi di jaringan distribusi: LBS umumnya dipasang pada jaringan listrik tegangan menengah (misalnya 20 kV di Indonesia), baik di gardu distribusi maupun pada tiang-tiang di luar ruangan (*pole mounted*).
- f) Desain sederhana dan biaya terjangkau: Dibandingkan dengan Pemutus Tenaga (*Circuit Breaker* / PMT), LBS memiliki konstruksi yang lebih sederhana, sehingga biaya instalasi dan pemeliharaannya lebih rendah.
- g) Isolasi jaringan: Salah satu fungsi utama LBS adalah untuk mengisolasi sebagian jaringan yang mengalami gangguan atau membutuhkan pemeliharaan, sehingga pemadaman listrik tidak meluas ke area lain.
- h) Tidak dapat dioperasikan saat hubung singkat: Jika terjadi hubung singkat, LBS tidak akan membuka secara otomatis. Tugas ini diemban oleh sekering atau pemutus sirkuit lain yang dipasang bersama LBS.

Load Break Switch (LBS) Motorized terdiri dari beberapa komponen utama.

a. *Switching Load Break Switch*

Switching Load Break Switch berfungsi sebagai perangkat pemutus beban pada sistem saluran udara tegangan menengah (SUTM) 20 kV, yang mampu mengalirkan dan memutus arus sesuai arus nominalnya (rated current) sebesar 630 A hingga mencapai 100 kali operasi. Peralatan ini dapat dioperasikan secara jarak jauh (remote) melalui sistem kendali, maupun secara lokal, dan juga memungkinkan pengoperasian manual apabila sistem motorized tidak berfungsi.

Secara perancangan, LBS berperan untuk melakukan pemutusan arus beban sesuai spesifikasi dan kemampuan pemutus arus yang dimilikinya, guna mendukung keandalan serta fleksibilitas pengoperasian jaringan distribusi tenaga listrik.[10]



Gambar 2. 6 Switching Load Break Switch

b. *Remote Terminal Unit (RTU)*

Remote Terminal Unit (RTU) merupakan perangkat yang berfungsi untuk mentransmisikan data dari lapangan ke pusat pengendalian sistem (control center). RTU mampu melakukan berbagai proses, seperti mendeteksi perubahan status peralatan, membaca variasi besaran analog, menerima dan mengirimkan sinyal alarm, serta merekam nilai pulsa dari akumulator. Selain itu, RTU juga berperan dalam menjalankan perintah dari pusat kendali, mengolah data yang diterima dari rangkaian proses, dan kemudian mengirimkan hasil pengukuran maupun pengendalian sesuai dengan parameter yang telah ditentukan. Perangkat ini dirancang agar dapat berkomunikasi dengan satu atau lebih pusat kendali, bahkan hingga tiga control center secara simultan, untuk memastikan kontinuitas pemantauan dan pengendalian sistem distribusi tenaga listrik.



Gambar 2. 7 Remote Terminal Unit (RTU)

c. Sumber Tegangan Untuk Catu Daya

Voltage Transformer (PT) eksternal dipasang pada sisi sumber tegangan untuk melakukan pengukuran dan pemantauan tegangan pada jaringan. Namun, apabila konfigurasi jaringan memungkinkan aliran daya dua arah atau pencatuannya dapat berasal dari arah sebaliknya, maka PT eksternal dipasang pada kedua sisi LBS guna memastikan pengukuran tegangan tetap akurat dan sistem dapat beroperasi secara andal dalam berbagai kondisi aliran daya.[11]



Gambar 2. 8 Voltage Transformer

d. *Lightning Arrester* 20 kV

Lightning Arrester berfungsi sebagai perangkat pelindung pada jaringan distribusi tegangan menengah (SUTM), khususnya untuk melindungi peralatan seperti Load Break Switch (LBS) dari gangguan tegangan lebih yang bersifat eksternal, misalnya akibat sambaran petir. Peralatan ini dipasang pada area terbuka agar dapat menyalurkan lonjakan tegangan ke tanah dengan efektif. Namun, pada saat terjadi tegangan lebih yang bersumber dari dalam sistem (internal overvoltage), arrester tidak seharusnya beroperasi, karena dirancang hanya untuk merespons gangguan yang berasal dari luar sistem.



Gambar 2. 9 Lightning Arrester 20 kV

e. *Fuse Cut Out 20 kV* (FCO)

Ketika terjadi gangguan hubung singkat atau arus lebih pada sisi beban, FCO akan melebur (trip) lebih dahulu untuk memutus arus, sehingga LBS dan peralatan lainnya terlindungi.



Gambar 2. 10 Fuse Cut Out 20 kV (FCO)

f. *Catu Daya* (Power Suplay)

Sumber tegangan untuk motor penggerak dan sistem kendali ditempatkan di dalam panel kontrol. Catu daya ini dilengkapi dengan tegangan keluaran sebesar 24 V DC serta unit pengisi daya (charger), yang berfungsi untuk menjamin ketersediaan energi dan menjaga LBS tetap beroperasi secara normal hingga 24 jam apabila terjadi gangguan pada suplai utama.



Gambar 2. 11 Catu Daya (Power Suplay)

g. Antena Modem

Antena modem pada *Load Break Switch* (LBS) berfungsi sebagai media komunikasi data nirkabel antara perangkat LBS dilapangan dan pusat pengendalian (Control center) seperti SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) atau Distribution Control Center (DCC) pada PLN.

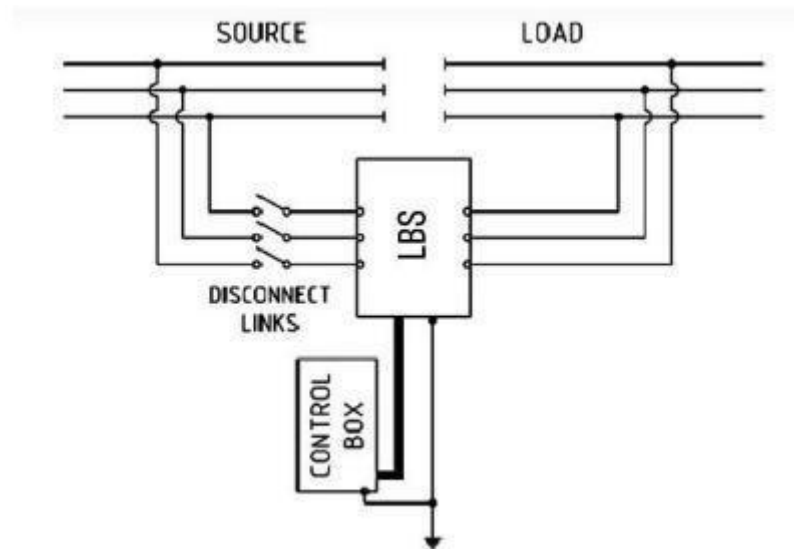


Gambar 2. 12 Antena Modem

2.2.6 SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition)

SCADA (*supervisory control and data acquisition*) merupakan sistem yang mengacu pada kombinasi telemetri dan akuisisi data. Terdiri dari pengumpulan informasi, mentrasferkan kembali ke pusat kendali, melakukan analisis yang diperlukan dan control, kemudian menampilkan data ini pada sejumlah operator display. SCADA digunakan untuk memantau dan mengendalikan peralatan. SCADA banyak diterapkan karena memiliki fungsi pengukuran dalam pengoperasiannya dan juga berfungsi berfungsi sebagai pengendali berbagai sistem misalnya pada sistem tenaga listrik, sistem distribusi minyak dan gas, sistem pengendalian lalu lintas kereta api, sistem

pengendalian air minum, sistem irigasi dan lain – lain. Sistem SCADA distribusi merupakan sistem yang terdiri atas seperangkat *hardware* dan *software* yang memungkinkan dispatcher yang berada di pusat control mampu mengendalikan Jaringan Tegangan Menengah (JTM).[11]



Gambar 2. 13 Skema LBS

Agar dapat dioperasikan dengan menggunakan sistem SCADA panel kontrol LBS harus dihubungkan dengan RTU, menghubungkan panel kontrol dengan RTU diperlukan sebuah pengkabelan (*wiring*) yang benar agar dapat beroperasi dengan benar dan normal.

2.2.7 Indeks Keandalan Sistem Distribusi Listrik

Indeks keandalan merupakan suatu indikator keandalan yang dinyatakan dalam suatu besaran probabilitas. Sejumlah indeks sudah dikembangkan untuk menyediakan suatu kerangka untuk mengevaluasi keandalan sistem tenaga. Evaluasi keandalan sistem distribusi terdiri dari indeks load point dan indeks sistem. Indeks keandalan Load point antara lain: Frekuensi pemadaman dan Lama pemadaman. Berdasarkan indeks-indeks load point, diperoleh sejumlah indeks keandalan untuk mengetahui indeks keandalan sistem secara keseluruhan yang dapat dievaluasi dan bisa didapatkan dengan lengkap mengenai kinerja sistem. Indeks-indeks ini adalah SAIFI (*Sistem Average Interruption Frequency Indeks*) dan SAIDI (*Sistem Average Interruption Duration Indeks*).

1. Energi Not Sale (ENS)

ENS (*Energy Not Supplied*) merupakan jumlah energi listrik yang tidak tersalurkan atau tidak termanfaatkan akibat adanya gangguan pada sistem maupun kegiatan pemeliharaan jaringan selama periode waktu tertentu. Indeks ini digunakan untuk menggambarkan besarnya kehilangan energi yang terjadi karena terganggunya kontinuitas penyaluran daya listrik kepada pelanggan. ENS adalah indeks keandalan yang menyatakan jumlah energi yang tidak dapat disalurkan oleh sistem kepada pelanggan selama periode tertentu (Bulan). Ini didefinisikan sebagai penjumlahan energi yang hilang akibat adanya gangguan terhadap pasokan daya selama periode.

Dalam penelitian ini menggunakan periode bulan, jadi perbandingan gangguan dilihat dari gangguan yang muncul pada bulan tersebut. Persamaan yang digunakan untuk menghitung energi KWh yang tidak tersalurkan saat terjadi gangguan pada penyulang yaitu dengan menggunakan rumus persamaan berikut :

$$ENS = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi \times t \dots\dots\dots 2.1$$

Dimana :

V = Tegangan Sistem (Volt)

I = Arus Beban (Ampere)

$$\sqrt{3} = 1,732$$

$\cos \phi$ = Faktor Daya Sistem

t = Waktu Padam

Kemudian pada saat terjadi gangguan di penyulang, tentu PLN akan mengalami kerugian karena tidak tersalurkannya energi kepada pelanggan. Kerugian PLN ini tergantung dari tinggi atau rendahnya nilai ENS yang juga menyebabkan adanya rupiah yang hilang. Persamaan yang digunakan untuk menghitung rupiah yang hilang ketika terjadi gangguan penyulang yaitu dengan rumus sebagai berikut:

$$Rp \text{ Hilang} = \frac{t_{lama \text{ padam}} \times \sqrt{3} \times V_{L-L} \times I_{beban} \times \cos \phi}{60} \times Rp/Kwh \dots\dots\dots 2.2$$

dimana :

t(Lama Padam) : Dalam satuan menit

I (Beban) : Dalam satuan Ampere

V(L-L) : $20\sqrt{3}$ kV

$\cos \phi$: 0,9

Rp/kWh : Rp 1.444,7

2. SAIDI dan SAIFI

1). SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*)

SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*) merupakan indeks yang menunjukkan rata-rata durasi atau lama waktu pemadaman yang dialami pelanggan dalam satu tahun. Nilai SAIDI diperoleh dari hasil perkalian antara total lama padam dan jumlah pelanggan yang terdampak, kemudian dibagi dengan total pelanggan yang dilayani pada sistem tersebut. Indeks ini memberikan gambaran mengenai rata-rata waktu gangguan yang dialami setiap pelanggan dalam periode evaluasi tertentu.

Dijelaskan dalam bentuk persamaan berikut :

$$\text{SAIDI} = \frac{\text{Jumlah dari perkalian jam padam dan pelanggan padam}}{\text{Jumlah total pelanggan yang terlayani}} \dots\dots\dots 2.3$$

$$\text{SAIDI} = \frac{U_i \times N_i}{N_t} \dots\dots\dots 2.3$$

dimana :

U_i = Durasi pemadaman / gangguan

n_i = Jumlah pelanggan padam

N = Jumlah pelanggan yang terlayani.

Beberapa faktor yang memengaruhi nilai Indeks (*System Average Interruption Duration Index*) (SAIDI) antara lain:

- a. Konfigurasi sistem distribusi, seperti radial, ring, maupun spindel, yang menentukan luas area terdampak serta kecepatan pemulihan pasokan listrik ketika terjadi gangguan.
- b. Peralatan otomatis yang berfungsi untuk memulihkan sistem secara mandiri setelah gangguan terjadi, misalnya Recloser, Automatic Sectionalizer, dan Circuit Breaker, yang dapat mempercepat proses pemulihan dan mengurangi durasi pemadaman.[12], [13]

2). SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*)

SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*) merupakan indeks yang menunjukkan rata-rata frekuensi terjadinya pemadaman listrik yang dialami pelanggan dalam satu tahun. Nilai SAIFI dihitung dari hasil perkalian antara jumlah kejadian padam dan jumlah pelanggan yang terdampak, kemudian dibagi

dengan total pelanggan yang dilayani oleh sistem distribusi. Indeks ini memberikan informasi mengenai seberapa sering pelanggan mengalami gangguan pasokan listrik dalam area yang terdampak. Satuan pengukurannya adalah jumlah pemadaman per pelanggan pada tahun.[14]

$$SAIFI = \frac{\text{jumlah dari pelanggan padam}}{\text{jumlah total pelanggan yang terlayani}} \dots\dots\dots 2.4$$

$$SAIFI = \frac{\sum ni}{\sum N} \dots\dots\dots 2.4$$

dimana :

n_i : Jumlah pelanggan padam

N : Jumlah pelanggan yang terlayani

Beberapa faktor yang memengaruhi nilai Indeks Frekuensi Pemadaman Rata-rata (SAIFI) antara lain:

1. Kegiatan pemeliharaan pada instalasi tenaga listrik, yang mencakup seluruh sistem pembangkitan, transmisi, hingga distribusi, karena kualitas dan konsistensi pemeliharaan sangat berpengaruh terhadap frekuensi terjadinya gangguan.
2. Kualitas material dan peralatan yang digunakan, di mana mutu komponen yang baik dapat mengurangi potensi kerusakan dan memperpanjang umur operasi sistem distribusi.[15]

2.2.8 Standar Perusahaan Umum Listrik Negara (SPLN)

SPLN adalah standar untuk Perusahaan PT PLN (Persero) yang ditetapkan direksi bersifat wajib Sejak tahun 1976 sudah lebih dari 262 buah standar berhasil dirampungkan, diantaranya 59 standar bidang pembangkit, 68 standar bidang transmisi, 99 standar bidang distribusi, 6 standar bidang SCADA dan 30 standar bidang umum. Pada keandalan sistem distribusi, PT PLN (Persero) sebagai Perusahaan penyedia layanan Listrik di Indonesia menetapkan suatu standar pelayanan yang diatur dalam SPLN 68-2: 1986. Berdasarkan SPLN 68-2: 1986, nilai standar keandalan jaringan PLN distribusi DKI dan Tangerang menjadi dasar Tingkat keandalan bagi wilayah lain di Indonesia dengan frekuensi pemadaman 11 kali/tahun dan durasi pemadaman 58 jam/tahun. Untuk daerah-daerah lain, maka nilai frekuensi dan durasi pada PLN DKI

dan Tangerang dikalikan dengan suatu nilai faktor pengali. Untuk wilayah Maluku, NTB dan NTT nilai faktor pengali-nya adalah 1,4 sehingga standar jaminan layanan wilayah NTT adalah 37,8 kali/tahun dan 247,8 jam/tahun. Sedangkan wilayah kelistrikan di pedesaan dapat dikalikan dengan 1,6 sehingga standar keandalan untuk wilayah pedesaan adalah 43,2 kali/tahun dan 283,2 jam/tahun. Faktor daya yang diasumsikan 0,85 berdasarkan SPLN 70-1: 1985. [16]

2.2.9 Software ETAP

Software ETAP adalah sebuah software yang digunakan untuk keperluan simulasi suatu jaringan listrik. Salah satu kemampuan software ETAP adalah mensimulasikan studi aliran beban suatu jaringan listrik. Berdasarkan simulasi software yang dilakukan pada software ETAP maka akan diketahui rugi rugi daya dan kondisi profil tegangan pada sistem tenaga listrik. Salah satu manfaat dari analisis aliran beban yaitu dengan diketahuinya nilai tegangan, arus dan daya, maka dapat dilakukan sebuah analisis sistem tenaga listrik.

Analisis yang dilakukan dengan memodelkan jaringan distribusi secara menyeluruh pada ETAP, meliputi sumber daya, penyulang, transformator distribusi, serta beban pelanggan. Ketika terjadi kondisi trip penyulang, ETAP dapat mensimulasikan pemutusan aliran daya pada segmen jaringan tertentu sehingga beban yang berada disisi hilir titik gangguan dianggap tidak tersuplai. Dari hasil simulasi tersebut, software ETAP akan menampilkan besaran daya dan energi yang tidak tersalurkan dalam satuan kW atau kWh, sesuai dengan durasi gangguan yang dimasukkan. Hasil analisis beban tersebut selanjutnya akan digunakan untuk menghitung *Energy Not Sale* (ENS) serta mengevaluasi dampak gangguan terhadap keandalan sistem distribusi. Dengan demikian, ETAP berperan penting dalam memberikan gambaran kuantitatif mengenai kerugian energi akibat trip penyulang serta menjadi dasar dalam analisis peningkatan jaringan, termasuk evaluasi pemasangan peralatan seperti *Load Break Switch* (LBS).[17]

2.2.10 SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition)

SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) merupakan suatu sistem yang mengintegrasikan telemetri dan akuisisi data. Sistem ini mencakup proses pengumpulan data dari lapangan, pengiriman data ke pusat kendali, pelaksanaan analisis serta fungsi pengendalian, hingga penyajian informasi kepada operator melalui

tampilan antarmuka. SCADA digunakan untuk memantau sekaligus mengendalikan peralatan secara terpusat. SCADA adalah teknologi yang menggabungkan fungsi pengawasan, pengendalian, dan pengambilan data jarak jauh (remote area) yang terpusat pada suatu lokasi yang disebut control center. Secara umum, SCADA berfungsi untuk memperoleh data dari Gardu Induk, Gardu Hubung, dan titik-titik penting (keypoint), mengolah informasi yang diterima, serta menghasilkan tindakan atau respon berdasarkan hasil pengolahan tersebut. Sistem pengendalian berbasis SCADA terdiri dari perangkat keras dan perangkat lunak yang memungkinkan dispatcher di pusat kontrol mengoperasikan jaringan Tegangan Menengah.[18]

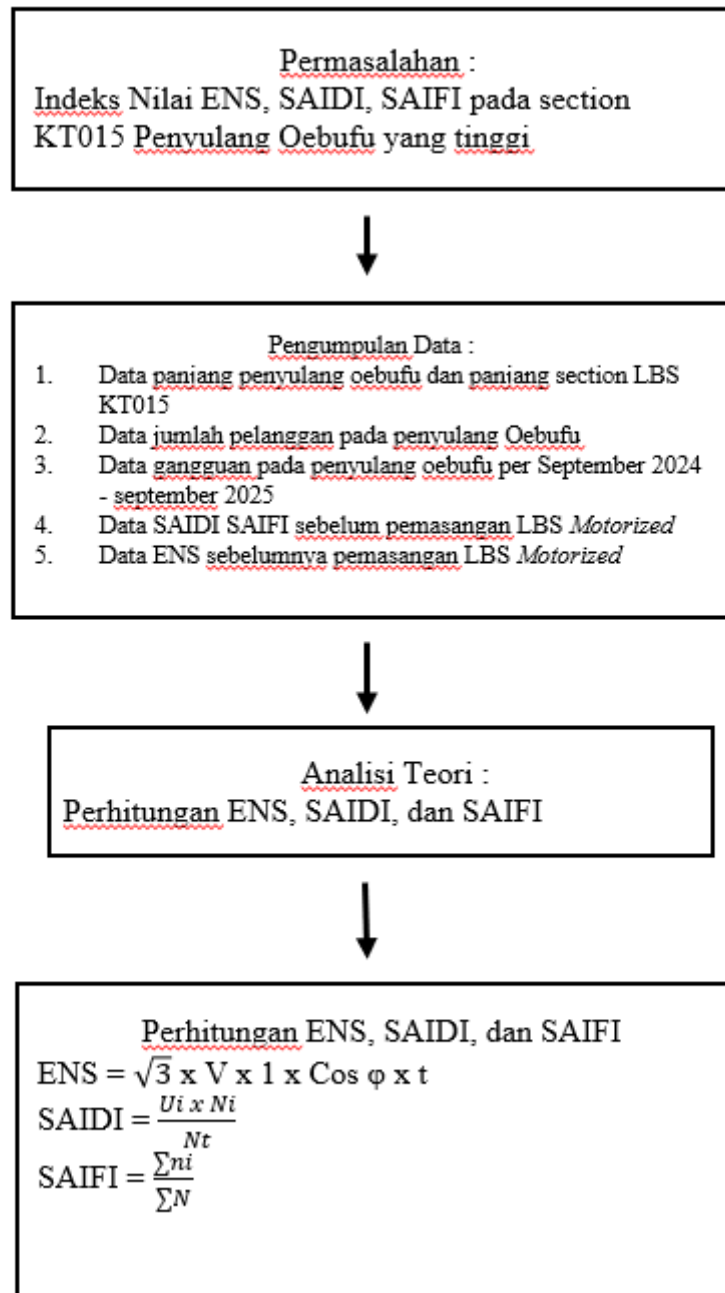
Prinsip utama sistem SCADA adalah melakukan pemantauan dan pengendalian terhadap seluruh peralatan dalam suatu sistem dari jarak jauh. SCADA bekerja dengan cara mengumpulkan data, mentransmisikannya ke pusat kendali, kemudian menyajikan data tersebut dalam berbagai lapisan tampilan operator. Tujuan penerapan SCADA adalah untuk membantu mencapai kondisi operasi sistem yang optimal dengan mempertimbangkan keterbatasan serta keunggulan yang dimiliki oleh sistem tersebut.

SCADA diimplementasikan menggunakan perangkat lunak untuk sistem pembangkitan, transmisi, maupun distribusi tenaga listrik. Pada umumnya, pengendalian jarak jauh dalam sistem tenaga listrik melalui SCADA meliputi empat jenis utama, yaitu:

- a) Pengendalian buka dan tutup pemutus daya, pemisah, serta proses start dan stop generator.
- b) Pengendalian perangkat pengatur (regulator), seperti pengaturan set point serta kenaikan atau penurunan posisi tap changer.
- c) Pemantauan dan pengaturan beban.
- d) Pengendalian otomatis untuk menjaga keseragaman dan menjalankan perintah secara berurutan, misalnya dalam perubahan konfigurasi jaringan.

2.3 Kerangka Pemikiran

Kehandalan sistem distribusi ditunjukkan oleh nilai indeks keandalan seperti ENS, SAIDI, dan SAIFI yang rendah. Namun, pada kondisi eksisting, nilai indeks tersebut masih cukup tinggi karena proses penormalan gangguan pada section LBS KT015 masih dilakukan secara manual dan waktu isolasi gangguan relatif lama. Pemasangan *Load Break Switch* (LBS) pada titik section KT015 diharapkan dapat mempercepat proses penormalan gangguan serta meminimalisir area terdampak padam pada penyulang Oebufu. Dengan demikian, energi yang tidak tersalurkan (ENS) dapat diminimalkan, serta indeks keandalan SAIDI dan SAIFI mengalami penurunan. Oleh karena itu, analisis yang dilakukan dalam penelitian ini dapat mengindektifikasi pengaruh pemasangan LBS terhadap peningkatan keandalan sistem distribusi tenaga listrik melalui perbandingan nilai ENS, SAIDI, SAIFI sebelum dan sesudah pemasangan LBS. Dari penjelasan yang telah disampaikan, peneliti menggambarkan kerangka pemikiran penelitian ini sebagai berikut :



Gambar 2. 14 Kerangka Pemikiran Indeks ENS , SAIDI dan SAIFI