

TUGAS AKHIR

ANALISA INDEKS KEANDALAN SISTEM DAN ENS (ENERGY NOT SUPPLIED) PADA JARINGAN SUTM PT PLN (Persero) BANDA ACEH

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Elektro Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:
AYZ SARECH SALENKO
1907220095



UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADDIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2023**

HALAMAN PENGESAHAN

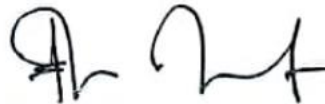
Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Ayz Sarech Salenko
NPM : 1907220095
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Analisa Indeks Keandalan Sistem Dan ENS (*Energy Not Supplied*) Pada Jaringan SUTM PT PLN (Persero) Banda Aceh
Bidang Ilmu : Sistem Kendali

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

Mengetahui dan Menyetujui

Dosen Pembimbing



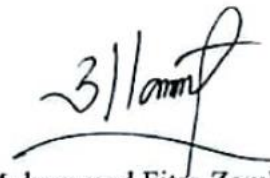
Elvy Sahnur Nasution, S.T., M.Pd.

Dosen Penguji I



Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T.

Dosen Penguji II



Dr. Muhammad Fitra Zambak, Msc

Program Studi Teknik Elektro



Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T.

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Lengkap : Ayz Sarech Salenko
Tempat/Tanggal Lahir : Asir-Asir Takengon/19 Desember 2001
Npm : 1907220095
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir Saya yang berjudul :

“Analisa Indeks Keandalan Sistem dan ENS (*Energy Not Supplied*) Pada Jaringan SUTM PT PLN (Persero) Banda Aceh”.

Bukan Merupakan Plagiarisme, Pencurian hasil karya orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material maupun non material, ataupun segala kemungkinan lain yang hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara Orisinil dan Otentik.

Bila Kemudian Hari diduga Kuat ada ketidak sesuaian antara Fakta dan kenyataan ini, Saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan Sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan Kesarjanaan saya.

Demikian surat pernyataan ini saya perbuat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan atau paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 18 Oktober 2023

Saya yang menyatakan,


Ayz Sarech Salenko

ABSTRAK

Sistem jaringan distribusi tidak lepas dari risiko kegagalan yang dapat mengakibatkan kerugian bagi PT PLN. Faktor keandalan harus diperhatikan dalam pengoperasian sistem jaringan distribusi. Gangguan yang terjadi pada jaringan distribusi saat ini tentunya dapat mempengaruhi keandalan penyaluran energi listrik. Evaluasi keandalan sistem dapat menggunakan metode perhitungan parameter SAIDI, SAIFI, dan CAIDI dan analisis keandalan berdasarkan daya dan beban dengan ENS dan AENS. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tingkat keandalan sistem jaringan distribusi PT PLN dan menghitung kerugian ekonomis yang dialami oleh PLN ketika *Energi Not Supply*. Penelitian ini dilakukan pada jaringan distribusi PT. PLN (Persero) Banda Aceh dengan mengamati data riwayat gangguan selama satu tahun dimulai dari bulan Januari sampai dengan Desember. Dari hasil penelitian diketahui bahwa nilai indeks keandalan SAIFI, SAIDI, dan CAIDI pada SUTM PT. PLN (Persero) Banda Aceh mulai Januari sampai dengan Desember selama tahun 2020 adalah: SAIFI = 1,0664 kali/pelanggan/tahun SAIDI = 0,2201 jam/pelanggan/tahun dan CAIDI = 0,2063 jam/pelanggan/tahun. Dapat disimpulkan bahwa nilai indeks keandalan pada penyulang Banda Aceh memenuhi standar nilai SPLN 68-2 : 1986. Hasil perhitungan ENS (*Energy Not Supplied*) selama setahun yaitu sebesar 60782,4 kWh dan AENS (*Average Energy Not Supplied*) 0,23 kWh /pelanggan maka dapat diperoleh nilai kerugian PT. PLN dalam waktu satu tahun yaitu sebesar Rp. 87.769.785 ,-.

Kata Kunci : SAIDI, SAIFI, CAIDI, ENS (*Energy Not Supplied*)

ABSTRACT

The distribution network system cannot be separated from the risk of failure which can result in losses for PT PLN. The reliability factor must be considered in the operation of the distribution network system. Disruptions that occur in the current distribution network can certainly affect the reliability of electrical energy distribution. System reliability evaluation can use SAIDI, SAIFI, and CAIDI parameter calculation methods and reliability analysis based on power and load with ENS and AENS. This study aims to analyze the level of reliability of PT PLN's distribution network system and calculate the economic losses experienced by PLN when Energy Not Supply. This research was conducted on the distribution network of PT. PLN (Persero) Banda Aceh by observing historical data of disturbances for one year starting from January to December. From the results of the study, it is known that the value of the reliability index of SAIFI, SAIDI, and CAIDI in SUTM PT. PLN (Persero) Banda Aceh from January to December. From the results of the study, it is known that the value of the reliability index of SAIFI, SAIDI, and CAIDI in SUTM PT. PLN (Persero) Banda Aceh from January to December during 2020 is: SAIFI = 1.0664 times/customer/year SAIDI = 0.2201 hours/customer/year and CAIDI = 0.2063 hours/customer/year. It can be concluded that the reliability index value on the Banda Aceh feeder meets the SPLN 68-2 : 1986 value standard. The results of the calculation of ENS (Energy Not Supplied) for a year amounting to 60782.4 kWh and AENS (Average Energy Not Supplied) 0.23 kWh / customer can be obtained the value of PT. PLN within one year amounted to Rp. 87,769,785 ,-.

Keywords : SAIDI, SAIFI, CAIDI, ENS (Energy Not Supplied)

KATA PENGANTAR

Dengan menyebut nama Allah yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Tidak ada kata yang lebih indah selain puji dan syukur kepada Allah SWT, yang telah menetapkan segala sesuatu, sehingga tiada sehelai daun yang jatuh tanpa izin-nya. Alhamdulillah atas izin-nya, penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini yang berjudul “Analisa Indeks Keandalan Sistem Dan ENS (*Energy Not Supplied*) Pada Jaringan SUTM PT. PLN (Persero) Banda Aceh” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU) Medan.

Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada orang-orang yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi ini baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu, penulis menyampaikan banyak terima kasih kepada:

1. Ayahanda Nasiruddin, Ibunda Suryani, Kakak Queny Tamara Nenez yang selalu membanggakan dan mendukung penulis baik dari moril maupun materil yang tidak pernah lelah juga dalam menasehati dan menyayangi penulis.
2. Bapak Dr. Agussani, M.A.P, selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Dr. Ade Faisal, M.sc, P.hd, selaku Wakil Dekan I Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Affandi, S.T., M.T, selaku Wakil Dekan III Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T, selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Ibu Elvy Sahnur, S.T., M.Pd, selaku sekretaris Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

8. Ibu Elvy Sahnur Nasution S.T., M.Pd, selaku dosen pembimbing yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
9. Seluruh Bapak/Ibu Dosen Di Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah memberikan ilmu yang sangat bermanfaat bagi penulis.
10. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
11. Teman – teman teknik elektro stambuk 2019 yang selalu membantu dan memberikan dukungan kepada penulis.

Laporan tugas akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia konstruksi teknik elektro.

Medan,.....

Ayz Sarech Salenko

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	ix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Ruang Lingkup Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	2
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Tinjauan Pustaka Relevan	4
2.2 Sistem Tenaga Listrik	7
2.3 Sistem Distribusi	8
2.3.1 Jaringan Distribusi Primer.....	10
2.3.2 Jaringan Distribusi Sekunder	10
2.3.3 Penyulang (<i>Feeder</i>).....	11
2.3.4 Penutup Balik Otomatis (<i>Recloser</i>).....	12
2.3.5 Trafo Distribusi	14
2.3.6 Gardu Distribusi	24
2.4 Gangguan Sistem Distribusi.....	25

2.5	Pengaruh Gangguan Terhadap Sistem Distribusi	27
2.6	Keandalan Sistem Distribusi	29
2.7	Indeks Keandalan Sistem	30
2.8	Indikator Keandalan	32
2.9	Indeks Keandalan Secara Ekonomis	33
2.10	Standar Perusahaan Listrik Negara (SPLN)	36
2.11	Tarif Dasar Listrik	36
BAB 3	METODELOGI PENELITIAN	38
3.1	Waktu dan Tempat	38
3.2	Alat dan Bahan	38
3.3	Prosedur Penelitian.....	39
3.4	Pengumpulan Data.....	39
3.5	Analisa Data	40
3.6	Flowchart Penelitian.....	41
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN	42
4.1	Single Line Diagram UP3 Banda Aceh.....	42
4.2	Data Kelistrikan Kota Banda Aceh.....	43
4.3	Data Riwayat Gangguan Pada Jaringan SUTM PT PLN (Persero) Banda Aceh Tahun 2020	43
4.4	Data Riwayat Pemadaman Listrik PT PLN Wilayah Banda Aceh Tahun 2020.....	45
4.5	Analisis Indeks Keandalan SAIDI , SAIFI, CAIDI	49
4.6	Analisa Tingkat Keandalan SAIFI, SAIDI dan CAIDI terhadap SPLN 53	
4.7	Analisis ENS (<i>Energy Not Supplied</i>).....	54
BAB 5	PENUTUP.....	73

5.1	Kesimpulan.....	73
5.2	Saran.....	73
DAFTAR PUSTAKA.....		74

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem Tenaga Listrik	8
Gambar 2.2 Pengelompokan Sistem Tenaga Listrik	9
Gambar 2.3 Hubungan tegangan menengah ke tegangan rendah dan konsumen	11
Gambar 2.4 Single Line Diagram Penyulang Tegangan Listrik	12
Gambar 2.5 Recloser	12
Gambar 2.6 Diagram Instalasi.....	13
Gambar 2.7 Jenis pengontrol recloser	14
Gambar 2.8 Trafo distribusi	15
Gambar 2.9 Gardu Distribusi	24
Gambar 2.10 Penyesuaian tarif tenaga listrik	37
Gambar 4.1 SLD UP3 Banda Aceh.....	42
Gambar 4.2 Grafik Riwayat Gangguan Pada Tahun 2020	44
Gambar 4.3 Grafik ENS (Energy Not Supplied)	47
Gambar 4.4 Grafik AENS	47
Gambar 4.5 Grafik Jumlah Pelanggan Padam	49
Gambar 4.6 Perhitungan nilai SAIFI menggunakan EXCEL	50
Gambar 4.7 Perhitungan SAIDI menggunakan Excel	50
Gambar 4.8 Perhitungan CAIDI menggunakan Excel.....	51
Gambar 4.9 Grafik SAIDI, SAIFI, dan CAIDI Januari-Desember 2020.....	52
Gambar 4.10 Perbandingan Indeks Keandalan dengan SPLN.....	54

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Standar nilai indeks kehandalan SPLN 68-2 : 1986.....	36
Tabel 2.2 Standar nilai indeks kehandalan IEEE std 1366 - 2003	36
Tabel 2.3 Standar nilai indeks kehandalan WCS & WCC	36
Tabel 4.1 Data Kelistrikan PT PLN Wilayah Kota Banda Aceh Tahun 2020	43
Tabel 4.2 Jenis Gangguan dan Banyak Gangguan Pada SUTM PT PLN Banda Aceh Tahun 2020	43
Tabel 4.3 Riwayat Pemadaman Bulan Januari 2020	45
Tabel 4.4 Riwayat Pemadaman Bulan Februari 2020	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.5 Riwayat Pemadaman Bulan Maret 2020	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.6 Riwayat Pemadaman Bulan April 2020	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.7 Riwayat Pemadaman Bulan Mei 2020	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.8 Riwayat Pemadaman Bulan Juni 2020	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.9 Riwayat Pemadaman Bulan Juli 2020	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.10 Riwayat Pemadaman Bulan Agustus 2020	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.11 Riwayat Pemadaman Bulan September 2020	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.12 Riwayat Pemadaman Bulan Oktober 2020	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.13 Riwayat Pemadaman Bulan November 2020	Error! Bookmark not defined.

Tabel 4.14 Riwayat Pemadaman Bulan Desember 2020 **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4.15 Nilai ENS dan AENS Bulan Januari - Desember..... 46

Tabel 4.16 Nilai ENS dan AENS Perbulan Selama Januari – Desember..... 47

Tabel 4.17 Riwayat Pemadaman Bulan Januari - Desember 2020 48

Tabel 4.18 SAIFI, SAIDI, dan CAIDI Bulan Januari – Desember 2020..... 51

Tabel 4.19 Perbandingan Nilai SAIDI, SAIFI, CAIDI dengan SPLN 68-2 :
1986..... 53

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT PLN (Persero) adalah perusahaan listrik yang bertanggung jawab atas penyediaan tenaga listrik di Indonesia. Sebagai utilitas listrik terbesar di negara ini, PT PLN memiliki jaringan distribusi yang kompleks dan luas yang mencakup ribuan kilometer jalur transmisi dan distribusi yang menghubungkan pembangkit listrik ke pelanggan akhir.

Keandalan sistem jaringan distribusi merupakan salah satu faktor kunci untuk menjamin kelancaran pasokan listrik ke pelanggan. Namun, sistem jaringan distribusi tersebut tidak lepas dari risiko kegagalan yang dapat mengakibatkan kerugian bagi PT PLN. Kegagalan tersebut dapat berupa kegagalan peralatan mekanis, kerusakan yang disebabkan oleh bencana alam, kegagalan buatan manusia, atau kegagalan seluruh sistem.

Faktor keandalan harus diperhatikan dalam pengoperasian sistem jaringan distribusi. Gangguan yang terjadi pada jaringan distribusi saat ini tentunya dapat mempengaruhi keandalan penyaluran energi listrik. Indeks-indeks keandalan yang biasanya digunakan dalam jaringan distribusi adalah SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*), SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*), CAIDI (*Customer Average Interruption Duration Index*)[1].

Salah satu bidang terpenting dalam distribusi tenaga listrik adalah keandalan sistem. Keandalan adalah kemampuan sistem (sistem distribusi daya) untuk melakukan tugasnya dalam jangka waktu tertentu. Keandalan sistem dapat dievaluasi berdasarkan jumlah kesalahan yang terjadi dan waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki kesalahan tersebut[2]. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan tenaga listrik masyarakat, sistem distribusi tenaga listrik harus semakin handal untuk memenuhi tenaga listrik konsumen.

Berdasarkan masalah tersebut penelitian ini diharapkan dapat menjadi evaluasi tingkat keandalan pada jaringan distribusi PT. PLN (Persero) Banda Aceh

dan kerugian ekonomis yang dialami sebagai acuan untuk meningkatkan kualitas jaringan distribusi dan pelayanan yang ditawarkan kepada pelanggan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang sudah dipaparkan sebelumnya, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Apakah tingkat keandalan sistem jaringan distribusi PT. PLN (Persero) Banda Aceh sudah memenuhi standar SPLN.
2. Berapakah nilai ENS (*Energy Not Supplied*) ketika selama terjadi pemadaman.

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis tingkat keandalan sistem jaringan distribusi PT PLN Banda Aceh.
2. Menganalisis dan menghitung nilai ENS (*Energy Not Supplied*) selama terjadi pemadaman.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup pada penelitian ini mencakup beberapa aspek berikut:

1. Penelitian ini mengukur kualitas sistem distribusi listrik berdasarkan standar indeks-indeks keandalan atau SPLN.
2. Sistem evaluasi keandalan yang digunakan pada saluran transmisi memiliki parameter-parameter sebagai berikut yaitu: pemadaman rata-rata (Rs), dan waktu pemadaman rata-rata (Us).
3. Pada penelitian ini menganalisis nilai ENS dan AENS pada jaringan distribusi 20 kV Banda Aceh.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Informasi dan rekomendasi untuk meningkatkan keandalan:
Dengan memahami jenis dan penyebab seringnya padam, PT PLN dapat mengidentifikasi daerah rawan padam dan melakukan tindakan pencegahan yang diperlukan.

2. Mengurangi kerugian finansial:

Dengan mengetahui kerugian ekonomi akibat gangguan pada jaringan distribusi, PT PLN dapat menghitung perkiraan potensi kerugian dan mengambil langkah-langkah yang diperlukan untuk mengurangi dampaknya.

3. Kontribusi untuk industri energi:

Hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi yang signifikan bagi pengembangan energi industri di Indonesia. Informasi yang diperoleh dari penelitian ini dapat digunakan oleh PT PLN sebagai acuan untuk meningkatkan kualitas jaringan distribusi dan pelayanan yang ditawarkan kepada pelanggan.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

Tingkat keberhasilan kinerja suatu sistem atau bagian dari jaringan listrik sangatlah penting. Untuk mengetahui keandalan sistem, maka harus dilakukan analisis tingkat keberhasilan efisiensi sistem selama periode waktu tertentu.

Hasil penelitian [2] menunjukkan bahwa nilai SAIFI semua saklar tidak memenuhi standar yang ditetapkan oleh PLN yaitu. H. SAIFI 0,27 kali/bulan, nilai SAIFI tertinggi terdapat di Gardu Induk Lamgapang 4,05 kali/bulan dan di Merduat. Ganti gardu 0,78 kali per bulan. Terkait indeks SAIDI, hanya GI Merduati dan GI Lueng Bata yang memenuhi standar yang ditetapkan PLN, yaitu. H. 0,53 jam/bulan dan 0,79 jam/bulan, sedangkan gardu lainnya tergolong tidak andal. Mengenai indeks nilai CAIDI, nilai tertinggi dapat ditemukan di bursa Ajun, yaitu 9,59 jam/bulan/pelanggan.

Permintaan akan tenaga listrik terus meningkat tiap waktunya, hal ini dikarenakan jumlah pelanggan yang terus bertambah tiap tahunnya. Oleh karena itu, hal ini berbanding lurus dengan besarnya tenaga listrik yang harus dialirkan. Dengan bertambahnya jumlah pelanggan maka pihak penyedia harus menambah juga jumlah pasokan tenaga listrik. Pada era globalisasi ini, efisiensi daya listrik selalu menjadi hal utama, baik dari sisi penyedia maupun pelanggan. Oleh karena itu, keandalan sistem distribusi tenaga listrik juga akan menjadi hal yang utama untuk diperhatikan. Indeks yang menunjukkan keandalan sistem distribusi adalah SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*) dan SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*). Semakin kecil nilai dari kedua indeks tersebut, maka sistem semakin handal, yang berarti efisiensinya tinggi. Dalam penelitian [3] dibahas tentang analisa nilai SAIDI dan SAIFI pada Penyulang Cahaya, serta bagaimana usaha untuk menekan nilai SAIDI dan SAIFI. Indeks keandalan SAIDI dan SAIFI pada penyulang Cahaya Tahun 2017 diperoleh SAIDI = 2,277 jam/pelanggan/tahun dan SAIFI = 2,406 kali/pelanggan/tahun.

Pada tahun 2019 [4] memperoleh informasi tingkat keandalan dan kerugian ekonomis di PT. PLN Distribusi Area Gresik. Metode yang digunakan adalah *Section Technique* yaitu suatu metode terstruktur untuk menganalisis suatu sistem. Metode ini dalam mengevaluasi keandalan sistem distribusi didasarkan pada bagaimana suatu kegagalan dari suatu peralatan mempengaruhi operasi sistem.

PT PLN (Persero) sebagai pemasok listrik, harus dapat mensuplai kebutuhan listrik pelanggan secara terus menerus. Berdasarkan pantauan pertama [5], pelanggan PT PLN (Persero) Kefamenanu Rayon sering mengalami pemadaman listrik, baik dari segi jumlah pemadaman maupun pemadaman yang lama. Pemadaman ini menimbulkan kerugian baik bagi pelanggan maupun bagi PLN sendiri, sehingga kehandalan sistem jaringan distribusi harus dipelajari dengan perhitungan SAIFI dan SAIDI. Indeks keandalan sistem distribusi tenaga listrik SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*) yaitu angka atau indeks yang menyatakan lama tiap-tiap konsumen mengalami pemadaman dalam kurun waktu tertentu dan SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*) yaitu angka atau indeks yang menyatakan berapa sering tiap-tiap pelanggan mengalami gangguan dalam kurun waktu tertentu, akan diketahui berapa indeks yang dihasilkan apakah sudah sesuai standar yang ditentukan oleh PT PLN (Persero) untuk dapat ditinjaulanjuti agar kedepannya pelayanan dalam distribusi tenaga listrik ke pelanggan tidak banyak mengalami kendala.

Penelitian [6] pada tahun 2021 bertujuan untuk menghitung indeks keandalan dengan menggunakan Metode *Failure Modes And Effect Analysis* (FMEA). Penelitian ini dilakukan pada Penyulang Akasia dan Penyulang Lele di PT. PLN (Persero) ULP Kota Barat Pekanbaru. Kondisi eksisting Penyulang Akasia Tahun 2019 didapatkan hasil SAIFI sebesar 6,419 gangguan/pelanggan dan di Tahun 2020 sebesar 2,814 gangguan/pelanggan. Sementara pada Penyulang Lele Tahun 2019 didapatkan hasil SAIFI sebesar 5,005 gangguan/plg dan di Tahun 2020 sebesar 2,196 gangguan/pelanggan. Sedangkan hasil SAIDI Penyulang Akasia Tahun 2019 sebesar 353,329 menit/pelanggan dan di Tahun 2020 sebesar 105,080 menit/pelanggan. Sementara pada Penyulang Lele Tahun 2019 didapatkan hasil SAIDI sebesar 270,191 menit/pelanggan dan di Tahun 2020 sebesar 111,424

menit/pelanggan. Penghematan yang cukup besar setelah di lakukan pemeliharaan di Penyulang Akasia dan Penyulang Lele. Dari perhitungan didapat penghematan sebesar Rp. 41.215.943,94 pada Penyulang Akasia dan Rp. 10.806.099,21 pada Penyulang Lele selama satu tahun. Hasil yang diperoleh setelah upaya perbaikan dengan melakukan perampalan pohon sampai jarak yang aman bagi jaringan melakukan infeksi jaringan secara rutin, sehingga bisa lebih cepat memetakan gangguan pada penyulang.

Pemeliharaan yang dilakukan dengan memadamkan gardu distribusi, menyebabkan pasokan listrik pada pelanggan padam selama pemeliharaan berlangsung. Hal ini menjadi perhatian karena pelanggan merasakan pemadaman yang akan berdampak kepada SAIDI (*System Average Interuption Duration Index*) dan ENS (*Energy Not Supply*). Penelitian [7] membahas pemeliharaan gardu distribusi 20 KV PT. PLN (Persero) Area Bulungan dengan metode minim padam guna mengurangi nilai SAIDI (*System Average Interuption Duration Index*) dan ENS (*Energy Not Supply*) pemeliharaan. Pemeliharaan gardu distribusi 20 KV metode minim padam durasi padam turun sebesar 74,13%, SAIDI (*System Average Interuption Duration Index*) pemeliharaan turun dari 0,0067 jam/pelanggan menjadi 0,0017 jam/pelanggan, ENS (*Energy Not Supply*) turun dari 1.875,426 KWH menjadi 485,1 KWH dan *Energy Not Sold* turun dari Rp 2.751.775,06 menjadi Rp 711.777,53. Pemeliharaan gardu distribusi 20 KV menggunakan metode minim padam sangat berpengaruh terhadap kehandalan penyaluran tenaga listrik di jaringan tegangan rendah dan penurunan durasi pemadaman sebesar 74,13%.

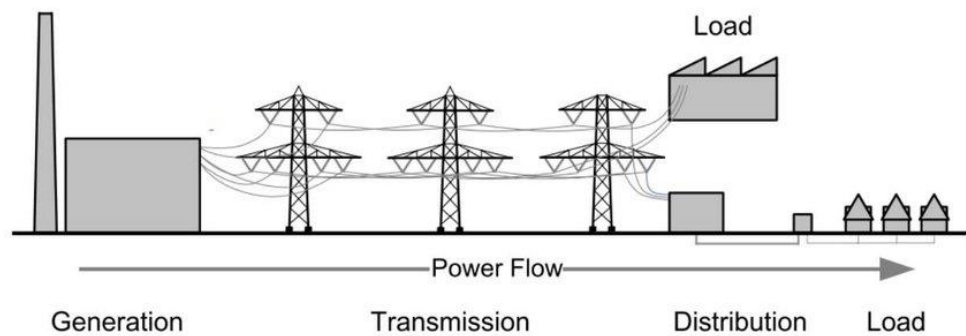
Kemudian [8] membahas mengenai analisis keandalan jaringan distribusi 20kV dengan menggunakan metode RIA dan FMEA untuk menghitung indeks keandalan SAIDI, SAIFI, CAIDI, CAIFI dan MAIFI berdasarkan laju kegagalan, lama perbaikan dan durasi kegagalan. Hasil perhitungan akan dibandingkan dengan standar SPLN 68-2:1986 dan IEEE std. 1366-2003. Serta menghitung nilai ekonomi, akibat daya yang tidak tersalurkan dengan menggunakan indeks ENS. Berdasarkan hasil analisis metode RIA dan FMEA indeks keandalan SAIFI dan SAIDI penyulang KA.1 dan TW.1 dikatakan andal

karena tidak melebihi standar SPLN 68-2:1986 dengan nilai SAIFI 3,2 kali/tahun dan SAIDI 21,9 jam /tahun. Penyulang KU.1 nilai indeks keandalan SAIDI dikatakan andal karena tidak melebihi standar SPLN No. 68-2:1986 dengan nilai 21,9 jam/tahun sedangkan indeks keandalan SAIFI belum dapat dikatakan andal karena melebihi standar SPLN No.68-2:1986 dengan nilai 3,2 kali/tahun. Untuk penyulang KA.1, KU.1 dan TW.1 metode RIA belum dapat dikatakan andal karena nilai indeks keandalan SAIFI dan SAIDI melebihi standar IEEE std. 1366-2003.

Selanjutnya penelitian [9] dilatar belakangi oleh analisis gangguan peralatan yang terjadi dalam penyaluran energi listrik. Gangguan tersebut berupa pemadaman listrik. Pemadaman listrik menyebabkan penurunan kontinuitas pelayanan kepada pelanggan dan mengakibatkan banyak kehilangan energi listrik yang tidak tersalurkan ke pelanggan. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui teknik optimasi pemeliharaan jaringan distribusi, cara menurunkan nilai *energy not supply* (ENS), mengetahui rugi-rugi akibat ENS, dan mengetahui total energi listrik yang disalurkan setelah dilakukan preventive maintenance. Penelitian ini menggunakan metode pemeliharaan preventif, yaitu pemeliharaan yang dapat mencegah terjadinya kerusakan yang tidak terduga pada jaringan dan peralatan sistem distribusi. Penelitian ini mengoptimalkan tindakan perawatan preventif dengan mengurangi gangguan pasca perawatan preventif dari 7 gangguan di bulan Februari menjadi 2 gangguan di bulan Maret.

2.2 Sistem Tenaga Listrik

Sistem kelistrikan merupakan sistem suplai energi listrik yang terdiri dari pembangkit tenaga listrik yang saling berhubungan untuk didistribusikan melalui jaringan transmisi. Struktur distribusi jaringan listrik cukup besar dan kompleks karena terdiri dari beberapa komponen seperti generator, trafo, alat pengaman dan beban serta pengaturan yang saling berhubungan.



Gambar 2.1 Sistem Tenaga Listrik

Secara umum, struktur terdiri dari tiga bagian utama sistem, yang pertama adalah pusat pembangkit listrik di mana energi listrik biasanya dihasilkan generator terletak jauh dari pusat beban. Berikutnya adalah sistem transmisi, yaitu setelah pembangkitan energi listrik, tegangan energi naik dan kemudian ditransmisikan ke gardu induk (GI) dari jaringan transmisi. Kemudian sistem distribusi yaitu sebelum sampai di Gardu Induk (GI), tegangan yang dinaikkan sebelumnya diturunkan agar energi listrik dapat disalurkan kepada pelanggan.

2.3 Sistem Distribusi

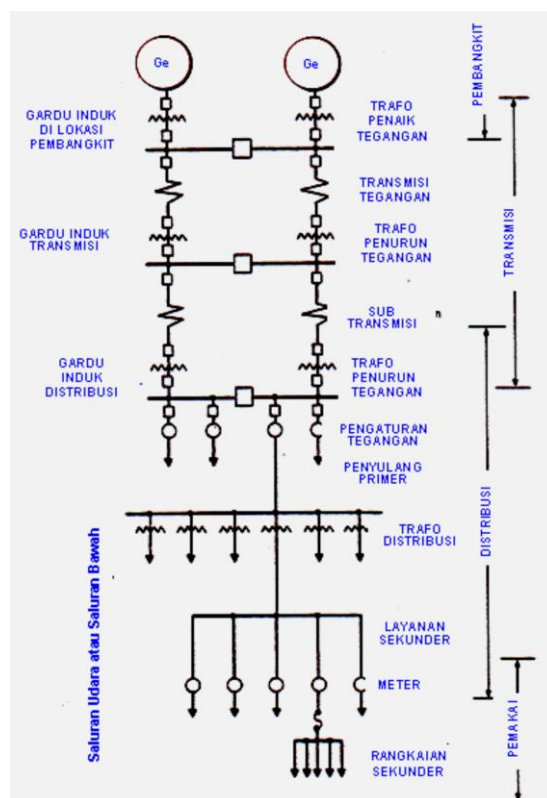
Sistem distribusi listrik mempunyai fungsi utama yaitu mengalirkan tenaga listrik dari Gardu Induk distribusi (*distribution substation*) listrik dengan kualitas pelayanan yang tinggi dan menyalurkannya ke pelanggan-pelanggan diseluruh daerah. Permasalahan utama dalam pelaksanaan pengoperasian jaringan distribusi adalah cepatnya penanganan gangguan, mengingat sebagian besar gangguan pada jaringan listrik terjadi pada jaringan distribusi, khususnya pada jaringan tegangan menengah.

Dalam suatu sistem distribusi tenaga listrik, tingkat keandalan merupakan hal yang sangat penting bagi kinerja sistem tersebut. Keandalan ini tercermin dari sejauh mana sumber energi listrik tersebut mampu mensuplai konsumen secara kontinyu. Masalah yang paling mendasar dari sistem distribusi tenaga listrik adalah kualitas, kontinuitas dan ketersediaan pelayanan tenaga listrik kepada pelanggan[10].

Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (*Bulk Power Source*) sampai ke konsumen.

Fungsi distribusi tenaga listrik adalah:

1. Pembagi atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan).
2. Merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, karena catu daya pada pusat-pusat beban (pelanggan) dilayani langsung melalui jaringan distribusi.



Gambar 2.2 Pengelompokan Sistem Tenaga Listrik

- Daerah I : Bagian pembangkitan (*Generation*)
- Daerah II : Bagian penyaluran (*Transmission*), bertegangan tinggi (HV, UHV, EHV)
- Daerah III : Bagian Distribusi Primer, bertegangan menengah (6 atau 20 kV).
- Daerah IV : Bagian Pemakai (Di dalam bangunan pada beban/konsumen).

Sistem distribusi tenaga listrik merupakan kondisi penyaluran energi listrik dari pusat pembangkit tenaga listrik ke pusat beban (konsumsi). Sistem distribusi seringkali mengalami gangguan. Oleh karena itu penanggulangan merupakan permasalahan besar dalam proses pengoperasian sistem distribusi, karena jumlah kebisingan pada sistem distribusi relatif besar dibandingkan dengan kebisingan pada bagian sistem lainnya. Sistem distribusinya terbagi menjadi dua yaitu Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dan Jaringan Tegangan Rendah (JTR) yang keduanya beroperasi secara radial[11].

2.3.1 Jaringan Distribusi Primer

Jaringan distribusi primer (JDTM) adalah jaringan yang terletak di depan gardu induk dan bertanggung jawab atas distribusi listrik tegangan menengah (misalnya 6 kV atau 20 kV). Hantaran berupa kabel dalam tanah atau kabel saluran udara dengan menghubungkan gardu induk (sekunder trafo) ke gardu distribusi atau gardu induk (sisi primer trafo distribusi)[12].

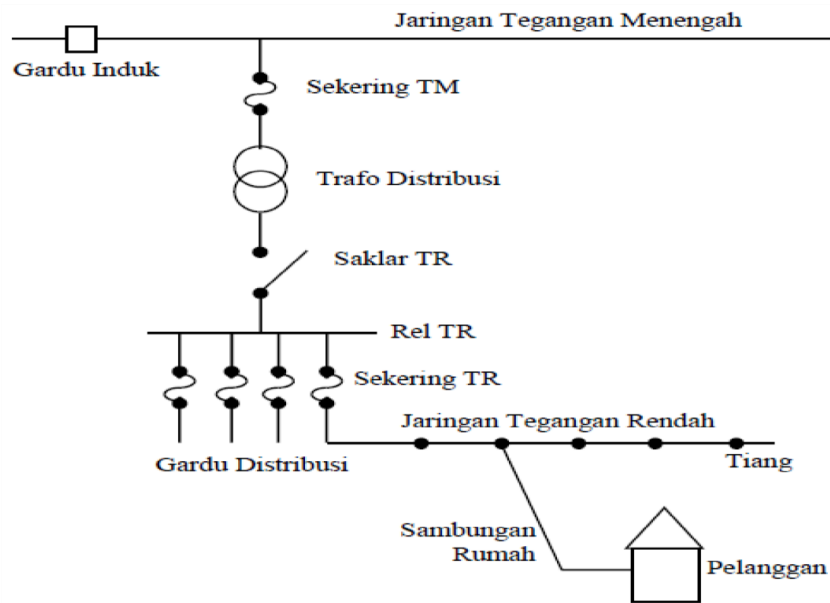
Bagian-bagian sistem distribusi primer terdiri dari :

1. Transformator daya, berfungsi untuk menurunkan dan menaikkan tegangan
2. Pemutus tegangan, berfungsi sebagai pengaman yaitu pemutus daya
3. Penghantar, berfungsi sebagai penghubung daya
4. Busbar, sebagai titik pertemuan antara trafo daya dengan peralatan lainnya
5. Gardu hubung, menyalurkan daya ke gardu distribusi tanpa mengubah tegangan.
6. Gardu distribusi, berfungsi untuk menurunkan tegangan menengah menjadi tegangan rendah.

2.3.2 Jaringan Distribusi Sekunder

Jaringan Distribusi Sekunder (JDTR) adalah Jaringan yang terletak di belakang stasiun distribusi digunakan untuk distribusi Jaringan tegangan rendah (misalnya 220 V/380 V). Pengiriman berupa kabel bawah tanah atau kabel kawat udara yang dihubungkan oleh gardu induk Distribusi (sisi sekunder trafo

distribusi) ke konsumen atau Pengguna (misalnya industri atau rumah tangga pribadi).



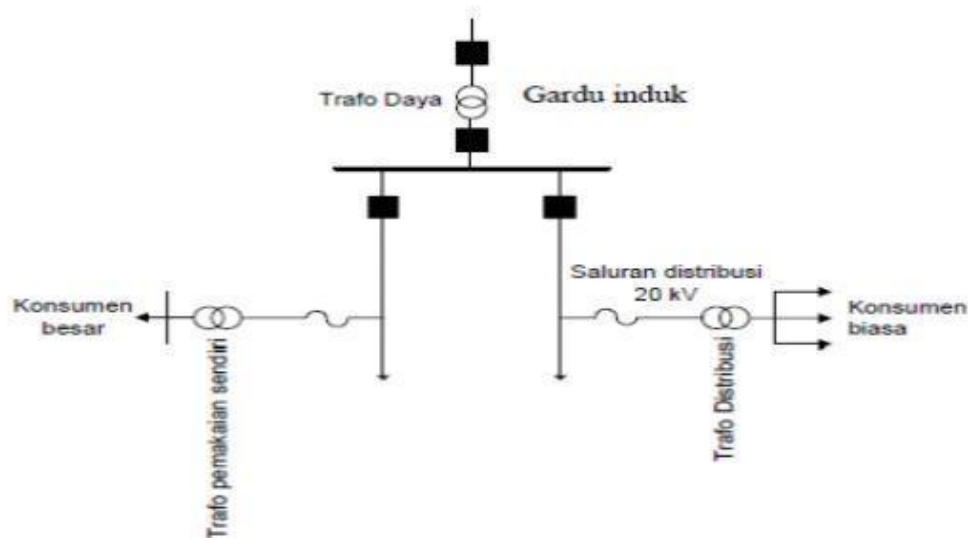
Gambar 2.3 Hubungan tegangan menengah ke tegangan rendah dan konsumen

Jaringan sekunder berfungsi menyalurkan listrik dari gardu distribusi ke konsumen. Bentuk saluran yang paling umum digunakan dalam sistem distribusi sekunder adalah sistem radial. Sistem ini dapat menggunakan kabel berinsulasi atau kabel tidak berinsulasi. Karena letaknya, sistem distribusi ini merupakan bagian yang langsung berhubungan dengan konsumen. Jadi, sistem ini dirancang untuk menerima daya dari sumber listrik (transformator distribusi), menyalurkan daya tersebut, dan menyalurkannya ke konsumen. Karena periode ini secara langsung mempengaruhi konsumen, perhatian besar harus diberikan pada kualitas listrik.

2.3.3 Penyulang (*Feeder*)

Penyulang adalah sarana untuk pendistribusian tenaga listrik dari gardu induk ke konsumen. Di mana kontinuitas pendistribusian tenaga listrik tersebut harus selalu dijaga. Namun pada kenyataannya, penyulang tersebut sering

mengalami gangguan yang dapat disebabkan adanya kejadian secara acak dalam sistem yang dapat berupa terganggunya fungsi peralatan, peningkatan beban dan lepasnya peralatan-peralatan yang tersambung ke sistem[11].



Gambar 2.4 Single Line Diagram Penyulang Tegangan Listrik

2.3.4 Penutup Balik Otomatis (*Recloser*)

Recloser merupakan salah satu alat dalam pengamanan sistem distribusi jaringan tegangan menengah 20 kV untuk menganalisa adanya gangguan yang bersifat sementara ataupun gangguan permanen[13].

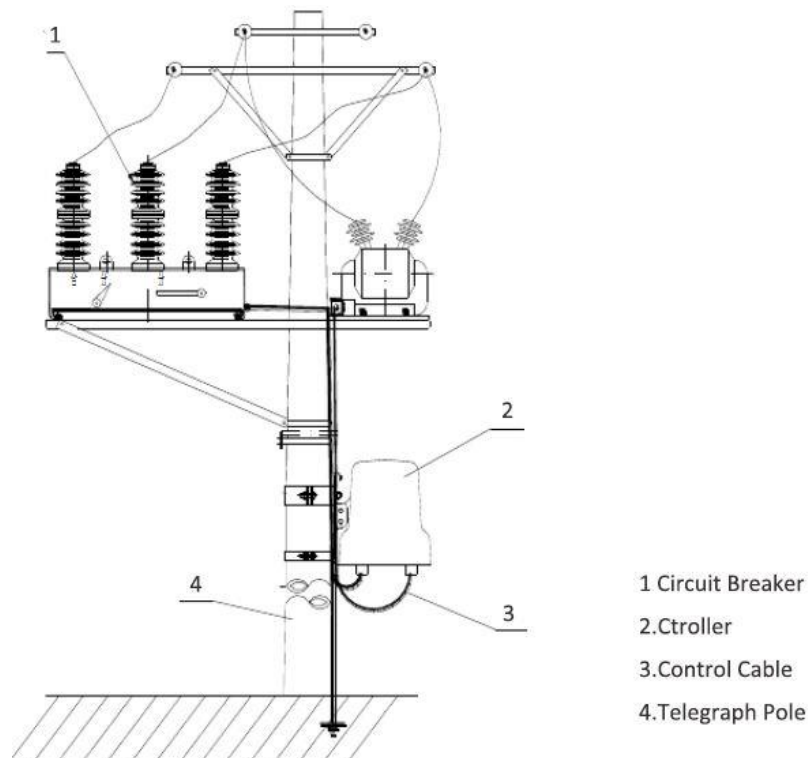


Gambar 2.5 Recloser

Dalam distribusi tenaga listrik, *recloser* adalah pemutus arus yang dilengkapi dengan pengontrol yang dapat secara otomatis menutup pemutus arus setelah pemutusan sambungan jika terjadi gangguan sementara pada saluran, sehingga menghindari pemadaman jaringan yang lebih lama dan mengurangi jumlah terjadinya gangguan.

Pengontrol *recloser* memberikan informasi ke jaringan dan mendukung perlindungan jaringan dan dalam banyak kasus bahkan fungsionalitas RTU. Relai proteksi mendeteksi kesalahan dan membantu modul pemutus sirkuit vakum menghilangkan gangguan saluran.

Pengontrol dan pemutus sirkuit dihubungkan dengan kabel dan steker kontrol pesawat, sehingga memudahkan pemasangan. Dengan modul komunikasi nirkabel GPRS, pengguna dapat melihat status sakelar dari jarak jauh dan mengontrol pembukaan dan penutupan sakelar.



Gambar 2.6 Diagram Instalasi

Dua jenis pengontrol: tipe persegi (kiri) dan tipe laras (kanan)



Gambar 2.7 Jenis pengontrol *recloser*

Fungsi utama :

1. Monitor status jaringan distribusi secara real-time, ukur data, dan pantau status peralatan yang relevan
2. Kontrol lokal dan jarak jauh, dan melakukan manajemen baterai otomatis
3. Rekam berbagai peristiwa dan gelombang gangguan
4. Indikator eksternal untuk memeriksa status utama tertentu dari dalam tanah.

2.3.5 Trafo Distribusi

Transformator merupakan komponen utama dalam penyaluran energi listrik pada sebuah sistem kelistrikan, energi listrik disalurkan ke konsumen melalui sistem tenaga listrik. Sistem tenaga listrik terdiri dari beberapa bagian sistem yaitu Pembangkitan, Transmisi dan Distribusi. Jarak antara pembangkit listrik dan beban terletak sangat jauh sehingga membutuhkan transformator daya untuk menaikkan dan menurunkan tegangan agar rugi-rugi yang dihasilkan selama proses penyaluran tenaga listrik dapat diminimalisir. Dalam pengoperasian transformator sering terjadi gangguan yang dapat menghambat kinerja dari

transformator, sehingga dibutuhkan pengamanan dan pengaturan proteksi yang stabil untuk menjaga kelancaran operasional pada suatu sistem[14].

Gardu Distribusi adalah gardu yang berisikan transformator distribusi dan merupakan daerah/titik pertemuan antar jaringan primer dan jaringan sekunder karena pada gardu ini tegangan menengah (TM) diubah ketegangan rendah (TR)[15].

Berdasarkan SPLN, transformator di Indonesia dirancang untuk bekerja pada temperatur sekitar tidak melebihi 40°C dan pada temperatur rata-rata harian 30°C serta temperatur rata-rata tahunan 30°C . *International electrotechnical commission* (IEC) menetapkan umur transformator 20 tahun atau setara 7300 hari apabila di bebani 100% dari nilai rating daya transformator pada temperatur sekitar 20°C , sehingga susut umur normal adalah 0,0137% per hari.



Gambar 2.8 Trafo distribusi

Beberapa hal yang menjadi gangguan pada suatu transformator selama beroperasi bahkan sampai dapat mengakibatkan kerusakan yaitu bencana alam, terkena petir, tertimpa pohon, hubung singkat, beban lebih, beban tidak seimbang, minyak trafo rusak, ataupun proteksi transformator yang tidak berfungsi. tidak berfungsi[16]. Pada dasarnya gangguan transformator dibagi menjadi gangguan mekanis, gangguan listrik, dan gangguan magnetis.

Gangguan mekanis berupa gangguan isolasi rusak di dalam tangki, baik permukaan dalam tangki, baik permukaan dalam tangki, lubang lubang tangki, bushing, pipa, dan sebagainya. Gangguan listrik yakni tahanan isolasi rendah

dan isolasi tembus tahanan isolasi rendah dan isolasi tembus. Gangguan magnetis berupa gangguan laminasi inti, isolasi tembus antara laminasi, dan gangguan inti besi.

Komponen-komponen Transformator

1. Inti besi

Inti besi mempunyai efek memperlancar jalur fluks magnet yang dihasilkan oleh arus yang melalui kumparan. Diproduksi dari lembaran tipis besi berinsulasi, dimaksudkan untuk meredam panas (berupa rugi-rugi besi) yang ditimbulkan oleh arus eddy.

2. Gulungan transformator

Belitan transformator terdiri dari banyak belitan berinsulasi yang membentuk satu atau lebih belitan. Kumparan terdiri dari kumparan primer dan kumparan sekunder yang diisolasi baik dari inti besi maupun antar kumparan dengan bahan isolasi padat seperti karton, pertinak dan lain-lain. Kumparan adalah alat untuk mengubah tegangan dan arus.

3. Minyak transformator

Minyak trafo merupakan salah satu bahan isolasi cair yang digunakan sebagai bahan insulasi dan pendingin pada trafo.

- 1) Sebagai bagian dari bahan isolasi, minyak harus mampu menahan tegangan tembus dan pada saat yang bersamaan.
- 2) Sebagai minyak trafo perpindahan panas harus mampu meredam panas yang dihasilkan.

Jadi dengan kedua kekuatan tersebut maka oli akan mampu melindungi trafo dari kebisingan. Minyak transformator mengandung unsur atau senyawa hidrokarbon yaitu senyawa hidrokarbon parafin, senyawa hidrokarbon naftenat, dan senyawa hidrokarbon aromatik. Selain ketiga senyawa tersebut, minyak trafo juga mengandung senyawa yang disebut aditif, walaupun kandungannya sangat rendah.

4. Cincin

Sambungan antara belitan trafo dengan jaringan luar dilakukan melalui selongsong, yaitu suatu penghantar yang dilapisi lapisan isolasi. Bushing juga berfungsi sebagai isolator/pengisolasi antara konduktor dan kotak trafo. Bushing dilengkapi dengan alat untuk memeriksa kondisi bushing yang biasa disebut dengan center tap.

5. Tangki konservatif

Tangki penyimpanan berfungsi sebagai tempat penyimpanan minyak dan uap/udara akibat pemanasan trafo akibat arus beban. Relai Bucholzt yang dipasang antara tangki penyimpanan dan trafo akan menyerap gas yang dihasilkan akibat kerusakan minyak. Untuk menghindari kontaminasi minyak dengan air, maka pada ujung saluran udara melalui ventilasi dilengkapi dengan alat penyerap uap air yang ada di udara yang biasa disebut dengan silika gel, dan tidak lolos sehingga mencemari udara sekitar.

6. Perangkat pendingin transformator tambahan

Pada inti besi dan kumparan akan timbul panas akibat hilangnya tembaga. Jika panas tersebut menyebabkan peningkatan suhu yang berlebihan, maka akan merusak isolasi. Oleh karena itu, untuk mengurangi kenaikan suhu yang berlebihan maka trafo harus dilengkapi dengan alat atau sistem pendingin untuk menghilangkan panas dari trafo yang sarannya digunakan untuk pendinginan. Sistemnya dapat berbentuk: Udara/gas, minyak dan air.

Secara alami, aliran fluida berasal dari perbedaan suhu zat cair dan mempercepat pendinginan zat cair (minyak-udara/gas) dengan melengkapi trafo dengan sirip Radiator). Jika ingin mendistribusikan panas lebih cepat lagi, cara manual dapat dilengkapi dengan alat untuk mempercepat sirkulasi cairan pendingin melalui pompa sirkulasi oli, udara dan air, cara ini disebut dengan pendinginan paksa.

7. *Tap Changer*

Mutu pengoperasian sumber tenaga listrik adalah bila tegangan pengenalnya sesuai dengan ketentuan, namun pada saat pengoperasiannya dapat terjadi jatuh tegangan sehingga menyebabkan kualitas tenaga menurun, sehingga diperlukan

pengatur tegangan untuk menjamin kualitas tenaga. berkurang. Tekanan selalu dalam kondisi terbaiknya. berkelanjutan dan jangka panjang.

Oleh karena itu trafo dirancang sedemikian rupa sehingga perubahan tegangan pada sisi masukan/masukan tidak menyebabkan perubahan tegangan pada sisi keluaran/keluaran, dengan kata lain tegangan pada sisi keluaran tidak berubah. Alat ini disebut dengan *No-load Disconnected Voltage Regulator* atau biasa dikenal dengan *On-Load Faucet Changer (OLTC)*. Umumnya OLTC dihubungkan ke sisi primer dan jumlahnya tergantung pada desain dan variasi tegangan sistem pada jaringan.

8. Alat Pernafasan (Ventilator Dehidrasi)

Sebagai tempat menyimpan pemuaian minyak isolasi akibat panas yang keluar, minyak disimpan dalam suatu tangki yang biasa disebut dengan bejana penyimpanan. Pada bahan pengawet ini, permukaan minyak tidak boleh terkena udara, karena uap air di udara yang mengandung uap air akan mengkontaminasi minyak meskipun proses kontaminasi berlangsung cukup lama. Untuk mengatasi masalah tersebut, udara yang masuk ke tangki penyimpanan pada saat minyak mendingin memerlukan media pengering yang biasa digunakan berupa silika gel. Sebaliknya, jika trafo panas, ketika berkontraksi, ia akan menarik udara dari luar ke dalam tangki dan untuk menghindari kontaminasi kelembaban, diperlukan media pengering, biasanya silika gel, yang dirancang khusus untuk tujuan tersebut.

9. Indikator

a) Termometer, alat ini digunakan untuk mengukur suhu trafo, baik lilitan primer maupun sekunder serta minyak trafo. Termometer ini bekerja dengan bahan dasar air raksa (merkuri/Hg) yang dihubungkan pada tabung ekspansi dan dihubungkan pada jarum penunjuk suhu. Beberapa termometer digabungkan dengan panas dari sebuah resistor (terutama dihubungkan dengan trafo arus, dipasang pada salah satu fasa tengah) sehingga pembacaan yang diperoleh berhubungan dengan jumlah panas sebenarnya yang terjadi.

b) *Oil Level / Dipstick Oli*, alat ini digunakan untuk menunjukkan level oli pada tangki penyimpanan. Ada beberapa jenis indikator, seperti indikator langsung, seperti menempatkan gelas ukur di salah satu sisi tangki penyimpanan sehingga Anda dapat dengan mudah mengetahui ketinggian oli. Sedangkan jenis lainnya, jika pengawet dirancang untuk memuat balon yang terbuat dari bahan elastis dan biasanya berisi udara serta dilengkapi dengan alat pelindung seperti sistem pernapasan untuk mencegah pemuain dan kontraksi udara minyak yang masuk ke dalam balon bersifat kering dan aman.

10. Perangkat perlindungan internal

a) Relai Bucholtz, penggunaan relai pendeteksi gas (Bucholtz) pada trafo terendam minyak dimaksudkan untuk melindungi trafo dari gangguan trafo seperti : Busur listrik, pelepasan sebagian, dan pemanasan berlebih sering kali menghasilkan gas. Gas dikumpulkan di ruang transisi dan akan berfungsi sebagai titik kontak alarm.

Relai deteksi gas juga mencakup perangkat yang merespons laju aliran oli sangat tinggi yang terjadi jika terjadi kegagalan transformator parah. Alat ini akan mengoperasikan kontak trip yang biasanya dihubungkan pada pemutus arus instalasi trafo. Ada beberapa jenis relai Bucholtz yang dipasang pada trafo. Relai serupa tetapi digunakan untuk menjamin ruang *step changer on load* (OLTC) dengan prinsip operasi yang sama sering disebut relai Jansen. Ada banyak tipenya, diantaranya seperti relai Bucholtz tapi tanpa gas control, tipe tekanan yang menggunakan film fleksibel/film timah jadi jika ada perubahan tekanan karena turbulensi akan berfungsi, disini tidak ada peringatan tapi langsung diaktifkan dan dengan prinsip yang sama hanya dengan menggunakan saklar tekanan atau *pressure switch*.

b) *Explosion Membrane / Exploding Plate*, relai ini beroperasi karena adanya tegangan lebih akibat adanya kebisingan di dalam trafo, jika tekanan melebihi kapasitas diafragma yang terpasang maka diafragma akan pecah dan oli akan mengalir keluar trafo akibat adanya tekanan dalam trafo.

- c) Relai tekanan lebih (*Sudden Pressure Relay*), suatu flash over atau hubung singkat yang timbul pada suatu transformator terendam minyak, umumnya akan berkaitan dengan suatu tekanan lebih didalam tangki, karena gas yang dibentuk oleh dekomposisi dan evaporasi minyak. Dengan melengkapi sebuah relai pelepasan tekanan lebih pada trafo, maka tekanan lebih yang membahayakan tangki trafo dapat dibatasi besarnya. Apabila tekanan lebih ini tidak dapat dieliminasi dalam waktu beberapa millidetik, maka terjadi panas lebih pada cairan tangki dan trafo akan meledak. Peralatan pengaman harus cepat bekerja mengevakuasi tekanan tersebut.
- d) Relai pengaman tangki, yang berfungsi sebagai pengaman jika ada arus yang mengalir di dalam bejana, karena adanya gangguan fasa di dalam tangki atau pada instalasi tambahan seperti motor kipas, sirkulator dan motor tambahan lainnya, perapian, dll. Relai arus ini menggantikan relai diferensial karena sistem relai pengaman tangki biasanya dipasang pada trafo yang tidak dilengkapi trafo arus pada sisi primernya dan umumnya pada trafo berkapasitas kecil. Trafo dipasang di atas insulasi agar tidak dibumikan, kemudian kabel arde dilewatkan melalui trafo dengan isolasi dan rasio rendah kemudian dihubungkan ke relai. Tangki tanah memiliki rasio konversi arus antara 300 dan 500 dengan sisi sekunder hanya 1 Amp.
- e) *Neutral Ground Resistor / NGR* atau *Transformer Ground Resistor* adalah resistor yang dipasang antara titik netral trafo dan *ground*, digunakan untuk meminimalkan arus gangguan. Resistor dipasang pada titik netral trafo yang dihubungkan pada sumbu Y (bintang/star).
NGR biasanya dipasang pada titik netral trafo 70 kV atau 20 kV, sedangkan pada titik netral trafo 150 kV dan 500 kV langsung dibumikan.

11. Perangkat tambahan untuk proteksi trafo

- a) Untuk pemadaman kebakaran (biasanya digunakan pada trafo berukuran besar), sistem pencegah kebakaran modern pada trafo kini sangat diperlukan. Fungsi pentingnya adalah untuk mencegah trafo terbakar atau memadamkan trafo sesegera mungkin jika terjadi kebakaran.

Penyebab terbakarnya trafo adalah karena adanya hubungan pendek pada sisi sekunder sehingga trafo dapat menjalankan arus maksimal. Jika ini berlangsung cukup lama dan relai tidak berfungsi. Sedangkan relai tidak berfungsi karena pengaturan waktu buka PMT yang salah, relai rusak, tidak ada daya DC, serta kabel rusak.

Sistem pencegah kebakaran modern adalah sistem pengurangan oli secara otomatis sehingga terdapat ruang bagi oksigen di udara untuk didorong ke ruangan bebas oli, sehingga tidak terjadi pembakaran oli, dan kerusakan yang lebih parah dapat dihindari, sekalipun dalam kondisi kebakaran. rendah, trafo rusak.

Proses pengeluaran oli secara gravitasi atau menggunakan motor pompa DC merupakan keadaan yang sangat beresiko karena hanya katup otomatis yang dikendalikan oleh saklar trigger akibat panasnya nyala api dan penutupan otomatis katup pada kit valve control. pipa minyak yang menghubungkan tangki (konservatif) dengan trafo (sebelum relai Bucholz), serta adanya gas pemisah oksigen (gas nitrogen bertekanan tinggi), diisi melalui pipa yang dihubungkan ke bagian bawah trafo dan akan lalu masuk ke ruang yang tidak terisi minyak.

- b) Termometer ukur langsung, termometer ukur langsung banyak digunakan pada instalasi/gardu induk tegangan tinggi, seperti ruang kendali, ruang relai, ruang PLC dan lain sebagainya. Suhu lingkungan dicatat secara berkala pada formulir yang disiapkan dan dievaluasi sebagai dokumen pelaporan.

Dibandingkan dengan *Indirect Thermometer*, termometer ukur tidak langsung ini banyak digunakan pada instalasi trafo/tegangan tinggi yang digunakan untuk mengetahui variasi temperatur pada kumparan oli dan trafo. Suhu belitan transformator dan oli dicatat secara berkala/teratur pada formulir yang telah disiapkan dan dievaluasi.

12. Relai proteksi trafo dan fungsinya

Jenis-jenis relai proteksi pada transformator daya adalah :

- a) Relai proteksi arus lebih (relai proteksi arus lebih) digunakan untuk mengamankan trafo terhadap gangguan hubung singkat antar fasa di dalam dan di luar zona aman trafo. Relai ini juga diharapkan memiliki karakteristik tambahan dengan relai beban lebih, yang juga memiliki fungsi redundansi pengamanan pada bagian instalasi lainnya.
- b) Relai Diferensial, relai ini digunakan untuk mengamankan trafo terhadap gangguan hubung singkat yang terjadi pada zona aman.
- c) Relai Gangguan tanah terbatas (*Limited Earth Relay*), relai ini digunakan untuk memasang trafo ke bumi dalam zona aman trafo, terutama untuk gangguan di dekat titik netral dimana rele diferensial tidak dapat dideteksi.
- d) Relai arus lebih terarah Relai arus lebih terarah disebut juga relai arus lebih terarah merupakan rele pengamanan yang beroperasi karena arus listrik dan tegangan dapat membedakan arah arus gangguan. Relai ini mempunyai 2 parameter pengukuran yaitu tegangan dan arus yang masuk ke relay untuk membedakan arah arus maju atau mundur, pada titik *ground* netral trafo berkat adanya resistor. Relai ini dipasang pada saluran keluaran 20 KV.

Pengoperasian relay ini didasarkan pada adanya sumber arus yang berasal dari ZCT (*Zero Current Transformer*) dan sumber tegangan yang berasal dari PT (*Potential Transformer*). Sumber tegangan PT biasanya menggunakan rangkaian *Open-Delta*, namun ada kemungkinan juga ada yang menggunakan sambungan tiga fasa langsung. Relai ini dipasang pada jaringan tegangan tinggi dan menengah, sekaligus melindungi trafo daya, serta berfungsi melindungi peralatan listrik dari gangguan fasa dan tanah. Untuk membedakan arah ini, perlu membandingkan salah satu fase arus dengan tegangan fase lainnya.

- e) Sambungan relai sesuai dengan sudut diferensial antara arus dan tegangan masukan relai pada faktor daya 1. Sudut torsi maksimum relai adalah perbedaan sudut antara arus dan tegangan pada relai yang dihasilkan oleh relai. .
- f) Relai gangguan bumi, relai ini mempunyai fungsi untuk menjamin keselamatan trafo jika terjadi gangguan tanah di dalam dan di luar daerah aman trafo. Relai arah yang dibumikan memerlukan sinyal pengoperasian dan bias. Sinyal operasi diperoleh dari arus sisa yang melalui rangkaian trafo arus penghantar ($I_{op} = 3I_o$) sedangkan sinyal bias diperoleh dari tegangan sisa. Tegangan sisa dapat diperoleh dari rangkaian sekunder delta terbuka transformator tegangan.
- g) Relai tangki bumi, relai ini digunakan untuk mengamankan trafo dari hubungan pendek antara belitan fasa dengan tangki trafo dan trafo mempunyai titik netral yang dibumikan. Relai berfungsi sebagai proteksi jika arus mengalir dari reservoir akibat kegagalan fasa ke reservoir atau peralatan tambahan seperti motor kipas, motor sirkulator dan bantu, pemanas, dll.

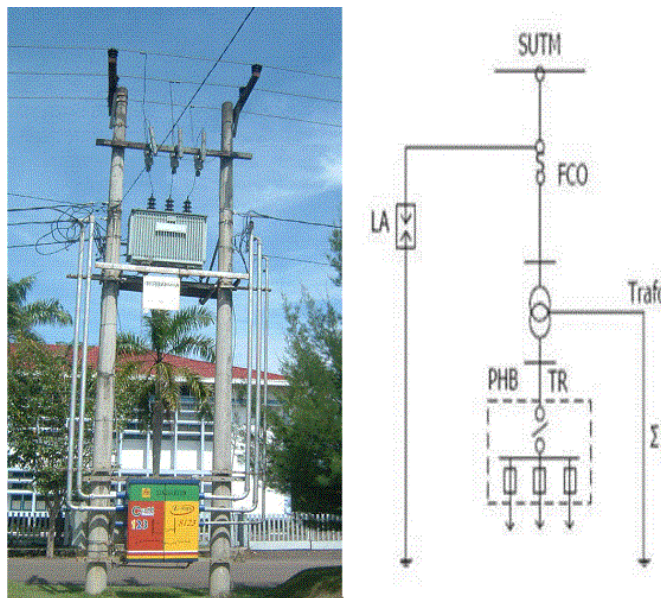
Proteksi arus ini menggantikan relai diferensial, karena sistem relai pengaman peti kemas biasanya dipasang pada trafo yang tidak dilengkapi dengan trafo arus pada sisi primernya dan seringkali pada trafo berkapasitas kecil. Trafo arus dipasang di atas insulasi agar tidak dibumikan, kemudian kabel arde dilewatkan melalui trafo arus dengan tingkat insulasi rendah dan rasio d', kemudian dihubungkan ke relai tangki pentanahan dengan trafo arus rasio. (CT) berkisar antara 300 hingga 500 dengan sisi sekunder hanya 1 Amp.

13. Pemberitahu sistem instalasi tegangan tinggi

Alarm set merupakan indikator kejadian ketika terjadi anomali pada instalasi tegangan tinggi, baik secara individu maupun kolektif. Penyiari terhubung ke relai aktif terkait jika ada kelainan pada peralatan. Penyiari biasanya berupa instruksi tertulis yang biasanya tidak ditentukan.

2.3.6 Gardu Distribusi

Pengertian umum Gardu Distribusi tenaga listrik yang paling dikenal adalah suatu bangunan gardu listrik berisi atau terdiri dari instalasi Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Menengah (PHB-TM), Transformator Distribusi (TD) dan Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB-TR) untuk memasok kebutuhan tenaga listrik bagi para pelanggan baik dengan Tegangan Menengah (TM 20 kV) maupun Tegangan Rendah (TR 220/380V). Konstruksi Gardu distribusi dirancang berdasarkan optimalisasi biaya terhadap maksud dan tujuan penggunaannya yang kadang kala harus disesuaikan dengan peraturan Pemda setempat[17].



Gambar 2.9 Gardu Distribusi

Secara garis besar gardu distribusi dibedakan atas :

Jenis pemasangannya :

- a. Gardu pasangan luar : Gardu Portal, Gardu Cantola)
- b. Gardu pasangan dalam : Gardu Beton, Gardu Kios)

Jenis Konstruksinya :

- a. Gardu Beton (bangunan sipil : batu, beton)
- b. Gardu Tiang : Gardu Portal dan Gardu Cantol
- c. Gardu Kios

Jenis Penggunaannya :

- a. Gardu Pelanggan Umum
- b. Gardu Pelanggan Khusus

2.4 Gangguan Sistem Distribusi

Gangguan pada sistem distribusi adalah terganggunya sistem tenaga listrik yang menyebabkan bekerjanya rele pengaman penyulang untuk membuka *circuit breaker* di gardu induk yang menyebabkan terputusnya suplai tenaga listrik. Hal ini untuk mengamankan peralatan yang dilalui arus gangguan tersebut dari kerusakan. Sehingga fungsi dari peralatan pengaman adalah untuk mencegah kerusakan peralatan[10].

Jenis-jenis gangguan pada sistem distribusi

1. Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat dapat terjadi antar fase (3 fase atau 2 fase) atau 1 fase ketanah dan sifatnya bisa temporer atau permanen. Gangguan permanen, Hubung singkat pada kabel, belitan trafo, generator, (tembusnya isolasi). Gangguan temporer *Flash Over* karena sambaran petir, *Flash Over* dengan pohon, tertiuip angin[18].

2. Gangguan Beban Lebih

Gangguan beban lebih (*overload*) muncul dari sistem distribusi yang melebihi kapasitas sistem terpasang. Gangguan ini sebenarnya bukan gangguan murni, namun jika terus menerus dapat merusak perangkat.

3. Gangguan Tegangan Lebih.

Gangguan tegangan lebih termasuk gangguan yang sering terjadi pada jalur distribusi.

Penyebab gangguan

1. Gangguan internal (dari dalam):
Yaitu gangguan yang disebabkan oleh sistem itu sendiri. Misalnya, kegagalan hubung singkat, kerusakan peralatan, kegagalan penggantian isolasi, kerusakan genset dan lain-lain.
2. Gangguan eksternal (dari luar), yaitu. gangguan di luar alam atau sistem. Misalnya putusnya kawat/kabel karena angin, badai, petir, pohon, layang-layang dll.
3. Gangguan Karena Faktor Manusia yaitu gangguan yang disebabkan oleh kecerobohan atau kelalaian operator, ketidak telitian, tidak mengindahkan peraturan pengamanan diri, dan lain-lain.

Akibat gangguan

1. Beban lebih
Jika terjadi gangguan, sistem kelebihan beban karena arus gangguan menembus sistem dan menyebabkan kelebihan beban. Sistem menjadi tidak normal. Jika dibiarkan terus, itu dapat membahayakan peralatan sistem.
2. Hubung singkat
Selama hubung singkat terjadi gangguan sementara atau permanen. Gangguan permanen dapat terjadi dengan hubung singkat 3 fasa, 2 fasa, fasa ke fasa atau 1 fasa ke tanah. Pada saat yang sama, terjadi gangguan sementara antara konduktor dan tanah, antara konduktor dan tiang, antara konduktor dan kawat tanah dan lain-lain.
3. Tegangan lebih
Tegangan lebih pada frekuensi utama, yaitu peristiwa kehilangan atau pengurangan beban karena gerakan, kerusakan AVR, kecepatan berlebih karena kehilangan beban. Tegangan lebih juga disebabkan oleh tegangan lebih transien dari surja petir dan surja hubung.

4. Hilangnya sumber tenaga

Kegagalan sumber energi diakibatkan oleh gangguan di unit pembangkit, gangguan hubung singkat jaringan sehingga rele dan MCB (*Miniature Circuit Breaker*) bekerja dan jaringan terputus dari pembangkit.

2.5 Pengaruh Gangguan Terhadap Sistem Distribusi

Adapun akibat yang ditimbulkan apabila terjadi gangguan pada jaringan sistem distribusi tenaga listrik antarlain seperti :

1. Gangguan akan menginterupsi kontinuitas pelayanan daya pada konsumen apabila gangguan yang terjadi hingga menyebabkan terputusnya suatu rangkaian atau jalur distribusi.
2. Ketika gangguan menyebabkan terjadinya penurunan tegangan yang cukup besar maka hal tersebut berarti kualitas listrik yang diterima oleh konsumen rendah sehingga akan berpengaruh terhadap kerja dari peralatan – peralatan listrik baik milik PLN maupun konsumen.
3. Kurangnya stabilitas dari sistem dan dapat menyebabkan jatuhnya pembangkit atau generator.
4. Dapat merusak peralatan listrik pada daerah yang mengalami gangguan[19].

Pemadaman listrik dapat berdampak luas pada berbagai sektor kehidupan dan bisnis. Beberapa sektor yang umumnya terkena dampak ketika terjadi pemadaman listrik adalah:

1. Industri dan Manufaktur

Industri dan sektor manufaktur seringkali sangat bergantung pada pasokan listrik yang stabil untuk menjalankan mesin, peralatan, dan proses produksi. Pemadaman listrik dapat mengganggu transmisi produksi, menyebabkan penurunan produktivitas, dan bahkan merusak peralatan.

2. Telekomunikasi

Sistem telekomunikasi, termasuk telepon, seluler, dan internet, bergantung pada pasokan listrik yang konsisten. Pemadaman listrik dapat mengakibatkan

gangguan layanan komunikasi, mempengaruhi komunikasi antarindividu dan bisnis.

3. Teknologi Informasi

Pusat data dan infrastruktur TI membutuhkan pasokan listrik yang stabil untuk menjaga server dan sistem berjalan. Pemadaman listrik dapat menyebabkan *downtime* situs web, aplikasi, dan layanan online, berdampak negatif pada pengalaman pengguna dan reputasi bisnis.

4. Kesehatan

Fasilitas kesehatan, seperti rumah sakit dan klinik, sangat bergantung pada pasokan listrik untuk menjaga peralatan medis seperti ventilator, peralatan pemindaian, dan peralatan pendukung kehidupan lainnya. Pemadaman listrik dapat mengancam keselamatan pasien dan menyulitkan perawatan medis.

5. Transportasi

Infrastruktur transportasi, seperti sistem kereta api dan pengaturan lalu lintas, memerlukan listrik untuk operasionalnya. Pemadaman listrik dapat menyebabkan gangguan pada layanan transportasi, mempengaruhi mobilitas masyarakat.

6. Keuangan

Institusi keuangan, seperti bank dan bursa saham, membutuhkan pasokan listrik untuk menjalankan sistem transaksi dan operasional. Pemadaman listrik dapat mengganggu layanan perbankan elektronik dan perdagangan saham.

7. Pendidikan

Sekolah, universitas, dan institusi pendidikan lainnya menggunakan teknologi yang memerlukan pasokan listrik, seperti komputer dan proyektor. Pemadaman listrik dapat mengganggu proses pembelajaran dan administrasi.

8. Layanan Umum

Layanan umum seperti air bersih, penerangan jalan, dan sistem drainase juga dapat terganggu oleh pemadaman listrik, sehingga mempengaruhi kenyamanan dan keamanan masyarakat.

9. Pariwisata dan Perhotelan

Industri perhotelan dan pariwisata mengandalkan teknologi dan kenyamanan modern. Pemadaman listrik dapat mempengaruhi operasional hotel, restoran, dan layanan pariwisata.

10. Keamanan

Sistem keamanan seperti kamera pengawas dan alarm sering kali menggunakan pasokan listrik untuk beroperasi. Pemadaman listrik dapat mengurangi efektivitas sistem keamanan ini.

Pemadaman listrik dapat mempunyai dampak serius terhadap berbagai sektor ini, yang mana dapat mengakibatkan kerugian finansial, ketidaknyamanan masyarakat, dan masalah keamanan. Oleh karena itu, penting bagi pemerintah, dunia usaha, dan masyarakat untuk mengambil langkah-langkah pencegahan dan penanggulangan untuk mengurangi dampak pemadaman listrik yang mungkin terjadi.

2.6 Keandalan Sistem Distribusi

Keandalan sistem distribusi adalah kemampuan sistem distribusi dalam menyalurkan tenaga listrik dengan baik dan stabil kepada pelanggan terutama pelanggan daya besar yang membutuhkan kontinuitas penyaluran tenaga listrik secara mutlak[16]. Apabila tenaga listrik tersebut putus atau tidak tersalurkan akan mengakibatkan proses produksi dari pelanggan besar tersebut terganggu. Struktur jaringan tegangan menengah memegang peranan penting dalam menentukan keandalan penyaluran tenaga listrik karena jaringan yang baik memungkinkan dapat melakukan manuver tegangan dengan mengalokasikan tempat gangguan dan beban dapat dipindahkan melalui jaringan lainnya.

Salah satu indikator dari keandalan sistem distribusi tenaga adalah ketahanan kelangsungan pasokan listrik kepada konsumen[20]. Beberapa parameter indeks keandalan jaringan distribusi listrik adalah nilai SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*), nilai SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*), dan nilai CAIDI (*Customer Average Interruption Duration*

Index) yang lebih kecil dari indeks nilai, lebih dapat diandalkan dari kinerja sistem.

Keandalan sistem distribusi sangat dipengaruhi oleh gangguan yang terjadi pada sistem yang menyebabkan terjadinya pemutusan beban atau *outage*, sehingga gangguan yang terjadi pada sistem yang menyebabkan terjadinya pemutusan beban atau *outage*, sehingga berdampak pada kontinuitas ketersediaan pelayanan tenaga listrik ke pelanggan. Tingkat keandalan pada sistem berdampak pada kontinuitas ketersediaan pelayanan tenaga listrik ke pelanggan. Tingkat keandalan pada sistem distribusi listrik dapat dilihat dari frekuensi terjadinya listrik ke pelanggan. Tingkat keandalan pada sistem distribusi listrik dapat dilihat dari frekuensi terjadinya pemutusan beban (*outage*), berapa lama pemutusan terjadi distribusi listrik dapat dilihat dari frekuensi terjadinya pemutusan beban (*outage*), berapa lama pemutusan terjadi dan waktu yang dibutuhkan untuk pemulihan sistem dari pemutusan beban (*outage*), berapa lama pemutusan terjadi dan waktu yang dibutuhkan untuk pemulihan sistem dari pemutusan yang terjadi (*restoration*). Tingkat pemutusan dan waktu yang dibutuhkan untuk pemulihan sistem dari pemutusan yang terjadi (*restoration*). Tingkat pemutusan yang terjadi ini berbanding terbalik dengan keandalan pemutusan yang terjadi (*restoration*). Tingkat pemutusan yang terjadi ini berbanding terbalik dengan keandalan sistem. Frekuensi pemutusan beban yang tinggi akan yang terjadi ini berbanding terbalik dengan keandalan sistem. Frekuensi pemutusan beban yang tinggi akan mengakibatkan keandalan sistem yang rendah[21].

2.7 Indeks Keandalan Sistem

Untuk mengukur tingkat keandalan dari beberapa titik/*load point* digunakan indeks-indeks keandalan dasar, yaitu :

λ = Frekuensi kegagalan tahunan rata-rata (*fault/year*)

r = Lama terputusnya pasokan listrik rata-rata (*hours/fault*)

U = Lama durasi terputusnya pasokan listrik tahunan rata-rata (*hours/year*)

Berdasarkan indeks keandalan dasar tersebut, dapat diperoleh keandalan untuk beberapa titik beban, yang selanjutnya digunakan untuk menentukan keandalan sistem secara keseluruhan. Indeks-indeks keandalan sistem yang penting adalah:

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

SAIFI adalah salah satu indeks keandalan yang perhitungannya adalah perkalian frekuensi pemadaman pada salah satu penyulang dengan jumlah pelanggan yang mengalami *trouble* atau gangguan dibagi dengan keseluruhan jumlah pelanggan yang dilayani[22]. Maka dari itu dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$SAIFI = \frac{\text{Jumlah gangguan pelanggan}}{\text{jumlah pelanggan}} = \frac{\sum \lambda_i N_i}{\sum N} \quad (2.1)$$

Dimana :

λ_i = durasi pemadaman rata-rata pertahun

N_i = Jumlah konsumen padam

N = total konsumen

2. SAIDI (*System Average Interruption Duration Indeks*)

SAIDI adalah tingkat dimana rata-rata kegagalan pada pelanggan selama periode waktu tertentu. Untuk menentukan jumlah dan berapa lama durasi pemadaman terjadi selama berturut-turut untuk jumlah semua pelanggan selama waktu periode tertentu, dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$SAIDI = \frac{\sum_{i=0}^n (\text{Durasi pemadaman pada konsumen})}{\text{Total pelanggan}} \quad (2.2)$$

Atau

$$SAIDI = \frac{\sum V_i . M_i}{\sum M_i} \quad (2.3)$$

Dimana :

V_i = Lama/durasi pemadaman pasokan listrik tahunan rata-rata
(*hours/year*)

M_i = Total pelanggan

3. CAIDI (*Customer Average Interruption Duration Indeks*)

CAIDI adalah ukuran lamanya waktu atau gangguan yang dialami oleh konsumen. CAIDI, adalah durasi gangguan rata-rata yang ditentukan

berdasarkan jumlah gangguan yang berkelanjutan[1]. Dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$CAIDI = \frac{\text{Indeks durasi pemadaman rata-rata}}{\text{Indeks Frekuensi rata-rata}} \quad (2.4)$$

atau

$$CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI} \text{ (Jam/Pelanggan)} \quad (2.5)$$

Keterangan:

SAIDI = Indeks durasi pemadaman rata-rata

SAIFI = Indeks frekuensi rata-rata

Standar indeks Keandalan sesuai dengan SPLN No. 59 tahun 1985 dan standar IEEE Std 1366-2003. Standar ini bertujuan untuk memberikan pedoman dalam mengevaluasi dan menentukan keandalan sistem distribusi tenaga listrik dan memberikan ukuran kemajuan dalam menentukan prediksi yang dibuat oleh PT PLN (Persero) Banda Aceh.

2.8 Indikator Keandalan

Indikator keandalan berupa keandalan dasar dan beberapa sistem peringkat keandalan berdasarkan keandalannya adalah:

1. Frekuensi kegagalan (λ),
2. Rata-rata waktu perbaikan (r),
3. Rata-rata ketidaktersediaan tahunan (U),
4. Rata-rata indeks frekuensi kegagalan sistem. Keandalan, yang memberikan informasi tentang rata-rata frekuensi kegagalan yang dihadapi oleh setiap peserta selama periode waktu tertentu. Dapat juga didefinisikan sebagai:
 - a. Indeks Durasi Gangguan Rata-Rata Sistem (SAIDI)
 - b. Indeks Durasi Gangguan Rata-Rata Pelanggan (CAIDI),
 - c. Pematian Energi (ENS) dan Pematian Energi Rata-Rata (AENS).

Sebaliknya, ketika menentukan manfaat keandalan dari sistem distribusi listrik itu sendiri, selain mencatat nilai keandalan, sebaiknya harus membandingkan nilai tersebut dengan target keandalan[19].

2.9 Indeks Keandalan Secara Ekonomis

Indeks keandalan ekonomis adalah metode untuk mengukur pencapaian penghematan biaya atau efisiensi biaya. Produk yang dihasilkan dievaluasi lebih lanjut untuk implementasi proses dan layanan. Selain perawatannya, juga memperhitungkan faktor biaya.

Persamaan untuk menghitung daya yang diambil pada saat gangguan dan dapat dirumuskan, yaitu:

1. Daya Aktif

Daya aktif merupakan energi utama yang dapat digunakan untuk mengubah energi listrik menjadi energi lain (gerak, panas, cahaya, dll). Satuan daya aktif adalah watt (W) dan daya aktif adalah daya yang dikirim ke beban tanpa umpan balik ke sumber. Daya aktif dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Daya Aktif} = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos\theta \quad (2.6)$$

Dimana :

V = Tegangan (V)

I = Kuat Arus (A)

Cos θ = 0,8 (rata-rata faktor daya masing-masing penyulang)

2. *Energy Not Supplied (ENS)*

Energy not supplied (ENS) adalah energi yang tidak tersalurkan mengacu pada jumlah energi yang ditujukan untuk pelanggan yang hilang karena gangguan atau pemadaman di jaringan. Mengurangi ENS berarti meminimalkan gangguan pada catu daya sistem. Persamaan ENS dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$ENS = \sum \text{Gangguan (kW)} \times \text{Durasi (jam)} \quad (2.7)$$

Keterangan :

ENS = Energi yang tak tersalurkan (kWh)

$\sum \text{Gangguan}$ = Jumlah daya aktif yang mengalami gangguan (kW)

Durasi = Lamanya terjadi gangguan (jam).

3. *Average Energy Not Supplied* (AENS)

AENS (*Average Energy Not Supplied*) adalah rata-rata energi yang tidak tersalurkan akibat pemadaman listrik. AENS dinyatakan sebagai jumlah energi yang hilang selama kegagalan dibandingkan dengan jumlah yang masih dipasok oleh pelanggan[23]. Rumus AENS dapat dijabarkan yaitu :

$$AENS = \frac{ENS}{\sum N} \quad (2.8)$$

Dimana :

AENS = Rata-rata energi yang tidak disalurkan

$\sum N$ = Jumlah pelanggan

Menganalisis nilai energi yang tidak dipasok (energi tidak disuplai) pada PT PLN (Perusahaan Listrik Negara) atau perusahaan listrik lainnya memiliki beberapa keuntungan penting. Energi tidak disuplai Merujuk pada energi listrik yang seharusnya disediakan oleh perusahaan listrik kepada pelanggan, tetapi tidak dapat disampaikan karena berbagai alasan. Berikut adalah beberapa keuntungan menganalisis nilai energi tidak disediakan:

1. Peningkatan Efisiensi Operasional

Analisis energi tidak tersedia membantu PT PLN mengidentifikasi area di mana pasokan listrik tidak mencukupi. Dengan memahami penyebabnya, perusahaan dapat mengambil tindakan untuk meningkatkan efisiensi operasionalnya, seperti meningkatkan pemeliharaan peralatan, mengurangi gangguan, dan meminimalkan kehilangan energi selama distribusi.

2. Perencanaan Infrastruktur

Dengan menganalisis pola energi yang tidak disuplai, PT PLN dapat memperoleh wawasan tentang daerah atau wilayah yang rentan mengalami

gangguan pasokan listrik. Informasi ini dapat membantu perusahaan dalam merencanakan peningkatan infrastruktur seperti pembangunan gardu distribusi, penambahan saluran transmisi, dan investasi dalam teknologi lainnya.

3. Peningkatan Kualitas Layanan

Dengan memahami alasan dibalik ketidaktersediaan energi, PT PLN dapat fokus pada memperbaiki kualitas layanan kepada pelanggan. Hal ini mencakup peningkatan respon terhadap gangguan, perbaikan waktu pemulihan pasokan, dan peningkatan pengaturan yang mengurangi risiko energi tidak dipasok.

4. Penghematan Biaya

Pengurangan energi yang tidak disuplai dapat mengurangi biaya yang harus dikeluarkan oleh PT PLN untuk mengatasi gangguan dan pemulihan pasokan. Biaya perawatan dan perbaikan peralatan juga dapat ditekan dengan pemahaman yang lebih baik tentang daerah-daerah yang memerlukan perhatian lebih.

5. Peningkatan Reputasi

Dengan mengurangi angka energi yang tidak dipasok, PT PLN dapat meningkatkan reputasinya di mata pelanggan dan masyarakat. Peningkatan kualitas layanan dan pasokan listrik dapat membantu perusahaan membangun citra yang lebih baik.

6. Optimalisasi Investasi

Analisis energi tidak dipasok membantu PT PLN mengidentifikasi prioritas area untuk investasi dalam infrastruktur baru. Hal ini memungkinkan perusahaan untuk mengalokasikan sumber daya dengan lebih cerdas dan efektif.

7. Dampak Lingkungan

Mengurangi energi yang tidak disalurkan juga berkontribusi pada efisiensi penggunaan sumber daya alam, yang pada gilirannya dapat memiliki dampak positif pada lingkungan.

2.10 Standar Perusahaan Listrik Negara (SPLN)

SPLN merupakan standar perusahaan PT. PLN (Persero), diputuskan oleh pemerintah dan wajib. Ini dapat berupa peraturan, instruksi, pedoman, metode pengujian dan spesifikasi teknis. Sejak tahun 1976 telah diselesaikan lebih dari 262 standar, meliputi 59 standar di sektor pembangkitan, 68 standar di sektor transmisi, 99 standar di sektor distribusi, 6 standar di sektor SCADA dan 30 standar di sektor umum[10].

1. Standar Nilai indeks kehandalan SPLN 68-2 : 1986

Tabel 2.1 Standar nilai indeks kehandalan SPLN 68-2 : 1986

Indikator kerja	Standar Nilai	Satuan
SAIDI	21,09	Jam/pelanggan/tahun
SAIFI	3,2	Kali/pelanggan/tahun
CAIDI	6,56	Jam/pelanggan/tahun

2. Standar Nilai indeks kehandalan IEEE std 1366 – 2003

Tabel 2.2 Standar nilai indeks kehandalan IEEE std 1366 - 2003

Indikator kerja	Standar nilai	Satuan
SAIDI	2,3	Jam/pelanggan/tahun
SAIFI	1,45	Kali/pelanggan/tahun

3. Standar Nilai indeks kehandalan WCS (*World Class Service*) dan WCC (*World Class Company*).

Tabel 2.3 Standar nilai indeks kehandalan WCS & WCC

Indikator kerja	Standar nilai	Satuan
SAIDI	1,67	Jam/pelanggan/tahun
SAIFI	3	Kali/pelanggan/tahun

2.11 Tarif Dasar Listrik

PT PLN (Persero) siap melaksanakan, melalui Kementerian Energi dan Sumber Daya Alam (ESDM), keputusan pemerintah untuk mempertahankan tarif dasar listrik pada kuartal pertama 2023. Pemerintah berkomitmen melindungi masyarakat dengan tetap menyediakan listrik 450-900 volt ampere (VA) untuk pelanggan perumahan. Demikian pula pelanggan nonsubsidi tidak mengalami kenaikan tarif selama periode tersebut dan tetap mendapatkan kompensasi.

**PENETAPAN
PENYESUAIAN TARIF TENAGA LISTRIK (TARIFF ADJUSTMENT)**

APRIL - JUNI 2023

NO.	GOL. TARIF	BATAS DAYA	REGULER		PRA BAYAR (Rp/kWh)
			BIAYA BEBAN (Rp/kVA/bulan)	BIAYA PEMAKAIAN (Rp/kWh) DAN BIAYA kVArh (Rp/kVArh)	
1.	R-1/TR	900 VA-RTM	*)	1.352,00	1.352,00
2.	R-1/TR	1.300 VA	*)	1.444,70	1.444,70
3.	R-1/TR	2.200 VA	*)	1.444,70	1.444,70
4.	R-2/TR	3.500 VA s.d. 5.500 VA	*)	1.699,53	1.699,53
5.	R-3/TR	6.600 VA ke atas	*)	1.699,53	1.699,53
6.	B-2/TR	6.600 VA s.d. 200 kVA	*)	1.444,70	1.444,70
7.	B-3/TM	di atas 200 kVA	**)	Blok WBP = K x 1.035,78 Blok LWBP = 1.035,78 kVArh = 1.114,74 ****)	-
8.	I-3/TM	di atas 200 kVA	**)	Blok WBP = K x 1.035,78 Blok LWBP = 1.035,78 kVArh = 1.114,74 ****)	-
9.	I-4/TT	30.000 kVA ke atas	***)	Blok WBP dan Blok LWBP = 996,74 kVArh = 996,74 ****)	-
10.	P-1/TR	6.600 VA s.d. 200 kVA	*)	1.699,53	1.699,53
11.	P-2/TM	di atas 200 kVA	**)	Blok WBP = K x 1.415,01 Blok LWBP = 1.415,01 kVArh = 1.522,88 ****)	-
12.	P-3/TR		*)	1.699,53	1.699,53
13.	L/TR, TM, TT		-	1.644,52	-

Catatan :

*) Diterapkan Rekening Minimum (RM):
RM1 = 40 (Jam Nyala) x Daya tersambung (kVA) x Biaya Pemakaian.

***) Diterapkan Rekening Minimum (RM):
RM2 = 40 (Jam Nyala) x Daya tersambung (kVA) x Biaya Pemakaian LWBP.
Jam nyala : kWh per bulan dibagi dengan kVA tersambung.

****) Diterapkan Rekening Minimum (RM):
RM3 = 40 (Jam Nyala) x Daya tersambung (kVA) x Biaya Pemakaian WBP dan LWBP.
Jam nyala : kWh per bulan dibagi dengan kVA tersambung.

****) Biaya kelebihan pemakaian daya reaktif (kVArh) dikenakan dalam hal faktor daya rata-rata setiap bulan kurang dari 0,85 (delapan puluh lima per seratus).

K : Faktor perbandingan antara harga WBP dan LWBP sesuai dengan karakteristik beban sistem kelistrikan setempat ($1,4 \leq K \leq 2$), ditetapkan oleh Direksi Perusahaan Perseroan (Persero) PT Perusahaan Listrik Negara.

WBP : Waktu Beban Puncak.
LWBP : Luar Waktu Beban Puncak.

Gambar 2.10 Penyesuaian tarif tenaga listrik

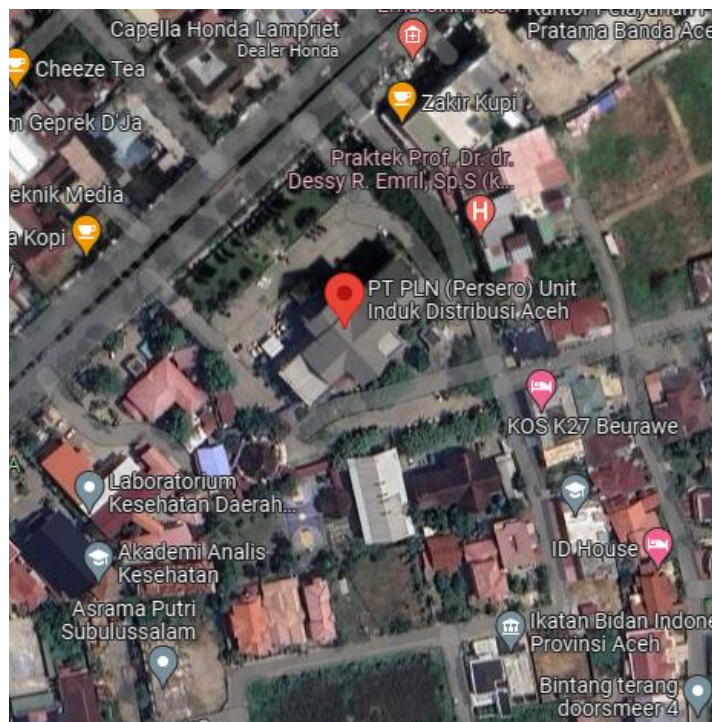
BAB 3

METODELOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Waktu pelaksanaan ini dilakukan dalam waktu 3 bulan terhitung dari tanggal 19 Juni 2023 sampai September 2023. Dimulai dengan persetujuan proposal ini sampai selesai penelitian.

Adapun lokasi yang digunakan sebagai objek penelitian adalah PT. PLN (Persero) Banda Aceh



3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian yaitu laptop, microsoft office, peta single line diagram jaringan distribusi Banda Aceh dan data gangguan yang diperoleh dari PT. PLN (Persero) Banda Aceh.

3.3 Prosedur Penelitian

Penelitian terlebih dahulu diawali dengan perumusan masalah yang akan diteliti dalam penelitian, dilanjutkan dengan kajian pustaka untuk mendukung dan mendokumentasikan penelitian. Langkah-langkah yang diperlukan untuk menyelesaikan tugas terakhir ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan studi literatur untuk memperoleh berbagai sumber teori dan konsep untuk mendukung penelitian yang akan dilaksanakan.
2. Menyiapkan alat dan bahan penelitian.
3. Melakukan pengumpulan data penelitian.
4. Melakukan analisa nilai indeks keandalan berdasarkan SPLN yang meliputi: SAIDI, SAIFI dan CAIDI
5. Melakukan analisa nilai ENS (*Energy Not Supply*).
6. Menarik kesimpulan dari hasil penelitian dan analisa yang telah dilakukan.
7. Selesai.

3.4 Pengumpulan Data

1. Data riwayat gangguan pada jaringan distribusi listrik dari PT PLN (Persero) Banda Aceh.
2. Data riwayat pemadaman listrik: data riwayat pemadaman listrik dari PT PLN. Termasuk informasi tentang frekuensi, durasi, dan lokasi pemadaman yang terjadi selama jangka waktu 3 tahun.
3. Infrastruktur data jaringan listrik: data tentang infrastruktur jaringan listrik PT PLN, jumlah gardu listrik, panjang jaringan transmisi dan distribusi, serta informasi tentang peralatan yang digunakan.
4. Data ekonomi dan industri: data ekonomi terkait wilayah atau sektor industri yang dilayani oleh PT PLN. Data tentang pertumbuhan ekonomi, sektor industri yang terkena dampak pemadaman, atau perkiraan nilai produksi yang terpengaruh oleh pemadaman listrik.

5. Pengamatan lapangan: Pengamatan lapangan untuk melihat langsung kondisi jaringan listrik, mengidentifikasi titik rawan gangguan, atau mendokumentasikan faktor-faktor fisik yang dapat mempengaruhi situasi sistem.

3.5 Analisa Data

Menganalisis data indeks keandalan sistem yang telah dikumpulkan dengan menggunakan rumus-rumus berikut:

$$1. SAIFI = \frac{\text{Jumlah gangguan pelanggan}}{\text{jumlah pelanggan}} = \frac{\sum \lambda_i N_i}{\sum N}$$

$$2. SAIDI = \frac{\sum_{i=0}^n (\text{Durasi pemadaman pada konsumen})}{\text{Total pelanggan}}$$

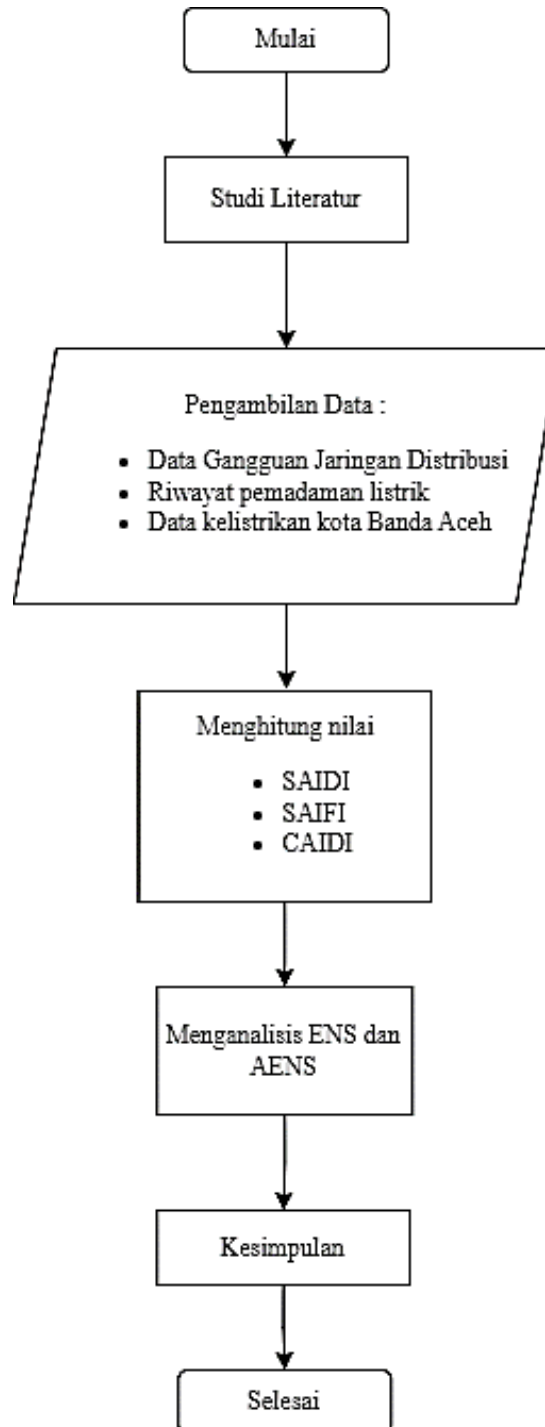
$$3. CAIDI = \frac{\text{Indeks durasi pemadaman rata-rata}}{\text{Indeks Frekuensi rata-rata}}$$

Menganalisis data keandalan secara ekonomis dengan menggunakan rumus-rumus berikut:

$$1. ENS = \sum \text{Gangguan (kW)} \times \text{Durasi (jam)}$$

$$2. AENS = \frac{ENS}{\sum N}$$

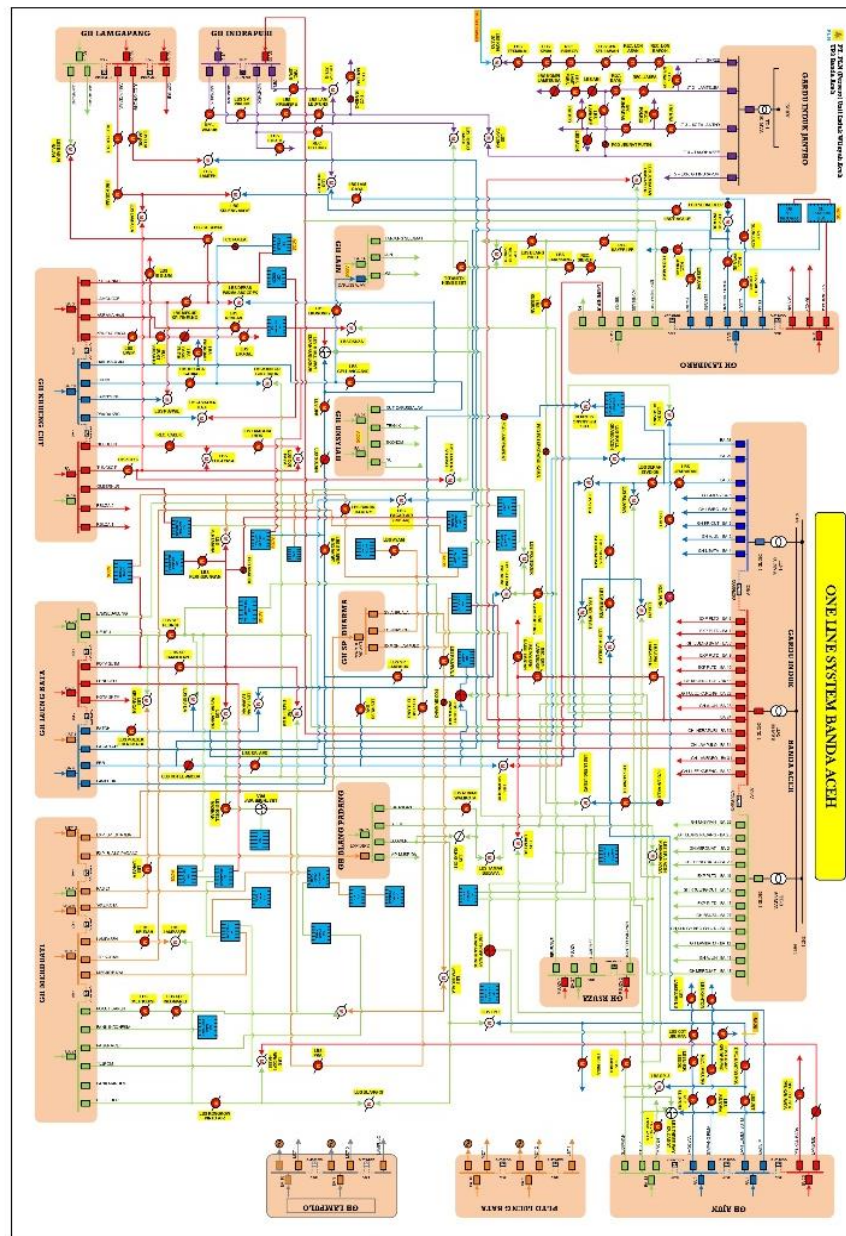
3.6 Flowchart Penelitian



BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Single Line Diagram UP3 Banda Aceh

Single Line Diagram UP3 Banda Aceh merupakan data umum yang diamati dalam penelitian ini dan akan dilakukan perhitungan laju keagalannya dalam setahun.



Gambar 4.1 SLD UP3 Banda Aceh

4.2 Data Kelistrikan Kota Banda Aceh

Data kelistrikan Kota Banda Aceh diperoleh dari Badan Pusat Statistik yang akan digunakan untuk menganalisa nilai indeks keandalan sistem. Data kelistrikan Kota Banda Aceh dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.1 Data Kelistrikan PT PLN Wilayah Kota Banda Aceh Tahun 2020

No.	Uraian	Jumlah
1	Produksi (kWh)	42.825.326
2	Penjualan (X Rp 1.000)	730.241
3	Gardu Hubung (Unit)	13
4	Trafo Distribusi (Buah)	2.828
5	Panjang JTM (kms)	1.717,14
6	Panjang JTR (kms)	2.745,45
7	Pembangkit Non PLN (kVA)	-
8	Pelanggan (Orang)	259.149
9	Daya Tersambung (VA)	485.823,57
10	Terima (kWh Salur) (kWh)	791.834.788
11	Penjualan (kWh)	730.241.630
12	Daya Trafo Distribusi (kVA)	261.757
13	Jumlah Kecamatan Terlistriki	9
14	Jumlah Desa Terlistriki	90
15	Jumlah Desa Seluruhnya	90
16	Rata-rata tarif per Kwh	1.135

4.3 Data Riwayat Gangguan Pada Jaringan SUTM PT PLN (Persero) Banda Aceh Tahun 2020

Jenis gangguan dan banyaknya gangguan pada jaringan SUTM PT PLN (Persero) Banda Aceh yang diamati selama tahun 2020 diuraikan dalam tabel berikut.

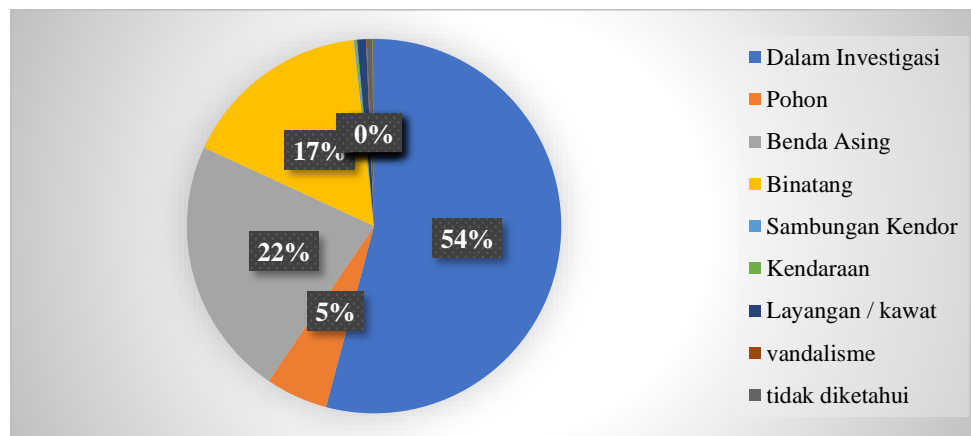
Tabel 4.2 Jenis Gangguan dan Banyak Gangguan Pada SUTM PT PLN Banda Aceh Tahun 2020

NO.	Jenis gangguan	Banyak gangguan
1.	Dalam Investigasi	786
2.	Pohon	78
3.	Benda Asing	325
4.	Binatang	238
5.	Sambungan Kendor	2
6.	Kendaraan	2

NO.	Jenis gangguan	Banyak gangguan
7.	Layangan / kawat	11
8.	vandalisme	1
9.	tidak diketahui	7
10.	baliho	1
11.	kebakaran	1

Pada Tabel 4.2 menunjukkan hasil pengamatan jenis dan banyaknya gangguan pada SUTM PT. PLN (Persero) Banda Aceh tahun selama tahun 2020. Dimana jenis gangguan yang masih dalam investigasi berjumlah 786 dan gangguan yang diketahui yaitu benda asing merupakan kasus terbanyak yaitu sebanyak 325 gangguan dalam setahun.

Setelah dilakukan perhitungan pada jenis gangguan dan banyaknya gangguan pada jaringan SUTM didapatkan grafik seperti dibawah ini:



Gambar 4.2 Grafik Riwayat Gangguan Pada Tahun 2020

4.4 Data Riwayat Pemadaman Listrik PT PLN Wilayah Banda Aceh Tahun 2020

Tabel 4.3 Riwayat Pemadaman Bulan Januari 2020

No	Penyulang	Jumlah pelanggan padam	Lama padam (Jam)
1	11.GIJTH.F02/LAMTEUB A	1.895	0,08
2	11.GIULK.F5 / Radar	4.618	0,08
3	11.GIULK.F5 / Radar	51	0,08
4	11.GIBNA.F02 / BA01	2.650	0,08
5	11.GIBNA.F05 / BA5	3.271	1,08
6	11.GIBNA.F24 / BA31	2.086	0,27
7	11.GIBNA.F01 / BA2	6.001	0,03
8	11.GIBNA.F13 / BA20	4.901	0,03
9	11.GIBNA.F15 / BA22	12.489	0,08
:	:	:	:
:	:	:	:
:	:	:	:
93	11.GIBNA.F05/ BA5	3.349	0,07
94	11.GIBNA.F23/BA30	158	0,07
95	11.GIBNA.F23 / BA30	3.695	0,07
96	11.GIBNA.F23 / BA30	26	0,07
97	11.GIJTH.F04/TANOH ABEE	963	0,08
98	11.GIJTH.F02/LAMTEUB A	1.897	0,08
99	11.GIBNA.F11 / BA15	709	0,07

Berdasarkan Tabel 4.3 diperoleh jumlah lama padam yaitu 23,14 jam dan durasi gangguan rata-rata selama bulan Januari dengan menggunakan rumus:

$$\begin{aligned} \text{Durasi gangguan rata-rata} &= \frac{\text{Jumlah Lama Padam}}{\text{Jumlah Gangguan}} \\ &= \frac{23,14}{99} = 0,233 \end{aligned}$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai ENS dengan menggunakan rumus dibawah ini.

$$\text{Diketahui : } V = 20 \text{ kV} = 20.000 \text{ V}$$

$$I = 1274,9$$

$$\cos \varphi = 0,85$$

$$\begin{aligned} \text{Daya} &= \sqrt{3} \times I \times \cos \varphi \\ &= \sqrt{3} \times 1274,9 \times 0,85 \\ &= 1876,96 \text{ kW} \end{aligned}$$

Setelah menghitung daya pada penyulang selanjutnya melakukan perhitungan nilai ENS (*Energy Not Supplied*) dan AENS (*Average Energy Not Supplied*) dengan rumus dibawah ini:

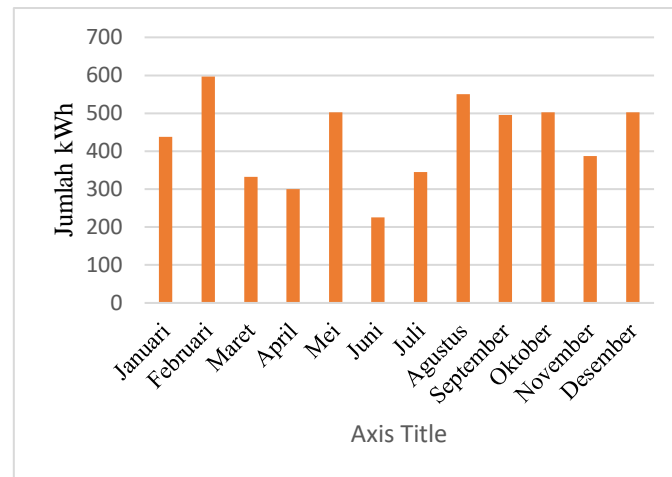
$$\begin{aligned} \text{ENS} &= \sum \text{Gangguan (kW)} \times \text{Durasi (jam)} \\ &= 1876,96 \text{ kW} \times 0,233 \text{ jam} \\ &= 437,3 \text{ kWh} \\ \text{AENS} &= \frac{\text{ENS}}{\sum N} \\ &= \frac{437,3 \text{ kWh}}{259149} \\ &= 0,001 \text{ kWh / pelanggan} \end{aligned}$$

Setelah dilakukan perhitungan nilai ENS dan AENS dapat diurutkan selama bulan Januari sampai dengan bulan Desember seperti pada tabel dibawah ini.

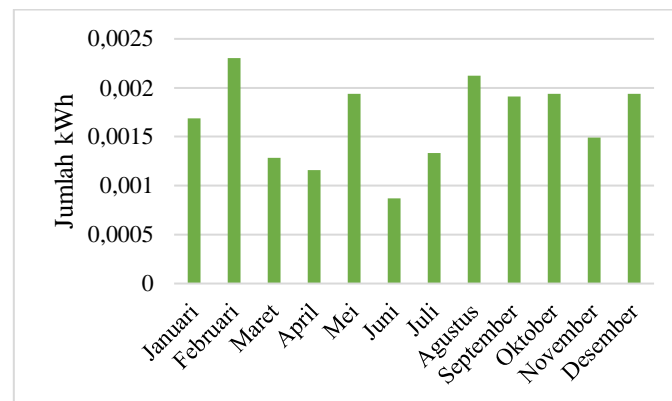
Tabel 4.4 Nilai ENS dan AENS Bulan Januari - Desember

Bulan	ENS	AENS
Januari	437,3	0,001
Februari	596,9	0,002
Maret	332,2	0,001
April	300,3	0,001
Mei	503	0,001
Juni	225,2	0,0009
Juli	345,4	0,001
Agustus	549,9	0,002
September	495,5	0,001
Oktober	503	0,001
November	386,7	0,001
Desember	503	0,001

Dari Tabel 4.15 didapatkan hasil perhitungan nilai ENS dan AENS selama Bulan Januari sampai dengan Desember, kemudian hasil dapat dilihat pada grafik berikut ini:



Gambar 4.3 Grafik ENS (Energy Not Supplied)



Gambar 4.4 Grafik AENS

Tabel 4.5 Nilai ENS dan AENS Perbulan Selama Januari – Desember

Bulan	Durasi	Pelanggan	ENS	AENS
Januari	0,233	259149	437,3	0,001
Februari	0,318	259149	596,8	0,002
Maret	0,177	259149	332,2	0,001
April	0,16	259149	300,3	0,001
Mei	0,268	259149	503	0,001
Juni	0,12	259149	225,2	0,0008
Juli	0,184	259149	345,3	0,001

Agustus	0,293	259149	550	0,002
September	0,264	259149	495,5	0,001
Oktober	0,268	259149	503	0,001
November	0,206	259149	386,6	0,001
Desember	0,268	259149	503	0,001

Berdasarkan Tabel 4.15 dapat diperoleh waktu pemadaman rata-rata selama setahun yaitu dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Waktu pemadaman rata-rata} &= \frac{\sum \text{Durasi}}{12} \\ &= \frac{2,759}{12} = 0,229 \text{ jam / tahun} \end{aligned}$$

Dari Tabel 4.3 sampai dengan Tabel 4. 14 didapatkan jumlah pelanggan padam dan durasi padam dimulai dari Januari sampai Desember 2020. Hasil penjumlahan riwayat pemadaman selama bulan Januari sampai dengan Desember 2020 dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.6 Riwayat Pemadaman Bulan Januari - Desember 2020

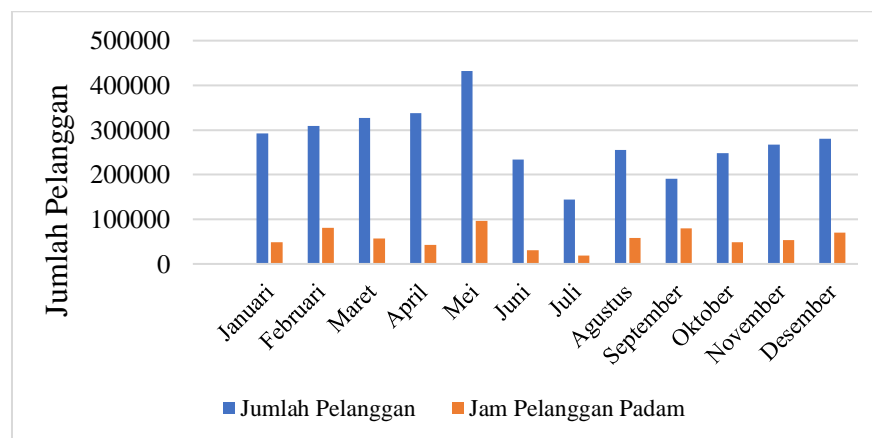
Bulan	Jumlah Pelanggan Padam	Jam Pelanggan Padam
Januari	292.171	48995,82
Februari	308.447	80497,51
Maret	326.576	56672,73
April	337.842	42093,33
Mei	431.654	96606,9
Juni	233.679	30787,86
Juli	143.662	18892,37
Agustus	255.772	57959,49
September	191.305	79820,65
Oktober	247.517	49147,95
November	267.335	53023,88
Desember	280.549	70090,62

Pada Tabel 4.16 menunjukkan jumlah pelanggan padam dan jam pelanggan padam selama tahun 2020 dimulai dari bulan Januari sampai dengan Desember selama tahun 2020. Selama tahun 2020 bulan Mei mengalami jumlah pelanggan padam terbanyak dengan 431.654 pelanggan padam. Sedangkan bulan Juli

mengalami jumlah pelanggan padam dengan nilai terendah yaitu sebanyak 143.662 pelanggan padam. Berdasarkan nilai pada Tabel 4.16 dapat diperoleh jumlah pemadaman rata-rata selama setahun dibawah ini.

$$\begin{aligned} \text{Pemadaman rata-rata} &= \frac{\text{Jumlah Pelanggan Padam}}{12} \\ &= \frac{3316509}{12} = 276375,75 \text{ kali / tahun} \end{aligned}$$

Pada Tabel 4.17 menunjukkan jumlah pelanggan yang padam dan jam pelanggan padam yang dilayani selama setahun dimulai dari bulan Januari sampai dengan Desember. Perbandingan jumlah pelanggan dan jumlah jam pelanggan dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.5 Grafik Jumlah Pelanggan Padam

4.5 Analisis Indeks Keandalan SAIDI , SAIFI, CAIDI

Dari data yang sudah tersedia, untuk menentukan nilai indeks keandalan setiap bulannya seperti SAIFI, SAIDI dan CAIDI dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

$$SAIFI = \frac{\lambda_i}{N} = \frac{292.171}{259.149} = 1,127425 \text{ kali pemadaman / bulan}$$

$$SAIDI = \frac{t_i \cdot N_i}{N} = \frac{48995,82}{259.149} = 0,189064283 \text{ jam / bulan}$$

$$CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI} = \frac{0,189064283}{1,127425} = 0,167696 \text{ jam/bulan}$$

Bulan	Jumlah Pelanggan Yang dilayani	Jumlah Pelanggan Padam	Jam Pelanggan Padam	SAIFI
Januari	259149	292171	48995,82	1,127425
Februari	259149	308447	80497,51	1,19023
Maret	259149	326576	56672,73	1,260186
April	259149	337842	42093,33	1,303659
Mei	259149	431654	96606,9	1,66566
Juni	259149	233679	30787,86	0,901717
Juli	259149	143662	18892,37	0,554361
Agustus	259149	255772	57959,49	0,986969
September	259149	191305	79820,65	0,738205
Oktober	259149	247517	49147,95	0,955115
November	259149	267335	53023,88	1,031588
Desember	259149	280549	70090,62	1,082578

Gambar 4.6 Perhitungan nilai SAIFI menggunakan Excel

Nilai SAIFI dapat dihitung dengan menggunakan program Excel dimana jumlah pelanggan padam dibagi dengan jumlah pelanggan yang dilayani yaitu dengan rumus $= D4/C4$. Kemudian nilai SAIDI dapat dihitung dengan menggunakan program Excel dimana jam pelanggan padam dibagi dengan jumlah pelanggan yang dilayani yaitu dengan rumus $= E4/C4$.

Bulan	Jumlah Pelanggan Yang dilayani	Jumlah Pelanggan Padam	Jam Pelanggan Padam	SAIFI	SAIDI
Januari	259149	292171	48995,82	1,127425	0,189064
Februari	259149	308447	80497,51	1,19023	0,310622
Maret	259149	326576	56672,73	1,260186	0,218688
April	259149	337842	42093,33	1,303659	0,162429
Mei	259149	431654	96606,9	1,66566	0,372785
Juni	259149	233679	30787,86	0,901717	0,118804
Juli	259149	143662	18892,37	0,554361	0,072902
Agustus	259149	255772	57959,49	0,986969	0,223653
September	259149	191305	79820,65	0,738205	0,308011
Oktober	259149	247517	49147,95	0,955115	0,189651
November	259149	267335	53023,88	1,031588	0,204608
Desember	259149	280549	70090,62	1,082578	0,270465

Gambar 4.7 Perhitungan SAIDI menggunakan Excel

Setelah mendapatkan nilai SAIFI dan SAIDI, dilakukan perhitungan nilai CAIDI dengan membagi nilai SAIDI dengan menggunakan rumus $=G4/F4$ yaitu nilai SAIFI/SAIDI.

Bulan	Jumlah Pelanggan Yang dilayani	Jumlah Pelanggan Padam	Jam Pelanggan Padam	SAIFI	SAIDI	CAIDI
Januari	259149	292171	48995,82	1,127425	0,189064	0,167696
Februari	259149	308447	80497,51	1,19023	0,310622	0,260977
Maret	259149	326576	56672,73	1,260186	0,218688	0,173536
April	259149	337842	42093,33	1,303659	0,162429	0,124595
Mei	259149	431654	96606,9	1,66566	0,372785	0,223806
Juni	259149	233679	30787,86	0,901717	0,118804	0,131753
Juli	259149	143662	18892,37	0,554361	0,072902	0,131506
Agustus	259149	255772	57959,49	0,986969	0,223653	0,226606
September	259149	191305	79820,65	0,738205	0,308011	0,417243
Oktober	259149	247517	49147,95	0,955115	0,189651	0,198564
November	259149	267335	53023,88	1,031588	0,204608	0,198342
Desember	259149	280549	70090,62	1,082578	0,270465	0,249834

Gambar 4.8 Perhitungan CAIDI menggunakan Excel

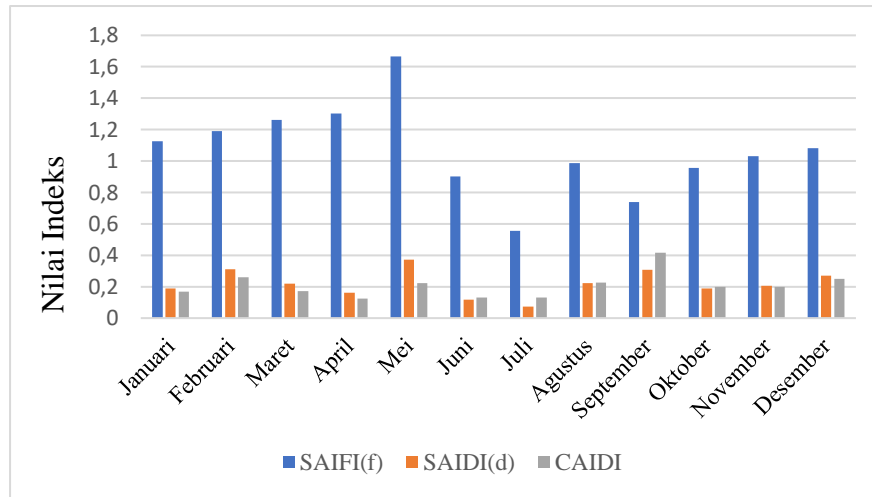
Dengan menggunakan rumus yang sama didapatkan hasil selama bulan Januari – Desember 2020 seperti pada Tabel 4.18 berikut.

Tabel 4.7 SAIFI, SAIDI, dan CAIDI Bulan Januari – Desember 2020

Bulan	SAIFI	SAIDI	CAIDI
Januari	1,1274	0,189	0,16764236
Februari	1,1902	0,3106	0,26096454
Maret	1,2601	0,2186	0,1734783
April	1,3036	0,1624	0,12457809
Mei	1,6656	0,3727	0,22376321
Juni	0,9017	0,1188	0,13175114
Juli	0,5543	0,0729	0,13151723
Agustus	0,9869	0,2236	0,22656804
September	0,7382	0,308	0,4172311
Oktober	0,9551	0,1896	0,19851324
November	1,0315	0,2046	0,19835191
Desember	1,0825	0,2704	0,24979215

Tabel 4.16 menunjukkan hasil perhitungan nilai indeks keandalan SAIDI, SAIFI, dan CAIDI dimulai dari bulan Januari sampai dengan Desember 2020.

Frekuensi gangguan terbanyak terjadi pada bulan Mei dengan nilai SAIFI sebesar 1,6656 kali pemadaman/bulan. Hasil perhitungan indeks keandalan SAIDI, SAIFI, dan CAIDI perbulan selama 2020 ditunjukkan pada Gambar 4.4.



Gambar 4.9 Grafik SAIDI, SAIFI, dan CAIDI Januari-Desember 2020

Setelah memperoleh hasil nilai indeks keandalan perbulan selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai rata-rata pertahunnya. Perhitungan untuk mendapatkan nilai rata-rata SAIFI pertahun adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 f_{rata-rata} &= \frac{f_1+f_2+f_3+\dots+f_{12}}{12} \\
 &= \frac{1,1274+1,1902+1,2601+\dots+1,0825}{12} \\
 &= 1,0664 \text{ kali/pelanggan/tahun}
 \end{aligned}$$

Perhitungan untuk mendapatkan nilai rata-rata SAIDI pertahun adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 d_{rata-rata} &= \frac{d_1+d_2+d_3+\dots+d_{12}}{12} \\
 &= \frac{0,189+0,3106+0,2186+\dots+0,2704}{12} \\
 &= 0,2201 \text{ jam/pelanggan/tahun}
 \end{aligned}$$

CAIDI rata-rata selama tahun 2020 diperoleh dari rumus berikut :

$$\begin{aligned} \text{CAIDI} &= \frac{d_{rata-rata}}{f_{rata-rata}} \\ &= \frac{0,2201}{1,0664} = 0,2063 \text{ jam/pelanggan/tahun} \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas besarnya indeks keandalan SAIFI, SAIDI, dan CAIDI pada SUTM PT. PLN (Persero) Banda Aceh mulai Januari sampai dengan Desember selama tahun 2020 adalah: SAIFI = 1,0664 kali/pelanggan/tahun, SAIDI = 0,2201 jam/pelanggan/tahun dan CAIDI = 0,2063 jam/pelanggan/tahun.

4.6 Analisa Tingkat Keandalan SAIFI, SAIDI dan CAIDI terhadap SPLN

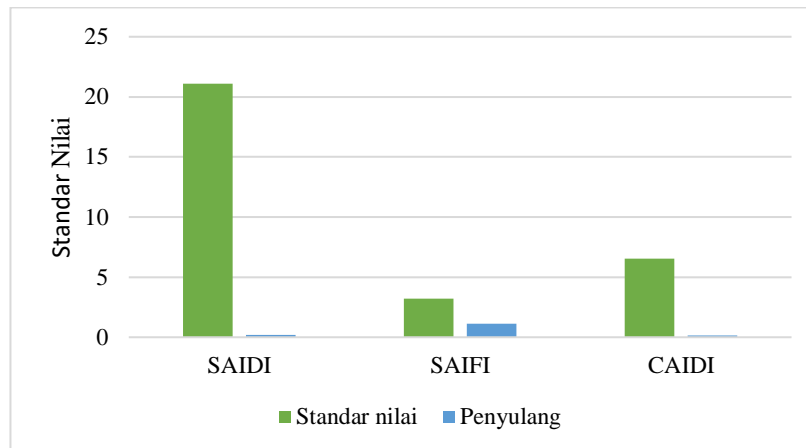
Setelah didapatkan hasil nilai indeks keandalan SAIDI, SAIFI dan CAIDI rata-rata selama satu tahun, selanjutnya akan dibandingkan dengan standar nilai SPLN 68-2 : 1986. Perbandingan nilai indeks keandalan SAIDI, SAIFI dan CAIDI dengan standar SPLN dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.8 Perbandingan Nilai SAIDI, SAIFI, CAIDI dengan SPLN 68-2 : 1986

Indeks Keandalan	Standar Nilai	Penyulang Banda Aceh	Satuan
SAIDI	21,09	0,2201	Jam/pelanggan/tahun
SAIFI	3,2	1,0664	Kali/pelanggan/tahun
CAIDI	6,56	0,2063	Jam/pelanggan/tahun

Tabel 4.17 menunjukkan bahwa nilai SAIDI pada penyulang Banda Aceh masih memenuhi standar dengan hasil 0,2201 jam/pelanggan/tahun yang sangat jauh dengan batas standar nilai SPLN yaitu 21,09 jam/pelanggan/tahun. Nilai SAIFI pada penyulang Banda Aceh dengan 1,0664 kali/pelanggan/tahun masih memenuhi standar nilai yaitu dibawah 3,2 kali/pelanggan/tahun. Nilai CAIDI pada penyulang yaitu 0,2063 jam/pelanggan/tahun juga masih memenuhi standar nilai SPLN jauh dibawah 6,56 jam/pelanggan/tahun. Dapat disimpulkan bahwa nilai indeks keandalan pada penyulang Banda Aceh memenuhi standar nilai SPLN 68-2 : 1986.

Berikut ini grafik perbandingan nilai indeks keandalan SAIDI, SAIFI, dan CAIDI pada penyulang Banda Aceh dengan standar nilai SPLN 68-2 : 1986.



Gambar 4.10 Perbandingan Indeks Keandalan dengan SPLN

4.7 Analisis ENS (*Energy Not Supplied*)

Sebelum melakukan perhitungan dengan persamaan ENS, maka akan dilakukan perhitungan daya dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

Diketahui :

$$V = 20 \text{ kV} = 20.000 \text{ V}$$

$$I = 1274.9$$

$$\text{Cos } \varphi = 0,85$$

$$\text{Daya} = \sqrt{3} \times I \times \text{Cos } \varphi$$

$$= \sqrt{3} \times 1274.9 \times 0,85$$

$$= 1876,96 \text{ kW} = 1876,96 \times 12 \text{ Bulan} = 22512 \text{ kW}$$

Setelah menghitung daya pada penyalang selanjutnya melakukan perhitungan nilai ENS (*Energy Not Supplied*) dan AENS (*Average Energy Not Supplied*) selama setahun dengan rumus dibawah ini:

$$\text{ENS} = \sum \text{Gangguan (kW)} \times \text{Durasi (jam)}$$

$$= 22512 \text{ kW} \times 2,7 \text{ jam}$$

$$= 60782,4 \text{ kWh}$$

$$\text{AENS} = \frac{\text{ENS}}{\sum N}$$

$$= \frac{60782,4 \text{ kWh}}{259149}$$

$$= 0,23 \text{ kWh / pelanggan}$$

Setelah menghitung nilai ENS (Energy Not Supplied) dan AENS (Average Energy Not Supplied) maka selanjutnya menghitung nilai ekonomis berupa kerugian dari energi yang tidak tersalurkan akibat pemadaman listrik dikalkulasikan dengan tarif dasar listrik yang telah ditetapkan PT. PLN pada tahun 2020.

$$\begin{aligned} \text{N. Rupiah ENS} &= \text{ENS} \times \text{Tarif Dasar Listrik} \\ &= 60782,4 \text{ kWh} \times \text{Rp. 1.444} \\ &= \text{Rp. 87.769.785 ,-} \end{aligned}$$

Nilai kerugian yang dihitung adalah kerugian PT. PLN dalam waktu satu tahun.

BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diuraikan dari hasil penelitian yang sudah dilakukan:

1. Nilai indeks keandalan SAIFI, SAIDI, dan CAIDI pada SUTM PT. PLN (Persero) Banda Aceh mulai Januari sampai dengan Desember selama tahun 2020 adalah: SAIFI = 1,0664 kali/pelanggan/tahun SAIDI = 0,2201 jam/pelanggan/tahun dan CAIDI = 0,2063 jam/pelanggan/tahun. Nilai SAIDI pada penyulang Banda Aceh masih memenuhi standar dengan hasil 0,2201 jam/pelanggan/tahun yang sangat jauh dengan batas standar nilai SPLN yaitu 21,09 jam/pelanggan/tahun. Nilai SAIFI pada penyulang Banda Aceh dengan 1,0664 kali/pelanggan/tahun masih memenuhi standar nilai yaitu dibawah 3,2 kali/pelanggan/tahun. Nilai CAIDI pada penyulang yaitu 0,2063 jam/pelanggan/tahun juga masih memenuhi standar nilai SPLN jauh dibawah 6,56 jam/pelanggan/tahun. Dapat disimpulkan bahwa nilai indeks keandalan pada penyulang Banda Aceh memenuhi standar nilai SPLN 68-2 : 1986.
2. Hasil perhitungan ENS (*Energy Not Supplied*) selama setahun yaitu sebesar 60782,4 kWh dan AENS (*Average Energy Not Supplied*) 0,23 kWh /pelanggan maka dapat diperoleh nilai kerugian PT. PLN dalam waktu satu tahun yaitu sebesar Rp. 87.769.785 ,-.

5.2 Saran

Dalam penelitian ini menghitung nilai indeks keandalan sistem dengan tiga parameter yaitu SAIFI, SAIDI dan CAIDI. Diharapkan agar penelitian terkait selanjutnya dapat menghitung lebih dari tiga parameter berikut agar hasil yang didapatkan lebih akurat. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penting untuk meningkatkan keandalan sistem untuk mengurangi energi yang tidak tersalurkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. Sihombing, “Analisis Indeks Keandalan Secara Teknis Dan Ekonomis Jaringan Distribusi 20 Kv Dengan Menggunakan Metode Section Tehnique Pada Pt.Pln (Persero) Rayon Belawan,” *E-Link J. Tek. Elektro Dan Inform.*, Vol. 17, No. 2, P. 55, 2022, Doi: 10.30587/E-Link.V17i2.4683.
- [2] A. Mauliana, Syahrizal, And M. Gapy, “Analisis Keandalan Sistem Jaringan Distribusi Pt. Pln (Persero) Banda Aceh Menggunakan Metode Section Technique,” *Kitektro J. Online Tek. Elektro*, Vol. 2, No. 4, Pp. 15–20, 2017.
- [3] R. T. Jurnal, “Analisa Nilai Saidi Saifi Sebagai Indeks Keandalan Penyediaan Tenaga Listrik Pada Penyulang Cahaya Pt. Pln (Persero) Area Ciputat,” *Energi & Kelistrikan*, Vol. 10, No. 1, Pp. 70–77, 2019, Doi: 10.33322/Energi.V10i1.330.
- [4] M. A. Teguh And T. Rijanto, “Penentuan Kerugian Ekonomis Berdasarkan Nilai Saidi, Saifi Dan Caidi Menggunakan Metode Section Technique Di Pt. Pln Distribusi Area Gresik.,” *J. Tek. Elektro*, Vol. 08, No. 02, Pp. 445–452, 2019.
- [5] F. Funan And W. Utama, “Evaluasi Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik Berdasarkan Indeks Keandalan Saidi Dan Saifi Pada Pt Pln (Persero) Rayon Kefamenanu,” *J. Ilm. Telsinas Elektro, Sipil Dan Tek. Inf.*, Vol. 3, No. 2, Pp. 32–36, 2020, [Online]. Available: [Http://Journal.Undiknas.Ac.Id/Index.Php/Teknik/Article/View/2888](http://Journal.Undiknas.Ac.Id/Index.Php/Teknik/Article/View/2888).
- [6] C. Afri Lestari And U. Situmeang, “Analisis Keandalan Sistem Distribusi 20 Kv Dengan Metode Fmea Pada Penyulang Akasia Dan Lele Pt Pln (Persero) Ulp Kota Barat,” *J. Sain, Energi, Teknol. Ind.*, Vol. 6, No. 1, Pp. 1–7, 2021, Doi: 10.31849/Sainetin.V6i1.7408.
- [7] A. F. Fajri, N. Kn, And S. T. Mt, “Menggunakan Metode Minim Padam Pada Nilai Saidi Dan Ens Di Pt. Pln (Persero) Area Bulungan (Kb 11b),” *J. Teknol. Ind.*, Vol. 11, No. 1, Pp. 1–7, 2022.

- [8] R. Harahap, H. Farizi, S. T. Kasim, And Syafruddin, “Analisis Indeks Keandalan Pada Jaringan,” *Semnastek*, Pp. 140–150, 2022.
- [9] A. Suryani And A. Budiman, “Analysis Of Maintenance Optimization On Medium Voltage Overhead Lines (Sutm) In Reducing Energy Not Supplied (Ens) At Pt . Pln (Persero) Ulp Tarakan,” Vol. 2, No. 1, Pp. 59–64, 2023, Doi: 10.57102/Jescee.V2i1.58.
- [10] J. M, T. Siahaan, And J. Sinaga, “Analisis Peningkatan Kinerja Jaringan Distribusi 20kv Dengan Metode Thermovisi Jaringan Pt. Pln (Persero) Ulp Medan Baru,” *J. Tek. Elektro*, Vol. 9, No. 1, Pp. 8–19, 2020.
- [11] A. S. Deeng, G. M. C. Mangindaan, And L. S. Patras, “Studi Kelayakan Operasi Perencanaan Uprating Sutm Pada Penyulang Sk 2 Dan Sk 4 Di Gardu Induk Kawangkoan Dengan Metode Simulasi Etap 12.6.0,” *Elektro, Jur. Tek. Sam, Univ. Manad. Ratulangi*, Pp. 1–12, 2022.
- [12] T. D. A. N. Distribusi And R. Syahputra, “How To Address The Gray Market Threat Using Price Coordination,” *Long Range Plann.*, Vol. 28, No. 4, P. 131, 1995, Doi: 10.1016/0024-6301(95)94318-S.
- [13] J. T. Elektro, “Perencanaan Penempatan Recloser Berdasarkan Gangguan,” Vol. 5, No. 1, Pp. 27–34, 2020.
- [14] E. S. Nasution, F. I. Pasaribu, And M. Arfianda, “Rele Diferensial Sebagai Proteksi Pada Transformator Daya Pada Gardu Induk,” *Ready Start*, Vol. 02, No. 1, Pp. 179–186, 2019.
- [15] K. A. Kodoati, I. F. Lisi, And I. M. Pakiding, “Analisa Perkiraan Umur Transformator,” *J. Tek. Elektro*, Vol. 4, No. 3, Pp. 35–43, 2015.
- [16] Dasman And H. Handayani, “Kata Kunci : Sistem Distribusi, Indeks Keandalan, Saidi, Saifi,” *J. Tek. Elektro Itp*, Vol. 6, No. 2, Pp. 170–179, 2017.
- [17] Pt. Pln Buku 4, “Buku 4 Standar Konstruksi Gardu Distribusi Dan Gardu Hubung Tenaga Listrik,” *Pt Pln*, P. 143, 2010.
- [18] R. A. Duyo, P. Studi, F. Teknik, And U. Muhammadiyah, “Analisis Penyebab Gangguan Jaringan Pada Distribusi Listrik Menggunakan Metode Fault Tree Analysis Di Pt . Pln (Persero) Rayon Daya Makassar

- Pendahuluan Latar Belakang Listrik Merupakan Salah Satu Komoditi Strategis Dalam Perekonomian Indonesia , Karena,” Vol. 12, No. 02, 2020.
- [19] T. A. Husada, “Analisa Keandalan Sistem Distribusi 20 Kv Di Pt. Pln (Persero) Area Tanjung Karang Menggunakan Metode Fmea,” *Skripsi. Dep. Tek. Elektro Its*, Pp. 6–34, 2017, [Online]. Available: [Http://Repository.Its.Ac.Id/42686/](http://Repository.Its.Ac.Id/42686/).
- [20] K. Julianto, D. W. Nugraha, And A. Y. E. Dodu, “Evaluasi Penggunaan Scada Pada Keandalan Sistem Distribusi Pt.Pln (Persero) Area Palu,” *J. Mektrik*, Vol. 1, No. 1, 2014.
- [21] M. Imran, “Analisa Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik Untuk Wilayah Kota Lhokseumawe Di Pt. Pln (Persero) Rayon Kota Lhokseumawe,” *J. Energi Elektr.*, Vol. 8, No. 1, P. 42, 2019, Doi: 10.29103/Jee.V8i1.2410.
- [22] T. Arfianto, And Wahyu A. Purbandoko, “Studi Keandalan Sistem Jaringan Distribusi 20 Kv Dari Gangguan Faktor Alam Di Pt. Pln (Persero) Rayon Cimahi Selatan,” *Protek J. Ilm. Tek. Elektro*, Vol. 5, No. 2, Pp. 72–75, 2018, Doi: 10.33387/Protk.V5i2.705.
- [23] P. Indeks, K. Sistem, J. Distribusi, P. T. Pln, And P. Area, “Abstrak,” 2014.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA PRIBADI

Nama Lengkap : Ayz Sarech Salenko
Alamat : Jl. Bukit Barisan I, Kec. Medan Timur, Medan
NPM : 1907220095
Tempat/Tanggal Lahir : Asir-Asir Takengon/19 Desember 2001
Jenis Kelamin : Laki-laki
Agama : Islam
Status : Belum Menikah
No Telepon/ Whatsapp : 081361516248
Email : ayzssalenko01@gmail.com
Tinggi/Berat Badan :
Kewarganegaraan : Indonesia

ORANG TUA

Nama Ayah : Nasiruddin
Agama : Islam
Nama Ibu : Suryani
Agama : Islam
Alamat : Umah Besi, Kec. Gajah Putih, Kab. Bener Meriah,
Aceh

RIWAYAT PENDIDIKAN

2007-2013 : SDN 1 Timang Gajah
2013-2016 : SMPN 4 Takengon
2016-2019 : SMKN 1 Takengon
2019-2023 : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara