

**ANALISIS PENGARUH NILAI SAIDI DAN SAIFI
TERHADAP RUGI-RUGI DAYA PADA GARDU INDUK
COMAL 150/20 Kv**

LAPORAN TUGAS AKHIR

LAPORAN INI DISUSUN UNTUK MEMENUHI SALAH SATU SYARAT
MEMPEROLEH GELAR S1 PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI UNIVERSITAS ISLAM SULTAN
AGUNG SEMARANG



**DISUSUN OLEH:
FIRMAN EKSANDY
30602000066**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG**

2024

FINAL PROJECT

***ANALYSIS OF THE EFFECT OF SAIDI AND SAIFI VALUES
ON POWER LOSSES AT THE COMAL 150/20 kV
SUBSTATION***

*Proposed to complete the requirement to obtain a bachelor's degree
(S1) at Departement of Industrial Engineering, Faculty of Industrial
Technology, Universitas Islam Sultan Agung*



Arranged By:

FIRMAN EKSANDY

30602000066

**MAJORING OF INDUSTRIAL ENGINEERING
INDUSTRIAL TECHNOLOGY FACULTY
SULTAN AGUNG ISLAMIC UNIVERSITY
SEMARANG**

2024

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul “ANALISIS PENGARUH NILAI SAIDI DAN SAIPI TERHADAP RUGI-RUGI DAYA PADA GARDU INDUK COMAL 150/20 KV” ini disusun oleh:

Nama : FIRMAN EKSANDY
NIM : 30602000066
Program Studi : Teknik Elektro

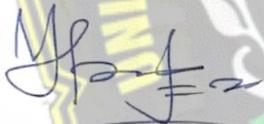
Telah disahkan dan disetujui oleh dosen pembimbing pada:

Hari :

Tanggal :

Pembimbing I

Pembimbing II


Ir. Ida Widiastuti, MT.
NIDN. 0005036501


Dr. Ir. H. Sukarno Budi Utomo, MT.
NIDN. 0619076401

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Elektro



Jenny Putri Hapsari, S.T., M.T.
NIDN. 0607018501

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Laporan Tugas Akhir dengan judul “ANALISIS PENGARUH NILAI SAIDI DAN SAIPI TERHADAP RUGI-RUGI DAYA PADA GARDU INDUK COMAL 150/20 KV” ini telah dipertahankan di depan Penguji sidang Tugas Akhir pada:

Hari :

Tanggal :

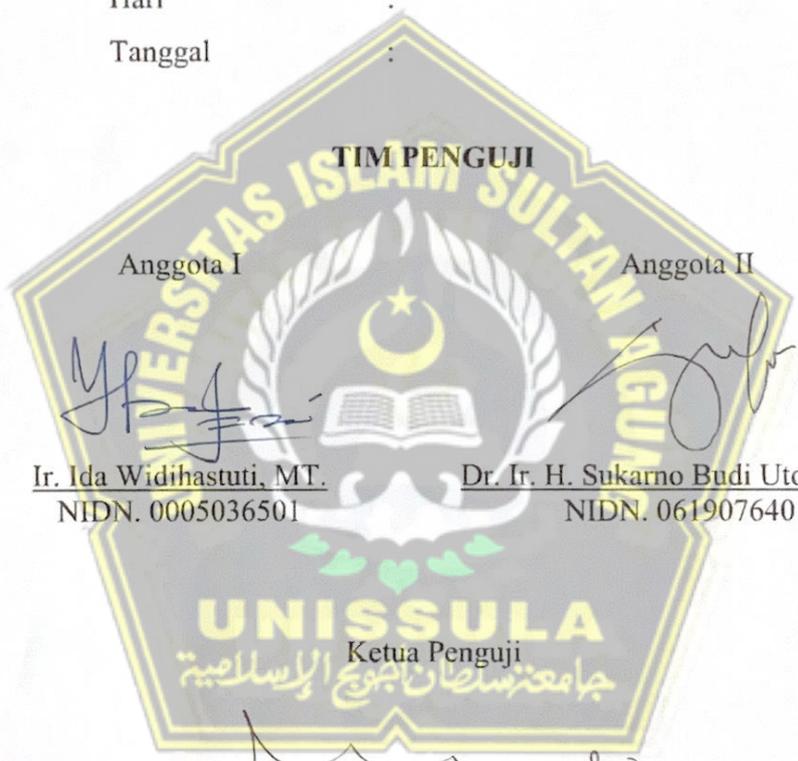
TIM PENGUJI

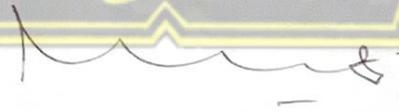
Anggota I

Anggota II


Ir. Ida Widiastuti, MT.
NIDN. 0005036501


Dr. Ir. H. Sukarno Budi Utomo, MT.
NIDN. 0619076401


UNISSULA
Ketua Penguji
جامعة سلطان ابو بوع الإسلامية


Prof. Dr. Ir. H. Muhamad Haddin, MT.
NIDN. 0618066301

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Firman Eksandy
NIM : 30602000066
Jurusan : Teknik Elektro
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri

Dengan ini saya menyatakan bahwa Tugas Akhir yang diajukan dengan judul **“ANALISIS PENGARUH NILAI SAIDI DAN SAIFI TERHADAP RUGI-RUGI DAYA PADA GARDU INDUK COMAL 150/20 KV”** adalah hasil karya sendiri, tidak pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di perguruan tinggi lain maupun ditulis dan diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam daftar pustaka. Tugas Akhir ini adalah milik saya segala bentuk kesalahan dan kekeliruan dalam Tugas Akhir ini adalah tanggung jawab saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sadar dan penuh tanggung jawab.

Semarang, Mei 2024

Yang Menyatakan



Firman Eksandy
NIM.30602000066

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Firman Eksandy
NIM : 30602000066
Program Studi : Teknik Elektro
Fakultas : Teknologi Industri

Dengan ini saya menyerahkan karya ilmiah berupa Tugas Akhir dengan judul **“ANALISIS PENGARUH NILAI SAIDI DAN SAIFI TERHADAP RUGI-RUGI DAYA PADA GARDU INDUK COMAL 150/20 KV”** dan menyetujui menjadi hak milik Universitas Islam Sultan Agung serta memberikan hak bebas royalti non-eksklusif untuk disimpan, dialih mediakan, dikelola dalam pangkalan data dan publikasinya di internet atau media lain untuk kepentingan akademis selama tetap mencantumkan nama penulis sebagai pemilik Hak Cipta.

Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari terbukti ada pelanggaran Hak Cipta/ Plagiarisme dalam karya ilmiah ini, maka segala bentuk tuntutan hukum yang timbul akan saya tanggung secara pribadi tanpa melibatkan pihak Universitas Islam Sultan Agung

Semarang, 7 Juni 2024

Yang Menyatakan



Firman Eksandy
NIM.30602000066

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, puji syukur kehadiran Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan. Skripsi ini saya persembahkan untuk Ayahanda Suroso dan Ibunda Sumarni (Alm). Terima kasih untuk kasih sayang, doa, dan dukungan yang tak terhingga. Semoga karya ini menjadi kebanggaan untuk kalian. Kakak Tersayang, terima kasih atas motivasi dan semangatmu selama ini. Engkaulah penyemangatku dalam menghadapi tantangan.

Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada Bapak/Ibu Dosen Pembimbing atas bimbingan, arahan, dan kesabaran dalam membimbing penyusunan skripsi ini. Seluruh Dosen Teknik Elektro FTI, terima kasih atas ilmu dan didikan yang telah diberikan selama masa perkuliahan. Teman-teman Angkatan 2020 Teknik Elektro FTI, terima kasih atas kebersamaan, dukungan dan kenangan indah selama masa kuliah.

Semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan menjadi sumbangsih ilmu pengetahuan. Tak ada gading yang tak retak, kritik dan saran sangat diharapkan.



KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Shalawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada junjungan Nabi Muhammad SAW yang telah membawa umat manusia dari zaman kegelapan menuju zaman yang terang benderang.

Skripsi dengan judul **ANALISIS PENGARUH NILAI SAIDI DAN SAIFI TERHADAP RUGI-RUGI DAYA PADA GARDU INDUK COMAL 150/20 kV**, ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan sarjana pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Dalam proses penyelesaian skripsi ini, penulis mendapatkan banyak bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Dr. Hj. Novi Marlyana, ST, MT. Selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang
2. Ibu Jenny Putri Hapsari, ST., MT. Selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung
3. Ibu Ir. Ida Widiastuti, MT. dan Bapak Ir. H. Sukarno Budi Utomo, MT. Selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan masukan yang sangat berharga dalam penyusunan skripsi ini.
4. Ayahanda tercinta yang senantiasa memberikan dukungan, motivasi, dan doa yang tiada henti untuk keberhasilan penulis.
5. Someone 30902000170 yang selalu setia memberikan semangat, perhatian, dan kasih sayangnya dalam setiap langkah penulis.
6. Khusus untuk Ibunda tersayang yang telah berpulang ke Rahmatullah. Semoga beliau bahagia di sisi-Nya dan senantiasa mendoakan keberhasilan penulis dari alam yang berbeda.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi perbaikan di masa yang akan datang.

Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis sendiri, dan juga bagi pembaca sekalian.

Semarang, 1 Juni 2024

Penyusun



Firman Eksandy
30602000066



ABSTRAK

Keandalan sistem distribusi tenaga listrik merupakan faktor penting dalam menjamin keandalan pasokan listrik kepada pelanggan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh nilai SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*) dan SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*) terhadap rugi-rugi daya yang terjadi pada Gardu Induk Comal. Metode yang digunakan adalah metode dokumentasi, yaitu pengumpulan data sekunder nilai SAIDI, SAIFI, dan rugi-rugi daya selama 1 tahun pada 2023 dari dokumentasi Perusahaan Listrik Negara (PLN). Analisis meliputi perhitungan laju kegagalan, SAIDI dan SAIFI akibat gangguan terencana dan tidak terencana, nilai energi tidak tersuplai (ENS), serta kerugian finansial. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Gardu Induk Comal memiliki nilai SAIDI 6,01 jam/pelanggan/tahun dan SAIFI 4,89 kali/pelanggan/tahun. Rugi-rugi daya mencapai 3.047.197 kWh selama periode pengamatan. Kerugian finansial akibat ENS diestimasi sebesar Rp3.361.808.328,29,-. Nilai SAIDI dan SAIFI yang tinggi berkorelasi dengan peningkatan rugi-rugi daya dan kerugian finansial. Rekomendasi diberikan untuk meningkatkan keandalan sistem melalui perbaikan pemeliharaan peralatan, manajemen beban, dan optimalisasi konfigurasi jaringan.

Kata Kunci: Keandalan Sistem Distribusi, SAIDI, SAIFI, Rugi-rugi Daya, Gardu Induk.

ABSTRACT

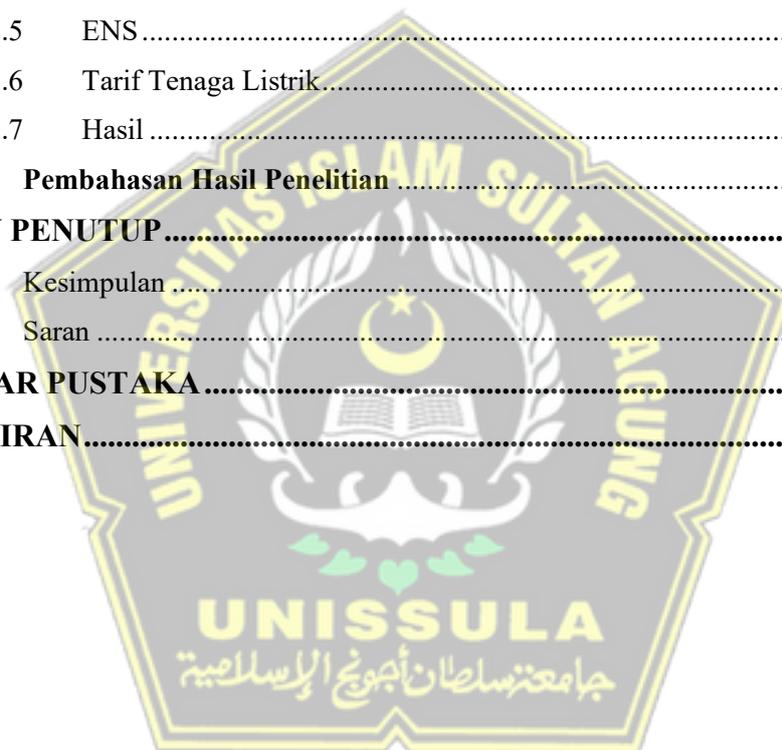
The reliability of the electric power distribution system is an important factor in ensuring a reliable power supply to customers. This study aims to analyze the effect of SAIDI (System Average Interruption Duration Index) and SAIFI (System Average Interruption Frequency Index) values on power losses occurring at the Comal Substation. The method used is the documentation method, namely the collection of secondary data on SAIDI, SAIFI, and power losses for 1 year in 2023 from the documentation of the State Electricity Company (PLN). The analysis includes calculating the failure rate, SAIDI and SAIFI due to planned and unplanned interruptions, the value of energy not supplied (ENS), and financial losses. The results of the study show that the Comal Substation has a SAIDI value of 6.01 hours/customer/year and a SAIFI value of 4.89 times/customer/year. Power losses reached 3,047,197 kWh during the observation period. Financial losses due to ENS are estimated at Rp3,361,808,328.29. High SAIDI and SAIFI values correlate with increased power losses and financial losses. Recommendations are given to improve system reliability through improved equipment maintenance, load management, and network configuration optimization.

Keywords: *Distribution System Reliability, SAIDI, SAIFI, Power Losses, Substation.*

DAFTAR ISI

COVER	ii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	iii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI.....	iv
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	v
SURAT PERSETUJUAN PUBLIKASI ILMIAH.....	vi
PERSEMBAHAN.....	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
ABSTRAK	x
ABSTRACT	xi
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Pembatasan Masalah	3
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	6
2.1 Tinjauan Pustaka	6
2.2 Landasan Teori.....	6
2.2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik	6
2.2.2 Gardu Induk	8
2.2.3 Feeder.....	10
2.2.4 Keandalan Sistem	11
2.2.5 Rugi-rugi Daya.....	21
2.2.6 Kerugian Akibat Gangguan pada Gardu Induk.....	23
BAB III METODE PENELITIAN	25
3.4 Teknik Pengumpulan Data	28
3.5 Analisa Data	29
3.6 Hasil	30

BAB IV HASIL DAN ANALISA	32
4.1 Data Asli dari ULP Comal	32
4.2.1 Gangguan Terencana.....	32
4.2.2 Gangguan Tidak Terencana.....	32
4.2 Analisis Data	33
4.3.1 Laju Kegagalan.....	33
4.3.2 Data Keandalan Akibat Pemeliharaan.....	35
4.3.3 Data Keandalan Akibat Gangguan.....	36
4.3.4 Analisa Data SAIDI dan SAIFI.....	38
4.3.5 ENS.....	44
4.3.6 Tarif Tenaga Listrik.....	47
4.3.7 Hasil.....	50
4.3 Pembahasan Hasil Penelitian	53
BAB V PENUTUP	55
5.1 Kesimpulan.....	55
5.2 Saran.....	55
DAFTAR PUSTAKA	56
LAMPIRAN	1



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Jaringan distribusi tenaga listrik tegangan menengah 20 kV.....	7
Gambar 2.2 Transformator Gardu Induk Comal.....	8
Gambar 2.3 Pemutus Tegangan Gardu Induk	9
Gambar 2.4 Pemisah Gardu Induk.....	9
Gambar 2.5 Diagram Tunggal Gardu Induk	10
Gambar 3.1 Singleline Diagram Gardu Induk Comal.....	25
Gambar 3.2 Flowchart penelitian.....	28
Gambar 4.1 Nilai keandalan SAIDI dan SAIFI akibat pemeliharaan.....	40
Gambar 4.2 Nilai keandalan SAIDI dan SAIFI akibat gangguan.....	42
Gambar 4.3 Nilai keandalan SAIDI dan SAIFI pada Gardu Induk Comal.....	44
Gambar 4.4 Nilai ENS selama 1 tahun di Gardu Induk Comal	47
Gambar 4.5 Kerugian Gardu Induk Comal 2023	50
Gambar 4.6 Nilai SAIDI selama 1 tahun di Gardu Induk Comal	51
Gambar 4.7 Nilai SAIFI selama 1 tahun di Gardu Induk Comal.....	52
Gambar 4.8 Nilai ENS selama 1 tahun di Gardu Induk Comal	52



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Indeks Keandalan (SPLN nomor 68-2 : 1986).....	14
Tabel 4.1 Data Laju kegagalan tahun 2023	34
Tabel 4.2 Data Keandalan akibat pemeliharaan.....	35
Tabel 4.3 Data Keandalan akibat gangguan	37
Tabel 4.4 Nilai keandalan SAIDI dan SAIFI akibat pemeliharaan.....	39
Tabel 4.5 Nilai keandalan SAIDI dan SAIFI akibat gangguan	41
Tabel 4.6 Nilai keandalan SAIDI dan SAIFI pada Gardu Induk Comal 2023.....	42
Tabel 4.7 Hasil nilai daya aktif pada Gardu Induk Comal 2023	45
Tabel 4.8 Hasil nilai ENS pada Gardu Induk Comal 2023	46
Tabel 4.9 Tarif Tenaga Listrik (TTL) Bersubsidi dan Non-Subsidi 2023	48
Tabel 4.10 Hasil Analisis kerugian pada Gardu Induk Comal 2023	48
Tabel 4.11 Hasil Kumulatif dari SAIDI, SAIFI, ENS dan Kerugian di Gardu Induk Comal tahun 2023	50



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem kelistrikan nasional Indonesia dikelola oleh PT Perusahaan Listrik Negara (Persero) atau PT PLN sebagai pemegang kuasa usaha ketenagalistrikan di Indonesia. PT PLN mengoperasikan pembangkit listrik mulai dari PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Air), PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap), PLTG (Pembangkit Listrik Tenaga Gas), PLTD (Pembangkit Listrik Tenaga Diesel), energi terbarukan, dan pembangkit listrik independen. Jaringan transmisi yang dikelola PT PLN berfungsi menyalurkan tenaga listrik dari pembangkit-pembangkit listrik ke sistem distribusi dengan menggunakan Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV, 70 kV, 20 kV, dan Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) 6 kV.

Jaringan distribusi merupakan tahap akhir penyaluran tenaga listrik sebelum disalurkan ke konsumen yang menggunakan Sistem Distribusi . Penyaluran ke konsumen rumah tangga maupun industri menggunakan jaringan Saluran Udara Tegangan Rendah (SUTR). Gardu induk merupakan gardu hubung yang berfungsi menurunkan tegangan dari sistem transmisi ke sistem distribusi sekunder 380/220V.

Penelitian ini dilakukan di Gardu Induk Comal yang merupakan gardu induk utama yang memasok tenaga listrik ke wilayah Comal dan sekitarnya. Gardu Induk Comal memiliki 1 buah transformator dengan kapasitas 60 MVA dan tegangan 150kV untuk Transmisi dan tegangan 20kV untuk Distribusi.

Gardu Induk Comal memiliki 5 Feeder utama 20 kV. Feeder-feeder keluaran Gardu Induk Comal antara lain Feeder CML1, Feeder CML2, Feeder CML3, Feeder CML4 dan Feeder CML8.

Rata-rata pelanggan yang dilayani oleh Gardu Induk Comal adalah 151.575 pelanggan dari berbagai golongan tarif, mulai dari rumah tangga, bisnis, industri, dan instansi pemerintah. Wilayah pelayanan Gardu Induk Comal

mencakup 3 Kecamatan yakni Kecamatan Comal, Kecamatan Ulujami dan Kecamatan Petarukan.

Sistem distribusi pada Gardu Induk Comal menggunakan jaringan tegangan menengah 20 kV *which radial* dengan pengamanan utama berupa pemutus tenaga. Untuk menjaga keandalan sistem, beberapa Feeder dilakukan *tie sectionalizing* ke Feeder lainnya.

Standar kualitas pelayanan sistem tenaga listrik mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) 7387:2009. Parameter kualitas pelayanannya meliputi nilai frekuensi, tegangan, faktor daya, dan kontinuitas suplai tenaga listrik. Kontinuitas suplai listrik diukur menggunakan dua indeks, yaitu *System Average Interruption Frequency Index* (SAIFI) dan *System Average Interruption Duration Index* (SAIDI).

SAIFI mengukur frekuensi pemadaman rata-rata yang dialami pelanggan dalam satuan kejadian/pelanggan/tahun. SAIDI mengukur lama pemadaman rata-rata per pelanggan dalam satuan jam/pelanggan/tahun. Semakin kecil nilai SAIDI dan SAIFI maka semakin baik kualitas pelayanan dan kontinuitas suplai listriknya.

Berdasarkan laporan Nasional PT PLN, nilai rata-rata SAIDI (*System Average Interruption Duration Indeks*) pada tahun 2022 adalah 7,72 jam/pelanggan/tahun. Angka ini menunjukkan bahwa secara rata-rata, setiap pelanggan mengalami pemadaman listrik selama 7,72 jam dalam satu tahun berdasarkan laporan ini hasil dari Nasional.

Sementara itu, nilai rata-rata SAIFI (*System Average Interruption Frequency Indeks*) adalah 5,62 kali/pelanggan/tahun. Ini berarti bahwa setiap pelanggan mengalami gangguan pemadaman listrik rata-rata sebanyak 5,62 kali dalam setahun berdasarkan laporan Nasional tersebut.

Angka-angka tersebut mengindikasikan bahwa masih terdapat ruang untuk peningkatan keandalan sistem kelistrikan di Indonesia. Nilai SAIDI dan SAIFI yang relatif tinggi dapat menjadi masalah yang menarik untuk diteliti lebih lanjut, baik dari segi penyebab, dampak, maupun upaya mitigasinya.

Oleh karena itu, penelitian ini penting untuk dilakukan guna menganalisis secara detail pengaruh nilai SAIDI dan SAIFI terhadap rugi-rugi daya yang terjadi pada Gardu Induk Comal. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi kepada manajemen PT PLN untuk melakukan berbagai upaya minimalisasi rugi-rugi daya akibat tingginya nilai SAIDI dan SAIFI pada Gardu Induk tersebut.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan penelitian ini, dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana nilai SAIDI dan SAIFI pada Gardu Induk Comal selama 1 tahun terakhir?
2. Berapakah rugi-rugi daya yang dialami oleh Gardu Induk Comal selama 1 tahun terakhir?
3. Berapa kerugian Rupiah yang di alami oleh Gardu Induk Comal selama 1 tahun di lihat dari SAIDI dan SAIFI.
4. Bagaimana pengaruh nilai SAIDI dan SAIFI terhadap rugi-rugi daya pada Gardu Induk Comal 150/20 kV?

1.3 Pembatasan Masalah

Dalam penyusunan penelitian ini, telah ditentukan batasan-batasan masalah sebagai berikut:

1. Data yang digunakan adalah data sekunder selama 1 tahun terakhir.
2. Variabel yang dianalisis adalah SAIDI, SAIFI dan rugi-rugi daya Gardu Induk Comal.
3. Tidak membahas intervensi untuk mengurangi nilai SAIDI, SAIFI, dan Rugi-rugi daya.

1.4 Tujuan

Adapun Tujuan penelitian yang diharapkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui nilai SAIDI dan SAIFI pada Gardu Induk Comal selama 1 tahun terakhir.

2. Mengetahui besarnya Rugi-rugi daya yang dialami oleh Gardu Induk Comal selama 1 tahun terakhir..
3. Mengetahui kerugian finansial yang dialami oleh Gardu Induk Comal selama satu tahun, dengan mempertimbangkan nilai SAIDI dan SAIFI.
4. Mengetahui pengaruh nilai SAIDI dan SAIFI terhadap rugi-rugi daya pada Gardu Induk Comal 150/20 kV.

1.5 Manfaat

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi pengaruh nilai SAIDI dan SAIFI terhadap peningkatan rugi-rugi daya pada Gardu Induk Comal sebagai acuan untuk pengendalian rugi-rugi daya di masa mendatang.
2. Hasil analisis data penelitian ini dapat digunakan sebagai model prediksi peningkatan rugi-rugi daya jika terjadi peningkatan nilai SAIDI dan SAIFI di Gardu Induk Comal dengan karakteristik yang sama.
3. Metode analisis data dalam penelitian ini dapat menjadi referensi bagi peneliti lain yang ingin melakukan kajian serupa di Gardu Induk lainnya yang ada di Indonesia.

1.6 Sistematika Penulisan

Dalam sistematika penulisan laporan penelitian ini dapat menggunakan sistematika untuk memperjelas pemahaman terhadap materi yang dijadikan objek pelaksanaan penelitian ini. Adapun sistematika penulisannya sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Bab I ini berisikan tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan , manfaat dan sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Bab II ini berisikan teori-teori yang mendukung penelitian seperti konsep Sistem distribusi tenaga listrik, SAIDI, SAIFI, Rugi-rugi daya, dan penelitian terdahulu yang relevan.

BAB III : METODE PENELITIAN

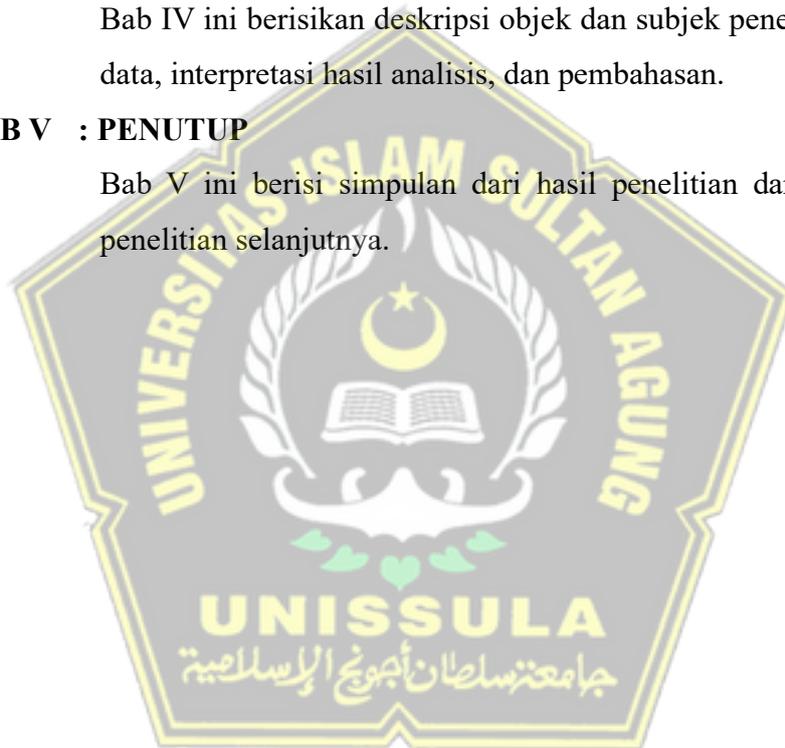
Bab III ini berisikan desain penelitian, variabel penelitian, metode pengumpulan data, metode analisis data, diagram alir penelitian, dan jadwal penelitian.

BAB IV : HASIL DAN ANALISA

Bab IV ini berisikan deskripsi objek dan subjek penelitian, analisis data, interpretasi hasil analisis, dan pembahasan.

BAB V : PENUTUP

Bab V ini berisi simpulan dari hasil penelitian dan saran untuk penelitian selanjutnya.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Berikut adalah beberapa penelitian yang pernah dilakukan terkait dengan pengaruh nilai Saidi dan Saifi:

1. Penelitian yang berjudul "Analisis Tingkat Keandalan Pada Jaringan Express Feeder SUTM A3CS Sebagai Incoming Baru" menunjukkan bahwa penambahan jaringan Express Feeder SUTM 3x240 mm² sebagai incoming baru pada Gardu Hubung (GH) Panton Labu dapat meningkatkan keandalan sistem distribusi yang ditunjukkan dengan penurunan nilai SAIDI dan SAIFI [1].
2. Penelitian yang berjudul "Peningkatan Keandalan Penyulang Tukad Musi dengan Penambahan Penyulang Batanghari dengan Pola Loop" menunjukkan bahwa dengan melakukan rekonfigurasi jaringan distribusi dari radial menjadi loop serta manuver beban dapat meningkatkan keandalan sistem yang tercermin dari penurunan nilai SAIDI dan SAIFI [2].
3. Penelitian yang berjudul "Evaluasi Keandalan Sistem Jaringan Distribusi 20 kV dan *Energy Not Supplied* (ENS) Pada GH Balai Selasa" menunjukkan bahwa tingkat keandalan sistem distribusi 20kV di GH Balai Selasa sudah baik (andal) karena nilai SAIDI dan SAIFI masih di bawah standar SPLN meskipun terjadi ENS yang menimbulkan kerugian finansial bagi PLN [3].

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem distribusi tenaga listrik adalah bagian dari sistem tenaga listrik yang menyalurkan tenaga listrik dari sumber pembangkit listrik sampai ke konsumen [4]. Sistem distribusi ini terdiri dari jaringan transmisi dan distribusi tenaga listrik yang bertenggang menengah, yaitu 20 kV.

Salah satu komponen utama sistem distribusi tenaga listrik adalah jaringan tegangan menengah. Jaringan ini memiliki tegangan kerja 20 kV dan konfigurasi jaringan radial yang berbentuk arus searah. Dalam jaringan ini, peralatan pokok yang digunakan adalah transformator distribusi 20/0,4 kV untuk menurunkan tegangan, tiang untuk penghantar kabel, kabel sebagai konduktor, pemutus tenaga untuk perlindungan dan pengamanan sistem. Jaringan tegangan menengah inilah yang menyalurkan tenaga listrik dari gardu induk ke konsumen sehingga keandalannya menjadi sangat penting [5]. Contoh ilustrasi jaringan distribusi tenaga listrik tegangan menengah 20KV dapat dilihat pada Gambar 1 berikut:



Gambar 2.1 Jaringan distribusi tenaga listrik tegangan menengah 20 kV

Dengan demikian, sistem distribusi tenaga listrik terdiri dari beberapa peralatan utama meliputi transformator, jaringan kabel, pemutus tenaga, dan sebagainya yang berfungsi mendistribusikan listrik dari sumber pembangkit ke konsumen[6]. Transformator berfungsi menurunkan tegangan dari tegangan transmisi ke tegangan distribusi yang aman bagi konsumen. Jaringan kabel sebagai penghantar listrik, baik kabel udara maupun kabel bawah tanah. Pemutus tenaga berfungsi melindungi sistem dari gangguan.

Keandalan sistem distribusi menjadi faktor penting dalam penyediaan listrik. Gangguan pada sistem distribusi dapat menyebabkan pemadaman yang merugikan konsumen. Oleh karena itu, penambahan atau modifikasi

pada sistem distribusi perlu memperhatikan faktor keandalan agar tetap terjaga pada tingkat yang memadai.

2.2.2 Gardu Induk

Gardu induk merupakan instalasi penting pada sistem tenaga listrik yang berfungsi sebagai penghubung antara sistem transmisi dan sistem distribusi tenaga listrik [7]. Gardu induk juga berfungsi sebagai penyedia tenaga listrik bagi daerah sekitarnya. Terdapat beberapa peralatan utama pada sebuah gardu induk, antara lain:

a. Transformator

Transformator berfungsi untuk menaikkan atau menurunkan tegangan pada sistem tenaga listrik [8]. Pada gardu induk, transformator digunakan untuk menurunkan tegangan dari sisi transmisi ke sisi distribusi. Transformator gardu induk biasanya berkapasitas besar dengan susut tegangan yang kecil saat membangkitkan beban penuh.



Gambar 2.2 Transformator Gardu Induk Comal

b. Pemutus Tenaga

Pemutus tenaga memiliki fungsi untuk memutus dan menyambungkan rangkaian listrik serta mengamankan sistem dari arus lebih [9]. Pemutus tenaga dipasang pada sisi *inlet* dari transformator

gardu induk maupun pada Feeder-feeder *outlet* yang terhubung ke sistem distribusi. Kapasitas pemutus tenaga harus sesuai dengan arus gangguan maksimum dari sistem.



Gambar 2.3 Pemutus Tegangan Gardu Induk

c. Pemisah

Pemisah berfungsi untuk menyambung atau memisahkan bagian-bagian dari rangkaian listrik gardu induk, namun tidak dapat membuka rangkaian saat mengalami arus lebih [10]. Pemisah digunakan untuk mengendalikan hubungan antar peralatan pada konfigurasi sistem interkoneksi di gardu induk.



Gambar 2.4 Pemisah Gardu Induk

Sebagai contoh, pada gardu induk dengan 2 buah transformator dan konfigurasi *double busbar*, terdapat 2 *incoming* Feeder yang tersambung ke transformator melalui pemisah, dan *outgoing* Feeder

Feeder adalah saluran distribusi yang mengalirkan tenaga listrik dari gardu induk ke konsumen atau beban listrik [11]. Feeder memiliki fungsi penting dalam sistem distribusi tenaga listrik, yaitu mendistribusikan daya listrik dari gardu induk ke daerah beban (konsumen).

Terdapat dua jenis utama Feeder, yaitu Feeder utama dan Feeder cadangan. Feeder utama digunakan untuk memasok beban konsumen pada kondisi normal. Sedangkan Feeder cadangan berfungsi sebagai *backup* atau *redundansi*, yang akan memasok beban saat Feeder utama mengalami gangguan.

Kapasitas atau daya yang mampu didistribusikan oleh suatu Feeder ditentukan oleh spesifikasi teknis Feeder tersebut, seperti ukuran penghantar/konduktor, panjang saluran, tegangan operasi, konfigurasi jaringan, dan sebagainya. Pemilihan kapasitas Feeder yang sesuai dengan kebutuhan sangat penting agar sistem distribusi dapat beroperasi optimal.

Dengan demikian, Feeder merupakan komponen vital dalam sistem distribusi tenaga listrik. Kapasitas dan konfigurasi Feeder akan sangat berpengaruh terhadap performa dan tingkat keandalan sistem distribusi tenaga listrik.

2.2.4 Keandalan Sistem

Keandalan sistem tenaga listrik menunjukkan kemampuan sistem untuk memberikan daya listrik yang berkualitas dan kontinu pada konsumen [12]. Performa keandalan sistem dipengaruhi beberapa faktor seperti pemakaian sistem (*utilitas*), ketersediaan (*availabilitas*), kemampuan memulihkan diri (*maintainability*), dan faktor-faktor lainnya.

Beberapa jenis gangguan yang sering terjadi pada jaringan distribusi antara lain gangguan permanen, gangguan *temporer* (sesaat) dan gangguan *intermiten* (tiba-tiba). Gangguan pada sistem distribusi ini menyebabkan terganggunya aliran daya ke beban, yang berarti menurunkan keandalan pelayanan ke konsumen.

Untuk mengevaluasi keandalan suatu sistem distribusi tenaga listrik, digunakan beberapa parameter seperti:

a. Laju Kegagalan

Laju kegagalan (*failure rate*) merupakan parameter penting dalam analisis keandalan sistem tenaga listrik. Laju kegagalan menggambarkan tingkat kerapuhan atau probabilitas terjadinya kegagalan per unit waktu pada suatu komponen atau peralatan.

Secara matematis, laju kegagalan didefinisikan sebagai probabilitas bahwa suatu komponen atau peralatan yang belum mengalami kegagalan sampai saat t tertentu, akan mengalami kegagalan dalam interval waktu kecil selanjutnya, dibagi dengan panjang interval waktu tersebut. Semakin besar nilai laju kegagalan suatu peralatan, maka semakin sering peralatan tersebut diperkirakan akan mengalami gangguan atau kehilangan daya. Secara matematis, laju kegagalan dirumuskan sebagai:

$$\lambda = \frac{\text{Jumlah angka kegagalan}}{\text{Jumlah waktu operasi}} = \frac{N}{\sum T} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

λ = Laju kegagalan

N = Jumlah angka kegagalan

$\sum T$ = Jumlah waktu operasi

Laju kegagalan digunakan untuk menghitung keandalan suatu sistem tenaga listrik. Semakin tinggi nilai laju kegagalan suatu peralatan, semakin sering peralatan tersebut akan mengalami gangguan/kehilangan daya.

Ada beberapa jenis distribusi yang digunakan untuk memodelkan laju kegagalan peralatan listrik, antara lain distribusi *eksponensial*, *weibull*, dan lain-lain. Pemilihan distribusi yang tepat tergantung pada karakteristik dan pola kegagalan peralatan.

b. SAIDI

SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*) menunjukkan rata-rata lamanya interupsi yang dialami pelanggan akibat pemadaman dalam satu tahun [13]. Secara matematis, SAIDI dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{SAIDI} = \frac{\text{jumlah dari perkalian durasi gangguan dan pelanggan padam}}{\text{jumlah pelanggan}}$$

$$\text{SAIDI} = \frac{\sum \delta_i x N_i}{N_t} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

δ_i = Lama (durasi) padam gangguan ke i

N_i = Jumlah pelanggan padam gangguan ke i

N_t = Total pelanggan dalam satu periode

Dengan kata lain, SAIDI merupakan rasio antara total lamanya gangguan seluruh pelanggan terhadap total pelanggan yang dilayani. Satuan SAIDI adalah jam/pelanggan/tahun. Semakin kecil nilai SAIDI maka semakin baik tingkat keandalan sistem distribusi listriknya[14], [15].

c. SAIFI

SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*) mengukur rata-rata frekuensi gangguan yang dialami tiap pelanggan dalam satu tahun[13]. Secara matematis, rumus SAIFI adalah:

$$\text{SAIFI} = \frac{\text{Jumlah dari perkalian angka kegagalan dan pelanggan padam}}{\text{Jumlah pelanggan total}}$$

$$\text{SAIFI} = \frac{\sum \lambda_i x N_i}{N_t} \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan:

λ_i = Kali padam ke i

N_i = Jumlah pelanggan padam gangguan ke i

N_t = Total pelanggan dalam satu periode

Dengan kata lain, SAIFI merupakan rasio total frekuensi gangguan yang dialami seluruh pelanggan terhadap jumlah total pelanggan. Satuan SAIFI adalah gangguan/pelanggan/tahun. Semakin kecil SAIFI, semakin baik tingkat keandalan sistem distribusinya[16][17].

Parameter keandalan ini dibandingkan dengan standar tingkat keandalan yang ditetapkan, seperti SPLN 68-2 : 1986. Standar tersebut mendefinisikan target performa minimum sistem distribusi agar keandalan pelayanan ke konsumen tetap terjaga.

Dengan memantau parameter keandalan dan membandingkannya terhadap standar, maka performa dan kondisi sistem distribusi dapat dievaluasi. Jika parameter keandalan tidak memenuhi standar, maka perlu dilakukan perbaikan pada sistem untuk meningkatkan keandalan, sebagai berikut tabel indeks keandalan pada SPLN 68-2 : 1986

Tabel 2.1 Indeks Keandalan (SPLN nomor 68-2 : 1986)

Indeks Keandalan	Standar Nilai	Satuan
SAIFI	3.2	Kali/tahun
SAIDI	21.09	Jam/tahun

Dalam rangka menjamin keandalan penyediaan tenaga listrik bagi masyarakat, PT PLN (Persero) menerapkan standar indeks keandalan SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*) sebesar 3,2 kali/tahun dan SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*) sebesar 21,09 jam/tahun sejak tahun 1986. Meskipun standar tersebut ditetapkan pada tahun 1986, namun hingga saat ini standar SAIFI dan SAIDI masih digunakan oleh PLN sebagai acuan dalam mengevaluasi kinerja penyediaan listrik kepada pelanggan.

d. ENS

ENS (*Energi Not Supplied*) adalah kondisi saat permintaan energi listrik melebihi pasokan yang tersedia di jaringan kelistrikan. ENS dapat

terjadi akibat beberapa faktor antara lain pembangkit listrik yang berkurang, gangguan transmisi atau distribusi energi, lonjakan permintaan energi yang ekstrem, ataupun kombinasi dari faktor-faktor tersebut[16]. Untuk menghitung nilai ENS, diperlukan informasi mengenai Daya Aktif (P) yang hilang selama gangguan berlangsung. Daya Aktif ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi \dots\dots\dots(4)$$

Dimana :

P = Daya Aktif (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

$\cos \varphi$ = Faktor Daya

Setelah mendapatkan nilai Daya Aktif (P), maka nilai ENS dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$ENS = \sum \text{gangguan (kW)} \times \text{Duarasi (jam)}$$

$$ENS = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \Phi \times t \dots\dots\dots(5)$$

Dimana :

\sum gangguan = Jumlah daya Aktif yang mengalami gangguan (kW)

Durasi = Lamanya gangguan terjadi (jam)

Saat terjadi ENS, Pengoperasian Sistem Tenaga Listrik menginstruksikan untuk melakukan pemadaman bergilir di berbagai area untuk menyeimbangkan pasokan dan permintaan agar sistem kelistrikan tetap stabil. Pemadaman bergilir dilakukan dengan pola dan jadwal yang sudah ditetapkan untuk membagi beban agar seluruh area mendapat jatah suplai energi.

Dampak dari pemadaman bergilir akibat ENS sangat dirasakan masyarakat dan berbagai sektor perekonomian. Kegiatan industri

banyak yang terganggu karena mesin-mesin produksi tidak dapat dioperasikan tanpa listrik. Di rumah tangga, aktivitas memasak dan mencuci juga terhambat, belum lagi kerugian akibat penggunaan genset sebagai sumber energi pengganti. Hal ini menyebabkan kerugian finansial yang signifikan bagi pelaku industri dan masyarakat [17].

Untuk mengatasi permasalahan ENS, Pemerintah terus berupaya meningkatkan kapasitas pembangkit listrik dan memperbaiki infrastruktur kelistrikan. Di sisi lain, penghematan pemakaian listrik di sektor industri dan rumah tangga juga penting untuk mengurangi beban jaringan ketika pasokan energi sedang terbatas. Dengan langkah-langkah tersebut, diharapkan pemadaman bergilir akibat ENS dapat diminimalisasi di masa mendatang.

e. Faktor-faktor yang mempengaruhi keandalan

Keandalan suatu sistem sangat penting untuk diperhatikan. Ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi tingkat keandalan suatu sistem. Berikut ini adalah 7 faktor utama yang perlu diperhatikan agar sistem dapat beroperasi dengan andal:

1. Desain Sistem

Desain sistem kelistrikan memiliki peranan yang sangat penting dalam menentukan tingkat keandalan suatu sistem distribusi tenaga listrik. Desain sistem meliputi susunan jaringan transmisi dan distribusi serta peralatan pendukungnya.

Pola jaringan primer pada sistem distribusi terdiri dari beberapa jenis, mulai dari radial murni, radial dengan tie line, spindel tanpa tie line, hingga loop tertutup. Pemilihan pola jaringan primer ini akan mempengaruhi tingkat redundansi dan fleksibilitas sistem dalam menghadapi gangguan. Pola loop tertutup memiliki tingkat keandalan paling tinggi karena gangguan pada satu titik masih bisa dialihkan ke titik lain melalui loop nya.

Demikian pula pada jaringan distribusi sekunder, pola penyulangannya bisa radial dengan pola urat atau mesh dengan pola jala-jala. Kombinasi keduanya juga dimungkinkan. Pola mesh lebih handal karena alternatif suplai listrik masih ada meskipun salah satu penyulang mengalami gangguan.

Pada sistem distribusi diperlukan pula tie line sebagai penghubung antar feeder sehingga beban listrik dapat dialihkan dari satu feeder ke feeder lain saat terjadi gangguan. Semakin banyak tie line yang terpasang, otomatis sistem memiliki redundansi dan keandalan yang lebih tinggi. Kapasitas tie line juga harus memadai menampung beban Feeder yang dialihkan.

Melalui sistem rekonfigurasi jaringan, pengalihan beban antar Feeder pada saat gangguan bisa dilakukan baik secara manual maupun otomatis. Pembagian zona & area pelayanan yang proporsional dan redundansi peralatan pendukung seperti trafo & genset cadangan juga meningkatkan *availability* sistem saat terjadi pemadaman.

Dengan menerapkan desain sistem yang handal, diharapkan sistem mampu bertahan dari gangguan dan menjaga kesinambungan pasokan listrik ke pelanggan. Tentu saja pilihan desain sistem harus disesuaikan dengan kondisi, anggaran biaya, dan peraturan setempat.

2. Perawatan/Pemeliharaan

Perawatan atau pemeliharaan berperan vital dalam menjaga kondisi optimal seluruh peralatan dan sistem kelistrikan. Pemeliharaan yang baik dan berkala akan sangat mendukung keandalan sistem.

Terdapat dua jenis utama pemeliharaan, yaitu *preventive maintenance* dan *predictive maintenance*. *Preventive maintenance* merupakan pemeliharaan rutin berdasarkan interval waktu atau

pemakaian tertentu, seperti pengecekan bulanan pada trafo distribusi.

Sedangkan *predictive maintenance* berbasis kondisi, dimana peralatan dipantau dan dianalisis untuk mendapatkan indikasi dimana suatu asset memerlukan perbaikan agar tidak terjadi kerusakan mendadak. Contoh pemeriksaan minyak pada trafo untuk mendeteksi adanya partikel atau gas yang mengindikasikan potensi kerusakan internal.

Selain itu faktor kebersihan dan kondisi lingkungan juga berpengaruh terhadap umur pakai peralatan. Debu, kotoran dan kelembapan yang berlebihan dapat mempercepat terjadinya *flashover* pada isolator dan menurunkan nilai tahanan isolasi peralatan.

3. Umur Peralatan

Semakin tua umur suatu peralatan atau komponen kelistrikan, maka risiko terjadinya kerusakan semakin meningkat. Beberapa indikator tingkat keausan atau kemunduran kondisi peralatan antara lain:

Isolasi kabel yang mulai mengeras dan rapuh sehingga mudah mengalami *breakdown* tegangan lebih atau gangguan hubung singkat. Demikian pula isolasi pada trafo daya juga dapat mengalami penuaan.

Lilitan kawat pada trafo distribusi dan gardu induk dapat mengalami loss konduktivitas akibat putusnya beberapa helai kawat tembaga penghantar. Ini mengakibatkan naiknya impedansi dan resistansi sehingga efisiensi trafo menurun.

Bantalan dan sistem pendingin pada generator juga mengalami keausan dan kerusakan lambat seiring bertambahnya waktu operasi. Sehingga gesekan mekanis dan panas internal yang dihasilkan semakin besar.

Oleh karenanya, diperlukan penjadwalan penggantian rutin komponen vital sebelum melampaui umur pakainya. Misalnya penggantian isolasi kabel setiap 15-25 tahun. Hal ini penting demi menjaga keandalan sistem pada level yang diinginkan. Perlu pula dilakukan riset dan inovasi material peralatan agar umur operasinya makin panjang dengan performa yang sama.

4. Lingkungan

Kondisi lingkungan tempat peralatan kelistrikan beroperasi memiliki dampak signifikan terhadap performa dan umur aset. Beberapa potensi bahaya yang mungkin dihadapi antara lain:

Paparan sinar matahari, temperatur tinggi, debu dan kadar garam yang berlebihan dapat mempercepat laju penuaan (*aging*) isolator dan bahan polyester pada peralatan. Sehingga menurunkan tegangan tembus petir (BIL) dan nilai tahanan isolasinya.

Kelembapan udara yang *excess* juga memicu tumbuhnya jamur dan lumut pada permukaan isolator. Selain kotor, lapisan bio film tersebut mengurangi jarak bocor dan memudahkan terjadinya *flashover*. Daerah dengan potensi ancaman petir tinggi juga rentan mengalami lonjakan tegangan lebih akibat sambaran langsung maupun induksi. Hal ini dapat merusak peralatan proteksi seperti arrester dan fuse cut out.

Genangan air dan banjir tentu saja berisiko membuat konslet hubung singkat pada peralatan. Bahkan berpotensi merusak total gardu distribusi yang terendam. Proteksi tambahan berupa pengaman petir, heater pada panel kontrol, *coating hydrophobic*, dan ketinggian konstruksi yang cukup adalah beberapa cara untuk mengurangi efek buruk kondisi lingkungan terhadap sistem.

5. Operator dan SDM

Kompetensi dan keterampilan dari operator serta personel yang mengoperasikan sistem kelistrikan sangat menentukan tingkat keandalan sistem secara keseluruhan. Beberapa hal yang perlu diperhatikan terkait faktor manusia ini antara lain:

Operator gardu induk, pusat pengendali distribusi, maupun petugas lapangan harus memiliki pengetahuan teknis yang memadai sesuai tugas dan tanggung jawabnya masing-masing. Karena kesalahan operasi bisa berakibat fatal terhadap gangguan sistem.

Diperlukan pelatihan teknis berkala untuk operator dan petugas, guna memastikan kompetensi yang dimiliki selalu update terhadap perkembangan terbaru peralatan maupun prosedur operasi.

Tingkat fatigue, stres, dan depresi pada operator perlu dipantau. Karena kondisi tersebut berpotensi memicu human error seperti kelalaian dan kurang fokus yang dapat membahayakan keandalan sistem. Jumlah operator atau petugas yang bertugas juga harus mencukupi, agar beban kerja tidak berlebihan mengingat padatnya jadwal operasi shif maupun pemeliharaan yang harus ditangani.

Penerapan SOP, instruksi kerja dan program K3 yang konsisten merupakan langkah penting untuk mendukung personel bekerja optimal dan aman. Tersedianya dokumentasi dan database gangguan serta pelatihan simulasi kasus darurat juga akan meningkatkan kesiapan personel dalam menghadapi potensi gangguan sistem.

6. Beban Pelanggan

Pola konsumsi energi listrik oleh pelanggan bersifat fluktuatif dan musiman. Pemakaian cenderung tinggi di siang hari dan menurun dini hari. Begitu pula antara musim kemarau dan penghujan. Saat beban puncak, seringkali dilakukan pemadaman bergilir agar sistem tidak overloading. Namun tentu hal ini menurunkan tingkat keandalan pelayanan ke pelanggan meski demi menjaga stabilitas sistem secara keseluruhan.

Ketidakseimbangan distribusi beban juga berpotensi memicu beban lebih pada salah satu fasa. Hal ini kurang efisien dan berisiko memicu gangguan pada fasa yang overload.

Oleh karena itu diperlukan prediksi beban yang cermat agar gardu induk dapat menyalurkan daya secara optimal setiap waktu dengan mempertimbangkan fluktuasi dan faktor musiman tersebut.

7. Standar Teknis dan Operasional

Pemilihan peralatan listrik yang telah memenuhi standar internasional tentu akan lebih handal dan aman digunakan. Begitu pula penerapan prosedur operasi berdasarkan kaidah teknis yang baku juga meningkatkan keandalan sistem. Misalnya pemasangan kabel penghantar dengan isolation yang sesuai IEC atau NEC, trafo bersertifikat IEC, generator standard NEMA, dan seterusnya.

Demikian pula SOP, intruksi kerja maupun log sheet operasi yang merujuk pada *best practices* akan sangat membantu operator bekerja pada parameter optimal. Sehingga performa peralatan terjaga dan potensi human error diminimalisir. Dengan menerapkan standar yang teruji baik praktik terbaik, diharapkan mutu perencanaan, instalasi maupun operasi sistem kelistrikan menjadi lebih andal dan efisien.

2.2.5 Rugi-rugi Daya

Rugi-rugi daya adalah kebocoran daya atau daya yang hilang di sepanjang jalur penyaluran tenaga listrik, yang disebabkan oleh resistansi yang ada pada bahan pembentuk konduktor. Rugi-rugi daya pada jaringan distribusi listrik juga dapat disebabkan oleh pembebanan yang tidak seimbang antara ketiga fasa jaringan dan panas yang timbul pada konduktor [18].

Rugi-rugi daya terdiri dari beberapa komponen, yaitu:

- a. Rugi-rugi konduksi, akibat resistansi pada penghantar. Resistansi penghantar berbanding lurus dengan panjang penghantar dan

berbanding terbalik dengan luas penampang. Semakin besar resistansi penghantar, semakin besar pula rugi-rugi konduksinya.

- b. Rugi-rugi *corona*, akibat pelepasan muatan listrik pada konduktor. Umumnya terjadi pada saluran udara tegangan tinggi akibat ionisasi udara di sekitar konduktor.
- c. Rugi-rugi *histeresis*, terjadi pada bahan *ferromagnetik* seperti transformator akibat perubahan kerapatan fluks magnet.
- d. Rugi-rugi *eddycurrent*, timbul akibat induksi *electromagnetik* pada konduktor. Konduktor yang dialiri fluks magnet akan menghasilkan arus *eddy*.

Beberapa faktor yang mempengaruhi rugi-rugi daya adalah:

- a. Jarak dan tegangan saluran distribusi

Semakin panjang jarak saluran distribusi dan semakin rendah tegangan operasi, maka semakin besar rugi-rugi daya yang terjadi. Hal ini disebabkan oleh resistansi kawat penghantar yang semakin besar seiring dengan panjang saluran. Selain itu, semakin rendah tegangan operasi, maka arus yang mengalir akan semakin besar untuk daya yang sama, sehingga rugi-rugi daya juga meningkat.

- b. Luas penampang penghantar

Luas penampang penghantar yang lebih kecil akan menyebabkan resistansi kawat menjadi lebih besar. Hal ini akan mengakibatkan rugi-rugi daya yang lebih besar pula. Sebaliknya, semakin besar luas penampang penghantar, maka resistansinya semakin kecil, sehingga rugi-rugi daya juga akan berkurang.

- c. Faktor daya

Faktor daya adalah rasio antara daya aktif (daya yang sesungguhnya digunakan) terhadap daya semu (daya total yang disuplai). Semakin rendah faktor daya, maka semakin besar daya reaktif yang tidak dimanfaatkan dan hanya menyebabkan rugi-rugi daya. Untuk mengurangi rugi-rugi daya, diperlukan upaya meningkatkan faktor

daya, misalnya dengan menggunakan kapasitor bank atau peralatan kompensasi daya reaktif lainnya.

d. Beban puncak

Beban puncak adalah beban tertinggi yang terjadi dalam suatu sistem tenaga listrik pada selang waktu tertentu. Semakin besar beban puncak, maka akan semakin besar pula arus yang mengalir dalam sistem, sehingga rugi-rugi daya juga akan meningkat. Oleh karena itu, penting untuk mengelola beban puncak agar tidak terlalu tinggi dan dapat menurunkan rugi-rugi daya.

e. Pemeliharaan peralatan

Kondisi peralatan yang tidak optimal, seperti isolasi yang rusak atau koneksi yang longgar, dapat menyebabkan peningkatan rugi-rugi daya. Pemeliharaan peralatan secara berkala, seperti pemeriksaan dan perbaikan, sangat penting untuk memastikan peralatan beroperasi dengan efisien dan mengurangi rugi-rugi daya yang tidak diinginkan.

Semakin jauh dan tinggi tegangan saluran, maka rugi-rugi daya semakin besar. Semakin besar penampang penghantar, maka resistansinya lebih kecil sehingga rugi-rugi konduksi berkurang. Faktor daya yang rendah juga akan memperbesar rugi-rugi daya.

Upaya untuk mengurangi rugi-rugi daya antara lain penambahan kapasitas saluran, *rekonduktor*, peningkatan faktor daya, dan pemeliharaan berkala peralatan.

Rugi-rugi daya yang tinggi akan berdampak pada menurunnya efisiensi penyaluran daya listrik. Tingginya rugi-rugi daya juga berkaitan dengan meningkatnya nilai SAIDI dan SAIFI, karena gangguan dan pemadaman akibat rugi-rugi daya yang besar. Oleh karena itu, upaya menurunkan nilai SAIDI dan SAIFI perlu memperhatikan faktor rugi-rugi daya.

2.2.6 Kerugian Akibat Gangguan pada Gardu Induk

Salah satu dampak yang timbul akibat gangguan pada Gardu Induk adalah terjadinya kerugian finansial bagi penyedia layanan kelistrikan.

Kerugian ini dapat diestimasi dengan mengalikan *nilai Energy Not Supplied (ENS)* selama satu tahun dengan Tarif Tenaga Listrik (TTL) yang berlaku.

a. Tarif Tenaga Listrik (TTL)

Tarif Tenaga Listrik (TTL) adalah biaya yang dikenakan oleh penyedia layanan kelistrikan kepada pelanggan untuk setiap kWh energi listrik yang digunakan. Besaran TTL ini bervariasi tergantung pada golongan tarif pelanggan, seperti rumah tangga, bisnis, industri, atau instansi pemerintah.

b. Kerugian Finansial

Kerugian finansial akibat gangguan pada Gardu Induk Comal selama satu tahun dapat diestimasi dengan mengalikan nilai ENS tahunan dengan TTL yang berlaku, menggunakan persamaan:

$$\text{Kerugian} = \text{ENS} \times \text{TTL} \dots\dots\dots(6)$$

Dimana :

Kerugian = Kerugian finansial (dalam satuan mata uang)

ENS = *Energy Not Supplied* tahunan (kWh atau MWh)

TTL = Tarif Tenaga Listrik (dalam satuan mata uang per kWh)

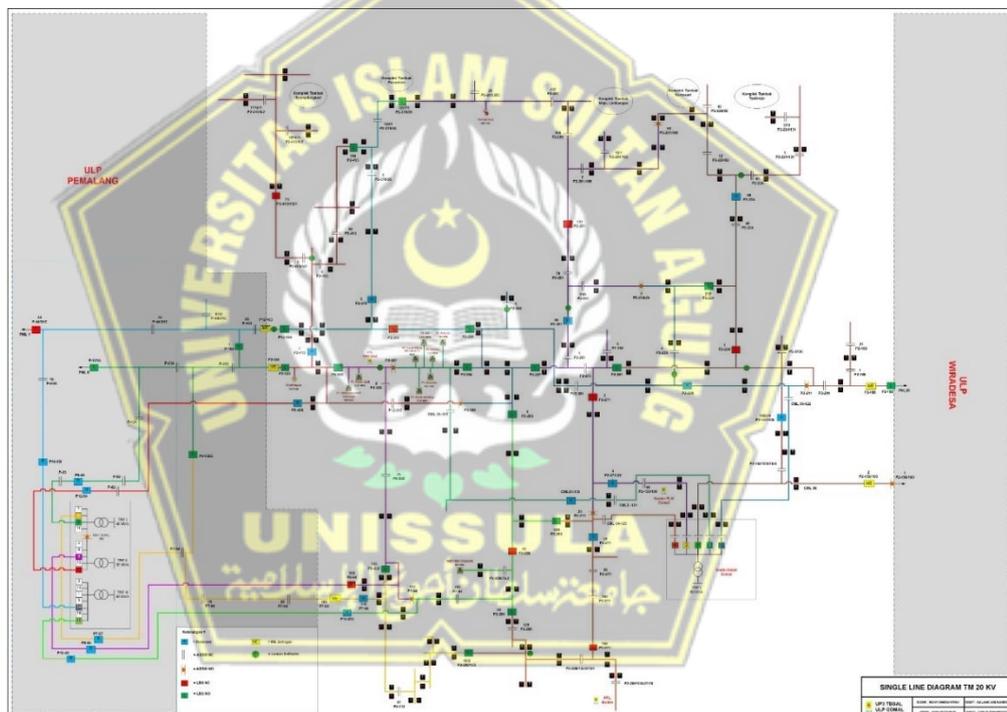
Dengan menghitung kerugian finansial ini, penyedia layanan kelistrikan dapat memperkirakan dampak ekonomi dari gangguan yang terjadi pada Gardu Induk dan mengambil langkah-langkah mitigasi yang diperlukan untuk meminimalkan kerugian di masa mendatang.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Gambaran Umum Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Gardu Induk Comal yang merupakan salah satu gardu induk yang menyalurkan tenaga listrik ke wilayah Comal dan sekitarnya. Gardu Induk Comal memiliki 1 buah trafo distribusi dengan kapasitas 60 MVA.

Untuk memahami sistem kelistrikan pada Gardu Induk Comal secara lebih jelas, berikut ini disajikan gambar *singleline* diagram yang menggambarkan konfigurasi jaringan dan peralatan utama pada gardu induk tersebut.



Gambar 3.1 Singleline Diagram Gardu Induk Comal

Penelitian ini akan menganalisis sistem distribusi pada Gardu Induk Comal. Berdasarkan data awal, Gardu Induk Comal beberapa kali mengalami gangguan pasokan listrik dalam 1 tahun terakhir. Oleh karena itu akan dilakukan evaluasi keandalan sistem ditinjau dari parameter SAIDI dan SAIFI serta potensi kerugiannya akibat ENS selama 1 tahun.

Penelitian menggunakan data sekunder *time series* nilai SAIDI, SAIFI, dan ENS daya Gardu Induk Comal selama 1 tahun. Hasil yang didapat dapat

digunakan perusahaan listrik untuk memprediksi potensi kerugian di masa depan sebagai dasar penetapan strategi peningkatan mutu pelayanan agar lebih andal dan efisien.

3.2 Tahapan Penelitian

Adapun tahapan penelitian yang dilakukan dalam rangka menganalisis pengaruh nilai SAIDI dan SAIFI terhadap rugi-rugi daya pada Gardu Induk Comal, adalah sebagai berikut:

1. Tahap Perumusan Masalah

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis tingkat keandalan sistem kelistrikan pada Gardu Induk Comal. Permasalahan yang ingin diteliti dan dianalisis meliputi:

- Laju kegagalan (*failure rate*) sistem
- Tingkat keandalan akibat gangguan terencana (*planned interruption*) karena adanya pemeliharaan rutin
- Tingkat keandalan akibat gangguan tidak terencana (*unplanned interruption*)
- Nilai SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*)
- Nilai SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*)
- Nilai ENS (*Energy Not Served*)
- Kerugian akibat hilangnya energi yang seharusnya disalurkan

2. Tahap Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan mengambil data gangguan kelistrikan yang terjadi di Gardu Induk Comal selama satu tahun (tahun 2023). Data yang dikumpulkan antara lain:

- Diagram Singleline Gardu Induk Comal
- Data gangguan terencana dan tidak terencana per bulan
- Durasi, Jumlah pelanggan, jumlah pelanggan terdampak, durasi pemadaman dan arus
- Data tarif tenaga listrik untuk perhitungan kerugian

3. Tahap Pengolahan Data

Data yang telah dikumpulkan kemudian diolah dan dianalisis dengan langkah:

- Menghitung laju kegagalan rata-rata per bulan
- Menghitung SAIDI dan SAIFI akibat gangguan terencana
- Menghitung SAIDI dan SAIFI akibat gangguan tidak terencana
- Menghitung nilai ENS berdasarkan daya aktif dan durasi pemadaman
- Menghitung kerugian dengan mengalikan ENS dengan tarif tenaga listrik
- Membandingkan hasil perhitungan dengan target PLN, standar IEEE, dll.

4. Tahap Analisis

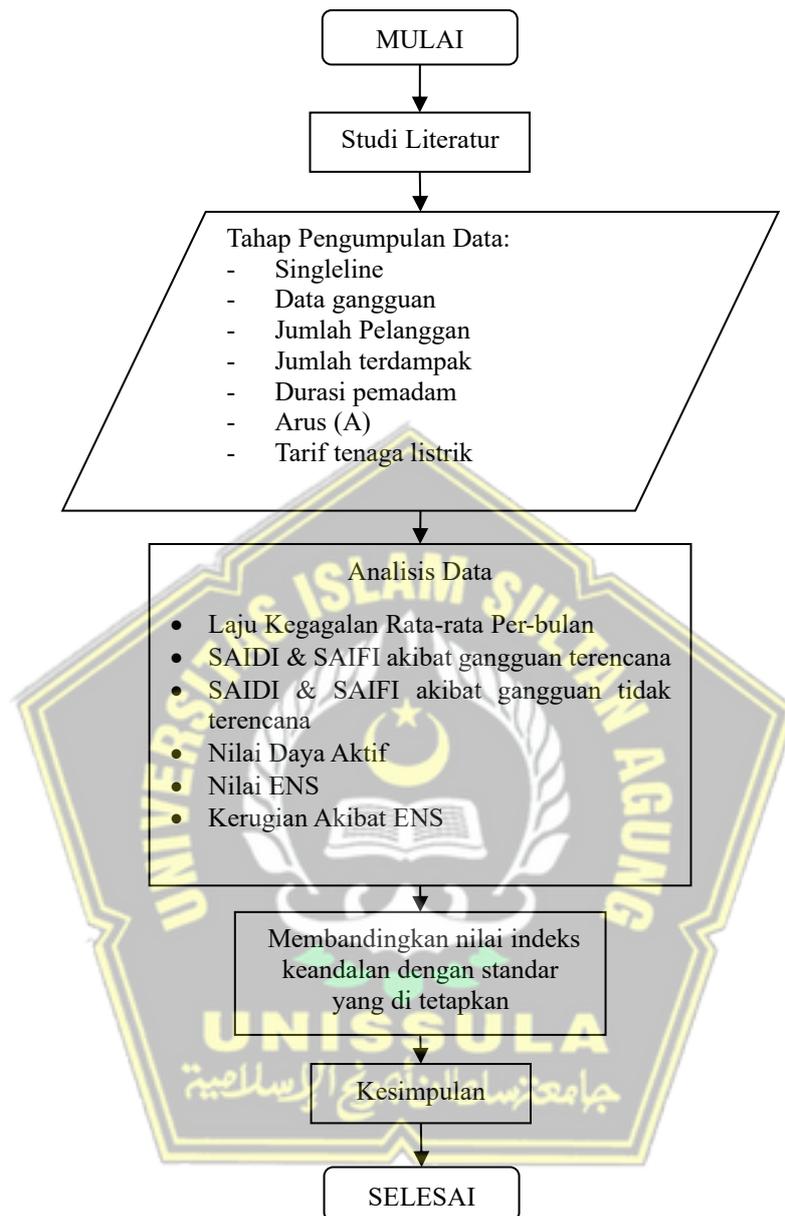
Hasil pengolahan data dianalisis untuk mengetahui:

- Tingkat kerawanan sistem mengalami gangguan berdasarkan laju kegagalan
- Tingkat keandalan sistem berdasarkan nilai SAIDI dan SAIFI
- Besarnya energi yang hilang akibat pemadaman berdasarkan ENS
- Nilai kerugian yang dialami akibat energi yang tidak tersalurkan
- Apakah hasil parameter sudah memenuhi standar yang ditetapkan

5. Tahap Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data, dapat diambil kesimpulan mengenai tingkat keandalan sistem kelistrikan pada Gardu Induk Comal selama setahun. Kesimpulan mencakup apakah keandalan sistem sudah baik atau masih perlu perbaikan, serta rekomendasi yang bisa diberikan untuk peningkatan keandalan ke depannya.

3.3 FlowChart



Gambar 3.2 Flowchart penelitian

3.4 Teknik Pengumpulan Data

Pada penelitian ini, teknik pengumpulan data yang digunakan adalah metode dokumentasi, yaitu pengumpulan data sekunder dari berbagai dokumen dan pencatatan resmi milik instansi terkait. Data yang dibutuhkan berupa data *time series* nilai SAIDI, SAIFI, dan rugi-rugi daya pada sistem distribusi Gardu Induk Comal selama 1 tahun pengamatan dari 2023.

Data sekunder tersebut diperoleh dari dokumen-dokumen seperti laporan tahunan, *database* operasional, hingga rekap catatan gangguan listrik yang dimiliki oleh PT Perusahaan Listrik unit Gardu Induk Comal selaku instansi pengelola sistem kelistrikan di wilayah Comal.

Metode dokumentasi dipilih karena data yang dibutuhkan telah tersedia pada pencatatan resmi Perusahaan Listrik sehingga tidak memerlukan pengukuran dan pengamatan secara langsung oleh peneliti. Diharapkan data sekunder yang telah terdokumentasi dengan baik tersebut dapat memberikan informasi yang akurat untuk analisis pada penelitian ini.

3.5 Analisa Data

Pada tahap ini dilakukan analisis terhadap data gangguan dan keandalan sistem distribusi listrik area pelayanan Gardu Induk Comal. Analisis yang dilakukan meliputi perhitungan beberapa indeks keandalan, yaitu:

1. Laju Kegagalan (*Failure Rate*)

Laju kegagalan merupakan ukuran probabilitas terjadinya gangguan per unit waktu pada sistem distribusi. Laju kegagalan dihitung berdasarkan data historis gangguan yang terjadi.

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

SAIDI merupakan indeks yang menunjukkan lama rata-rata pemadaman yang dialami oleh pelanggan, dinyatakan dalam satuan waktu (jam/pelanggan). Nilai SAIDI yang rendah mengindikasikan sistem distribusi yang andal.

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

SAIFI merupakan indeks yang mengukur frekuensi rata-rata pemadaman yang dialami oleh pelanggan, dinyatakan dalam jumlah kejadian pemadaman per pelanggan per tahun. Nilai SAIFI yang rendah mengindikasikan sistem distribusi yang andal.

4. Daya Aktif

Daya aktif merupakan daya yang benar-benar digunakan untuk melakukan usaha/kerja. Nilai daya aktif diperlukan dalam perhitungan ENS

untuk mengetahui besaran energi yang tidak dapat disuplai selama terjadi pemadaman.

5. ENS (*Energy Not Supplied*)

ENS merupakan kondisi ketika permintaan beban listrik pelanggan melebihi daya yang mampu disuplai oleh sistem, sehingga terjadi pemadaman bergilir. Indeks ENS menunjukkan tingkat keparahan kondisi ENS yang terjadi dalam setahun. Perhitungan ENS memerlukan data daya aktif yang tidak tersuplai selama pemadaman.

6. Kerugian Finansial

Analisis kerugian finansial dilakukan untuk mengetahui dampak ekonomi dari gangguan yang terjadi pada sistem distribusi. Kerugian finansial dihitung berdasarkan data energi tidak tersuplai, biaya pemadaman, dan kompensasi kepada pelanggan.

3.6 Hasil

Bagian hasil berisi uraian tentang apa saja yang ditargetkan dari penelitian ini sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai. Adapun hasil yang diharapkan dari penelitian ini antara lain:

1. Nilai parameter keandalan

Penelitian ini akan menghasilkan nilai parameter kuantitatif untuk mengevaluasi tingkat keandalan sistem distribusi Gardu Induk Comal, meliputi:

- a. Nilai SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*) gangguan terencana dan tidak terencana.
 - b. Nilai SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*) gangguan terencana dan tidak terencana.
2. Menjelaskan besarnya rugi-rugi daya yang dialami oleh Gardu Induk Comal selama 1 tahun terakhir.
 3. Menjelaskan kerugian rupiah yang dialami oleh Gardu Induk Comal selama 1 tahun terakhir dilihat dari nilai SAIDI dan SAIFI.
 4. Menyajikan hasil dalam bentuk tabel dan gambar agar mudah dipahami.



BAB IV

HASIL DAN ANALISA

4.1 Data Asli dari ULP Comal

Dalam melakukan analisis keandalan sistem kelistrikan Gardu Induk Comal, diperlukan data-data gangguan yang terjadi pada jaringan distribusi tersebut. Data-data ini diperoleh dari Unit Layanan Pelanggan (ULP) Comal yang bertanggung jawab mengelola operasional dan pemeliharaan jaringan distribusi di wilayah Comal dan sekitarnya.

Data asli dari ULP Comal terkait gangguan pada jaringan distribusi Gardu Induk Comal dapat dibedakan menjadi dua kategori utama, yaitu gangguan terencana dan gangguan tidak terencana. Data-data tersebut disajikan dalam rincian bulanan untuk memudahkan analisis dan identifikasi pola gangguan yang terjadi sepanjang tahun.

4.2.1 Gangguan Terencana

Data ini mencakup informasi terkait gangguan yang direncanakan oleh pihak ULP Comal untuk keperluan pemeliharaan atau perbaikan jaringan distribusi. Informasi yang tercakup antara lain jenis pekerjaan, tanggal pelaksanaan, No. tiang, durasi, jumlah pelanggan yang terdampak, durasi x pelanggan padam dan kali gangguan.

Data gangguan terencana yang diperoleh dari ULP Comal disajikan dalam bentuk tabel bulanan. Tabel-tabel yang disajikan di Lampiran menunjukkan rincian data gangguan terencana yang terjadi pada jaringan distribusi Gardu Induk Comal selama satu tahun periode.

4.2.2 Gangguan Tidak Terencana

Data ini mencakup informasi terkait gangguan yang terjadi secara tidak terduga pada jaringan distribusi. Informasi yang tercakup antara lain No tiang, tanggal gangguan, durasi, jumlah pelanggan yang padam, durasi x pelanggan padam dan kali gangguan. Data gangguan tidak terencana yang diperoleh dari ULP Comal disajikan dalam bentuk tabel bulanan. Tabel-tabel yang disajikan di Lampiran menunjukkan rincian data

gangguan terencana yang terjadi pada jaringan distribusi Gardu Induk Comal selama satu tahun periode.

4.2 Analisis Data

4.3.1 Laju Kegagalan

Laju kegagalan (*failure rate*) menunjukkan tingkat kerapuhan atau kerentanan suatu sistem kelistrikan mengalami kegagalan atau gangguan per satuan waktu.

Semakin tinggi nilai laju kegagalannya, maka semakin sering gangguan yang terjadi pada sistem kelistrikan tersebut. Laju kegagalan dihitung dengan persamaan (1) sebagai berikut:

$$\lambda = \frac{N}{\Sigma T}$$

Keterangan:

λ : Laju kegagalan rata-rata (kegagalan/hari operasi)

Menghitung nilai laju kegagalan di ambil dari data gangguan terencana dan gangguan tidak terencana pada bulan Januari :

Jumlah kegagalan = 48 kali

Jumlah hari operasi = 31 hari

$$\lambda = \frac{\text{Jumlah kegagalan}}{\text{umlah operasi dalam 1 bulan}}$$

$$\lambda = \frac{48 \text{ kegagalan}}{31 \text{ hari operasi}}$$

$$\lambda = 1,55 \text{ kegagalan/hari operasi}$$

Dengan cara perhitungan diatas menggunakan persamaan (1) dapat diperoleh nilai Laju kegagalan setiap bulannya pada tahun 2023 di Gardu Induk Comal sebagai berikut:

Tabel 4.1 Data Laju kegagalan tahun 2023

No.	Bulan	Jumlah Kegagalan	Jumlah operasi dalam 1 bulan (Hari)	Laju Kegagalan Rata - Rata (λ)
1	Januari	48	31	1,55
2	Februari	74	28	2,64
3	Maret	70	31	2,26
4	April	77	30	2,57
5	Mei	32	31	1,03
6	Juni	24	30	0,80
7	Juli	51	31	1,65
8	Agustus	43	31	1,39
9	September	32	30	1,07
10	Oktober	57	31	1,84
11	November	49	30	1,63
12	Desember	49	31	1,58
Terendah		24		0,8
Tertinggi		77		2,64
Rata-rata		50,50		1,67
Total		606		20,00

Berdasarkan Tabel 4.1 dapat dilihat data laju kegagalan (*failure rate*) sistem kelistrikan per bulan pada tahun 2023. Laju kegagalan dihitung dari jumlah kegagalan dibagi dengan jumlah hari operasi dalam 1 bulan.

Secara keseluruhan, total jumlah kegagalan pada tahun 2023 adalah 606 kali. Rata-rata jumlah kegagalan per bulan adalah 50,50 kali dengan rata-rata laju kegagalan 1,67. Jumlah kegagalan banyak terjadi pada bulan April dengan total 77, Sementara bulan dengan kegagalan paling sedikit adalah bulan Mei dengan hanya 32 total kegagalan. Untuk laju kegagalan banyak terjadi pada bulan Februari yaitu 2,64 gagal/hari. Sementara laju kegagalan terendah terjadi pada Juni sebesar 0,8 gagal/hari.

Data ini menunjukkan bahwa sistem kelistrikan mengalami fluktuasi laju kegagalan yang cukup tinggi antar bulan dalam setahun. Perlu dilakukan analisis lebih lanjut terkait penyebab tingginya angka kegagalan pada bulan-bulan tertentu, seperti apakah ada faktor cuaca/iklim atau faktor lainnya yang memengaruhi.

4.3.2 Data Keandalan Akibat Pemeliharaan

Keandalan sistem kelistrikan akibat adanya gangguan terencana karena kegiatan pemeliharaan rutin (*planned maintenance*) merupakan salah satu parameter yang penting untuk dipantau.

Semakin besar frekuensi dan durasi gangguan terencana yang terjadi akibat aktivitas pemeliharaan, maka semakin besar pula dampak gangguannya terhadap pelanggan.

Beberapa indeks yang digunakan untuk mengukur keandalan sistem kelistrikan akibat adanya pemeliharaan rutin antara lain:

- a. Jumlah Pelanggan Unit
- b. Total durasi pemadaman
- c. Jumlah pelanggan yang terkena pemadaman

Data mengenai besarnya gangguan terencana akibat pemeliharaan yang terjadi pada sistem sangat penting sebagai bahan evaluasi dan perbaikan agar dampaknya ke pelanggan bisa diminimalisir. Pada Tabel 4.2 berikut ini terdapat data terkait gangguan terencana akibat pemeliharaan yang di ambil dari data PLN di lampiran pada sistem kelistrikan pada tahun 2023:

Tabel 4.2 Data Keandalan akibat pemeliharaan

Gangguan Terencana						
No.	Bulan	Jumlah Pelanggan Unit	Lama Padam (jam)	Jumlah pelanggan Padam	Lama Padam X Pelanggan Padam	Kali Gangguan
1	Januari	109.583	29,63	39266	58283,94	18
2	Februari	146.328	36,22	40585	58873,89	24
3	Maret	135.432	25,82	24213	30756,56	15
4	April	136.949	10,18	12145	19821,71	6
5	Mei	91.807	7,40	5178	9172,81	5
6	Juni	106.296	10,88	11978	13497,76	7
7	Juli	202.750	13,79	15608	22876,15	10
8	Agustus	271.542	19,51	11579	26866,35	11
9	September	132.409	14,47	25160	39817,44	9
10	Oktober	171.298	20,61	39787	48642,24	14
11	November	201.573	13,85	19452	23963,18	11

Gangguan Terencana						
No.	Bulan	Jumlah Pelanggan Unit	Lama Padam (jam)	Jumlah pelanggan Padam	Lama Padam X Pelanggan Padam	Kali Gangguan
12	Desember	112.936	8,27	4870	5875,96	5

Berdasarkan Tabel 4.2 dapat dilihat data terkait gangguan terencana akibat kegiatan pemeliharaan sistem kelistrikan selama tahun 2023.

Total ada 135 kali gangguan terencana selama setahun yang berdampak terhadap pemadaman listrik sejumlah pelanggan. Durasi pemadaman bervariasi antara 7,40 jam hingga 36,22 jam per kejadian gangguan. Jumlah pelanggan yang terdampak pemadaman juga beragam mulai dari 5.178 pelanggan hingga 405.585 pelanggan per kejadian gangguan.

Secara keseluruhan selama setahun, total jam pemadaman akibat gangguan terencana adalah 338.348,89 jam. Ini berarti rata-rata setiap pelanggan mengalami pemadaman listrik selama $338.348,89/12 = 28.195,74$ jam setahun akibat pemeliharaan sistem kelistrikan. Angka ini cukup besar dan perlu dicari solusi untuk menekannya, misalnya dengan melakukan pemeliharaan lebih terencana dan terkoordinasi sehingga dampak pemadamannya lebih kecil.

4.3.3 Data Keandalan Akibat Gangguan

Gangguan tidak terencana (*unplanned interruption*) pada sistem kelistrikan juga memberikan kontribusi yang cukup signifikan terhadap menurunnya tingkat keandalan sistem.

Gangguan yang terjadi secara tiba-tiba ini tentunya memberikan dampak lebih besar karena tidak bisa diprediksi dan diantisipasi sebelumnya.

Beberapa parameter yang biasa diukur untuk melihat besarnya gangguan tidak terencana antara lain:

- a. Jumlah Pelanggan Unit
- b. Total durasi pemadaman

c. Jumlah pelanggan yang terkena pemadaman

Semakin besar nilai parameter-parameter tersebut maka semakin besar pula tingkat gangguan tidak terencana suatu sistem kelistrikan. Berikut ini data gangguan tidak terencana beserta dampaknya yang di ambil dari data PLN di atas pada sistem kelistrikan pada tahun 2023 :

Tabel 4.3 Data Keandalan akibat gangguan

Gangguan Tidak Terencana						
No	Bulan	Jumlah Pelanggan unit	Lama Padam (jam)	Jumlah pelanggan Padam	Lama Padam X Pelanggan Padam	Kali Gangguan
1	Januari	109.583	50,49	26946	33953,2	30
2	Februari	146.328	98,63	61259	56509,1	50
3	Maret	135.432	101,52	48695	66811,88	55
4	April	136.949	93,18	33876	32122,36	71
5	Mei	91.807	53,19	20767	33610,43	27
6	Juni	106.296	21,55	12256	16558,93	17
7	Juli	202.750	40,49	68205	49672,36	41
8	Agustus	271.542	36,61	59788	39559,69	32
9	September	132.409	30,36	36056	66402,21	23
10	Oktober	171.298	65,19	40106	44706,55	43
11	November	201.573	63,36	45924	23318,65	38
12	Desember	112.936	66,34	26021	33418,6	44

Berdasarkan Tabel 4.3 dapat dilihat data terkait gangguan tidak terencana pada sistem kelistrikan dan dampaknya terhadap pelanggan selama tahun 2023.

Total tercatat 471 kali gangguan tidak terencana dengan total durasi pemadaman selama 783,91 jam. Gangguan tidak terencana berdampak pada pemadaman listrik yang dialami oleh jutaan pelanggan PLN, dengan rata-rata durasi pemadaman per pelanggan sekitar $783.910/12 = 65.325,83$ jam per tahun.

Data ini menunjukkan bahwa gangguan tidak terencana memberikan kontribusi pemadaman yang jauh lebih besar daripada gangguan terencana. Hal ini dapat disebabkan kurangnya pencegahan dan kontrol kualitas peralatan sehingga potensi terjadinya kerusakan menjadi lebih

tinggi. Diperlukan peningkatan *preventive maintenance* dan *quality control* agar keandalan sistem kelistrikan bisa lebih terjaga.

Dengan menurunkan angka gangguan tidak terencana, diharapkan tingkat kepuasan pelanggan terhadap kualitas pelayanan PLN juga dapat meningkat.

4.3.4 Analisa Data SAIDI dan SAIFI

SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*) dan SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*) merupakan beberapa parameter penting untuk mengukur keandalan sistem kelistrikan.

1. SAIDI

Menghitung total durasi gangguan rata-rata yang dialami setiap pelanggan dalam satuan waktu tertentu. Satuan SAIDI yaitu jam/pelanggan tahun. Rumus yang di gunakan pada persamaan (2).

Rumus:

$$SAIDI = \frac{\sum \delta_i \times N_i}{N_t}$$

Menghitung dari data keandalan akibat pemeliharaan pada bulan Januari :

Jumlah Pelanggan Unit = 109.583

Total durasi pemadaman = 29,63

Jumlah pelanggan yang terkena pemadaman = 39.266

$$SAIDI = \frac{\text{jumlah dari perkalian durasi gangguan dan pelanggan padam}}{\text{jumlah pelanggan}}$$

$$SAIDI = \frac{29,63 \times 39.266}{109.583}$$

$$SAIDI = \frac{33.953,2}{109.583}$$

$$SAIDI = 0,53 \text{ Jam/Pelanggan. Tahun}$$

2. SAIFI

Menghitung total frekuensi gangguan rata-rata yang dialami setiap pelanggan. Satuan SAIDI yaitu Kegagalan/Pelanggan tahun. Rumus yang di gunakan pada persamaan (3).

Rumus:

$$SAIFI = \frac{\sum \lambda_i x N_i}{N_t}$$

Menghitung dari data keandalan akibat pemeliharaan pada bulan Januari :

Jumlah Pelanggan Unit = 109.583

Jumlah pelanggan yang terkena pemadaman = 39.266

$$SAIFI = \frac{\text{Jumlah dari perkalian angka kegagalan dan pelanggan padam}}{\text{jumlah pelanggan}}$$

$$SAIFI = \frac{39.266}{109.583}$$

SAIFI = 0,36 Kegagalan/Pelanggan. tahun

Kedua indeks di atas menunjukkan tingkat gangguan rata-rata yang dialami pelanggan akibat gangguan terencana pada sistem kelistrikan. Pada Tabel 4.4 berikut ini terdapat data keandalan SAIDI dan SAIFI akibat pemeliharaan pada sistem kelistrikan selama 1 tahun dengan menggunakan rumus pada persamaan di atas (2) dan (3) :

Tabel 4.4 Nilai keandalan SAIDI dan SAIFI akibat pemeliharaan

Gangguan Terencana			
No.	Bulan	SAIDI	SAIFI
1	Januari	0,53	0,36
2	Februari	0,40	0,28
3	Maret	0,23	0,18
4	April	0,14	0,09
5	Mei	0,10	0,06
6	Juni	0,13	0,11
7	Juli	0,11	0,08
8	Agustus	0,10	0,04

Gangguan Terencana			
No.	Bulan	SAIDI	SAIFI
9	September	0,30	0,19
10	Oktober	0,28	0,23
11	November	0,12	0,10
12	Desember	0,05	0,04
TOTAL		2,50	1,75

Berdasarkan Tabel 4.4 dapat dilihat nilai beberapa parameter keandalan sistem kelistrikan akibat adanya gangguan terencana selama tahun 2023, meliputi:

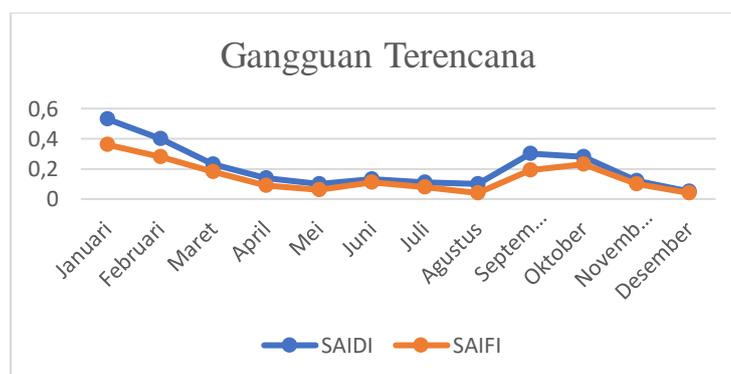
SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*)

Total SAIDI selama setahun adalah 2,50. Semakin kecil nilai SAIDI semakin baik tingkat keandalannya.

SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*)

Total SAIFI selama setahun adalah 1,75. Semakin kecil nilai SAIFI semakin baik tingkat keandalannya.

Dari nilai-nilai parameter keandalan sistem ini, dapat dianalisis bahwa performa keandalan sistem kelistrikan akibat adanya gangguan terencana (pemeliharaan) pada tahun 2023 cukup baik. Hal ini ditunjukkan dari rendahnya nilai SAIDI dan SAIFI. Namun demikian, tentu saja upaya peningkatan keandalan harus terus dilakukan agar kualitas pelayanan PLN kepada pelanggan semakin membaik. Untuk memvisualisasikan hasil perhitungan ini secara lebih jelas, berikut disajikan gambar grafik yang menampilkan SAIDI dan SAIFI gangguan terencana.



Gambar 4.1 Nilai keandalan SAIDI dan SAIFI akibat pemeliharaan

Dengan cara perhitungan diatas pada persamaan (2) dan persamaan (3) dapat diperoleh nilai keandalan SAIDI dan SAIFI akibat gangguan tidak terencana setiap bulannya pada tahun 2023 di Gardu Induk Comal sebagai berikut :

Tabel 4.5 Nilai keandalan SAIDI dan SAIFI akibat gangguan

Gangguan Tidak Terencana			
No.	Bulan	SAIDI	SAIFI
1	Januari	0,31	0,25
2	Februari	0,39	0,42
3	Maret	0,49	0,36
4	April	0,23	0,25
5	Mei	0,37	0,23
6	Juni	0,16	0,12
7	Juli	0,24	0,34
8	Agustus	0,15	0,22
9	September	0,50	0,27
10	Oktober	0,26	0,23
11	November	0,12	0,23
12	Desember	0,30	0,23
TOTAL		3,51	3,13

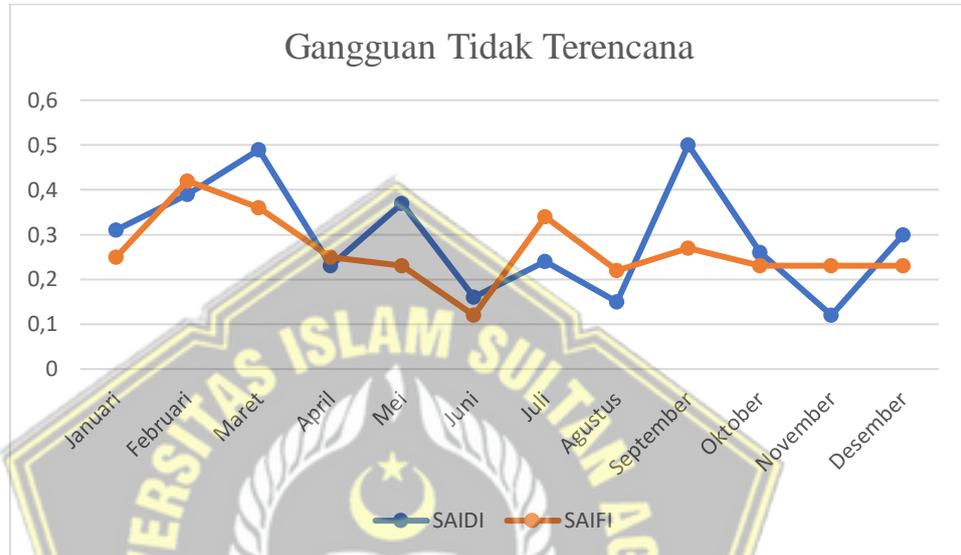
Berdasarkan Tabel 4.5, dapat dilihat nilai SAIDI dan SAIFI akibat adanya gangguan tidak terencana pada sistem kelistrikan selama tahun 2023.

Total nilai SAIDI selama setahun adalah 3,51. Angka ini lebih besar dibandingkan SAIDI akibat gangguan terencana yang hanya 2,50 (Tabel 4.29). Demikian pula total nilai SAIFI adalah 3,13, juga lebih besar dari SAIFI akibat gangguan terencana sebesar 1,75.

Data ini mengindikasikan bahwa gangguan tidak terencana memberikan kontribusi yang lebih signifikan terhadap turunnya tingkat keandalan sistem kelistrikan, dibanding gangguan terencana. Tingginya nilai SAIDI dan SAIFI akibat gangguan tidak terencana perlu mendapat perhatian lebih guna dilakukan evaluasi dan perbaikan sistem.

Beberapa analisis yang bisa dilakukan antara lain peninjauan ulang desain sistem, peningkatan *maintenance prediktif* dan *preventif*, *evaluasi*

material/peralatan yang digunakan, dan lain sebagainya. Tujuannya tentu agar keandalan sistem kelistrikan ke depannya bisa lebih terjaga dengan lebih minimnya gangguan yang terjadi. Untuk memvisualisasikan hasil perhitungan ini secara lebih jelas, berikut disajikan gambar grafik yang menampilkan SAIDI dan SAIFI gangguan tidak terencana.



Gambar 4.2 Nilai keandalan SAIDI dan SAIFI akibat gangguan

Dari hasil tabel Nilai keandalan SAIDI dan SAIFI akibat pemeliharaan dan tabel Nilai keandalan SAIDI dan SAIFI akibat gangguan maka diperoleh hasil keseluruhan keandalan selama tahun 2023 di Gardu Induk Comal sebagai berikut:

Tabel 4.6 Nilai keandalan SAIDI dan SAIFI pada Gardu Induk Comal 2023

Hasil Keandalan 2023			
No.	Bulan	SAIDI	SAIFI
1	Januari	0,84	0,60
2	Februari	0,79	0,70
3	Maret	0,72	0,54
4	April	0,38	0,34
5	Mei	0,47	0,28
6	Juni	0,28	0,23
7	Juli	0,36	0,41
8	Agustus	0,24	0,26
9	September	0,80	0,46

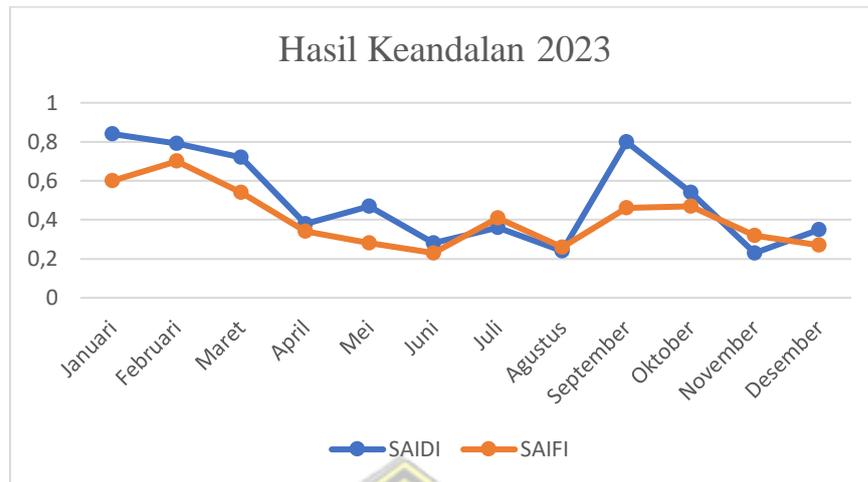
Hasil Keandalan 2023			
No.	Bulan	SAIDI	SAIFI
10	Oktober	0,54	0,47
11	November	0,23	0,32
12	Desember	0,35	0,27
TOTAL		6,01	4,89
Target PLN		7,67	5,76
SPLN		21,09	3,02
IEEE 1366-2003		2,3	1,45

Berdasarkan Tabel 4.6, dapat dilihat nilai SAIDI dan SAIFI pada Gardu Induk Comal sepanjang tahun 2023. Nilai SAIDI dan SAIFI ini digunakan sebagai indikator tingkat keandalan sistem kelistrikan di gardu induk tersebut.

Total nilai SAIDI pada 2023 adalah 6,01, sedangkan total nilai SAIFI adalah 4,89. Apabila dibandingkan dengan target SAIDI dan SAIFI dari PLN, nilai pencapaian Gardu Comal lebih baik daripada target yang ditetapkan PLN (SAIDI: 6,01 vs 7,67 dan SAIFI: 4,89 vs 5,76). Ini menunjukkan performa keandalan Gardu Comal cukup baik.

Namun bila dibandingkan standar IEEE 1366, nilai SAIDI dan SAIFI Gardu Comal masih sedikit lebih tinggi (IEEE 1366: SAIDI 2,3 dan SAIFI 1,45). Sehingga masih ada peluang untuk terus meningkatkan keandalan gardu induk ini agar semakin mendekati standar global.

Secara keseluruhan, berdasarkan nilai parameternya Gardu Induk Comal telah memiliki tingkat keandalan yang cukup baik, tetapi tentu saja masih harus terus ditingkatkan kinerjanya agar semakin mendekati standar kelas dunia demi menjaga kualitas pelayanan kepada pelanggan. Untuk memvisualisasikan hasil perhitungan ini secara lebih jelas, berikut disajikan gambar grafik yang menampilkan SAIDI dan SAIFI.



Gambar 4.3 Nilai keandalan SAIDI dan SAIFI pada Gardu Induk Comal

4.3.5 ENS

ENS (*Energy Not Served*) merupakan total energi yang hilang akibat adanya gangguan sehingga energi listrik tersebut tidak tersalurkan ke pelanggan PLN. Semakin besar nilai ENS, semakin besar pula dampak gangguan kelistrikan yang terjadi terhadap pelanggan.

Daya aktif atau daya nyata merupakan daya yang terpakai untuk keperluan menggerakkan peralatan mesin atau mekanik, dimana daya tersebut dapat diubah menjadi panas. Daya aktif ini merupakan pembentukan dari besar tegangan yang kemudian dikalikan dengan besaran arus dan faktor daya. Untuk mendapatkan nilai Daya Aktif, digunakan persamaan (4) sebagai berikut:

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi$$

Menghitung Daya Aktif dari data lampiran pada bulan Januari :

Tegangan = 20.000 V

Arus = 94 A

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi$$

$$P = 1,732 \times 20.000 \times 94 \times 0,8$$

$$P = 2604928 \text{ W}$$

$$P = 2604 \text{ kW}$$

Dengan cara perhitungan diatas diperoleh Nilai Daya Aktif setiap bulannya pada tahun 2023 di Gardu Induk Comal sebagai berikut (4):

Tabel 4.7 Hasil nilai daya aktif pada Gardu Induk Comal 2023

Daya Aktif ($\sqrt{3} \times V \times I \times \cos\Phi$)						
No	Bulan	Konstanta 3 Fasa $\sqrt{3}$	Faktor Beban ($\cos\phi$)	Arus yang mengalir (A)	Tegangan (Volt)	Daya Aktif (kW)
1	Januari	1,732	0,8	94	20000	2604
2	Februari	1,732	0,8	125	20000	3464
3	Maret	1,732	0,8	123	20000	3408
4	April	1,732	0,8	122	20000	3380
5	Mei	1,732	0,8	116	20000	3214
6	Juni	1,732	0,8	118	20000	3270
7	Juli	1,732	0,8	124	20000	3436
8	Agustus	1,732	0,8	121	20000	3353
9	September	1,732	0,8	123	20000	3408
10	Oktober	1,732	0,8	115	20000	3186
11	November	1,732	0,8	118	20000	3270
12	Desember	1,732	0,8	113	20000	3131

Berdasarkan Tabel 4.7, dapat dilihat nilai daya aktif pada Gardu Induk Comal selama tahun 2023 tertinggi terjadi pada bulan Februari yaitu sebesar 3464000 kW. Sedangkan nilai terendah ada di bulan Januari sekitar 2604928 kW. Rata-rata nilai daya aktif per bulan sepanjang 2023 adalah 3260779 kW.

Dari data ini dapat dianalisis bahwa pemakaian listrik oleh pelanggan berfluktuasi sepanjang tahun, dengan puncak pemakaian terjadi di kuartal I tahun 2023. Oleh karenanya, pihak manajemen perlu memperkirakan dan merencanakan kebutuhan daya secara cermat setiap bulannya agar pasokan listrik ke pelanggan dapat terlayani dengan baik.

Prediksi beban dan manajemen distribusi daya aktif yang baik sangat penting agar sistem interkoneksi kelistrikan nasional dapat beroperasi optimal. Data pada tabel ini bisa menjadi acuan untuk perhitungan dan analisis lebih lanjut.

Untuk menghitung nilai ENS dihitung dari data daya aktif yang di hitung di atas dan dikalikan dengan total durasi gangguan dalam satuan

waktu tertentu. Persamaan yang digunakan pada rumus ini yaitu persamaan (5).

Rumus :

$$ENS = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos\Phi \times t$$

Untuk menghitung ENS (*Energy Not Supplied*) pada bulan Januari, data Daya Aktif dapat diambil dari Tabel 4.7, sedangkan data Lama Gangguan dapat diperoleh dari Tabel 4.3 dan Tabel 4.3 :

Daya Aktif = 2604

Total Lama Gangguan = 80,12

ENS = 2604X 80,12

ENS = 208707 kWh

Dengan cara perhitungan tersebut diperoleh Nilai ENS setiap bulannya pada tahun 2023 di Gardu Induk Comal sebagai berikut (5):

Tabel 4.8 Hasil nilai ENS pada Gardu Induk Comal 2023

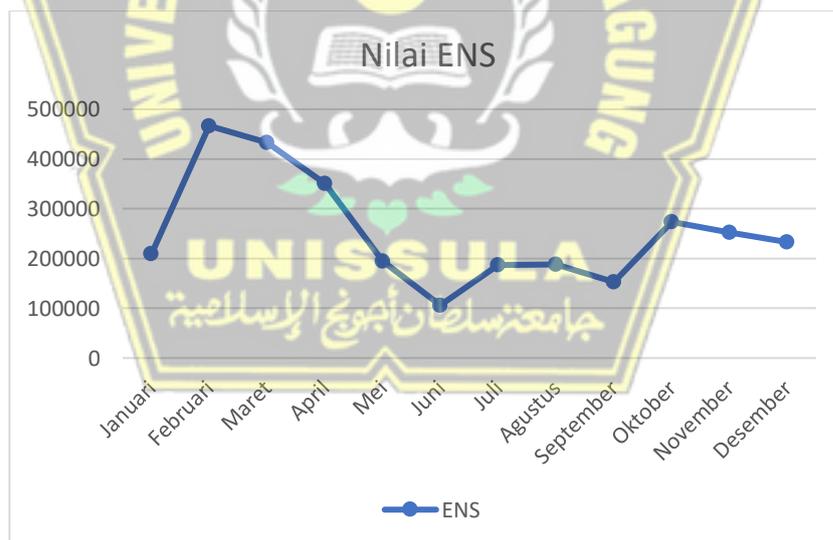
ENS (Daya Aktif*Durasi/1000)				
No.	Bulan	Daya Aktif (kW)	Durasi Pemadaman (Jam)	ENS (kWh)
1	Januari	2604928	80,12	208707
2	Februari	3464000	134,85	467120
3	Maret	3408576	127,34	434048
4	April	3380864	103,36	349446
5	Mei	3214592	60,59	194772
6	Juni	3270016	32,43	106047
7	Juli	3436288	54,28	186522
8	Agustus	3353152	56,12	188179
9	September	3408576	44,83	152806
10	Oktober	3186880	85,80	273434
11	November	3270016	77,21	252478
12	Desember	3131456	74,61	233638

Berdasarkan Tabel 4.8, dapat dilihat nilai ENS (*Energy Not Served*) pada Gardu Induk Comal tahun 2023 yang dihitung dari daya aktif dikalikan durasi pemadaman.

Nilai ENS tertinggi terjadi pada bulan Februari yaitu sebesar 467120 kWh. Sedangkan ENS terendah ada di bulan Juni sebesar 106047 kWh. Total ENS selama setahun adalah 3047197 kWh.

Nilai ENS digunakan sebagai indikator energi yang tidak tersalurkan ke pelanggan akibat terjadinya pemadaman selama periode tertentu. Semakin besar nilai ENS maka semakin besar dampak gangguan kelistrikan yang dialami oleh pelanggan.

Oleh karenanya berdasarkan data pada tabel ini, pihak manajemen perlu memberi perhatian pada bulan Februari yang mengalami pemadaman ke pelanggan cukup signifikan dibanding bulan lainnya. Analisis penyebab gangguan perlu dilakukan beserta langkah antisipasi agar di masa mendatang nilai ENS bisa diminimalisir. Untuk memvisualisasikan hasil perhitungan ini secara lebih jelas, berikut disajikan gambar grafik yang menampilkan parameter ENS.



Gambar 4.4 Nilai ENS selama 1 tahun di Gardu Induk Comal

4.3.6 Tarif Tenaga Listrik

Tarif Dasar Listrik (TDL) adalah tarif yang dikenakan kepada konsumen atau pelanggan oleh pemegang Ijin Usaha Penyediaan Tenaga

Listrik (IUPTL). Besarnya tarif ditentukan oleh pemerintah atau pemerintah daerah. Tarif tenaga listrik atau TDL terbagi menjadi dua yaitu bersubsidi dan non-subsidi hasil rata-rata tarif tenaga listrik pada tahun 2023 sebagaimana tergambar pada tabel dibawah ini:

Tabel 4.9 Tarif Dasar Listrik (TDL) 2023

Daya Listrik (VA)	Tarif (Rp/kWh)
900	1352
1300	1444
2200	1444
3500-5500	1699
6600	1699
Rata-rata Tarif	1528

Hasil kerugian pada gardu induk comal didapatkan dari hasil perkalian hasil tabel 4.8 yang kemudian dikalikan dengan tabel 4.9 sehingga didapatkan hasil kerugian pada Gardu Induk Comal pada tahun 2023 dengan menggunakan rumus persamaan (6):

$$\text{Kerugian} = \text{ENS} \times \text{TTL}$$

Menghitung Kerugian dari Tabel 4.8 dan Tabel 4.9 pada bulan Januari :

$$\text{ENS} = 208707 \text{ kWh}$$

$$\text{TTL} = 1.528 \text{ Rp/kWh}$$

$$\text{Kerugian} = \text{ENS} \times \text{TTL}$$

$$\text{Kerugian} = 208707 \times 1528$$

$$\text{Kerugian} = 318.904.038,32$$

Dengan cara perhitungan diatas hasil yang diperoleh Kerugian Gardu Induk Comal setiap bulannya pada tahun 2023 sebagai berikut (6):

Tabel 4.10 Hasil Analisis kerugian pada Gardu Induk Comal 2023

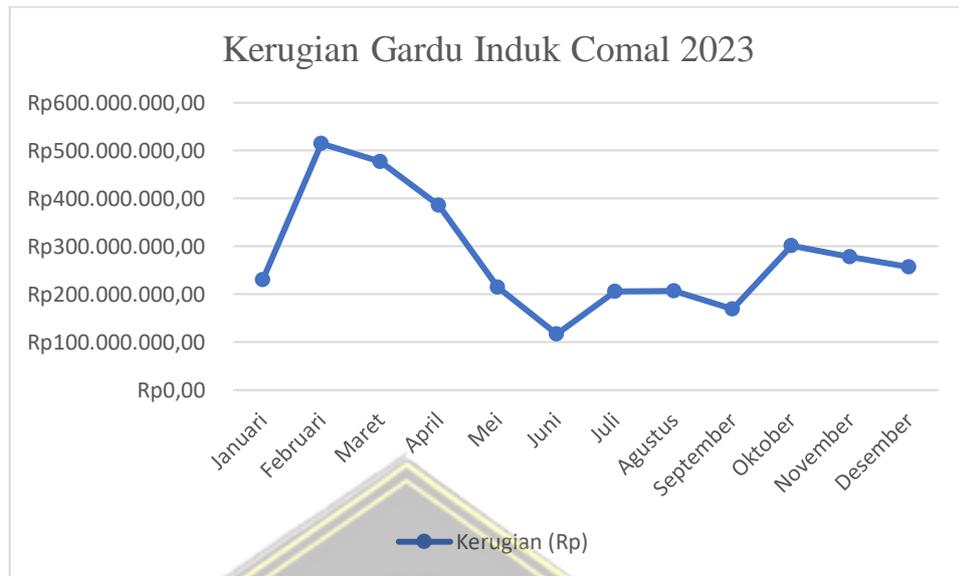
No.	Bulan	ENS (kWh)	Rata-rata Tarif (Rp/kWh)	Kerugian (Rp)
1	Januari	208707	Rp1.528,00	Rp318.904.038,32
2	Februari	467120	Rp1.528,00	Rp713.759.971,20
3	Maret	434048	Rp1.528,00	Rp663.225.447,66

4	April	349446	Rp1.528,00	Rp533.953.645,45
5	Mei	194772	Rp1.528,00	Rp297.611.813,54
6	Juni	106047	Rp1.528,00	Rp162.039.233,65
7	Juli	186522	Rp1.528,00	Rp285.005.176,91
8	Agustus	188179	Rp1.528,00	Rp287.537.344,29
9	September	152806	Rp1.528,00	Rp233.488.274,06
10	Oktober	273434	Rp1.528,00	Rp417.807.616,51
11	November	252478	Rp1.528,00	Rp385.786.285,23
12	Desember	233638	Rp1.528,00	Rp356.998.760,34
	Terendah	106046,6189		Rp162.039.233,65
	Tertinggi	467120,4		Rp713.759.971,20
	Rata-rata	253933,12		Rp388.009.800,60
	Total	3047197,387		Rp4.656.117.607,15

Berdasarkan Tabel 4.10, dapat dianalisis kerugian yang dialami Gardu Induk Comal akibat adanya Energi Tidak Tersalurkan (ENS) selama tahun 2023.

Diketahui nilai ENS rata-rata per bulan sebesar 253.933 kWh dengan rata-rata Tarif Tenaga Listrik (TTL) Rp 1.528 per kWh. Dengan demikian kerugian rata-rata akibat ENS yang dialami Gardu Comal per bulan sebesar Rp 388.009.800,60

Selama setahun, total ENS sebesar 3.047.197 kWh yang bila dikonversi ke nilai rupiah merupakan kerugian sebesar Rp 4.656.117.607,15. Nilai kerugian tertinggi ada di bulan Februari yaitu Rp713.759.971,20, sedangkan nilai terendah pada Juni sebesar Rp162.039.233,65. Untuk memvisualisasikan hasil perhitungan ini secara lebih jelas, berikut disajikan gambar grafik yang menampilkan Kerugian Gardu Induk Comal pada tahun 2023:



Gambar 4.5 Kerugian Gardu Induk Comal 2023

Data ini menunjukkan kerugian yang dialami Gardu Induk akibat energi yang hilang cukup signifikan dalam bentuk pendapatan/keuntungan yang tidak terealisasi pihak PLN. Sehingga perlu strategi baik teknis maupun manajerial untuk meminimalkan ENS di masa mendatang, agar kerugian bisa ditekan lebih kecil.

4.3.7 Hasil

Berdasarkan dari hasil perhitungan SAIDI, SAIFI, ENS dan Kerugian di Gardu Induk Comal tahun 2023, didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 4.11 Hasil Kumulatif dari SAIDI, SAIFI, ENS dan Kerugian di Gardu Induk Comal tahun 2023

HASIL KESELURUHAN					
No.	Bulan	SAIDI	SAIFI	ENS	Kerugian
1	Januari	0,84	0,60	208707	Rp318.904.038,32
2	Februari	0,79	0,70	467120	Rp713.759.971,20
3	Maret	0,72	0,54	434048	Rp663.225.447,66
4	April	0,38	0,34	349446	Rp533.953.645,45
5	Mei	0,47	0,28	194772	Rp297.611.813,54
6	Juni	0,28	0,23	106047	Rp162.039.233,65
7	Juli	0,36	0,41	186522	Rp285.005.176,91

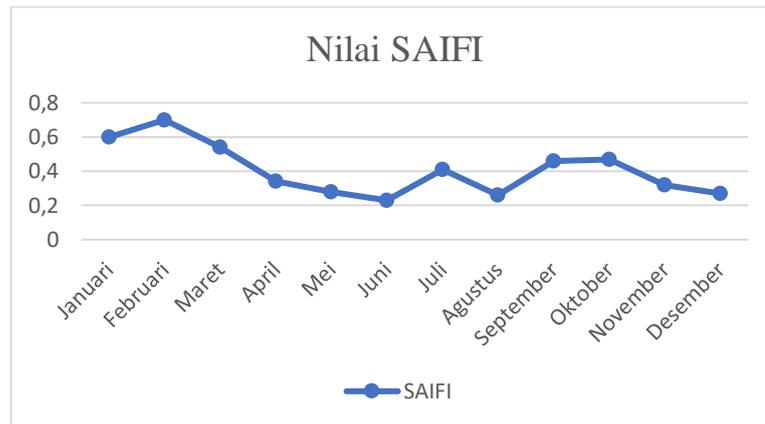
HASIL KESELURUHAN					
No.	Bulan	SAIDI	SAIFI	ENS	Kerugian
8	Agustus	0,24	0,26	188179	Rp287.537.344,29
9	September	0,80	0,46	152806	Rp233.488.274,06
10	Oktober	0,54	0,47	273434	Rp417.807.616,51
11	November	0,23	0,32	252478	Rp385.786.285,23
12	Desember	0,35	0,27	233638	Rp356.998.760,34
TOTAL		6,01	4,89	3047197	Rp4.656.117.607,15

Berdasarkan Tabel 4.11, dapat dilihat hasil kumulatif atau total seluruh parameter kelistrikan yang diukur di Gardu Induk Comal tahun 2023.

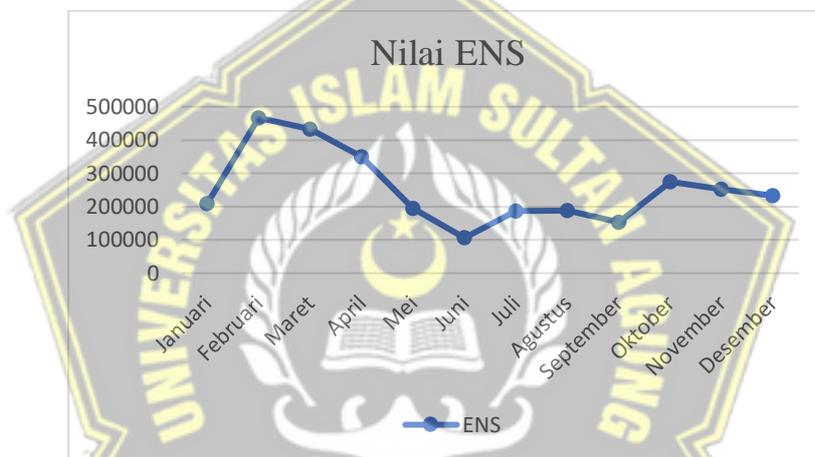
Secara keseluruhan total nilai SAIDI adalah 6,01 , SAIFI 4,89, ENS sebesar 3.047.197 kWh, dan total kerugian akibat ENS sejumlah Rp4.656.117.607,15,-. Untuk memvisualisasikan hasil perhitungan ini secara lebih jelas, berikut disajikan gambar grafik yang menampilkan SAIDI, SAIFI, dan ENS pada tahun 2023:



Gambar 4.6 Nilai SAIDI selama 1 tahun di Gardu Induk Comal



Gambar 4.7 Nilai SAIFI selama 1 tahun di Gardu Induk Comal



Gambar 4.8 Nilai ENS selama 1 tahun di Gardu Induk Comal

Angka-angka ini cukup besar, yang berarti gangguan kelistrikan di Gardu Induk Comal masih berdampak cukup signifikan terhadap keandalan pasokan ke pelanggan serta menimbulkan kerugian bagi PLN.

Oleh karena itu, manajemen Gardu Induk perlu meningkatkan *reliability* sistem dengan menekan angka gangguan dan pemadaman. Beberapa cara yang bisa dilakukan antara lain peningkatan *maintenance*, evaluasi dan penggantian peralatan yang sudah aus, optimasi desain sistem, dan lain sebagainya.

Dengan peningkatan keandalan sistem ini diharapkan nilai SAIDI, SAIFI, ENS dan kerugian yang dialami Gardu Induk Comal bisa

diturunkan di tahun-tahun berikutnya, sehingga kualitas pelayanan listrik kepada masyarakat juga ikut membaik.

4.3 Pembahasan Hasil Penelitian

Dalam penelitian ini, data gangguan yang terjadi pada jaringan distribusi Gardu Induk Comal selama satu tahun periode dianalisis untuk mengevaluasi keandalan sistem kelistrikan. Data gangguan terdiri dari gangguan terencana dan gangguan tidak terencana yang diperoleh dari Unit Layanan Pelanggan (ULP) Comal.

Laju kegagalan merupakan indikator yang menunjukkan tingkat kerapuhan atau kerentanan sistem kelistrikan mengalami kegagalan atau gangguan per satuan waktu. Berdasarkan hasil perhitungan, rata-rata laju kegagalan pada tahun 2023 adalah 1,67 kegagalan/hari operasi. Angka ini menunjukkan bahwa sistem kelistrikan mengalami fluktuasi laju kegagalan yang cukup tinggi antar bulan dalam setahun. Perlu dilakukan analisis lebih lanjut terkait penyebab tingginya angka kegagalan pada bulan-bulan tertentu, seperti apakah ada faktor cuaca/iklim atau faktor lainnya yang memengaruhi.

Keandalan sistem kelistrikan akibat adanya gangguan terencana karena kegiatan pemeliharaan rutin (*planned maintenance*) merupakan salah satu parameter yang penting untuk dipantau. Berdasarkan analisis data, total nilai SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*) selama setahun adalah 2,50, sedangkan total nilai SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*) adalah 1,75. Nilai SAIDI dan SAIFI yang rendah menunjukkan performa keandalan sistem kelistrikan akibat adanya gangguan terencana cukup baik.

Gangguan tidak terencana (*unplanned interruption*) pada sistem kelistrikan juga memberikan kontribusi terhadap menurunnya tingkat keandalan sistem. Berdasarkan hasil perhitungan, total nilai SAIDI akibat gangguan tidak terencana selama setahun adalah 3,51, sedangkan total nilai SAIFI adalah 3,13. Nilai SAIDI dan SAIFI akibat gangguan tidak terencana lebih besar dibandingkan dengan gangguan terencana. Data ini

mengindikasikan bahwa gangguan tidak terencana memberikan kontribusi yang lebih signifikan terhadap turunnya tingkat keandalan sistem kelistrikan. Oleh karena itu, perlu dilakukan evaluasi dan perbaikan sistem untuk meminimalkan gangguan tidak terencana.

ENS (*Energy Not Served*) merupakan total energi yang hilang akibat adanya gangguan sehingga energi listrik tersebut tidak tersalurkan ke pelanggan PLN. Berdasarkan hasil perhitungan, total ENS selama setahun adalah 3.047.197 kWh. Nilai ENS digunakan sebagai indikator energi yang tidak tersalurkan ke pelanggan akibat terjadinya pemadaman selama periode tertentu. Semakin besar nilai ENS, semakin besar dampak gangguan kelistrikan yang dialami oleh pelanggan.

Kerugian yang dialami Gardu Induk Comal akibat energi yang hilang (ENS) cukup signifikan dalam bentuk pendapatan/keuntungan yang tidak terealisasi bagi PLN. Berdasarkan hasil perhitungan, total kerugian akibat ENS selama setahun adalah Rp 4.656.117.607,15. Data ini menunjukkan perlunya strategi baik teknis maupun manajerial untuk meminimalkan ENS di masa mendatang, agar kerugian bisa ditekan lebih kecil.

Berdasarkan hasil analisis, dapat disimpulkan bahwa tingkat keandalan sistem kelistrikan di Gardu Induk Comal cukup baik, namun masih perlu dilakukan upaya peningkatan keandalan untuk meminimalkan gangguan dan pemadaman yang terjadi. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas pelayanan listrik kepada masyarakat serta menekan kerugian yang dialami PLN.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Total nilai SAIDI pada Gardu Induk Comal tahun 2023 adalah 6,01. Angka ini telah memenuhi target SAIDI yang ditetapkan oleh PLN sebesar 7,67, namun masih di atas standar IEEE 1366 sebesar 2,3. Total nilai SAIFI pada tahun 2023 sebesar 4,89. Angka ini telah memenuhi target SAIFI dari PLN yaitu 5,76, namun belum memenuhi standar IEEE 1366 sebesar 1,45.
2. Total nilai ENS pada tahun 2023 adalah 3.047.197 kWh, yang merupakan angka yang cukup signifikan.
3. Total kerugian akibat ENS sebesar Rp4.656.117.607,15, sehingga upaya penurunan ENS perlu dilakukan.
4. Nilai SAIFI menunjukkan korelasi yang signifikan terhadap nilai ENS, sedangkan dengan nilai SAIDI tidak menunjukkan korelasi yang sama terhadap nilai ENS pada Gardu Induk Comal 150/20 kV.

5.2 Saran

1. Melakukan evaluasi dan investigasi penyebab tingginya nilai SAIDI dan SAIFI akibat gangguan tidak terencana, kemudian mengambil langkah perbaikan yang diperlukan.
2. Meningkatkan pemeliharaan *preventif* dan *predictive maintenance* pada peralatan dan sistem agar potensi gangguan tidak terencana dapat ditekan.
3. Melakukan peninjauan desain sistem apakah sudah memenuhi standar keandalan, dan melakukan modifikasi jika diperlukan.
4. Mempertimbangkan investasi penggantian peralatan yang sudah tua/aus dengan yang lebih andal.
5. Meningkatkan sistem proteksi dan isolasi gangguan agar dampak pemadaman ke pelanggan lebih kecil saat gangguan terjadi.
6. Melakukan audit keandalan secara berkala untuk memantau pencapaian target nilai SAIDI, SAIFI dan parameter keandalan lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Fauzi, Subhan, Muliadi, Syukri, Teuku Mursial Asyudi, and Arief Setya Budi, "Analisis Tingkat Keandalan Pada Jaringan Express," *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, vol. 5, pp. 48–54, 2023.
- [2] I. Rahmadi Kurniawan, I. Gede Dyana Arjana, and I. Wayan Sukerayasa, "PENINGKATAN KEANDALAN PENYULANG TUKAD MUSI DENGAN PENAMBAHAN PENYULANG BATANGHARI DENGAN POLA LOOP," 2023.
- [3] F. Khairul and R. Risfendra, "Evaluasi Keandalan Sistem Jaringan Distribusi 20 Kv Dan Energy Not Supplied (ENS) Pada GH Balai Selasa," *JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, vol. 3, no. 1, pp. 158–167, Feb. 2022, doi: 10.24036/jtein.v3i1.225.
- [4] A. L. Febrianingrum and S. Pramono, "SAIFI untuk Evaluasi Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik pada Jaringan Transmisi Menengah 20 KV," *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, vol. 21, no. 1, p. 1, Jul. 2022, doi: 10.24843/mite.2022.v21i01.p01.
- [5] I. Rahmadi Kurniawan, I. Gede Dyana Arjana, and I. Wayan Sukerayasa, "PENINGKATAN KEANDALAN PENYULANG TUKAD MUSI DENGAN PENAMBAHAN PENYULANG BATANGHARI DENGAN POLA LOOP," 2023.
- [6] A. E. Mozokhin and V. N. Shvedenko, "Methodology for the control of electric power distribution system components to ensure the quality of consumed electricity," *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, vol. 23, no. 2, pp. 289–298, Apr. 2023, doi: 10.17586/2226-1494-2023-23-2-289-298.
- [7] D. Almanda, "Analisis Pengujian Tangen Delta pada Bushing Trafo 150/20 KV 60 MVA di Gardu Induk Karet Lama," vol. 5, no. 2.
- [8] U. Bharathi, K. Vharshiny, S. Verma, A. Ajay, B. Sreekeessoon, and R. C. Naidu, "Design and Optimization of Transformer by Combining Finite Element Approach and Improved Genetic Algorithm," in *2022 Second International Conference on Advances in Electrical, Computing, Communication and Sustainable Technologies (ICAECT)*, IEEE, Apr. 2022, pp. 1–7. doi: 10.1109/ICAECT54875.2022.9807885.
- [9] M. F. Hakim, S. S. Wibowo, and F. D. N. Bakhtiar, "ANALISIS PERENCANAAN PEMUTUS TENAGA BAY SHUNT CAPACITOR DI GARDU INDUK (GI) SUMENEP," *JURNAL ELTEK*, vol. 17, no. 1, p. 56, Jun. 2019, doi: 10.33795/eltek.v17i1.139.
- [10] M. Permana and A. Stefanie, "SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK DI PT SINTAS KURAMA PERDANA," *Aisyah Journal Of Informatics and Electrical Engineering (A.J.I.E.E)*, vol. 5, no. 2, pp. 158–163, Aug. 2023, doi: 10.30604/jti.v5i2.149.

- [11] Ahmad Dani, "ANALISIS RUGI-RUGI DAYA PADA SALURAN TRANSMISI 150 KV PADA GARDU INDUK KIM," *ANALISIS RUGI-RUGI DAYA PADA SALURAN TRANSMISI 150 KV PADA GARDU INDUK KIM*, vol. 2, 2021.
- [12] I. Ridzki, R. Duanaputri, E. R. Maulana, and A. L. Wardani, "Analisis pengaruh penambahan gardu induk Guluk-Guluk terhadap aliran daya dan profil tegangan pada sub sistem Krian Gresik." 2021. doi: 10.33795/eltek.v19i2.316.
- [13] Z. Abidin and A. Hadi, "Analisis System Avarage Interruption Frequency Index dan System Average Interruption Duration Index Beroreantasi Pelanggan Pada Gangguan Jaringan Tegangan Rendah dan Menengah," *INOVTEK - Seri Elektro*, vol. 2, no. 2, p. 63, Aug. 2020, doi: 10.35314/ise.v2i2.1427.
- [14] A. Zaki, I. T. Yuniahastuti, and I. Sunaryantiningsih, "Perhitungan Keandalan Sistem Distribusi 20 kV Menggunakan Metode SAIDI dan SAIFI di PT. PLN (Persero) ULP Maospati," *ELECTRA : Electrical Engineering Articles*, vol. 2, no. 2, p. 23, Mar. 2022, doi: 10.25273/electra.v2i2.12253.
- [15] A. Azis, E. Emidiana, and G. Mirgawansyah, "ANALISIS KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI 20 KV PADA PENYULANG BANDUNG GARDU INDUK TALANG RATU," *TEKNIKA: Jurnal Teknik*, vol. 10, no. 1, p. 71, Aug. 2023, doi: 10.35449/teknika.v10i1.246.
- [16] J. E. Elektro and G. Sihombing, "Analisis Indeks Keandalan Secara Teknis dan Ekonomis Jaringan Distribusi 20 KV Menggunakan Metode Section Technique pada PT. PLN (Persero) Rayon Belawan." [Online]. Available: <https://journal.uny.ac.id/index.php/jee>
- [17] S. Nurhadi, M. Fahmi Hakim, and R. Joto, "Upaya Peningkatan Keandalan Penyulang dengan Manuver Jaringan," *ELPOSYS: Jurnal Sistem Kelistrikan*, vol. 10, no. 1.
- [18] C. Paripurna, W. Adipradana, and dan Herlina, "PERHITUNGAN RUGI-RUGI DAYA DAN JATUH TEGANGAN PADA PENYULANG PANDJAJARAN."