



EVALUASI KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI MENGGUNAKAN INDEKS SAIDI, SAIFI, DAN CAIDI PADA PT. PLN (PERSERO) UP3 SUKOHARJO TAHUN 2024

Muhammad Syahrial Mardiansyah ^{1*}, Sutisna ², Andri Ulus Rahayu ³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Siliwangi

Jl. Siliwangi No.24, Kahuripan, Kec. Tawang, Kota Tasikmalaya, Jawa Barat 46115

INFORMASI ARTIKEL	A B S T R A K
Received: January 08, 26 Revised: March 29, 26 Available online: March 31, 26	Kinerja sistem distribusi listrik yang andal sangat penting untuk menjaga kelancaran dan kualitas layanan bagi pelanggan. Sistem distribusi tegangan menengah 20 kV memiliki peran krusial karena terhubung langsung dengan pengguna listrik dan rentan terhadap berbagai gangguan selama pengoperasian. Studi ini bertujuan untuk mengevaluasi tingkat keandalan sistem distribusi 20 kV di PT. PLN (Persero) UP3 Sukoharjo berdasarkan indeks keandalan, yaitu SAIDI (<i>System Average Interruption Duration Index</i>), yang menunjukkan rata-rata durasi pemadaman per pelanggan; SAIFI (<i>System Average Interruption Frequency Index</i>), yang menunjukkan rata-rata frekuensi gangguan per pelanggan; serta CAIDI (<i>Customer Average Interruption Duration Index</i>), yang menunjukkan rata-rata lama pemadaman per kejadian gangguan. Metode yang digunakan adalah analisis keandalan berbasis data gangguan historis selama periode Januari hingga Desember 2024. Data yang dianalisis meliputi jumlah pelanggan, frekuensi gangguan, durasi pemadaman, serta jumlah pelanggan terdampak. Hasil perhitungan menunjukkan nilai SAIDI sebesar 0,96 jam/pelanggan/tahun dan SAIFI sebesar 1,05 kali/pelanggan/tahun, yang telah memenuhi standar SPLN, IEEE, serta WCS & WCC. Namun, nilai CAIDI sebesar 12,18 jam/kali masih melebihi standar yang ditetapkan, yang mengindikasikan bahwa waktu pemulihan gangguan relatif lama. Dengan demikian, meskipun sistem distribusi telah andal dari sisi frekuensi dan durasi pemadaman, peningkatan kecepatan penanganan gangguan masih diperlukan untuk meningkatkan keandalan sistem secara keseluruhan. Kata kunci— Analisis Keandalan, Sistem Distribusi 20 kV, Indeks SAIDI, SAIFI, dan CAIDI
CORRESPONDENCE	A B S T R A C T
E-mail: '227002055@student.unsil.ac.id	The performance of a reliable electrical distribution system is crucial to ensure the continuity and quality of service for customers. The 20 kV medium-voltage distribution system plays a vital role as it is directly connected to end users and is susceptible to various operational disturbances. This study aims to evaluate the reliability level of the 20 kV distribution system at PT. PLN (Persero) UP3 Sukoharjo based on reliability indices, namely SAIDI (<i>System Average Interruption Duration Index</i>), which represents the average outage duration per customer; SAIFI (<i>System Average Interruption Frequency Index</i>), which represents the average frequency of interruptions per customer; and CAIDI (<i>Customer Average Interruption Duration Index</i>), which represents the average outage duration per interruption event. The method used is a reliability analysis based on historical disturbance data from January to December 2024. The analyzed data include the number of customers, frequency of interruptions, outage duration, and the number of affected customers. The calculation results show that the SAIDI value is 0.96 hours/customer/year and the SAIFI value is 1.05 interruptions/customer/year, both of which meet the standards set by SPLN, IEEE, as well as WCS & WCC. However, the CAIDI value of 12.18 hours/interruption still exceeds the established standard, indicating a relatively long restoration time. Therefore, although the distribution system is considered reliable in terms of interruption frequency and duration, improvements in fault handling and restoration speed are still necessary to enhance overall system reliability. Keywords— Reliability Analysis, 20 kV Distribution System, SAIDI, SAIFI, and CAIDI Index

I. PENDAHULUAN

Keandalan jaringan listrik, terutama jaringan distribusi, merupakan faktor penting dalam menentukan efektivitasnya. Istilah "keandalan sistem distribusi" mengacu pada kapasitas jaringan untuk secara konsisten menyediakan listrik sambil mematuhi standar kualitas layanan yang telah ditentukan. Biasanya, Indeks Durasi Gangguan Rata-rata Sistem (SAIDI) dan Indeks Frekuensi Gangguan Rata-rata Sistem (SAIFI) digunakan untuk memeriksa seberapa andal layanan listrik, ada angka khusus yang disebut indeks keandalan. Nilai tersebut menunjukkan rata-rata durasi serta frekuensi terjadinya pemadaman listrik yang dialami pelanggan dalam satu tahun [1], [2], [3]. Dalam menilai mutu pelayanan listrik, kedua indikator ini secara luas digunakan sebagai acuan standar, baik pada tingkat nasional maupun internasional.

Sebagai penyedia listrik nasional, PT. PLN (Persero) memiliki tanggung jawab untuk menjamin ketersediaan pasokan listrik yang andal dan bermutu tinggi guna menunjang aktivitas masyarakat, mengingat peran listrik yang sangat vital dalam kehidupan sehari-hari [4], [5]. Kesulitan dalam menjaga keandalan sistem distribusi meningkat seiring dengan meningkatnya penggunaan listrik karena perluasan industri, perdagangan, dan perumahan, yang semuanya memengaruhi seberapa baik jaringan distribusi listrik bekerja [6]. Pada sistem distribusi tegangan menengah 20 kV, gangguan yang terjadi akan secara langsung memengaruhi kontinuitas penyaluran listrik serta tingkat kepuasan pelanggan, sehingga diperlukan evaluasi keandalan secara rutin [7].

Sejumlah studi terdahulu mengindikasikan bahwa keandalan sistem distribusi masih menjadi tantangan di berbagai unit layanan PLN. Tingginya tingkat frekuensi gangguan serta durasi pemadaman umumnya dipengaruhi oleh faktor seperti konfigurasi jaringan, kondisi peralatan, sistem proteksi, serta aspek lingkungan meliputi vegetasi, cuaca, dan karakteristik geografis wilayah layanan [4], [8], [9]. Analisis keandalan yang didasarkan pada data historis gangguan melalui perhitungan indeks SAIDI, SAIFI, dan CAIDI terbukti efektif dalam merepresentasikan kinerja layanan sekaligus mengidentifikasi bagian jaringan yang memerlukan peningkatan dari sisi operasional maupun pemeliharaan [2], [6], [10], [11].

Wilayah kerja PT. PLN (Persero) UP3 Sukoharjo memiliki karakteristik geografis berupa kepadatan vegetasi yang tinggi serta sebaran pelanggan yang luas hingga ke wilayah semi-perkotaan dan pedesaan. Kondisi tersebut berpotensi meningkatkan risiko gangguan pada jaringan distribusi 20 kV, sehingga menuntut adanya evaluasi keandalan sistem secara berkala. Namun, hingga saat ini belum terdapat kajian khusus yang menganalisis keandalan sistem distribusi 20 kV di wilayah UP3 Sukoharjo berbasis data gangguan aktual tahun 2024. Ketiadaan kajian ini menyebabkan belum tersedianya gambaran komprehensif mengenai kondisi keandalan sistem distribusi di wilayah tersebut.

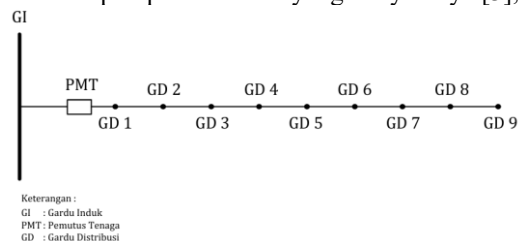
Berdasarkan gap penelitian tersebut, penelitian ini bertujuan berupaya untuk menilai standar keandalan jaringan distribusi 20 kV yang dikelola oleh PT. PLN (Persero) UP3 Sukoharjo, dengan menggunakan metrik SAIDI, SAIFI, dan CAIDI yang diperoleh dari catatan gangguan di dunia nyata. Diharapkan hasil penelitian ini akan menjadi masukan berharga untuk menilai kondisi

ketahanan sistem distribusi saat ini dan untuk merumuskan strategi peningkatan guna meningkatkan kualitas layanan listrik, terutama di wilayah UP3 Sukoharjo.

II. TINJAUAN PUSTAKA

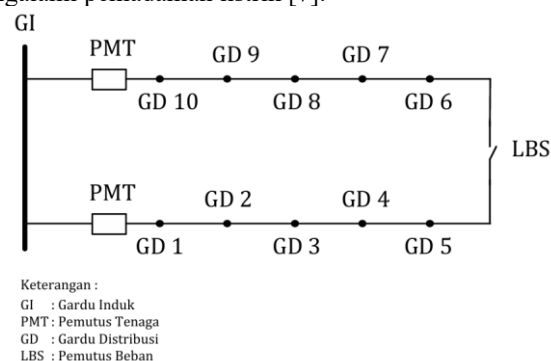
A. Sistem Distribusi Tenaga Listrik 20 kV

Sistem distribusi tenaga listrik merupakan segmen dari keseluruhan sistem kelistrikan yang bertanggung jawab untuk menyalurkan daya, yang dikenal sebagai sistem distribusi daya listrik, mengambil listrik dari gardu induk utama dan mendistribusikannya ke konsumen. Distribusi ini terjadi menggunakan jaringan tegangan menengah, biasanya sekitar 20 kV, sebelum diturunkan ke jaringan tegangan rendah untuk penggunaan akhir. Sistem ini memiliki peran yang sangat penting karena secara langsung menentukan kualitas layanan listrik yang dirasakan oleh pelanggan, baik individu maupun pelaku usaha yang dilayaninya [3], [4].



Gambar 1. Jaringan Tegangan Menengah Loop Tertutup

Biasanya, pengaturan jaringan distribusi 20 kV mencakup jaringan radial, pengaturan cincin (*loop*), atau desain yang menggabungkan kedua pendekatan tersebut. Jaringan radial banyak diadopsi karena desainnya yang sederhana, kemudahan pengelolaan, dan biaya awal yang relatif rendah. Meskipun demikian, jaringan radial memiliki tingkat keandalan yang relatif lebih rendah karena hanya bergantung pada satu sumber pasokan; sehingga apabila terjadi gangguan pada suatu titik, seluruh pelanggan yang berada di sepanjang jalur setelah titik tersebut akan mengalami pemadaman listrik [7].



Gambar 2. Jaringan Tegangan Menengah Loop Radial

Di sisi lain, jaringan yang terstruktur sebagai loop atau cincin menawarkan keandalan yang lebih baik karena memfasilitasi penyaluran daya dari berbagai bagian jaringan. Dalam pengaturan ini, pemadaman listrik dapat dibatasi pada area tertentu, dan daya dapat dengan cepat dipulihkan dengan mengalihkan beban. Namun demikian, membangun dan menjalankan jaringan loop lebih mahal dan rumit dibandingkan dengan jaringan radial [6], [9]. Oleh karena itu, ketika memutuskan desain sistem distribusi daya, penting untuk mempertimbangkan biaya awal, kemudahan pengelolaannya, dan tingkat keandalan yang diharapkan.

B. Konsep Keandalan Sistem Distribusi

Kemampuan jaringan distribusi untuk secara konsisten dan aman menyalurkan listrik dengan standar yang konsisten dalam jangka waktu tertentu adalah apa yang kita maksud dengan keandalan sistem distribusi. Karena hal ini memiliki pengaruh langsung terhadap kepuasan pelanggan dan persepsi terhadap penyedia listrik, keandalan merupakan statistik kunci untuk menilai seberapa baik sistem distribusi bekerja [12].

Tingkat keandalan sistem distribusi dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain konfigurasi jaringan, kualitas dan umur peralatan, sistem proteksi, serta faktor eksternal seperti kondisi cuaca, lingkungan, dan aktivitas manusia. Gangguan yang berasal dari pohon, hewan, sambaran petir, serta kondisi geografis tertentu masih menjadi faktor utama penyebab terjadinya pemadaman pada jaringan distribusi 20 kV di berbagai wilayah Indonesia [5], [11].

Evaluasi keandalan sistem distribusi dilakukan untuk mengetahui sejauh mana sistem mampu memenuhi kebutuhan pelanggan serta sebagai dasar perencanaan peningkatan mutu pelayanan. Dengan melakukan evaluasi secara periodik, pihak operator dapat mengidentifikasi titik-titik lemah sistem dan merumuskan strategi pemeliharaan serta pengembangan jaringan yang lebih efektif [10].

C. Indeks Keandalan Sistem Jaringan Distribusi

Indeks keandalan berfungsi sebagai ukuran numerik untuk menentukan standar keandalan jaringan listrik. Indeks ini diartikulasikan melalui statistik atau probabilitas, yang menggambarkan frekuensi dan berapa lama pelanggan mengalami pemadaman listrik selama periode waktu tertentu, biasanya satu tahun. Penilaian menyeluruh terhadap keandalan sistem distribusi dilakukan untuk mengembangkan pemahaman lengkap tentang efektivitas operasionalnya dan untuk memberikan dasar untuk meningkatkan standar listrik yang diberikan kepada pengguna akhir [13], [14].

Pada umumnya, menilai keandalan jaringan listrik melibatkan dua jenis pengukuran keandalan utama: pengukuran yang berfokus pada keandalan di lokasi pelanggan tertentu dan pengukuran yang mencerminkan keandalan seluruh jaringan dan titik beban digunakan untuk menilai keandalan pada lokasi atau komponen tertentu dalam jaringan distribusi, sedangkan indeks keandalan sistem menggambarkan kinerja sistem distribusi secara keseluruhan dengan mempertimbangkan jumlah pelanggan terdampak gangguan [15]. Dalam praktik operasional dan evaluasi mutu pelayanan, indeks keandalan sistem lebih sering digunakan karena berorientasi langsung pada pelanggan.

Metrik yang paling umum dan banyak digunakan untuk mengukur keandalan sistem distribusi adalah *System Average Interruption Frequency Index* (SAIFI), *System Average Interruption Duration Index* (SAIDI), dan *Customer Average Interruption Duration Index* (CAIDI). Ketiga indeks ini saling berkaitan dan memberikan gambaran komprehensif mengenai frekuensi gangguan, durasi gangguan, serta rata-rata waktu pemulihan yang dialami pelanggan [9], [16].

Menentukan metrik keandalan untuk lokasi permintaan individual dan jaringan secara keseluruhan umumnya didasarkan pada dua parameter utama, yaitu angka gangguan (*outage rate*) dan lama gangguan atau waktu

perbaikan (*outage duration*) dari masing-masing komponen penyusun sistem distribusi. Parameter-parameter tersebut diperoleh dari data gangguan historis yang tercatat selama periode evaluasi [12].

a. Pemadaman (*Outage*)

Pemadaman (*outage*) didefinisikan sebagai kondisi ketika suatu komponen atau bagian dari sistem distribusi tenaga listrik tidak dapat berfungsi sebagaimana mestinya, sehingga menyebabkan terganggunya atau terhentinya penyaluran energi listrik kepada pelanggan. Pemadaman listrik dapat disebabkan oleh berbagai faktor, antara lain kerusakan peralatan, gangguan lingkungan seperti pohon, hewan, dan petir, kesalahan dalam operasi, serta kegiatan pemeliharaan yang telah direncanakan [11].

Salah satu parameter penting dalam analisis keandalan adalah angka gangguan (*outage rate*), yaitu biasanya diukur sebagai kejadian per tahun, ini mengacu pada tingkat perkiraan kegagalan suatu komponen dalam periode waktu tertentu. Angka gangguan ini mencerminkan tingkat keandalan komponen tersebut dalam beroperasi secara normal [5]. Semakin tinggi angka gangguan suatu komponen, maka semakin besar kontribusinya terhadap penurunan keandalan sistem distribusi.

Tidak semua *outage* selalu menyebabkan pemadaman pelanggan. Dampak suatu *outage* terhadap pelanggan sangat bergantung pada konfigurasi jaringan distribusi yang diterapkan. Dengan desain jaringan radial, satu *outage* pada komponen utama dapat menyebabkan pemadaman pada seluruh pelanggan di hilir. Sebaliknya, pada jaringan *loop* atau jaringan dengan sistem pengamanan dan pemisahan beban yang baik, *outage* dapat dilokalisasi sehingga tidak seluruh pelanggan terdampak [10].

b. Lama Keluar (*Outage Duration*)

Lama keluar (*outage duration*) adalah periode waktu yang dihitung sejak awal terjadinya gangguan dengan mengembalikan suatu komponen ke kondisi operasional yang benar, berdasarkan desainnya, hanya selesai ketika komponen tersebut berfungsi sebagaimana mestinya. Durasi gangguan ini meliputi waktu yang dibutuhkan untuk mendeteksi gangguan, menelusuri lokasi kerusakan, melakukan perbaikan atau penggantian komponen, hingga proses pemulihan sistem kembali normal [4].

Dalam analisis keandalan, lama gangguan sering dinyatakan dalam satuan jam per kejadian dan sangat berpengaruh terhadap nilai indeks SAIDI dan CAIDI. Meskipun frekuensi gangguan relatif rendah, durasi gangguan yang panjang tetap dapat menyebabkan nilai SAIDI menjadi tinggi dan menurunkan tingkat keandalan sistem distribusi secara keseluruhan [6].

Perkiraan lama gangguan atau waktu perbaikan setiap komponen umumnya diperoleh dari data historis operasional, standar teknis, maupun pengalaman lapangan. Nilai-nilai tersebut selanjutnya dimanfaatkan dalam perhitungan indeks keandalan sistem guna menilai kinerja pelayanan listrik secara objektif dan terukur [3].

Secara umum, indikator keandalan SAIDI, SAIFI, dan CAIDI menawarkan pandangan komprehensif tentang kinerja jaringan distribusi listrik. Frekuensi pemadaman listrik pelanggan ditunjukkan oleh SAIFI, sedangkan SAIDI menunjukkan durasi kumulatif kejadian gangguan pelanggan, dan CAIDI menunjukkan seberapa cepat listrik

dipulihkan setelah pemadaman. Akibatnya, ketiga indikator ini penting untuk mengevaluasi kualitas layanan dan berfungsi sebagai tolak ukur utama untuk menilai keandalan jaringan distribusi 20 kV [9].

D. System Average Interruption Duration Index (SAIDI)

System Average Interruption Duration Index (SAIDI) berfungsi sebagai metrik keandalan yang menggambarkan jumlah waktu tipikal yang dihabiskan setiap pelanggan tanpa listrik setiap tahunnya. Metrik ini mengukur lamanya gangguan pasokan listrik yang dialami pelanggan akibat gangguan pada jaringan distribusi listrik. Angka SAIDI yang lebih rendah menunjukkan sistem distribusi yang lebih andal, mengingat pelanggan menghadapi periode ketidaktersediaan listrik yang lebih singkat [17], [18].

Secara konseptual, SAIDI dihitung berdasarkan total jumlah periode waktu ketika pasokan listrik terputus dalam jaringan, kemudian dikalikan dengan jumlah pengguna yang terdampak oleh pemutusan tersebut, dan hasilnya dibagi dengan jumlah total pengguna yang menerima listrik dari jaringan tersebut. Dengan demikian, SAIDI bersifat berorientasi pelanggan dan mencerminkan mutu pelayanan listrik secara langsung [15].

Secara matematis, nilai SAIDI dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$SAIDI = \frac{\text{Jumlah Durasi Gangguan Pelanggan}}{\text{Jumlah Seluruh Pelanggan}} \quad (1)$$

$$SAIDI = \frac{\sum(U_i \times N_i)}{\sum N_T}$$

dengan:

U_i = durasi pemadaman ke- i (jam),

N_i = jumlah pelanggan yang terdampak akibat terjadinya gangguan ke- i ,

N_T = jumlah total pelanggan yang menerima layanan.

Berdasarkan Persamaan (1), nilai SAIDI diperoleh dari perbandingan antara total durasi gangguan pelanggan dengan jumlah seluruh pelanggan yang dilayani oleh sistem distribusi tenaga listrik. Persamaan ini menunjukkan bahwa setiap gangguan memiliki kontribusi yang bergantung pada lama pemadaman dan jumlah pelanggan yang terdampak. Nilai SAIDI umumnya dinyatakan dalam satuan jam/pelanggan/tahun. Indeks ini sangat penting karena meskipun frekuensi gangguan rendah, durasi pemadaman yang panjang tetap dapat menyebabkan kualitas pelayanan menjadi buruk [17], [20].

E. System Average Interruption Frequency Index (SAIFI)

System Average Interruption Frequency Index (SAIFI) berfungsi sebagai metrik keandalan, yang menyatakan rata-rata kejadian pemadaman listrik tahunan untuk setiap pelanggan. Metrik ini membantu menilai frekuensi gangguan layanan listrik yang dihadapi pelanggan, yang disebabkan oleh masalah dalam jaringan distribusi listrik [15], [18].

SAIFI dihitung berdasarkan jumlah kejadian pemadaman listrik yang terjadi di sistem distribusi dan jumlah pelanggan yang terdampak oleh setiap kejadian pemadaman listrik. Nilai SAIFI yang tinggi menunjukkan bahwa pelanggan sering mengalami pemadaman, sehingga mengindikasikan tingkat keandalan sistem distribusi yang rendah [20].

Secara matematis, SAIFI dapat dirumuskan sebagai berikut atau dalam bentuk sederhana dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$SAIFI = \frac{\text{Jumlah Pelanggan Padam}}{\text{Jumlah Seluruh Pelanggan}} \quad (2)$$

Berdasarkan Persamaan (2), SAIFI menunjukkan rata-rata frekuensi pemadaman listrik yang dialami oleh setiap pelanggan dalam satu tahun. Indeks ini berfokus pada seberapa sering gangguan terjadi, tanpa memperhitungkan lamanya pemadaman. Satuan SAIFI diukur dalam kali per pelanggan per tahun. Indeks ini umumnya digunakan bersama dengan SAIDI karena membantu memberikan gambaran keseluruhan yang lebih baik tentang seberapa andal kinerja sistem distribusi tenaga listrik [15], [17].

F. Customer Average Interruption Duration Index (CAIDI)

Customer Average Interruption Duration Index (CAIDI) adalah ukuran yang menunjukkan rata-rata durasi pemadaman listrik yang dialami pelanggan selama setiap masalah dalam setahun. CAIDI sering diinterpretasikan sebagai waktu rata-rata perbaikan gangguan atau waktu pemulihan sistem distribusi setelah terjadi pemadaman [18], [21].

Indeks CAIDI diperoleh dari perbandingan antara nilai SAIDI, SAIFI, dan CAIDI. Oleh karena itu, CAIDI memberikan informasi mengenai efektivitas penanganan gangguan oleh operator sistem distribusi. Nilai CAIDI yang rendah menunjukkan bahwa gangguan dapat ditangani dan dipulihkan dalam waktu yang relatif singkat [17], [20].

$$CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI} \quad (3)$$

Berdasarkan Persamaan (3), CAIDI diperoleh dari perbandingan antara SAIDI dan SAIFI, yang menunjukkan rata-rata durasi pemadaman listrik per kejadian gangguan yang dialami oleh pelanggan. Secara matematis, CAIDI dapat dihitung menggunakan persamaan ini, dan satuannya adalah jam per pelanggan per gangguan, atau sering ditulis sebagai jam per gangguan. CAIDI sangat berguna sebagai indikator kinerja operasional karena mencerminkan kecepatan respons dan efektivitas perbaikan gangguan pada sistem distribusi tenaga listrik [15], [21].

G. Standar Nilai Indeks Keandalan SAIFI, SAIDI, dan CAIDI

Indeks keandalan adalah angka yang menunjukkan seberapa andal sistem listrik. Angka ini menggunakan probabilitas untuk memberi tahu kita seberapa sering dan berapa lama pelanggan menghadapi pemadaman dalam periode waktu tertentu, seperti satu tahun. Untuk memahami dan mengukur keandalan sistem listrik secara jelas, berbagai indeks keandalan telah dibuat. Indeks ini digunakan secara luas baik di dalam negeri maupun di seluruh dunia [15], [17].

Di Indonesia, pedoman utama untuk menetapkan standar keandalan distribusi tenaga listrik adalah Standar PLN (SPLN). SPLN merupakan peraturan internal yang dibuat oleh PT. PLN (Persero) dan harus diikuti oleh seluruh departemennya. Standar ini memuat aturan, saran teknis, instruksi langkah demi langkah, cara pengujian, dan detail teknis yang digunakan dalam perencanaan,

pembangunan, pengoperasian, dan pengecekan sistem kelistrikan. Sejak tahun 1976, PT PLN (Persero) telah membuat ratusan standar ini yang mencakup berbagai bidang seperti pembangunan tenaga listrik, transmisi, distribusi, dan umum [20].

Pembuatan standar keandalan ini dimaksudkan untuk menjelaskan dan menetapkan tingkat keandalan minimum yang harus dicapai oleh sistem distribusi listrik. Tujuan utamanya adalah untuk memberikan panduan yang jelas tentang bagaimana mengevaluasi kinerja sistem distribusi, menentukan tingkat keandalan layanan listrik, dan bertindak sebagai standar untuk mengukur seberapa baik kinerja sistem dan untuk merencanakan peningkatan keandalan di masa mendatang bagi PT PLN (Persero) [21].

Menurut SPLN No. 59 tahun 1985, faktor utama yang digunakan untuk menghitung indeks keandalan sistem distribusi meliputi tingkat kegagalan, waktu yang dibutuhkan untuk perbaikan, dan waktu yang dibutuhkan untuk mengganti komponen dalam sistem.

Faktor-faktor ini membantu menentukan angka indeks keandalan seperti SAIFI, SAIDI, dan CAIDI, baik untuk setiap sambungan pelanggan maupun untuk seluruh sistem [18]. Di Indonesia, standar indeks keandalan spesifik yang digunakan adalah Standar PLN No. 68-2 tahun 1986. Standar ini menetapkan indeks keandalan tahunan tertinggi yang diizinkan sebagai ukuran seberapa baik sistem distribusi listrik. Suatu sistem distribusi dianggap andal jika nilai SAIFI, SAIDI, dan CAIDI aktual sama dengan atau lebih rendah dari nilai standar SPLN. Jika indeks melebihi batas yang ditetapkan, sistem tersebut dianggap kurang andal dan perlu diperiksa dan diperbaiki [20], [23]. Nilai standar tersebut tercantum dalam Tabel I.

Tabel I. Nilai Indeks Keandalan SPLN 68-2:1986
(Sumber : SPLN 68-2:1986)

Indeks	Standar	Satuan
Keandalan	Nilai	
SAIFI	3,2	kali/pelanggan/tahun
SAIDI	21	jam/pelanggan/tahun
CAIDI	6,56	jam/kali/tahun

Berdasarkan Tabel I, menunjukkan bahwa sistem distribusi tenaga listrik dinyatakan andal secara nasional apabila nilai realisasi SAIFI, SAIDI, dan CAIDI berada di bawah atau sama dengan batas yang ditetapkan dalam standar SPLN. Apabila salah satu indeks melebihi nilai tersebut, maka sistem distribusi dinilai kurang andal dan memerlukan evaluasi serta tindakan perbaikan.

Suatu sistem distribusi dikatakan andal menurut standar nasional apabila nilai realisasi SAIFI, SAIDI, dan CAIDI berada di bawah atau sama dengan nilai standar SPLN tersebut. Apabila nilai indeks melebihi batas yang ditetapkan, maka sistem distribusi dinilai kurang andal dan memerlukan evaluasi serta tindakan perbaikan [12].

Selain standar nasional, evaluasi keandalan sistem distribusi juga sering dibandingkan dengan standar internasional, seperti *World Customer Service* (WCS), *World Class Company* (WCC), serta IEEE Std 1366-2003.

Standar-standar ini umumnya menetapkan nilai indeks keandalan yang lebih ketat dan digunakan sebagai tolak ukur pencapaian mutu pelayanan kelistrikan kelas dunia [12], [19]. Nilai standar indeks keandalan berdasarkan WCS dan WCC ditunjukkan pada Tabel II.

Tabel II. Nilai Indeks Keandalan Standar WCS & WCC
(Sumber : WCS & WCC)

Indeks	Standar	Satuan
Keandalan	Nilai	
SAIFI	3	kali/pelanggan/tahun
SAIDI	1,66	jam/pelanggan/tahun
CAIDI	0,56	jam/kali/tahun

Berdasarkan Tabel II, menunjukkan bahwa standar WCS dan WCC menetapkan nilai SAIDI dan CAIDI yang jauh lebih rendah dibandingkan standar nasional. Hal ini menandakan bahwa standar internasional menuntut waktu pemadaman dan durasi perbaikan gangguan yang sangat singkat demi menjamin kualitas pelayanan yang tinggi kepada pelanggan. Pada saat yang sama, standar IEEE Std 1366-2003, yang umum digunakan di seluruh dunia sebagai referensi untuk menilai keandalan sistem distribusi, menetapkan nilai indeks keandalan seperti yang ditunjukkan pada Tabel III.

Tabel III. Nilai Indeks Keandalan IEEE Std 1366TM-2003
(Sumber IEEE : 2003)

Indeks	Standar	Satuan
Keandalan	Nilai	
SAIFI	1,45	kali/pelanggan/tahun
SAIDI	2,3	jam/pelanggan/tahun
CAIDI	1,47	jam/kali/tahun

Berdasarkan Tabel III, menunjukkan bahwa standar IEEE Std 1366TM-2003 memiliki batas indeks keandalan yang lebih ketat dibandingkan standar SPLN maupun WCS/WCC. Nilai SAIFI, SAIDI, dan CAIDI yang rendah mencerminkan tingkat keandalan sistem distribusi yang sangat tinggi serta kemampuan pemulihan gangguan yang cepat.

Berdasarkan Tabel I hingga Tabel III, dapat disimpulkan bahwa semakin ketat batas indeks keandalan yang ditetapkan, maka semakin ketat batas indeks keandalan yang ditetapkan. Standar nasional SPLN digunakan sebagai acuan minimum keandalan sistem distribusi di Indonesia, sedangkan standar WCS, WCC, dan IEEE digunakan sebagai tolak ukur pencapaian mutu pelayanan kelistrikan tingkat global.

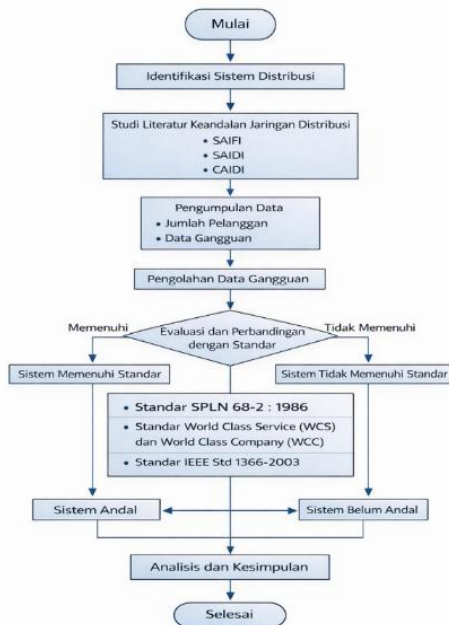
Dengan demikian, perbandingan antara nilai realisasi indeks keandalan dan standar-standar tersebut menjadi dasar penting dalam menentukan tingkat keandalan sistem distribusi serta kebutuhan evaluasi dan peningkatan kinerja

jaringan listrik.

III. METODE PENELITIAN

A. Prosedur Penelitian (Flowchart)

Penelitian ini direncanakan dengan cermat untuk menguji keandalan sistem distribusi tegangan menengah 20 kV di PT. PLN (Persero) UP3 Sukoharjo, menggunakan indeks keandalan dan membandingkannya dengan standar yang relevan. Proses penelitian dapat dijelaskan sebagai berikut:



Gambar 3. Flowchart Penelitian

Berdasarkan Gambar 3, penelitian ini disusun untuk mengevaluasi keandalan sistem distribusi tegangan menengah 20 kV di PT. PLN (Persero) UP3 Sukoharjo menggunakan indeks keandalan SAIFI, SAIDI, dan CAIDI. Berdasarkan Gambar 3, tahapan penelitian diawali dengan identifikasi sistem distribusi yang menjadi objek penelitian. Selanjutnya dilakukan studi literatur terkait keandalan jaringan distribusi tenaga listrik sebagai dasar teoritis dalam perhitungan dan analisis indeks keandalan. Tahap berikutnya adalah pengumpulan data, yang meliputi data jumlah pelanggan dan data gangguan sistem distribusi. Data yang telah diperoleh kemudian diolah untuk menghitung nilai SAIFI, SAIDI, dan CAIDI.

Berdasarkan Gambar 3, hasil perhitungan indeks keandalan selanjutnya dievaluasi dan dibandingkan dengan standar keandalan yang berlaku, yaitu SPLN 68-2:1986, *World Class Service* (WCS), *World Class Company* (WCC), serta IEEE Std 1366-2003. Apabila nilai indeks keandalan memenuhi standar yang ditetapkan, maka sistem dikategorikan sebagai sistem andal. Sebaliknya, apabila nilai indeks melebihi batas standar, maka sistem dinyatakan belum andal. Tahap akhir penelitian adalah analisis dan penarikan kesimpulan berdasarkan hasil evaluasi keandalan sistem distribusi, yang kemudian menjadi dasar dalam menilai kinerja sistem distribusi tenaga listrik yang diteliti.

B. Metode Analisis Keandalan Sistem Distribusi

Penelitian ini menggunakan metode untuk menganalisis indeks keandalan dalam sistem distribusi. Indeks-indeks ini meliputi SAIDI, yang mengamati rata-rata durasi pemadaman listrik; SAIFI, yang mengamati seberapa

sering pemadaman terjadi; dan CAIDI, yang menunjukkan rata-rata durasi pemadaman per pelanggan.

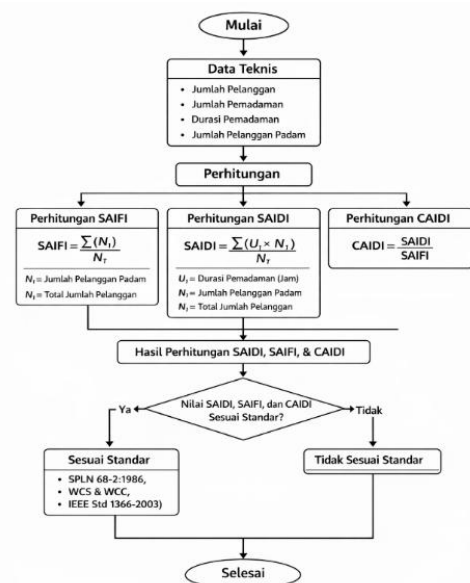
Metode-metode ini membantu memeriksa seberapa baik sistem distribusi listrik bekerja dengan melihat catatan pemadaman dan gangguan listrik di masa lalu. Metode ini menunjukkan seberapa konsisten listrik diberikan kepada pelanggan selama periode waktu tertentu, biasanya satu tahun.

Setelah menghitung indeks keandalan ini, hasilnya dibandingkan dengan standar keandalan tertentu. Standar-standar tersebut meliputi:

1. Standar nasional SPLN 68-2:1986
2. Standar *World Class Service* (WCS) dan *World Class Company* (WCC)
3. Standar internasional IEEE Std 1366-2003

Perbandingan ini membantu mengetahui apakah sistem distribusi memenuhi standar keandalan yang dibutuhkan di tingkat nasional dan internasional.

C. Tahapan Perhitungan Indeks Keandalan



Gambar 4. Flowchart Perhitungan Indeks Keandalan pada Penelitian

Berdasarkan Gambar 4, diagram alir menunjukkan tahapan perhitungan indeks keandalan sistem distribusi tenaga listrik yang meliputi SAIFI, SAIDI, dan CAIDI. Indeks-indeks tersebut digunakan untuk menilai tingkat keandalan pelayanan listrik yang diterima oleh pelanggan. Berdasarkan Gambar 4, proses perhitungan diawali dengan pengumpulan data teknis, yang meliputi jumlah pelanggan, jumlah kejadian pemadaman, durasi pemadaman, serta jumlah pelanggan yang terdampak. Data ini menjadi dasar dalam perhitungan indeks keandalan. Selanjutnya, berdasarkan Gambar 4, dilakukan perhitungan SAIFI, yang menunjukkan rata-rata frekuensi pemadaman listrik yang dialami pelanggan dalam satu periode tertentu. Setelah itu dilakukan perhitungan SAIDI, yang menunjukkan rata-rata durasi pemadaman listrik yang dialami oleh setiap pelanggan. Nilai CAIDI kemudian diperoleh dari perbandingan antara SAIDI dan SAIFI, yang menunjukkan rata-rata lama pemadaman per kejadian gangguan.

Berdasarkan Gambar 4, hasil perhitungan SAIFI, SAIDI, dan CAIDI selanjutnya dievaluasi dengan membandingkannya terhadap standar keandalan yang

berlaku, yaitu SPLN 68-2:1986, *World Class Service* (WCS), *World Class Company* (WCC), serta IEEE Std 1366-2003. Apabila nilai indeks keandalan memenuhi standar yang ditetapkan, maka sistem distribusi dinyatakan andal. Sebaliknya, apabila nilai indeks keandalan melebihi batas standar, maka sistem dinyatakan tidak andal dan diperlukan evaluasi serta tindakan perbaikan.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Ringkasan Laporan Monitoring PT. PLN (Persero) UP3 Sukoharjo Tahun 2024

Ringkasan laporan pemantauan dari PT. PLN (Persero) UP3 Sukoharjo tahun 2024 mencakup informasi pelanggan dan detail tentang masalah sistem kelistrikan yang terjadi dari Januari hingga Desember 2024. Laporan tersebut menunjukkan jumlah total pelanggan, berapa banyak yang mengalami pemadaman listrik, total jam pemadaman (dihitung dengan mengalikan jam pemadaman dengan

jumlah pelanggan yang terdampak), jumlah gangguan, berapa lama setiap pemadaman berlangsung, dan jumlah listrik yang hilang selama setiap pemadaman. Semua detail ini dikumpulkan untuk memberikan gambaran lengkap tentang seberapa andal layanan listrik di wilayah UP3 Sukoharjo pada tahun 2024, dan dijelaskan secara rinci dalam Tabel .

Tabel IV. Rekap Laporan Pemantauan Data Pelanggan dan Gangguan untuk PT. PLN (Persero) UP3 Sukoharjo, Januari hingga Desember 2024

Bulan	Data Monitoring		
	Jumlah Pelanggan	Jumlah Pelanggan Padam	Jam x Pelanggan Padam
Januari	726.658	87.422	131.524,56
Februari	728.097	62.876	108.157,14
Maret	729.798	50.160	59.953,80
April	731.406	103.515	70.611,49
Mei	734.025	24.153	32.068,62
Juni	736.157	16.883	20.745,61
Juli	738.271	38.673	42.831,09
Agustus	740.647	54.721	29.456,80
September	742.650	46.016	42.904,45
Oktober	744.753	46.153	22.514,89
November	746.483	82.704	40.974,51
Desember	748.109	173.520	104.046,72

Ringkasan laporan pemantauan dari PT. PLN (Persero) UP3 Sukoharjo tahun 2024 memuat data pelanggan dan gangguan sistem kelistrikan yang terjadi selama periode Januari hingga Desember 2024. Data tersebut digunakan sebagai dasar dalam perhitungan dan analisis indeks keandalan sistem distribusi tenaga listrik.

Berdasarkan Tabel IV, ditunjukkan bahwa jumlah pelanggan di wilayah UP3 Sukoharjo mengalami

peningkatan secara bertahap dari bulan Januari hingga Desember 2024. Peningkatan jumlah pelanggan ini mencerminkan pertumbuhan beban dan perluasan layanan kelistrikan di wilayah tersebut. Berdasarkan Tabel IV, jumlah pelanggan yang mengalami pemadaman listrik bervariasi setiap bulan. Nilai tertinggi pelanggan padam terjadi pada bulan Desember, sedangkan nilai terendah terjadi pada bulan Juni. Variasi ini menunjukkan bahwa gangguan sistem distribusi tidak terjadi secara merata sepanjang tahun dan dipengaruhi oleh berbagai faktor operasional maupun kondisi eksternal.

Selanjutnya, berdasarkan Tabel IV, total jam pemadaman pelanggan (jam × pelanggan padam) juga menunjukkan fluktuasi bulanan. Nilai jam pemadaman tertinggi terjadi pada bulan Januari, sedangkan nilai terendah terjadi pada bulan Juni. Hal ini menunjukkan bahwa durasi pemadaman dan jumlah pelanggan terdampak memiliki kontribusi langsung terhadap besarnya nilai total jam pemadaman.

Secara keseluruhan, data yang disajikan pada Tabel IV memberikan gambaran menyeluruh mengenai kondisi gangguan dan tingkat pelayanan sistem distribusi listrik di wilayah UP3 Sukoharjo selama tahun 2024. Data ini selanjutnya digunakan sebagai input utama dalam perhitungan indeks keandalan SAIFI, SAIDI, dan CAIDI untuk mengevaluasi tingkat keandalan sistem distribusi tenaga listrik.

B. Indeks Keandalan SAIDI, SAIFI, dan CAIDI PT. PLN (Persero) UP3 Sukoharjo Tahun 2024

a. Hasil Perhitungan

Berdasarkan data pada Tabel 4.1, berikut perhitungan indeks keandalan SAIDI, SAIFI, dan CAIDI untuk PT. PLN (Persero) UP3 Sukoharjo selama periode Januari hingga Desember 2024.

1. Indeks keandalan SAIDI, SAIFI, dan CAIDI bulan Januari 2024

Data yang digunakan dalam perhitungan adalah:

- Jumlah total pelanggan: 726.658
- Jumlah pelanggan yang terdampak pemadaman: 87.422
- Total jam terdampak dikalikan pelanggan: 131.524,56

Menggunakan persamaan (1), (2), dan (3), indeks keandalan SAIDI, SAIFI, dan CAIDI adalah sebagai berikut:

Perhitungan SAIDI

$$SAIDI = \frac{\text{Jumlah Durasi Gangguan Pelanggan}}{\text{Jumlah Seluruh Pelanggan}} \quad (1)$$

$$SAIDI = \frac{131.524,56}{726.658}$$

$$SAIDI = 0,18 \text{ Jam/Pelanggan/Bulan}$$

Perhitungan SAIFI

$$SAIFI = \frac{\text{Jumlah Pelanggan Padam}}{\text{Jumlah Seluruh Pelanggan}} \quad (2)$$

$$SAIFI = \frac{87.422}{726.658}$$

$$SAIFI = 0,12 \text{ Kali/Pelanggan/Bulan}$$

Perhitungan CAIDI

$$CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI} \quad (3)$$

$$CAIDI = \frac{0,18}{0,12}$$

$$CAIDI = 1,51 \text{ Jam/Kali/Bulan}$$

2. Indeks keandalan SAIDI, SAIFI, dan CAIDI bulan Februari 2024

Data yang digunakan dalam perhitungan adalah:

- Jumlah total pelanggan: 728.097
- Jumlah pelanggan yang terdampak pemadaman: 62.876
- Total jam terdampak dikalikan pelanggan: 131.524,56 Pelanggan: 108.157,14

Menggunakan persamaan (1), (2), dan (3), indeks keandalan SAIDI, SAIFI, dan CAIDI adalah:

Perhitungan SAIDI

$$SAIDI = \frac{\text{Jumlah Durasi Gangguan Pelanggan}}{\text{Jumlah Seluruh Pelanggan}} \quad (1)$$

$$SAIDI = \frac{108.157,14}{728.097}$$

$$SAIDI = 0,15 \text{ Jam/Pelanggan/Bulan}$$

Perhitungan SAIFI

$$SAIFI = \frac{\text{Jumlah Pelanggan Padam}}{\text{Jumlah Seluruh Pelanggan}} \quad (2)$$

$$SAIFI = \frac{62.876}{728.097}$$

$$SAIFI = 0,09 \text{ Kali/Pelanggan/Bulan}$$

Perhitungan CAIDI

$$CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI} \quad (3)$$

$$CAIDI = \frac{0,15}{0,09}$$

$$CAIDI = 1,65 \text{ Jam/Kali/Bulan}$$

Dari perhitungan di atas, indeks keandalan SAIDI, SAIFI, dan CAIDI lengkap untuk PT. PLN (Persero) UP3 Sukoharjo dari Januari hingga Desember 2024 disajikan pada Tabel V.

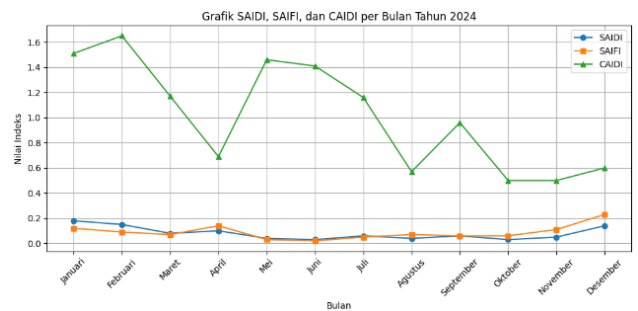
Tabel V. Indeks Keandalan SAIDI, SAIFI, dan CAIDI Periode Januari-Desember 2024 PT. PLN (Persero) UP3 Sukoharjo

Bulan	Indeks Keandalan		
	SAIDI (Jam/Pelanggan/ Bulan)	SAIFI (Kali/Pelanggan /Bulan)	CAIDI (Jam/Kali/ Bulan)
Januari	0,18	0,12	1,51
Februari	0,15	0,09	1,65
Maret	0,08	0,07	1,17
April	0,10	0,14	0,69
Mei	0,04	0,03	1,46
Juni	0,03	0,02	1,41
Juli	0,06	0,05	1,16
Agustus	0,04	0,07	0,57
September	0,06	0,06	0,96

Oktober	0,03	0,06	0,50
November	0,05	0,11	0,50
Desember	0,14	0,23	0,60
Total	0,96	1,05	12,18

Berdasarkan Tabel V, data keandalan sistem distribusi tenaga listrik disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 4.1 untuk memudahkan analisis. Gambar 4.1 menampilkan hasil perhitungan indeks SAIDI, SAIFI, dan CAIDI selama periode Januari 2024 hingga Desember 2024. Grafik tersebut menunjukkan adanya fluktuasi nilai ketiga indeks sepanjang tahun 2024, yang mengindikasikan bahwa tingkat keandalan sistem distribusi listrik mengalami perubahan dari bulan ke bulan.

Fluktuasi nilai SAIDI, SAIFI, dan CAIDI mencerminkan variasi durasi serta frekuensi gangguan yang dialami pelanggan, sedangkan perubahan nilai CAIDI menunjukkan perbedaan rata-rata lama pemadaman pada setiap kejadian gangguan. Variasi ini dapat dipengaruhi oleh faktor teknis maupun nonteknis, seperti kondisi jaringan, gangguan lingkungan, dan efektivitas penanganan gangguan. Secara keseluruhan, analisis grafik ini memberikan gambaran kinerja keandalan sistem distribusi listrik selama tahun 2024 serta menjadi dasar evaluasi dan perbaikan sistem di masa mendatang.



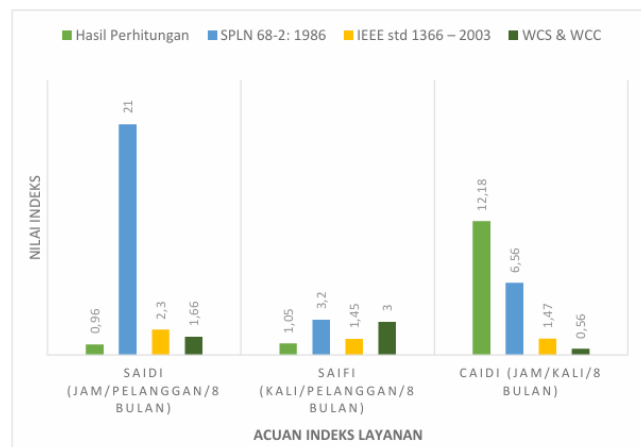
Gambar 5. Grafik Nilai Hasil Perhitungan SAIDI, SAIFI dan CAIDI

b. Perbandingan hasil perhitungan

Tabel VI. Perbandingan Hasil Perhitungan dengan Parameter Indeks Keandalan

NO	Indikator Penilaian	Hasil Perhitungan	Standar Indeks Keandalan			Satuan	Keterangan
			IEEE std 1366 – 2003	SPLN 68-2: 1986	WCS & WCC		
1	SAIDI	0,96	2,3	21	1,66	kali/pelanggan/tahun	(IEEE, SPLN, WCS & WCC) Memenuhi standar
2	SAIFI	1,05	1,45	3,2	3	jam/pelanggan/tahun	(IEEE, SPLN, WCS & WCC) Memenuhi standar

3	CAIDI	12,18	1,47	6,56	0,56	jam/kali/tahun	(IEEE, SPLN, WCS & WCC) Tidak memenuhi standar
---	-------	-------	------	------	------	----------------	--



Gambar 6. Grafik Perbandingan Hasil Perhitungan Dengan Parameter Indeks Keandalan

c. Analisis data hasil perhitungan

Berdasarkan evaluasi indeks keandalan pada Gambar 5, kinerja sistem distribusi tenaga listrik di wilayah UP3 Sukoharjo selama tahun 2024 secara umum menunjukkan kondisi yang baik dari sisi durasi dan frekuensi pemadaman. Nilai SAIDI dan SAIFI relatif rendah serta stabil pada hampir seluruh bulan, yang mengindikasikan bahwa rata-rata lama pemadaman yang dialami pelanggan singkat dan jumlah kejadian gangguan dapat dikendalikan. Meskipun terdapat sedikit peningkatan nilai SAIDI pada bulan Januari dan Desember serta kenaikan SAIFI pada bulan Desember, kondisi tersebut masih mencerminkan sistem yang mampu menjaga kontinuitas pelayanan tenaga listrik dengan baik, kemungkinan hanya dipengaruhi oleh faktor musiman seperti cuaca ekstrem atau peningkatan beban akhir tahun.

Namun demikian, berbeda dengan SAIDI dan SAIFI, nilai CAIDI menunjukkan fluktuasi yang cukup signifikan sepanjang tahun. Hal ini mengindikasikan bahwa meskipun gangguan jarang terjadi, waktu pemulihan rata-rata untuk setiap kejadian gangguan masih relatif lama. Nilai CAIDI yang tinggi pada beberapa bulan awal tahun mencerminkan bahwa proses penanganan gangguan belum sepenuhnya optimal, sehingga durasi pemulihan menjadi permasalahan utama dalam kinerja keandalan sistem distribusi.

Hasil perbandingan dengan standar keandalan pada Gambar 6 dan Tabel VI semakin menegaskan kondisi tersebut. Nilai SAIDI sebesar 0,96 jam/pelanggan/tahun berada jauh di bawah batas standar IEEE Std 1366-2003, SPLN 68-2:1986, serta WCS & WCC, sehingga menunjukkan bahwa dari sisi durasi pemadaman, sistem distribusi UP3 Sukoharjo telah memenuhi bahkan melampaui standar yang ditetapkan. Demikian pula nilai SAIFI sebesar 1,05 kali/pelanggan/tahun masih berada di bawah seluruh standar acuan, yang menandakan frekuensi gangguan tergolong rendah dan kontinuitas suplai listrik relatif baik.

Sebaliknya, nilai CAIDI sebesar 12,18 jam/kali/tahun tidak memenuhi seluruh standar keandalan yang digunakan, karena jauh melebihi batas IEEE, SPLN, maupun WCS & WCC. Kondisi ini menunjukkan bahwa rendahnya nilai SAIFI menyebabkan setiap kejadian gangguan memiliki bobot durasi pemulihan yang besar terhadap nilai CAIDI. Secara operasional, tingginya CAIDI memberikan implikasi perlunya peningkatan pada manajemen gangguan, khususnya dalam percepatan waktu tanggap, optimalisasi prosedur pemeliharaan, kesiapan personel teknis, serta peningkatan keandalan sistem proteksi dan peralatan pendukung. Dengan perbaikan pada aspek-aspek tersebut, diharapkan waktu pemulihan gangguan dapat dipersingkat sehingga nilai CAIDI dapat ditekan dan kinerja keandalan sistem distribusi menjadi lebih seimbang.

V. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan dan analisis *System Average Interruption Duration Index* (SAIDI), *System Average Interruption Frequency Index* (SAIFI), dan *Customer Average Interruption Duration Index* (CAIDI) selama setahun, keandalan sistem distribusi listrik menunjukkan hasil yang beragam. Nilai SAIDI adalah 0,96 jam per pelanggan per tahun, dan SAIFI adalah 1,05 kali per pelanggan per tahun menandakan bahwa durasi serta frekuensi pemadaman relatif rendah dan telah memenuhi standar IEEE, SPLN, serta WCS & WCC, sehingga sistem distribusi memiliki kelebihan dalam menjaga kontinuitas penyaluran tenaga listrik kepada pelanggan. Namun demikian, nilai CAIDI sebesar 12,18 Jam/Kali/Tahun belum memenuhi standar yang ditetapkan, yang menunjukkan bahwa waktu pemulihan gangguan masih tergolong lama dan menjadi kelemahan utama sistem. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan lebih lanjut melalui peningkatan kecepatan penanganan gangguan, optimalisasi pemeliharaan jaringan, serta peningkatan kesiapan sumber daya dan peralatan agar waktu pemulihan dapat dipersingkat dan keandalan sistem distribusi secara keseluruhan dapat ditingkatkan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dan mendukung penelitian ini, baik secara langsung maupun tidak langsung. Ucapan terima kasih khusus ditujukan kepada mereka yang telah memberikan data, bimbingan, dan sumber daya yang memungkinkan penelitian ini terlaksana dan membantu mencapai tujuannya.

REFERENSI

- [1] R. Billinton and R. N. Allan, "Reliability evaluation of power distribution systems: Current status and future trends," *Electric Power Systems Research*, vol. 189, pp. 1–9, 2020, doi: 10.1016/j.epsr.2020.106635.
- [2] IEEE Power & Energy Society, IEEE Std 1366™-2023: *Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices*. New York, NY, USA: IEEE, 2023.
- [3] Mohammad Remy Hanif and Titiek Suheta, "ANALISA KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI 20KV DI PT. PLN (PERSERO) RAYON KUDUS KOTA MENGGUNAKAN METODE SECTION TECHNIQUE", *SinarFe7*, vol. 3, no. 1, May 2023.

- [4] M. Devirianti, R. Gianto, dan Z. Abidin, "Analisis indeks keandalan sistem distribusi tenaga listrik menggunakan metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) di PT PLN (Persero) UP3 Pontianak," *Kohesi: Jurnal Sains dan Teknologi*, vol. 10, no. 9, pp. 181–190, 2026.
- [5] U. Zulkilpi, H. Pathoni, and D. Tessal, "Studi Analisis Keandalan Sistem Distribusi 20 kV PT. PLN (Persero) UP3 Jambi ULP Kotabaru," *Jur. Engineer*, vol. 3, no. 2, pp. 92–99, Aug. 2021.
- [6] C. A. Lestari, Zulfahri, and U. Situmeang, "Analisis keandalan sistem distribusi 20 kV dengan metode FMEA," *SainETIn (Jurnal Sain, Energi, Teknologi & Industri)*, vol. 6, no. 1, pp. 1–7, 2021.
- [7] R. Harahap, S. A. Siregar, S. Hardi, dan S. HS, "Analisis sistem jaringan distribusi 20 kV penyulang SB.02 pada PT. PLN (Persero) ULP Sibolga Kota menggunakan metode Section Technique dan Failure Mode Effect Analysis (FMEA)," *Kohesi: Jurnal Sains dan Teknologi*, vol. 7, no. 2, 2022.
- [8] H. Gusmedi, L. Hakim, dan R. Ramadan, "Evaluasi keandalan jaringan distribusi 20 kV penyulang Stroberi 2 PT. PLN (Persero) ULP Kota Metro dengan metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 12, no. 1, 2024.
- [9] M. R. Harjian, S. Supriyatna, A. B. Muljono, and R. R. E. Putra, "ANALISIS SAIFI DAN SAIDI SEBAGAI INDEKS KEANDALAN PADA GARDU INDUK KUTA MENGGUNAKAN METODE SECTION TECHNIQUE AND FAILURE MODE EFFECT ANALYSIS (FMEA)," *JITET*, vol. 13, no. 2, Apr. 2025.
- [10] PT. PLN (Persero), SPLN No. 68-2: 1986 – Tingkat Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik. Jakarta, Indonesia, 1986.
- [11] D. Candra, R. Gianto, dan M. I. Arsyad, "Evaluasi keandalan jaringan tegangan menengah 20 kV penyulang Imbon di PT. PLN (Persero) ULP Kota," *Journal of Electrical Engineering, Energy, and Information Technology (J3EIT)*, vol. 10, no. 2, 2022.
- [12] IEEE Power & Energy Society, IEEE Std 1366-2012: *Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices*. New York, NY, USA: IEEE, 2012.
- [13] P. Almubarak and Zulkifli, "STUDY ANALYSIS RELIABILITY SYSTEM DISTRIBUTION 20 KV AT THE ULP BENGKALIS WORK AREA SUB PAKNING," *Jurnal Inovtek Seri Elektro*, vol. 7, no. 1, pp. 1–7, Jun. 2025.
- [14] T. I. Y. Nirmalasari, Y. Mohamad, and Ismail, "Analisis Nilai Indeks Keandalan Sistem Distribusi Primer PT. PLN (Persero) ULP Bangkir," *Journal of Electrical Engineering and Computer (JEECOM)*, vol. 7, no. 2, pp. 85–92, 2023.
- [15] Irham Amando Lubis, Dino Erivianto, and Zuraidah Tharo, "Analysis Of Power Distribution System Reliability Using System Average Interruption Duration Index (SAIDI) and System Average Interruption Frequency Index (SAIFI) On Feeder KR04," *Injects*, vol. 5, no. 2, pp. 211–223, Oct. 2024.
- [16] Muliadi and Jamal Aswizar, "Analisa Keandalan Sistem Distribusi Berdasarkan Indeks SAIFI, SAIDI, dan CAIDI Pada Penyulang Suak Ribee ULP. Meulaboh Kota," *AJEETECH*, vol. 2, no. 1, pp. 14–18, Jun. 2022.
- [17] M. Rifa'i, S. Kanata, dan L. Muntasiroh, "Reliability Analysis of 20 kV Distribution System SRN 02 Transmission Line of PT PLN (Persero) UP3 Surakarta," *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, vol. 7, no. 1, pp. 11–17, 2025.
- [18] M. A. Sani, A. P. Tarigan, and S. Anisah, "Optimization and Reliability Analysis Based on SAIDI, SAIFI Values on 20 kV Distribution System Channels at PT. PLN ULP Labuhan Haji," in *Proceedings of the International Conference on Digital Sciences and Engineering Technology (ICDSET)*, vol. 2, no. 1, pp. 298–308, 2025.
- [19] O. Nainggolan, Bustani, and Arbain, "Evaluasi Keandalan Sistem Distribusi 20 Kv Pada Penyulang J4 J5 J6 Di PT. PLN (Persero) Area Balikpapan Menggunakan Nilai SAIDI dan SAIFI," *MUTIARA*, vol. 1, no. 1, pp. 103–116, Jul. 2023.
- [20] A. Suarga, M. I. Arsyad, and R. Gianto, "Analisa Keandalan Sistem Distribusi 20 kV pada Gardu Induk PT. PLN (Persero) ULP Sintang," *Jurnal Penelitian Ilmiah Interdisipliner*, vol. 9, no. 9, pp. 97–111, 2025.
- [21] F. Funan and W. Utama, "Evaluasi Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik Berdasarkan Indeks Keandalan SAIDI, SAIFI, dan CAIDI pada PT PLN (PERSERO) Rayon Kefamenanu," *telsinas*, vol. 3, no. 2, pp. 32–36, Feb. 2021.