

ANALISIS KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI LISTRIK BERDASARKAN INDEKS SAIDI, SAIFI, DAN CAIDI PADA PT. PLN (PERSERO) ULP KARANGANYAR TAHUN 2024

Muhammad Syahrial Mardiansyah¹, Sutisna², Andri Uls Rahayu³

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

Jl. Mугarsari, Kec. Tamansari, Kota Tasik. Tasikmalaya, Jawa Barat 46196

E-Mail: 227002055@student.unsil.ac.id¹, sutisna@unsil.ac.id², andriulusr@unsil.ac.id³

Abstrak – Keandalan sistem distribusi tenaga listrik merupakan indikator penting dalam menilai kualitas pelayanan kepada pelanggan, khususnya pada jaringan distribusi tegangan menengah 20 kV yang berperan langsung dalam penyaluran energi listrik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tingkat keandalan sistem distribusi 20 kV di PT. PLN (Persero) ULP Karanganyar berdasarkan indeks keandalan System Average Interruption Duration Index (SAIDI), System Average Interruption Frequency Index (SAIFI), dan Customer Average Interruption Duration Index (CAIDI). Metode penelitian yang digunakan adalah metode kuantitatif deskriptif dengan memanfaatkan data historis gangguan jaringan selama periode Januari hingga Desember 2024. Data yang dianalisis meliputi jumlah pelanggan, jumlah pelanggan padam, serta durasi gangguan, yang kemudian diolah untuk memperoleh nilai SAIDI, SAIFI, dan CAIDI. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai SAIDI sebesar 0,91 jam/pelanggan/tahun dan SAIFI sebesar 1,56 kali/pelanggan/tahun telah memenuhi standar keandalan nasional maupun internasional. Namun, nilai CAIDI sebesar 12,09 jam/kali/tahun masih berada di atas batas standar, yang menunjukkan bahwa waktu pemulihan gangguan per kejadian relatif lama. Secara keseluruhan, sistem distribusi di ULP Karanganyar tergolong andal dari sisi durasi dan frekuensi pemadaman, tetapi masih memerlukan peningkatan pada aspek percepatan penanganan gangguan.

Kata Kunci – keandalan sistem distribusi, SAIDI, SAIFI, CAIDI, gangguan listrik, jaringan 20 kV

I. PENDAHULUAN

Keandalan sistem distribusi listrik merupakan parameter kunci dalam menilai kualitas layanan yang diberikan oleh perusahaan listrik, karena mencerminkan kontinuitas dan konsistensi pasokan listrik yang dialami oleh pelanggan. Sistem distribusi tegangan menengah 20 kV berperan penting karena menjadi penghubung langsung antara gardu induk dan konsumen akhir. Gangguan pada jaringan distribusi menyebabkan terhentinya pasokan listrik yang berdampak langsung pada aktivitas sosial dan ekonomi masyarakat, sehingga evaluasi keandalan menjadi aspek strategis dalam pengelolaan sistem tenaga listrik modern [1], [2].

Dalam praktik evaluasi keandalan, indeks System Average Interruption Duration Index (SAIDI), System Average Interruption Frequency Index (SAIFI), dan Customer Average Interruption Duration Index (CAIDI) digunakan secara luas sebagai parameter kinerja sistem distribusi. Ketiga indeks ini mewakili durasi pemadaman rata-rata, frekuensi gangguan

layanan, dan waktu pemulihan rata-rata setelah gangguan yang dialami pelanggan selama periode waktu tertentu [3], [4].

Penelitian-penelitian terdahulu menunjukkan bahwa analisis keandalan jaringan distribusi 20 kV telah dilakukan di berbagai wilayah operasional PT. PLN (Persero). Beberapa studi menemukan bahwa nilai SAIDI dan SAIFI di beberapa unit layanan masih belum memenuhi standar yang ditetapkan oleh SPLN maupun IEEE 1366, terutama akibat tingginya frekuensi gangguan dan lamanya waktu pemulihan jaringan [5], [6], [7]. Selain itu, berbagai metode analisis telah digunakan untuk mengevaluasi indeks keandalan, seperti metode Section Technique, Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), serta Reliability Network Equivalent Approach (RNEA). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemilihan metode analisis dan karakteristik jaringan sangat mempengaruhi nilai SAIDI, SAIFI, dan CAIDI yang dihasilkan [8], [9].

Meskipun kajian keandalan telah banyak dilakukan, penelitian spesifik pada sistem distribusi 20 kV PT. PLN (Persero) ULP Karanganyar masih terbatas. Setiap wilayah memiliki karakteristik beban, panjang jaringan, dan pola gangguan yang berbeda, sehingga hasil penelitian di wilayah lain belum tentu mencerminkan kondisi aktual ULP Karanganyar. Hal ini menunjukkan adanya kesenjangan penelitian yang memerlukan analisis lebih lanjut, analisis berbasis data gangguan aktual pada wilayah tersebut [10], [11].

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini memiliki kebaruan pada penerapan analisis SAIDI, SAIFI, dan CAIDI secara komprehensif menggunakan data historis gangguan jaringan distribusi 20 kV di ULP Karanganyar serta evaluasinya terhadap standar SPLN dan IEEE. Tujuan penelitian ini adalah menghitung indeks keandalan, mengevaluasi tingkat keandalan sistem, serta memberikan rekomendasi peningkatan keandalan jaringan distribusi tenaga listrik [12], [13].

II. LANDASAN TEORI

A. Sistem Distribusi Tenaga Listrik 20 kV

Sistem distribusi tenaga listrik adalah komponen dari keseluruhan sistem tenaga listrik yang bertanggung jawab untuk menyalurkan energi listrik dari gardu induk utama ke pengguna akhir. Sistem ini memiliki peran strategis karena berada pada sisi paling dekat dengan pelanggan dan secara langsung mempengaruhi kualitas serta kontinuitas pelayanan

listrik. Dalam struktur sistem tenaga listrik, jaringan distribusi 20 kV dikategorikan sebagai jaringan distribusi utama, yang berfungsi untuk mentransmisikan daya listrik dari gardu induk utama ke gardu distribusi sebelum diturunkan ke tingkat tegangan rendah.

Di Indonesia, jaringan distribusi 20 kV umumnya mengadopsi konfigurasi radial karena kesederhanaan operasional dan biaya investasi yang relatif rendah. Namun demikian, konfigurasi ini memiliki keterbatasan yang signifikan, karena satu gangguan saja dapat menyebabkan pemadaman listrik yang meluas, yang memengaruhi semua pelanggan yang berada di hilir lokasi gangguan tersebut. Oleh karena itu, sistem distribusi 20 kV sangat rentan terhadap gangguan dan membutuhkan evaluasi keandalan secara berkala untuk memastikan kontinuitas pasokan listrik tetap terjaga [1], [14].

B. Keandalan Sistem Distribusi

Keandalan sistem distribusi mengacu pada kemampuannya untuk secara konsisten menyalurkan energi listrik kepada konsumen dengan cara yang dapat diandalkan, kontinu dengan tingkat gangguan yang minimal. Keandalan tidak hanya berkaitan dengan seberapa jarang gangguan terjadi, tetapi juga seberapa cepat sistem dapat pulih setelah gangguan tersebut terjadi. Dengan demikian, keandalan menjadi indikator penting dalam menilai kualitas pelayanan listrik kepada pelanggan.

Tingkat keandalan sistem distribusi dipengaruhi oleh berbagai faktor yang berasal dari sumber internal dan eksternal. Faktor internal berkaitan dengan kondisi fisik komponen sistem, seperti peralatan jaringan, sistem proteksi, panjang jaringan, serta pola pemeliharaan. Sementara itu, faktor eksternal mencakup kondisi cuaca, vegetasi di sekitar jaringan, dan aktivitas manusia. Kombinasi faktor-faktor tersebut menjadikan evaluasi keandalan sistem distribusi sebagai kebutuhan penting dalam pengelolaan jaringan tenaga listrik [15], [16].

C. Indeks Keandalan SAIDI, SAIFI, dan CAIDI

Evaluasi keandalan sistem distribusi tenaga listrik secara kuantitatif umumnya dilakukan menggunakan indeks keandalan standar, yaitu System Average Interruption Duration Index (SAIDI), System Average Interruption Frequency Index (SAIFI), dan Customer Average Interruption Duration Index (CAIDI). Ketiga indeks ini telah diadopsi secara luas dalam praktik industri dan penelitian akademik.

SAIDI adalah indeks yang digunakan untuk mewakili rata-rata durasi kumulatif pemadaman listrik yang dialami pelanggan dalam periode tertentu, biasanya satu tahun. Nilai SAIDI yang lebih tinggi mencerminkan durasi pemadaman yang lebih lama yang dialami pelanggan, sehingga mencerminkan rendahnya kontinuitas pasokan listrik [3], [4], [17]. Secara matematis, nilai SAIDI dapat dinyatakan dengan persamaan 1 di bawah ini:

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

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

dengan:

U_i = durasi pemadaman ke-i (jam),

N_i = jumlah pelanggan yang terdampak pada pemadaman ke-i

N_T = total jumlah pelanggan yang dilayani.

Berdasarkan persamaan 1, nilai System Average Interruption Duration Index (SAIDI) menunjukkan rata-rata total durasi pemadaman listrik yang dialami oleh pelanggan dalam satu periode pengamatan. Persamaan ini memperhitungkan durasi setiap kejadian gangguan (U_i) yang dikalikan dengan jumlah pelanggan terdampak (N_i), kemudian dibagi dengan total pelanggan yang dilayani (N_T). Dengan demikian, persamaan ini menggambarkan tingkat kontinuitas pasokan listrik, di mana semakin besar nilai SAIDI maka semakin lama waktu pemadaman yang dirasakan pelanggan.

SAIFI mewakili frekuensi gangguan listrik yang dialami pelanggan selama periode tertentu. Indeks ini menggambarkan seberapa sering gangguan terjadi pada sistem distribusi. Nilai SAIFI yang tinggi menunjukkan sering terjadinya gangguan yang dapat disebabkan oleh kondisi jaringan yang kurang andal atau sistem proteksi yang belum optimal [6], [18]. Secara matematis, SAIFI dapat dirumuskan sebagai berikut atau dalam bentuk sederhana dapat dinyatakan dengan persamaan 2 di bawah ini:

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

Berdasarkan persamaan 2, System Average Interruption Frequency Index (SAIFI) menunjukkan rata-rata frekuensi gangguan pemadaman listrik yang dialami pelanggan dalam satu periode. Persamaan ini membandingkan jumlah pelanggan yang mengalami pemadaman dengan jumlah total pelanggan yang dilayani sistem. Nilai SAIFI yang tinggi mengindikasikan bahwa gangguan pemadaman sering terjadi, sehingga mencerminkan rendahnya keandalan sistem distribusi dari sisi frekuensi gangguan.

CAIDI merupakan rasio antara SAIDI dan SAIFI yang menggambarkan rata-rata durasi pemadaman untuk setiap kejadian gangguan. Indeks ini berkaitan erat dengan kecepatan pemulihan sistem setelah terjadi gangguan. Nilai CAIDI yang rendah menunjukkan bahwa sistem distribusi memiliki waktu pemulihan yang relatif cepat [4], [19]. Secara matematis, CAIDI dapat dihitung menggunakan persamaan 3 di bawah ini:

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

Berdasarkan persamaan 3, Customer Average Interruption Duration Index (CAIDI) merupakan perbandingan antara nilai SAIDI dan SAIFI. Persamaan ini menunjukkan rata-rata durasi pemadaman untuk setiap kejadian gangguan yang dialami pelanggan. Nilai CAIDI yang rendah menandakan bahwa waktu pemulihan sistem setelah gangguan relatif cepat, sedangkan nilai yang tinggi menunjukkan lamanya proses penormalan jaringan.

D. Standar Keandalan Sistem Distribusi

Menilai keandalan sistem distribusi memerlukan standar yang jelas sebagai acuan. Di Indonesia, PT. PLN (Persero) mengadopsi Standar Perusahaan Listrik Negara (SPLN) 68-2:1986 sebagai patokan nasional untuk mengevaluasi keandalan jaringan distribusi. Standar ini menetapkan batas yang diperbolehkan untuk nilai SAIDI dan SAIFI untuk memastikan bahwa layanan listrik memenuhi standar kualitas yang dibutuhkan bagi pelanggan.

Berdasarkan Tabel 1, Standar Perusahaan Listrik Negara (SPLN) 68-2:1986 menetapkan batas maksimum nilai indeks keandalan sistem distribusi di Indonesia. Nilai standar SAIFI sebesar 3,2 kali/pelanggan/tahun dan SAIDI sebesar 21

jam/pelanggan/tahun digunakan sebagai tolok ukur kualitas pelayanan listrik nasional. Selain itu, nilai CAIDI sebesar 6,56 jam/kali/tahun menunjukkan batas waktu rata-rata pemulihan yang masih dapat diterima menurut standar nasional.

Tabel 1. Nilai Indeks Keandalan SPLN 68-2:1986 [20]

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

Selain standar nasional, evaluasi keandalan juga sering mengacu pada standar internasional IEEE Std. 1366, yang memberikan definisi, metode perhitungan, serta interpretasi indeks keandalan secara lebih komprehensif. Penggunaan standar IEEE memungkinkan hasil analisis keandalan dibandingkan dengan praktik terbaik (benchmark) internasional [20], [21].

Tabel 2. Nilai Indeks Keandalan Standar WCS & WCC [4]

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

Berdasarkan Tabel 2, standar World Class Service (WCS) dan World Class Company (WCC) menetapkan nilai indeks keandalan yang lebih ketat dibandingkan standar nasional. Nilai SAIDI sebesar 1,66 jam/pelanggan/tahun dan SAIFI sebesar 3 kali/pelanggan/tahun menunjukkan target pelayanan listrik dengan tingkat gangguan dan durasi pemadaman yang sangat rendah. Hal ini mencerminkan standar keandalan yang digunakan sebagai acuan perusahaan listrik berkelas dunia.

Tabel 3. Nilai Indeks Keandalan IEEE Std 1366TM-2003 [3]

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

Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3, IEEE Std 1366TM-2003 berfungsi sebagai referensi internasional untuk menilai keandalan sistem distribusi tenaga listrik. Standar ini mendefinisikan batas SAIFI sebesar 1,45 gangguan per pelanggan per tahun dan batas SAIDI sebesar 2,3 jam per pelanggan per tahun, yang mewakili praktik terbaik dalam pengelolaan jaringan distribusi. Selain itu, nilai CAIDI yang ditentukan sebesar 1,47 jam per gangguan mencerminkan tolok ukur yang efisien untuk kinerja pemulihan gangguan sistem.

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Rancangan dan Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif untuk menganalisis keandalan sistem distribusi tenaga listrik. Objek penelitian adalah jaringan distribusi 20 kV yang dioperasikan oleh PT. PLN (Persero) ULP Karanganyar. Analisis didasarkan pada data historis gangguan jaringan yang

dikumpulkan selama periode pengamatan tertentu, sehingga hasilnya dapat secara akurat mewakili kondisi operasi aktual sistem distribusi yang diteliti [5], [6].

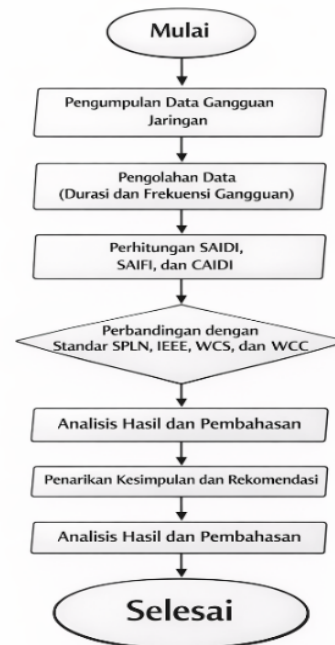
B. Sumber dan Teknik Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari catatan frekuensi gangguan, durasi pemadaman, jumlah pelanggan yang terdampak, dan jumlah total pelanggan yang dilayani oleh sistem distribusi 20 kV. Data diperoleh dari laporan operasional dan sistem pencatatan gangguan PT. PLN (Persero) ULP Karanganyar. Data tersebut kemudian diverifikasi untuk memastikan kelengkapan dan konsistensinya sebelum dilakukan analisis [7], [10].

C. Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan menghitung indeks SAIDI, SAIFI, dan CAIDI menggunakan rumus standar yang umum digunakan dalam studi keandalan sistem tenaga listrik. Nilai indeks keandalan yang dihasilkan kemudian dievaluasi terhadap tolok ukur yang ditentukan dalam SPLN 68-2:1986 dan IEEE Std. 1366 untuk menilai tingkat keandalan sistem distribusi 20 kV yang dioperasikan oleh PT. PLN (Persero) ULP Karanganyar [3], [4], [20].

Tahapan analisis penelitian disusun secara sistematis dan divisualisasikan dalam bentuk diagram alir (flowchart) guna memastikan proses penelitian dapat direplikasi oleh peneliti lain.



Gambar 1. Flowchart Penelitian

Berdasarkan Gambar 1, diagram alir penelitian menunjukkan tahapan analisis keandalan sistem distribusi yang dilakukan secara sistematis dan berurutan. Proses penelitian dimulai dari pengumpulan data gangguan jaringan, kemudian dilanjutkan dengan pengolahan data berupa durasi dan frekuensi gangguan. Selanjutnya dilakukan perhitungan indeks keandalan SAIDI, SAIFI, dan CAIDI. Hasil perhitungan tersebut dibandingkan dengan standar SPLN, IEEE, WCS, dan WCC untuk menilai tingkat keandalan sistem. Tahap akhir meliputi analisis hasil, pembahasan, serta penarikan kesimpulan dan rekomendasi, sehingga alur penelitian dapat direplikasi oleh peneliti lain.

Tabel 4. Rekapitulasi Data Pelanggan dan Laporan Monitoring Gangguan PT. PLN (Persero) ULP KARANGANYAR Periode Januari-Desember 2024

Bulan	Data Monitoring		
	Jumlah Pelanggan	Jumlah Pelanggan Padam	Jam x Pelanggan Padam
Januari	152.353	26.412	33.264,94
Februari	152.631	3.723	6.438,79
Maret	152.954	3.691	7.700,09
April	153.277	41.765	12.780,66
Mei	153.632	6.213	7.711,99
Juni	154.064	3.544	3.872,15
Juli	154.445	3.827	3.816,24
Agustus	154.939	4.633	3.841,13
September	155.348	9.802	5.203,75
Oktober	155.811	20.532	5.574,08
November	156.114	31.564	9.636,93
Desember	156.405	91.357	42.576,86

IV. PERCOBAAN DAN ANALISA

A. Data Monitoring Gangguan Sistem Distribusi Tahun 2024

Data monitoring gangguan sistem distribusi merupakan salah satu instrumen penting dalam upaya pengendalian dan peningkatan keandalan penyaluran tenaga listrik. Monitoring ini dilakukan secara berkala untuk mencatat kondisi operasional sistem distribusi, termasuk jumlah pelanggan yang dilayani, pelanggan yang mengalami pemadaman, serta durasi gangguan yang terjadi. Informasi tersebut menjadi dasar dalam evaluasi kinerja pelayanan dan perencanaan pemeliharaan jaringan distribusi listrik.

Pada tahun 2024, kegiatan monitoring gangguan sistem distribusi di PT. PLN (Persero) ULP Karanganyar dilaksanakan secara berkesinambungan selama periode Januari hingga Desember. Data yang dihimpun mencerminkan kondisi pelayanan kelistrikan di wilayah kerja ULP Karanganyar dalam kurun waktu tersebut, dengan cakupan seluruh pelanggan yang terhubung pada sistem distribusi.

Adapun rekapitulasi data monitoring gangguan sistem distribusi tahun 2024 disajikan dalam bentuk tabel untuk memudahkan pembacaan dan pemahaman. Tabel tersebut memuat informasi jumlah pelanggan, jumlah pelanggan padam, serta akumulasi Jam x Pelanggan Padam pada setiap bulan sebagai gambaran umum kondisi operasional dan pelayanan sistem distribusi tenaga listrik selama satu tahun.

Berdasarkan Tabel 4, jumlah pelanggan di PT. PLN (Persero) ULP Karanganyar sepanjang tahun 2024 menunjukkan peningkatan secara bertahap. Jumlah pelanggan tercatat sebanyak 152.353 pelanggan pada bulan Januari dan terus bertambah hingga mencapai 156.405 pelanggan pada bulan Desember. Kondisi ini menunjukkan adanya pertumbuhan pelanggan yang dilayani selama tahun berjalan.

Sementara itu, jumlah pelanggan padam serta nilai jam x pelanggan padam mengalami fluktuasi yang cukup signifikan setiap bulannya. Nilai gangguan tertinggi terjadi pada bulan Desember, dengan jumlah pelanggan padam mencapai 91.357 pelanggan dan akumulasi durasi gangguan sebesar 42.576,86

jam-pelanggan. Kondisi tersebut mengindikasikan terjadinya gangguan berskala besar atau adanya faktor eksternal, seperti cuaca ekstrem maupun gangguan sistem yang meluas. Sebaliknya, pada bulan Februari dan Juni tercatat nilai gangguan yang relatif rendah, yang mencerminkan kondisi keandalan sistem distribusi yang lebih baik pada periode tersebut.

B. Perhitungan Indeks Keandalan SAIDI, SAIFI, dan CAIDI PT. PLN (Persero) ULP KARANGANYAR Tahun 2024

Perhitungan indeks keandalan SAIDI, SAIFI, dan CAIDI di PT. PLN (Persero) ULP Karanganyar untuk periode Januari–Desember 2024 didasarkan pada data pada Tabel 4, dengan rincian sebagai berikut.

a. Perhitungan Indeks Keandalan SAIDI PT. PLN (Persero) ULP KARANGANYAR Tahun 2024

Perhitungan indeks SAIDI untuk tahun 2024 di PT. PLN (Persero) ULP Karanganyar bertujuan untuk mengidentifikasi rata-rata durasi pemadaman listrik yang dialami pelanggan selama periode pengamatan. SAIDI berfungsi sebagai parameter penting dalam mengevaluasi keandalan sistem distribusi listrik, karena mewakili durasi kumulatif pemadaman selama periode satu tahun.

Berdasarkan Persamaan 1, SAIDI digunakan untuk menggambarkan rata-rata durasi pemadaman yang dialami setiap pelanggan dalam periode tertentu. Semakin kecil nilai SAIDI, maka semakin baik tingkat keandalan sistem distribusi tenaga listrik.

Berdasarkan Tabel 5 menunjukkan bahwa nilai SAIDI PT. PLN (Persero) ULP Karanganyar selama tahun 2024 secara umum berada pada tingkat yang relatif kecil dan cenderung stabil. Hal ini mengindikasikan bahwa rata-rata durasi pemadaman listrik yang dialami pelanggan tergolong singkat, sehingga keandalan sistem distribusi listrik dapat dikatakan cukup baik. Pada sebagian besar bulan, nilai SAIDI berada di bawah 0,10 jam/pelanggan/bulan, yang mencerminkan kemampuan sistem dalam meminimalkan lama gangguan terhadap pelanggan.

Tabel 5. Perhitungan Indeks Keandalan SAIDI PT. PLN (Persero) ULP KARANGANYAR Tahun 2024

Bulan	Data Monitoring			
	Jumlah Pelanggan	Jumlah Pelanggan Padam	Jam x Pelanggan Padam	Perhitungan SAIDI
Januari	152.353	26.412	33.264,94	$SAIDI = \frac{33.264,94}{152.353}$ $SAIDI = 0,22 \text{ Jam/Pelanggan/Bulan}$
Februari	152.631	3.723	6.438,79	$SAIDI = \frac{6.438,79}{152.631}$ $SAIDI = 0,04 \text{ Jam/Pelanggan/Bulan}$
Maret	152.954	3.691	7.700,09	$SAIDI = \frac{7.700,09}{152.954}$ $SAIDI = 0,05 \text{ Jam/Pelanggan/Bulan}$
April	153.277	41.765	12.780,66	$SAIDI = \frac{12.780,66}{153.277}$ $SAIDI = 0,08 \text{ Jam/Pelanggan/Bulan}$
Mei	153.632	6.213	7.711,99	$SAIDI = \frac{7.711,99}{153.632}$ $SAIDI = 0,05 \text{ Jam/Pelanggan/Bulan}$
Juni	154.064	3.544	3.872,15	$SAIDI = \frac{3.872,15}{154.064}$ $SAIDI = 0,03 \text{ Jam/Pelanggan/Bulan}$
Juli	154.445	3.827	3.816,24	$SAIDI = \frac{3.816,24}{154.445}$ $SAIDI = 0,02 \text{ Jam/Pelanggan/Bulan}$
Agustus	154.939	4.633	3.841,13	$SAIDI = \frac{3.841,13}{154.939}$ $SAIDI = 0,02 \text{ Jam/Pelanggan/Bulan}$
September	155.348	9.802	5.203,75	$SAIDI = \frac{5.203,75}{155.348}$ $SAIDI = 0,03 \text{ Jam/Pelanggan/Bulan}$
Oktober	155.811	20.532	5.574,08	$SAIDI = \frac{5.574,08}{155.811}$ $SAIDI = 0,04 \text{ Jam/Pelanggan/Bulan}$
November	156.114	31.564	9.636,93	$SAIDI = \frac{9.636,93}{156.114}$ $SAIDI = 0,06 \text{ Jam/Pelanggan/Bulan}$
Desember	156.405	91.357	42.576,86	$SAIDI = \frac{42.576,86}{156.405}$ $SAIDI = 0,27 \text{ Jam/Pelanggan/Bulan}$

Berdasarkan persamaan perhitungan SAIDI, yaitu perbandingan antara total jam gangguan dikalikan jumlah pelanggan padam terhadap total jumlah pelanggan, dapat dipahami bahwa nilai SAIDI sangat dipengaruhi oleh durasi gangguan dan luasnya dampak pemadaman. Berdasarkan persamaan tersebut, meskipun jumlah pelanggan padam relatif tinggi pada beberapa bulan, nilai SAIDI tetap rendah apabila durasi gangguan dapat ditekan. Hal ini terlihat pada bulan April dan November, di mana jumlah pelanggan padam cukup besar, namun nilai SAIDI masih berada pada kategori rendah hingga sedang.

Berdasarkan Tabel 5, nilai SAIDI terendah terjadi pada bulan Juli dan Agustus, masing-masing sebesar 0,02 jam/pelanggan/bulan. Kondisi ini menunjukkan bahwa selama periode tersebut, gangguan yang terjadi bersifat minimal baik dari sisi durasi maupun jumlah pelanggan terdampak. Rendahnya nilai SAIDI pada bulan-bulan ini mengindikasikan stabilitas sistem jaringan serta efektivitas pemeliharaan dan penanganan gangguan yang dilakukan oleh unit pelayanan.

Sebaliknya, berdasarkan tabel yang sama, nilai SAIDI tertinggi terjadi pada bulan Desember sebesar 0,27 jam/pelanggan/bulan. Peningkatan signifikan ini sejalan dengan tingginya jumlah pelanggan padam serta besarnya akumulasi jam gangguan pada bulan tersebut. Kondisi ini kemungkinan dipengaruhi oleh faktor eksternal seperti cuaca ekstrem dan meningkatnya aktivitas masyarakat menjelang akhir tahun, yang berpotensi menambah beban sistem dan risiko gangguan.

Secara keseluruhan, berdasarkan analisis Tabel 5 dan persamaan SAIDI, dapat disimpulkan bahwa keandalan sistem distribusi listrik sepanjang tahun 2024 berada dalam kondisi yang cukup baik. Meskipun terjadi lonjakan nilai SAIDI pada bulan tertentu, khususnya Desember, nilai SAIDI tahunan secara umum tetap rendah. Oleh karena itu, upaya peningkatan keandalan perlu difokuskan pada periode dengan risiko gangguan tinggi agar durasi pemadaman yang dirasakan pelanggan dapat terus diminimalkan.

Tabel 6. Perhitungan Indeks Keandalan SAIFI PT. PLN(Persero) ULP KARANGANYAR Tahun 2024

Bulan	Data Monitoring			
	Jumlah Pelanggan	Jumlah Pelanggan Padam	Jam x Pelanggan Padam	Perhitungan SAIFI
Januari	152.353	26.412	33.264,94	$SAIFI = \frac{26.412}{152.353}$ <i>SAIFI = 0,17 Kali/Pelanggan/Bulan</i>
Februari	152.631	3.723	6.438,79	$SAIFI = \frac{3.723}{152.631}$ <i>SAIFI = 0,02 Kali/Pelanggan/Bulan</i>
Maret	152.954	3.691	7.700,09	$SAIFI = \frac{3.691}{152.954}$ <i>SAIFI = 0,02 Kali/Pelanggan/Bulan</i>
April	153.277	41.765	12.780,66	$SAIFI = \frac{41.765}{153.277}$ <i>SAIFI = 0,27 Kali/Pelanggan/Bulan</i>
Mei	153.632	6.213	7.711,99	$SAIFI = \frac{6.213}{153.632}$ <i>SAIFI = 0,04 Kali/Pelanggan/Bulan</i>
Juni	154.064	3.544	3.872,15	$SAIFI = \frac{3.544}{154.064}$ <i>SAIFI = 0,02 Kali/Pelanggan/Bulan</i>
Juli	154.445	3.827	3.816,24	$SAIFI = \frac{3.827}{154.445}$ <i>SAIFI = 0,02 Kali/Pelanggan/Bulan</i>
Agustus	154.939	4.633	3.841,13	$SAIFI = \frac{4.633}{154.939}$ <i>SAIFI = 0,3 Kali/Pelanggan/Bulan</i>
September	155.348	9.802	5.203,75	$SAIFI = \frac{9.802}{155.348}$ <i>SAIFI = 0,06 Kali/Pelanggan/Bulan</i>
Oktober	155.811	20.532	5.574,08	$SAIFI = \frac{20.532}{155.811}$ <i>SAIFI = 0,13 Kali/Pelanggan/Bulan</i>
November	156.114	31.564	9.636,93	$SAIFI = \frac{31.564}{156.114}$ <i>SAIFI = 0,2 Kali/Pelanggan/Bulan</i>
Desember	156.405	91.357	42.576,86	$SAIFI = \frac{91.357}{156.405}$ <i>SAIFI = 0,58 Kali/Pelanggan/Bulan</i>

b. Perhitungan Indeks Keandalan SAIFI PT. PLN (Persero) ULP KARANGANYAR Tahun 2024

Perhitungan indeks SAIFI untuk tahun 2024 di PT. PLN (Persero) ULP Karanganyar dilakukan untuk menentukan frekuensi rata-rata pemadaman listrik yang dialami pelanggan. SAIFI berfungsi sebagai indikator untuk mengevaluasi tingkat kejadian pemadaman pada sistem distribusi listrik dalam periode tertentu.

Berdasarkan Persamaan 2, SAIFI menunjukkan frekuensi rata-rata pemadaman yang dialami pelanggan. Nilai SAIFI yang rendah menandakan bahwa pemadaman jarang terjadi.

Berdasarkan Tabel 6 menunjukkan bahwa nilai SAIFI PT. PLN (Persero) ULP Karanganyar tahun 2024 secara umum berada pada tingkat yang relatif rendah. Hal ini mengindikasikan bahwa frekuensi pemadaman listrik yang dialami pelanggan masih tergolong jarang pada sebagian besar bulan. Nilai SAIFI pada bulan Februari, Maret, Juni, dan Juli tercatat paling rendah yaitu sebesar 0,02 kali/pelanggan/bulan, yang berarti rata-rata pelanggan hanya mengalami gangguan kurang dari

satu kali dalam satu bulan. Kondisi ini mencerminkan keandalan sistem distribusi yang cukup baik serta efektivitas penanganan gangguan di lapangan.

Berdasarkan persamaan perhitungan SAIFI, yaitu perbandingan antara jumlah pelanggan padam terhadap jumlah pelanggan terlayani, dapat dipahami bahwa kenaikan nilai SAIFI sangat dipengaruhi oleh banyaknya pelanggan yang mengalami pemadaman. Hal ini terlihat jelas pada bulan April dan Desember, di mana jumlah pelanggan padam meningkat signifikan sehingga berdampak langsung pada nilai indeks SAIFI. Dengan demikian, persamaan SAIFI mampu menggambarkan secara kuantitatif tingkat keandalan sistem dari sisi frekuensi gangguan yang dirasakan pelanggan.

Berdasarkan Tabel 6, nilai SAIFI tertinggi terjadi pada bulan Desember sebesar 0,58 kali/pelanggan/bulan, yang menunjukkan frekuensi pemadaman paling sering dan sejalan dengan tingginya jumlah pelanggan terdampak. Kondisi ini kemungkinan dipengaruhi oleh faktor eksternal seperti cuaca ekstrem dan peningkatan beban listrik di akhir tahun.

Tabel 7. Perhitungan Indeks Keandalan CAIDI PT. PLN (Persero) ULP KARANGANYAR Tahun 2024

Bulan	Data Monitoring			
	Jumlah Pelanggan	Jumlah Pelanggan Padam	Jam x Pelanggan Padam	Perhitungan CAIDI
Januari	152.353	26.412	33.264,94	$CAIDI = \frac{0,22}{0,17}$ $CAIDI = 1,29 \text{ Jam/Kali/Bulan}$
Februari	152.631	3.723	6.438,79	$CAIDI = \frac{0,04}{0,02}$ $CAIDI = 2,00 \text{ Jam/Kali/Bulan}$
Maret	152.954	3.691	7.700,09	$CAIDI = \frac{0,05}{0,02}$ $CAIDI = 2,50 \text{ Jam/Kali/Bulan}$
April	153.277	41.765	12.780,66	$CAIDI = \frac{0,08}{0,27}$ $CAIDI = 0,30 \text{ Jam/Kali/Bulan}$
Mei	153.632	6.213	7.711,99	$CAIDI = \frac{0,05}{0,04}$ $CAIDI = 1,25 \text{ Jam/Kali/Bulan}$
Juni	154.064	3.544	3.872,15	$CAIDI = \frac{0,03}{0,02}$ $CAIDI = 1,50 \text{ Jam/Kali/Bulan}$
Juli	154.445	3.827	3.816,24	$CAIDI = \frac{0,02}{0,02}$ $CAIDI = 1,00 \text{ Jam/Kali/Bulan}$
Agustus	154.939	4.633	3.841,13	$CAIDI = \frac{0,02}{0,03}$ $CAIDI = 0,67 \text{ Jam/Kali/Bulan}$
September	155.348	9.802	5.203,75	$CAIDI = \frac{0,03}{0,06}$ $CAIDI = 0,50 \text{ Jam/Kali/Bulan}$
Oktober	155.811	20.532	5.574,08	$CAIDI = \frac{0,04}{0,13}$ $CAIDI = 0,31 \text{ Jam/Kali/Bulan}$
November	156.114	31.564	9.636,93	$CAIDI = \frac{0,06}{0,2}$ $CAIDI = 0,30 \text{ Jam/Kali/Bulan}$
Desember	156.405	91.357	42.576,86	$CAIDI = \frac{0,27}{0,58}$ $CAIDI = 0,47 \text{ Jam/Kali/Bulan}$

Sebaliknya, nilai SAIFI yang rendah pada awal hingga pertengahan tahun menunjukkan bahwa gangguan relatif jarang dan tidak meluas, menandakan sistem proteksi serta pemeliharaan berjalan dengan baik. Secara keseluruhan, meskipun terjadi lonjakan pada bulan tertentu, keandalan sistem distribusi tahun 2024 masih tergolong cukup baik, dengan perhatian utama pada pengendalian frekuensi gangguan di akhir tahun.

c. Perhitungan Indeks Keandalan CAIDI PT. PLN (Persero) ULP KARANGANYAR Tahun 2024

Perhitungan indeks CAIDI tahun 2024 pada PT. PLN (Persero) ULP KARANGANYAR bertujuan untuk mengetahui rata-rata lama pemadaman listrik yang dialami pelanggan pada setiap kejadian gangguan. Nilai CAIDI merupakan hasil perbandingan antara SAIDI dan SAIFI yang mencerminkan efektivitas penanganan gangguan oleh pihak penyedia listrik. Berdasarkan Persamaan 3, CAIDI menggambarkan rata-rata lama pemadaman untuk setiap kejadian gangguan. Indeks ini mencerminkan kecepatan dan efektivitas penanganan gangguan oleh penyedia listrik.

Berdasarkan Tabel 7 menunjukkan bahwa nilai CAIDI PT. PLN (Persero) ULP Karanganyar tahun 2024 mengalami variasi yang cukup signifikan dari bulan ke bulan. CAIDI

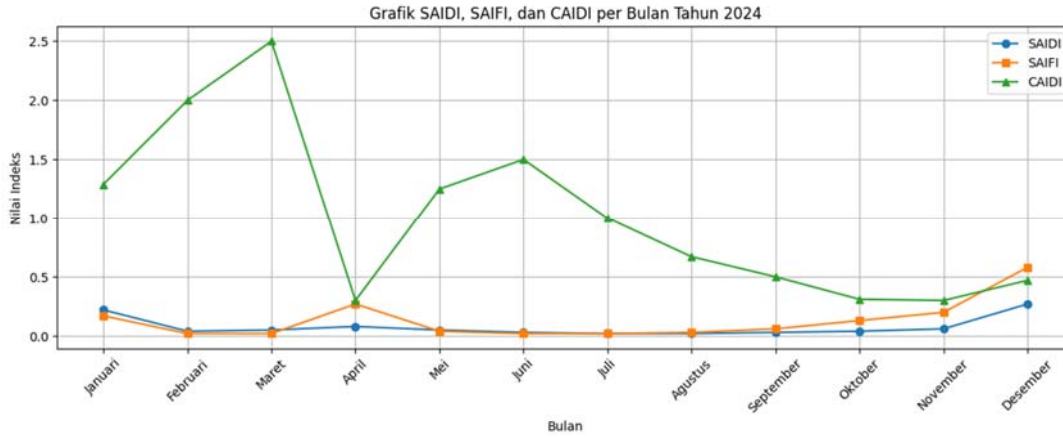
merepresentasikan rata-rata lama pemadaman untuk setiap kejadian gangguan, sehingga indeks ini sangat dipengaruhi oleh kecepatan penanganan gangguan setelah pemadaman terjadi. Secara umum, nilai CAIDI pada sebagian besar bulan berada di bawah 1,50 jam/kali/bulan, yang menandakan bahwa proses pemulihan sistem relatif cepat.

Berdasarkan persamaan perhitungan CAIDI, yaitu perbandingan antara nilai SAIDI terhadap SAIFI, dapat dijelaskan bahwa nilai CAIDI tidak hanya dipengaruhi oleh lamanya gangguan, tetapi juga oleh frekuensi pemadaman. Berdasarkan persamaan tersebut, nilai CAIDI akan tinggi apabila durasi gangguan relatif lama meskipun frekuensi pemadaman rendah. Hal ini terlihat jelas pada bulan Maret, di mana nilai SAIDI dan SAIFI relatif kecil, namun menghasilkan nilai CAIDI tertinggi.

Berdasarkan Tabel 7, nilai CAIDI tertinggi terjadi pada bulan Maret sebesar 2,50 jam/kali/bulan. Kondisi ini menunjukkan bahwa meskipun frekuensi pemadaman pada bulan tersebut rendah, setiap kejadian gangguan membutuhkan waktu pemulihan yang relatif lebih lama. Hal ini dapat disebabkan oleh jenis gangguan yang bersifat lebih kompleks atau memerlukan penanganan teknis yang lebih intensif dibandingkan bulan lainnya.

Tabel 8. Indeks Keandalan SAIDI, SAIFI, dan CAIDI Periode Januari-Desember 2024 PT. PLN (Persero) ULP KARANGANYAR

Bulan	Indeks Keandalan		
	SAIDI (Jam/Pelanggan/Bulan)	SAIFI (Kali/Pelanggan/Bulan)	CAIDI (Jam/Kali/Bulan)
Januari	0,22	0,17	1,29
Februari	0,04	0,02	2,00
Maret	0,05	0,02	2,50
April	0,08	0,27	0,30
Mei	0,05	0,04	1,25
Juni	0,03	0,02	1,50
Juli	0,02	0,02	1,00
Agustus	0,02	0,03	0,67
September	0,03	0,06	0,50
Oktober	0,04	0,13	0,31
November	0,06	0,2	0,30
Desember	0,27	0,58	0,47
Total	0,91	1,56	12,09



Gambar 5. Grafik Nilai Hasil Perhitungan SAIDI, SAIFI dan CAIDI Periode Januari-Desember 2024 PT. PLN (Persero) ULP KARANGANYAR

Sebaliknya, berdasarkan tabel yang sama, nilai CAIDI terendah terjadi pada bulan April sebesar 0,30 jam/kali/bulan. Nilai CAIDI yang rendah ini menunjukkan bahwa meskipun frekuensi gangguan pada bulan April cukup tinggi, durasi pemadaman dapat ditangani dengan cepat. Hal ini mengindikasikan kesiapan petugas serta efektivitas sistem proteksi dan manajemen gangguan dalam mempercepat proses pemulihan jaringan.

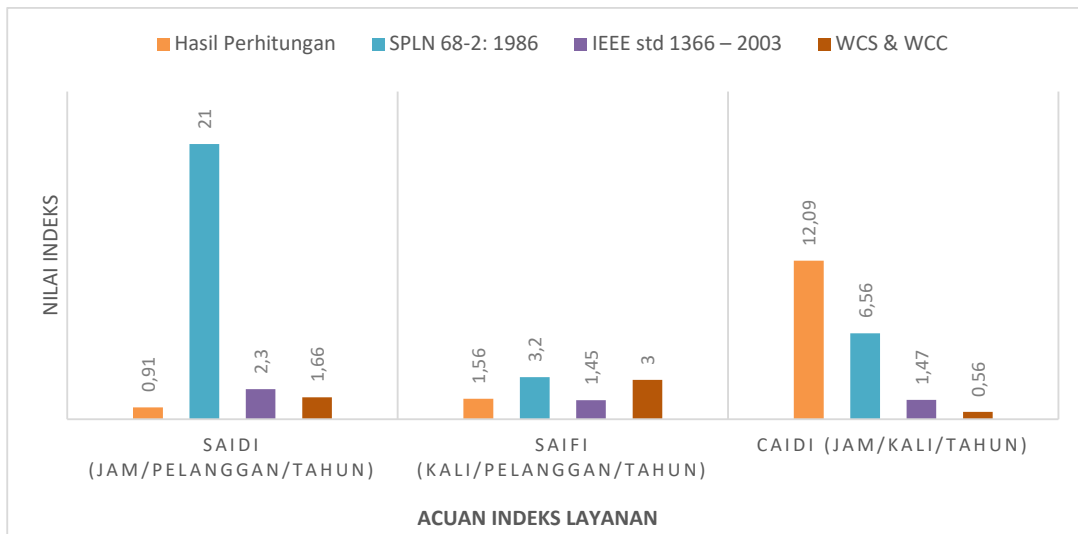
Berdasarkan hasil perhitungan indeks SAIDI, SAIFI, dan CAIDI yang disajikan pada Tabel 5, Tabel 6, dan Tabel 7, selanjutnya disusun rekapitulasi indeks keandalan sistem distribusi tenaga listrik di PT. PLN (Persero) ULP Karanganyar. Rekapitulasi ini bertujuan untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai tingkat keandalan sistem distribusi dari sisi durasi pemadaman (SAIDI), frekuensi pemadaman (SAIFI), serta rata-rata lama pemadaman per kejadian (CAIDI). Hasil rekapitulasi tersebut kemudian disajikan dalam Tabel 8 sebagai dasar analisis lanjutan dalam mengevaluasi kinerja keandalan sistem distribusi tenaga listrik di wilayah kerja ULP Karanganyar.

Berdasarkan Tabel 8 menunjukkan bahwa indeks keandalan sistem distribusi tenaga listrik PT. PLN (Persero) ULP Karanganyar selama periode Januari–Desember 2024 berada pada tingkat yang relatif baik. Total nilai SAIDI sebesar 0,91 jam/pelanggan/tahun mengindikasikan bahwa rata-rata pelanggan hanya mengalami pemadaman kurang dari satu jam dalam satu tahun. Sementara itu, total SAIFI sebesar 1,56 kali/pelanggan/tahun menunjukkan bahwa frekuensi gangguan yang dialami pelanggan masih tergolong rendah, yaitu sekitar satu hingga dua kali dalam setahun. Hal ini mencerminkan bahwa secara umum sistem distribusi memiliki keandalan yang cukup baik dari sisi durasi dan frekuensi pemadaman.

Berdasarkan tabel yang sama, nilai CAIDI total sebesar 12,09 jam/kali/tahun menunjukkan bahwa rata-rata waktu pemulihan gangguan per kejadian masih relatif tinggi jika dibandingkan dengan rendahnya nilai SAIDI dan SAIFI. Kondisi ini mengindikasikan bahwa meskipun gangguan tidak sering terjadi dan total durasinya kecil, namun pada beberapa kejadian tertentu proses penormalan jaringan membutuhkan waktu yang cukup lama. Dengan demikian, CAIDI menjadi indikator penting untuk mengevaluasi kecepatan dan efektivitas

Tabel 9. 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	0,91	2,3	21	1,66	kali/pelanggan/tahun	(IEEE, SPLN, WCS & WCC) Memenuhi standar
2	SAIFI	1,56	1,45	3,2	3	jam/pelanggan/tahun	(IEEE, SPLN, WCS & WCC) Memenuhi standar
3	CAIDI	12,09	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

penanganan gangguan oleh petugas operasional. Berdasarkan Gambar 5 menunjukkan bahwa nilai SAIDI dan SAIFI cenderung berada pada level rendah dan stabil sepanjang tahun, dengan kenaikan yang cukup signifikan pada bulan Desember. Sebaliknya, nilai CAIDI terlihat lebih fluktuatif dan memiliki nilai yang relatif lebih besar dibandingkan dua indeks lainnya. Pola ini mempertegas bahwa permasalahan utama keandalan sistem bukan terletak pada seringnya gangguan, melainkan pada lama waktu pemulihan gangguan pada kejadian tertentu. Berdasarkan grafik pada Gambar 5, terlihat bahwa pada bulan-bulan awal hingga pertengahan tahun, CAIDI memiliki nilai tinggi meskipun SAIDI dan SAIFI rendah, seperti pada bulan Februari dan Maret. Hal ini menunjukkan bahwa gangguan yang terjadi pada periode tersebut bersifat jarang, namun memerlukan waktu perbaikan yang lebih lama. Sebaliknya, pada bulan April dan November, meskipun frekuensi gangguan meningkat, nilai CAIDI justru rendah, yang menandakan bahwa gangguan dapat ditangani dengan cepat dan efisien. Secara keseluruhan, berdasarkan Tabel 8, Gambar 5, serta persamaan indeks SAIDI, SAIFI, dan CAIDI, dapat disimpulkan bahwa sistem distribusi tenaga listrik di ULP Karanganyar memiliki tingkat keandalan yang baik dari sisi durasi dan frekuensi gangguan. Namun demikian, upaya peningkatan keandalan masih perlu difokuskan pada percepatan waktu pemulihan gangguan agar nilai CAIDI dapat ditekan. Dengan peningkatan respons gangguan dan

optimalisasi manajemen pemeliharaan, kualitas pelayanan listrik kepada pelanggan diharapkan dapat semakin meningkat.

C. Evaluasi Terhadap Standar dan Implikasi Operasional

Evaluasi terhadap standar dan implikasi operasional dilakukan untuk mengetahui tingkat keandalan sistem distribusi tenaga listrik berdasarkan indeks-indeks keandalan yang berlaku. Indeks keandalan tersebut meliputi SAIDI (System Average Interruption Duration Index), SAIFI (System Average Interruption Frequency Index), dan CAIDI (Customer Average Interruption Duration Index), yang masing-masing digunakan untuk menggambarkan durasi, frekuensi, dan rata-rata lama gangguan yang dialami pelanggan.

Dalam evaluasi ini, hasil perhitungan indeks keandalan dibandingkan dengan beberapa acuan standar yang umum digunakan, yaitu standar internasional IEEE std 1366–2003, standar nasional SPLN 68-2:1986, serta parameter WCS & WCC. Perbandingan tersebut bertujuan untuk menilai kesesuaian kinerja sistem distribusi terhadap batasan nilai yang telah ditetapkan, sekaligus memberikan gambaran mengenai kondisi keandalan pelayanan listrik dari sisi operasional. Adapun hasil perbandingan antara nilai perhitungan indeks keandalan dengan masing-masing standar acuan tersebut disajikan pada Tabel 9.

Berdasarkan Tabel 9 (Perbandingan Hasil Perhitungan dengan Parameter Indeks Keandalan) menunjukkan bahwa kinerja

keandalan sistem distribusi tenaga listrik di PT. PLN (Persero) ULP Karanganyar secara umum sudah memenuhi standar pada beberapa indikator utama. Nilai SAIDI sebesar 0,91 jam/pelanggan/tahun berada jauh di bawah batas standar IEEE Std 1366–2003 (2,3 jam/pelanggan/tahun), SPLN 68-2:1986 (21 jam/pelanggan/tahun), maupun WCS & WCC (1,66 jam/pelanggan/tahun). Hal ini menunjukkan bahwa durasi pemadaman rata-rata yang dialami pelanggan selama satu tahun masih tergolong rendah dan telah memenuhi seluruh Berdasarkan tabel yang sama, nilai SAIFI sebesar 1,56 kali/pelanggan/tahun juga masih berada dalam batas standar yang ditetapkan, yaitu di bawah IEEE Std 1366–2003 (1,45 kali/pelanggan/tahun) dengan selisih yang relatif kecil, serta jauh di bawah SPLN 68-2:1986 (3,2 kali/pelanggan/tahun) dan WCS & WCC (3 kali/pelanggan/tahun). Kondisi ini menunjukkan bahwa frekuensi pemadaman listrik di wilayah ULP Karanganyar tergolong jarang dan secara operasional sistem distribusi telah berjalan dengan baik dalam mencegah gangguan berulang.

Namun demikian, berdasarkan Tabel 9 juga menunjukkan bahwa indikator CAIDI sebesar 12,09 jam/kali/tahun belum memenuhi standar keandalan yang berlaku. Nilai ini melampaui batas standar IEEE Std 1366–2003 (1,47 jam/kali/tahun), SPLN 68-2:1986 (6,56 jam/kali/tahun), serta terutama WCS & WCC (0,56 jam/kali/tahun). Hal ini mengindikasikan bahwa meskipun gangguan jarang terjadi dan total durasinya kecil, rata-rata waktu penanganan gangguan per kejadian masih relatif lama dan menjadi titik lemah dalam kinerja keandalan sistem.

Berdasarkan Gambar 6 menunjukkan secara visual perbandingan antara hasil perhitungan indeks keandalan dengan standar acuan. Terlihat jelas bahwa batang SAIDI dan SAIFI hasil perhitungan berada di bawah seluruh ambang batas standar, sedangkan batang CAIDI hasil perhitungan justru melebihi seluruh standar, khususnya standar WCS & WCC. Visualisasi ini mempertegas hasil evaluasi pada tabel bahwa permasalahan utama keandalan sistem bukan terletak pada durasi total maupun frekuensi gangguan, melainkan pada kecepatan restorasi atau pemulihan sistem saat gangguan terjadi.

Secara operasional, berdasarkan analisis tabel dan grafik evaluasi, implikasi yang dapat ditarik adalah perlunya peningkatan kinerja pada aspek manajemen penanganan gangguan, seperti percepatan waktu respon, optimalisasi sumber daya pemeliharaan, serta peningkatan keandalan peralatan dan sistem proteksi. Dengan menurunkan nilai CAIDI, maka keandalan sistem distribusi di ULP Karanganyar tidak hanya memenuhi standar dari sisi durasi dan frekuensi gangguan, tetapi juga dari sisi rata-rata lama pemadaman per kejadian, sehingga kualitas pelayanan kepada pelanggan dapat semakin optimal.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengolahan dan analisis data gangguan sistem distribusi tenaga listrik 20 kV di PT. PLN (Persero) ULP Karanganyar selama periode Januari–Desember 2024, dapat disimpulkan bahwa tingkat keandalan sistem distribusi secara umum berada pada kondisi yang baik dari sisi durasi dan frekuensi pemadaman. Nilai SAIDI tahunan sebesar 0,91 jam/pelanggan/tahun menunjukkan bahwa rata-rata pelanggan hanya mengalami pemadaman dengan total durasi kurang dari satu jam dalam setahun, sementara nilai SAIFI sebesar 1,56 kali/pelanggan/tahun mengindikasikan bahwa frekuensi

gangguan relatif jarang. Kedua nilai tersebut telah memenuhi bahkan melampaui standar keandalan yang ditetapkan oleh SPLN 68-2:1986, IEEE Std 1366–2003, serta parameter WCS & WCC, sehingga dapat disimpulkan bahwa sistem distribusi di ULP Karanganyar cukup andal dalam mencegah gangguan yang sering dan berkepanjangan. Namun demikian, hasil analisis CAIDI menunjukkan nilai sebesar 12,09 jam/kali/tahun, yang masih berada di atas seluruh standar acuan, baik nasional maupun internasional. Kondisi ini mengindikasikan bahwa meskipun gangguan tidak sering terjadi dan total durasinya relatif kecil, rata-rata waktu pemulihan untuk setiap kejadian gangguan masih tergolong lama, sehingga menjadi titik lemah utama dalam kinerja keandalan sistem. Variasi nilai CAIDI antar bulan juga menunjukkan bahwa pada beberapa kejadian gangguan tertentu, proses restorasi jaringan membutuhkan penanganan yang lebih kompleks dan waktu yang lebih panjang. Oleh karena itu, upaya peningkatan keandalan ke depan perlu difokuskan pada percepatan waktu penormalan gangguan melalui optimalisasi manajemen pemeliharaan, peningkatan kesiapan sumber daya manusia dan peralatan, serta penerapan teknologi monitoring dan proteksi yang lebih responsif. Selain itu, penelitian selanjutnya dapat dikembangkan dengan menganalisis penyebab spesifik tingginya nilai CAIDI pada gangguan tertentu, misalnya melalui klasifikasi jenis gangguan, kondisi peralatan, dan faktor lingkungan, sehingga rekomendasi peningkatan keandalan dapat disusun secara lebih spesifik dan berbasis akar permasalahan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. M. Prasetya, Linda Sartika, and Al Amin Hanifa Muslim, "Evaluation of 20 KV Distribution System Using SAIDI and SAIFI Reliability Indices at PT PLN", *emitor*, vol. 24, no. 2, pp. 115–120, Jun. 2024.
- [2] IEEE Power & Energy Society, "Distribution reliability concepts," *IEEE*, 2020. [Online]. Available: <https://www.ieee-pes.org>
- [3] IEEE Power & Energy Society, *IEEE Std 1366-2012 (Reaffirmed 2022): Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices*. New York, NY, USA: IEEE, 2022.
- [4] R. Billinton and R. N. Allan, *Reliability Evaluation of Power Systems*, 2nd ed. New York, NY, USA: Springer, 2021.
- [5] Ulfah Khairiyah Luthfiyani, Adi Setiawan, and Samsul Arifin, "Analisis Perbandingan Indeks Keandalan Sistem Jaringan Distribusi dengan Metode Section Technique dan Reliability Index Assessment (RIA): Studi Kasus Gardu Induk Balaraja", *INSOLOGI: Jurnal Sains dan Teknologi*, vol. 2, no. 1, pp. 250–264, Feb. 2023.
- [6] U. . Zulkilpi, H. . Pathoni, and D. . Tessel, "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.
- [7] F. A. Alfian, "Studi perbandingan SAIDI dan SAIFI sistem distribusi tenaga listrik," *Repository ITPLN*, Jakarta, Indonesia, 2022.
- [8] G. Sihombing, "Analisis Indeks Keandalan Secara Teknis Dan Ekonomis Jaringan Distribusi 20 kV Menggunakan Metode Section Technique Pada PT.PLN (Persero) Rayon Belawan", *JEE*, vol. 6, no. 2, pp. 105–115, Nov. 2022.
- [9] R. Aprialdi and Z. Aini, "Analisis of the Realibility of

- Electrical Distribution Systems Using the Technical Section Method and RNEA Repeat GIBP-MESIR”, *JEE*, vol. 7, no. 2, pp. 133–145, Aug. 2023.
- [10] PT. PLN (Persero), *Standar Operasi Distribusi Tegangan Menengah*. Jakarta, Indonesia, 2021.
- [11] M. A. . Rofiq, H. . Tasmono, and R. S. . Widagdo, “Analisa Keandalan Sistem Distribusi 20 kV Menggunakan Metode Reliability Index Assessment (RIA) pada Penyulang PT. PLN ULP Giri”, *snhrp*, vol. 5, pp. 117–133, Aug. 2023.
- [12] Anis, F., Lesmana, D., & Siagian. P, “Analisis Pengaruh Pemeliharaan Preventif Jaringan Distribusi 20kV Pada Penyulang Gu.03 Terhadap Indeks Keandalan Jaringan di PT.PLN (Persero) ULP Medan Timur”, *jse*, vol. 9, no. 4, Sep. 2024, Accessed: Jan. 06, 2026. [Online].
- [13] Tumiran, Sarjiya, S. P. Hadi and S. R. H. Nugroho, "Composite reliability analysis of 500 kV Jawa-Bali system related to the Northern Jawa generation and transmission expansion plan," *2017 International Conference on High Voltage Engineering and Power Systems (ICHVEPS)*, Denpasar, Indonesia, 2017, pp. 556-560, doi: 10.1109/ICHVEPS.2017.8225909.
- [14] P. Kundur, *Power System Stability and Control*. Piscataway, NJ, USA: IEEE Press, 2020.
- [15] H. Saadat, *Power System Analysis*, 3rd ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 2021.
- [16] Kezunovic, M. *et al.* “Predicting Spatiotemporal Impacts of Weather on Power Systems Using Big Data Science”. In: *Pedrycz, W., Chen, SM. (eds) Data Science and Big Data: An Environment of Computational Intelligence. Studies in Big Data*, vol 24. Springer, Cham, 2017. https://doi.org/10.1007/978-3-319-53474-9_12
- [17] A. K. Karngala and C. Singh, "Reliability Assessment Framework for the Distribution System Including Distributed Energy Resources," in *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol. 12, no. 3, pp. 1539-1548, July 2021, doi: 10.1109/TSTE.2021.3053911
- [18] J. Zhu, *Optimization of Power System Operation*. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2020.
- [19] E. Sadiq and R. Antar, “Reliability improvement of distribution networks: A case study of Duhok distribution network”, *EMITTER Int'l J. of Engin. Technol.*, vol. 13, no. 1, pp. 73-92, Jun. 2025.
- [20] PT. PLN (Persero), *SPLN 68-2:1986 – Tingkat Keandalan Sistem Distribusi*. Jakarta, Indonesia, 1986.
- [21] IEEE Power & Energy Society, “Distribution system reliability benchmarks,” *IEEE*, 2023.