

Analisis Keandalan Sistem Distribusi 20kV Penyulang SRN 02 PT.PLN (Persero) UP3 Surakarta

Reliability Analysis of 20kV Distribution System SRN 02 Transmission Line of PT PLN (Persero) UP3 Surakarta

Muhammad Rifa'i
Prodi Teknik Elektro
Universitas Muhammadiyah Semarang
Semarang, Indonesia
muhammadrifai.im@gmail.com

Sabhan Kanata
Prodi Teknik Elektro
Universitas Muhammadiyah Semarang
Semarang, Indonesia
sabhankanata@unimus.ac.id

Laily Muntasiroh
Prodi Teknik Elektro
Universitas Muhammadiyah Semarang
Semarang, Indonesia
lailymuntasiroh@unimus.ac.id

Diterima : Juni 2024
Disetujui : Oktober 2024
Dipublikasi : Januari 2025

Abstrak—PT. PLN (Persero) Unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan (UP3) Surakarta menangani layanan pelanggan dan menjaga jaringan distribusi di wilayah yang lebih kecil seperti pada Penyulang SRN 02. Penyulang tersebut melayani sebagian wilayah di Kabupaten Sragen yang meliputi wilayah pertanian, pusat pangan dan sebagian industri. Dengan banyaknya jumlah konsumen pada Penyulang SRN 02, membuat penyaluran listrik yang handal seperti tegangan yang disalurkan sesuai dengan standar dan berkurangnya jumlah pemadaman akibat gangguan. Metode yang digunakan untuk analisis keandalan yaitu metode RIA dan FMEA. Beberapa indeks yang dilakukan analisis yaitu frekuensi kegagalan rata-rata atau SAIFI, frekuensi pemadaman rata-rata atau SAIDI, frekuensi pemadaman rata-rata pelanggan atau CAIDI dan frekuensi gangguan pada pelanggan atau CAIFI. Hasil perhitungan indeks keandalan Penyulang SRN 02 tahun 2023 metode RIA untuk SAIFI 7.256 kali/tahun, SAIDI 21.906 jam/tahun, CAIDI 3.018 jam/tahun, dan CAIFI 0.325 kali/tahun. Sedangkan hasil perhitungan dengan metode FMEA untuk SAIFI 0.016 kali/tahun, SAIDI 0.487 jam/tahun, CAIDI 29.609 jam/tahun, dan CAIFI 0.033 kali/tahun. Hasil perhitungan SAIFI dan SAIDI pada metode RIA tidak normal sesuai dengan SPLN 68-2:1986. Sedangkan hasil perhitungan SAIFI dan SAIDI pada metode FMEA normal sesuai dengan SPLN 68-2:1986.

Kata Kunci—Keandalan Distribusi; RIA; FMEA

Abstract—PT. PLN (Persero) Customer Service Implementation Unit (UP3) Surakarta handles customer service and maintains distribution networks in smaller areas such as the SRN 02 Repeater. The repeater serves some areas in Sragen Regency which include agricultural areas, food centers and some industries. With the large number of consumers in SRN 02, making reliable electricity distribution such as the voltage supplied in accordance with the standard and reducing the number of blackouts due to interference. The methods used for reliability analysis are RIA and FMEA methods. Several indices are analyzed, namely the average failure frequency or SAIFI, the average outage frequency or SAIDI, the average customer outage frequency or CAIDI and the frequency of interference to

customers or CAIFI. The results of the calculation of the reliability index of SRN 02 in 2023 RIA method for SAIFI 7,256 times / year, SAIDI 21,906 hours / year, CAIDI 3,018 hours / year, and CAIFI 0.325 times / year. While the calculation results with the FMEA method for SAIFI 0.016 times / year, SAIDI 0.487 hours / year, CAIDI 29,609 hours / year, and CAIFI 0.033 times / year. The results of the calculation of SAIFI and SAIDI in the RIA method are not normal in accordance with SPLN 68-2: 1986. While the results of SAIFI and SAIDI calculations in the FMEA method are normal in accordance with SPLN 68-2: 1986.

Keywords— Distribution Reliability; RIA; FMEA

I. PENDAHULUAN

Energi listrik berperan penting didalam kehidupan. Kebutuhan akan listrik terus meningkat sejalan dengan kemajuan teknologi serta berkembangnya penduduk yang menghasilkan munculnya bermacam-macam jenis infrastruktur [1]. Energi listrik memiliki peran yang besar dalam melakukan aktivitas sehari-hari seperti dalam lingkup rumah, perkantoran, usaha, rumah sakit, dan lainnya [2]. Dengan pertumbuhan industri, teknologi, dan kebutuhan listrik yang meningkat diperlukan pasokan dan penyaluran energi yang stabil.

PT. PLN membantu kepada masyarakat dalam bidang pelayanan listrik negara. Salah satu tugasnya adalah menyediakan layanan listrik kepada konsumen [3]. Untuk memenuhi kebutuhan listrik masyarakat, PLN harus memastikan kontinuitas dan kualitas. Konsep kontinuitas berarti bahwa energi listrik yang diberikan kepada konsumen harus terus mengalir, sehingga tidak ada pemadaman yang terjadi karena gangguan. Hal tersebut disebabkan oleh kebutuhan masyarakat untuk menjalankan aktivitas sehari-harinya dalam menggunakan energi listrik [4][5]. Terdapat beberapa faktor yang menyebabkan terjadinya pemadaman listrik yaitu faktor internal yang disebabkan oleh sistem itu sendiri dan faktor eksternal seperti cuaca, ranting pohon, dan lainnya.

Tingkat kepuasan pelanggan secara langsung dipengaruhi oleh kinerja sistem distribusi, yang menyalurkan listrik dari gardu induk sampai trafo distribusi dengan standar yang berlaku [6] di beberapa sektor, sistem distribusi memiliki peran penting dalam menyediakan tenaga listrik. Kualitas daya yang disalurkan harus diperhatikan karena permintaan akan energi listrik terus meningkat [7]. Sistem distribusi PT. PLN (Persero) UP3 Surakarta sangat penting untuk distribusi energi listrik yang efisien. Karena lokasi Penyulang SRN 02 berada di wilayah perkotaan dan pedesaan dengan jarak antar kampung yang jauh, jaringan distribusi ini rentan terhadap gangguan yang disebabkan oleh pepohonan. Dari hal tersebut, menuntut PT. PLN untuk bekerja lebih dalam menyediakan listrik yang handal karena berorientasi terhadap kepuasan pelanggan [8].

Indeks keandalan merupakan angka yang menunjukkan tingkat pelayanan suplai listrik yang menuju kepada konsumen [8]. Indeks keandalan yang dilakukan analisis seperti SAIFI atau (System Average Interruption Frequency Indeks), SAIDI atau (System Average Interruption Duration Indeks), CAIDI atau (Customer Average Interruption Duration Indeks), dan CAIFI atau (Customer Average Interruption Frequency Indeks) [1][9].

Beberapa metode digunakan dalam analisis sistem distribusi 20kV dalam penelitian sebelumnya seperti metode RIA, metode FMEA, metode section technique, dan lainnya. Dengan demikian, karena tidak ada penelitian yang dilakukan mengenai keandalan Penyulang SRN 02 di PT. PLN (Persero) UP3 Surakarta, analisis keandalan Penyulang 20kV dilakukan dengan menerapkan metode RIA dan FMEA. Metode RIA menghitung gangguan sistem distribusi dengan melihat jenis jaringan yang ada pada sistem distribusi dan data pada keandalan komponen [10]. Kelebihan metode RIA yaitu menggunakan laju kegagalan sementara sehingga nilai yang akan diperoleh akan mendekati hasil di lapangan [11]. Sedangkan kekurangannya metode ini adalah dalam melakukan perhitungan hanya pada gangguan sementara [12]. Metode FMEA adalah jenis analisis yang memperhitungkan kegagalan sistem yang disebabkan oleh kegagalan komponen penyusun sistem [13]. Kekurangan menggunakan teknik ini adalah bahwa hanya mengidentifikasi kegagalan jaringan distribusi dan tidak ada perhitungan laju perbaikan untuk setiap kegagalan [12].

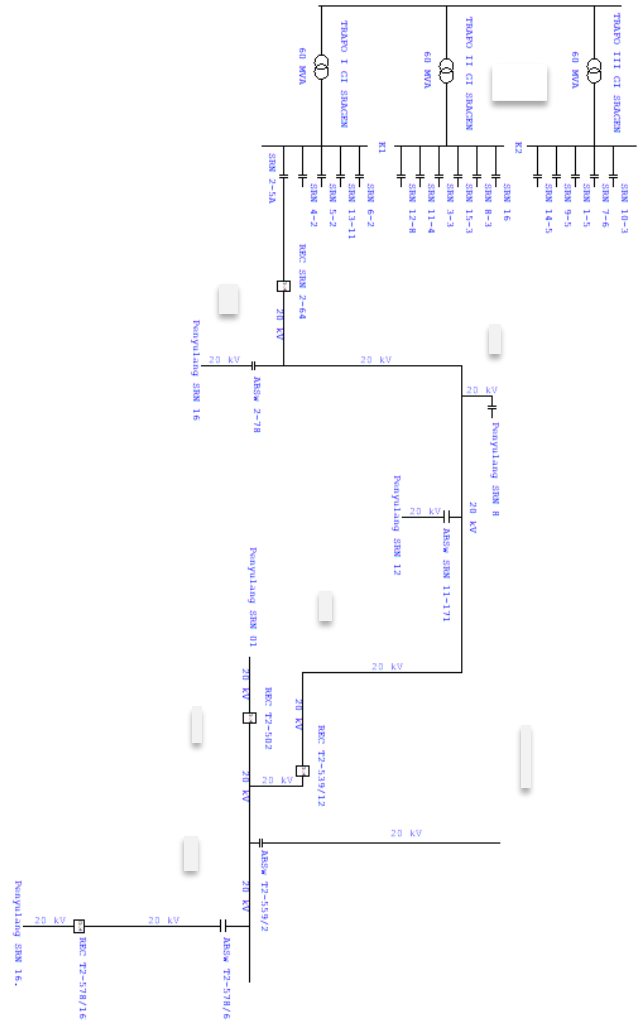
II. METODE

Untuk analisis perhitungan dalam mencari indeks keandalan dengan metode RIA dan FMEA. Metode RIA dengan menghitung gangguan yang ada pada sistem distribusi dengan mempertimbangkan tipe dari jaringan distribusi dan data pada keandalan komponen [10]. Metode kedua adalah FMEA adalah jenis analisis yang bertujuan untuk menemukan mode kegagalan, sumber kegagalan, dan efek dari kegagalan yang disebabkan oleh setiap komponen yang ada pada sistem distribusi. FMEA menganalisis kegagalan pada sistem sebagai akibat dari kegagalan komponen yang ada pada sistem [13]. Kemudian data Penyulang SRN 02 tahun 2023 yang berasal dari PT. PLN (Persero) UP3 Surakarta diolah menggunakan kedua metode tersebut. Indeks dari keandalan yang dilakukan perhitungan yaitu SAIFI, SAIDI, CAIDI, dan CAIFI.

A. Pengumpulan Data

1. Single line diagram atau diagram satu garis jaringan distribusi 20kV Penyulang SRN 02

Penyulang SRN 02 memiliki 3 buah recloser. Selain itu, Penyulang SRN 02 berbatasan langsung dengan beberapa penyulang seperti SRN 16, SRN 08, SRN 12, dan SRN 01. Gambar 1 merupakan single line diagram jaringan distribusi 20kV Penyulang SRN 02.



Gambar 1. Diagram Satu Garis Jaringan Distribusi 20kV Penyulang SRN 02

Single line diagram Penyulang SRN 02 merupakan sistem distribusi tenaga listrik dengan tegangan sebesar 20kV, dan disuplai dari trafo I Gardu Induk Sragen dengan daya sebesar 60 MVA. Penyulang SRN 02 menggunakan tiang dari besi dan beton dalam mendistribusikan listrik melalui saluran udara. Jenis konfigurasi jaringan yang digunakan dalam penyulang tersebut adalah jenis loop pada jaringan tiga fasa dan jenis radial pada jaringan satu fasa, karena tipe radial memiliki kekurangan yaitu akan terjadi black out ketika terdapat gangguan pada saluran sumber energi [14].

2. Data Jumlah Pelanggan dan Jarak Antar Trafo Penyulang SRN 02 Tahun 2023

Jumlah pelanggan pada Penyulang SRN 02 pada tahun 2023 dan jarak antar trafo terdapat pada tabel 1.

Tabel 1. Jumlah Konsumen dan Jarak Antar Trafo pada Penyulang SRN 02 Tahun 2023

| No. | Trafo | Pelanggan | Jarak (km) |
|-----|------------|-----------|------------|
| 1 | SRN.01-12 | 104 | 0.22 |
| 2 | SRN.01-62 | 104 | 1.355 |
| 3 | SRN.01-68 | 104 | 0.15 |
| 4 | T2-504/55 | 104 | 1.77 |
| 5 | T2-515 | 111 | 0.96 |
| 6 | T2-578/5 | 1 | 0.215 |
| 7 | T2-578/9 | 52 | 0.655 |
| 8 | T2-152/23N | 104 | 0.39 |

Tabel 1. Menunjukkan jumlah pelanggan dan jarak antar trafo Penyulang SRN 02 tahun 2023. Ada 24634 pelanggan dan jarak total 98.68 km.

3. Data Gangguan Penyulang SRN 02

Penyulang SRN 02 memiliki beberapa gangguan dengan durasi yang berbeda-beda berdasarkan penyebab gangguannya. Gangguan yang ada pada Penyulang SRN 02 terdapat di tabel 2.

Tabel 2. Data Gangguan Pada Penyulang SRN 02 Tahun 2023

| No. | Tanggal | Lama Padam (menit) | Penyebab Gangguan |
|-----|------------------|--------------------|---|
| 1 | 28 Februari 2023 | 291 | Jumper mvctic putus lokasi SRN11-170 lokasi : Lemahbang |
| 2 | 04 Maret 2023 | 122 | Ranting pohon diterbangkan angin mengenai jaringan di pole SRN11.82-83 (dc SRN.2 dan SRN.11) lokasi : Lemahbang |
| 3 | 05 Mei 2023 | 1 | Bersamaan recovery SRN.16 |
| 4 | 13 Oktober 2023 | 60 | Gangguan belum ditemukan |
| 5 | 3 November 2023 | 120 | Bersamaan petir, cuaca : hujan angin di sertai petir |
| 6 | 4 November 2023 | 143 | Bersamaan petir, cuaca hujan angin di sertai petir |

Tabel 2. Menunjukkan data gangguan Penyulang SRN 02 tahun 2023 terdapat enam kali gangguan dengan durasi padam selama 12 jam 19 menit. Faktor internal dan eksternal menyebabkan gangguan pada jaringan distribusi.

B. Data Indeks Kegagalan Peralatan SPLN 59:1985

Dalam melakukan analisis keandalan dengan menggunakan metode RIA berdasarkan failure rate dan repair time komponen pada Penyulang SRN 02 sesuai dengan SPLN seperti pada tabel 3.

Tabel 3. Data Dari Indeks Kegagalan Pada Peralatan

| Komponen | Failure Rate (unit/tahun) | Repair Time (jam) |
|-----------------|---------------------------|-------------------|
| Pemutus Beban | 0.004 | 10 |
| Sakelar Pemisah | 0.003 | 10 |
| Penutup Balik | 0.005 | 10 |

Data sesuai SPLN pada kegagalan saluran memiliki failure rate, repair time, dan momentary failure rate seperti pada tabel 4.

Tabel 4. Data Dari Indeks Kegagalan Pada Saluran

| | |
|--|-------|
| Failure Rate (km/tahun) | 0.2 |
| Repair Time (jam) | 3 |
| Momentary Failure Rate (kegagalan/tahun) | 0.003 |

Tabel 3. menunjukkan indeks dari kegagalan pada peralatan distribusi dan Tabel 4. menunjukkan indeks dari kegagalan pada saluran udara. Indeks kegagalan yang ada pada jaringan distribusi sesuai dengan SPLN 59:1985 [15]

C. Metode RIA (Reliability Indeks Assessment)

Metode RIA memprediksi gangguan sistem distribusi berdasarkan topologi sistem. Syarat dalam menggunakan metode ini antara lain data konsumen tiap titik trafo, single line diagram, data kegagalan sesuai SPLN 59:1985, dan jarak antar trafo. Untuk menerapkan teknik ini, langkah pertama adalah membagi jaringan menjadi beberapa bagian berdasarkan letak recloser.

1. Failure Rate adalah frekuensi gangguan yang akan hilang secara bertahap.
2. Momentary Failure Rate adalah frekuensi gangguan yang mengharuskan personal untuk melakukan perbaikan.
3. Laju Kegagalan adalah jumlah kali sistem mengalami kegagalan kerja selama operasi sistem, dengan lambang λ .
4. Laju Perbaikan merupakan lamanya frekuensi suatu sistem.

Metode RIA memiliki perhitungan laju kegagalan dan perbaikan. Persamaan 1 berikut adalah persamaan untuk melakukan perhitungan laju kegagalan dan perbaikan metode RIA (Reliability Indeks Assessment).

$$\lambda = \lambda_{\text{Angka Keluar Komponen (SPLN)} + \text{momentary failure rate}} \times \text{panjang saluran} \quad (1)$$

Keterangan :

λ = Frekuensi kegagalan yang dibutuhkan personal dalam memperbaiki komponen.

$\lambda_{\text{Angka Keluar Komponen (SPLN)}}$ = Tingkat kegagalan.

momentary failure rate = Frekuensi gangguan yang hilang dengan bertahap.

panjang saluran = Jarak saluran antar trafo (km).

kemudian, perhitungan laju kegagalan sesuai persamaan 2.

$$\mu = \lambda \times r \quad (2)$$

Keterangan :

μ = Waktu terjadinya kegagalan.

λ = Frekuensi kegagalan yang dibutuhkan personal dalam memperbaiki komponen.

r = Repair time (jam)

Persamaan 1 dan 2 kemudian di masukan sesuai rumus SAIFI, SAIDI, CAIDI, dan CAIFI.

D. Metode FMEA (Failure Mode Effect Analysis)

Metode FMEA untuk perhitungan keandalan distribusi sistem listrik didasarkan dari bagaimana gangguan beberapa peralatan yang mempengaruhi sistem dalam melakukan operasi. Untuk menganalisis keandalan harus mengetahui

nilai laju kegagalan, laju perbaikan, MTTF (Mean Time To Failure), dan MTTR (Mean Time To Repair).

1. MTTF (Mean Time To Failure)

Merupakan indeks yang menunjukkan jumlah kegagalan rata-rata selama beroperasi.

$$MTTF = \frac{T_1+T_2+T_3+\dots+T_n}{n} \quad (3)$$

Keterangan :

T = Waktu sistem dalam bekerja

n = Frekuensi dari jumlah gangguan

2. MTTR (Mean Time To Repair)

Adalah indeks untuk menunjukkan berapa lama waktu yang diperlukan untuk memperbaiki gangguan selama pengoperasian sistem.

$$MTTR = \frac{L_1+L_2+L_3+\dots+L_n}{n} \quad (4)$$

Keterangan :

L = Waktu dalam melakukan perbaikan

n = Frekuensi dari banyaknya perbaikan

3. Laju Kegagalan

Merupakan jumlah sistem mengalami gangguan kerja selama operasi sistem, dengan lambang "lamda".

$$\lambda = \frac{1}{MTTF} \quad (5)$$

Keterangan

λ = Laju dari kegagalan

MTTF = Waktu rata-rata dari kegagalan

4. Laju Perbaikan

Merupakan lamanya frekuensi suatu sistem.

$$\mu = \frac{1}{MTTR} \quad (6)$$

Keterangan

μ = Laju dari perbaikan

MTTR = Waktu rata-rata dari perbaikan

E. Perhitungan Nilai SAIFI

Merupakan indeks frekuensi pemadaman rata-rata, dihitung dalam satuan kali/pelanggan, yang menunjukkan jumlah pemadaman rata-rata setiap pelanggan selama satu tahun di suatu wilayah yang dianalisis [1]. Dalam mencari frekuensi pemadaman rata-rata dengan menggunakan data seperti hasil perhitungan angka kegagalan, jumlah konsumen tiap trafo distribusi, dan jumlah total konsumen Penyulang SRN 02 tahun 2023. Frekuensi pemadamann rata-rata dapat dihitung dengan rumus SAIFI sebagai berikut [16].

$$SAIFI = \frac{\sum \lambda_i \cdot Ni}{\sum Nt} \quad (7)$$

Keterangan :

λ_i = angka dari kegagalan sistem (kali/tahun)

Ni = Jumlah konsumen tiap load point

Nt = Jumlah konsumen Penyulang SRN 02

F. Perhitungan Nilai SAIDI

Merupakan indeks waktu pemadaman rata-rata tahunan pada setiap konsumen dalam wilayah yang dilakukan analisis, yang dapat dihitung dengan satuan jam/pelanggan [1]. Dalam mencari durasi rata-rata pemadaman pada pelanggan dengan menggunakan data seperti hasil perhitungan angka perbaikan, jumlah konsumen tiap trafo distribusi, dan jumlah total konsumen Penyulang SRN 02 tahun 2023. Durasi pemadaman rata-rata dapat dihitung dengan rumus SAIDI sebagai berikut [16].

$$SAIDI = \frac{\sum \mu_i \cdot Ni}{\sum Nt} \quad (8)$$

Keterangan :

μ_i = angka perbaikan (jam/tahun)

Ni = Jumlah konsumen tiap trafo distribusi

Nt = Jumlah konsumen Penyulang SRN 02

G. Perhitungan Nilai CAIDI

Indeks keandalan yang melakukan evaluasi mengenai durasi gangguan rata-rata dari konsumen yang mengalami gangguan merupakan indeks CAIDI [9]. Nilai CAIDI dapat ditemukan dengan menggunakan hasil perhitungan nilai SAIDI dan SAIFI. Nilai CAIDI dihitung dengan rumus berikut ini [16].

$$CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI} \quad (9)$$

Keterangan :

SAIDI = nilai indeks rata – rata durasi gangguan

SAIFI = nilai indeks rata – rata frekuensi gangguan

H. Perhitungan Nilai CAIFI

Indeks keandalan yang melakukan evaluasi mengenai frekuensi gangguan setiap tahun bagi pelanggan merupakan indeks CAIFI [9]. Dalam mencari nilai CAIFI dengan menggunakan data seperti hasil perhitungan angka kegagalan, jumlah pelanggan tiap load point, hasil perhitungan angka perbaikan, dan total jumlah pelanggan Penyulang SRN 02. CAIFI dapat dihitung dengan menggunakan rumus CAIFI sebagai berikut[16].

$$CAIFI = \frac{\sum \lambda_i \cdot Ni}{\sum \mu_i \cdot Ni} \quad (10)$$

Keterangan ;

λ_i = angka kegagalan (kali/tahun)

μ_i = angka perbaikan (jam/tahun)

Ni = Jumlah konsumen tiap trafo distribusi

Nt = Jumlah konsumen pada Penyulang SRN 02

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Perhitungan Metode RIA (Reliability Indeks Assessment)

Dalam melakukan analisis keandalan pada Penyulang SRN 02 menggunakan metode RIA yaitu dengan membagi penyulang menjadi beberapa bagian berdasarkan letak recloser.

1. Section 1 metode RIA

Perhitungan pada section 1 dengan menghitung laju perbaikan dan kegagalan berdasarkan peralatan dan saluran udara yang ada pada Penyulang SRN 02. Hasil laju kegagalan dan perbaikan seperti pada tabel 5.

Tabel 5. Laju Kegagalan Dan Perbaikan Pada Peralatan Section 1

| Peralatan | Saluran Udara | Laju Kegagalan | Laju Perbaikan |
|---|----------------------------|----------------|----------------|
| Sakelar Pemisah, Pemutus Tenaga, Trafo Distribusi | SRN 01-12 sampai SRN 01-62 | 0.610850 | 1.916550 |

Setelah perhitungan dari laju kegagalan dan perbaikan selesai, indeks SAIFI, SAIDI, CAIDI, dan CAIFI dihitung pada section 1, dan hasilnya ditampilkan dalam tabel 6.

Tabel 6. Indeks SAIFI, SAIDI, CAIDI, dan CAIFI Section 1

| Indeks SAIFI | Indeks SAIDI | Indeks CAIDI | Indeks CAIFI |
|-----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
| 0.016763 kali / tahun | 0.052592 jam / tahun | 3.137386 jam / tahun | 0.008749 kali / tahun |

Dapat dilihat pada tabel 5. Laju kegagalan dan perbaikan pada peralatan section 1 yang mencakup sakelar pemisah, pemutus tenaga, trafo distribusi, dan saluran SRN. 01-12 sampai SRN. 01-62. Dari peralatan dan saluran tersebut, hasil perhitungan menyatakan nilai laju kegagalan sebesar 0.610850 dan laju perbaikan sebesar 1.916550. Tabel 6. Indeks SAIFI, SAIDI, CAIDI, dan CAIFI Section 1 dengan indeks SAIFI 0.016763 kali/tahun, indeks SAIDI 0.052592 jam/tahun, CAIDI 3.137386 jam/tahun, dan CAIFI 0.008749 kali/tahun. Perhitungan pada indeks keandalan berdasarkan jumlah konsumen pada tiap trafo distribusi seperti pada tabel 1 antara trafo SRN. 01-12 sampai SRN. 01-62. Dalam melakukan perhitungan indeks keandalan sesuai dengan persamaan 7, 8, 9, dan 10.

2. Section 2 metode RIA

Perhitungan pada section 2 dengan menghitung laju perbaikan dan kegagalan berdasarkan peralatan dan saluran udara yang ada pada Penyulang SRN 02. Hasil laju kegagalan dan perbaikan seperti pada tabel 7.

Tabel 7. Laju Kegagalan dan Perbaikan Peralatan Section 2

| Peralatan | Saluran Udara | Laju Kegagalan | Laju Perbaikan |
|--|-----------------------------|----------------|----------------|
| Penutup Balik, Pemutus Tenaga, Sakelar Pemisah, Trafo Distribusi | SRN. 01-68 sampai T2-504/55 | 2.887984 | 8.803952 |

Setelah perhitungan dari laju kegagalan dan perbaikan selesai, indeks SAIFI, SAIDI, CAIDI, dan CAIDI dihitung pada section 2, dan hasilnya ditampilkan dalam tabel 8.

Tabel 8. Indeks SAIFI, SAIDI, CAIDI, dan CAIFI Section 2

| Indeks SAIFI | Indeks SAIDI | Indeks CAIDI | Indeks CAIFI |
|-----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
| 0.372470 kali / tahun | 1.135439 jam / tahun | 3.048404 jam / tahun | 0.042307 kali / tahun |

Dapat dilihat pada tabel 7. Laju kegagalan dan perbaikan pada peralatan section 2 yang mencakup sakelar pemisah, penutup balik, pemutus tenaga, trafo distribusi, dan saluran SRN. 01-68 sampai T2-504/55. Dari peralatan dan saluran tersebut, hasil perhitungan menyatakan nilai laju kegagalan sebesar 2.887984 dan laju perbaikan sebesar 8.803952. Tabel 8. Indeks SAIFI, SAIDI, CAIDI, dan CAIFI Section 2 dengan indeks SAIFI 0.372470 kali/tahun, indeks SAIDI 1.135439 jam/tahun, indeks CAIDI 3.048404 jam/tahun, dan indeks CAIFI 0.042307 kali/tahun. Perhitungan pada indeks keandalan berdasarkan jumlah

konsumen pada tiap trafo distribusi seperti pada tabel 1 antara trafo SRN. 01-68 sampai T2-504/55. Dalam melakukan perhitungan indeks keandalan sesuai dengan persamaan 7, 8, 9, dan 10.

3. Section 3 metode RIA

Perhitungan pada section 3 dengan menghitung laju perbaikan dan kegagalan berdasarkan peralatan dan saluran udara yang ada pada Penyulang SRN 02. Hasil laju kegagalan dan perbaikan seperti pada tabel 9.

Tabel 9. Laju Kegagalan dan Perbaikan Peralatan Section 3

| Peralatan | Saluran Udara | Laju Kegagalan | Laju Perbaikan |
|--|------------------------|----------------|----------------|
| Penutup Balik, Pemutus Tenaga, Sakelar Pemisah, Trafo Distribusi | T2-515 sampai T2-578/5 | 9.722994 | 29.308982 |

Setelah perhitungan dari laju kegagalan dan perbaikan selesai, indeks SAIFI, SAIDI, CAIDI, dan CAIDI dihitung pada section 3, dan hasilnya ditampilkan dalam tabel 10.

Tabel 10. Indeks SAIFI, SAIDI, CAIDI, dan CAIFI Section 3

| Indeks SAIFI | Indeks SAIDI | Indeks CAIDI | Indeks CAIFI |
|-----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| 4.028165 kali / tahun | 12.142537 jam / tahun | 3.014409 jam / tahun | 0.137448 kali / tahun |

Dapat dilihat pada tabel 9. Laju kegagalan dan perbaikan pada peralatan section 3 yang mencakup sakelar pemisah, penutup balik, pemutus tenaga, trafo distribusi, dan saluran T2-515 sampai T2-578/5. Dari peralatan dan saluran tersebut, hasil perhitungan menyatakan nilai laju kegagalan sebesar 9.722994 dan laju perbaikan sebesar 29.308982. Tabel 10. Indeks SAIFI, SAIDI, CAIDI, dan CAIFI Section 3 dengan indeks SAIFI 4.028165 kali/tahun, indeks SAIDI 12.142537 jam/tahun, indeks CAIDI 3.014409 jam/tahun, dan indeks CAIFI 0.137448 kali/tahun. Perhitungan indeks keandalan berdasarkan jumlah konsumen pada tiap trafo distribusi seperti pada tabel 1 antara trafo T2-515 sampai T2-578/5. Dalam melakukan perhitungan indeks keandalan sesuai dengan persamaan 7, 8, 9, dan 10.

4. Section 4 metode RIA

Perhitungan pada section 4 dengan menghitung laju perbaikan dan kegagalan berdasarkan peralatan dan saluran udara yang ada pada Penyulang SRN 02. Hasil laju kegagalan dan perbaikan terdapat di tabel 11.

Tabel 11. Laju Kegagalan dan Perbaikan Section 4

| Peralatan | Saluran Udara | Laju Kegagalan | Laju Perbaikan |
|--|----------------------------|----------------|----------------|
| Penutup Balik, Pemutus Tenaga, Sakelar Pemisah, Trafo Distribusi | T2-578/9 sampai T2-152/23N | 6.883836 | 20.791508 |

Setelah perhitungan dari laju kegagalan dan perbaikan selesai, indeks SAIFI, SAIDI, CAIDI, dan CAIDI dihitung pada section 4, dan hasilnya ditampilkan dalam tabel 12.

Tabel 12. Indeks SAIFI, SAIDI, CAIDI, dan CAIFI Section 4

| Indeks SAIFI | Indeks SAIDI | Indeks CAIDI | Indeks CAIFI |
|-----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
| 2.839409 kali / tahun | 8.576080 jam / tahun | 3.020375 jam / tahun | 0.136583 kali / tahun |

Dapat dilihat pada tabel 11. Laju kegagalan dan perbaikan peralatan pada section 4 yang mencakup sakelar pemisah, penutup balik, pemutus tenaga, trafo distribusi, dan saluran T2-578/9 sampai T2-152/23N. Dari peralatan dan saluran tersebut, hasil perhitungan menyatakan nilai laju kegagalan sebesar 6.883836 dan laju perbaikan sebesar 20.791508. Tabel 12. Indeks SAIFI, SAIDI, CAIDI, dan CAIFI Section 4 dengan indeks SAIFI 2.839409 kali/tahun, indeks SAIDI 8.576080 jam/tahun, indeks CAIDI sebesar 3.020375 jam/tahun, dan indeks CAIFI 0.136583 kali/tahun. Perhitungan indeks keandalan berdasarkan jumlah konsumen pada tiap trafo distribusi seperti pada tabel 1 antara trafo T2-578/9 sampai T2-152/23N. Dalam melakukan perhitungan indeks keandalan sesuai dengan persamaan 7, 8, 9, dan 10.

5. Hasil Perhitungan Metode RIA

Perhitungan indeks SAIFI, SAIDI, CAIDI, dan CAIFI dari section 1 sampai 4 kemudian dilakukan penjumlahan dengan hasil seperti pada tabel 13.

Tabel 13. Total Indeks SAIFI, SAIDI, CAIDI, dan CAIFI Metode RIA

| Section | Indeks SAIFI | Indeks SAIDI | Indeks CAIDI | Indeks CAIFI |
|-----------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Section 1 | 0.016763 | 0.052592 | 3.137386 | 0.008749 |
| Section 2 | 0.372470 | 1.135439 | 3.048404 | 0.042307 |
| Section 3 | 4.028165 | 12.142537 | 3.014409 | 0.137448 |
| Section 4 | 2.839409 | 8.576080 | 3.020375 | 0.136583 |
| Total | 7.256807 | 21.906648 | 3.018772 | 0.325087 |

Dapat dilihat pada tabel 13. Total Indeks SAIFI, SAIDI, CAIDI, dan CAIFI tiap-tiap section dengan menggunakan metode RIA. Hasil section 1 seperti pada tabel 6, hasil section 2 seperti pada tabel 8, hasil section 3 seperti pada tabel 10, dan hasil section 4 seperti pada tabel 12. Dari hasil section 1 sampai section 4, kemudian dilakukan penjumlahan dan didapatkan hasil metode RIA indeks SAIFI 7.256807 kali/tahun, indeks SAIDI 21.906648 jam/tahun, indeks CAIDI 3.018772 jam/tahun dan indeks CAIFI 0.325087 kali/tahun.

B. Hasil Perhitungan Metode FMEA (Failure Mode Effect Analysis)

1. Perhitungan Laju Kegagalan dan Perbaikan

Untuk melakukan analisis keandalan distribusi 20kV dengan menerapkan metode FMEA, dilakukan perhitungan berdasarkan waktu rata-rata untuk gangguan dan berdasarkan waktu rata-rata untuk perbaikan, dengan hasil yang ditampilkan di tabel 14.

Tabel 14. MTTF (Mean Time To Failure) dan MTTR (Mean Time To Repair)

| MTTF (Mean Time To Failure) | MTTR (Mean Time To Repair) |
|-----------------------------|----------------------------|
| 60.747917 hari/tahun | 2.051667 jam/tahun |

Setelah melakukan perhitungan berdasarkan waktu rata-rata untuk gangguan dan berdasarkan waktu rata-rata untuk perbaikan, kemudian melakukan perhitungan laju kegagalan dan laju perbaikan sesuai MTTR dan MTTF dengan hasil seperti pada tabel 15.

Tabel 15. Laju Kegagalan dan Perbaikan

| Laju Kegagalan | Laju Perbaikan |
|-------------------------|--------------------|
| 0.016461 gangguan/tahun | 0.487409 jam/tahun |

Dapat dilihat pada tabel 14. Mean Time To Failure dan Mean Time To Repair pada metode FMEA. Hasil MTTF dan MTTR berdasarkan data gangguan pada tabel 2. Hasil perhitungan didapatkan MTTF sebesar 60.747917 hari/tahun dan MTTR sebesar 2.051667 jam/tahun. Dalam melakukan perhitungan MTTR dan MTTF sesuai dengan persamaan 3 dan 4. Tabel 15. Laju kegagalan dan laju perbaikan didapatkan dari hasil perhitungan MTTF dan MTTR di atas. Hasil laju kegagalan metode FMEA sebesar 0.016461 gangguan/tahun, sedangkan laju perbaikan sebesar 0.487409 jam/tahun. Dalam melakukan perhitungan laju kegagalan dan perbaikan sesuai dengan persamaan 5 dan 6.

2. Perhitungan indeks SAIFI, SAIDI, CAIDI, dan CAIFI

Setelah dilakukan perhitungan laju kegagalan dan perbaikan, selanjutnya melakukan perhitungan indeks SAIFI, SAIDI, CAIDI, dan CAIDI metode FMEA dengan hasil seperti pada tabel 16.

Tabel 16. Total Indeks SAIFI, SAIDI, CAIDI, dan CAIFI Metode FMEA

| Indeks SAIFI (kali / tahun) | Indeks SAIDI (jam / tahun) | Indeks CAIDI (jam / tahun) | Indeks CAIFI (kali / tahun) |
|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| 0.016461 | 0.487409 | 29.609926 | 0.033772 |

Dapat dilihat pada tabel 16. Total indeks SAIFI, SAIDI, CAIDI, dan CAIFI dengan menggunakan metode FMEA. Dari hasil perhitungan tersebut didapatkan besar indeks SAIFI 0.016461 kali/tahun, indeks SAIDI 0.487409 jam/tahun, indeks CAIDI 29.609926 jam/tahun, dan indeks CAIFI 0.033772 kali/tahun. Perhitungan indeks keandalan sesuai dengan persamaan 7, 8, 9, dan 10.

Pada gambar 2. merupakan grafik hasil perhitungan metode RIA, FMEA, dan Standar dari SPLN 68-2:1986 [17]. Hasil perhitungan kedua metode tersebut memiliki perbedaan yang besar.



Gambar 2. Indeks SAIFI dan SAIDI Hasil Metode RIA, Metode FMEA, dan SPLN 68-2:1986

IV. KESIMPULAN

Pada analisis jaringan distribusi 20kV pada Penyulang SRN 02 di PT. PLN (Persero) UP3 Surakarta bahwa penulis dapat disimpulkan dalam menggunakan metode RIA dan metode FMEA memiliki perbedaan hasil yang besar. Dalam melakukan analisis menggunakan metode RIA yaitu dengan membagi penyulang menjadi beberapa bagian berdasarkan letak recloser, kemudian menghitung laju kegagalan dan laju perbaikan semua komponen distribusi sehingga hasil analisis yang didapatkan lebih besar. Sedangkan metode FMEA yaitu dengan menghitung laju kegagalan dan laju perbaikan berdasarkan data kegagalan sistem tahun 2023, sehingga hasil analisis yang didapatkan lebih kecil. Dari perhitungan indeks SAIFI dan SAIDI pada metode RIA dapat dikatakan

tidak normal sesuai dengan SPLN 68-2:1986, karena hasil yang didapatkan melebihi standar yang telah ditentukan. Indeks SAIFI dan SAIDI pada metode FMEA dapat dikatakan normal, karena hasil perhitungan tidak melebihi SPLN 68-2:1986.

REFERENSI

- [1] Subhan. , dkk Fauzi., “Analisis Tingkat Keandalan Pada Jaringan Express Feeder SUTM A3CS Sebagai Incoming Baru,” *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, vol. 5, Jan. 2023.
- [2] M. I. Abas and I. Ibrahim, “Optimasi Support Vector Machine Particle Swarm Optimization Untuk Prediksi Konsumsi Energi Listrik,” 2019. [Online]. Available: <http://ejournal.ung.ac.id/index.php/jji>
- [3] F. A. Primadini and O. Karneli, “Pengaruh Pelatihan Kerja Dan Pengembangan Karir Terhadap Employee Engagement Pada PT PLN UP3 Pekanbaru,” *JAMBURA*, vol. 6, no. 2, 2023, [Online]. Available: <http://ejournal.ung.ac.id/index.php/JIMB>
- [4] F. Eka, P. Surusa, Q. Aini, A. I. Pratiwi, and Y. Mohamad, “Analisis Susut Non Teknis Akibat Gangguan pada kWh Meter PT. PLN UP3 Gorontalo,” *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 2024.
- [5] F. Akbar and T. Wrahatnolo, “Dampak Gangguan Beban Lebih Terhadap Overload Shedding Gardu Induk 150kV Sukolilo Surabaya,” *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, vol. 5, 2023.
- [6] F. Eka, P. Surusa, Q. Aini, A. I. Pratiwi, and Y. Mohamad, “Analisis Susut Non Teknis Akibat Gangguan pada kWh Meter PT. PLN UP3 Gorontalo,” *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 2024.
- [7] G. Satriyo Wicaksono Prodi Teknik Elektro, T. Wrahatnolo, K. Kunci-Transformator Distribusi, K. Beban, and R. Daya, “Evaluasi Ketidakseimbangan Beban pada GTT 20kV di Penyulang Plumbungan Surabaya,” *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, vol. 5, 2023.
- [8] I. Pratama, Y. Mohamad, T. Ismail, and Y. Prodi, “Analisis Keandalan Jaringan Distribusi 20kV Pada ULP Toili Berdasarkan SAIDI dan SAIFI,” *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, vol. 5, 2023.
- [9] A. B. Pangestu, R. Defi, M. Putri, N. Hudallah, and T. Andrasto, “Analisis Keandalan Sistem Distribusi Jaringan SUTM DI PT. PLN (PERSERO) UP3 Yogyakarta,” *Jurnal SIMETRIS*, vol. 14, no. 1, 2023.
- [10] Dimas Eka Kumala Putra, Gozali HRB Moch, and Prasetyono Suprihadi, “Analisis Perbandingan Keandalan Sistem Jaringan Distribusi Berkonfigurasi Radial dan Loop Menggunakan Metode Ria (Reliability Index Assessment),” *Jurnal Arus Elektro Indonesia*, vol. 6, Dec. 2020.
- [11] G. P. Budi *et al.*, “Analisa Keandalan Sistem Distribusi Penyulang Kampus Dengan Menggunakan Penggabungan Metode Section Tecknique dan Ria,” 2015.
- [12] MT. , H. R. Jufrizel, “Analisa Keandalan Sistem Distribusi 20KV Menggunakan Metode Section Technique dan Ria-Section Technique pada Penyulang Adi Sucipto Pekanbaru,” Pekanbaru, 2017. Accessed: Jun. 11, 2024. [Online]. Available: <https://ejournal.uin-suska.ac.id/index.php/SNTIKI/article/view/3358>
- [13] A. Fatoni, R. Seto Wibowo, A. Soeprijanto, and J. T. Elektro, “Analisa Keandalan Sistem Distribusi 20 kV PT.PLN Rayon Lumajang dengan Metode FMEA (Failure Modes and Effects Analysis),” *JURNAL TEKNIK ITS*, vol. 5, no. 2, 2016.
- [14] Harun Ervan Hasan., Adam Muh Triyadi., and Ilham Jumiaty, “Perbaikan Kualitas Tegangan Distribusi 20kV di Gardu Hubung Lemito Melalui Studi Aliran Daya,” *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, Mar. 2022.
- [15] Kelompok Pembakuan Bidang Distribusi dan Kelompok Kerja KONstruksi Distribusi, “Keandalan Pada Sistem Distribusi 20kV dan 6kV,” in *Standar Perusahaan Umum Listrik Negara 59:1985*, Jakarta: Departemen Pertambangan dan Energi, 1985.
- [16] R. Harahap, H. Farizi, S. Tarmizi Kasim, K. Kunci, and N. Ekonomi, *Analisis Indeks Keandalan Pada Jaringan Distribusi 20 kV Penyulang KA.1, KU.1, dan TW.1 di PT. PLN (Persero) UP3 Lubuk Pakam*. Prosiding Seminar Nasional teknik UISU, 2022.
- [17] Kelompok Pembakuan Bidang Distribusi dan Kelompok Kerja Konstruksi Distribusi, “Tingkat Jaminan Sistem Tenaga Listrik,” in *Standar Perusahaan Umum Listrik Negara 68-2:1986*, Jakarta: Departemen Pertambangan dan Energi, 1986.