

Analisa Keandalan Jaringan Distribusi Menggunakan Metode *Section Technique* dan *Failure Mode Effect Analysis*

Tiur Lestari Wibowo¹ Arfita Yuana Dewi² Erhaneli³ Andi Syofian⁴

Program Studi Teknik Elektro Sarjana, Fakultas Teknik, Institut Teknologi Padang, Kota Padang, Sumatera Barat, Indonesia^{1,2,3,4}
Email: 2021310010.tiur@itp.ac.id¹

Abstrak

Berdasarkan data gangguan PT. PLN (Persero) ULP Sabang Januari - Desember 2024 gangguan paling sering terjadi pada penyulang Balohan. Mengacu pada SPLN 68-2 : 1986 indeks keandalan SAIDI yang diizinkan sekitar 21,09 Jam/Pelanggan/Tahun, dan indeks keandalan SAIFI yang diizinkan adalah 3,2 Kali/Perpelanggan/Tahun. Tujuan penelitian ini yaitu untuk meningkatkan keandalan sistem distribusi 20 kV menggunakan metode *Section Technique* dan *Failure Mode Effects Analysis* (FMEA). Setelah dilakukan perhitungan metode *section technique* didapatkan indeks SAIDI sebesar 8,728083 Jam/Pelanggan/Tahun dan SAIFI 2,022955 Kali/Perpelanggan/Tahun. Sedangkan perhitungan dengan metode *Failure Mode Effects Analysis* (FMEA) didapatkan indeks SAIDI sebesar 15,437189 Jam/Pelanggan/Tahun dan indeks SAIFI sebesar 4,6024053 Kali/Perpelanggan/Tahun. Jika dibandingkan antara SPLN 68-2 : 1986 dengan metode *section technique* dan *Failure Mode Effects Analysis* (FMEA), maka metode *section technique* dapat dikategorikan andal karena tidak melebihi standar, sedangkan metode *Failure Mode Effects Analysis* (FMEA) untuk indeks SAIFI tidak memenuhi standar yang telah ditetapkan.

Kata Kunci: Gangguan Jaringan, *Section Technique*, FMEA, Distribusi

Abstract

Based on the disturbance data of PT. PLN (Persero) ULP Sabang from January to December 2024, the most frequent disturbances occurred on the Balohan feeder. Referring to SPLN 68-2: 1986, the allowed reliability index SAIDI is approximately 21.09 hours/customer/year, and the allowed reliability index SAIFI is 3.2 times/customer/year. The purpose of this study is to improve the reliability of the 20 kV distribution system using the *Section Technique* method and *Failure Mode Effects Analysis* (FMEA). After calculating the *Section Technique* method, the SAIDI index was obtained at 8.728083 hours/customer/year and the SAIFI index was 2.022955 times/customer/year. Meanwhile, the calculation using the *Failure Mode Effects Analysis* (FMEA) method obtained the SAIDI index at 15.437189 hours/customer/year and the SAIFI index at 4.6024053 times/customer/year. When compared between SPLN 68-2: 1986 and the *Section Technique* method and *Failure Mode Effects Analysis* (FMEA), the *Section Technique* method can be categorized as reliable because it does not exceed the standard, while the *Failure Mode Effects Analysis* (FMEA) method for the SAIFI index does not meet the established standard.

Keywords: Network Disturbance, *Section Technique*, FMEA, Distribution



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

PENDAHULUAN

Keandalan sistem distribusi 20 kV secara signifikan berpengaruh terhadap mutu dan kontinuitas penyaluran tenaga listrik yang mempengaruhi kepuasan pelanggan (Yan et al., 2021). Tingkat keandalan penyaluran tenaga listrik dilihat dari sisi pelanggan dan berapa lama durasi pemadaman serta berapa lama durasi penormalan sistem itu kembali (Modibbo et al., 2021). Jaringan listrik Kota Sabang terdiri dari 8 penyulang dengan total 15.785 pelanggan kerap mengalami gangguan, oleh karena itu peningkatan keandalan jaringan distribusi 20 kV perlu dilakukan demi kepuasan pelanggan PT. PLN (Persero) ULP Sabang

(Nazaruddin et al., 2020). Berdasarkan standar IEEE- 1366- 2012 keandalan jaringan distribusi dilihat dari indeks *System Average Interruption Duration Index* (SAIDI) dan *System Average Interruption Frequency Index* (SAIFI) (Kurniawan et al., 2021). Banyaknya gangguan yang terjadi menyebabkan tingginya nilai indeks SAIDI dan SAIFI yang berarti menurunnya kinerja penyaluran tenaga listrik kepada pelanggan. Berdasarkan SPLN 68-2 : 1986 standar nilai indeks *System Average Interruption Duration Index* (SAIDI) adalah 21,09 Jam/Pelanggan/Tahun. Sedangkan *System Average Interruption Frequency Index* (SAIFI) sekitar 3,2 Kali/Pelanggan/Tahun (Kurniawan et al., 2021).

Lamanya durasi pemadaman pada sistem distribusi 20 kV menunjukkan kualitas keandalan penyaluran tenaga listrik sampai ke pelanggan (Mangera, 2022). Pada dasarnya petugas PLN terus berusaha melakukan pemulihan jaringan pada saat terjadinya gangguan, namun kenyataannya kerap kali mengalami kendala seperti lamanya durasi penanganan, penyebab gangguan yang tidak terdeteksi, konfigurasi jaringan, kawasan hutan lindung, serta kawasan perkebunan masyarakat yang tidak memberikan izin untuk melakukan penebangan (Parol et al., 2022). Selanjutnya gangguan hewan liar juga menjadi tantangan tersendiri mengingat banyaknya kawasan lindung di Kota Sabang (Duyo & Sulkifli, 2019). Mengingat pentingnya keseimbangan antara permintaan dengan penyediaan pasokan listrik maka perlu dilakukan upaya peningkatan keandalan jaringan distribusi (Adom, 2017). Ada beberapa metode yang dapat digunakan dalam meningkatkan keandalan jaringan distribusi seperti metode *section technique* dan *Failure Mode Effects Analysis* (FMEA). Metode *section technique* berkerja dengan cara melakukan pemisahan jaringan menjadi beberapa bagian (*section*) agar pada saat terjadi gangguan pada suatu bagian jaringan maka bagian jaringan lainnya tidak terpengaruhi (Teguh & Rijanto, 2019). Kemudian sebagai pembanding dilakukan analisis berdasarkan *Failure Mode Effects Analysis* (FMEA). Metode FMEA digunakan untuk mengidentifikasi dan menganalisa potensi kegagalan pra-gangguan pada jaringan distribusi 20 kV (Tun & Win, 2020).

Penggunaan metode *Section Technique* dan *Failure Mode Effects Analysis* (FMEA) dalam analisis ini bertujuan untuk mengetahui keandalan jaringan distribusi 20 kV ditinjau dari indeks *System Average Interruption Duration Index* (SAIDI) dan *System Average Interruption Frequency Index* (SAIFI) (Liu et al., 2017). Nilai SAIDI dan SAIFI yang tinggi menunjukkan bahwa keandalan jaringan distribusi yang buruk, yang menandakan seringnya terjadi gangguan yang berkepanjangan dan tidak memenuhi standar (Yaser et al., 2020). Berdasarkan data gangguan Januari – September 2024, maka penelitian dilakukan pada penyulang Balohan, karena penyulang tersebut merupakan paling banyak terjadi gangguan. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisa keandalan jaringan distribusi 20 kV pada penyulang Balohan PT. PLN (Persero) ULP Sabang dengan menggunakan metode *Section Technique* dan *Failure Mode Effects Analysis* (FMEA).

METODE PENELITIAN

Jenis penelitian ini adalah studi komparatif untuk mengetahui kevalidan antara *Section Technique* dan *Failure Mode Effects Analysis* (FMEA) dengan Standar Perusahaan Listrik Negara (SPLN) 68-2 : 1986 dimana terdapat data primer dan data sekunder dalam metode pengambilan datanya.

1. Data Primer. Data primer meliputi data hasil observasi terhadap kondisi di lapangan dengan mengamati penyulang yang paling sering mengalami gangguan pada PT. PLN (Persero) ULP Sabang selama satu tahun terakhir yaitu pada Januari sampai dengan Desember tahun 2024.
2. Data sekunder. Data sekunder meliputi data-data yang dikumpulkan berdasarkan teori dan referensi seperti buku, jurnal ilmiah, dan standar PLN yang digunakan.

Tabel 1. Jumlah Pelanggan Masing - Masing Gardu pada Penyulang Balohan

No.	Gardu	Jumlah Pelanggan
1.	SKJ040-00	204
2.	SKJ035-00	78
3.	SKJ043-00	1
4.	SKJ038-00	74
5.	SKJ037-00	129
6.	SKJ044-00	39
7.	SKJ041-00	8
8.	SKJ036-00	116
9.	SKJ042-00	13
10.	SKJ039-00	3
11.	SKJ027-00	135
12.	SKJ025-00	101
13.	SKJ031-00	173
14.	SKJ026-00	282
15.	SKJ024-00	2
16.	SKJ033-00	60
17.	SKJ029-00	334
18.	SKJ029-01	0
19.	SKJ028-00	164
20.	SKJ030-00	71
21.	SKJ034-00	72
22.	SKJ032-00	36
23.	SKJ028-01	15
24.	SKJ030-01	110
Total		2250

Tabel 2. Data Rekap Section 1 dan Section 2

Section	Jumlah Load Point	Jumlah pelanggan
Section 1	15	1663
Section 2	9	587
Total	24	2250

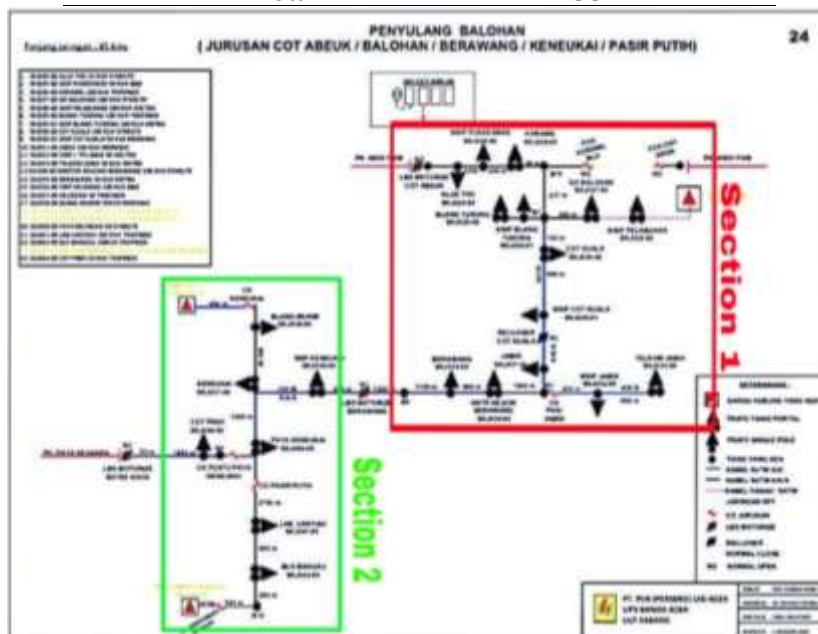
Tabel 3. Data Gardu dan Jumlah Pelanggan Setiap Gardu Section 1

No.	Gardu	Jumlah Pelanggan
1.	SKJ024-00	2
2.	SKJ025-00	101
3.	SKJ026-00	282
4.	SKJ027-00	135
5.	SKJ028-00	164
6.	SKJ028-01	15
7.	SKJ029-00	334
8.	SKJ029-01	0
9.	SKJ030-00	71
10.	SKJ030-01	110
11.	SKJ031-00	173
12.	SKJ032-00	36
13.	SKJ033-00	60
14.	SKJ034-00	72
15.	SKJ035-00	78
Total		1663

Berdasarkan data pada tabel 3 dapat dilihat bahwa pada *section 1* terdapat 15 gardu distribusi dengan total jumlah pelanggan 1663. Pembagian *section 1* dan *section 2* ini didasarkan pada letak *load break switch*, kemudian akan ditampilkan data untuk *section 1* setelah dilakukan pembagian struktur penyulang Balohan berdasarkan letak dari *Load Break Switch* (LBS) Barewang

Tabel 4. Data Gardu dan Jumlah Pelanggan Setiap Gardu *Section 2*

No.	Gardu	Jumlah Pelanggan
1.	SKJ036-00	116
2.	SKJ037-00	129
3.	SKJ038-00	74
4.	SKJ039-00	3
5.	SKJ040-00	204
6.	SKJ041-00	8
7.	SKJ042-00	13
8.	SKJ043-00	1
9.	SKJ044-00	39
Total		587



Gambar 1. Skema Pembagian *Section 1* dan *Section 2*

Pada gambar *one line diagram* diatas dapat dilihat skema pembagian *Section* pada penyulang Balohan PT. PLN (Persero) ULP Sabang yang didasarkan pada letak *Load Break Switch* (LBS) pada jaringan.

Tabel 5. Indeks Keandalan Peralatan (SPLN 59 : 1985 dan SPLN 68-2 : 1986)

Komponen	Laju kegagalan (Gangguan/Tahun/Km)	Repair Time/Waktu Pemulihan (Jam)	Switching Time/ Waktu Peralihan (Jam)
Trafo Distribusi	0,005	10	0,15
Circuit Breaker	0,004	10	0,15
Sectionalizer	0,003	10	0,15
Recloser	0,005	10	0,15
Saluran Udara	0,2	3	0,15
Saluran Kabel	0,7	10	0,15

Setelah membagi jaringan menjadi beberapa *section*, kemudian akan dilakukan perhitungan parameter laju kegagalan (λ) dan *unavailability* (**U**) untuk setiap perlatan. Laju kegagalan (*failure rate*) pada masing-masing titik beban (*load point*) adalah penjumlahan dari seluruh laju kegagalan yang ada pada titik beban.

$$\lambda_{LP} = \lambda \left(\frac{Unit}{Tahun} \right) \times P \frac{Km}{Unit} \quad (1)$$

$$U_{LP} = \lambda_i \times r_i \quad (2)$$

$$U_{LP} = \lambda_i \times t_{(jam)} \quad (3)$$

Setelah menghitung parameter laju kegagalan (λ) dan *unavailability* (U) untuk setiap peralatan kemudian akan dilakukan perhitungan indeks SAIDI dan SAIFI pada masing masing titik beban. Adapun persamaan dalam menentukan indeks SAIDI dan SAIFI yaitu seperti berikut ini:

$$SAIDI = \frac{\sum U_i N_i}{\sum N_i} \quad (4)$$

$$SAIFI = \frac{\sum \lambda_i N_i}{\sum N_i} \quad (5)$$

ENS merupakan akumulasi perkalian daya aktif dengan durasi jam padam. Perhitungan ENS ini berguna untuk melihat berapa kerugian pada penyulang Balohan PT. PLN (Persero) ULP Sabang. Berikut ini adalah persamaan untuk melakukan perhitungan *Energy Not Sold* (ENS)

$$ENS = \sqrt{3} \times VL \times IL \times \cos \varphi \times t \quad (6)$$

$$ENS = P \times \text{durasi gangguan} \quad (7)$$

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil perhitungan yang dilakukan dengan menggunakan metode *section technique* menunjukkan nilai indeks keandalan jaringan distribusi melalui indeks SAIDI dan SAIFI pada tiap-tiap *section*. Indeks keandalan jaringan distribusi dengan metode *section technique* dapat dihitung dengan mempertimbangkan parameter laju kegagalan (λ) dan *unavailability* (U) berdasarkan persamaan (1), (2) dan (3), seperti berikut ini :

$$\lambda_{LP} = \lambda \left(\frac{\text{Unit}}{\text{Tahun}} \right) \times P \frac{\text{Km}}{\text{Unit}}$$

$$\lambda \text{ (line 1)} = \text{Failure rate peralatan} \times \text{Panjang saluran}$$

$$= 0,2 \times 1,95$$

$$= 0,39 \text{ Gangguan/Tahun}$$

Tabel 6. Laju Kegagalan (λ_{LP}) pada Section 1

Peralatan	Laju Kegagalan (λ /Km/Tahun)	Panjang Saluran (Km)	λ (Gangguan/Tahun)
LBSM 1	0,003	-	0,003
Trafo	0,005	-	0,005
Recloser	0,005	-	0,005
Line 1	0,2	1,95	0,39
Line 2	0,2	0,198	0,0396
Line 3	0,2	0,3255	0,0651
Line 4	0,2	0,454	0,0908
Line 5	0,2	0,319	0,0638
Line 6	0,7	0,124	0,0868
Line 7	0,7	0,139	0,0973
Line 8	0,2	1,223	0,2446
Line 9	0,2	3,652	0,7304
Line 10	0,2	0,3905	0,0781
Line 11	0,2	1,920	0,384
Line 12	0,2	0,463	0,0926
Line 13	0,2	0,465	0,093
Line 14	0,2	2,334	0,4668
Total Laju Kegagalan			2,2055

Tabel 7. Laju Kegagalan (λ_{LP}) pada Section 2

Peralatan	Laju Kegagalan (λ /Km/Tahun)	Panjang Saluran (Km)	λ (Gangguan/Tahun)
LBSM 2	0,003	-	0,003

LBSM 3	0,003	-	0,003
Trafo	0,005	-	0,005
Line 15	0,2	0,222	0,0444
Line 16	0,2	0,264	0,0528
Line 17	0,2	0,681	0,1362
Line 18	0,2	1,061	0,2122
Line 19	0,2	0,772	0,1544
Line 20	0,2	2,145	0,429
Line 21	0,2	2,251	0,4502
Line 22	0,2	0,718	0,1436
Line 23	0,2	0,335	0,067
Line 24	0,7	0,047	0,0329
Total Laju Kegagalan			1,7337

Setelah melakukan perhitungan parameter laju kegagalan pada setiap titik beban didapatkan hasil pada *section 1* yaitu 2,2055 Gangguan/Tahun, kemudian untuk *section 2* yaitu 1,7337 Gangguan/Tahun. Selanjutnya dilakukan perhitungan durasi gangguan (*U*) dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$U_{LP} = \lambda_i \times r_i$$

$$U_{LP} = \lambda_i \times t_{(jam)}$$

$$U_{line\ 1} = \text{Laju kegagalan peralatan} \times \text{waktu pemulihan}$$

$$= 0,39 \times 3$$

$$= 1,17 \text{ Jam/Tahun}$$

Tabel 8. Durasi Gangguan (U_{LP}) pada *Section 1*

Peralatan	λ (Fault/Year)	Waktu Pemulihan (Jam)	Waktu Peralihan (Jam)	<i>U</i> (Jam/Tahun)
LBSM 1	0,003	10	0,15	0,03
Trafo	0,005	10	0,15	0,05
Recloser	0,005	10	0,15	0,05
Line 1	0,39	3	0,15	1,17
Line 2	0,0396	3	0,15	0,1188
Line 3	0,0651	3	0,15	0,1953
Line 4	0,0908	3	0,15	0,2724
Line 5	0,0638	3	0,15	0,1914
Line 6	0,0868	10	0,15	0,868
Line 7	0,0973	10	0,15	0,973
Line 8	0,2446	3	0,15	0,7338
Line 9	0,7304	3	0,15	2,1912
Line 10	0,0781	3	0,15	0,2343
Line 11	0,384	3	0,15	1,152
Line 12	0,0926	3	0,15	0,2778
Line 13	0,093	3	0,15	0,279
Line 14	0,4668	3	0,15	1,4004
Total Durasi Gangguan				10,1874

Tabel 9. Durasi Gangguan (U_{LP}) pada *Section 2*

Peralatan	λ (Fault/Year)	Waktu Pemulihan (Jam)	Waktu Peralihan (Jam)	<i>U</i> (Jam/Tahun)
LBSM 2	0,003	10	0,15	0,03
LBSM 3	0,003	10	0,15	0,05
Trafo	0,005	10	0,15	0,1332
Line 15	0,0444	3	0,15	0,1584
Line 16	0,0528	3	0,15	0,4086
Line 17	0,1362	3	0,15	0,6366
Line 18	0,2122	3	0,15	0,4632

<i>Line 19</i>	0,1544	3	0,15	1,287
<i>Line 20</i>	0,429	3	0,15	1,3506
<i>Line 21</i>	0,4502	3	0,15	0,4308
<i>Line 22</i>	0,1436	3	0,15	0,201
<i>Line 23</i>	0,067	3	0,15	0,329
<i>Line 24</i>	0,0329	10	0,15	0,03
Total Durasi Gangguan				5.4784

Mengacu pada tabel 8 dapat diketahui bahwa jumlah total durasi gangguan peralatan (U_{LP}) pada *section 1* yaitu sebesar 10,1874 Jam/Tahun. Pada tabel 9 dapat dilihat bahwa jumlah total durasi gangguan peralatan (U_{LP}) pada *section 2* sebesar 5.4784. Setelah melakukan perhitungan laju kegagalan dan durasi gangguan peralatan kemudian akan dilakukan analisa perhitungan indeks SAIDI dan SAIFI pada masing masing titik beban seperti berikut ini :

$$SAIDI = \frac{\sum U_i N_i}{\sum N_i}$$

$$SAIDI_{LP1} = \frac{10,1874 \times 204}{2250} = 0,923658 \text{ Jam/Tahun}$$

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

$$SAIFI_{LP1} = \frac{2,2055 \times 204}{2250} = 0,199965 \text{ Kali/Tahun}$$

Tabel 10. Indeks SAIDI dan SAIFI

Titik Beban (<i>Load Point</i>)	Indeks Keandalan	
	SAIDI (Jam/Tahun)	SAIFI (Kali/Tahun)
1	0,009055	0,00196
2	0,457301	0,099002
3	1,276821	0,276423
4	0,611244	0,13233
5	0,742548	0,160756
6	0,067916	0,014703
7	1,512263	0,327394
8	0	0
9	0,321469	0,069596
10	0,498051	0,107824
11	0,783298	0,169578
12	0,162998	0,035288
13	0,271664	0,058813
14	0,325997	0,070576
15	0,353163	0,076457
16	0,282442	0,089382
17	0,314095	0,099399
18	0,180178	0,057019
19	0,007305	0,002312
20	0,496708	0,157189
21	0,019479	0,006164
22	0,031653	0,010017
23	0,002435	0,000771
24	0,094959	0,030051
Total	8,728083	2,022955

Setelah melakukan perhitungan indeks SAIDI dan SAIFI maka dapat dilihat pada tabel 10 hasil perhitungan pada masing-masing titik beban (*load point*) pada penyulang Balohan PT. PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan Kota Sabang. Indeks SAIDI dan SAIFI setiap *section* ditampilkan pada tabel berikut ini:

Tabel 11. Rekap SAIDI dan SAIFI Section 1 dan Section 2

<i>Section</i>	SAIDI (Jam/Tahun)	SAIFI (Kali/Tahun)
<i>Section 1</i>	7,040625	1,524246
<i>Section 2</i>	1,687458	0,49871
Total	8,728083	2,022955

Berdasarkan tabel 11 dapat dilihat hasil perhitungan indeks keandalan jaringan distribusi Kota Sabang khususnya penyulang Balohan. Dimana pada *section 1* indeks SAIDI adalah 7,040625 Jam/Pelanggan/Tahun, dan indeks SAIFI sekitar 1,524246 Kali/Pelanggan/Tahun. Kemudian pada *section 2* didapatkan hasil SAIDI sebesar 1,687458 Jam/Pelanggan/Tahun, sedangkan indeks SAIFI 0,49871 Kali/Pelanggan/Tahun. Sehingga didapatkan hasil indeks SAIDI total sebesar 8,728083 Jam/Pelanggan/Tahun, sedangkan SAIFI secara total sekitar 2,022955 Kali/Pelanggan/Tahun, sehingga didapatkan nilai CAIDI sebesar 4,314521 Jam/Gangguan. Setelah itu maka akan dilakukan perhitungan indeks SAIDI dan SAIFI dengan metode Failure Mode Effect Analysis (FMEA) seperti berikut ini:

Tabel 12. Hasil Perhitungan Laju Kegagalan dan Durasi Gangguan

Komponen	Panjang Saluran (Km)	λ Peralatan (SPLN)	r (hour) SPLN	λ (fault/year)	U (hour/year)
LBSM 1	-	0,003	10	0,003	0,03
LBSM 2	-	0,003	10	0,003	0,03
LBSM 3	-	0,003	10	0,003	0,03
Trafo	-	0,005	10	0,005	0,05
Recloser	-	0,005	10	0,005	0,05
Line 1	1,95	0,2	3	0,39	1,17
Line 2	0,198	0,2	3	0,0396	0,1188
Line 3	0,3255	0,2	3	0,0651	0,1953
Line 4	0,454	0,2	3	0,0908	0,2724
Line 5	0,319	0,2	3	0,0638	0,1914
Line 6	0,124	0,7	10	0,0868	0,868
Line 7	0,139	0,7	10	0,0973	0,973
Line 8	1,223	0,2	3	0,2446	0,7338
Line 9	3,652	0,2	3	0,7304	2,1912
Line 10	0,3905	0,2	3	0,0781	0,2343
Line 11	1,920	0,2	3	0,384	1,152
Line 12	0,463	0,2	3	0,0926	0,2778
Line 13	0,465	0,2	3	0,093	0,279
Line 14	2,334	0,2	3	0,4668	1,4004
Line 15	0,222	0,2	3	0,0444	0,1332
Line 16	0,264	0,2	3	0,0528	0,1584
Line 17	0,681	0,2	3	0,1362	0,4086
Line 18	1,061	0,2	3	0,2122	0,6366
Line 19	0,772	0,2	3	0,1544	0,4632
Line 20	2,145	0,2	3	0,429	1,287
Line 21	2,251	0,2	3	0,4502	1,3506
Line 22	0,718	0,2	3	0,1436	0,4308
Line 23	0,335	0,2	3	0,067	0,201
Line 24	0,047	0,7	10	0,0329	0,329
Total				4,6686	15,6858

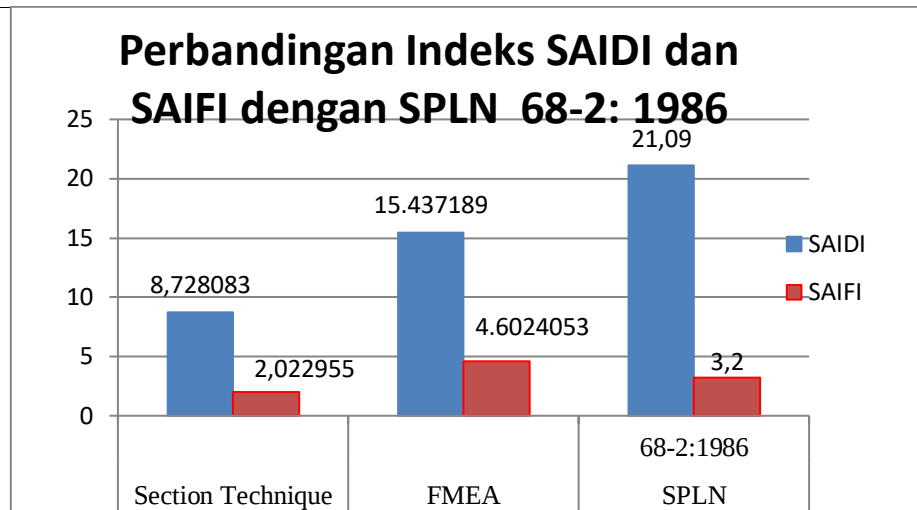
Tabel 13. Hasil Perhitungan Indeks Keandalan SAIDI dan SAIFI

Titik Beban	Jumlah Pelanggan	SAIDI (Jam/Tahun)	SAIFI (Kali/Tahun)
Titik Beban 1	2	0,01390738	0,00414631
Titik Beban 2	101	0,70232258	0,20938871
Titik Beban 3	282	1,96094027	0,58462987
Titik Beban 4	135	0,938748	0,279876

Titik Beban 5	164	1,14040498	0,33999751
Titik Beban 6	15	0,10430533	0,03109733
Titik Beban 7	334	2,32253209	0,69243396
Titik Beban 8	0	0	0
Titik Beban 9	71	0,49371191	0,14719404
Titik Beban 10	110	0,76490578	0,22804711
Titik Beban 11	173	1,20298818	0,35865591
Titik Beban 12	36	0,2503328	0,0746336
Titik Beban 13	60	0,41722133	0,12438933
Titik Beban 14	72	0,5006656	0,1492672
Titik Beban 15	78	0,54238773	0,16170613
Titik Beban 16	116	0,80662791	0,24048604
Titik Beban 17	129	0,89702587	0,26743707
Titik Beban 18	74	0,51457298	0,15341351
Titik Beban 19	3	0,02086107	0,00621947
Titik Beban 20	204	1,41855253	0,42292373
Titik Beban 21	8	0,05562951	0,01658524
Titik Beban 22	13	0,09039796	0,02695102
Titik Beban 23	1	0,00695369	0,00207316
Titik Beban 24	39	0,27119387	0,08085307
Total		15,4371893	4,60240533

Tabel 14 Perbandingan Indeks Keandalan Metode Section Technique dan Failure Mode Effect Analysis (FMEA) dengan SPLN

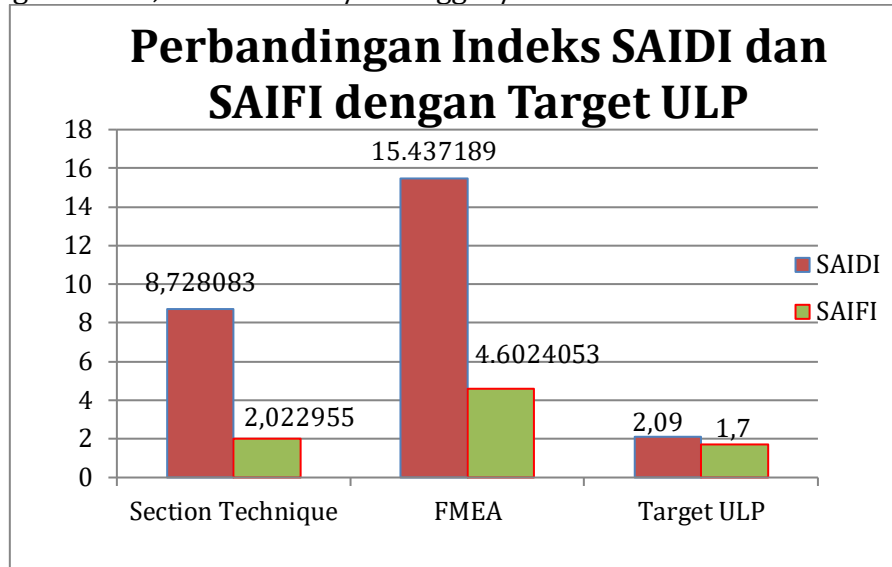
Indeks Keandalan	Metode			Target
	Section Technique	FMEA	SPLN 68-2:1986	
SAIDI (Jam/Tahun)	8,728083	15,437189	21,09	2,09
SAIFI (Kali/Tahun)	2,022955	4,6024053	3,2	1,70
CAIDI (Jam/Gangguan)	4,314521	3,3541568	6,59	-



Gambar 2. Grafik Perbandingan Indeks SAIDI dan SAIFI dengan SPLN 68-2: 1986

Berdasarkan grafik diatas dapat dilihat perbandingan antara metode *section technique* dan *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA) dengan SPLN 68-2: 1986. Dapat dilihat bahwa indeks keandalan jaringan ditinjau dari durasi lamanya terjadi gangguan (SAIDI) bahwa kedua metode yang digunakan yaitu metode *section technique* dan *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA) tergolong andal karena hasil yang didapatkan tidak melebihi 21,09 Jam/Pelanggan/Tahun sesuai dengan SPLN 68-2: 1986. Selanjutnya jika ditinjau dari frekuensi berapa kalinya terjadi gangguan (SAIFI) maka metode *section technique*

dikategorikan andal dengan angka 2,022955 Kali/Pelanggan/Tahun yang berarti tidak melewati standar yaitu 3,2 Kali/Pelanggan/Tahun. Namun pada perhitungan ternyata metode *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA) tidak memenuhi standar SPLN yang digunakan pada penelitian dengan nilai 4,6024053 Kali/Pelanggan/Tahun.



Gambar 3. Grafik Perbandingan Indeks SAIDI dan SAIFI dengan Target ULP

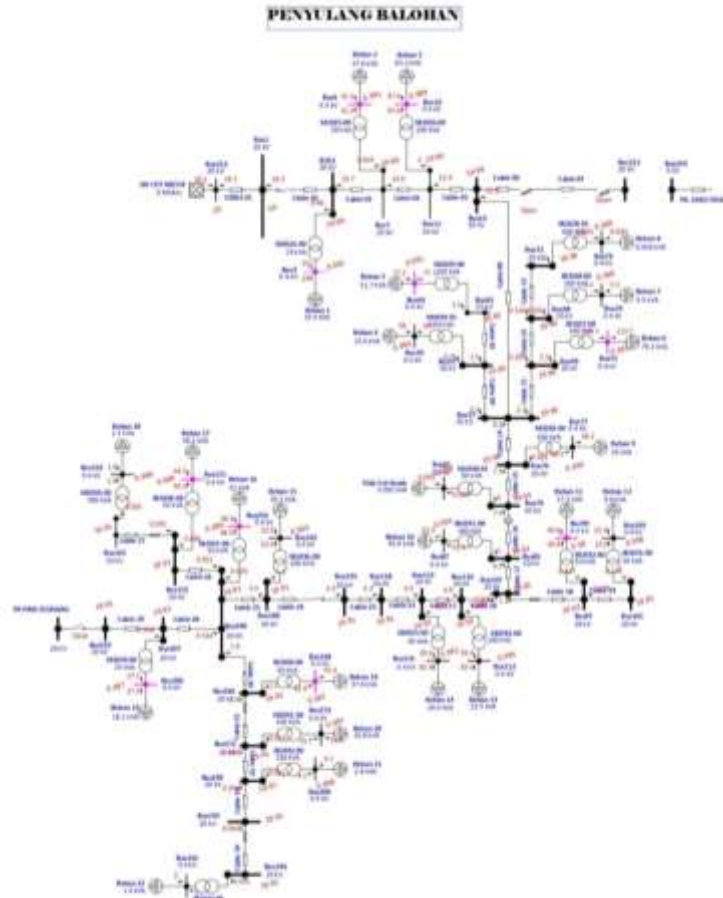
Berdasarkan grafik diatas dapat dilihat bahwa kedua metode yang digunakan yaitu metode *section technique* dan *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA) masih belum memenuhi target PT. PLN (Persero) ULP Sabang. Namun jika dibandingkan antara kedua metode yang digunakan, metode *section technique* lebih mendekati target ULP jika dibandingkan dengan metode *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA). Kemudian jika dibandingkan antara SPLN 68-2: 1986 dengan target ULP Sabang maka terdapat kesenjangan yang begitu signifikan untuk indeks SAIDI dan SAIFI. ENS merupakan akumulasi perkalian dari daya aktif dengan durasi jam padam. Perhitungan ENS berikut ini dihitung dengan mengambil data beban puncak satu hari pada tahun 2024 yaitu pada tanggal 31 Desember 2024 dengan total beban PLTD untuk penyulang Balohan beban puncak malam sebesar 650 kW, dengan durasi gangguan kumulatif yang terjadi selama satu tahun adalah 2,10 jam atau setara dengan 125,09 menit. Adapun perhitungan *Energy Not Sold* (ENS) adalah seperti berikut ini :

$$\begin{aligned}
 \text{ENS} &= \sqrt{3} \times VL \times IL \times \cos \varphi \times t \\
 &= P \times \text{durasi gangguan} \\
 &= 650 \text{ kW} \times 2,10 \text{ hour} \\
 &= 1365 \text{ kWh}
 \end{aligned}$$

Setelah melakukan perhitungan *Energy Not Sold* (ENS) dan *Average Energy Not Sold* (AENS), maka dapat dihitung angka kerugian akibat energi yang tidak tersalurkan kepada pelanggan dengan Tarif Dasar Listrik (TDL) PT. PLN (Persero) ULP Sabang sekitar yaitu Rp 1.600,- per kWh.

$$\begin{aligned}
 \text{Gain} &= \text{ENS} \times \text{TDL} \\
 &= 1365 \times \text{Rp } 1.600,- \\
 &= \text{Rp } 2.184.000,-
 \end{aligned}$$

One-Line Diagram - OLV1 (Load Flow Analysis)



page 1 22:52:26 Mar 14, 2025 Project File: SIMULASI SLD BALOHAN

Gambar 4. SLD Penyulang Balohan Menggunakan ETAP Versi 21.0.1C

Branch Losses Summary Report

Branch ID	From-To Bus Flow		To-From Bus Flow		Losses		% Bus Voltage		Vd in Vmag % Drop
	MW	Mvar	MW	Mvar	kW	kvar	From	To	
CABLE 01	-0.506	0.238	0.506	-0.237	0.0	-1.4	100.0	100.0	0.00
Cable 02	0.506	0.238	-0.506	-0.238	0.1	0.1	100.0	100.0	0.03
Cable 03	0.493	0.229	-0.492	-0.229	0.7	0.5	100.0	99.8	0.16
Cable 04	0.468	0.214	-0.468	-0.213	0.1	0.0	99.8	99.8	0.02
Cable 05	0.411	0.177	-0.411	-0.177	0.0	0.0	99.8	99.8	0.00
Cable 06	0.411	0.177	-0.411	-0.177	0.1	0.0	99.8	99.8	0.02
Cable 09	0.067	0.042	-0.067	-0.042	0.0	0.0	99.8	99.8	0.01
Cable 10	0.045	0.029	-0.045	-0.029	0.0	0.0	99.8	99.8	0.00
Cable 11	0.069	0.036	-0.069	-0.036	0.0	0.0	99.8	99.8	0.00
Cable 12	0.003	-0.008	-0.003	0.003	0.0	-3.9	99.8	99.8	0.00
Cable 13	0.000	-0.004	0.000	0.000	0.0	-4.4	99.8	99.8	0.00
Cable 14	0.274	0.099	-0.274	-0.099	0.0	0.0	99.8	99.8	0.00
Cable 15	0.246	0.082	-0.246	-0.081	0.0	0.0	99.8	99.8	0.02
Cable 16	0.246	0.081	-0.246	-0.081	0.3	0.2	99.8	99.6	0.14
Cable 17	0.215	0.062	-0.215	-0.062	0.0	0.0	99.6	99.6	0.01
Cable 18	-0.032	-0.020	0.032	0.020	0.0	0.0	99.6	99.6	0.00
Cable 19	0.008	0.005	-0.008	-0.005	0.0	0.0	99.6	99.6	0.00
Cable 20	0.183	0.042	-0.183	-0.042	0.0	0.0	99.6	99.6	0.02
Cable 21	0.163	0.030	-0.163	-0.030	0.0	0.0	99.6	99.6	0.01
Cable 22	0.146	0.018	-0.146	-0.018	0.0	0.0	99.6	99.6	0.01
Cable 23	0.146	0.018	-0.146	-0.018	0.0	0.0	99.6	99.6	0.02
Cable 24	-0.146	-0.018	0.146	0.018	0.0	0.0	99.3	99.6	0.00
Cable 25	0.115	-0.001	-0.115	0.001	0.0	0.0	99.3	99.3	0.00
Cable 26	-0.027	-0.017	0.027	0.017	0.0	0.0	99.3	99.3	0.00
Cable 27	0.001	0.001	-0.001	-0.001	0.0	0.0	99.3	99.3	0.00
Cable 28	-0.016	-0.010	0.016	0.010	0.0	0.0	99.3	99.3	0.01
Cable 29	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	99.3	99.3	0.00
Cable 30	-0.045	0.032	0.045	-0.045	0.0	-13.6	99.3	99.3	0.00
Cable 31	0.013	-0.052	-0.013	0.012	0.0	-39.8	99.3	99.3	0.00
Cable 32	0.004	-0.018	-0.004	0.003	0.0	-12.7	99.3	99.3	0.00
Cable 33	-0.001	0.001	0.001	-0.007	0.0	-3.9	99.3	99.3	0.00
Cable 34	0.001	-0.001	-0.001	-0.001	0.0	-1.7	99.3	99.3	0.00
SLPJ024-00	0.013	0.009	-0.013	-0.006	0.3	0.3	100.0	97.6	2.33
SLPJ025-00	-0.024	-0.015	0.024	0.015	0.4	0.5	97.7	99.8	2.08
SLPJ026-00	-0.056	-0.035	0.057	0.036	1.0	1.5	97.3	99.8	2.47

SKJ027-00	0.000	0.042	-0.066	-0.041	0.0	1.3	99.8	98.0	1.78
SKJ028-00	0.003	0.002	-0.009	-0.002	0.0	0.0	99.8	99.6	0.13
SKJ029-01	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	99.8	99.8	0.00
SKJ029-00	-0.044	-0.028	0.045	0.029	0.6	1.0	97.8	99.8	1.93
SKJ029-01	0.022	0.014	-0.022	-0.014	0.2	0.2	99.8	98.8	0.96
SKJ030-00	0.028	0.018	-0.028	-0.017	0.2	0.4	99.8	98.8	1.23
SKJ030-01	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	99.8	99.8	0.00
SKJ031-00	0.031	0.019	-0.030	-0.019	0.3	0.4	99.6	98.3	1.32
SKJ032-00	0.034	0.015	-0.033	-0.013	0.4	0.5	99.6	97.6	2.06
SKJ033-00	0.008	0.005	-0.006	-0.005	0.0	0.1	99.6	98.9	0.70
SKJ034-00	0.030	0.012	-0.019	-0.012	0.1	0.2	99.8	98.7	0.84
SKJ035-00	0.018	0.011	-0.018	-0.011	0.2	0.3	99.6	98.0	1.34
SKJ036-00	0.031	0.019	-0.031	-0.019	0.3	0.4	99.5	98.2	1.34
SKJ037-00	0.027	0.017	-0.027	-0.016	0.3	0.7	99.3	97.2	2.35
SKJ038-00	-0.025	-0.018	0.026	0.016	0.4	0.6	97.3	99.5	2.24
SKJ039-00	-0.001	-0.001	0.001	0.001	0.0	0.0	99.3	99.3	0.01
SKJ040-00	0.032	0.021	-0.032	-0.020	0.7	1.0	99.3	96.7	2.80
SKJ041-00	0.009	0.008	-0.009	-0.009	0.0	0.0	99.3	99.1	0.40
SKJ042-00	0.002	0.001	-0.002	-0.001	0.0	0.0	99.3	99.4	0.10
SKJ043-00	-0.001	-0.001	0.001	0.001	0.0	0.0	99.3	99.3	0.01
SKJ044-00	-0.016	-0.018	0.016	0.010	0.3	0.5	96.8	99.5	2.75
					8.1	-72.3			

* This Transmission Line includes Series Capacitor

Gambar 5. Hasil Losses (Rugi-Rugi Daya) Setiap Komponen pada Penyulang Balohan

Berdasarkan gambar 5 dapat dilihat total rugi-rugi daya (susut daya) pada jaringan kelistrikan kota Sabang khususnya pada penyulang Balohan sebesar 8,1 kW dari daya awal yang disuplai. Angka *losses* terbesar saluran (penghantar) terjadi pada saluran *cable* 3 yaitu sebesar 0,7 kW atau setara dengan 700 W. Sedangkan *losses* terbesar gardu distribusi terjadi pada gardu SKJ026-00 dengan *losses* yang terjadi yaitu sebesar 1,0 kW atau setara dengan 1000 W.

KESIMPULAN

Setelah melakukan perhitungan dapat diketahui bahwa keandalan jaringan distribusi 20 kV di PT. PLN (Persero) ULP Sabang penyulang Balohan dengan menggunakan metode *Section Technique* didapatkan sebesar 8,728083 Jam/Pelanggan/Tahun untuk indeks SAIDI dan 2,022955 Kali/Pelanggan/Tahun untuk indeks SAIFI. Sedangkan dengan menggunakan Metode *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA) didapatkan sebesar 15,437189 Jam/Pelanggan/Tahun untuk indeks SAIDI dan 4,6024053 Kali/Pelanggan/Tahun untuk indeks SAIFI. Berdasarkan perhitungan indeks keandalan SAIDI dan SAIFI dengan menggunakan metode *Section Technique* dan *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA) diketahui bahwa kedua metode yang digunakan tidak memenuhi target PT. PLN (Persero) ULP Sabang. Namun jika dibandingkan antara kedua metode yang digunakan dengan SPLN 68-2: 1986, maka metode *section technique* dikategorikan andal karena memenuhi standar, sedangkan metode *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA) belum memenuhi standar yang digunakan. Setelah melakukan analisa aliran daya pada maka dapat diketahui besar Energy Not Sold (ENS) adalah 1365 kWh dengan kerugian mencapai Rp 2.184.000,-. Selanjutnya rugi-rugi daya pada saluran penghantar maupun pada gardu distribusi sebesar 8,1 kW dari daya awal yang disuplai.

DAFTAR PUSTAKA

Adom, P. K. (2017). The long-run price sensitivity dynamics of industrial and residential electricity demand: The impact of deregulating electricity prices. *Energy Economics*, 62, 43–60. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2016.12.010>

- Duyo, R. A., & Sulkifli, A. (2019). Analisis Jaringan Dan Pemeliharaan. *Jurnal Vertex Elektro*, 01(02), 1–11.
- Kurniawan, A. K., Fitriah, F., & Arsyad, M. I. (2021). Reliability Evaluation of Kumpai Feeder Distribution System at PT. PLN (Persero) ULP Siantan. *Elkha*, 13(2), 141. <https://doi.org/10.26418/elkha.v13i2.48660>
- Liu, N., Wu, T., Xu, T., & Ma, Y. (2017). Reliability evaluation method for distribution network. *The Journal of Engineering*, 2017(13), 1771–1776. <https://doi.org/10.1049/joe.2017.0636>
- Mangera, P. (2022). Reliability Analysis of 20 kV Medium Voltage Air Line Distribution System at Semangga Switch Substation in Merauke Regency. *Engineering and Technology Journal*, 07(10). <https://doi.org/10.47191/etj/v7i10.04>
- Modibbo, U. M., Arshad, M., Abdalghani, O., & Ali, I. (2021). Optimization and estimation in system reliability allocation problem. *Reliability Engineering and System Safety*, 212(March), 107620. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2021.107620>
- Nazaruddin, Mahalla, Fauzi, Maimun, Subhan, Abubakar, S., & Aiyub, S. (2020). Reliability Analysis of 20 KV Electric Power Distribution System. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 854(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/854/1/012007>
- Parol, M., Wasilewski, J., Wojtowicz, T., Arendarski, B., & Komarnicki, P. (2022). Reliability Analysis of MV Electric Distribution Networks Including Distributed Generation and ICT Infrastructure. *Energies*, 15(14). <https://doi.org/10.3390/en15145311>
- Teguh, M. A., & Rijanto, T. (2019). Penentuan Kerugian Ekonomis Berdasarkan Nilai Saidi, Saifi Dan Caidi Menggunakan Metode Section Technique Di Pt. Pln Distribusi Area Gresik. *Jurnal Teknik Elektro*, 08(02), 445–452.
- Tun, Y. M., & Win, A. T. (2020). Interference Analysis of Medium Voltage Air Line 20 KV Feeder Using Failure Mode and Effects Analysis Method. *Journal La Multiapp*, 1(6), 28–34. <https://doi.org/10.37899/journallamultiapp.v1i6.301>
- Yan, Y., Bao, W., Gao, S., & Wang, Q. (2021). Research on reliability evaluation of complex distribution network considering N-1 verification. *Journal of Physics: Conference Series*, 2137(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2137/1/012014>
- Yaser, F., Zakri, A. A., & Sukma, D. Y. (2020). Valuation of Reliability Index in Distribution Network 13.8 kV. *Journal of Science and Applied Engineering*, 3(1), 21–28. <https://doi.org/10.31328/jsae.v3i1.1317>