

Analisis Sistem Jaringan Distribusi 20 KV Penyulang SB.02 Pada PT. PLN (Persero) ULP Sibolga Kota Menggunakan Metode *Section Technique* dan *Failure Mode Effect Analysis (FMEA)*

R. Harahap¹⁾, Syarqawi A. Siregar¹⁾, Surya Hardi³⁾, Syafruddin HS.⁴⁾

Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara,

Jl. Dr. T. Mansyur No. 9, Medan, 20155, Sumatera Utara, Indonesia

harahaprj@yahoo.com; syarqawiakbar37@gmail.com;

surya.hardi@usu.ac.id; syafruddinhs@gmail.com

Abstrak

Penilaian baik dan buruk suatu sistem distribusi tenaga listrik ditinjau dari kualitas daya yang diterima oleh konsumen. Keandalan sistem merupakan kemampuan dari suatu sistem (sistem distribusi listrik) untuk melakukan pekerjaan berdasarkan fungsinya selama kurun waktu tertentu. Pada penelitian ini akan dibahas analisis keandalan distribusi 20 kV dengan menggunakan metode *Section Technique* dan *Failure Mode Effect Analysis (FMEA)* pada PT. PLN (Persero) ULP Sibolga Kota. Perhitungan ini berdasarkan nilai laju kegagalan (λ), waktu perbaikan (r) dan durasi kegagalan (U) dari masing-masing komponen yang digunakan dalam jaringan distribusi. Parameter yang digunakan untuk melihat keandalan jaringan distribusi tersebut adalah SAIFI, SAIDI dan CAIDI. Sebagai acuan tingkat keandalan sistem yaitu berdasarkan SPLN 68-2:1986 yang nantinya digunakan sebagai tolak ukur keandalan sistem distribusi. Hasil perhitungan yang diperoleh dengan metode *Section Technique* didapatkan nilai SAIFI penyulang sebesar 5,53 kali/pelanggan/tahun nilai SAIDI penyulang sebesar 16,74 jam /pelanggan/tahun dan nilai CAIDI sebesar 6,06 jam/tahun, sedangkan menggunakan *Failure Mode Effect Analysis (FMEA)* didapatkan nilai SAIFI 6,12 kali/pelanggan/tahun nilai SAIDI 18,44 jam/pelanggan/tahun dan nilai CAIDI 3,01 jam/gangguan/tahun.

Kata Kunci : Keandalan, *Section Technique*, FMEA, SAIFI, SAIDI, CAIDI.

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik di Indonesia terus meningkat sesuai dengan laju pertumbuhan ekonomi dan penambahan penduduk. Sebagai perusahaan utama pemasok listrik di Indonesia PT. PLN (Persero) selalu berusaha meningkatkan kualitas dan keandalan listrik guna memenuhi kebutuhan masyarakat. Listrik merupakan bentuk energi yang paling bermanfaat dan tepat bagi kehidupan manusia modern seperti saat ini, dimana energi listrik mempunyai satu fungsi fundamental yang dapat memberikan suatu kebutuhan dan pelayanan daya listrik yang diperlukan oleh konsumen.

Melihat kondisi kelistrikan saat ini yang masih sering terjadi pemadaman bergilir, baik yang diakibatkan oleh gangguan ataupun yang dilakukan secara terencana. Perlu dilakukan evaluasi tingkat keandalan pendistribusian tenaga listrik ke pelanggan, untuk meningkatkan kualitas daya yang baik serta mengantisipasi masalah yang ditimbulkan. Keandalan suatu sistem jaringan distribusi dapat digambarkan dengan besaran hasil indeks-indeks keandalan yang akan dibandingkan dengan indeks acuan yang digunakan di Indonesia yaitu berdasarkan Standar PLN (SPLN 68-2 : 1986).

Penelitian ini menggunakan metode *Section Technique*. Metode *Section Technique* merupakan suatu metode terstruktur yang digunakan untuk menganalisa suatu sistem. Dalam mengevaluasi

keandalan suatu sistem distribusi, metode ini didasarkan pada bagaimana pengaruh dari kegagalan suatu peralatan terhadap operasi sistem. Efek dari gangguan individual peralatan secara sistematis diidentifikasi dengan menganalisa apa yang terjadi pada sistem jika gangguan peralatan terjadi. Masing-masing kegagalan peralatan dianalisa dari semua titik beban (*load point*) [7]. Menghitung nilai keandalan sistem distribusi dengan Metode *Section Technique* dilakukan dengan membagi sistem distribusi menjadi beberapa section, kemudian mencari efek kegagalan tiap peralatan terhadap semua pelanggan pada jaringan distribusi. Terdapat beberapa indeks yang digunakan untuk mengetahui tingkat keandalan suatu sistem distribusi yaitu antara lain SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*), SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*) dan CAIDI (*Customer Average Interruption Duration Index*).

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Tenaga Listrik

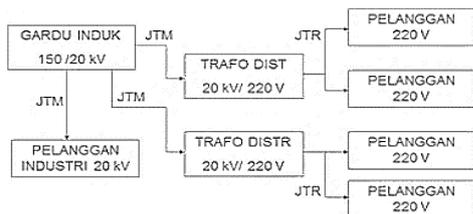
Sistem tenaga listrik adalah sekumpulan pusat listrik dan gardu induk (pusat beban) yang satu dengan yang lainnya dihubungkan oleh jaringan transmisi dan jaringan distribusi sehingga merupakan sebuah satu kesatuan yang saling terinterkoneksi. Pada umumnya pusat-pusat pembangkit terletak jauh dari konsumen atau pusat

beban, ada tiga komponen utama dari system tenaga listrik yaitu :

1. Pusat pembangkit
2. System transmisi
3. System distribusi

2.2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem distribusi adalah bagian dari sistem tenaga listrik yang paling dekat dengan pelanggan. Faktor ini menjadikan sistem distribusi dengan tingkat gangguan paling banyak dibandingkan dengan sistem lainnya. Jaringan distribusi terdiri dari jaringan penghantar yang menghubungkan antara gardu induk pusat beban dengan pelanggan. Jaringan distribusi berfungsi untuk mendistribusikan listrik ke pelanggan sesuai kebutuhan. Level tegangan pada sistem distribusi tenaga listrik dibagi menjadi 2 bagian yaitu sistem distribusi primer dan sistem distribusi sekunder[8].



Gambar 1. Diagram Sistem Distribusi Tenaga Listrik
Sumber : (Slamet Suropto, 2014)

2.3 Keandalan Sistem Distribusi

Keandalan merupakan tingkat keberhasilan kinerja suatu sistem atau bagian dari sistem tenaga listrik, untuk dapat memberikan hasil yang lebih baik pada periode waktu dan dalam kondisi operasi tertentu. Untuk dapat menentukan tingkat keandalan dari suatu sistem, harus diadakan pemeriksaan dengan cara melalui perhitungan maupun analisa terhadap tingkat keberhasilan kinerja atau operasi dari sistem yang ditinjau, pada periode tertentu kemudian membandingkannya dengan standar yang ditetapkan sebelumnya. Keandalan tenaga listrik adalah menjaga kontinuitas penyaluran tenaga listrik kepada pelanggan terutama pelanggan daya besar yang membutuhkan kontinuitas penyaluran tenaga listrik secara mutlak[9].

2.4 Indeks Keandalan Sistem Distribusi

Secara statistik, menurut Supranto, angka indeks atau sering disebut dengan indeks saja, pada dasarnya merupakan suatu angka yang dibuat sedemikian rupa sehingga dapat dipergunakan untuk melakukan perbandingan antara kegiatan yang sama dalam dua atau lebih waktu yang berbeda. Dari angka indeks bisa diketahui maju mundurnya suatu kegiatan. Jadi tujuan pembuatan angka indeks sebetulnya adalah untuk mengukur secara kuantitatif terjadinya perubahan dalam dua atau lebih waktu yang berlainan. Dengan demikian angka indeks sangat diperlukan oleh siapa saja

yang ingin mengetahui maju mundurnya suatu kegiatan yang dilaksanakan [10].

Indeks-indeks keandalan yang sering dipakai dalam suatu sistem distribusi adalah SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*), SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*), CAIDI (*Customer Average Interruption Duration Index*).

Indeks keandalan yang dihitung adalah indeks-indeks titik beban dan indeks-indeks sistem baik secara section maupun keseluruhan. Indeks titik beban antara lain:

1. Failure Rate (λ)

Berdasarkan penyebab terjadinya kegagalan, laju kegagalan dapat dibagi menjadi 2 jenis, yakni :

- a. *Sustained failure rate* yang merupakan nilai laju kegagalan yang diakibatkan oleh gangguan yang memiliki interval waktu yang cukup lama di dalam periode perbaikannya. Jenis laju kegagalan ini yang umum digunakan untuk perhitungan indeks keandalan suatu sistem distribusi.
- b. *Momentary failure rate* merupakan nilai laju kegagalan yang disebabkan oleh gangguan sesaat yang dialami oleh suatu komponen.

Failure Rate titik beban (λ_{TB}) merupakan penjumlahan laju kegagalan semua peralatan yang berpengaruh terhadap Titik beban, dengan persamaan :

$$\lambda_{TB} = \sum \lambda_i \tag{1}$$

Dengan:

λ_i = laju kegagalan untuk peralatan i

2. Unavailability (U)

Ketidakterersediaan adalah waktu dimana sistem tidak dapat menyuplai daya ke pelanggan. Ketidakterersediaan juga berarti durasi kegagalan dan disimbolkan huruf U besar. *Unavailability* titik beban (U_{TB}) merupakan total hasil perkalian antara Laju Kegagalan atau *failure rate* (λ) dengan *repair time* (r) masing-masing peralatan yang mempengaruhi titik beban yang dihitung, berikut ini adalah persamaannya:

$$U_{TB} = \sum \lambda_i . r_i \tag{2}$$

Dengan:

λ_i = Laju Kegagalan untuk peralatan i

r_i = Waktu perbaikan

Pada penelitian kali ini ada tiga indeks keandalan yang dihitung yaitu SAIFI, SAIDI dan CAIDI.

1. System Average Interruption Frequency Index (SAIFI)

SAIFI merupakan indeks yang dibuat untuk memberikan informasi mengenai frekuensi rata-rata dari pemadaman bertahan atau *sustained interruption* setiap pelanggan pada area yang telah ditetapkan dalam satu tahun [12]. Indeks ini dapat dihitung dengan cara sebagai berikut :

$$SAIFI = \frac{\sum \lambda_i N_i}{\sum N_i} \quad (3)$$

Dengan :

- λ_i = Laju kegagalan untuk peralatan i
- N_i = Jumlah pelanggan yang dilayani pada titik beban i
- $\sum N_i$ = Total jumlah pelanggan yang dilayani

2. System Average Interruption Duration Index (SAIDI)

SAIDI merupakan indeks yang biasanya digunakan untuk mengetahui menit/waktu pemadaman pada pelanggan dan dibuat untuk memberikan informasi mengenai waktu rata-rata konsumen yang mengalami pemadaman[12]. Indeks ini dapat dihitung dengan cara sebagai berikut:

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

Dengan :

- U_i = Durasi Kegagalan untuk peralatan i
- N_i = Jumlah pelanggan yang dilayani pada titik beban i
- $\sum N_i$ = Total jumlah pelanggan yang dilayani

3. Customer Average Interruption Duration Index(CAIDI)

CAIDI merupakan suatu indeks yang menginformasikan tentang durasi pemadaman rata-rata konsumen untuk setiap gangguan yang terjadi[12]. Untuk menghitung indeks ini digunakan persamaan :

$$CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI} \quad (5)$$

2.5 Metode Section Technique

Dalam perkembangan dunia kelistrikan, semakin banyak metode yang digunakan dalam mencari nilai keandalan salah satunya metode *Section Technique*. Dengan menggunakan metode ini maka dapat diketahui area mana pada jaringan yang perlu diperbaiki keandalannya. Baik melalui pemeliharaan maupun otomatisasi sistem. Metode ini dinilai sederhana dan dapat mempermudah perhitungan indeks keandalan, yaitu dengan cara membagi struktur jaringan menjadi beberapa bagian di dalam menganalisa sistem, dan tiap seksi memiliki perhitungan masing-masing.

Hasil dari tiap *section* akan dijumlahkan menjadi hasil akhir dari indeks keandalan sistem. Namun di dalam perhitungannya, metode *Section Technique* ini hanya menggunakan *failure rate* atau laju kegagalan yang umum digunakan untuk tiap komponen sistemnya, yakni *sustained failure rate* (laju kegagalan dengan interval perbaikan cukup lama). kelebihan dalam penggunaan metode *Section Technique* yaitu melakukan evaluasi

keandalan dengan cara memecah sistem dalam bagian-bagian yang kecil atau *section* terlebih dahulu, sehingga kemungkinan terjadi kesalahan dapat diminimalkan, serta waktu yang di butuhkan lebih singkat[7].

2.6 Failure Mode Effect Analysis (FMEA)

Untuk menangani suatu mode kegagalan dalam proses, sebuah sistem, desain ataupun *service* agar memudahkan hal tersebut dibuatlah metode evaluasi yang berdasarkan kemungkinan kegagalan yang dapat terjadi dari sebuah kegagalan yang berpengaruh disebut metode FMEA. Dalam prosesnya metode ini akan mengelompokkan tiap kemungkinan kegagalan yang dapat terjadi kemudian akan dikualifikasi dan dibuatkannya prioritas penanganan. Untuk menentukan prioritas tersebut didasarkan dengan hasil dari perkalian antara rating frekuensi, tingkat kerusakan serta tingkat deteksi yang berasal dari sebuah resiko. Dengan adanya penentuan prioritas dapat dibuat nya kontrol proses yang memiliki resiko terbesar[13].

Tujuan pokok mengenai FMEA dipergunakan untuk membuat strategi penurunan resiko dimana hal tersebut didasari dari pengetahuan dan pencegahan akan terjadinya gangguan dengan mengetahui berapa besarnya kegagalan yang dapat terjadi. Dalam hal operasi jaringan distribusi, FMEA dilakukan dengan melihat kemungkinan-kemungkinan yang dapat terjadi dalam pendistribusian tenaga listrik. Metode ini membimbing untuk melakukan evaluasi sistem distribusi yang didasarkan pada tiap komponen peralatan pada sistem distribusi yang mengalami kegagalan sehingga mempengaruhi keandalan sistem dalam keseluruhan.

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian akan dilaksanakan di Jaringan Distribusi Penyulang SB.02 pada PT. PLN (Persero) ULP Sibolga Kota. Penelitian ini akan dilaksanakan kurang lebih selama 3 Bulan.

3.2 Data Yang Diperlukan

Data-data yang dibutuhkan untuk melengkapi tugas akhir saya adalah sebagai berikut:

1. *Single Line Diagram* Penyulang SB.02 PT. PLN (Persero) ULP Sibolga Kota
2. Data jumlah pelanggan tiap titik beban pada Penyulang SB.02 PT. PLN (Persero) ULP Sibolga Kota
3. Data Panjang Saluran Penyulang SB.02
4. Parameter tiap komponen sesuai SPLN 68-2: 1986

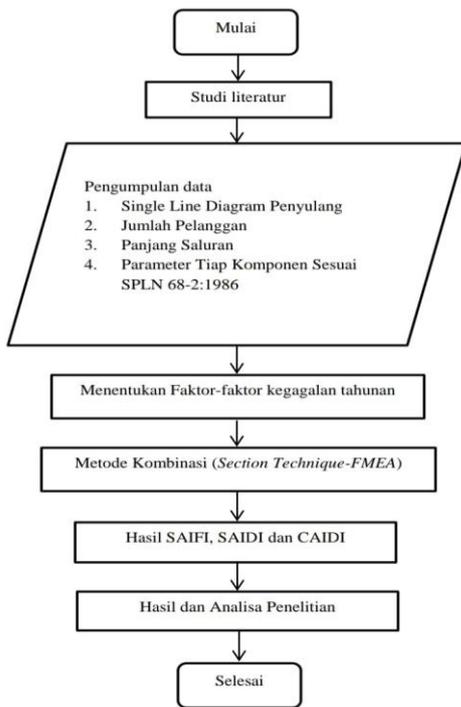
3.3 Variabel yang diamati

Adapun variabel yang diamati dalam penelitian ini adalah :

1. *System Average Interruption Frequency Index* (SAIFI)
2. *System Average Interruption Duration Index* (SAIDI)
3. *Costumer Interruption Duration Index* (CAIDI)

3.4 Prosedur Penelitian

Dibawah ini adalah *flowchart* atau prosedur penelitian penyelesaian dari pembahasan skripsi tentang analisis keandalan sistem jaringan distribusi 20 kV menggunakan metode *Section Technique* dan FMEA pada PT. PLN (persero) ULP Sibolga Kota.



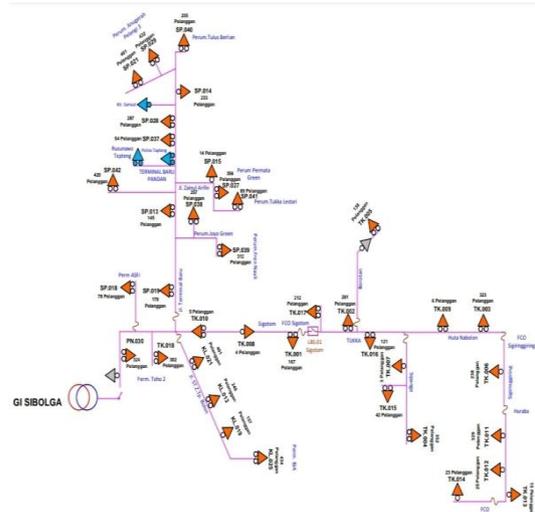
Gambar 2. Prosedur Penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Penelitian

4.1.1 Single line Diagram (SLD) Penyulang SB.02

Penyulang SB.02 disuplai dari gardu induk Sibolga dengan daya 10 MVA. Penyulang ini memiliki 41 titik beban berupa trafo distribusi dengan total pelanggan 7583, 1 *Load Break Switch* (LBS) dan terdiri dari 60 Line dengan panjang saluran 30,540 Km serta Penyulang SB.02 terdiri dari 2 *Section*. Berikut *Single Line Diagram* (SLD) penyulang SB.02 ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Single Line Diagram (SLD) Penyulang SB.02

Sumber: PT. PLN (persero) ULP Sibolga Kota

4.1.2 Data Keandalan Peralatan

Data Keandalan peralatan pada Sistem *Single Line Diagram* (SLD) sesuai standar PLN ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Keandalan Peralatan Standar PLN

Komponen	Laju Kegagalan (Gangguan/Tahun/km)	Repair Time (Jam)	Switching Time (Jam)
Trafo Distribusi	0,005	10	0,15
Circuit Breaker	0,004	10	0,15
Sectionalizer	0,003	10	0,15
Saluran Udara	0,2	3	0,15
Kabel Saluran	0,7	10	0,15

Sumber: SPLN 68-2-1986

4.2. Perhitungan Keandalan Metode Section Technique

Langkah pertama di dalam menganalisis dengan metode ini adalah membagi struktur penyulang menjadi 2 bagian. Pembagian ini didasari atas penempatan *sectionalizer* di dalam jaringan penyulang.

4.2.1 Perhitungan Section 1 Penyulang SB.02

Pada *Section 1* akan ditampilkan hasil dari pembagian struktur penyulang berupa Data Gardu dan jumlah pelanggan sebagai mana dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Gardu Dan Jumlah Pelanggan

No.	Gardu	Jumlah Pelanggan
1	PN.30	342
2	SP.18	78
3	TK.18	302
4	SP.19	178
5	SP.13	145
6	SP.38	257
7	SP.39	312
8	SP.42	420
9	SP.15	14
10	SP.27	356
11	SP.41	89
12	Rusunawa Tapteng	1
13	Polres Tapteng	1

14	SP.37	54
15	SP.28	287
16	Kantor Samsat	1
17	SP.14	233
18	SP.29	432
19	SP.21	401
20	SP.40	235
21	KL.21	312
22	KL.13	248
23	KL.19	157
24	KL.25	434
25	TK.10	5
26	TK.8	4
27	TK.1	167
TOTAL		5465

Langkah berikutnya adalah menghitung nilai λ dan U dari tiap peralatan yang termasuk ke dalam perhitungan dari tiap *section*. Berdasarkan perhitungan diperoleh nilai λ peralatan *section 1* sebesar 2,372 gangguan/tahun dan nilai U peralatan *section 1* sebesar 7,199 jam/tahun.

Selanjutnya melakukan perhitungan indeks keandalan SAIFI dan SAIDI. Diambil satu contoh perhitungan SAIFI dan SAIDI pada titik beban 1

- Perhitungan SAIFI

$$SAIFI(TB1) = \frac{\sum \lambda_{TB} \times NTB1}{\sum N_{section\ 1}} = \frac{2,372 \times 342}{5465} = 0,1484 \text{ Kali/tahun}$$

- Perhitungan SAIDI

$$SAIDI(TB1) = \frac{\sum UTB \times NTB1}{\sum N_{section\ 1}} = \frac{7,199 \times 342}{5465} = 0,4505 \text{ Jam/tahun}$$

Untuk perhitungan titik beban 2 hingga seterusnya dilakukan dengan cara yang sama. Setelah mendapatkan nilai keseluruhan indeks keandalan SAIFI dan SAIDI maka dilakukan penjumlahan keseluruhan. Nilai indeks keandalan pada *section 1* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Indeks Keandalan Section 1

Titik Beban	SAIFI (Kali/Tahun)	SAIDI (Jam/Tahun)
TB1 (PN30)	0,1484	0,4505
TB2 (SP18)	0,0339	0,1028
TB3 (TK18)	0,1311	0,3978
TB4 (SP19)	0,0773	0,2345
TB5 (SP13)	0,0629	0,1910
TB6 (SP38)	0,1115	0,3386
TB7 (SP39)	0,1354	0,4110
TB8 (SP42)	0,1823	0,5533
TB9 (SP15)	0,0061	0,0184
TB10 (SP27)	0,1545	0,4690
TB11 (SP41)	0,0386	0,1172
TB12 (Rusunawa Tapteng)	0,0004	0,0013
TB13 (Polres Tapteng)	0,0004	0,0013
TB14 (SP37)	0,0234	0,0711
TB15 (28)	0,1246	0,3781
TB16 (Kantor Samsat)	0,0004	0,0013
TB17 (SP14)	0,1011	0,3069

TB18 (SP29)	0,1875	0,5691
TB19 (SP21)	0,1740	0,5283
TB20 (SP40)	0,1020	0,3096
TB21 (KL21)	0,1354	0,4110
TB22 (KL13)	0,1076	0,3267
TB23 (KL19)	0,0681	0,2068
TB24 (KL25)	0,1884	0,5717
TB25 (TK10)	0,0022	0,0066
TB26 (TK8)	0,0017	0,0053
TB27 (TK1)	0,0725	0,2200
TOTAL	2,37	7,20

Berdasarkan Tabel 3 di atas dapat dijelaskan bahwa diperoleh nilai SAIFI dan SAIDI pada *section 1* yaitu SAIFI 2,37 kali/tahun sedangkan untuk SAIDI 7,20 jam/tahun dan untuk indeks CAIDI merupakan perbandingan antara hasil indeks SAIDI dan SAIFI sehingga diperoleh nilai CAIDI sebesar 3,04 jam/gangguan.

4.2.2 Perhitungan Section 2 Penyulang SB.02

Pada *Section 2* akan ditampilkan hasil dari pembagian struktur penyulang berupa Data Gardu dan jumlah pelanggan sebagai mana dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Data Gardu Dan Jumlah Pelanggan

No	Gardu	Jumlah Pelanggan
1	TK 17	212
2	TK02	281
3	TK05	138
4	TK16	121
5	TK07	3
6	TK15	42
7	TK04	352
8	TK09	6
9	TK03	323
10	TK06	238
11	TK11	329
12	TK12	35
13	TK13	15
14	TK14	23

Sama halnya pada *section 1*, Langkah berikutnya adalah menghitung nilai λ dan U dari tiap peralatan yang termasuk ke dalam perhitungan dari *section 2*. Dari Perhitungan diperoleh nilai λ peralatan *section 2* sebesar 3,165 gangguan/tahun dan nilai U peralatan *section 2* sebesar 9,550 jam/tahun.

Selanjutnya melakukan perhitungan indeks keandalan SAIFI dan SAIDI. Diambil satu contoh perhitungan SAIFI dan SAIDI pada titik beban 28

- Perhitungan SAIFI

$$SAIFI(TB28) = \frac{\sum \lambda_{TB} \times NTB28}{\sum N_{section\ 2}} = \frac{3,165 \times 212}{2118} = 0,317 \text{ Kali/tahun}$$

- Perhitungan SAIDI

$$SAIDI(TB28) = \frac{\sum UTB \times NTB28}{\sum N_{section\ 2}}$$

$$= \frac{9,550 \times 212}{2118}$$

$$= 0,956 \text{ Jam/tahun}$$

Untuk perhitungan titik beban 29 hingga seterusnya dilakukan dengan cara yang sama. Setelah mendapatkan nilai keseluruhan indeks keandalan SAIFI dan SAIDI maka dilakukan penjumlahan keseluruhan. Nilai indeks keandalan pada *section* 1 dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Indeks Keandalan Section 2

Titik Beban	SAIFI (Kali/Tahun)	SAIDI (Jam/Tahun)
TB28 (TK17)	0,317	0,956
TB29 (TK02)	0,420	1,267
TB30 (TK05)	0,206	0,622
TB31 (TK16)	0,181	0,546
TB32 (TK07)	0,004	0,014
TB33 (TK15)	0,063	0,189
TB34 (TK04)	0,526	1,587
TB35 (TK09)	0,009	0,027
TB36 (TK03)	0,483	1,456
TB37 (TK06)	0,356	1,073
TB38 (TK11)	0,492	1,483
TB39 (TK12)	0,052	0,158
TB40 (TK13)	0,022	0,068
TB41 (TK14)	0,034	0,104
TOTAL	3,16	9,55

Berdasarkan tabel diatas dapat dijelaskan bahwa telah diperoleh nilai SAIFI dan SAIDI pada *section* 2 yaitu SAIFI 3,16 kali/tahun sedangkan untuk SAIDI 9,550 jam/tahun dan untuk indeks CAIDI merupakan pembagian antara hasil SAIDI dan SAIFI sehingga diperoleh nilai CAIDI sebesar 3,02 jam/gangguan.

Setelah mengetahui nilai indeks keandalan pada setiap *section*, maka dapat diperoleh nilai indeks keandalan penyulang SB.02 dengan menjumlahkan indeks keandalan tiap *section*. Dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Indeks Keandalan Penyulang SB.02

No.	Section	Indeks Keandalan Sistem		
		SAIFI (Kali/ Tahun)	SAIDI (Jam/ Tahun)	CAIDI (Jam/ Gangguan)
1.	Section 1	2,37	7,20	3,04
2.	Section 2	3,16	9,55	3,02
TOTAL		5,53	16,75	6,06

Pada penyulang SB.02 yang dianalisis diperoleh nilai SAIFI Sebesar 5,53 Kali/Tahun, nilai SAIDI sebesar 16,75 Jam/Tahun dan Nilai CAIDI sebesar 6,06 Jam/Gangguan.

4.3 Perhitungan Keandalan Metode Failure Mode Effect Analysis (FMEA)

Analisa keandalan menggunakan metode FMEA pada penyulang SB.02 yaitu menentukan SAIFI, SAIDI dan CAIDI dengan memperhitungkan laju kegagalan (λ) dan durasi kegagalan (U) dari peralatan sistem distribusi 20 kV yaitu *trafo*, *circuit braker*, saluran udara dan *LBS* tiap titik beban secara keseluruhan sistem.

Berikut data panjang saluran ditunjukkan pada Tabel 7 dan jumlah pelanggan pada setiap titik beban pada Tabel 8.

Tabel 7. Data Panjang Saluran

Komponen	Panjang Saluran (Km)	Komponen	Panjang Saluran (Km)
CB	-	Line 10	0,100
LBS	-	Line 11	0,119
TRAF0	-	Line 12	0,519
Line 1	0,010	Line 13	0,439
Line 2	0,144	Line 14	0,243
Line 3	0,283	Line 15	0,156
Line 4	0,258	Line 16	0,100
Line 5	0,198	Line 17	0,296
Line 6	0,100	Line 18	0,304
Line 7	0,220	Line 19	0,371
Line 8	0,448	Line 20	0,100
Line 9	0,934	Line 21	0,113
Line 22	0,100	Line 43	1,123
Line 23	0,115	Line 44	0,678
Line 26	0,164	Line 46	1,154
Line 28	0,190	Line 47	0,682
Line 29	0,281	Line 48	1,456
Line 32	0,396	Line 49	0,346
Line 33	0,242	Line 50	0,334
Line 34	0,577	Line 51	0,482
Line 35	1,127	Line 52	0,488
Line 35	1,127	Line 53	1,696
Line 36	0,718	Line 54	1,483
Line 37	0,213	Line 55	1,245
Line 38	0,446	Line 56	1,650
Line 39	0,672	Line 57	1,590
Line 40	0,328	Line 58	0,645
Line 41	0,207	Line 59	1,338
Line 42	0,100	Line 60	1,829

Sumber: PT. PLN (persero) ULP Sibolga Kota

Tabel 8. Data Jumlah Pelanggan Tiap Titik Beban

Titik Beban	Jumlah Pelanggan	Titik Beban	Jumlah Pelanggan
TB1	342	TB22	248
TB2	78	TB23	157
TB3	302	TB24	434
TB4	178	TB25	5
TB5	145	TB26	4
TB6	257	TB27	167
TB7	312	TB28	212
TB8	420	TB29	281
TB9	14	TB30	138
TB10	356	TB31	121
TB11	89	TB32	3
TB12	1	TB33	42
TB13	1	TB34	352
TB14	54	TB35	6
TB15	287	TB36	323
TB16	1	TB37	238
TB17	233	TB38	329
TB18	432	TB39	35
TB19	401	TB40	15
TB20	235	TB41	23
TB21	312	TOTAL	7583

Sumber: PT. PLN (persero) ULP Sibolga Kota

Langkah berikutnya adalah menghitung nilai λ dan U dari tiap peralatan pada penyulang SB.02. Berikut ini merupakan perhitungan nilai λ dan U tiap peralatan.

Tabel 9. Perhitungan λ dan U peralatan

Alat	Panjang Saluran (Km)	λ Peralatan (SPLN)	r (hour) SPLN	λ (fault/year)	U (hour/year)
CB	-	0,004	10	0,004	0,040
LBS	-	0,005	10	0,005	0,050
TRAFO	-	0,003	10	0,003	0,030
Line 1	0,010	0,2	3	0,002	0,006
Line 2	0,144	0,2	3	0,029	0,086
Line 3	0,283	0,2	3	0,057	0,170
Line 4	0,258	0,2	3	0,052	0,155
Line 5	0,198	0,2	3	0,040	0,119
Line 6	0,100	0,2	3	0,020	0,060
Line 7	0,220	0,2	3	0,044	0,132
Line 8	0,448	0,2	3	0,090	0,269
Line 9	0,934	0,2	3	0,187	0,560
Line 10	0,100	0,2	3	0,020	0,060
Line 11	0,119	0,2	3	0,024	0,071
Line 12	0,519	0,2	3	0,104	0,311
Line 13	0,439	0,2	3	0,088	0,263
Line 14	0,243	0,2	3	0,049	0,146
Line 15	0,156	0,2	3	0,031	0,094
Line 16	0,100	0,2	3	0,020	0,060
Line 17	0,296	0,2	3	0,059	0,178
Line 18	0,304	0,2	3	0,061	0,182
Line 19	0,371	0,2	3	0,074	0,223
Line 20	0,100	0,2	3	0,020	0,060
Line 21	0,113	0,2	3	0,023	0,068
Line 22	0,100	0,2	3	0,020	0,060
Line 23	0,115	0,2	3	0,023	0,069
Line 24	0,204	0,2	3	0,041	0,122
Line 25	0,087	0,2	3	0,017	0,052
Line 26	0,164	0,2	3	0,033	0,098
Line 27	0,127	0,2	3	0,025	0,076
Line 28	0,190	0,2	3	0,038	0,114
Line 29	0,281	0,2	3	0,056	0,169
Line 30	0,111	0,2	3	0,022	0,067
Line 31	0,246	0,2	3	0,049	0,148
Line 32	0,396	0,2	3	0,079	0,238
Line 33	0,242	0,2	3	0,048	0,145
Line 34	0,577	0,2	3	0,115	0,346
Line 35	1,127	0,2	3	0,225	0,676
Line 36	0,718	0,2	3	0,144	0,431
Line 37	0,213	0,2	3	0,043	0,128
Line 38	0,446	0,2	3	0,089	0,268
Line 39	0,672	0,2	3	0,134	0,403
Line 40	0,328	0,2	3	0,066	0,197
Line 41	0,207	0,2	3	0,041	0,124
Line 42	0,100	0,2	3	0,020	0,060
Line 43	1,123	0,2	3	0,225	0,674
Line 44	0,678	0,2	3	0,136	0,407
Line 45	0,215	0,2	3	0,043	0,129
Line 46	1,154	0,2	3	0,231	0,692
Line 47	0,682	0,2	3	0,136	0,409
Line 48	1,456	0,2	3	0,291	0,874
Line 49	0,346	0,2	3	0,069	0,208
Line 50	0,334	0,2	3	0,067	0,200
Line 51	0,482	0,2	3	0,096	0,289
Line 52	0,488	0,2	3	0,098	0,293
Line 53	1,696	0,2	3	0,339	1,018
Line 54	1,483	0,2	3	0,297	0,890
Line 55	1,245	0,2	3	0,249	0,747
Line 56	1,650	0,2	3	0,330	0,990
Line 57	1,590	0,2	3	0,318	0,954
Line 58	0,645	0,2	3	0,129	0,387
Line 59	1,338	0,2	3	0,268	0,803
Line 60	1,829	0,2	3	0,366	1,097
TOTAL				6,12	18,44

Dari tabel diatas, diperoleh nilai laju kegagalan dan durasi kegagalan untuk setiap titik beban pada penyulang SB.02, maka nilai laju kegagalan (λ) dan durasi kegagalan (U) yaitu 6,12 gangguan/tahun dan 18,44 jam/tahun.

Selanjutnya melakukan perhitungan indeks keandalan SAIFI dan SAIDI. Diambil satu contoh perhitungan SAIFI dan SAIDI pada titik beban 1 :

- Perhitungan SAIFI

$$SAIFI (TB1) = \frac{\sum \lambda TB \times NTB1}{\sum Ntotal}$$

$$= \frac{6,12 \times 342}{7583}$$

$$= 0,276 \text{ Kali/tahun}$$

- Perhitungan SAIDI

$$SAIDI (TB1) = \frac{\sum U TB \times NTB1}{\sum Ntotal}$$

$$= \frac{18,44 \times 342}{7583}$$

$$= 0,832 \text{ Jam/tahun}$$

Untuk perhitungan titik beban 2 hingga seterusnya dilakukan dengan cara yang sama. Setelah mendapatkan nilai keseluruhan indeks keandalan SAIFI dan SAIDI maka dilakukan penjumlahan keseluruhan, dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Nilai SAIFI, SAIDI Penyulang SB.02

Titik Beban	Jumlah Pelanggan	SAIFI (Kali/Tahun)	SAIDI (Jam/Tahun)
TB1	342	0,276	0,832
TB2	78	0,063	0,190
TB3	302	0,244	0,734
TB4	178	0,144	0,433
TB5	145	0,117	0,353
TB6	257	0,207	0,625
TB7	312	0,252	0,759
TB8	420	0,339	1,021
TB9	14	0,011	0,034
TB10	356	0,287	0,866
TB11	89	0,072	0,216
TB12	1	0,001	0,002
TB13	1	0,001	0,002
TB14	54	0,044	0,131
TB15	287	0,232	0,698
TB16	1	0,001	0,002
TB17	233	0,188	0,567
TB18	432	0,349	1,051
TB19	401	0,324	0,975
TB20	235	0,190	0,571
TB21	312	0,252	0,759
TB22	248	0,200	0,603
TB23	157	0,127	0,382
TB24	434	0,350	1,055
TB25	5	0,004	0,012
TB26	4	0,003	0,010
TB27	167	0,135	0,406
TB28	212	0,171	0,516
TB29	281	0,227	0,683
TB30	138	0,111	0,336
TB31	121	0,098	0,294
TB32	3	0,002	0,007
TB33	42	0,034	0,102
TB34	352	0,284	0,856
TB35	6	0,005	0,015
TB36	323	0,261	0,785
TB37	238	0,192	0,579
TB38	329	0,266	0,800
TB39	35	0,028	0,085
TB40	15	0,012	0,036
TB41	23	0,019	0,056
TOTAL		6,12	18,44

Berdasarkan tabel diatas dapat dijelaskan bahwa nilai SAIFI dan SAIDI pada penyulang SB.02 yaitu Indeks SAIFI 6,12 kali/tahun sedangkan untuk indeks SAIDI 18,44 jam/tahun dan untuk indeks CAIDI merupakan perbandingan antara hasil SAIDI dan SAIFI sehingga diperoleh nilai CAIDI sebesar 3,01 jam/gangguan..

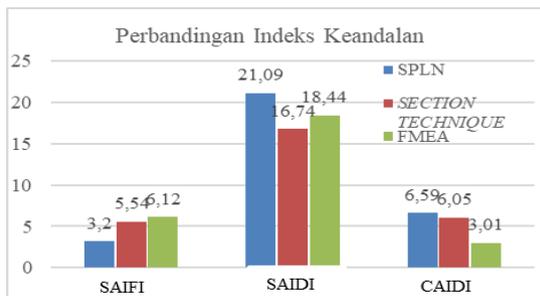
4.4 Perbandingan Indeks Keandalan Antara Metode Section Technique dan Failure Mode Effect Analysis dengan Standar PLN

Dari hasil analisis dan perhitungan keandalan yang telah dilakukan baik menggunakan metode Section Technique dan Failure Mode Effect Analysis (FMEA) maka dapat dibandingkan hasil indeks SAIFI, SAIDI dan CAIDI yang dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Perbandingan nilai Indeks Keandalan antara Metode Section Technique dan FMEA dengan SPLN

Indeks Keandalan	Metode		
	Section Technique	FMEA	SPLN 68:2:1986
SAIFI (Kali/Tahun)	5,53	6,12	3,2
SAIDI (Jam/Tahun)	16,74	18,44	21,09
CAIDI (Jam/Gangguan)	6,06	3,01	6,59

Berdasarkan Tabel di atas, indeks keandalan SAIFI pada penyulang SB.02 dengan menggunakan metode Section Technique melebihi standar PLN 68:2:1986 sebesar 76,96%, sedangkan nilai indeks keandalan SAIFI dengan menggunakan metode FMEA melebihi standar PLN 68:2:1986 sebesar 95,84%. Untuk nilai indeks keandalan SAIDI dan CAIDI menggunakan metode Section Technique dan FMEA telah memenuhi standar PLN 68:2:1986. Berikut diagram perbandingan indeks keandalan di tunjukkan pada Gambar 4



Gambar 4. Diagram Perbandingan Indeks Keandalan

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang didapatkan pada penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Perhitungan indeks keandalan sistem jaringan distribusi 20 kV penyulang SB.02 dengan menggunakan metode Section Technique nilai indeks yang diperoleh untuk SAIFI sebesar 5,53 kali/tahun, untuk SAIDI sebesar 16,74

jam/tahun dan untuk CAIDI sebesar 6,06 jam/gangguan.

2. Perhitungan indeks keandalan sistem jaringan distribusi 20 kV penyulang SB.02 dengan menggunakan metode Failure Mode Effect Analysis (FMEA) nilai indeks untuk SAIFI sebesar 6,12 kali/tahun, SAIDI sebesar 18,44 jam/tahun dan untuk CAIDI sebesar 3,01 jam/gangguan.
3. Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis indeks keandalan pada penyulang SB.02 dapat dikatakan belum handal dikarenakan nilai indeks SAIFI melebihi standar PLN No 68-2:1986, tetapi nilai indeks SAIDI dan CAIDI telah sesuai dengan standar PLN No 69-2:1986 yaitu di bawah 21,09 jam/tahun dan 6,59 jam/gangguan.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk perbaikan dan pengembangan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Nilai SAIFI dan SAIDI yang diperoleh masih bisa di turunkan dengan cara membuat penyulang sisipan atau memecah jaringan dengan penyulang yang lain sehingga dapat mengurangi panjang jaringan, sehingga potensi SAIFI, SAIDI dan CAIDI menjadi rendah.
2. Disamping itu perlu adanya maintenance secara korektif untuk memperkecil gangguan pada jaringan.
3. Dalam menganalisa keandalan sistem distribusi dapat dilakukan dengan metode lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. A. Windy, 2019, *Audit Keandalan Sistem Jaringan Distribusi 20 kV pada PT PLN (Persero) Rayon Tanjung Balai.*
- [2] Gheschik, Safiur Rahmat, dkk., 2013. *Evaluasi Indeks Keandalan Sistem Jaringan Distribusi 20 Kv Di Surabaya Menggunakan Loop Restoration Scheme. Vol. 2, No. 2.*
- [3] K. Julianto, Deny Wiria Nugraha, A.Y. Erwin Dodu, 2014, *Evaluasi Penggunaan Scada Pada Keandalan Sistem Distribusi Pt.Pln (Persero) Area Palu. Jurnal MEKTRIK Vol. 1 No. 1, September.*
- [4] Alen, Tri Maliky, Subuh Isnur Haryudo, 2020, *Analisis Keandalan Sistem Distribusi 20 Kv Pada Penyulang Pejangkungan Di Pt Pln Pasuruan Menggunakan Metode Ria (Reliability Index Assesment). Volume 09, Nomer 01.*
- [5] Aang, Fras Setiawan, Titiek Suheta, 2020, *Analisa Studi Keandalan Sistem Distribusi 20 KV di PT. PLN (PERSERO) UPJ Mojokerto Menggunakan Metode FMEA (FAILURE MODE EFFECT ANALYSIS). Volume 3 Nomor 1, Januari.*

- [6] Chandra, Goenadi, I.G.N Satriyadi Hernanda, Ontoseno Penangsang, 2012, *Analisis Keandalan Sistem Jaringan Distribusi 20 Kv Di Pt Pln Distribusi Jawa Timur Kediri Dengan Metode Simulasi Section Technique*. Jurnal Teknik Pomits Vol. 1, No. 1, 1-6
- [7] Xie K., Zhou J., dan Billinton R., 2008, *Fast algorithm for the reliability evaluation of large scale electrical distribution networks using the section technique*”, IET Gener. Transm. Distrib., Vol. 2, No.5, 701-707.
- [8] Marsudi, D., 2006, *Operasi Sistem Tenaga Listrik*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [9] Suswanto, Daman, 2009, *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*, Universitas Negeri Padang.
- [10] J. Supranto, 2000, *Statistik, Teori dan Aplikasi (I-IV)*, Jakarta: Erlangga.
- [11] Spln. No.68-2, 1986, *Tingkat Jaminan Sistem Tenaga Listrik Bagian Dua : Sistem Distribusi*, Perusahaan Umum Listrik Negara, Jakarta.
- [12] I. S., 2003, *IEEE Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices, IEEE Std 136*, Vols. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc, no. New York.
- [13] Khusni, & Umar, M., 2013, *Analisa Nilai Indeks Keandalan Sistem Distribusi 20 kV di PT.PLN Rayon Blora dengan Metode FMEA*. Surabaya: Institut Teknologi Surabaya.
- [14] A. Fatoni, 2017, *Analisa Keandalan Sistem Distribusi 20 kV PT.PLN Rayon Lumajang dengan Metode FMEA (Failure Modes and Effects Analysis)*, J. Tek. ITS.
- [15] Hutauruk, T.S., 1987, *Pentanahan Netral Sistem Tenaga dan Pengetahuan Peralatan*, Jakarta : Penerbit Erlangga, h.160 + ix.
- [16] Suropto, Slamet. 2014. *Buku Ajar Sistem Tenaga Listrik*. Yogyakarta: Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.