



### A. Sistem Jaringan Distribusi Tenaga Listrik

Secara umum, sistem distribusi adalah salah satu bagian dari sistem tenaga listrik yang berada paling dekat dengan pelanggan. Permasalahan utama dalam pengoperasian sistem distribusi adalah mengatasi gangguan, sebab sistem distribusi adalah bagian sistem tenaga listrik yang paling banyak mengalami gangguan dibandingkan dengan bagian sistem tenaga listrik yang lain.

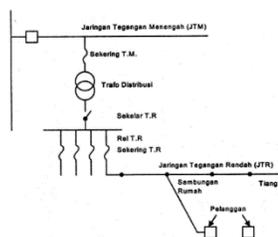
Secara garis besar jaringan distribusi dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu:

- Distribusi Primer

Distribusi Primer adalah jaringan distribusi daya listrik yang bertegangan menengah (20kV). Jaringan distribusi primer tersebut merupakan jaringan penyulang. Jaringan ini berawal dari sisi sekunder trafo daya yang terpasang pada gardu induk hingga ke sisi primer trafo distribusi yang terpasang pada tiang-tiang saluran.

- Distribusi Sekunder

Distribusi Sekunder adalah jaringan distribusi daya listrik yang termasuk dalam kategori tegangan rendah (380/220Volt), yaitu rating yang sama dengan tegangan peralatan yang dilayani. Jaringan distribusi sekunder bermula dari sisi sekunder trafo distribusi dan berakhir hingga ke alat ukur (kWh meter) pelanggan. Sistem jaringan distribusi sekunder ini disalurkan kepada para pelanggan melalui kawat berisolasi



Gambar 2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

(Sumber Gambar: Jurnal Analisis Keandalan listrik, Jatmiko Aziz BAB 2. h 13)

Dilihat dari pengawatannya dapat kita pisahkan menjadi 2 macam, yaitu :

- a. Sistem distribusi 20 kV 3 fasa 3 kawat terdapat pada sistem distribusi 20 kV dengan pentanahan netral tinggi dan pada sistem distribusi 20 kV dengan pentanahan netral rendah.
- b. Sistem distribusi 20 kV 3 fasa 4 kawat terdapat pada sistem distribusi 20 kV dengan netral pentanahan langsung.

### B. Keandalan Sistem Distribusi

Keandalan sistem distribusi adalah kemampuan suatu sistem untuk bekerja secara optimal, dalam durasi waktu tertentu dan dalam berbagai macam kondisi. Keandalan suatu sistem distribusi listrik, erat kaitannya dengan pemutusan aliran listrik yang disebabkan oleh terjadinya suatu gangguan. Nilai keandalan sistem distribusi dapat dikatakan rendah Ketika jumlah pemutusan jumlahnya tinggi, dan begitu pula sebaliknya. Kita perlu mengetahui keandalan dari suatu sistem dalam hal pelayanan

konsumen untuk dapat mengetahui mutu dan kualitas penyediaan pasokan energi listrik.

Keandalan yang tinggi dari suatu sistem distribusi energi listrik tentu menjadi keinginan segala pihak. Karena apabila nilai keandalannya rendah, tentu akan merugikan bagi pihak konsumen maupun produsen listrik.

Untuk mengevaluasi keandalan jaringan distribusi digunakan Teknik analisis menggunakan rumus matematik, yaitu indeks keandalan dasar digunakan laju kegagalan  $\lambda$  (kegagalan/tahun). Rata-rata waktu keluar (outage)  $r$  (jam/kegagalan) dan rata-rata ketersediaan tahunan  $U$  (jam/tahun). Sedangkan indeks berbasis sistem diantaranya adalah SAIFI dan SAIDI.

Secara umum keandalan didefinisikan sebagai kemungkinan (*probability*) dari suatu sistem yang mampu bekerja sesuai dengan kondisi operasi tertentu dalam jangka waktu yang ditentukan, dengan kata lain keandalan disebut juga dengan kecukupan atau ketersediaan.

Keandalan memiliki sifat non deterministik (terjadi secara kebetulan) tapi probabilistik (suatu yang bersifat acak, tidak pasti, namun dianalisa dengan teori probabilitas).

### C. Indeks Keandalan

Indeks keandalan secara kuantitatif didefinisikan sebagai perbandingan dari jam konsumen total per tahun dikurangi jam konsumen terinterupsi total per tahun dengan jam konsumen total per tahun.

$$\text{Indeks}_{\text{Keandalan}} = \frac{\text{jam konsumen total per tahun} - \text{jam konsumen terinterupsi per tahun}}{\text{jam total per tahun}}$$

Sejumlah indeks telah dikembangkan untuk menyediakan suatu kerangka untuk mengevaluasi keandalan jaringan sistem distribusi, Adapun indeks tersebut diantaranya : .

#### 1. SAIFI (System Average Interruption Frequency Index)

SAIFI adalah salah satu indeks keandalan dimana perhitungannya adalah perkalian frekuensi padam sebuah penyulang dengan jumlah pelanggan yang mengalami gangguan pemadaman dibagi dengan jumlah pelanggan secara keseluruhan. Satuan dari perhitungan indeks SAIFI adalah pemadaman per pelanggan. Perhitungan pemadaman dapat dilakukan dalam jangka waktu tertentu, baik hari bulan maupun tahun. Secara matematis indeks SAIFI dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{SAIFI} = \frac{\lambda_i \times N_i}{N_t}$$

Dimana :

- $\lambda_i$  = Angka kegagalan rata-rata / frekuensi padam
- $N_i$  = Jumlah pelanggan yang terganggu pada beban
- $N_t$  = Jumlah pelanggan yang dilayani

#### 2. SAIDI (System Average Interruption Duration Indeks)

SAIDI adalah indeks keandalan yang merupakan perkalian dari lamanya suatu sistem padam dalam hitungan jam dengan banyaknya pelanggan yang

mengalami pemadaman dibagi dengan jumlah pelanggan keseluruhan. Satuan perhitungan SAIDI adalah jam/pelanggan. Dengan indeks ini, gambaran mengenai lama pemadaman rata-rata yang diakibatkan oleh gangguan pada bagian-bagian dari sistem dapat dievaluasi. Secara matematis indeks SAIDI dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$SAIDI = \frac{U_i \times N_i}{N_t}$$

Dimana :

$U_i$  = Durasi gangguan

$N_i$  = Jumlah pelanggan yang terganggu pada beban

$N_t$  = Jumlah pelanggan yang dilayani

3. *Energy Not Supplied*

Untuk mengukur suatu keandalan suatu sistem maka diperlukan patokan/ standar yang berguna untuk menilai keadaan sistem dalam kondisi baik ataupun kurang baik. Standar yang digunakan yaitu standar PLN dan standar IEEE.

4. Analisa Potensi Kehilangan Pendapatan Akibat Gangguan Listrik

Data gangguan yang terjadi dianalisis secara matematis untuk mengetahui perkiraan kehilangan pendapatan akibat terjadinya gangguan listrik menggunakan cara sebagai berikut :

$$Y = ENS \times TDL$$

Dimana :

Y = Biaya Kerugian daya yang tidak tersalurkan

ENS = *Energi not supplied* (kWatt)

TDL = Tarif dasar listrik pelanggan (Rp/kWh)

5. Standar Nilai Indeks Keandalan

a. Standar Nilai Indeks Keandalan SPLN 68 – 2 : 1986

Berikut ini tabel yang menunjukkan standar indeks keandalan pada SPLN (Standar Perusahaan Listrik Negara).

Tabel 1. Standar Indeks Keandalan SPLN

Indeks Keandalan	Standar Nilai	Satuan
SAIFI	3,2	Kali/ tahun
SAIDI	21,09	Jam/tahun

(Sumber: SPLN 68-2: 1986, *Tingkat Jaminan Sistem Tenaga Listrik*, h.11)

Untuk standar 68 – 2 : 1986 × faktor penyesuaian daerah Sulawesi:

$$SAIFI : 3,2 \times 1,3 = 4,16 \text{ kali/tahun}$$

$$SAIDI : 21,09 \times 1,3 = 27,4 \text{ jam/tahun}$$

b. Standar Nilai Indeks Keandalan IEEE Std 1366 – 2003

Berikut adalah tabel yang menunjukkan standar indeks keandalan pada IEEE (Institute of Electrical and

Electronic Engineers) std 1366 – 2003.

Tabel 2. Standar Indeks Keandalan IEEE 1366-2003

Indeks Keandalan	Standar Nilai	Satuan
SAIFI	1,45	Kali/ pelanggan/ tahun
SAIDI	2,3	Jam/ pelanggan/ tahun

Untuk standar IEEE Std 1366 – 2003 × faktor penyesuaian daerah Sulawesi:

$$SAIFI : 1,45 \times 1,3 = 1,9 \text{ kali/tahun}$$

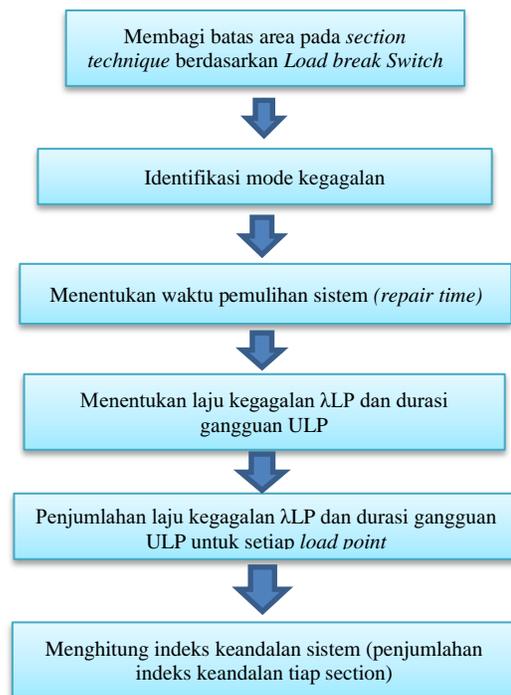
$$SAIDI : 2,3 \times 1,3 = 3,4 \text{ jam/tahun}$$

6. Metode Section Technique

*Section technique* merupakan suatu metode terstruktur untuk menganalisa suatu sistem. Metode ini dalam mengevaluasi keandalan sistem distribusi didasarkan pada bagaimana suatu gangguan atau kegagalan dari suatu peralatan mempengaruhi operasi sistem. Membagi batas area pada *section* berdasarkan letak *Load Break Switch*. Efek atau konsekuensi dari gangguan individual peralatan secara sistematis diidentifikasi dengan penganalisaan apa yang terjadi jika gangguan terjadi. Kemudian masing-masing kegagalan peralatan dianalisis dari semua titik beban (*load point*).

Berikut ini adalah alur pengerjaan *section*

*technique* sebagaimana terlihat pada gambar 2.3



Gambar 3 Alur pengerjaan section technique.

(Sumber Gambar : JURNAL TEKNIK ITS Vol. 1, No. 1 (Sept. 2012) ISSN: 2301-9271)

Dalam metode *section technique* diasumsikan kegagalan masing-masing peralatan tidak saling

berhubungan, peralatan masing-masing dapat dianalisa secara terpisah. Jika kegagalan peralatan saling dihubungkan, maka perhitungan keandalan sistem lebih kompleks. Maka untuk menyederhanakan perhitungan tersebut dengan mengansumsikan bahwa setiap kegagalan tidak saling berhubungan. Indeks keandalan yang dihitung adalah indeks-indeks titik beban (*load point*) dan indeks-indeks sistem baik secara *section* maupun keseluruhan. Indeks *load point* antara lain:

1. Frekuensi Gangguan (*failure rate*)

$$\lambda_{LP} = \sum_{i=K} \lambda_i$$

Dimana :

$\lambda_i$  = Laju Kegagalan Untuk Peralatan

$K$  = Semua Peralatan Yang Berpengaruh Terhadap *Load Point*

2. Lama/durasi gangguan tahunan rata-rata untuk *load point*

$$U_{LP} = \sum_{i=K} KUI = \sum_{i=K} \lambda_i \times r_j$$

Dimana :

$r_j$  = waktu perbaikan (*repairing time* atau *switching time*).

Berikut ini tabel data kegagalan untuk Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) sesuai standar PLN No. 59 Tahun 1985 mengenai “Keandalan pada Sistem Distribusi 20kV dan 6kV” yang meliputi nilai *failure rate*, *repair time*, dan *switching time* :

Tabel 1. Data indeks kegagalan saluran udara

Saluran Udara	
<i>Sustained failure rate</i> ( $\lambda/Km/yr$ )	0.2
<i>r</i> ( <i>repair time</i> ) ( <i>jam</i> )	3
<i>rs</i> ( <i>switching time</i> ) ( <i>jam</i> )	0.15

Nilai *failure rate*, *repair time*, dan *switching time* komponen yang terdapat di dalam sistem distribusi dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 4. Data Indeks kegagalan peralatan

Komponen	$\lambda$ ( <i>failure rate</i> )	<i>r</i> ( <i>repair time</i> ) ( <i>jam</i> )	<i>rs</i> ( <i>switching time</i> ) ( <i>jam</i> )
Trafo distribusi	0.005/unit/tahun	10	0.15
Circuit breaker	0.004/unit/tahun	10	0.15
LBS	0.003/unit/tahun	10	0.15

(Sumber : SPLN No.59 : 1985, “Keandalan Pada Sistem Distribusi 20 kV dan 6 kV”, Perusahaan Listrik Negara, 1985).

Perhitungan SAIFI *Section Technique* :

$$SAIFI = \frac{\lambda_{LP} \times N_{LP}}{N_{Total}}$$

Dimana :

$\lambda_{LP}$  = frekuensi gangguan pada *load point*

$N_{LP}$  = Jumlah konsumen pada *load point*

$N_{Total}$  = Jumlah konsumen pada penyulang

Perhitungan SAIDI *Section Technique* :

$$SAIDI = \frac{U_{LP} \times N_{LP}}{N_{Total}}$$

Dimana :

$U_{LP}$  = Durasi gangguan pada *load point*

$N_{LP}$  = Jumlah konsumen pada *load point*

$N_{Total}$  = Jumlah konsumen pada penyulang

### III. DATA DAN METODE PENELITIAN

#### A. Alur Penelitian

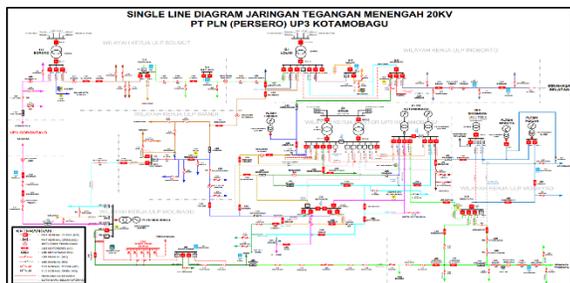
Penelitian ini dimulai dengan survey data pada PT. PLN (Persero) Area Kotamobagu, kemudian dilakukan perhitungan menggunakan metode *section technique*. Cara yang dilakukan yaitu :

1. Pengumpulan data yang diperlukan, seperti data *single line diagram* PT. PLN (Persero) Area Kotamobagu, data penyulang, data pelanggan setiap *load point*, data panjang saluran, dan data gangguan selama tahun 2019 dan tahun 2020.
2. Melakukan perhitungan indeks keandalan sistem distribusi PT.PLN (Persero) Area Kotamobagu dengan menggunakan metode *section technique* untuk mengetahui indeks keandalan.
3. Menganalisa hasil perhitungan indeks keandalan apakah indeks keandalan sistem distribusi PT. PLN (Persero) Area Kotamobagu pada penyulang SO 1 dan SO 3 sudah sesuai dengan standar yang ditetapkan oleh PLN atau tidak.

Berikut ini adalah data-data yang telah dikumpulkan dari PT. PLN (Persero) Area Kotamobagu.

#### B. Sistem Kelistrikan di Kotamobagu

Gardu Induk Otam merupakan gardu induk dan pembangkit milik perusahaan listrik negara yang dimana gardu induk otam terletak di Desa Otam , Kecamatan Passi Barat, Kabupaten Bolaang Mongondow. Gardu Induk Otam yang akan dianalisa disini menggunakan tipe radial dan memiliki 5 penyulang yaitu penyulang SO 1, SO 2, SO 3, SO 4, SO 8. Daya mampu total GI otam yang disuplai dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Amurang sekitar  $\pm 40$ MW dengan jumlah pelanggan yang dilayani 74.033 yang bebannya berupa perumahan, pertokoan, tambang, dan pabrik.



Gambar 4 Single Line Diagram Kotamobagu

(Sumber Gambar : Data Dari PT. PLN (Persero) Area Kotamobagu

Panjang penyulang SO 1 adalah 21,03 Kms dan SO 3 adalah 18,26 Kms, Saluran penghantar yang digunakan pada penyulang SO 1 menggunakan jenis penghantar AAAC-S dengan diameter 150 mm<sup>2</sup> dan untuk penyulang SO 3 menggunakan penghantar AAAC dengan diameter 95mm<sup>2</sup>. Total Gardu Distribusi yang ada untuk penyulang SO 1 adalah 161 buah gardu dan untuk SO 3 adalah 66 buah gardu, dengan total pelanggan untuk penyulang SO 1 adalah 16.785 dan untuk penyulang SO 3 adalah 8.053

#### IV. HASIL DAN ANALISA PERHITUNGAN

##### 1. Perhitungan penyulang SO 1 dan SO 3

Langkah yang dilakukan pada perhitungan dengan metode ini adalah dengan membagi struktur penyulang menjadi 4 bagian karena pada penyulang SO 1 terdapat 4 buah *Load Break Switch (LBS)* dari total 12 LBS yang ada di kotamobagu. Pembagian ini didasari atas penempatan *Load Break Switch (LBS)* dalam jaringan penyulang. Mekanisme jika terjadi pemadaman/gangguan pada salah satu section di penyulang maka pemisah akan membuka untuk sementara sehingga sistem akan putus untuk sementara. Setelah 0,15 jam atau 9 menit maka penyulang dapat menyuplai daya kembali ke section yang tidak mengalami gangguan. Berikut merupakan perhitungan section 1,2,3 dan 4 dengan total *load point* 161.

##### a. Perhitungan section 1

Untuk mengetahui pengaruh suatu kegagalan peralatan dalam sistem dapat dilihat dalam daftar mode kegagalan. Daftar mode kegagalan pada section 1 ini ditampilkan dalam *Section Technique Worksheet Section 1* pada tabel berikut.

Tabel 5. Section Technique Worksheet Section 1

Data Peralatan		Efek Sistem	
Gangguan	Komponen	LP Repair time	LP Switching time
1	CB	LP1-LP28	-
2-26	Trafo 1-28	LP1-LP28	-
27-51	Line 1-28	LP1-LP28	LP29-LP161
52	LBS	LP1-LP28	LP29-LP161

Langkah dalam menentukan laju kegagalan peralatan setiap section yaitu:

Diambil satu contoh yaitu *load point* 1 (LP1) pada line 1 diperoleh dari penjumlahan *failure rate* peralatan yang memengaruhi LP1 dan perkalian *failure rate* saluran udara dengan panjang salurannya.

$$\lambda \text{ (line 1-28)} = \text{Failure rate peralatan} \times \text{panjang saluran udara} \\ = 0,2 \times 4,90 = 0,98 \text{ gangguan/tahun}$$

Tabel 6. Perhitungan Laju Kegagalan Load Point 1

Peralatan	Failure rate peralatan (unit/tahun)	Panjang Saluran Udara (Km)	$\lambda$ (fault/tahun)
CB	0,004	-	0,004
Trafo	0,005	-	0,005
LBS	0,003	-	0,003
Line 1-28	0,2	4,90	0,98
Jumlah Total Laju Kegagalan			0,992

Nilai laju kegagalan untuk *load point* 2 hingga 28 adalah sama dengan jumlah kegagalan *load point* 1, karena nilai laju kegagalan tiap-tiap trafo diasumsikan sama.

Tabel 7. Perhitungan laju kegagalan Load Point 29

Peralatan	Failure rate peralatan (unit/tahun)	Panjang Saluran Udara (Km)	$\lambda$ (fault/tahun)
CB	0,004	-	0,004
LBS	0,003	-	0,003
Line 1-28	0,2	4,90	0,98
Jumlah Total Laju Kegagalan			0,9807

Nilai laju kegagalan 30 hingga 161 sama dengan nilai laju kegagalan *load point* 29. Hal ini terjadi karena saat komponen section 1 mengalami gangguan maka pemisah akan membuka untuk sementara sehingga sistem akan putus untuk sementara. Setelah 0,15 jam maka penyulang SO 1 dapat menyuplai daya kembali ke section 2,3 dan 4.

Untuk ULP1 dan seterusnya dapat dicari dengan menjumlahkan total laju kegagalan peralatan yang berpengaruh terhadap *load point* 1 atau *load point* lainnya.

Durasi gangguan pada line 1-28 *Load point* 1 :

$$U = \text{Failure rate peralatan} \times \text{Repairing time peralatan} \\ = 0,98 \times 3 = 2,94$$

Tabel 8. Perhitungan Durasi Gangguan Load Point 1

Peralatan	$\lambda$ (fault/tahun)	Repair Time (Jam)	Switching Time (Jam)	U (Jam/Tahun)
CB	0,004	10	0,15	0,04
Trafo	0,005	10	0,15	0,05
LBS	0,003	10	0,15	0,03
Line 1-28	0,98	3	0,15	2,94
Jumlah Total Durasi Gangguan				3,064

Pada *load point* 1, kondisi yang dialami peralatan yang ada didalamnya hanya kondisi *repair time* dan jika ada peralatan yang mengalami kegagalan maka akan mengakibatkan gangguan semua sistem kecuali

transformator.

Durasi gangguan pada line 1-28 Load point 29

$$U = \text{Failure rate peralatan} \times \text{Repairing time peralatan} \\ \times \text{Switching Time} \\ = 0,98 \times 3 \times 0,15 = 0,441$$

Tabel 9. Perhitungan Durasi Gangguan Load Point 29

Peralatan	$\lambda$ (fault/tahun)	Repair Time (Jam)	Switching Time (Jam)	U (Jam/Tahun)
CB	0,004	10	0,15	0,006
LBS	0,003	10	0,15	0,0045
Line 1-28	0,98	3	0,15	0,441
Jumlah Total Durasi Gangguan				0,4515

Nilai durasi gangguan untuk load point 30 hingga 161 sama dengan load point 29.

Tabel 10. Laju Kegagalan Dan Durasi Gangguan Section 1

Load Point	$\lambda$ (fault/tahun)	U (jam/tahun)
LP1 - LP28	0,992	3,064
LP29- LP161	0,9807	0,4515

Dari tabel diatas, dapat kita tentukan nilai SAIFI dan SAIDI pada section 1. Sebagai contoh pada load point 1. Untuk perhitungan SAIFI dilakukan dengan mengalikan jumlah konsumen NLP1 pada Load Point tersebut dengan  $\lambda_{LP1}$ , kemudian dibagi dengan total konsumen pada penyulang SO 1. Sedangkan untuk indeks keandalan SAIDI Load Point 1 dapat diperoleh dari mengalikan jumlah konsumen NLP1 dengan ULP1 kemudian dibagi dengan total konsumen pada penyulang SO 1.

$$\frac{NLP1 \times \lambda_{LP1}}{N_{total}} = \frac{67 \times 0,992}{16.785} = 0,00395973 \text{ kali/tahun}$$

$$\frac{NLP1 \times ULP1}{N_{total}} = \frac{67 \times 3,06}{16.785} = 0,01221448 \text{ jam/tahun}$$

Untuk perhitungan Load Point 2 hingga Load Point 161 dilakukan dengan menggunakan cara yang sama. Setelah mendapatkan hasil SAIFI dan SAIDI maka dilakukan penjumlahan total SAIFI dan SAIDI section 1. Jadi nilai SAIFI dan SAIDI section 1 adalah 0,99561232 kali/tahun dan 0,91003824 jam/tahun.

b. Perhitungan section 2

Tabel 11. Section Worksheet Section 2

Data Peralatan		Efek Sistem	
Gangguan	Komponen	LP Repair Time	LP Switching time
1	CB	LP29-LP80	-
2-52	Trafo 29-80	LP29-LP80	-
53-104	Line 29-80	LP29-LP80	LP81-LP161
105	LBS	LP29-LP80	LP81-LP161

Tabel 12. Perhitungan Laju Kegagalan Load Point 29

Peralatan	Failure rate peralatan (unit/tahun)	Panjang Saluran Udara (Km)	$\lambda$ (fault/tahun)
CB	0,004	-	0,004
Trafo	0,005	-	0,005
LBS	0,003	-	0,003
Line 29-80	0,2	11,21	2,242
Jumlah Total Laju Kegagalan			2,254

Nilai laju kegagalan load point 30 adalah sama dengan nilai load point 80 karena nilai laju kegagalan diasumsikan sama.

Tabel 13. Perhitungan Laju Kegagalan Load Point 1

Peralatan	Failure rate peralatan (unit/tahun)	Panjang Saluran Udara (Km)	$\lambda$ (fault/tahun)
CB	0,004	-	0,004
LBS	0,003	-	0,003
Line 29-80	0,2	11,21	2,242
Jumlah Total Laju Kegagalan			2,249

Nilai failure rate load point 1 sama dengan nilai failure rate LP2-LP28 dan LP81-161.

Tabel 14. Perhitungan Durasi Gangguan Load Point 29

Peralatan	$\lambda$ (fault/tahun)	Repair Time (Jam)	Switching Time (Jam)	U (Jam/Tahun)
CB	0,004	10	0,15	0,04
Trafo	0,005	10	0,15	0,05
LBS	0,003	10	0,15	0,03
Line 29-80	2,242	3	0,15	6,726
Jumlah Total Durasi Gangguan				6,846

Nilai untuk repair time untuk load point 29 (ULP29) memiliki nilai yang sama dengan repair time load point 30-80 (ULP30-80), karena diasumsikan nilai repair time tiap trafo memiliki nilai yang sama. Nilai switching time setiap trafo dianggap 0, karena kegagalan pada trafo dalam section 2, tidak akan mempengaruhi sistem di section 3.

Tabel 14. Perhitungan Durasi Gangguan Load Point 1

Peralatan	$\lambda$ (fault/tahun)	Repair Time (Jam)	Switching Time (Jam)	U (Jam/Tahun)
CB	0,004	10	0,15	0,04
LBS	0,003	10	0,15	0,03
Line 29-80	2,242	3	0,15	6,726
Jumlah Total Durasi Gangguan				6,796

Berdasarkan tabel diatas, perhitungan durasi gangguan dilakukan perkalian antara failure rate dan nilai repair time untuk load point 1 (ULP1).

Tabel 15. Perhitungan Durasi Gangguan Load Point 81

Peralatan	$\lambda$ (fault/tahun)	Repair Time (Jam)	Switching Time (Jam)	U (Jam/Tahun)
CB	0,004	10	0,15	0,006
LBS	0,003	10	0,15	0,0045
Line 29-80	2,242	3	0,15	1,0089
Jumlah Total Durasi Gangguan				1,0194

Perhitungan untuk *load point* 82 sampai 161 pada *section 2* menggunakan langkah dan cara yang sama dan hasilnya pun sama dengan *load point* 81.

Tabel 16. Laju Kegagalan dan Durasi Gangguan Load Point Section 2

Load Point	$\lambda$ (fault/tahun)	U (jam/tahun)
LP1 - LP28	2,249	6,796
LP29- LP80	2,254	6,846
LP81- LP161	2,249	1,0294

Dari tabel diatas, dapat ditentukan SAIFI dan SAIDI pada *section 2*. Contoh SAIFI dan SAIDI pada *load point* 1 seperti berikut ini:

$$\frac{NLP1 \times \lambda LP1}{N_{total}} = \frac{67 \times 2,249}{16.785} = 0,008077724 \text{ kali/tahun}$$

$$\frac{NLP1 \times ULP1}{N_{total}} = \frac{67 \times 6,796}{16.785} = 0,02712732 \text{ jam/tahun}$$

Untuk perhitungan Load Point 2 hingga Load Point 161 dilakukan dengan menggunakan cara yang sama. Setelah mendapatkan hasil SAIFI dan SAIDI maka dilakukan penjumlahan total SAIFI dan SAIDI *section 2*. Jadi nilai SAIFI dan SAIDI *section 2* adalah 2,25620402 kali/tahun dan 3,44310991 jam/tahun.

### c. Perhitungan Section 3

Tabel 17. Section Worksheet Section 3

Data Peralatan		Efek Sistem	
Gangguan	Komponen	LP Repair Time	LP Switching time
1	CB	LP81-LP110	-
2-31	Trafo 81-110	LP81-LP110	-
32-61	Line 81-110	LP81-LP110	LP111-LP161
62	LBS	LP81-LP110	LP111-LP161

Tabel 18. Perhitungan Laju Kegagalan Load Point 81

Peralatan	Failure rate peralatan (unit/tahun)	Panjang Saluran Udara (Km)	$\lambda$ (fault/tahun)
CB	0,004	-	0,004
Trafo	0,005	-	0,005
LBS	0,003	-	0,003
Line 81-110	0,2	11,90	2,38
Jumlah Total Laju Kegagalan			2,392

Nilai laju kegagalan untuk *load point* 82 hingga 110 adalah sama dengan jumlah kegagalan *load point* 81, karena nilai laju kegagalan tiap-tiap trafo diasumsikan sama.

Tabel 19. Perhitungan Laju Kegagalan Load Point 1

Peralatan	Failure rate peralatan (unit/tahun)	Panjang Saluran Udara (Km)	$\lambda$ (fault/tahun)
CB	0,004	-	0,004

LBS	0,003	-	0,003
Line 81-110	0,2	11,90	2,38
Jumlah Total Laju Kegagalan			2,387

Nilai laju kegagalan *load point* 1 sama dengan nilai laju kegagalan LP2-LP28 dan LP111-161.

Tabel 20. Perhitungan Durasi Gangguan Load Point 81

Peralatan	$\lambda$ (fault/tahun)	Repair Time (Jam)	Switching Time (Jam)	U (Jam/Tahun)
CB	0,004	10	0,15	0,04
Trafo	0,005	10	0,15	0,05
LBS	0,003	10	0,15	0,03
Line 81-110	2,38	3	0,15	7,14
Jumlah Total Durasi Gangguan				7,26

Berdasarkan tabel diatas, perhitungan durasi gangguan *load point* 81 dilakukan perkalian failure rate dan repair time.

Tabel 21. Perhitungan Durasi Gangguan Load Point 1

Peralatan	$\lambda$ (fault/tahun)	Repair Time (Jam)	Switching Time (Jam)	U (Jam/Tahun)
CB	0,004	10	0,15	0,04
LBS	0,003	10	0,15	0,03
Line 81-110	2,38	3	0,15	7,14
Jumlah Total Durasi Gangguan				7,21

Nilai durasi gangguan untuk *load point* 2 hingga *load point* 28 memiliki nilai yang sama dengan *load point* 1.

Tabel 22. Perhitungan Durasi Gangguan Load Point 111

Peralatan	$\lambda$ (fault/tahun)	Repair Time (Jam)	Switching Time (Jam)	U (Jam/Tahun)
CB	0,004	10	0,15	0,006
LBS	0,003	10	0,15	0,0045
Line 81-110	2,38	3	0,15	1,071
Jumlah Total Durasi Gangguan				1,0815

Perhitungan untuk *load point* 112 sampai 161 pada *section 3* menggunakan Langkah dan cara yang sama dan hasilnya pun sama dengan *load point* 111.

Tabel 23. Laju Kegagalan Dan Durasi Gangguan Section 3

Load Point	$\lambda$ (fault/tahun)	U (jam/tahun)
LP1 - LP80	2,387	7,21
LP81- LP110	2,392	7,26
LP111- LP161	2,387	1,0815

Dari tabel diatas, dapat ditentukan SAIFI dan SAIDI pada *section 3*. Contoh SAIFI dan SAIDI pada *load point* 1 seperti berikut ini:

$$\frac{NLP1 \times \lambda LP1}{N_{total}} = \frac{67 \times 2,387}{16.785} = 0,00952809 \text{ kali/tahun}$$

$$\frac{NLP1 \times ULP1}{N_{total}} = \frac{67 \times 7,21}{16.785} = 0,02877986 \text{ jam/tahun}$$

Untuk perhitungan Load Point 2 hingga Load Point 161 dilakukan dengan menggunakan cara yang sama. Setelah mendapatkan hasil SAIFI dan SAIDI maka dilakukan penjumlahan total SAIFI dan SAIDI section 3. Jadi nilai SAIFI dan SAIDI section 3 adalah 2,7824991 kali/tahun dan 4,23824514 jam/tahun.

d. Perhitungan Section 4

Tabel 24. Section Worksheet Section 4

Data Peralatan		Efek Sistem	
Gangguan	Komponen	LP Repair Time	LP Switching time
1	CB	LP111-LP161	-
2-52	Trafo 111-161	LP111-LP161	-
53-103	Line 111-161	LP111-LP161	LP1-LP110
104	LBS	LP111-LP161	LP1-LP110

Tabel 25. Perhitungan Laju Kegagalan Load Point 111

Peralatan	Failure rate peralatan (unit/tahun)	Panjang Saluran Udara (Km)	$\lambda$ (fault/tahun)
CB	0,004	-	0,004
Trafo	0,005	-	0,005
LBS	0,003	-	0,003
Line 111-161	0,2	14,72	2,944
Jumlah Total Laju Kegagalan			2,956

Nilai laju kegagalan untuk load point 112 hingga 161 adalah sama dengan jumlah kegagalan load point 111, karena nilai laju kegagalan tiap-tiap trafo diasumsikan sama.

Tabel 26. Perhitungan Laju Kegagalan Load Point 1

Peralatan	Failure rate peralatan (unit/tahun)	Panjang Saluran Udara (Km)	$\lambda$ (fault/tahun)
CB	0,004	-	0,004
LBS	0,003	-	0,003
Line 111-161	0,2	14,72	2,944
Jumlah Total Laju Kegagalan			2,951

Nilai laju kegagalan load point 2 hingga load point 110 adalah sama dengan nilai load point 1 karena nilai laju kegagalan diasumsikan sama.

Tabel 27. Perhitungan Durasi Gangguan Load Point 111

Peralatan	$\lambda$ (fault/tahun)	Repair Time (Jam)	Switching Time (Jam)	U (Jam/Tahun)
CB	0,004	10	0,15	0,04
Trafo	0,005	10	0,15	0,05
LBS	0,003	10	0,15	0,03
Line 111-161	2,944	3	0,15	8,832
Jumlah Total Durasi Gangguan				8,952

Untuk durasi gangguan load point 112 sampai load point 161 sama dengan durasi gangguan load point 111. Karena, load point tersebut berada pada section yang sama.

Tabel 28. Perhitungan Durasi Gangguan Load Point 1

Peralatan	$\lambda$ (fault/tahun)	Repair Time (Jam)	Switching Time (Jam)	U (Jam/Tahun)
CB	0,004	10	0,15	0,04
LBS	0,003	10	0,15	0,03
Line 111-161	2,944	3	0,15	1,3248
Jumlah Total Durasi Gangguan				1,3353

Untuk nilai durasi gangguan load point 2 hingga load point 110 sama dengan nilai load point 1.

Tabel 29. Perhitungan Laju Kegagalan Dan Durasi Gangguan Load Point Section 4

Load Point	$\lambda$ (fault/tahun)	U (jam/tahun)
LP1 – LP110	2,951	1,3353
LP111- LP161	2,956	8,952

Dari tabel diatas, dapat ditentukan SAIFI dan SAIDI pada section 4. Contoh SAIFI dan SAIDI pada load point 1 seperti berikut ini:

$$\frac{NLP1 \times \lambda LP1}{Ntotal} = \frac{67 \times 2,951}{16.785} = 0,01177939 \text{ kali/tahun}$$

$$\frac{NLP1 \times ULP1}{Ntotal} = \frac{67 \times 1,3353}{16.785} = 0,00533006 \text{ jam/tahun}$$

Perhitungan ini juga sama untuk nilai SAIFI dan SAIDI pada load point 2 hingga load point 161, tetapi harus menyesuaikan laju kegagalan, durasi gangguan dan jumlah pelanggan disetiap load point. Kemudian dengan menjumlahkan hasil tersebut maka SAIFI dan SAIDI section 5 dapat diketahui.

Jadi nilai SAIFI dan SAIDI section 4 adalah 2,96197843 kali/tahun dan 4,37698636 jam/tahun.

Dari semua tabel perhitungan diatas diketahui indeks keandalan setiap section, dengan begitu maka indeks keandalan sistem jaringan penyulang SO 1 juga dapat diketahui dengan menjumlahkan semua total section. Pada penyulang SO 1 yang dianalisis diperoleh nilai SAIFI sebesar 8,99629387 kali/tahun dan nilai SAIDI sebesar 12,9683796.

Setelah melakukan perhitungan pada penyulang SO 1 selanjutnya dilakukan juga perhitungan dengan cara yang sama pada penyulang SO 3 dan mendapatkan nilai SAIFI sebesar 8,47702096 kali/tahun dan nilai SAIDI sebesar 13,4227928.

## 2. Analisa Keandalan

Dari hasil perhitungan indeks keandalan menggunakan metode section technique pada penyulang SO 1 dan SO 3 yang merupakan penyulang yang sering mengalami gangguan pada tahun 2019 dan 2020 bahwa pada penyulang SO 1 didapat nilai SAIFI 8,99629387 tidak sesuai dengan SPLN yaitu 4,16 kali/tahun, dan nilai SAIDI 12,9683796 jam/tahun sudah sesuai dengan standar SPLN yaitu 27.4 jam/tahun. Sedangkan untuk penyulang SO 3 didapat nilai SAIFI 8,47702096 tidak sesuai dengan SPLN dan nilai SAIDI 13,4227928 yang

sudah sesuai dengan standar SPLN. Adapun nilai SAIFI yang tinggi dikarenakan oleh gangguan temporer atau sesaat yang disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya, saluran yang terlalu panjang yang melewati perkebunan sehingga bisa mengakibatkan gangguan berupa gangguan dari hewan liar. Selanjutnya faktor kedua akibat cuaca yang mengakibatkan banyak peralatan yang rusak karena petir, pohon disekitar dan sebagainya. Faktor terakhir yang menyebabkan gangguan pada penyulang SO 1 dan SO 3 adalah gangguan internal seperti tiang roboh, isolator pecah karena usia dan sebagainya.

### 3. Perhitungan Energy Not Supplied (ENS) dan Analisa Potensi Kehilangan Pendapatan Akibat Gangguan Listrik

Berikut ini adalah analisis Energy Not Supply (ENS) dan perhitungan kerugian PLN akibat dari terjadinya gangguan pada penyulang SO 1 tahun 2019 dan SO 3 tahun 2020.

Penyulang SO 1 tahun 2019

$$\begin{aligned} \text{ENS} &= \Sigma [\text{Gangguan (kW)} \times \text{Durasi (h)}] \\ &= 11380 \times 12,96 \times 0,85 \\ &= 125.362,08 \text{ kWh} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kerugian} &= \text{ENS} \times \text{TDL} \\ &= 125.362,08 \times \text{Rp } 1.352 \\ &= \text{Rp } 169.489.532 \end{aligned}$$

Penyulang SO 3 tahun 2020

$$\begin{aligned} \text{ENS} &= \Sigma [\text{Gangguan (kW)} \times \text{Durasi (h)}] \\ &= 8320 \times 13,74 \times 0,85 \\ &= 97.169,28 \text{ kWh} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kerugian} &= \text{ENS} \times \text{TDL} \\ &= 97.169,28 \times \text{Rp } 1.444,7 \\ &= \text{Rp } 140.380,459 \end{aligned}$$

Sesuai hasil perhitungan yang didapat, maka dapat kita lihat bahwa nilai kehilangan biaya pendapatan atau kerugian yang disebabkan oleh gangguan selama tahun 2019 pada penyulang SO 1 sebesar Rp 169.489.532 dan penyulang SO 3 tahun 2020 sebesar Rp 140.380,459. Rata-rata kerugian mencapai Rp 14.124.127 / bulan pada penyulang SO 1 dan Rp 11.698.371,6 / bulan pada penyulang SO 3.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan tentang Evaluasi Keandalan Sistem Distribusi Menggunakan Metode *Section Technique* Pada PT. PLN (Persero) Area Kotamobagu maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Nilai indeks keandalan SAIFI pada penyulang SO 1 masih belum memenuhi standar PLN yaitu 8,99 dan nilai indeks SAIDI telah memenuhi standar PLN yaitu 12,96.
2. Nilai indeks keandalan SAIFI pada penyulang SO 3 masih belum memenuhi standar PLN

yaitu 8,47 dan nilai indeks SAIDI telah memenuhi standar PLN yaitu 13,74.

3. Berdasarkan perhitungan energi yang tidak tersalur akibat gangguan pada penyulang SO 1 tahun 2019 sebesar 125.362,08 kWh dan pada penyulang SO 3 tahun 2020 sebesar 97.169,28 kWh.

4. Hasil perhitungan nilai perkiraan kehilangan biaya pendapatan atau kerugian yang disebabkan oleh terjadinya gangguan pada penyulang SO 1 tahun 2019 sebesar Rp 169.489.532 dan pada penyulang SO 3 tahun 2020 sebesar Rp Rp 140.380,459.

### B. Saran

Berdasarkan penyebab terjadinya gangguan maka ada beberapa cara untuk meningkatkan keandalan pada penyulang SO 1 dan SO 3 diantaranya :

1. Perlu adanya haling panjat pada setiap tiang untuk mencegah gangguan dari hewan liar.
2. Pemeliharaan secara rutin pada saluran sehingga dapat meminimalisir terjadinya gangguan

### DAFTAR PUSTAKA

- 1) Arigandi, G. P. B., Hartati, R. S., & Weking, A. I. (2015). Analisa Keandalan Sistem Distribusi Penyulang Kampus dengan Menggunakan Penggabungan Metode Section Technique dan RIA. *Teknologi Elektro*, 14(2).
- 2) Arsyad, M. I., & Sirait, B. analisa keandalan sistem jaringan distribusi 20 kv di PT. PLN (Persero) area Singkawang dengan metode Reliability Network Equivalent Approach (RNEA). *Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura*, 2(1).
- 3) Hanif, M. R., & Suheta, T. (2020). Analisa Keandalan Sistem Distribusi 20kv di PT. PLN (Persero) Rayon Kudus Kota Menggunakan Metode Section Technique. *Jurnal Intake: Jurnal Penelitian Ilmu Teknik dan Terapan*, 11(2), 56-63.
- 4) Hartati, R. S., & Sukerayasa, I. W. (2010). Penerapan Metode Pendekatan Teknik Untuk Meningkatkan Keandalan Sistem Distribusi. *Staff Pengajar Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana*.
- 5) HIDAYATULLAH, R. (2017). *Studi perbandingan keandalan sistem distribusi 20 kv menggunakan metode section technique dan metode gabungan pada feeder Adi Sucipto* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau).
- 6) Iswahyudi, A., Setiawati, N. E., & Odianto, T. (2021, June). Analisa Keandalan dan Penempatan Recloser pada Distribusi 20 KV Penyulang Gading PT. PLN (Persero) UPJ Mojokerto. In *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro, Sistem Informasi, dan Teknik Informatika (SNESTIK)* (Vol. 1, No. 1, pp. 325-332).
- 7) Jufrizel, J., & Hidayatullah, R. (2017, May). Analisa Keandalan Sistem Distribusi 20KV Menggunakan Metode Section Technique dan Ria-Section Technique pada Penyulang Adi Sucipto Pekanbaru. In *Seminar Nasional Teknologi Informasi Komunikasi dan Industri* (pp. 417-423).
- 8) Sinaga, P. Analisa Keandalan Sistem Distribusi Berdasarkan Metode Section Technique Pada PT. PLN (Persero) Area Pontianak. *Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura*, 2(1).

- 9) 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*, 8(2).
- 10) Wicaksono, Henki Projo, Ontoseno Penangsang, and IGN Satriyadi Hernanda. "Analisis Keandalan Sistem Distribusi Menggunakan Program Analisis Kelistrikan Transien dan Metode Section Technique." *Jurnal Teknik ITS* 1.1 (2012): B153-B158.



Fahmi Rizky Manoppo lahir pada 22 Mei 1998 di Kotamobagu Sulawesi Utara, pada tahun 2016 memulai pendidikan di Universitas Sam Ratulangi, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Elektro dengan mengambil

Konsentrasi Minat Teknik Tenaga Listrik pada tahun 2018.

Dalam menempuh pendidikan penulis juga pernah melaksanakan Kerja Praktek yang bertempat di PT. Jago Elfah Anugerah pada bulan Mei-Juli tahun 2019. Penulis selesai menempuh pendidikan di Fakultas Teknik Elektro Universitas Sam Ratulangi Manado pada tahun 2021, dengan judul penelitian yaitu evaluasi keandalan sistem distribusi menggunakan metode section technique pada PT. PLN (Persero) area kotamobagu.