

Peningkatan Indeks Keandalan dengan Penambahan *Recloser* pada Sistem Distribusi di PLTD Subaim Menggunakan Metode *Section Technique*

M. Rizal Sanaky
NIM : 1312036
m.rizalsanaky@gmail.com

Dr. Irrine Budi Sulistiawati, ST., MT
Dosen Pembimbing 1

Ir. Eko Nurcahyo, MT
Dosen Pembimbing 2

Abstrak—Jaringan distribusi merupakan bagian sistem tenaga listrik yang berada paling dekat dengan pelanggan. Keandalan setiap komponen peralatan sistem distribusi dapat mempengaruhi kontinuitas pelayanan daya. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi keandalan sistem distribusi PLTD Subaim serta meningkatkan indeks keandalan sistem. Metode yang digunakan yaitu metode *section technique* dan diperoleh nilai indeks keandalan untuk Penyulang Barat yaitu SAIFI 4,896999997 *fault per customer.year*, SAIDI 14,8 *hours per customer.year*, CAIDI 3,022258527 *hours per customer interruption*. Penyulang Timur SAIFI 5,817000027 *fault per customer.year*, SAIDI 17,59099999 *hours per customer.year*, CAIDI 3,02406737 *hours per customer interruption*. Perhitungan menggunakan ETAP kondisi eksisting, Penyulang Barat SAIFI 4,9151 *fault per customer.year*, SAIDI 14,9039 *hours per customer.year*, CAIDI 3,032 *hours per customer interruption*. Penyulang Timur SAIFI 5,9586 *fault per customer.year*, SAIDI 17,8291 *hours per customer.year*, CAIDI 2,992 *hours per customer interruption*. Untuk meningkatkan keandalan dilakukan implementasi *recloser* pada penyulang dan diperoleh indeks keandalan paling optimal yaitu, Penyulang Barat SAIFI 4,0351 *fault per customer.year*, SAIDI 14,1221 *hours per customer.year*, CAIDI 3,500 *hours per customer interruption*. Penyulang Timur SAIFI 4,6827 *fault per customer.year*, SAIDI 16,2380 *hours per customer.year*, CAIDI 3,468 *hours per customer interruption*.

Kata kunci—Keandalan, PLTD Subaim, *Section Technique*, ETAP Power Station, *Recloser*, SAIFI, SAIDI, CAIDI

I. PENDAHULUAN

Secara umum keandalan sistem tenaga listrik dapat didefinisikan sebagai suatu kemampuan dari sistem tersebut untuk memberikan pasokan tenaga listrik yang cukup dengan kualitas yang memuaskan. Dengan semakin meningkatnya kebutuhan tenaga listrik, maka tuntutan pada sistem tenaga listrik yang memiliki keandalan dalam penyediaan dan penyaluran daya pada jaringan distribusi. Indeks-indeks yang digunakan untuk mengetahui tingkat pada keandalan sistem distribusi antara lain adalah indeks SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*), SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*) dan CAIDI (*Customer Average Interruption Duration Index*)^[1].

Dengan semakin meningkatnya kebutuhan akan energi listrik pada Kecamatan Wasile, Wasile Timur dan Wasile Selatan di Kabupaten Halmahera Timur Maluku Utara, maka PLTD Subaim harus bisa mengimbangi pasokan daya listrik dengan peningkatan akan keandalan sistem energi listrik sehingga yang diterima oleh konsumen tetap memuaskan. Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk meningkatkan keandalan yaitu dengan menggunakan *recloser* atau pemutus balik otomatis (*Automatic Circuit Recloser*) yang mampu memperkecil nilai SAIDI, SAIFI dan CAIDI. Oleh karena itu

penulis merasa perlu untuk melakukan analisis perhitungan akan tingkat keandalan pada PLTD Subaim agar dapat mengetahui apakah PLTD Subaim sudah memberikan pelayanan kepada konsumen secara memuaskan.

Terdapat beberapa teknik analisis yang bisa digunakan untuk mengevaluasi sistem distribusi, dan salah satunya dengan menggunakan metode *Section Technique*, metode ini melakukan evaluasi akan keandalan sistem dengan memecah sistem terlebih dahulu menjadi beberapa bagian yang lebih kecil, agar kemungkinan terjadinya kesalahan dapat di minimalkan dan juga waktu yang dibutuhkan lebih singkat^[2].

Pada penelitian ini metode yang digunakan untuk melakukan analisa perhitungan indeks keandalan adalah metode *Section Technique* yang nantinya akan membagi penyulang pada PLTD Subaim menjadi beberapa *Section* atau bagian yang dibatasi oleh LBS (*Load Break Switch*). Dengan menggunakan metode *section technique* untuk menganalisis keandalan pada sistem distribusi maka akan diketahui indeks-indeks keandalan per titik beban dan indeks keandalan sistem. Hasil perhitungan dengan metode *Section Technique* nantinya akan dibandingkan dengan hasil dari simulasi ETAP setelah mengimplementasikan *recloser* pada penyulang.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Keandalan Sistem Distribusi

Keandalan adalah tingkat dari keberhasilan suatu sistem atau bagian dari sistem untuk memberikan hasil yang lebih baik pada periode waktu dan dalam kondisi operasi tertentu. Dalam menentukan tingkat keandalan dari suatu sistem, maka harus dilakukan pemeriksaan dengan melakukan perhitungan dan menganalisa tingkat keberhasilan operasi dari suatu sistem yang ditinjau pada periode waktu tertentu yang nantinya akan dilakukan perbandingan dengan standar yang sudah ditetapkan sebelumnya^[4].

B. Metode *Section Technique*

Metode *Section Technique* merupakan metode yang terstruktur dalam menganalisa suatu sistem. Metode *section technique* ini dalam mengevaluasi suatu keandalan sistem distribusi didasarkan pada bagaimana suatu kegagalan dari peralatan mempengaruhi operasi sistem. Efek dari gangguan individual peralatan secara sistematis diidentifikasi dengan menganalisis apa yang terjadi jika mengalami gangguan. Kemudian masing-masing kegagalan pada peralatan akan di analisis dari semua titik beban.

Untuk mengetahui indeks keandalan sistem, dilakukan perhitungan indeks-indeks titik beban dan indeks sistem secara *section* maupun keseluruhan. Indeks titik beban antara lain.

- Frekuensi gangguan (*failure rate*) setiap titik beban yaitu penjumlahan laju kegagalan semua peralatan yang berpengaruh terhadap titik beban.

$$\lambda_{TB} = \sum_{i=K} \lambda_i \quad (1)$$

Dimana :

λ_i = laju kegagalan untuk peralatan K
 K = semua peralatan yang berpengaruh terhadap titik beban

- Lama gangguan tahunan rata-rata untuk titik beban

$$U_{TB} = \sum_{i=K} U_i = \sum_{i=K} \lambda_i \times r_i \quad (2)$$

Dimana :

r_i = waktu perbaikan (*repairing time* dan *switching time*)

Pada metode section technique ada tiga indeks keandalan yang dihitung, yaitu indek SAIFI, SAIDI dan indeks CAIDI.

- SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*)

Indeks SAIFI adalah jumlah rata-rata dari kegagalan yang terjadi pada tiap pelanggan yang dilayani pertahun.

$$SAIFI = \frac{\sum N_{TB} \times \lambda_{TB}}{\sum N} \quad (3)$$

Dimana :

N_{TB} = jumlah konsumen pada titik beban
 N = jumlah konsumen pada sistem
 λ_{TB} = frekuensi gangguan peralatan pada titik beban

- SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*)

Indeks SAIDI adalah nilai rata-rata dari lamanya kegagalan yang terjadi untuk setiap pelanggan selama satu tahun.

$$SAIDI = \frac{\sum N_{TB} \times U_{TB}}{\sum N} \quad (4)$$

Dimana :

N_{TB} = jumlah konsumen pada titik beban
 N = jumlah konsumen pada sistem
 U_{TB} = durasi gangguan peralatan pada titik beban

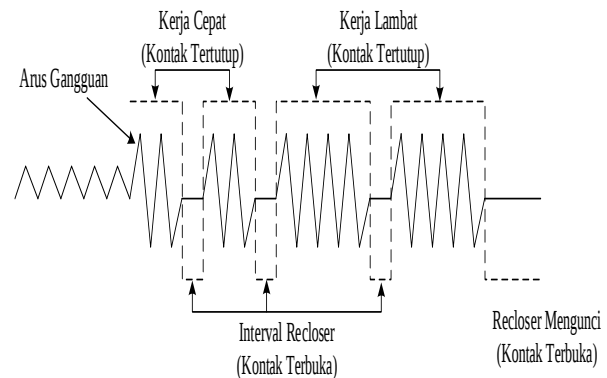
- CAIDI (*Customer Average Interruption Duration Index*)

Indeks CAIDI adalah indeks dari gangguan konsumen rata-rata yang terjadi setiap tahunnya.

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

C. Recloser

Recloser pada dasarnya adalah suatu alat yang berfungsi memutuskan arus normal yang relatif rendah dan arus hubung singkat [7]. Recloser dapat bekerja secara otomatis untuk mengamankan sistem dari arus lebih, yang diakibatkan oleh gangguan hubung singkat. Selang waktu recloser dapat diatur untuk menutup balik dan membuka secara otomatis. Ketika terjadi gangguan yang bersifat sementara, recloser akan memisahkan daerah yang mengalami gangguan sampai gangguan tersebut hilang, barulah recloser akan masuk kembali sesuai settingannya, sehingga jaringan akan aktif secara otomatis. Untuk gangguan yang bersifat permanen, recloser akan memisahkan jaringan yang mengalami gangguan secara cepat sehingga dapat memperkecil luas daerah gangguan [6].

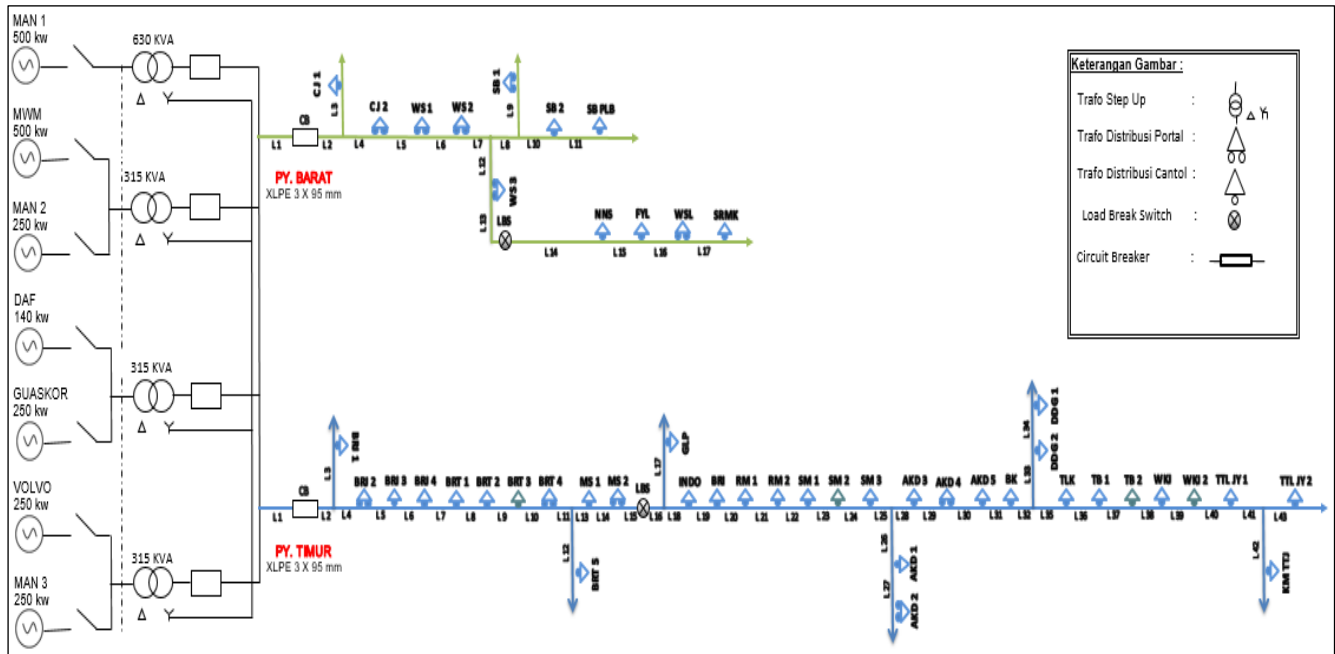


Gambar 1. Cara kerja recloser pada saat terjadi gangguan

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Sistem Distribusi PLTD Subaim

Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) Subaim menggunakan tipe radial dan memiliki 2 penyulang yaitu penyulang Barat dan penyulang Timur. Jumlah pelanggan yang dilayani berkisar 6.024 yang bebannya adalah perumahan. Keandalan sistem distribusi PLTD Subaim masih tergolong rendah, dimana penyulang-penyulang pada PLTD Subaim belum menggunakan recloser sebagai pengaman ketika terjadi gangguan. Sehingga apabila terjadi gangguan sementara terutama pada daerah yang jauh dari pembangkit maka akan terjadi pemadaman total pada penyulang karena tidak memiliki alat pengaman seperti recloser.



Gambar 2. Single Line Diagram PLTD Subaim

TABEL 1
PANJANG SALURAN DAN JUMLAH PELANGGAN TIAP TITIK BEBAN
PENYULANG BARAT

No	Penyulang Barat			
	Titik Beban	Jumlah Pelanggan	Saluran Penyulang	Panjang (km)
1	CJ-1	149	Line 1	0,01
2	CJ-2	437	Line 2	0,475
3	WS-1	107	Line 3	0,4
4	WS-2	96	Line 4	0,35
5	WS-3	58	Line 5	1,35
6	SB-1	187	Line 6	1,45
7	SB-2	69	Line 7	0,2
8	SB PLB	126	Line 8	0,15
9	NNS	78	Line 9	0,2
10	FYL	93	Line 10	0,5
11	WSL	158	Line 11	0,6
12	SRMK	132	Line 12	0,05
13			Line 13	0,5
14			Line 14	7,95
15			Line 15	4,05
16			Line 16	4,1
17			Line 17	2,05
Total		1.690		24,385

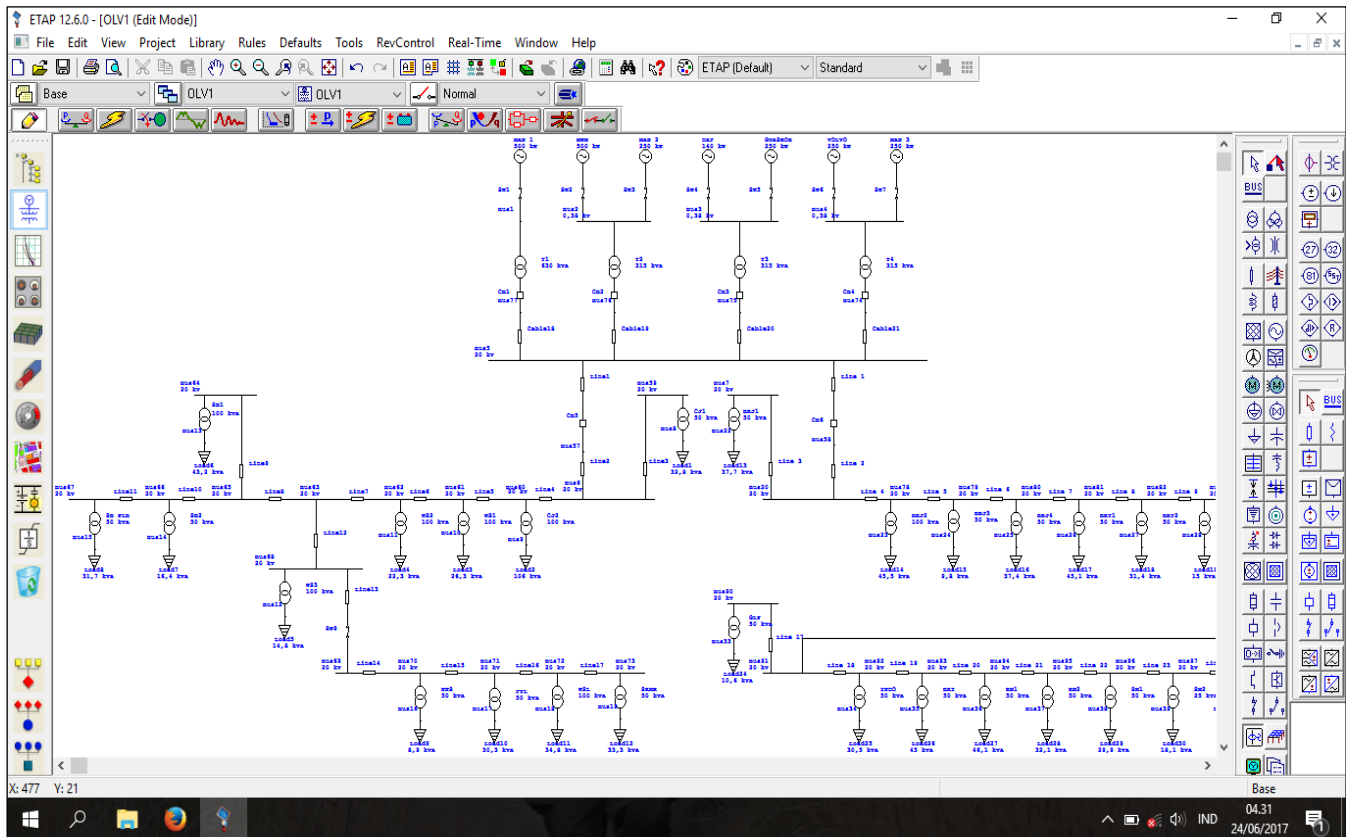
TABEL 2
PANJANG SALURAN DAN JUMLAH PELANGGAN TIAP TITIK BEBAN
PENYULANG TIMUR

No	Penyulang Timur			
	Titik Beban	Jumlah Pelanggan	Saluran Penyulang	Panjang Saluran (km)
1	BRJ-1	158	Line 1	0.01
2	BRJ-2	198	Line 2	0.275
3	BRJ-3	32	Line 3	0.25
4	BRJ-4	156	Line 4	0.5
5	BRT-1	204	Line 5	0.35
6	BRT-2	137	Line 6	0.3
7	BRT-3	58	Line 7	1.85
8	BRT-4	69	Line 8	0.1
9	BRT-5	112	Line 9	0.1
10	MS-1	59	Line 10	0.15
11	MS-2	316	Line 11	0.25
12	GLP	102	Line 12	0.65
13	INDO	136	Line 13	0.55

14	BRI	200	Line 14	0.25
15	RM-1	206	Line 15	0.35
16	RM-2	139	Line 16	0.25
17	SM-1	131	Line 17	1.5
18	SM-2	81	Line 18	0.9
19	SM-3	118	Line 19	0.35
20	AKD-1	4	Line 20	0.4
21	AKD-2	93	Line 21	0.15
22	AKD-3	98	Line 22	2.35
23	AKD-4	218	Line 23	0.15
24	AKD-5	211	Line 24	0.3
25	BK	48	Line 25	0.25
26	DDG-1	90	Line 26	0.35
27	DDG-2	68	Line 27	1.35
28	TLK	10	Line 28	0.15
29	TB-1	119	Line 29	0.25
30	TB-2	122	Line 30	0.05
31	WKJ1	158	Line 31	0.55
32	WKJ2	84	Line 32	0.7
33	TTLJY1	218	Line 33	3
34	TTLJY2	148	Line 34	0.25
35	KM TTDJ	33	Line 35	0.95
36			Line 36	0.2
37			Line 37	0.5
38			Line 38	2.6
39			Line 39	0.6
40			Line 40	1.3
41			Line 41	0.2
42			Line 42	3.05
43			Line 43	0.4
Total		4.334		28,985

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa beban dari penyulang Barat dan penyulang Timur bervariasi, pelanggan dari tiap penyulang terdiri dari pelanggan rumah tangga. Pada penyulang Barat pelanggan paling sedikit dengan jumlah 58 pelanggan dan paling banyak 437 pelanggan. Penyulang Barat terbagi menjadi 17 line dengan total panjang 24,385 km. Sedangkan penyulang Timur jumlah pelanggan paling sedikit yaitu 4 pelanggan dan paling banyak 316 pelanggan. Penyulang Timur terbagi menjadi 43 line dengan total panjang 28,985 km.

B. Perencanaan Simulasi Menggunakan ETAP Power Station



Gambar 3. Pemodelan Sistem Distribusi PLTD Subaim Pada Software ETAP

TABEL 3
INDEKS KEGAGALAN PERALATAN

Peralatan	Laju Kegagalan (Fault/yr/km)	Repair Time (hour)	Switching Time (hour)
Saluran udara	0,2	3	0,15
Kabel saluran	0,07	10	0,15
Circuit Breaker	0,004	10	0,15
Sakelar beban	0,003	10	0,15
Sectionalizer	0,003	10	0,15
Recloser	0,005	10	0,15
Trafo distribusi	0,005	10	0,15

Sumber : SPLN No.59 : 1985, "Keandalan Pada Sistem Distribusi 20 kV dan 6 kV", Perusahaan Umum Listrik Negara, Jakarta, 1985^[5].

IV. PERHITUNGAN DAN ANALISIS KEANDALAN

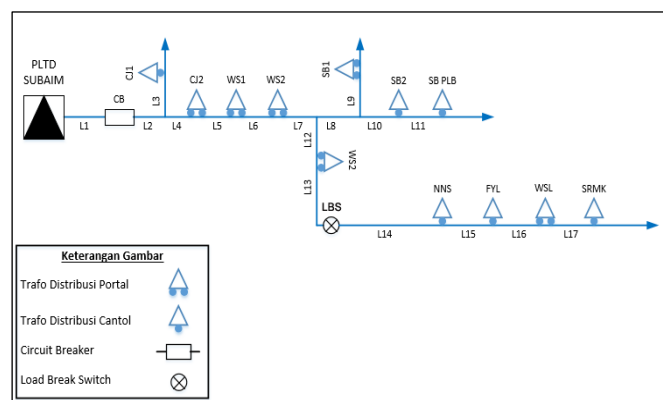
A. Analisis Indeks Keandalan Sistem Menggunakan Metode Section Technique

Untuk melakukan perhitungan indeks keandalan dari 2 penyulang yang ada pada PLTD Subaim, yang dijadikan contoh perhitungan adalah penyulang Barat.

Berdasarkan data yang telah didapat pada bab III dilakukan analisis keandalan dengan menggunakan data jumlah pelanggan tiap titik beban dan data panjang tiap line. Standar yang digunakan dalam perhitungan menggunakan standar SPLN 59 : 1985^[5] untuk laju kegagalan dan waktu pemulihan peralatan sistem jaringan 20 kV. Berikut perhitungan keandalan tiap section.

Menggambar *Single Line Diagram* pada software ETAP Power Station berdasarkan gambar *single line* dan data yang

diperoleh dari Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) Subaim.



Gambar 4. Penyulang Barat PLTD Subaim

a) Perhitungan section 1

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

TABEL 4
SECTION TECHNIQUE WORKSHEET SECTION 1

Data Peralatan		Efek Sistem
No	Nama Peralatan	Titik Beban Yang Dipengaruhi Repair Time
1	CB	TB1-TB12
2	Trafo (CJ1)	TB1
3	Trafo (CJ2)	TB2
4	Trafo (WS1)	TB3
5	Trafo (WS2)	TB4
6	Trafo (WS3)	TB5
7	Trafo (SB1)	TB6
8	Trafo (SB2)	TB7
9	Trafo (SB PLB)	TB8
10	LBS	TB1-TB12
11	Saluran L1	TB1-TB12
12	Saluran L2	TB1-TB12
13	Saluran L3	TB1-TB12
14	Saluran L4	TB1-TB12
15	Saluran L5	TB1-TB12
16	Saluran L6	TB1-TB12
17	Saluran L7	TB1-TB12
18	Saluran L8	TB1-TB12
19	Saluran L9	TB1-TB12
20	Saluran L10	TB1-TB12
21	Saluran L11	TB1-TB12
22	Saluran L12	TB1-TB12
23	Saluran L13	TB1-TB12

Selanjutnya melakukan perhitungan nilai frekuensi kegagalan λ dan lama kegagalan U tiap titik beban.

- Perhitungan frekuensi kegagalan (λ) pada titik beban

Diambil satu kasus pada titik beban 1 CJ1, λ_{TB1} diperoleh dari penjumlahan *failure rate* peralatan yang mempengaruhi TB1 dan perkalian *failure rate* saluran udara dengan panjang salurannya. Dapat dilihat pada tabel berikut.

TABEL 5
PERHITUNGAN λ TITIK BEBAN 1

Peralatan	Failure Rate Peralatan	Panjang Saluran	λ (fault/year)
CB	0,004	-	0,004
CJ-1	0,005	-	0,005
LBS	0,003	-	0,003
L1	0,2	0,01	0,002
L2	0,2	0,475	0,095
L3	0,2	0,4	0,08
L4	0,2	0,35	0,07
L5	0,2	1,35	0,27
L6	0,2	1,45	0,29
L7	0,2	0,2	0,04
L8	0,2	0,15	0,03
L9	0,2	0,2	0,04
L10	0,2	0,5	0,1
L11	0,2	0,6	0,12
L12	0,2	0,05	0,01
L13	0,2	0,5	0,1
Total			1,259

- Perhitungan lama kegagalan (U) tahunan rata-rata untuk titik beban

Diambil satu kasus pada titik beban 1 CJ1, U_{TB1} diperoleh dari penjumlahan hasil perkalian λ dengan waktu perbaikan (*repair time*). Dapat dilihat pada tabel berikut.

TABEL 6
PERHITUNGAN U TITIK BEBAN 1

Peralatan	λ (fault/year)	Waktu Perbaikan	U (hour/year)
CB	0,004	10	0,04
CJ-1	0,005	10	0,05
LBS	0,003	10	0,03
L1	0,002	3	0,006
L2	0,095	3	0,285
L3	0,08	3	0,24
L4	0,07	3	0,21
L5	0,27	3	0,81
L6	0,29	3	0,87
L7	0,04	3	0,12
L8	0,03	3	0,09
L9	0,04	3	0,12
L10	0,1	3	0,3
L11	0,12	3	0,36
L12	0,01	3	0,03
L13	0,1	3	0,3
Total			3,861

Setelah melakukan perhitungan frekuensi kegagalan dan lama kegagalan untuk setiap titik beban pada *section 1* penyulang Barat, maka nilai frekuensi kegagalan λ dan lama kegagalan U dapat dilihat pada tabel berikut.

TABEL 7
NILAI FREKUENSI KEGAGALAN DAN LAMA KEGAGALAN TITIK BEBAN SECTION 1

Titik Beban	λ (fault/year)	U (hour/year)
TB1 (CJ1)	1,259	3,861
TB2 (CJ2)	1,259	3,861
TB3 (WS1)	1,259	3,861
TB4 (WS2)	1,259	3,861
TB5 (WS3)	1,259	3,861
TB6 (SB1)	1,259	3,861
TB7 (SB2)	1,259	3,861
TB8 (SBPLB)	1,259	3,861

Dari tabel diatas, diperoleh nilai λ untuk TB1 sampai TB8 sebesar 1,259 gangguan/tahun dan nilai U untuk TB1 sampai TB8 sebesar 3,861 jam/tahun.

Selanjutnya melakukan perhitungan SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*) yaitu jumlah rata-rata dari kegagalan yang terjadi pada tiap pelanggan per tahun, dan SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*) yaitu nilai rata-rata dari lamanya kegagalan yang terjadi untuk setiap pelanggan selama satu tahun.

Diambil satu contoh perhitungan SAIFI pada titik beban 1, dengan mengalikan jumlah konsumen N_{TB1} pada titik beban tersebut dengan λ_{TB1} , kemudian dibagi dengan total konsumen pada *section 1*. Dapat dilihat pada perhitungan sebagai berikut.

$$SAIFI_{TB1} = \frac{N_{TB1} \times \lambda_{TB1}}{N_{Section1}} = \frac{149 \times 1,259}{1229} = 0,152637103 \text{ f/customer.yr}$$

Sedangkan SAIDI titik beban 1 diperoleh dari mengalikan jumlah konsumen N_{TB1} pada titik beban tersebut dengan

U_{TB1} kemudian dibagi dengan total konsumen pada *section 1*. Dapat dilihat pada perhitungan sebagai berikut.

$$SAIDI_{TB1} = \frac{N_{TB1} \times U_{TB1}}{N_{Section1}} = \frac{149 \times 3,861}{1229} = 0,468095199 \text{ hr/customer.yr}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, maka dapat diperoleh SAIFI dan SAIDI tiap titik beban serta SAIFI dan SAIDI *section* pada *section 1*. Dapat dilihat pada tabel berikut.

TABEL 8
INDEKS KEANDALAN SECTION 1

Titik Beban	SAIFI (<i>fault/cust.yr</i>)	SAIDI (<i>hr/cust.yr</i>)
TB1 (CJ1)	0,152637103	0,468095199
TB2 (CJ2)	0,447667209	1,372869813
TB3 (WS1)	0,109611879	0,335148901
TB4 (WS2)	0,098343368	0,301591537
TB5 (WS3)	0,059415785	0,182211554
TB6 (SB1)	0,191564686	0,587475183
TB7 (SB2)	0,070684296	0,216768917
TB8(SBPLB)	0,129075671	0,395838893
Total	1,258999997	3,859999997

Berdasarkan tabel diatas, dapat diperoleh nilai SAIFI dan SAIDI *section 1* yaitu SAIFI 1,258999997 (*f/customer.yr*) dan nilai SAIDI 3,859999997 (*hr/customer.yr*).

b) Perhitungan section 2

Daftar mode kegagalan yang terdapat pada *section 2* dapat dilihat pada *section technique worksheet section 2* berikut.

TABEL 9
SECTION TECHNIQUE WORKSHEET SECTION 2

Data Peralatan		Efek Sistem
No	Nama Peralatan	Titik Beban Yang Dipengaruhi Repair Time
1	LBS	TB9-TB12
2	Trafo (NNS)	TB9
3	Trafo (FYL)	TB10
4	Trafo (WSL)	TB11
5	Trafo (SRMK)	TB12
6	Saluran L14	TB9-TB12
7	Saluran L15	TB9-TB12
8	Saluran L16	TB9-TB12
9	Saluran L17	TB9-TB12

Selanjutnya melakukan perhitungan nilai frekuensi kegagalan λ dan lama kegagalan U tiap titik beban pada *section 2*. Nilai frekuensi kegagalan λ dan lama kegagalan U pada *section 2* dapat dilihat pada tabel berikut

TABEL 10
NILAI FREKUENSI KEGAGALAN DAN LAMA KEGAGALAN
TITIK BEBAN SECTION 2

Titik Beban	λ (<i>fault/year</i>)	U (<i>hour/year</i>)
TB9 (NNS)	3,638	10,94
TB10 (FYL)	3,638	10,94
TB11 (WSL)	3,638	10,94
TB12(SRMK)	3,638	10,94

Berdasarkan perhitungan diatas, maka dapat diperoleh SAIFI dan SAIDI tiap titik beban serta SAIFI dan SAIDI *section* pada *section 2*. Dapat dilihat pada tabel berikut.

TABEL 11
INDEKS KEANDALAN SECTION 2

Titik Beban	SAIFI (<i>fault/cust.yr</i>)	SAIDI (<i>hr/cust.yr</i>)
TB9 (NNS)	0,61554013	1,851019523
TB10 (FYL)	0,733913232	2,206984816
TB11 (WSL)	1,246863341	3,749501085
TB12(SRMK)	1,041683297	3,132494577
Total	3,638	10,94

Berdasarkan tabel diatas, dapat diperoleh nilai SAIFI dan SAIDI *section 2* yaitu SAIFI 3,638 kali/tahun dan nilai SAIDI 10,94 jam/tahun.

Setelah mengetahui nilai indeks keandalan pada setiap *section*, maka dapat diperoleh nilai indeks keandalan penyulang barat PLTD Subaim dengan menjumlahkan indeks keandalan tiap *section*. Dapat dilihat pada tabel berikut.

TABEL 12
INDEKS KEANDALAN SISTEM PER SECTION

Section	Indeks Keandalan Sistem	
	SAIFI (<i>fault/cust.yr</i>)	SAIDI (<i>hr/cust.yr</i>)
1	1,258999997	3,859999997
2	3,638	10,94
Total	4,896999997	14,8

Pada penyulang Barat yang dianalisis diperoleh nilai SAIFI sebesar 4,896999997 (*f/customer.yr*) dan nilai SAIDI sebesar 14,8 (*hr/customer.yr*). Sedangkan untuk nilai CAIDI diperoleh dari pembagian nilai SAIDI dengan SAIFI sehingga didapat nilai CAIDI sebesar 3,022258527 (*hr/customer interruption*).

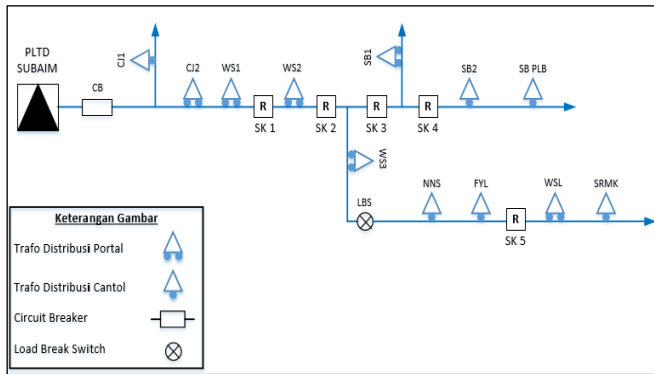
TABEL 13
INDEKS KEANDALAN METODE SECTION TECHNIQUE

Penyulang	Indeks Keandalan Sistem		
	SAIFI (<i>fault/cust.yr</i>)	SAIDI (<i>hr/cust.yr</i>)	CAIDI (<i>hr/cust interr</i>)
Barat	4,896999997	14,8	3,022258527
Timur	5,817000027	17,59099999	3,02406737

Dari hasil perhitungan metode *section technique* Nilai SAIFI dan SAIDI penyulang PLTD Subaim dibandingkan dengan standar PLN, standar yang digunakan yaitu SPLN 59 : 1985^[5] dengan nilai SAIFI 3,21 (*f/customer.yr*) dan SAIDI 21,094 (*hr/customer.yr*). Maka dapat dilihat bahwa nilai SAIFI penyulang pada PLTD Subaim belum memenuhi standar dan tergolong tidak handal sedangkan untuk nilai SAIDI masih tergolong handal dan memenuhi standar PLN.

B. Simulasi ETAP Peningkatan Indeks Keandalan

Setelah mendapatkan nilai indeks keandalan SAIFI yang tidak sesuai standar PLN, maka dilakukan simulasi penambahan recloser pada ETAP dengan melakukan percobaan 1-5 untuk meningkatkan keandalan. Penyulang yang dijadikan contoh simulasi adalah penyulang Barat.



Gambar 5. Percobaan Penempatan Recloser Pada Penyulang Barat

TABEL 14

HASIL PERCOBAAN NILAI SAIFI DAN SAIDI SETELAH PASANG RECLOSER

Kondisi	SAIFI (<i>fault/cust.yr</i>)	SAIDI (<i>hr/cust.yr</i>)
Percobaan 1 (ETAP)	4,1721	14,0588
Percobaan 2 (ETAP)	4,0351	14,1221
Percobaan 3 (ETAP)	4,6986	13,7476
Percobaan 4 (ETAP)	4,7176	14,1706
Percobaan 5 (ETAP)	4,4909	14,5695

TABEL 15

PERBANDINGAN INDEKS KEANDALAN BERDASARKAN SECTION TECHNIQUE, ETAP KONDISI EKSISTING DAN PERCOBAN 1-5

Kondisi	SAIFI (<i>fault/cust.yr</i>)	SAIDI (<i>hr/cust.yr</i>)
Standar PLN	3,21	21,094
Section Technique	4,896999997	14,8
ETAP Eksisting	4,9151	14,9039
Percobaan 1 (ETAP)	4,1721	14,0588
Percobaan 2 (ETAP)	4,0351	14,1221
Percobaan 3 (ETAP)	4,6985	13,7476
Percobaan 4 (ETAP)	4,7176	14,1706
Percobaan 5 (ETAP)	4,4909	14,5695

Berdasarkan hasil diatas, bahwa penggunaan recloser membuat indeks keandalan SAIDI dan SAIFI menurun secara signifikan. Pemasangan recloser selain untuk maksud keandalan juga harus berdasarkan sifat ekonomis.

Pada percobaan pemasangan recloser, misalnya penyulang barat percobaan 1, recloser di pasang pada line 6 antara titik beban 3 dan 4, percobaan 2 recloser di pasang pada sisi antara TB4 dan TB5, percobaan 3 recloser dipasang pada sisi antara TB5 dan TB6, percobaan 4 recloser dipasang pada sisi antara TB6 dan TB7 dan percobaan 5 recloser dipasang pada sisi antara TB10 dan TB11. Hasil analisa menunjukkan bahwa percobaan yang paling optimal adalah percobaan 2, dimana indeks keandalan SAIFI : 4,0351 (*f/customer.yr*) dan SAIDI : 14,1221 (*hr/customer.yr*).

TABEL 4.12
PERBANDINGAN INDEKS KEANDALAN

Penyulang	Kondisi	SAIFI (<i>fault/cust.yr</i>)	SAIDI (<i>hr/cust.yr</i>)
	Standar PLN	3,21	21,094
Barat	Section Technique	4,896999997	14,8
	ETAP Eksisting	4,9151	14,9039
	Percobaan Paling Optimal	4,0351	14,1221
Timur	Section Technique	5,817000027	17,59099999
	ETAP Eksisting	5,9586	17,8291
	Percobaan Paling Optimal	4,6827	16,2380

V. KESIMPULAN

Dengan diperolehnya hasil dari perhitungan dan analisis pada penelitian ini maka dapat diambil kesimpulan :

- Dengan menggunakan perhitungan metode *section technique* diperoleh indeks keandalan penyulang Barat SAIFI=4,896999997 (*f/customer.yr*), SAIDI=14,8 (*hr/customer.yr*), CAIDI=3,022258527 (*hr/customer interruption*). Penyulang Timur SAIFI=5,817000027 (*f/customer.yr*), SAIDI=17,59099999 (*hr/customer.yr*), CAIDI=3,02406737 (*hr/customer interruption*). Nilai SAIFI pada kedua penyulang belum sesuai dengan standar PLN yaitu 3,21 (*f/customer.yr*), sedangkan nilai SAIDI sudah sesuai standar yaitu 21,094 (*hr/customer.yr*).
- Dari hasil perhitungan menggunakan ETAP kondisi eksisting diperoleh indeks keandalan Penyulang Barat SAIFI=4,9151 (*f/customer.yr*), SAIDI=14,9039 (*hr/customer.yr*), CAIDI=3,032 (*hr/customer interruption*). Penyulang Timur SAIFI=5,9586 (*f/customer.yr*), SAIDI=17,8291 (*hr/customer.yr*), CAIDI=2,992 (*hr/customer interruption*). Dan setelah melakukan percobaan implementasi recloser pada penyulang dengan percobaan 1-5, didapatkan nilai paling optimal penyulang Barat pada percobaan 2 dengan SAIFI=4,0351 (*f/customer.yr*), SAIDI=14,1221 (*hr/customer.yr*), CAIDI=3,500 (*hr/customer interruption*). Untuk penyulang Timur nilai paling optimal pada penyulang 2 dengan SAIFI=4,6827 (*f/customer.yr*), SAIDI=16,2380 (*hr/customer.yr*), CAIDI=3,468 (*hr/customer interruption*).
- Pemasangan recloser sangat membantu dalam peningkatan indeks keandalan maupun faktor ekonomis sistem distribusi PLTD Subaim, karena penggunaan recloser mampu mengurangi atau mempercepat durasi gangguan. Seperti diketahui bahwa recloser dapat bekerja secara otomatis dan dapat disetting 2 kali/lebih beroperasi pada saat terjadi gangguan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Brown, E.R. (2009). *Electric Power Distribution Reliability Second Edition*. America : CRC Press Taylor & Francis Group.
- [2] 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, pp.701-707.
- [3] Marsudi, D. (2006). *Operasi Sistem Tenaga Listrik*. Yogyakarta : Graha Ilmu.
- [4] Gonen, T. (1986). *Electric Power Distribution System Engineering*. Mc Graw-Hill.
- [5] Goenadi, C., Hernanda, S.N.G.I dan Penangsang, O. (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*.
- [6] Mir'atussaada, A. (2015). Evaluasi Cara Kerja Auto Recloser Sebagai Pengaman Pada Jaringan Distribusi di PT. PLN (Persero) Keramasan. *Laporan Akhir*.
- [7] Pansini. A.j (1992) *Electrical Distribution Engineering*. 2nd Ed.
- [8] PLTD Subaim. (2017). Data-Data Yang Digunakan. *Kec. Wasile, Kab. Halmahera Timur, Prov. Maluku Utara*.

BIODATA PENULIS



M. RIZAL SANAKY, Dilahirkan di Kabupaten Halmahera Utara tepatnya di Desa Soasio Kecamatan Galela pada hari rabu tanggal 17 mei 1995. Anak keempat dari empat bersaudara pasangan Abd. Halim Sanaky dan Sitiran Husen. Penulis menyelesaikan pendidikan di Sekolah Dasar Inpres II.B di Kecamatan Wasile Kabupaten Halmahera Timur pada tahun 2007. Pada tahun itu juga penulis melanjutkan Pendidikan di MTS Negeri Cemara Jaya Kecamatan Wasile dan tamat pada tahun 2010, kemudian melanjutkan Sekolah Menengah Atas di SMK Negeri 2 Kota Ternate jurusan Teknik Elektronika pada tahun 2010 dan selesai pada tahun 2013. Pada tahun 2013 penulis melanjutkan pendidikan di perguruan tinggi, tepatnya di Institut Teknologi Nasional Malang (ITN Malang) Fakultas Teknologi Industri Jurusan Teknik Elektro S-1 Konsentrasi Energi Listrik. Penulis menyelesaikan kuliah strata satu (S1) pada tahun 2017. Penulis memiliki keahlian dalam bidang *Electrical Engineering*, alamat email penulis m.rizalsanaky@gmail.com.