

# Analisis Keandalan Jaringan Distribusi 20 kV pada Penyulang Bismarak PT PLN (Persero) ULP Kupang

Cantika<sup>1</sup>, Wellem F. Galla<sup>2</sup>, Evtaleny R. Mauboy<sup>\*1,3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Prodi Teknik Elektro / Fakultas Sains dan Teknik / Universitas Nusa Cendana

<sup>\*</sup>Corresponding author, email: [evtalenymauboy@staf.undana.ac.id](mailto:evtalenymauboy@staf.undana.ac.id)

Abstrak	INFO.
<p>Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat keandalan sistem distribusi 20 kV terhadap pemasangan recloser pada penyulang Bismarak dengan menggunakan metode perhitungan reliability network equivalent approach (RNEA). Berdasarkan hasil penelitian yang menggunakan metode RNEA, nilai keandalan sistem SAIFI, SAIDI, ENS dan AENS akan semakin besar. Hal ini disebabkan oleh karena metode RNEA menganalisis indeks keandalan berdasarkan sistem jaringan dan komponen yang terpasang. Sedangkan indeks keandalan sistem berdasarkan gangguan yang terjadi, SAIFI akan semakin besar dan indeks keandalan SAIDI akan semakin kecil. Hal tersebut terjadi karena prinsip kerja recloser yang dirancang untuk membuka dan menutup sirkuit listrik secara otomatis sebagai respons terhadap gangguan sementara. Berdasarkan hasil perhitungan, keandalan sistem distribusi pada penyulang Bismarak dapat dikategorikan andal karena nilai indeks keandalan lebih rendah dari SPLN 68-2:1986. Sedangkan jika dibandingkan pada standar IEEE 1366-2003, indeks keandalan sistem distribusi pada penyulang Bismarak dikategorikan tidak andal karena nilai indeks keandalan lebih tinggi dibandingkan standar yang ditetapkan.</p>	<p><b>Info. Artikel:</b> No. 010 Received. July 19, 2024 Revised. Dec 20, 2024 Accepted. Jan 18, 2025 Page. 72 - 86</p> <p><b>Kata kunci:</b> ✓ Reliability ✓ Bismarak Feeder ✓ RNEA Method ✓ SAIDI ✓ SAIFI ✓ ENS ✓ AENS</p>
<p><b>Abstract</b></p> <p>This research was conducted to determine the level of reliability of the 20 kV distribution system against the installation of a recloser on the Bismarak feeder using the reliability network equivalent approach (RNEA) calculation method. Based on the results of the research using the RNEA method, the value of system reliability SAIFI, SAIDI, ENS, and AENS will be bigger because of the RNEA method analyzes based on the network system and installed components. While the value of system reliability is based on disturbances that occur, the SAIFI reliability value will be bigger and the SAIDI reliability value will be smaller, this happens because of the working principle of the recloser, which is designed to close and open automatically as a response to the temporary faults. Based on the calculations, the reliability of the distribution system on the Bismarak feeder can be categorized as reliable because of the reliability indeks value is lower than SPLN 68-2:1986. On the other hand, based on the IEEE 1366-2003 standard distribution system, reliability indeks on the Bismarak feeder is categorized as not reliable because of the reliability indeks value is higher than the standard.</p>	

## PENDAHULUAN

Sistem distribusi adalah sistem penyaluran tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan sehingga kinerja dari sistem distribusi ini secara langsung akan mempengaruhi tingkat kepuasan pelanggan [1]. Keandalan sistem jaringan distribusi merupakan tingkat keberhasilan suatu sistem dalam kurung waktu yang ditentukan dan dibawah kondisi operasi yang telah ditentukan. Secara fisik tidak mungkin memperoleh keandalan yang sangat baik karena kegagalan suatu sistem yang dapat terjadi, peluang terjadinya kegagalan dari suatu sistem dapat dikurangi dengan dilakukan pemeriksaan pada masa operasi sistem yang ditinjau dalam kurung waktu tertentu [2].

Frekuensi pemadaman dan lama pemadaman akan menentukan tingkat keandalan sistem distribusi yang dinyatakan sebagai indeks keandalan. Indeks keandalan terdiri dari indeks keandalan dasar dan indeks keandalan berbasis sistem. Indeks keandalan dasar yaitu laju kegagalan dan laju pemulihan digunakan dalam perencanaan jaringan distribusi. Sedangkan indeks keandalan berbasis pada apakah sistem dapat memberikan informasi seberapa sering sistem mengalami pemadaman atau SAIFI (System Average Interruption Frequency Indeks) dan lama pemadaman terjadi atau SAIDI (System Average Interruption Duration Indeks) [1]. ENS adalah indeks keandalan yang menyatakan jumlah energi yang tidak dapat

disalurkan oleh sistem ke pelanggan selama periode satu tahun. Metode *Reliability Network Equivalent Approach* (RNEA) merupakan penyederhanaan dari metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) [3]. Metode RNEA digunakan untuk menganalisis sistem distribusi radial yang kompleks secara sederhana berdasarkan komponen yang terpasang dan juga panjang saluran. Prinsip utama pada metode ini adalah elemen ekuivalen dapat digunakan untuk mengganti bagian jaringan distribusi dan menyusun kembali sistem distribusi yang besar kedalam bentuk seri dan sederhana. Metode ini merupakan metode pendekatan yang menggunakan proses berulang dan berurutan untuk mengevaluasi indeks keandalan per titik beban (*load point*) [4].

*Recloser* adalah suatu peralatan dalam sistem distribusi listrik yang dirancang untuk membuka dan menutup sirkuit listrik secara otomatis sebagai respons terhadap gangguan atau kelebihan beban sementara. Fungsi utama *recloser* adalah untuk meningkatkan keandalan pasokan listrik dengan memulihkan pasokan otomatis tanpa intervensi manual setelah gangguan yang bersifat sementara. Setiap peralatan yang dipasang pada suatu penyulang sistem distribusi listrik memiliki kemungkinan kegagalan. Peralatan tersebut mencakup berbagai komponen seperti *load break switch*, transformator, *recloser*, dan peralatan listrik lainnya yang terlibat dalam proses distribusi listrik ke konsumen [5]. Dengan melakukan perhitungan probabilitas kegagalan suatu komponen atau peralatan dalam sistem, maka dapat diketahui sejauh mana keandalan dari sistem tersebut, seperti penelitian yang dilakukan Elisabeth Tiro Mido yang menganalisis indeks keandalan SAIFI, SAIDI, CAIDI dan CAIFI menggunakan perkiraan laju kegagalan dan perkiraan durasi gangguan dan membandingkan dengan standar indeks keandalan SPLN 68-2:1986 [6].

PT PLN (Persero) ULP Kupang merupakan salah satu unit yang bekerja dibawah UP3 (Unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan) Kupang yang membantu menyalurkan tenaga listrik kepada konsumen serta berusaha menyediakan energi listrik kepada konsumen dengan daya cukup. Penyulang Bismarck merupakan salah satu penyulang dari 34 penyulang yang ada di ULP Kupang dan merupakan penyulang yang baru beroperasi di tahun 2021. Pada penyulang Bismarck telah dilakukan pemasangan *recloser* pada tahun 2022. Penelitian ini akan menghitung nilai indeks keandalan sebelum dan sesudah pemasangan *recloser* di penyulang Bismarck.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan analisis statistik atau matematik yang terkumpul dari data sekunder. Setelah pengumpulan data selesai dilakukan, maka akan dilakukan perhitungan dengan menggunakan beberapa tahapan sebagai berikut :

1. Menentukan dan menghitung parameter keandalan seksi cabang
2. menghitung indeks titik beban dari penyulang Bismarck sehingga didapat  $\lambda_{lp}$  (laju kegagalan *load point*),  $u_{lp}$  (laju ketaktersediaan *load point*), dan  $r_{lp}$  (rata-rata lama padam *load point*)
3. Menghitung indeks keandalan SAIFI dan SAIDI sebelum dan setelah pemasangan *recloser*
4. Menghitung ENS dan AENS sebelum dan setelah pemasangan *recloser*
5. Membandingkan indeks keandalan SAIFI dan SAIDI dengan standar SPLN 68-2 1986 dan standar IEEE 1366-2003

Selanjutnya dilakukan analisa hasil perhitungan dan pembahasan.

## Standar Keandalan Sistem Jaringan Distribusi 20kV

Setiap peralatan listrik pada jaringan distribusi memiliki nilai laju kegagalan yang mana bentuk kegagalan berasal dari peralatan listrik atau komponen menyebabkan zona pengaman disekitaran komponen yang mengalami kegagalan tersebut. Berikut adalah tabel perkiraan laju kegagalan komponen sistem distribusi listrik [7],[8]:

Tabel 1 Standar Laju Kegagalan dan Waktu Perbaikan

Komponen	$\lambda$ (Kegagalan / Tahun)	r (Jam / Tahun)
SUTM	0.2	3
SKTM	0.07	10
Transformator	0.005	10
FCO ( <i>Fuse Cut Out</i> )	0.003	10
<i>Recloser</i>	0.005	10
PMT (Pemutus Tenaga)	0.004	10
LBS ( <i>Load Break Switch</i> )	0.003	10

**Metode RNEA**

Metode *Reliability Network Equivalent Approach* (RNEA) merupakan penyederhanaan dari metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) [9,10]. Metode RNEA digunakan untuk menganalisis sistem distribusi radial yang kompleks secara sederhana. Prinsip utama pada metode ini adalah elemen ekuivalen dapat digunakan untuk mengganti bagian jaringan distribusi dan menyusun kembali sistem distribusi yang besar kedalam bentuk seri dan sederhana.

Untuk menghitung indeks keandalan sistem (*load point indeks*) sesuai dengan persamaan [11,12]:

1. *System Average Interruption Duration Indeks (SAIDI)*

Merupakan jumlah lamanya pemadaman yang dialami konsumen dalam satu tahun, dibagi dengan jumlah konsumen yang dilayani.

$$SAIDI = \frac{\sum UlpNlp}{\sum Nt} \text{ (jam/pelanggan/tahun)} \dots\dots\dots (1)$$

*Ulp* = laju ketaktersediaan load point.

*Nlp* = total pelanggan tiap load point.

*Nt* = total pelanggan pada penyulang.

2. *System Average Interruption Frequency Indeks (SAIFI)*

Merupakan jumlah konsumen yang mengalami pemadaman dalam satu tahun, dibagi dengan jumlah konsumen yang dilayani.

$$SAIFI = \frac{\sum \lambda p Nlp}{\sum Nt} \text{ (kali/pelanggan/tahun)} \dots\dots\dots (2)$$

$\lambda p$  = laju kegagalan *load point*.

*Nlp* = total pelanggan tiap *load point*.

*Nt* = total pelanggan pada penyulang.

3. Perhitungan nilai *Energy Not Supplied*

Rumus perhitungan yang digunakan untuk menghitung nilai ENS adalah sebagai berikut:

$$ENS = \sum La \text{ Cos}\phi \text{ Ulp} \text{ (kWh/tahun)} \dots\dots\dots (3)$$

*ENS* = *Energy Not Supplied* (kWh/tahun).

*La* = Beban padam pada *load point* (kVA)

*Cos* $\phi$  = Faktor Daya (Standar nilai minimum untuk faktor daya berdasarkan SPLN 70-1 adalah 0,85)

*Ulp* = Laju ketaktersediaan *load point* (h)

4. Kerugian Ekonomis

$$ENS \times TDL \dots\dots\dots (4)$$

*ENS* = *Energy Not Supplied*

TDL = Tarif Dasar Listrik

TDL Gol. Tarif R-1/TR = Rp.1352

5. Perhitungan *Average Energy Not Supplied*

perhitungan yang digunakan untuk menghitung nilai ENS adalah sebagai berikut:

$$AENS = \frac{\sum ENS}{\sum Nt} \text{ (kWh/pelanggan/tahun) ..... (5)}$$

*AENS* = *Average Energy Not Supplied* (kWh/pelanggan/tahun)

*ENS* = *Energy Not Supplied* (kWh/tahun)

*Nt* = Total pelanggan pada penyulang

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Gambaran Umum Penyulang Bismarak**

Penyulang Bismarak merupakan salah satu dari 34 penyulang yang berada dalam area distribusi PT. PLN (Persero) ULP Kupang. Sistem distribusi di penyulang Bismarak adalah sistem distribusi tegangan menengah 20 kV atau yang dikenal dengan istilah Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM). Saluran distribusi pada penyulang Bismarak menggunakan konfigurasi jaringan radial. Penyulang ini terhubung dari GH Penfui dengan 12 transformator distribusi, 18 buah FCO, 1 buah LBS dan memiliki total panjang saluran yaitu ± 24,3828 kms

**Data Panjang Saluran**

Penyulang Bismarak memiliki total jarak 24,3828 kms. Menggunakan SKTM yang disimbolkan dengan huruf C dengan total panjang saluran 1,238 kms dan SUTM yang disimbolkan dengan huruf L dengan total panjang saluran 23,1448 kms. L30 merupakan saluran terpanjang dengan jarak 2,903 kms. L10 dan L18 merupakan saluran terpendek dengan jarak 0,05 kms.

No	Panjang Saluran	Jarak (KMS)			
1	C1	0,256	17	L15	0,148
2	C2	0,982	18	L16	0,944
3	L1	1,105	19	L17	1,59
4	L2	2,486	20	L18	0,05
5	L3	0,478	21	L19	0,289
6	L4	0,064	22	L20	0,256
7	L5	1,040	23	L21	0,256
8	L6	0,9	24	L22	0,256
9	L7	0,37	25	L23	0,55
10	L8	0,911	26	L24	0,15
11	L9	0,183	27	L25	0,43
12	L10	0,05	28	L26	1,23
13	L11	0,16	29	L27	1,82
14	L12	0,15	30	L28	2,07
15	L13	0,89	31	L29	0,095
16	L14	0,358	32	L30	2,903
			33	L31	0,964

**Data Transformator Distribusi**

Penyulang Bismarak terdiri dari 12 tranformator. KT 132 dan KT 033 merupakan tranformator dengan kapasitas tranformator terbesar yaitu 100 kVA dan KT 078 merupakan kapasitas transformator terkecil

dengan 25 kVA. Sedangkan KT 033 merupakan transformator dengan beban terbesar yaitu 37,3 kVA dan KT 122 merupakan tranformator dengan beban terkecil yaitu 5,5 kVA.

Tabel 3 Data Transformator Distribusi

Nama Trafo	Kapasitas Trafo (kVA)	Beban Trafo (kVA)
KT 068	50	33,5
KT 122	50	5,5
KT 132	100	15,9
KT 078	25	4,7
KT 034	50	24,6
KT 097	50	9
KT 033	100	37,3
KT 079	50	29,1
KT 111	50	17,4
KT 061	50	29,5
KT 062	50	29,5
KT 063	50	11,5

### Data Jumlah Pelanggan

Pada Penyulang Bismarak memiliki 12 load point dengan total jumlah pelanggan sebanyak 1.854 pelanggan. Pada Penyulang Bismarak Load Point dengan jumlah pelanggan terbanyak adalah Load Point 7 dengan total jumlah pelanggan sebanyak 294 pelanggan. Sedangkan Load Point dengan jumlah pelanggan terendah adalah Load Point 4 dengan total jumlah pelanggan 36 pelanggan.

Tabel 4 Data Jumlah Pelanggan

Load Point	Nama Transformator	Jumlah Pelanggan
LP1	KT 068	245
LP2	KT 122	47
LP3	KT 132	126
LP4	KT 078	36
LP5	KT 034	190
LP6	KT 097	75
LP7	KT 033	294
LP8	KT 079	175
LP9	KT 111	132
LP10	KT 061	220
LP11	KT 062	225
LP12	KT 063	89

### Data Indeks Keandalan Sistem Penyulang Bismarak di PT. PLN Kupang

Berikut merupakan data lapangan indeks keandalan sistem penyulang Bismarak di PT. PLN (Persero) ULP Kupang. Perhitungan indeks keandalan tahun 2021 terhitung sejak bulan September – Desember dikarenakan penyulang Bismarak baru beroperasi di bulan September. Sedangkan indeks keandalan tahun 2022 terhitung sejak Januari – Desember yang dimana pemasangan *recloser* baru dipasangkan pada bulan Januari tahun 2022.

Tabel 5. Data Indeks Keandalan Sistem Penyulang Bismarak di PT. PLN Kupang

Tahun	UNIT LAYANAN PELANGGAN	PENYULANG	JUMLAH PELANGGAN PER PENYULANG	LAMA PADAM (JAM)	JAM X PELANGGAN PADAM	JUMLAH PELANGGAN PADAM	SAIDI (JAM)	SAIFI (KALI)
	2	3	4	5	6	7	$8 = (6 / 4)$	$9 = (7 / 4)$
2021	ULP KUPANG	43. BISMARAK	1854	1,12	2492	2.225	1,34	1,2
2022	ULP KUPANG	43.UNDNA.F06 / BISMARAK	1854	3,8	22.275,60	5.862	12,01	3,16

### Data Gangguan Penyulang Bismarak

Berikut merupakan data lapangan gangguan yang terjadi pada penyulang Bismarak. Pada gambar 3 merupakan daftar gangguan sebelum dilakukan pemasangan *recloser* dan gambar 4 merupakan daftar gangguan setelah dilakukan pemasangan *recloser*. Sehingga dapat dilihat gangguan yang terjadi sebelum pemasangan *recloser* memiliki durasi padam yang rata – rata diatas 6 menit sedangkan gangguan setelah pemasangan *recloser* memiliki durasi padam rata – rata dibawah 6 menit dimana *recloser* yang terpasang dapat mendeteksi gangguan sementara yang terjadi pada penyulang Bismarak secara otomatis sehingga dapat meminimalisir durasi gangguan yang terjadi.

Tabel 6. Data Gangguan Penyulang Bismarak Tahun 2021 Sebelum Pemasangan *Recloser*

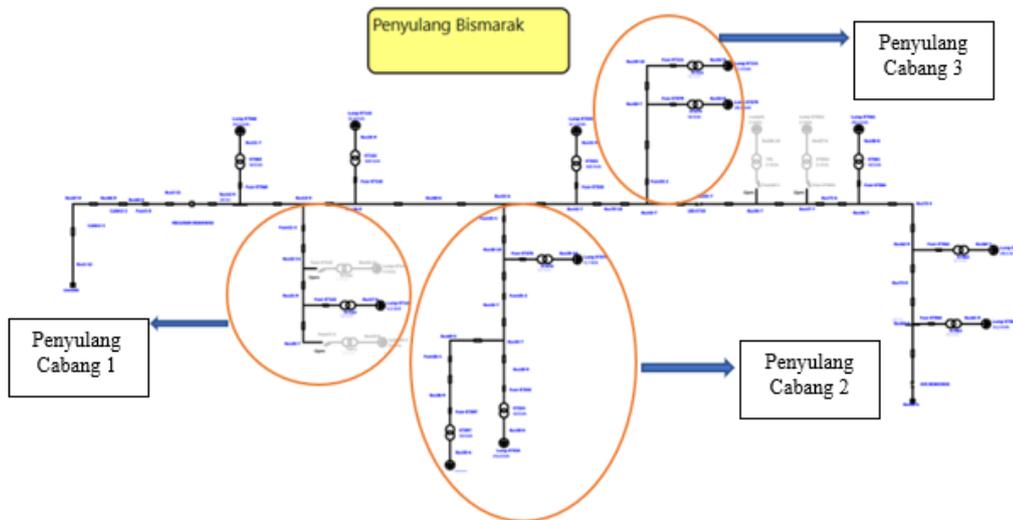
NO	TANGGAL	BULAN	ULP	KEYPOINT	JAM PADAM	JAM NYALA	DURASI PADAM	INDIKASI	KETERANGAN GANGGUAN	GANGGUAN TEMBUS
1	27	SEPTEMBER	KUPANG	BISMARAK	17.57.00	18.07.00	10,00	GFR	GFR	Gangguan tidak ditemukan
2	27	SEPTEMBER	KUPANG	BISMARAK	10.51.00	11.15.00	24,00	GFR	UFR	maulafa 18.2 Trip indikasi zone 1
3	10	DESEMBER	KUPANG	BISMARAK	10.50.00	11.01.00	11,00	GFR	GFR	Gangguan tidak ditemukan
4	10	DESEMBER	KUPANG	BISMARAK	16.47.00	16.54.00	7,00	GFR	GFR	Gangguan tidak ditemukan
5	17	DESEMBER	KUPANG	BISMARAK	12.57.00	13.12.00	15,00	GFR	TIDAK TERBACA	-

Tabel 7. Data Gangguan Penyulang Bismarak Tahun 2022 Setelah Pemasangan *Recloser*

NO	TANGGAL	BULAN	ULP	KEYPOINT	JAM PADAM	JAM NYALA	DURASI PADAM	INDIKASI	KETERANGAN GANGGUAN	GANGGUAN TEMBUS
1	20	JANUARY	KUPANG	BISMARAK	19.06.00	19.09.00	3	GFR	Lepas CO Melenceng	
2	23	JANUARY	KUPANG	BISMARAK	16.25.00	16.27.00	2	GFR	Gangguan Tidak Ditemukan	
3	23	JANUARY	KUPANG	BISMARAK	16.32.00	17.34.00	62	GFR	-	
4	12	MARCH	KUPANG	BISMARAK	06.09.00	06.09.00	-	GFR	Indikasi pohon gangguan sementara	Recloser Bismarak
5	12	MARCH	KUPANG	BISMARAK	21.13.00	22.30.00	77	GFR	TABUNG CO TERBAKAR	
6	15	MARCH	KUPANG	BISMARAK	03.49.00	05.05.00	76	GFR	Tabung FCO Pasar Penfui Terbakar	
7	18	MAY	KUPANG	BISMARAK	21.30.00	21.31.00	1	GFR	Gangguan Tidak Ditemukan	Recloser Bismarak
8	19	JUNE	KUPANG	BISMARAK	13.33	13.34	1	OCR	COBA MASUK AMAN	Recloser Bismarak
9	29	JUNE	KUPANG	BISMARAK	23.54	23.55	1	OCR	Gangguan Tidak Ditemukan	Recloser Bismarak
10	29	JUNE	KUPANG	BISMARAK	23.54	23.55	1	OCR	INDIKASI CO SANENU PUTUS 2 PHASA	
11	29	JUNE	KUPANG	BISMARAK	01.26	01.28	2	GFR	DALAM INVESTIGASI , HUJAN DAN ANGIN	
12	30	JUNE	KUPANG	BISMARAK	10.48	10.49	1	GFR	Gangguan Tidak Ditemukan	Recloser Bismarak
13	30	JUNE	KUPANG	BISMARAK	11.43	11.44	1	GFR	Gangguan Tidak Ditemukan	Recloser Bismarak

### Menentukan Penyulang Cabang

Penyulang cabang adalah *penyulang* yang terhubung dengan penyulang utama. Penentuan penyulang cabang adalah beban yang lebih dari 1 dan dipisahkan oleh pengaman atau pemisah. Terdapat 3 penyulang cabang pada penyulang Bismarak. Gambar penyulang cabang dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Penentuan Penyulang Cabang

Penyulang cabang 1 terdiri atas 2 FCO, 1 transformator dan memiliki total panjang saluran 2,31 kms . Penyulang cabang 2 terdiri atas 6 FCO, 3 transformator dan memiliki total panjang saluran 2,649 kms. Sedangkan penyulang cabang 3 terdiri atas 3 FCO, 2 transformator dan total panjang saluran 0,512 kms.

**Perhitungan Laju Kegagalan ( $\lambda$ ) dan Laju Ketaktersediaan (U) Penyulang Cabang Sebelum Pemasangan Recloser**

Untuk mendapatkan nilai  $\lambda$  tiap komponen yaitu, nilai angka keluaran dikalikan dengan panjang tiap saluran atau jumlah unit pada tiap komponen. Untuk mendapatkan nilai U tiap komponen yaitu, dengan mengalikan laju kegagalan ( $\lambda$ ) dari komponen dengan waktu perbaikan (r) komponen tersebut.

$$\begin{aligned} \lambda L5 &= \text{panjang saluran} \times \text{angka keluar} \\ &= 1,04 \times 0,2 \\ &= 0,208 \text{ kali/tahun} \end{aligned}$$

Perhitungan UL5 pada penyulang cabang 1

$$\begin{aligned} UL5 &= \lambda L5 \times r \\ &= 0,208 \times 3 \\ &= 0,624 \text{ jam/tahun} \end{aligned}$$

Nilai keandalan dari ekuivalen cabang 1 merupakan laju kegagalan dan laju ketaktersediaan terbesar ketiga, yang memiliki panjang saluran yakni 2,31 kms. Laju keagalann ( $\lambda e_1$ ) ekuivalen cabang 1 adalah 0,473 kali/tahun dan laju ketaktersediaan ( $Ue_1$ ) ekuivalen cabang 1 adalah 1,496 jam/tahun.

Nilai Keandalan dari ekuivalen cabang 2 merupakan laju kegagalan dan laju ketaktersediaan yang terbesar ke-dua, hal ini dikarenakan pada penyulang cabang 2 memiliki komponen terpasang yang cukup banyak dan memiliki panjang saluran terpanjang ke-dua yakni 2,649 kms. Laju Kegagalan ( $\lambda e_2$ ) ekuivalen cabang 2 adalah 0,563 kali/tahun dan laju ketaktersediaan ( $Ue_2$ ) ekuivalen cabang 2 = 1,920 jam/tahun

Nilai Keandalan dari ekuivalen cabang 3 merupakan laju kegagalan dan laju ketaktersediaan yang paling kecil dari penyulang yang lain, hal ini dikarenakan penyulang cabang 3 memiliki komponen terpasang yang paling

sedikit dan juga panjang saluran yang terpendek. Laju Kegagalan ( $\lambda_{e3}$ ) ekuivalen cabang 3 adalah 0,121 kali/tahun dan laju ketaktersediaan ( $U_{e3}$ ) ekuivalen cabang 3 adalah 0,497 jam/tahun.

### **Perhitungan Laju Kegagalan ( $\lambda$ ) dan Laju Ketaktersediaan (U) Penyulang Utama Sebelum Pemasangan Recloser**

Untuk mendapatkan nilai  $\lambda$  tiap komponen yaitu, nilai angka keluaran dikalikan dengan panjang tiap saluran atau jumlah unit pada tiap komponen. Untuk mendapatkan nilai U tiap komponen yaitu, dengan mengalikan laju kegagalan ( $\lambda$ ) dari komponen tersebut dengan waktu perbaikan ( $r$ ) dari komponen tersebut.

Nilai keandalan dari penyulang utama merupakan laju kegagalan dan laju ketaktersediaan yang terbesar, hal ini dikarenakan penyulang utama merupakan bagian dengan komponen terbanyak dan memiliki panjang saluran terpanjang yakni 18,902 kms. Laju Kegagalann ( $\lambda_s$ ) penyulang utama adalah 3,675 kali/tahun dan laju ketaktersediaan ( $U_s$ ) penyulang utama adalah 12,011 jam/tahun.

Nilai keandalan dari penyulang utama merupakan laju kegagalan dan laju ketaktersediaan yang terbesar, hal ini dikarenakan penyulang utama merupakan bagian dengan komponen terbanyak dan memiliki panjang saluran terpanjang yakni 18,902 kms. Laju Kegagalann ( $\lambda_s$ ) penyulang utama adalah 3,675 kali/tahun dan laju ketaktersediaan ( $U_s$ ) penyulang utama adalah 12,011 jam/tahun.

### **Perhitungan Indeks Keandalan Load Point Sebelum Pemasangan Recloser**

Untuk menghitung indeks keandalan *load point* maka harus memperhatikan letak dari *load point* tersebut. Apabila *load point* tersebut terletak pada penyulang cabang maka laju kegagalan penyulang cabang harus ditambahkan dengan laju kegagalan penyulang utama.

Perhitungan LP 7 yang terletak pada penyulang utama dan LP 9 pada penyulang cabang 3.

$$\lambda_{LP7} = \lambda_{\text{Penyulang Utama}}$$

$$= 3,675 \text{ kali/tahun}$$

$$U_{LP7} = U_{\text{Penyulang Utama}}$$

$$= 12,011 \text{ jam/tahun}$$

$$r_{LP7} = U / \lambda$$

$$= 12,011 / 3,675$$

$$= 3,268 \text{ jam}$$

$$\lambda_{LP9} = \lambda_{\text{Penyulang Utama}} + \lambda_{\text{Penyulang Cabang 3}}$$

$$= 3,675 + 0,12124$$

$$= 3,796 \text{ kali/tahun}$$

$$U_{LP9} = U_{\text{Penyulang Utama}} + U_{\text{Penyulang Cabang 3}}$$

$$= 12,011 + 0,49672$$

$$= 12,508 \text{ kali/tahun}$$

$$r_{LP9} = U / \lambda$$

$$= 12,508 / 3,796$$

$$= 3,295 \text{ jam}$$

### **Perhitungan Indeks Keandalan Sistem Sebelum Pemasangan Recloser**

Menghitung nilai SAIFI dengan rumus lamda ( $\lambda$ ) pada *load point* dikalikan dengan jumlah pelanggan pada *load point* dibagi dengan total jumlah pelanggan. Kemudian untuk SAIDI nilai dari laju ketaktersediaan *load point* dikalikan dengan jumlah pelanggan di setiap *load point* dibagi dengan total jumlah pelanggan.

Perhitungan pada LP7.

$$\begin{aligned}
 \text{SAIFI LP7} &= \frac{\sum \lambda_{LP7} N_{LP7}}{\sum NT} \\
 &= \frac{3,675 \times 294}{1854} \\
 &= 0,583 \text{ kali/pelanggan/tahun} \\
 \text{SAIDI LP7} &= \frac{\sum U_{LP7} N_{LP7}}{\sum NT} \\
 &= \frac{12,011 \times 294}{1854} \\
 &= 1,905 \text{ jam/pelanggan/tahun}
 \end{aligned}$$

Menghitung nilai ENS dengan rumus beban pada tiap *load point* dikalikan dengan faktor daya yaitu 0,85 dan dikalikan dengan laju ketetersediaan *load point* dan untuk mendapatkan nilai Kerugian Ekonomis maka nilai ENS yang telah didapat dikalikan dengan TDL (tarif dasar listrik).

$$\begin{aligned}
 \text{ENS LP7} &= \sum La \cos\phi U \\
 &= 37,3 \times 0,85 \times 12,011 \\
 &= 380,809 \text{ kWh/tahun}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kerugian Ekonomis} &= \text{ENS} \times \text{TDL Gol. Tarif R-1/TR} \\
 &= 380,809 \times \text{Rp. 1.352} \\
 &= \text{Rp. 514.853,437}
 \end{aligned}$$

Indeks keandalan sistem Penyulang Bismarak sebelum pemasangan recloser menggunakan metode RNEA (SAIFI) adalah 3,798 kali/pelanggan/tahun dan (SAIDI) adalah 12,443 jam/pelanggan/tahun. Nilai ENS yaitu kemungkinan energi yang tidak tersalurkan dalam satu tahun pada penyulang Bismarak adalah 2.615,946 kWh/tahun yang jika dikalikan dengan tarif dasar listrik Gol. Tarif R-1/TR maka kemungkinan kerugian ekonomis dalam satu tahun untuk penyulang Bismarak adalah Rp 3.536.759,510

Berdasarkan nilai ENS pada penyulang Bismarak dapat ditentukan juga nilai AENS dari penyulang Bismarak yang merupakan jumlah rata-rata energi listrik yang tidak tersalurkan dalam suatu sistem distribusi tiap tahun.

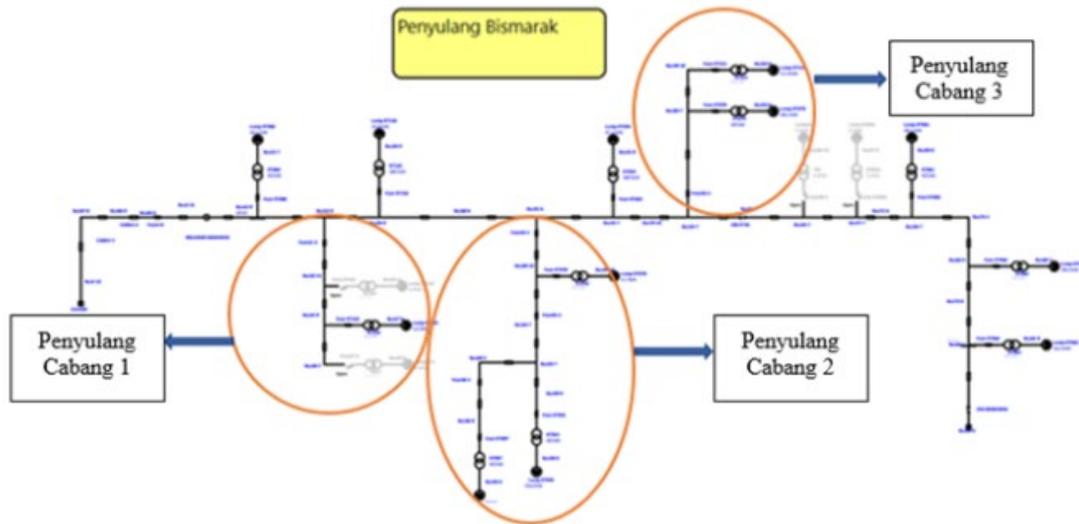
$$\text{AENS} = \frac{\sum \text{ENS}}{\sum Nt} = \frac{2.615,946}{1.854} = 1,411 \text{ kWh/pelanggan/tahun}$$

### Perhitungan Keandalan Sistem Distribusi Menggunakan Metode RNEA Setelah Pemasangan Recloser

Perhitungan dimulai dengan menganalisis *single line diagram* dari Penyulang Bismarak setelah pemasangan *recloser*, dengan menentukan jumlah penyulang cabang dan penyulang utama untuk menghitung laju kegagalan dan laju ketetersediaan sehingga mendapatkan nilai indeks keandalan sistem SAIFI, SAIDI, dan ENS.

#### Menentukan Penyulang Cabang

Penyulang cabang adalah penyulang yang terhubung dengan penyulang utama. Penentuan penyulang cabang adalah beban yang lebih dari 1 dan dipisahkan oleh pengaman atau pemisah. Terdapat 3 penyulang cabang pada penyulang Bismarak. Gambar penyulang cabang dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 2. Penentuan Penyulang Cabang

Penyulang cabang 1 terdiri atas 2 FCO, 1 transformator dan memiliki total panjang saluran 2,31 kms .  
Penyulang cabang 2 terdiri atas 6 FCO, 3 transformator dan memiliki total panjang saluran 2,649 kms.  
Sedangkan penyulang cabang 3 terdiri atas 3 FCO, 2 transformator dan total panjang saluran 0,512 kms.

### Perhitungan Laju Kegagalan ( $\lambda$ ) dan Laju Ketaktersediaan (U) Penyulang Cabang Setelah Pemasangan *Recloser*

Untuk mendapatkan nilai  $\lambda$  tiap komponen yaitu, nilai angka keluar dikalikan dengan panjang tiap saluran atau jumlah unit pada tiap komponen. Untuk mendapatkan nilai U tiap komponen yaitu, dengan mengalikan laju kegagalan ( $\lambda$ ) dari komponen tersebut dengan waktu perbaikan (r) dari komponen tersebut.

Perhitungan  $\lambda L5$  pada penyulang cabang 1

$$\begin{aligned}\lambda L5 &= \text{panjang saluran} \times \text{angka keluar} \\ &= 1,04 \times 0,2 \\ &= 0,208 \text{ kali/tahun}\end{aligned}$$

Perhitungan  $UL5$  pada penyulang cabang 1

$$\begin{aligned}UL5 &= \lambda L5 \times r \\ &= 0,208 \times 3 \\ &= 0,624 \text{ jam/tahun}\end{aligned}$$

Nilai keandalan dari ekuivalen cabang 1 merupakan laju kegagalan dan laju ketaktersediaan terbesar ketiga, yang memiliki panjang saluran yakni 2,31 kms. Laju keagalann ( $\lambda e1$ ) ekuivalen cabang 1 adalah 0,473 kali/tahun dan laju ketaktersediaan ( $Ue1$ ) ekuivalen cabang 1 adalah 1,496 jam/tahun.

Nilai Keandalan dari ekuivalen cabang 2 merupakan laju kegagalan dan laju ketaktersediaan yang terbesar ke-dua, hal ini dikarenakan pada penyulang cabang 2 memiliki komponen terpasang yang cukup banyak dan memiliki panjang saluran terpanjang ke-dua yakni 2,649 kms. Laju Kegagalan ( $\lambda e2$ ) ekuivalen cabang 2 adalah 0,563 kali/tahun dan laju ketaktersediaan ( $Ue2$ ) ekuivalen cabang 2 = 1,920 jam/tahun

Nilai Keandalan dari ekuivalen cabang 3 merupakan laju kegagalan dan laju ketaktersediaan yang paling kecil dari penyulang yang lain, hal ini dikarenakan penyulang cabang 3 memiliki komponen terpasang yang paling sedikit dan juga panjang saluran yang terpendek. Laju Kegagalan ( $\lambda_{e3}$ ) ekuivalen cabang 3 adalah 0,121 kali/tahun dan laju ketaktersediaan ( $U_{e3}$ ) ekuivalen cabang 3 adalah 0,497 jam/tahun.

### Perhitungan Laju Kegagalan ( $\lambda$ ) dan Laju Ketaktersediaan (U) Penyulang Utama Setelah Pemasangan Recloser

Untuk mendapatkan nilai  $\lambda$  tiap komponen yaitu, nilai angka keluaran dikalikan dengan panjang tiap saluran atau jumlah unit pada tiap komponen. Untuk mendapatkan nilai U tiap komponen yaitu, dengan mengalikan laju kegagalan ( $\lambda$ ) dari komponen tersebut dengan waktu perbaikan (r) dari komponen tersebut. Perhitungan  $\lambda_{L30}$  pada penyulang cabang 1

$$\begin{aligned}\lambda_{L30} &= \text{panjang saluran} \times \text{angka keluar} \\ &= 2,903 \times 0,2 \\ &= 0,581 \text{ kali/tahun}\end{aligned}$$

Perhitungan  $U_{L30}$  pada penyulang cabang 1

$$\begin{aligned}U_{L30} &= \lambda_{L30} \times r \\ &= 0,581 \times 3 \\ &= 1,742 \text{ jam/tahun}\end{aligned}$$

Nilai keandalan dari penyulang utama merupakan laju kegagalan dan laju ketaktersediaan yang terbesar, hal ini dikarenakan penyulang utama merupakan bagian dengan komponen terbanyak dan memiliki panjang saluran terpanjang yakni 18,902 kms. Laju Kegagalannya ( $\lambda_s$ ) penyulang utama adalah 3,678 kali/tahun dan laju ketaktersediaan ( $U_s$ ) penyulang utama adalah 12,041 jam/tahun.

### Perhitungan Indeks Keandalan Load Point Setelah Pemasangan Recloser

Untuk menghitung indeks keandalan *load point* maka harus memperhatikan letak dari *load point* tersebut. Apabila *load point* tersebut terletak pada seksi cabang maka laju kegagalan penyulang cabang harus ditambahkan dengan laju kegagalan penyulang utama.

Perhitungan LP 7 yang terletak pada penyulang utama dan LP 9 pada penyulang cabang 3.

$$\begin{aligned}\lambda_{LP7} &= \lambda_{\text{Penyulang Utama}} \\ &= 3,678 \text{ kali/tahun}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}U_{LP7} &= U_{\text{Penyulang Utama}} \\ &= 12,041 \text{ jam/tahun}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}r_{LP7} &= U / \lambda \\ &= 12,041 / 3,678 \\ &= 3,274 \text{ jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_{LP9} &= \lambda_{\text{Penyulang Utama}} + \lambda_{\text{Penyulang Cabang 3}} \\ &= 3,678 + 0,12124 \\ &= 3,799 \text{ kali/tahun}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}U_{LP9} &= U_{\text{Penyulang Utama}} + U_{\text{Penyulang Cabang 3}} \\ &= 12,041 + 0,49672 \\ &= 12,538 \text{ jam/tahun}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}r_{LP9} &= U / \lambda \\ &= 12,538 / 3,799 \\ &= 3,300 \text{ jam}\end{aligned}$$

### Perhitungan Indeks Keandalan Sistem Setelah Pemasangan Recloser

Menghitung nilai SAIFI dengan rumus lamda ( $\lambda$ ) pada *load point* dikalikan dengan jumlah pelanggan pada *load point* dibagi dengan total jumlah pelanggan pada seksi *load point* tersebut berada. Kemudian untuk SAIDI nilai dari ketaktersediaan *load point* dikalikan dengan jumlah pelanggan di setiap *load point* dibagi dengan total jumlah pelanggan pada seksi *load point* tersebut berada.

Perhitungan pada LP7.

$$\begin{aligned} \text{SAIFI LP7} &= \frac{\sum \lambda_{LP7} N_{LP7}}{\sum NT} \\ &= \frac{3,687 \times 294}{1854} \\ &= 0,583 \text{ kali/pelanggan/tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{SAIDI LP7} &= \frac{\sum U_{LP7} N_{LP7}}{\sum NT} \\ &= \frac{12,041 \times 294}{1854} \\ &= 1,909 \text{ jam/pelanggan/tahun} \end{aligned}$$

Menghitung nilai ENS dengan rumus beban pada tiap *load point* dikalikan dengan laju ketaktersediaan *load point* dan untuk mendapatkan nilai Kerugian Ekonomis maka nilai ENS yang telah didapat dikalikan dengan TDL (tarif dasar listrik).

$$\begin{aligned} \text{ENS LP7} &= \sum La \text{ Cos} \phi U \\ &= 37,3 \times 0,85 \times 12,041 \\ &= 381,760 \text{ kWh/tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kerugian Ekonomis} &= 381,760 \times \text{Rp. } 1.352 \\ &= \text{Rp. } 516.139,392 \text{ /tahun} \end{aligned}$$

**Tabel 8** Indeks Keandalan Sistem

Beban Trafo (kVA)	Load Point	N (Jumlah Pelanggan)	SAIFI (Kali/pelanggan/tahun))	SAIDI (Jam/pelanggan / tahun)	ENS (kWh/tahun )	Kerugian Ekonomis (Rp)
33,5	LP 1	245	0,486	1,591	342,867	463556,826
5,5	LP 2	47	0,105	0,343	63,285	85561,962
15,9	LP 3	126	0,250	0,818	162,734	220016,523
4,7	LP 4	36	0,082	0,271	55,774	75406,712
24,6	LP 5	190	0,435	1,431	291,925	394681,938
9	LP 6	75	0,172	0,565	106,802	144395,831
37,3	LP 7	294	0,583	1,909	381,760	516139,392
29,1	LP 8	175	0,359	1,183	310,121	419282,922
17,4	LP 9	132	0,270	0,893	185,433	250705,252
29,5	LP 10	220	0,436	1,429	301,928	408206,757
29,5	LP 11	225	0,446	1,461	301,928	408206,757
11,5	LP 12	89	0,177	0,578	117,701	159131,448
	Total	1854	3,801	12,473	2622,258	3545292,32

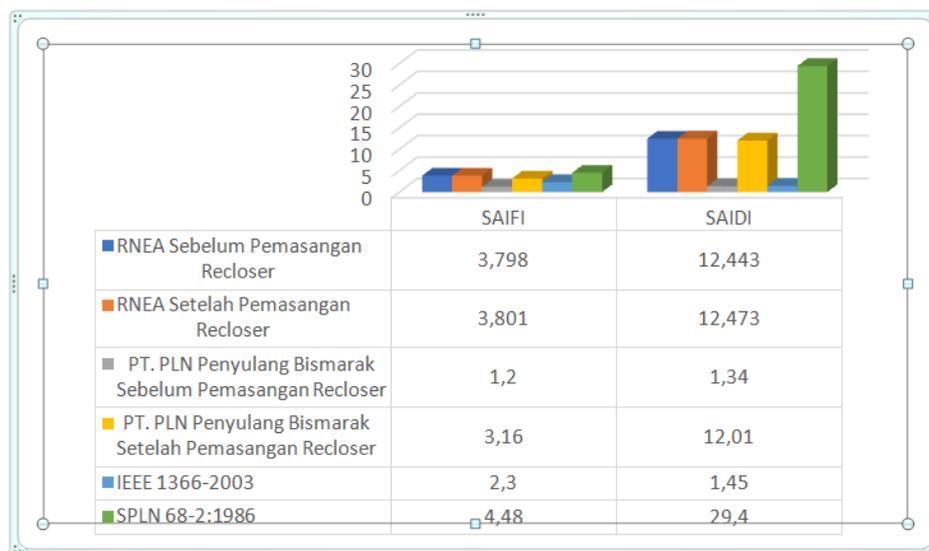
Indeks keandalan sistem Penyulang Bismarack sebelum pemasangan recloser menggunakan metode RNEA (SAIFI) yaitu kemungkinan kegagalan rata – rata yang terjadi dalam satu tahun untuk tiap pelanggan di penyulang Bismarack adalah 3,801 kali/pelanggan/tahun dan (SAIDI) yaitu kemungkinan waktu kegagalan rata – rata yang terjadi dalam satu tahun untuk tiap pelanggan di penyulang Bismarack adalah 12,473 jam/pelanggan/tahun dan (ENS) yaitu kemugkinan energi yang tidak tersalurkan dalam satu tahun pada penyulang Bismarack adalah 2.622,258 kWh/tahun yang dimana jika dikalikan dengan tarif dasar listrik Gol. Tarif R-1/TR maka kemungkinan kerugian ekonomis dalam satu tahun untuk penyulang Bismarack adalah Rp 3.545.292,320

Berdasarkan nilai ENS pada penyulang Bismarack dapat ditentukan juga nilai AENS dari penyulang Bismarack.

$$AENS = \frac{\sum ENS}{\sum Nt} = \frac{2.622,258}{1.854} = 1,414 \text{ kWh/pelanggan/tahun}$$

### Perbandingan Hasil Perhitungan

Perbandingan nilai SAIFI dan SAIDI yang telah didapatkan dari perhitungan menggunakan metode RNEA sebelum dan setelah pemasangan *recloser* dengan SPLN 68-2 : 1986, standar IEEE 1366-2003, dan data indeks keandalan dari PT PLN UP3 Kupang pada penyulang Bismarack dapat dilihat pada grafik berikut :



Gambar 3. Perbandingan Nilai Indeks Keandalan Sebelum dan Setelah Pemasangan *Recloser*

Dari gambar dapat diketahui bahwa Nilai Indeks keandalan menggunakan perhitungan metode RNEA sebelum pemasangan *recloser* diperoleh SAIFI sebesar 3,798 kali/pelanggan/tahun dan SAIDI sebesar 12,443 jam/pelanggan/tahun dan perhitungan metode RNEA setelah pemasangan *recloser* diperoleh SAIFI sebesar 3,801 kali/pelanggan/tahun dan SAIDI sebesar 12,473 jam/pelanggan/tahun. Indeks keandalan yang diperoleh dari PT. PLN pada penyulang Bismarack sebelum pemasangan *recloser* yaitu SAIFI 1,2 kali/tahun dan SAIDI 1,34 jam/tahun sedangkan setelah pemasangan *recloser* yaitu SAIFI 3,16 kali/pelanggan/tahun dan SAIDI 12,01 jam/pelanggan/tahun. Menurut SPLN 68-2:1986 nilai SAIFI sebesar 4,48 kali/tahun dan SAIDI sebesar 29,4 jam/tahun dan menurut standar IEEE 1366-2003 nilai SAIFI sebesar 2,3 kali/tahun dan SAIDI sebesar 1,45 jam/tahun.

### Pembahasan

Pada perhitungan metode RNEA sebelum pemasangan *recloser* terdapat 3 penyulang cabang dengan nilai masing – masing laju kegagalan dan laju ketaktersediaan pada cabang 1 diperoleh nilai  $\lambda e_1$  adalah 0,473 dan  $Ue_1$  adalah 1,496, pada cabang 2 diperoleh nilai  $\lambda e_2$  adalah 0,563 dan  $Ue_2$  adalah 1,92, dan pada cabang 3 diperoleh nilai  $\lambda e_3$  adalah 0,12124 dan  $Ue_3$  adalah 0,49672. Setelah Penyulang cabang dianalisis selanjutnya menganalisis nilai laju kegagalan dan laju ketaktersediaan penyulang utama, diperoleh nilai pada  $\lambda_s$  adalah 3,675 dan  $U_s$  adalah 12,011. Selanjutnya perhitungan indeks keandalan *load point* dimana jika *load point* tersebut berada pada penyulang cabang maka nilai laju kegagalan dan laju ketaktersediaan pada *load point* tersebut harus ditambahkan dengan laju kegagalan dan laju ketaktersediaan penyulang utama. Untuk indeks keandalan sistem yang diperoleh terdiri atas SAIFI yaitu 3,798 kali/pelanggan/tahun, SAIDI yaitu 12,443 jam/pelanggan/tahun, ENS 2.615,946 kWh/tahun, Kerugian Ekonomis Rp. 3.536.759,510/tahun, dan AENS yaitu 1,411 kWh/pelanggan/tahun.

Pada perhitungan metode RNEA setelah pemasangan *recloser* terdapat 3 penyulang cabang dengan nilai masing – masing laju kegagalan dan laju ketaktersediaan pada cabang 1 diperoleh nilai  $\lambda e_1$  adalah 0,473 dan  $Ue_1$  adalah 1,496, pada cabang 2 diperoleh nilai  $\lambda e_2$  adalah 0,563 dan  $Ue_2$  adalah 1,92, dan pada cabang 3 diperoleh nilai  $\lambda e_3$  adalah 0,12124 dan  $Ue_3$  adalah 0,49672. Setelah Penyulang cabang dianalisis selanjutnya menganalisis nilai laju kegagalan dan laju ketaktersediaan penyulang utama, diperoleh nilai pada  $\lambda_s$  adalah 3,678 dan  $U_s$  adalah 12,041. Selanjutnya perhitungan indeks keandalan *load point* dimana jika *load point* tersebut berada pada penyulang cabang maka nilai laju kegagalan dan laju ketaktersediaan pada *load point* tersebut harus ditambahkan dengan laju kegagalan dan laju ketaktersediaan penyulang utama. Untuk indeks keandalan sistem yang diperoleh terdiri atas SAIFI yaitu 3,801 kali/pelanggan/tahun, SAIDI yaitu 12,473 jam/pelanggan/tahun, ENS 2.622,258 kWh/tahun, Kerugian Ekonomis Rp. 3.545.292,320/tahun, dan AENS yaitu 1,414 kWh/pelanggan/tahun.

### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan indeks keandalan sistem pada penyulang Bismarak menggunakan metode RNEA sebelum pemasangan *recloser*, diperoleh nilai SAIFI 3,798 kali/pelanggan/tahun dan SAIDI 12,443 jam/pelanggan/tahun. Sedangkan setelah pemasangan *recloser*, diperoleh SAIFI 3,801 kali/pelanggan/tahun dan SAIDI 12,473 jam/pelanggan/tahun. Dampak pemasangan *recloser* terhadap nilai ENS (*Energy not supplied*) dan AENS (*Average energy not supplied*) berdasarkan metode RNEA juga semakin tinggi dikarenakan laju ketaktersediaan yang semakin besar setelah pemasangan *recloser* yaitu, sebelum pemasangan *recloser* kemungkinan ENS adalah 2.615,946 kWh/tahun dan kemungkinan AENS 1,411 kWh/pelanggan/tahun sedangkan setelah pemasangan *recloser* kemungkinan ENS 2.622,258 kWh/tahun dan kemungkinan AENS 1,414 kWh/pelanggan/tahun. Hal ini terjadi dikarenakan ENS berbanding lurus dengan laju ketaktersediaan. Pemasangan *recloser* mempengaruhi nilai keandalan sistem, yaitu dengan menggunakan metode RNEA nilai keandalan sistem SAIFI dan SAIDI akan semakin besar. Hal tersebut dikarenakan pada metode RNEA menganalisis berdasarkan sistem jaringan dan komponen terpasang. Sedangkan perhitungan nilai keandalan sistem berdasarkan gangguan yang terjadi maka nilai keandalan SAIFI akan semakin besar, sedangkan nilai keandalan SAIDI akan semakin kecil hal tersebut terjadi berdasarkan prinsip kerja *recloser*.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Syufrijal and R. Monantun, Jaringan Distribusi Tenaga Listrik. Kementerian Pendidikan Dasar Menengah dan Kebudayaan Republik Indonesia, 2014.

- 
- [2] Prabowo, Herdianto, Ontoseno Penangsang, and Satriyadi Hernanda. "Studi Analisis Keandalan Sistem Distribusi Pabrik Semen Tuban Menggunakan Metode Reliability Indeks Assessment (RIA) dan Program Analisis Kelistrikan." *Jurnal Teknik ITS* 1.1 (2012): B87-B90.
- [3] Gerald, Valentinus, "Analisis Energi Listrik Terselamatkan pada Penyulang Bangli PT. PLN (Persero) Area Bali Timur dengan Beroperasinya PLTS Kayubih." *Teknologi Elektro* 15.1 (2016): 69-74.
- [4] Muhammad Adiguna, "Analisa Keandalan Sistem Distribusi 20 kV Pada Penyulang Kayutangi Menggunakan Metode Reliability Network Equivalent Approach (RNEA)," *ITN Malang*, 2019.
- [5] Silaban, Abraham. *Studi Tentang Penggunaan Recloser Pada Sistem Jaringan Distribusi 20 KV*. Universitas Sumatera Utara, 2009.
- [6] Tiro Mido. *Evaluasi Keandalan Sistem Distribusi 20kV Di PT. PLN (Persero) Ulp Maumere Menggunakan Metode Failure Mode Effect Analysis (FMEA)*. Universitas Nusa Cendana Kupang, 2022
- [7] Martinus, H. P., *Evaluasi Keandalan Sistem Jaringan Distribusi 20kv Menggunakan Metode Reliability Network Equivalent Approach (RNEA) Pada SUTM Penyulang Mars Skripsi*. In *Skripsi*. Universitas Pendidikan Indonesia, 2021
- [8] Negara, P. U. L. (1985). *Keandalan Pada Sistem Distribusi 20 kV dan 60 kV*. Departemen Pertambangan dan Energi, 1985
- [9] Nanzain, S., & Wrahatnolo, T. (2017). *Evaluasi Keandalan Sistem Jaringan Distribusi 20 kV Menggunakan Metode Reliability Network Equivalent Approach (RNEA) di PT. PLN Rayon Mojokerto*. *Jurnal Teknik Elektro. Volume 06 Nomor 02 Tahun 2017*
- [10] Setiawan, A. F., & Suheta, T. (2020). *Analisa Studi Keandalan Sistem Distribusi 20 KV di PT . PLN (PERSERO ) UPJ Mojokerto Menggunakan Metode FMEA ( FAILURE MODE EFFECT ANALYSIS )*. *Cyclotron*, 3(1), 11–17
- [11] Brown, R. E., *Electric Power Distribution Reliability*. Marcel Dekker, Inc, 2002
- [12] Sibarani, E. . (2021). *Analisa Keandalan Sistem Distribusi Berdasarkan Indeks Keandalan SAIDI dan SAIFI di Gardu Induk Payo Selincah*. In *Skripsi*. Institut Teknologi PLN.