

Upaya Peningkatan Keandalan Penyulang dengan Manuver Jaringan

Slamet Nurhadi^{a)}, Muhammad Fahmi Hakim^{*a)}, Ruwah Joto^{a)}

(Artikel diterima: Januari 2023, direvisi: Februari 2023)

Abstract: *The Tlogosari feeder was disturbed 20 times so that the reliability of system wasn't said to be good. The purpose of this research was to make efforts to increase reliability and reduce ENS by maneuvering the network and adding CO Branch. Hoped that after these efforts the reliability level of Tlogosari Feeder will be better and ENS will be as minimal as possible. The network maneuver is carried out by delegating part of Tlogosari Feeder load when it experiences a disturbance to the nearest feeders on the condition that the total load current after the maneuver doesn't exceed the current setting and conductor ampacity. The addition of CO Branch is based on fault data to localize fault points to reduce transformer outages. After performing network maneuvers and adding CO Branch in the sub-networks, it was found that the SAIDI and SAIFI values were improved and the ENS was reduced. Network maneuvering and addition of CO Branch are quite effective in implementing the Tlogosari Feeder.*

Keywords: CO Branch, ENS, Keandalan, Manuver jaringan, Penyulang, SAIDI, SAIFI

1. Pendahuluan

Dalam memenuhi kebutuhan listrik masyarakat, PLN harus fokus pada dua persyaratan utama: kontinuitas dan kualitas. Distribusi energi listrik ke pengguna harus terus menerus, dengan sedikit pemadaman yang disebabkan oleh gangguan untuk mencapai kontinuitas [1]. Serta tegangan yang diterima oleh konsumen harus memenuhi standar yang telah ditentukan agar dianggap berkualitas tinggi [2]. Kontinuitas dan kualitas berhubungan erat dengan keandalan sistem tenaga listrik [3]. Pada dasarnya keandalan sistem tenaga listrik dapat didefinisikan sebagai indikator yang menunjukkan ketersediaan suplai energi listrik dari pembangkit hingga ke konsumen [4, 5]. Indeks untuk mengukur tingkat keandalan suatu sistem distribusi tenaga listrik antara lain SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*), MAIFI (*Momentary Average Interruption Freequency Index*), SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*), CAIDI (*Customer Average Interruption Duration Index*), ENS (*Energy Not Supplied*) dan AENS (*Average Energy Not Supplied*) [6, 7, 8].

Pada PT. PLN (Persero) ULP Bondowoso setiap bulannya sering terjadi gangguan khususnya di penyulang. Dari total dua belas penyulang yang ada di ULP Bondowoso, Penyulang Tlogosari yang mempunyai panjang jaringan 68,524 kms mengalami gangguan paling banyak. Berdasarkan data yang diperoleh selama enam bulan terakhir, Penyulang Tlogosari mengalami gangguan sebanyak 20 kali di *recloser* atau PMCB. Gangguan tersebut dikategorikan menjadi dua jenis yaitu gangguan permanen sebanyak 14 kali dan gangguan temporer sebanyak 6 kali. Keandalan sistem tenaga listrik masih belum dikatakan baik karena sering terjadi gangguan [9, 10]. Rata-rata gangguan disebabkan oleh pemutus tegangan menengah terbuka, pelebur tegangan menengah putus karena gangguan pohon, binatang dan material yang tidak andal.

Penelitian tentang analisis keandalan dan usaha peningkatan keandalan jaringan distribusi telah beberapa kali dilakukan. Keandalan jaringan distribusi dapat ditingkatkan dengan pengaturan ulang posisi *recloser* [11]. Dengan relokasi *recloser* akibat penambahan injeksi pembangkit tersebar, keandalan sistem dapat meningkat sebesar 0,014 % [12]. Penggunaan *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA) dapat meningkatkan keandalan jaringan distribusi PT. PLN Wilayah Maluku dan Maluku

Utara Area Masohi [13] maupun di PT PLN Area Palu [14]. Penggunaan sistem generasi terdistribusi juga dapat meningkatkan keandalan sistem distribusi, pengurangan kerugian daya, dan peningkatan tegangan di setiap bus [15]. Usaha peningkatan keandalan dengan perubahan konfigurasi jaringan spindel menjadi loop tertutup juga terbukti berhasil [16].

Dengan mengacu pada penelitian yang telah dilakukan, maka tujuan dari penelitian ini antara lain: i) menganalisis tingkat keandalan Penyulang Tlogosari ULP Bondowoso pada kondisi awal, ii) menganalisis energi yang tidak tersalurkan ke pelanggan akibat gangguan yang terjadi pada Penyulang Tlogosari, iii) melakukan upaya peningkatan keandalan dan pengurangan energi yang tidak tersalurkan dengan manuver jaringan ke penyulang terdekat, dan iv) menganalisis tingkat keandalan dan energi yang tidak tersalurkan ke pelanggan di Penyulang Tlogosari ULP Bondowoso setelah kegiatan manuver. Diharapkan setelah dilakukan manuver jaringan tingkat keandalan Penyulang Tlogosari semakin baik dan energi tidak tersalurkan menjadi seminimal mungkin.

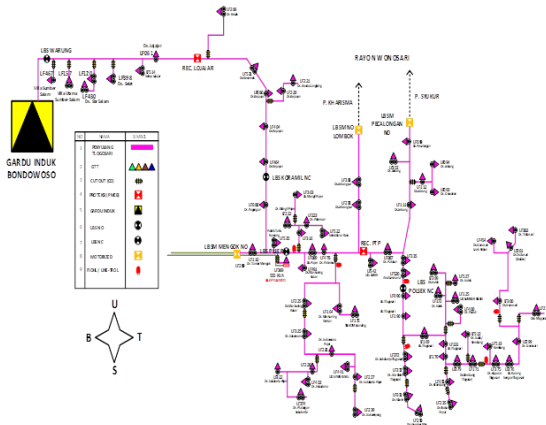
2. Metode

Penyulang Tlogosari disuplai dari GI Bondowoso Trafo 1 yang berkapasitas 60 MVA (lihat Gambar 2.1) **Error! Reference source not found.** Penyulang ini mempunyai GTT (Gardu Trafo Tiang) sebanyak 78 buah dan menyuplai 26.815 pelanggan. Penyulang Tlogosari berbatasan dengan Penyulang Tamanan, Kharisma, dan Syukur yang dibatasi oleh LBSM. Bentuk jaringan pada Penyulang Tlogosari adalah konfigurasi loop sehingga memungkinkan dilakukan manuver ke penyulang terdekat jika terjadi gangguan. Trafo 1 GI Bondowoso juga menyuplai Penyulang Rider, Pejaten, Tegal Ampel, Sumber Sari, dan Pancoran. Sedangkan Diagram segaris SUTM 20 KV ULP Bondowoso dapat dilihat pada Gambar 2.2.

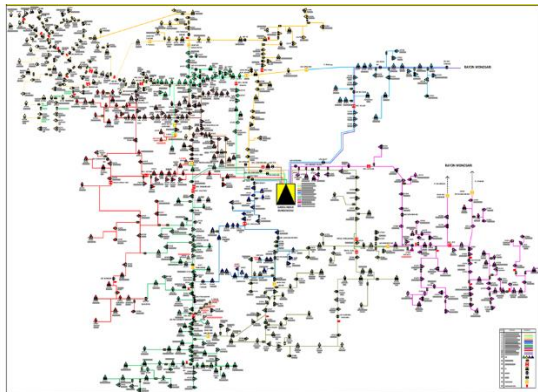
Untuk melakukan analisis nilai SAIDI dan SAIFI, maka harus mengetahui data lokasi gangguan beserta lama padam, dan jumlah pelanggan yang padam [17]. Pada Tabel 2.1 ditampilkan data lokasi gangguan, lama padam, dan jumlah pelanggan padam dari bulan Januari sampai Juni 2021.

*Korespondensi: slamet.nurhadi@polinema.ac.id

a) Prodi Teknik Listrik, Jurusan Teknik Elektro, Polinema.
Jalan Soekarno-Hatta No. 9 Malang 65141



GAMBAR 2.1 DIAGRAM SEGARIS PENYULANG TLOGOSARI 20 KV



GAMBAR 2.2 DIAGRAM SEGARIS SUTM 20 KV ULP BONDOWOSO

TABEL 2.1 DATA GANGGUAN SEBAGAI PENUNJANG PERHITUNGAN SAIFI DAN SAIDI

No.	Section	Lokasi Gangguan	Lama Padam (jam)	Jumlah Pelanggan Padam
1.	6	CO Branch Sumber Balen	1,11	1097
2.	6	LF373	1,08	1097
3.	1	Belum ditemukan	0,033333	27170
4.	1	Belum ditemukan	0,016667	27170
5.	2	Jamperan LBS putus fase R (LF464)	1,49	25119
6.	4	LF222	0,666667	1656
7.	4	CO Branch Pujer	0,333333	1656
8.	6	LF170	0,033333	9435
9.	4	LF478	0,8	20760
10.	6	LF169	0,016667	9435
11.	6	LF131	0,316667	9435
12.	6	CO Branch Sumber Balen	0,833333	1097
13.	4	LF226	0,166667	3284
14.	4	LF322	0,016667	1024
15.	4	LF322	0,85	1024
16.	2	LF404	1,24	25119
17.	4	LF278	0,65	20760
18.	6	LF169	0,7	9435
19.	4	LF478	1,49	20760
20.	4	LF322	0,016667	1024

Selanjutnya nilai SAIFI dihitung menggunakan Persamaan 1 dan nilai SAIDI menggunakan Persamaan 2 sebagai berikut [18].

$$SAIFI = \frac{\sum \lambda_i N_i}{\sum N} \quad (1)$$

$$SAIDI = \frac{\sum U_i N_i}{\sum N} \quad (2)$$

Keterangan:

λ_i = laju kegagalan (kali/tahun)

U_i = lama pemadaman/durasi (jam/tahun)

N_i = jumlah pelanggan padam

N = jumlah total pelanggan

Menurut IEEE std 1366 – 2003 standar nilai SAIFI $\leq 1,26$ kali/pelanggan/tahun dan SAIDI $\leq 1,9$ jam/pelanggan/tahun [19]. SPLN 59:1985 menetapkan standar nilai SAIFI $\leq 1,2$ kali/pelanggan/tahun dan SAIDI $\leq 0,83$ jam/pelanggan/tahun. Sedangkan berdasarkan standar *World Class Service* (WCC) dan *World Class Company* (WCS) ditetapkan nilai SAIFI ≤ 3 kali/pelanggan/tahun dan nilai SAIDI $\leq 1,67$ jam/pelanggan/ tahun [20].

Gangguan permanen maupun sementara yang menyebabkan pemadaman akan menimbulkan energi yang tidak tersalurkan/*Energy Not Supplied* (ENS) sehingga mengakibatkan kerugian PT. PLN (Persero). ENS juga merupakan indeks keandalan yang berkaitan dengan jumlah energi yang hilang selama pemadaman Sebelum mendapatkan ENS, temukan daya yang hilang terlebih dahulu menggunakan Persamaan 3.

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \theta \quad (3)$$

lalu hitung energi yang hilang menggunakan Persamaan 4.

$$ENS = P \cdot t \quad (4)$$

Keterangan:

P = daya yang hilang akibat pemadaman (MW)

V = tegangan sistem (V)

I = arus beban sebelum pemadaman (A)

$\cos \theta$ = faktor daya

t = lamanya pemadaman (jam)

Kerugian biaya yang ditanggung PLN akibat ENS dapat dihitung menggunakan Persamaan 5 sebagai berikut.

$$\text{Total kerugian} = ENS \times \text{biaya per kWh} \quad (5)$$

Manuver jaringan yaitu aktifitas perubahan kondisi normal suatu jaringan. Kegiatan ini dilakukan karena gangguan atau kegiatan pemeliharaan yang mengakibatkan pemadaman [21]. Manuver dapat dilakukan dengan melimpahkan sebagian beban pada penyulang yang mengalami gangguan ke penyulang terdekat yang tidak mengalami gangguan. Diharapkan kegiatan ini mampu mengisolir daerah gangguan sehingga suplai listrik berjalan dengan baik ke seksi yang tidak terdampak. Manuver dikategorikan aman apabila nilai arus pelimpahan ke penyulang terdekat tidak melebihi setting pengaman dan KHA pada jaringan tersebut. Untuk mengetahui jumlah arus yang akan dilimpahkan ke penyulang lain, perlu menghitung nilai beban per seksi menggunakan rumus *demand factor* (DF) di Persamaan 6. Dalam rangka menghindari beban lebih pada penyulang lain ketika manuver maka, pada rumus ini digunakan data arus tertinggi pada suatu penyulang. Dari data DF atau faktor pembebanan pada Penyulang Tlogosari, Penyulang Tamanan, Penyulang Kharisma dan Penyulang Syukur maka dapat dihitung total arus terpakai pada keempat penyulang tersebut dimana dapat digunakan sebagai acuan manuver.

$$DF = \frac{\text{arus tertinggi} \times 20 \text{ kV} \times \sqrt{3}}{\text{Total kapasitas terpasang}} \quad (6)$$

Selain manuver untuk memperbaiki keandalan, juga dapat dilakukan penataan ulang atau penambahan pengaman berupa *CO (Cut Off) Branch* berdasarkan data gangguan guna melokalisasi titik gangguan untuk mengurangi transformator yang padam. Penambahan *CO Branch* harus mengetahui arus yang mengalir pada jaringan untuk menentukan rating arus *CO Branch*. Rating *fuse link* *CO Branch* dapat dihitung menggunakan Persamaan 7.

$$I_{fuse} = 1,02 \times \frac{S}{\sqrt{3} \times V} \quad (7)$$

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Analisis SAIDI, SAIFI, dan ENS Kondisi Awal

Berdasarkan data di Tabel 2.1 serta menggunakan Persamaan 1 untuk menghitung nilai SAIFI dan Persamaan 2 untuk menghitung nilai SAIDI, hasil SAIFI dan SAIDI di kondisi awal dapat dilihat pada Tabel 3.1. Dari Tabel 3.1 dapat dilihat bahwa nilai SAIDI dan SAIFI masih tidak sesuai atau lebih besar dari nilai standar sehingga perlu diadakan perbaikan pada Penyulang Tlogosari. Pada penelitian ini, alternatif perbaikan yang ditawarkan adalah dengan manuver jaringan ke penyulang terdekat.

TABEL 3.1 HASIL PERHITUNGAN SAIDI DAN SAIFI PADA KONDISI AWAL SERTA PEBANDINGAN DENGAN NILAI STANDAR

	Hasil Perhitungan	Standar			Keterangan
		Standar SPLN 59 : 1985	IEEE P1366-2003	WCC dan WCS	
SAIDI	5,5 Jam/Pelanggan/Tahun	0,83 Jam/Pelanggan/Tahun	1,9 Jam/Pelanggan/Tahun	1,67 Jam/Pelanggan/Tahun	Tidak Sesuai/Melebihi Standar
SAIFI	8 Kali/Pelanggan/Tahun	1,2 Kali/Pelanggan/Tahun	1,26 Kali/Pelanggan/Tahun	3 Kali/Pelanggan/Tahun	Tidak Sesuai/Melebihi Standar

ENS dihitung setiap kali terjadi gangguan kemudian hasil setiap gangguan ditotal. Menurut data pada Tabel 2.1 terjadi dua puluh kali gangguan. Hasil perhitungan ENS dengan menggunakan Persamaan 4 dapat dilihat di Tabel 3.2.

TABEL 3.2 HASIL PERHITUNGAN ENS KONDISI AWAL

No.	Section/Seksi	Letak Gangguan	Beban Sebelum Padam (A)	Lama Padam (Jam)	Jumlah Pelanggan Padam	Daya Hilang (kW)	Energi Hilang (kwh)
1.	6	CO Branch Sumber Balen	44	1,11	1097	1295,57	1438
2.	6	LF373	49	1,08	1097	1442,8	1558
3.	1	Belum ditemukan	90	0,033333	27170	2650	88
4.	1	Belum ditemukan	60	0,016667	27170	1766,69	29
5.	2	Jamperan LBS putus phasa R (LF464)	67	1,49	25119	1972,8	2939
6.	4	LF222	78	0,666667	1656	2296,7	1531
7.	4	CO Branch Pujer	69	0,333333	1656	2031,7	677
8.	6	LF170	107	0,033333	9435	3150,6	105
9.	4	LF478	60	0,8	20760	1766,69	1413
10.	6	LF169	61	0,016667	9435	1796,14	30
11.	6	LF131	55	0,316667	9435	1619,47	513
12.	6	CO Branch Sumber Balen	78	0,833333	1097	2296,7	1914
13.	4	LF226	88	0,166667	3284	2591,15	432
14.	4	LF322	66	0,016667	1024	1943,36	32
15.	4	LF322	61	0,85	1024	1796,14	1527
16.	2	LF404	64	1,24	25119	1884,47	2337
17.	4	LF278	62	0,65	20760	1825,58	1187
18.	6	LF169	46	0,7	9435	1354,46	948
19.	4	LF478	82	1,49	20760	2414,48	3598
20.	4	LF322	66	0,016667	1024	1943,36	32
Total						39838,86	22328

Dengan mengacu ke Tabel 3.2 apabila biaya per kWh sebesar Rp 1.444,70 maka kerugian PT. PLN akibat ENS dapat dihitung

dengan menggunakan Persamaan 5 yaitu sebesar Rp 32.257.261,6.

3.2 Analisis Manuver Jaringan

Pada penyulang Tlogosari jika dilakukan manuver jaringan maka arus beban dapat dilimpahkan ke penyulang terdekat yaitu Penyulang Tamanan, Penyulang Kharisma, dan Penyulang Syukur. Arus beban maksimal yang dapat dilimpahkan ke ketiga penyulang tersebut dapat dilihat di Tabel 3.3. Sedangkan KHA penghantar di ketiga penyulang bernilai 365 A. Manuver dikatakan aman jika arus pelimpahan tidak melebihi kedua nilai tersebut.

TABEL 3.3 ARUS PELIMPAHAN MAKSIMAL DI SETIAP PENYULANG

Nama Penyulang	Arus Setting Pengaman	Arus Terpakai	Arus Pelimpahan Maksimal
Tamanan	400 A	112 A	288 A
Kharisma	400 A	100,45 A	299,55
Syukur	400 A	102,57 A	297,43

Opsi manuver pertama yaitu manuver ke Penyulang Tamanan. Berdasarkan di Tabel 2.1 gangguan terjadi di seksi 1, 2, 4, 6. Rekapitulasi arus dapat dilihat di Tabel 3.4 jika dilakukan manuver ke Penyulang Tamanan.

TABEL 3.4 SKENARIO DAN REKAPITULASI ARUS APABILA TERJADI MANUVER KE PENYULANG TAMANAN

Lokasi Gangguan	Skenario	Sisa Pembebanan di Penyulang Tlogosari	Arus Pelimpahan ke Penyulang Tamanan	Total Pembebanan di Penyulang Tamanan
Seksi 1	1) Mengisolir daerah gangguan dengan melepas atau memutus sambungan pada LBS Warung (NC/Normally Closed) dan Recloser Lojajar (NC) 2) Suplai seksi 2,3,4,5,6 dengan memasukkan sambungan pada LBSM Mengok (NO/ Normally Open)	0 A	102,82 A	214,82 A
Seksi 2	1) Mengisolir daerah gangguan dengan melepas atau memutus sambungan pada Recloser Lojajar (NC) dan LBS Koramil (NC) 2) Seksi 1 disuplai dari GI Bondowoso 3) Suplai seksi 3,4,5,6 dengan memasukkan sambungan pada LBSM Mengok (NO)	10,88 A	92,15 A	204,15 A
Seksi 4	1) Mengisolir daerah gangguan dengan melepas atau memutus sambungan pada LBS Pujer (NC) dan Recloser PTP (NC) 2) Seksi 1,2,3 disuplai dari GI Bondowoso 3) Suplai section 5,6 dengan cara memasukkan sambungan pada LBSM Pecalongan (NO)	30 A	49,54 A	152,11 A

Berdasarkan Tabel 3.4 dapat dikatakan bahwa semua skenario dinyatakan aman karena total arus yang dilimpahkan ke Penyulang Tamanan tidak melebihi setting pengaman senilai 400 A dan KHA kabel bernilai 365 A. Opsi manuver kedua yaitu manuver ke Penyulang Kharisma. Rekapitulasi arus dapat dilihat di Tabel 3.5

putus hanya di LF226 sampai ujung dan tidak menyebar sehingga tidak memutuskan CO Branch Maskuning Kulon dan CO Branch Sukodono. Penambahan CO Branch juga ada di seksi 4 LF322 dengan harapan jika terjadi gangguan tidak ikut memutuskan CO Branch Sukodono. Dengan penambahan beberapa CO Branch tersebut dapat menyelamatkan seksi selanjutnya agar tidak padam. Rating arus CO Branch dihitung menggunakan Persamaan 7 dan hasil perhitungan ditampilkan di Tabel 3.8.

TABEL 3.8 RATING ARUS CO BRANCH TAMBAHAN

Seksi	Lokasi Penambahan Co Branch	Rating Arus (I _{fuse})
1	Penambahan di LF514	8,64 A
4	Penambahan Co Branch di LF222	1,7316 A
4	Penambahan Co Branch di LF226	15,936 A
4	Penambahan Co Branch di LF322	1,7316 A

Setelah penataan dan penambahan CO Branch dihitung kembali SAIDI dan SAIFI. Hasil SAIDI dan SAIFI setelah penataan dan penambahan CO Branch dapat dilihat di Tabel 3.9.

TABEL 3.9 HASIL PERHITUNGAN SAIDI DAN SAIFI SETELAH PENAMBAHAN CO BRANCH

	Hasil Perhitungan	Standar			Keterangan
		Standar SPLN 59 : 1985	IEEE P1366-2003	WCC dan WCS	
SAIDI	1,8 Jam/Pelanggan/Tahun	0,83 Jam/Pelanggan/Tahun	1,9 Jam/Pelanggan/Tahun	1,67 Jam/Pelanggan/Tahun	Tidak Sesuai/Mel ebih Standar
SAIFI	2,9 Kali/Pelanggan/Tahun	1,2 Kali/Pelanggan/Tahun	1,26 Kali/Pelanggan/Tahun	3 Kali/Pelanggan/Tahun	Tidak Sesuai/Mel ebih Standar

Berdasarkan data Tabel 3.9 nilai SAIDI dan SAIFI setelah penambahan CO Branch masih belum sesuai dengan standar yang ada namun nilai SAIDI telah mengalami peningkatan dari 1,9 Jam/Pelanggan/Tahun ke 1,8 Jam/Pelanggan/Tahun begitu pula nilai SAIFI meningkat dari 2,9 Kali/Pelanggan/Tahun ke 1,2 Kali/Pelanggan/ Tahun jika dibandingkan setelah dilakukan manuver.

3.4 Perhitungan ENS Setelah Manuver dan Penambahan CO Branch

Setelah dilakukan manuver dan penambahan CO Branch pemadaman transformator semakin sedikit karena sudah diminimalisir. Apabila pemadaman pada transformator semakin sedikit maka energi yang tidak tersalurkan juga semakin sedikit dan keandalan di Penyulang Tlogosari semakin membaik. Perhitungan ENS setelah manuver dan penambahan CO Branch dihitung menggunakan Persamaan 4 dan hasilnya di Tabel 3.10.

TABEL 3.10 HASIL PERHITUNGAN ENS SETELAH MANUVER DAN PENAMBAHAN CO BRANCH

No.	Section/Seksi	Letak Gangguan	Beban Sebelum Padam (A)	Lama Padam (Jam)	Jumlah Pelanggan Padam	Daya Hilang (kW)	Energi Hilang (kwh)
1.	6	CO Branch Sumber Balen	1,11	1097	335	1,11	316,0725
2.	6	LF373	1,08	1097	335	1,08	307,53
3.	1	Belum ditemukan	0,033333	1695	785	0,033333	22,24144
4.	1	Belum ditemukan	0,016667	1695	785	0,016667	11,12106
5.	2	Jamperan	1,49	3290	770	1,49	975,205

No.	Section/Seksi	Letak Gangguan	Beban Sebelum Padam (A)	Lama Padam (Jam)	Jumlah Pelanggan Padam	Daya Hilang (kW)	Energi Hilang (kwh)
		LBS putus phasa R (LF464)					
6.	4	LF222	0,666667	327	50	0,666667	28,33335
7.	4	CO Branch Pujer	0,333333	1656	550	0,333333	155,8332
8.	6	LF170	0,033333	9435	2565	0,033333	72,67427
9.	4	LF478	0,8	8548	2465	0,8	1676,2
10.	6	LF169	0,016667	9435	2565	0,016667	36,33823
11.	6	LF131	0,316667	9435	2565	0,316667	690,4132
12.	6	CO Branch Sumber Balen	0,833333	1097	335	0,833333	237,2916
13.	4	LF226	1,11	1097	335	391	65,1668
14.	4	LF322	1,08	1097	335	42,5	0,708348
15.	4	LF322	0,033333	1695	785	42,5	36,125
16.	2	LF404	0,016667	1695	785	654,5	811,58
17.	4	LF278	1,49	3290	770	2095,25	1361,913
18.	6	LF169	0,666667	327	50	2180,25	1526,175
19.	4	LF478	0,333333	1656	550	2095,25	3121,923
20.	4	LF322	0,033333	9435	2565	42,5	0,708348

Dari Tabel 3.10 diperoleh total ENS adalah 11.454 kWh sedangkan ENS kondisi awal adalah 22.328 kWh sehingga nilai ENS juga semakin berkurang. Apabila biaya per kWh sebesar Rp 1.444,70 maka kerugian PT. PLN akibat ENS setelah perbaikan dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 5 yaitu sebesar Rp 16.547.593,8. Kerugian yang dialami PT PLN juga semakin sedikit dengan selisih sebesar Rp 15.709.667,8.

4. Kesimpulan

Setelah dilakukan manuver jaringan ke penyulang terdekat yaitu penyulang Tamanan, penyulang Kharisma, dan penyulang Syukur diperoleh peningkatan keandalan yaitu nilai SAIDI menjadi 1,9 Jam/Pelanggan/Tahun dan nilai SAIFI menjadi 3,2 Kali/Pelanggan/ Tahun. Apabila dilakukan manuver jaringan dan penambahan CO Branch di sub jaringan, maka diperoleh nilai SAIDI, SAIFI dan ENS yang lebih baik lagi yaitu SAIDI sebesar 1,8 jam/pelanggan/tahun, SAIFI sebesar 2,9 kali/pelanggan/tahun, dan ENS sebesar 11.454 kWh dengan total kerugian menurun menjadi Rp. 16.547.593,8.

Daftar Pustaka

- [1] H. Mukti, Sukamdi and A. & W. E. Thufail, "Studi Penyulang Kandungan Untuk Meningkatkan Kontinuitas Suplai Energi Listrik Ke Pelanggan," *ELPOSYS: Jurnal Sistem Kelistrikan*, vol. 8, no. 3, pp. 114-119, 2021.
- [2] M. RAIS and R. AMINUDDIN, "ANALISIS DAMPAK MASUKNYA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU SIDRAP 70 MW TERKAIT KUALITAS ENERGI LISTRIK SISTEM SULSELBAR DAN KONTINUITAS PELAYANAN PADA KONDISI TEGANGAN DIP DENGAN PEMODELAN SIMULASI KOMPUTER," *Jurnal INSTEK*, vol. 5, no. 1, pp. 1-10, 2020.
- [3] A. Senen, T. Ratnasari and D. Anggaini, "Studi Perhitungan Indeks Keandalan Sistem Tenaga Listrik Menggunakan Graphical User Interface Matlab pada PT PLN (Persero) Rayon Kota Pinang," *Energi & Kelistrikan*,

- vol. 11, no. 2, pp. 138-148, 2019.
- [4] D. Dasman and H. Handayani, "Evaluasi Keandalan Sistem Distribusi 20 kV Menggunakan Metode SAIDI dan SAIFI di PT. PLN (Persero) Rayon Lubuk Alung Tahun 2015," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 6, no. 2, pp. 170-179, 2017.
- [5] A. Gumilang, R. Wibowo and I. Negara, "Penilaian Keandalan Sistem Tenaga Listrik Jawa Bagian Timur dan Bali Menggunakan Formula Analitis Deduksi dan Sensitivitas Analitis dari Expected Energy Not Served," *JURNAL TEKNIK ITS*, vol. 7, no. 1, pp. B1-B5, 2018.
- [6] A. Fatoni, Wibowo, R.S. and A. Soeprijanto, "Fatoni, A. (2016). Analisa Keandalan Sistem Distribusi 20 kV Di PT. PLN Rayon Lumajang Dengan Metode FMEA (Failure Modes And Effects Analysis)," *JURNAL TEKNIK ITS*, vol. 5, no. 2, pp. B462-B467, 2016.
- [7] F. Funan and W. Utama, "Evaluasi Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik Berdasarkan Indeks Keandalan SAIDI dan SAIFI pada PT PLN (PERSERO) Rayon Kefamenanu," *Jurnal Ilmiah Telsinas Elektro, Sipil dan Teknik Informasi*, vol. 3, no. 2, pp. 32-36, 2020.
- [8] D. Wahyudi, "Evaluasi Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik Berdasarkan SAIDI Dan SAIFI Pada PT. PLN (Persero) Rayon Kakap," *Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura*, vol. 1, no. 1, pp. 30-35, 2017.
- [9] N. Nurdiana, "Studi Keandalan Sistem Distribusi 20 kV Gardu Induk Talang Ratu Palembang," *Jurnal Ampere*, vol. 2, no. 1, pp. 23-30, 2017.
- [10] N. Arifani and H. Winarno, "ANALISIS NILAI INDEKS KEANDALAN SISTEM JARINGAN DISTRIBUSI UDARA 20 KV PADA PENYULANG PANDEAN LAMPER 1,5,8,9,10 DI GI PANDEAN LAMPER," *Gema Teknologi*, vol. 17, no. 3, pp. 131-134, 2015.
- [11] I. N. Sunaya, I. G. S. Widharma and M. Sajayasa, "Analisis Posisi Recloser Terhadap Keandalan Kinerja Penyulang Sempidi Berbasis Software ETAP Powerstation," *Logic: Jurnal Rancang Bangun dan Teknologi*, vol. 17, no. 3, pp. 136-141, 2017.
- [12] M. Fahrulrozi, H. Suyono and A. & Lomi, "Peningkatan Keandalan Sistem Distribusi dengan Relokasi Penempatan Fuse-Recloser Optimal karena Injeksi Pembangkit Tersebar," *Jurnal EECCIS*, vol. 13, no. 2, pp. 78-83, 2019.
- [13] D. Paillin and G. Pradipta, "PENGARUH PENGGUNAAN SISTEM SCADA PADA KEANDALAN JARINGAN DISTRIBUSI PT. PLN AREA MASOHI," *ARIKA*, vol. 12, no. 1, pp. 41-52, 2018.
- [14] K. Julianto, D. W. Nugraha and A. E. Dodu, "Evaluasi Penggunaan Scada Pada Keandalan Sistem Distribusi PT. PLN (Persero) Area Palu," *Mektrik*, vol. 1, no. 1, pp. 1-10, 2014.
- [15] A. Muhtar and S. Baqaruzi, "Perbaikan Keandalan Sistem Distribusi," *E-JOINT (Electronica and Electrical Journal Of Innovation Technology)*, vol. 1, no. 1, pp. 27-30, 2020.
- [16] E. Rizki, "Simulasi Modifikasi Konfigurasi Jaringan Spindel Menjadi Loop Tertutup Untuk Meningkatkan Keandalan Sistem Distribusi Menggunakan Software ETAP," *Energi dan Kelistrikan: Jurnal Ilmiah*, vol. 13, no. 1, pp. 33-39, 2021.
- [17] S. Uliyani and H. Suyono, "ANALISIS PERBANDINGAN RELOKASI SECTIONALIZER PADA PENYULANG PUJON UNTUK MENINGKATKAN KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI MENGGUNAKAN ANT COLONY OPTIMIZATION DAN SIMULATED ANNEALING METHOD," *Jurnal Mahasiswa TEUB*, vol. 6, no. 3, 2018.
- [18] I. Hajar and M. H. Pratama, "Analisa Nilai SAIDI SAIFI sebagai indeks keandalan penyediaan tenaga listrik pada penyulang Cahaya PT. PLN (Persero) area Ciputat," *Energi dan Kelistrikan*, vol. 10, no. 1, pp. 70-77, 2018.
- [19] B. A. Sasongko, K. Karnoto and D. Darjat, "ANALISIS PENAMBAHAN RECLOSER PADA LOKASI YANG TEPAT GUNA MEMINIMALKAN NILAI SAIDI DAN SAIFI PENYULANG FORD BARU PT. PLN (PERSERO) UP3 PALEMBANG," *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 10, no. 4, pp. 620-625, 2022.
- [20] M. Imran, "Analisa Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik Untuk Wilayah Kota Lhokseumawe di PT. PLN (Persero) Rayon Kota Lhokseumawe," *Jurnal Energi Elektrik*, vol. 8, no. 1, pp. 42-47, 2019.
- [21] N. Hidayah, S. Supriyatna and A. Muljono, "ANALISIS MANUVER JARINGAN TERHADAP KEANDALAN KONTINUITAS PENYALURAN TENAGA LISTRIK PENYULANG DI AREA AMPENAN," *DIELEKTRIKA*, vol. 1, no. 2, pp. 109 - 115, 2017.
- [22] C. Rahmadhani and E. Ervianto, "Studi Perancangan Sistem Pembumian Gardu Induk 150/20 KV di Gardu Induk Garuda Sakti," *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Riau*, vol. 4, no. 1, pp. 1-6, 2017.
- [23] D. Dewi, A. Yuliyanto, T. Taryo, Susyadi, M. Birmano, R. Rijanti, Rustama and Mudjiono, "POTENSI DAN KEMAMPUAN INDUSTRI ELEKTRIKAL UNTUK MENDUKUNG PROGRAM PLTN DI INDONESIA," in *Seminar Nasional Infrastruktur Energi Nuklir*, Pontianak, 2019.
- [24] I. Roza, "Analisis Tegangan Jatuh Lokasi Penempatan Trafo Distribusi 20 kV Untuk Penyaluran Energi," *JESCE (JOURNAL OF ELECTRICAL AND SYSTEM CONTROL ENGINEERING)*, vol. 1, no. 12, pp. 72-82, 2018.
- [25] A. Tanjung, "Rekonfigurasi sistem distribusi 20 kv gardu induk teluk lembu dan PLTMG langgam power untuk mengurangi rugi daya dan drop tegangan," *SITEKIN: Jurnal Sains, Teknologi dan Industri*, pp. 160-166, 2014.
- [26] W. Kusuma, R. Joto, and M. Mieftah, "Analisis Keandalan Sistem Distribusi 20kV Pada Penyulang Pujon PT. PLN (PERSERO) ULP Batu," *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan*, vol. 9, no. 3, pp. 188-193, Dec. 2022
- [27] Sukamdi, A. Setiawan, and H. Sungkowo, "Analisis Manuver Penyulang Selecta untuk Menjaga Nilai Keandalan Sistem Distribusi di PT. PLN (Persero) ULP Batu," *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan*, vol. 9, no. 3, pp. 161-166, 2022,