

Peningkatan Keandalan Berbasis Nilai *Energy Not Supplied* (ENS) Pada Penyulang Banyu Biru

Slamet Nurhadi^{*a)}, Mochammad Mieftah^{a)}, Heri Sungkowo^{a)}, Sukamdi^{a)}

(Received 06 Mei 2024 || Revised 30 Mei 2024 || Accepted 06 Juni 2024)

Abstract: The reliability of the Banyu Biru feeder at PT. PLN (Persero) ULP Gondang Wetan is critical due to frequent disturbances causing significant energy losses and impacting SAIDI and SAIFI metrics. This study aims to enhance reliability by reducing ENS (Energy Not Served) values through strategic solutions. Data from March to August 2022 revealed 27 disturbances, comprising 6 permanent and 21 temporary interruptions. Initial calculations showed an ENS value of 20,509.84 kWh, a SAIDI of 0.24 hours/customer, and a SAIFI of 0.64 times/customer. The study proposed two scenarios: relocating the LBSM and adding 5 FCOs, and additionally installing a recloser in the second scenario. Post-implementation, ENS values decreased to 7,489.31 kWh, with SAIDI and SAIFI values improving to 0.08 hours/customer and 0.13 times/customer, respectively. These results highlight significant reductions in energy losses and improvements in network reliability, aligning with SPLN 68-2: 1986 standards. This research provides actionable insights for PT. PLN to enhance distribution network reliability and customer satisfaction.

Keywords: Reliability, ENS, SAIDI, SAIFI, Distribution Network, Feeder, Energy Not Serve

1. Pendahuluan

Energi listrik merupakan salah satu energi yang sangat diperlukan oleh semua golongan masyarakat untuk menunjang aktivitas sehari-hari. Seiring perkembangan zaman dengan era globalisasi, perkembangan teknologi dan industri-industri besar yang menggunakan energi listrik pun semakin menjamur sehingga kebutuhan listrik setiap tahun terus meningkat [1]. Keandalan sistem tenaga jaringan 20 kV sangat penting dalam proses penyaluran energi listrik. Semakin bertambahnya jumlah pelanggan maka kebutuhan listrik akan meningkat sehingga perlu keandalan sistem yang cukup tinggi [2]. Keandalan sistem tenaga listrik merupakan tolak ukur unjuk kerja dari suatu sistem pembangkit sekaligus sebagai tingkat jaminan pasokan energi listrik [3], [4]. Tingkat keandalan dari sistem distribusi diukur dari sejauh mana penyaluran tenaga listrik dapat berlangsung secara kontinu kepada para pelanggan tanpa perlu terjadi pemadaman atau gangguan [5], [6]. Sebagian besar gangguan pada saluran udara tegangan menengah tidak disebabkan oleh petir melainkan oleh sentuhan pohon, apalagi saluran udara tegangan menengah banyak berada di dalam kota yang memiliki bangunan tinggi dan pohon-pohon yang lebih tinggi dari tiang saluran udara tegangan menengah [7], [8]. Gangguan karena faktor manusia, yaitu gangguan yang disebabkan oleh kecerobohan atau kelalaian operator, ketidaktelitian, tidak mematuhi peraturan pengamanan diri, dan lain-lain [9]. Untuk mengurangi laju kegagalan suatu peralatan sistem distribusi, langkah-langkah preventif seperti melakukan pemeliharaan secara berkala terhadap peralatan distribusi tenaga listrik perlu dilakukan agar kontinuitas pasokan listrik dapat dirasakan dengan baik oleh pelanggan [10].

Permasalahan yang sering terjadi di sistem distribusi tenaga listrik yaitu terjadinya gangguan yang menyebabkan pemadaman. Pada PT. PLN (Persero) ULP Gondang Wetan terdapat 6 buah penyulang yakni Penyulang Banyu Biru, Penyulang Kurung-Kurung, Penyulang Pacar Keling, Penyulang Patebon, Penyulang Penanjakan, Penyulang Wonorejo. Penyulang Banyu Biru merupakan penyulang paling banyak terjadi gangguan. Berdasarkan data jumlah gangguan tercatat adanya 27 gangguan dalam kurun waktu enam bulan, yang terdiri dari 6 gangguan permanen dan 21 gangguan sementara di Penyulang Banyu Biru dalam selang waktu 6 bulan yakni pada Bulan Maret 2022 – Agustus 2022. Hal ini menyebabkan terganggunya distribusi daya

karena terputusnya pasokan listrik ke konsumen. Gangguan ini tidak hanya mengganggu kontinuitas pasokan listrik, tetapi juga meningkatkan nilai ENS (*Energy Not Served*), yang berakibat pada kerugian ekonomi bagi PT. PLN. Akibat gangguan tersebut, nilai ENS Penyulang Banyu Biru sebesar 20.509,84 kWh sehingga penyulang ini menyumbang angka ENS terbesar di antara penyulang lainnya bagi ULP Gondang Wetan. Selain itu, tingginya nilai SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*) atau Angka Lama Pada dan SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*) atau Angka Sering Padam menunjukkan bahwa frekuensi dan durasi pemadaman listrik masih berada pada tingkat yang mengkhawatirkan [11], [12]. Oleh karena itu, diperlukan upaya untuk menurunkan nilai ENS serta meningkatkan keandalan sistem distribusi listrik di Penyulang Banyu Biru.

Penelitian mengenai keandalan sistem distribusi listrik telah banyak dilakukan oleh para ahli dalam dekade terakhir. Sari et al. mengembangkan model probabilistik khusus untuk menganalisis kemungkinan terjadinya gangguan pada tahun berikutnya. Dari hasil penelitian ini diperoleh fokus peningkatan keandalan pada penyulang tertentu [13]. Pakaya et al. menerapkan teknik optimisasi penempatan *recloser* menggunakan algoritma *differential evolution* (DE) untuk memperbaiki indeks keandalan sistem distribusi. Hasilnya, keandalan sistem distribusi yang dioptimasi dengan algoritma DE lebih baik dibandingkan dengan sistem tanpa optimasi [14]. Rosyid et al melakukan empat skenario percobaan injeksi *distributed generation* melalui simulasi Analisis Indeks Reliabilitas. Dengan menambah 1 produksi distribusi pada Bus 6 yang berkapasitas 2,7039~3 MVA, hasilnya paling baik. Ini disebabkan oleh SAIFI sebesar 0,73 kali per tahun dan SAIDI 36,48 jam per tahun [15]. Ge et al. mengevaluasi keandalan jaringan distribusi melalui pendekatan simulasi Monte Carlo [16]. Singh dan Burhandono et al menggunakan analisis FMEA untuk mengidentifikasi dan mengurangi risiko gangguan pada sistem distribusi listrik [17].

Meskipun berbagai penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan keandalan sistem distribusi listrik, terdapat beberapa celah yang masih perlu diisi. Kebanyakan penelitian terdahulu fokus pada metode analisis keandalan tanpa memberikan solusi praktis yang terukur untuk pengurangan nilai ENS dan peningkatan nilai SAIDI dan SAIFI secara bersamaan. Selain itu, belum banyak penelitian yang memfokuskan pada implementasi solusi dalam konteks spesifik seperti yang dihadapi oleh Penyulang Banyu Biru,

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

a) Prodi Teknik Listrik, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Kota Malang, Indonesia

PT. PLN ULP Gondang Wetan. Penelitian ini bertujuan untuk mengisi celah tersebut dengan menawarkan solusi yang terukur dan dapat diimplementasikan secara langsung untuk meningkatkan keandalan sistem distribusi listrik.

Untuk mengisi celah yang ada, penelitian ini mengusulkan dua skenario solusi yang inovatif dan praktis. Skenario pertama melibatkan pemindahan LBSM (Load Break Switch Motorized) dan penambahan lima FCO (Fuse Cut Out) pada percabangan yang tidak memiliki proteksi. Skenario kedua menambahkan recloser pada section 4 selain pemindahan LBSM dan penambahan FCO. Kedua skenario ini dirancang untuk mengurangi nilai ENS secara signifikan serta meningkatkan nilai SAIDI dan SAIFI. Pendekatan ini tidak hanya mengandalkan analisis teoritis tetapi juga implementasi praktis yang dapat diuji dan diukur hasilnya.

Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan keandalan sistem distribusi listrik pada Penyulang Banyu Biru PT. PLN (Persero) ULP Gondang Wetan dengan mengurangi nilai ENS dan memperbaiki nilai SAIDI dan SAIFI. Melalui penerapan skenario solusi yang diusulkan, diharapkan dapat mengurangi frekuensi dan durasi pemadaman listrik, serta meningkatkan efisiensi operasional jaringan distribusi listrik. Hasil penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi signifikan dalam upaya peningkatan keandalan sistem distribusi listrik dan dapat dijadikan referensi bagi implementasi serupa di wilayah lain.

2. Metode

2.1 ENS (*Energy Not Supplied*)

ENS adalah indeks keandalan yang menyatakan jumlah energi yang tidak dapat disalurkan oleh sistem kepada pelanggan selama periode satu tahun [18], [19], [20]. Dapat juga didefinisikan sebagai penjumlahan energi yang hilang akibat adanya gangguan terhadap pasokan daya selama periode satu tahun. Perhitungan ENS menggunakan Persamaan (2-1).

$$ENS = \sum \text{Gangguan (kW)} \times \text{Durasi (h)} \quad (2-1)$$

Analisis terhadap energi listrik terselamatkan dari sisi PLN dilakukan berdasarkan besar indeks ENS dan tarif dasar penjualan energi [21].

2.2 SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*)

SAIFI merupakan nilai indeks rata-rata frekuensi gangguan pada sistem. SAIFI adalah rata-rata jumlah interupsi atau gangguan yang berkelanjutan per konsumen sepanjang tahun. Ini adalah rasio jumlah interupsi atau gangguan tahunan terhadap jumlah konsumen [22].

$$SAIFI = \frac{\text{Jumlah padam} \times \text{Pelanggan padam}}{\text{Jumlah total pelanggan}} \text{ kali/plg/tahun} \quad (2-2)$$

2.3 SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*)

SAIDI merupakan nilai indeks rata-rata durasi atau lamanya gangguan pada sistem. SAIDI adalah durasi rata-rata interupsi atau gangguan per konsumen sepanjang tahun. Ini adalah rasio durasi gangguan tahunan (berkelanjutan) terhadap jumlah konsumen. Jika durasi ditentukan dalam hitungan menit, SAIDI dinyatakan dalam menit gangguan yang dirasakan konsumen [23].

$$SAIDI = \frac{\text{Durasi padam} \times \text{Pelanggan padam}}{\text{Jumlah total pelanggan}} \text{ jam/plg/tahun} \quad (2-3)$$

2.4 Skenario Peningkatan Keandalan Penyulang

Perumusan skenario ini melalui beberapa tahap sebagai berikut.

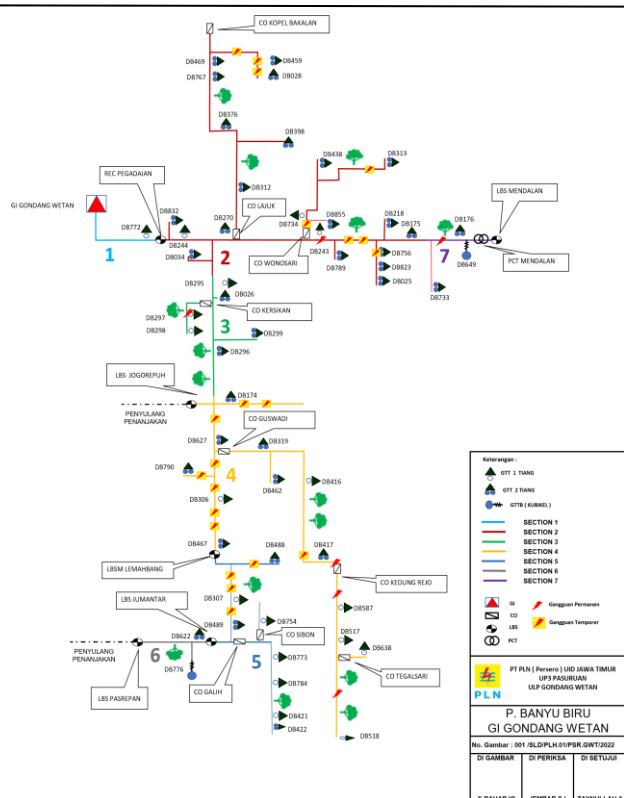
1. Identifikasi data yang dibutuhkan, yaitu: data gangguan

penyulang Banyu Biru, nilai ENS Penyulang Banyu Biru, diagram satu garis Penyulang Banyu Biru dan data Gardu Trafo Penyulang Banyu Biru.

2. Identifikasi Reliability Penyulang Banyu Biru pada kondisi sebelum solusi.
3. Identifikasi gangguan dan titik gangguan pada Penyulang Banyu Biru selama jangka waktu 6 bulan.
4. Identifikasi letak penambahan pengaman dengan cara membuat 2 skenario rekomendasi solusi yakni pada skenario 1 adalah pemindahan *Load Break Switch Motorized* (LBSM) pada section 2 dan penambahan 5 *Fuse Cut Out* (FCO) baru. Sedangkan pada skenario 2 adalah pemindahan LBSM pada section 2, penambahan *recloser* pada section 4 dan penambahan 5 FCO baru.
5. Perhitungan nilai ENS saat gangguan terjadi sebelum dan sesudah diterapkan skenario yang telah direncanakan.
6. Perhitungan nilai SAIDI dan SAIFI selama 6 bulan saat gangguan terjadi sebelum dan sesudah diterapkan skenario yang telah direncanakan.
7. Perhitungan biaya komponen pengaman jaringan yang diperlukan pada setiap solusi yang sudah direncanakan.
8. Analisis hasil perhitungan nilai ENS, SAIDI, dan SAIFI berdasarkan skenario yang telah direncanakan.
9. Analisis biaya yang dibutuhkan pada setiap solusi yang direncanakan.
10. Perbandingan nilai ENS, SAIDI, dan SAIFI saat gangguan terjadi ketika sebelum dan sesudah diterapkan skenario yang telah direncanakan dengan mengacu dengan standar yang ada.
11. Perbandingan biaya penerapan pada setiap solusi yang telah direncanakan.
12. Analisis hasil nilai ENS, SAIDI, dan SAIFI berdasarkan standar yang ada sekaligus memilih solusi berdasarkan segi keekonomisan.

2.5 Diagram Segaris Penyulang Banyu Biru

Gambar 2.1 menunjukkan diagram segaris Penyulang Banyu Biru beserta peta pohon dan titik gangguan. Gambar 2.1 dapat diketahui bahwa Penyulang Banyu Biru memiliki sistem proteksi dengan *Recloser* yang dipasang pada saluran utama pada section 1 di Gardu Induk Gondang Wetan. Pada section 2 terdapat 3 FCO, pada section 3 terdapat 1 FCO, pada section 4 terdapat 3 FCO, 1 LBS (*Load Break Switch*) dan 1 LBSM, pada section 5 terdapat 2 FCO, dan pada section 6 terdapat 2 LBS. Penyulang Banyu Biru memiliki 1 LBSM yaitu LBSM Lemahbang yang membatasi antara section 4 dengan section 5 dan 6. Berdasarkan letak geografisnya Penyulang Banyu Biru berada pada jalur yang sering dijumpai pepohonan yang rimbun yang dapat menyebabkan gangguan disebabkan oleh pohon. Masalah-masalah tersebut dapat menimbulkan gangguan temporer atau gangguan permanen karena kurangnya sistem proteksi pada setiap percabangan yang menyebabkan banyak kejadian daerah padam di penyulang Banyu Biru dan membuat nilai ENS semakin besar. Dari Gambar 2.1, diketahui bahwa kelemahan sistem terletak pada ketidaktersediaan proteksi FCO dan recloser pada beberapa cabang. Untuk mengurangi daerah padam, diperlukan perencanaan pemindahan dan penambahan pengaman jaringan. Tujuannya adalah mengurangi nilai ENS dan meningkatkan keandalan sistem Penyulang Banyu Biru.



GAMBAR 2.1 DIGRAM SEGARIS PENYULANG BANYU BIRU

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Evaluasi Gangguan Pada Penyulang Banyu Biru

Analisis titik gangguan diperoleh dari diagram segaris (Gambar 2.1) dan data gangguan Penyulang Banyu Biru ULP Gondang Wetan Pasuruan pada bulan Maret 2022 hingga Agustus 2022 yang ditampilkan di Tabel 3.1.

TABEL 3.1 REKAPITULASI GANGGUAN PENYULANG BANYU BIRU TAHUN 2022

Section	Jumlah Gangguan	
	Temporer	Permanen
1	0	0
2	8	1
3	0	1
4	9	3
5	4	0
6	0	0
7	0	1
Total Gangguan	21	6

Berdasarkan data Tabel 3.1, diketahui bahwa ada dua daerah yang sering terjadi gangguan. Daerah tersebut terletak pada section 2 dan section 4. Pada section 2 terdapat Sembilan gangguan yang terdiri dari satu gangguan temporer dan delapan gangguan permanen. Sedangkan pada section 4 terdapat dua belas gangguan yang terdiri dari sembilan gangguan temporer dan tiga gangguan permanen.

3.2 Skenario Rekomendasi Solusi

3.2.1 Skenario atau Solusi 1

Pada skenario ini dilakukan pemindahan LBS Motorized Lemahbang ke jaringan sebelum trafo DB243 di section 2 dan juga penambahan 5 unit FCO di setiap percabangan yang tidak memiliki

proteksi. Pada section 2 terdapat 2 unit proteksi, section 4 terdapat 2 unit proteksi, dan section 5 terdapat 1 unit proteksi. Tujuan pemindahan LBS Motorized Lemahbang adalah untuk mengurangi area padam ketika jaringan pada sebagian section 2 (trafo DB243, DB789, DB218, DB756, DB823, DB025, DB175) dan section 7 (DB176, DB733, DB649) mengalami gangguan permanen, temporer atau ketika pemeliharaan jaringan. Sedangkan tujuan FCO untuk memisahkan daerah padam di area percabangan saat terjadi gangguan.

Untuk mengetahui nilai ENS dapat dihitung dengan besar Daya Nyata (P) daerah yang padam dikali lama waktu padam. Dari data gangguan dapat diketahui bahwa LBS dan CO yang trip akibat gangguan adalah CO Lajuk, CO Wonosari, CO Kersikan, CO Guswandi, CO Kedung Rejo, CO Baru 1, CO Baru 2, CO Baru 3, CO Baru 4, CO Baru 5, LBSM Lemahbang.

Setelah pemindahan LBSM, dan Penambahan FCO akan menghasilkan nilai ENS yang selamat seperti pada Tabel 3.2.

TABEL 3.2 HASIL NILAI ENS REKOMENDASI SOLUSI PENAMBAHAN FCO, DAN PEMINDAHAN LBSM

Solusi	ENS Awal (kWh)	ENS Akhir (kWh)	ENS Selamat (kWh)
Solusi 1 (LBSM sec 2 dan FCO)	20.509,84	8.564,12	11.945,72

Tabel 3.2 menunjukkan efektivitas solusi yang diterapkan dalam mengurangi jumlah energi yang tidak disalurkan (ENS) pada sistem distribusi listrik, sehingga meningkatkan keandalan jaringan. ENS yang berhasil diselamatkan jika Solusi 1 diaplikasikan sebesar 11.945,72 kWh.

Berdasarkan hasil perhitungan jumlah energi yang tidak tersalurkan kepada pelanggan (ENS) selama 6 bulan tahun 2022, didapatkan biaya yang terselamatkan. Biaya tersebut sesuai dengan Tabel 3.3.

TABEL 3.3 PERHITUNGAN BIAYA YANG TERSELAMTKAN SETELAH PENAMBAHAN FCO DAN PEMINDAHAN LBSM

Solusi	ENS Awal	ENS Akhir	ENS Selamat	Harga	Biaya Yang Terselamatkan
Solusi 1 (LBSM sec 2 dan FCO)	20.509,8	8.564,1	11.945,7	Rp1.35	Rp16.150.61

Berdasarkan Tabel 3.3, dari Tarif Dasar Listrik Tahun 2022 harga listrik PLN per kWh sebesar Rp1.352/kWh, maka biaya ENS yang terselamatkan pada Penyulang Banyu Biru PT. PLN (Persero) ULP Gondang Wetan bulan Maret-Agustus Tahun 2022 sebesar Rp16.150.617/kWh.

3.2.2 Skenario atau Solusi 2

Pada skenario ini dilakukan pemindahan LBS Motorized Lemahbang ke jaringan sebelum trafo DB243 di section 2, penambahan 5 buah FCO di setiap percabangan yang tidak memiliki proteksi dan penambahan recloser pada section 4 di jaringan setelah trafo DB296. Pada section 2 terdapat 2 unit proteksi, section 4 terdapat 2 unit proteksi dan section 5 terdapat 1 unit proteksi. Tujuan pemindahan LBS Motorized Lemahbang adalah untuk mengurangi area padam ketika jaringan pada sebagian section 2 (trafo DB243, DB789, DB218, DB756, DB823, DB025, DB175) dan section 7 (DB176, DB733, DB649) mengalami gangguan permanen, temporer dan ketika pemeliharaan jaringan. Tujuan FCO untuk memisahkan daerah padam di area

percabangan saat terjadi gangguan. Sedangkan tujuan penambahan *recloser* yaitu untuk mengurangi daerah padam yang disebabkan oleh gangguan temporer

Setelah pemindahan LBSM, penambahan *recloser*, dan penambahan FCO akan menghasilkan nilai ENS yang selamat pada seperti pada Tabel 3.4.

TABEL 3.4 HASIL NILAI ENS REKOMENDASI SOLUSI PENAMBAHAN RECLOSER, PENAMBAHAN FCO DAN PEMINDAHAN LBSM

Solusi	ENS Awal (kWh)	ENS Akhir (kWh)	ENS Selamat (kWh)
Solusi 2 (REC sec 4, LBSM sec 2 dan FCO)	20.509,84	7.489,31	13.020,53

Tabel 3.4 menunjukkan efektivitas solusi yang diterapkan dalam mengurangi jumlah energi yang tidak disalurkan (ENS) pada sistem distribusi listrik, sehingga meningkatkan keandalan jaringan. ENS yang berhasil diselamatkan jika Solusi 2 diaplikasikan sebesar 13.020,53 kWh.

Biaya ENS terselamatkan jika diterapkan Solusi 2 dapat dilihat di Tabel 3.5.

TABEL 3.5 PERHITUNGAN BIAYA YANG TERSELAMATKAN SETELAH PENAMBAHAN RECLOSER, PENAMBAHAN FCO DAN PEMINDAHAN LBSM

Solusi	Ens Awal (kWh)	ENS Akhir (kWh)	ENS Selamat (kWh)	Harga	Biaya Yang Terselamatkan
Solusi 2 (REC sec 4, LBSM sec 2 dan FCO)	20.509,8	7.489,3	13.020,5	Rp1.352	Rp17.603.758

Berdasarkan Tabel 3.5, biaya ENS terselamatkan pada Penyulang Banyu Biru PT. PLN (Persero) ULP Gondang Wetan bulan Maret-Agustus Tahun 2022 jika Solusi 2 diterapkan yaitu sebesar Rp16.150.617/kWh.

3.3 SAIDI dan SAIFI

Nilai SAIDI dan SAIFI awal, perbulan, sebelum dilakukan resolusi dapat dilihat Tabel 3.6. Nilai SAIDI/SAIFI bisa dihitung menggunakan Persamaan (2-2) dan Persamaan (2-3).

TABEL 3.6 LAPORAN SAIDI/SAIFI SEBELUM RESOLUSI DI PT. PLN ULP GONDANG WETAN PER BULAN TAHUN 2022

No	Bulan	Jumlah Pelanggan dilayani	SAIDI	SAIFI
1	Maret	15.344	0,41	0,71
2	April	15.444	0,11	0,09
3	Mei	15.493	0,11	1,00
4	Juni	15.696	0,67	0,44
5	Juli	15.764	0,10	1,00
6	Agustus	15.876	0,07	0,60
Total			0,24	0,64

Setelah didapatkan nilai SAIDI/SAIFI per bulan seperti pada Tabel 3.6 ditentukan juga dalam nilai rata-rata SAIDI/SAIFI dalam 6 bulan. Nilai SAIDI/SAIFI sebelum resolusi per 6 bulan yang dibandingkan dengan nilai SAIDI/SAIFI standar SPLN 68 – 2 : 1986

seperti pada Tabel 3.7.

TABEL 3.7 PERBANDINGAN SAIDI SAIFI SEBELUM RESOLUSI TERHADAP SPLN 68 – 2 : 1986 PADA PT. PLN (PERSERO) ULP GONDANG WETAN TAHUN 2022

	Hasil perhitungan	SPLN 68 – 2 : 1986.	Keterangan
SAIDI	0,24	5,16 jam/ 6 bulan	Memenuhi Standar
SAIFI	0,64	0,8 kali/ 6 bulan	Memenuhi Standar

Berdasarkan Tabel 3.7 dapat diketahui bahwa nilai SAIDI/SAIFI masih memenuhi standar, namun nilai SAIFI sudah mendekati nilai maksimal.

Nilai SAIDI dan SAIFI per bulan, apabila skenario 1 diterapkan, dapat dilihat di Tabel 3.8.

TABEL 3.8 NILAI SAIDI/SAIFI PT. PLN ULP GONDANG WETAN PER BULAN TAHUN 2022 SETELAH SOLUSI 1 DITERAPKAN

No	Bulan	Jumlah Pelanggan dilayani	SAIDI	SAIFI
1	Maret	15.344	0,18	0,32
2	April	15.444	0,11	0,09
3	Mei	15.493	0,06	0,54
4	Juni	15.696	0,40	0,26
5	Juli	15.764	0,005	0,05
6	Agustus	15.876	0,03	0,26
Total			0,13	0,25

Setelah nilai SAIDI/SAIFI per bulan diketahui maka ditentukan juga nilai SAIDI/SAIFI rata-rata dalam 6 bulan. Kemudian nilai itu dibandingkan dengan nilai SAIDI/SAIFI standar SPLN 68 – 2 : 1986 dengan hasil perbandingan seperti di Tabel 3.9.

TABEL 3.9 PERBANDINGAN NILAI SAIDI/SAIFI SETELAH SOLUSI 1 DITERAPKAN TERHADAP SPLN 68 – 2 : 1986 PADA PT. PLN (PERSERO) ULP GONDANG WETAN TAHUN 2022

	Hasil perhitungan	SPLN 68 – 2 : 1986.	Keterangan
SAIDI	0,13	5,16 jam/ 6 bulan	Memenuhi Standar
SAIFI	0,25	0,8 kali/ 6 bulan	Memenuhi Standar

Berdasarkan Tabel 3.9 dapat diketahui bahwa nilai SAIDI/SAIFI pada Solusi 1 juga memenuhi standar dan lebih kecil daripada nilai awal.

Nilai SAIDI dan SAIFI per bulan, apabila skenario 2 diterapkan, dapat dilihat di Tabel 3.10.

TABEL 3.10 NILAI SAIDI/SAIFI PT. PLN ULP GONDANG WETAN PER BULAN TAHUN 2022 SETELAH SOLUSI 2 DITERAPKAN

No	Bulan	Jumlah Pelanggan dilayani	SAIDI	SAIFI
1	Maret	15.344	0,18	0,32
2	April	15.444	0,11	0,09
3	Mei	15.493	0,02	0,54
4	Juni	15.696	0,17	0,26
5	Juli	15.764	0,005	0,05
6	Agustus	15.876	0,01	0,26
Total			0,13	0,25

Setelah nilai SAIDI/SAIFI per bulan diketahui maka ditentukan

juga nilai SAIDI/SAIFI rata-rata dalam 6 bulan. Kemudian nilai itu dibandingkan dengan nilai SAIDI/SAIFI standar SPLN 68 – 2 : 1986 dengan hasil perbandingan seperti di Tabel 3.11.

TABEL 3.11 PERBANDINGAN NILAI SAIDI/SAIFI SETELAH SOLUSI 2 DITERAPKAN TERHADAP SPLN 68 – 2 : 1986 PADA PT. PLN (PERSERO) ULP GONDANG WETAN TAHUN 2022

	Hasil perhitungan	SPLN 68 – 2 : 1986.	Keterangan
SAIDI	0,08	5,16 jam/ 6 bulan	Memenuhi Standar
SAIFI	0,13	0,8 kali/ 6 bulan	Memenuhi Standar

Berdasarkan Tabel 3.11 dapat diketahui bahwa nilai SAIDI/SAIFI pada Solusi 2 juga memenuhi standar dan lebih kecil daripada nilai SAIDI/SAIFI awal dan nilai SAIDI/SAIFI pada Solusi 1.

3.4 Perbandingan Biaya Terselamatkan Terhadap Biaya Pemasangan Pengaman Jaringan

Pada skenario 1, total biaya pemasangan FCO baru dan pemindahan LBSM baik biaya material maupun jasa yaitu sebesar Rp. 14.928.229. Menggunakan hasil tersebut dapat dianalisis jangka waktu yang diperlukan agar biaya tersebut terpenuhi dengan hasil seperti pada Tabel 3.12.

TABEL 3.12 BREAK EVEN POINT (BEP) PEMASANGAN PENGAMAN JARINGAN SKENARIO 1

BEP Skenario 1	
Total Biaya Skenario 1	Rp14.928.229
Biaya ENS selamat 1 bulan	Rp2.691.770
BEP	5,55

Dari Tabel 3.12 dapat disimpulkan bahwa lama waktu untuk memenuhi biaya skenario 1 selama 5,55 /bulan (5 bulan 16 hari).

Pada skenario 2 untuk total biaya pemasangan FCO baru, Pemasangan recloser dan Pemindahan LBSM baik biaya material maupun jasa yaitu sebesar Rp. 222.227.537. Menggunakan hasil tersebut dapat dianalisis jangka waktu yang diperlukan agar biaya tersebut terpenuhi dengan hasil seperti pada Tabel 3.13.

TABEL 3.13 BEP PEMASANGAN PENGAMAN JARINGAN SKENARIO 2

BEP Skenario 2	
Total Biaya Skenario 2	Rp222.227.537
Biaya ENS selamat 1 bulan	Rp2.933.960
BEP	75,74

Dari Tabel 3.13 dapat disimpulkan bahwa lama waktu untuk memenuhi biaya skenario 2 selama 75,74/bulan (75 bulan 22 hari).

4. Kesimpulan

Dari analisis kondisi awal *reliability* pada Penyulang Banyu Biru didapat nilai ENS sebesar 20.509,84 kWh dengan nilai rupiah yang hilang sebesar Rp 27.729.303,68 selama 6 bulan nilai tersebut sangat merugikan PLN, sekaligus nilai SAIDI dan SAIFI sudah memenuhi standar yang ada sebesar 0,14 kali/pelanggan/6 bulan dan 0,64 jam/pelanggan/6 bulan.

Dari penerapan solusi yang telah direncanakan, terdapat 2 solusi yaitu solusi 1 (pemindahan LBSM pada section 2 dan

penambahan 5 FCO pada percabangan) didapat nilai ENS sebesar 8.564,12 kWh dengan nilai rupiah yang terselamatkan sebesar Rp. 16.150.617 sekaligus nilai SAIDI dan SAIFI sudah memenuhi standar yang ada sebesar 0,13 kali/pelanggan/6 bulan dan 0,25 jam/pelanggan/6 bulan. Sedangkan untuk solusi 2 (pemindahan LBSM pada section 2, penambahan Recloses pada section 4, dan penambahan 5 FCO pada percabangan) didapat nilai ENS sebesar 7489,31 kWh dengan nilai rupiah yang terselamatkan sebesar Rp. Rp17.603.758 sekaligus nilai SAIDI dan SAIFI sudah memenuhi standar yang ada sebesar 0,08 kali/pelanggan/6 bulan dan 0,13 jam/pelanggan/6 bulan. Dari 2 solusi tersebut dapat disimpulkan bahwa solusi 2 yang paling tepat karena menekan kerugian yang diterima PLN.

Berdasarkan solusi yang telah diterapkan untuk solusi 1 membutuhkan biaya penambahan pengaman jaringan FCO dan pemindahan LBSM Lemahbang sebesar Rp.14.928.229 dengan BEP selama 5,55 / bulan (5 bulan 16 hari). Sedangkan untuk solusi 2 membutuhkan biaya penambahan pengaman jaringan FCO, penambahan recloser dan pemindahan LBSM Lemahbang sebesar Rp222.227.537 dengan BEP selama 75,74/ bulan (75 bulan 22 hari). Sehingga dapat disimpulkan bahwa solusi 1 sangat tepat untuk diterapkan jika ditinjau dari segi biaya.

Pengembangan keandalan ke depannya yang bisa dilakukan untuk lebih meningkatkan keandalan Penyulang Banyu Biru yaitu melakukan ROW (*Right of Way*). Hal ini berarti melakukan pengamanan jarak antara penghantar dengan benda lain, seperti dahan pohon, layang-layang, umbul-umbul, bangunan, dll. dengan standard jarak aman yaitu 2.5 meter.

Referensi

- [1] K. Xie, J. Zhou, and R. Billinton, "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, 2008, doi: 10.1049/iet-gtd:20080067.
- [2] M. F. Hakim, M. Saputra, R. A. Ananto, P. S. Harijanto, and A. H. Santoso, "Voltage Improvement on the Feeder Using the Load Breaking Method," *Int. J. Electr. Eng. Appl. Sci.*, vol. 6, no. 1, Apr. 2023.
- [3] A. P. Gumilang, "Penilaian Keandalan Sistem Tenaga Listrik Jawa Bagian Timur dan Bali Menggunakan Formula Analitis Deduksi Dan Sensitivitas Analitis Dari Expected Energy Not Served," *J. Tek. ITS*, vol. 7, no. 1, 2018, doi: 10.12962/j23373539.v7i1.29094.
- [4] S. Nurhadi, M. F. Hakim, and R. Joto, "Upaya Peningkatan Keandalan Penyulang dengan Manuver Jaringan," *Elposys J. Sist. Kelistrikan*, vol. 10, no. 1, pp. 88–93, Mar. 2023, doi: 10.33795/ELPOSYS.V10I1.916.
- [5] A. Fatoni, "Analisa Keandalan Sistem Distribusi 20 kV PT.PLN Rayon Lumajang dengan Metode FMEA (Failure Modes and Effects Analysis)," *J. Tek. ITS*, vol. 5, no. 2, pp. 462–467, 2017, doi: 10.12962/j23373539.v5i2.16150.
- [6] W. Kusuma, R. Joto, M. Mieftah, and A. Setiawan, "Analisis Keandalan Sistem Distribusi 20kV Pada Penyulang Pujon PT. PLN (PERSERO) ULP Batu," *Elposys J. Sist. Kelistrikan*, vol. 9, no. 3, pp. 188–193, Oct. 2022, doi: 10.33795/ELPOSYS.V9I3.656.
- [7] R. A. Duyo, "ANALISIS PENYEBAB GANGGUAN

- JARINGAN PADA DISTRIBUSI LISTRIK MENGGUNAKAN METODE FAULT TREE ANALYSIS DI PT. PLN (PERSERO) RAYON DAYA MAKASSAR," *VERTEX ELEKTRO*, vol. 12, no. 2, pp. 1–12, Aug. 2020, doi: 10.26618/JTE.V12I2.4017.
- [8] N. Aryanto and M. Balkis, "TINJAUAN GANGGUAN JARINGAN DISTRIBUSI 20 KV PENYULANG MUARA AMAN PT. PLN (PERSERO) ULP RAYON MUARA AMAN," *J. Tek. Elektro Rafflesia*, vol. 1, no. 1, pp. 16–22, Apr. 2021.
- [9] Rizal A. Duyo, "Analisis Penyebab Gangguan Jaringan Pada Distribusi Listrik Menggunakan Metode Fault Treeanalysis di Pt. Pln (Persero) Rayon Daya Makassar," *Vertex Elektro*, vol. 12, no. 02, pp. 1–2, 2020.
- [10] M. Praditama, Fery, Utomo, Teguh, Shidiq, "Analisis keandalan dan nilai ekonomis di penyulang pujon pt. pln (persero) area malang," pp. 1–8.
- [11] I. Hajar, ; Muhammad, H. Pratama, T. Elektro, S. Tinggi, and T. Pln, "ANALISA NILAI SAIDI SAIFI SEBAGAI INDEKS KEANDALAN PENYEDIAAN TENAGA LISTRIK PADA PENYULANG CAHAYA PT. PLN (PERSERO) AREA CIPUTAT: Ibnu Hajar; Muhammad Hasbi Pratama," *ENERGI & KELISTRIKAN*, vol. 10, no. 1, pp. 70–77, Feb. 2018, doi: 10.33322/ENERGI.V10I1.330.
- [12] P. Janiszewski, J. Sawicki, J. Kurpas, and M. Mróz, "Practical Ways to Improve SAIDI and SAIFI Power Supply Reliability Indicators in an MV Grid," *Acta Energ.*, no. 01, pp. 45–50, Mar. 2018, doi: 10.52710/AE.107.
- [13] E. P. Sari, Enrico, I. Ridzki, and K. M. Habsari, "RELIABILITY ASSESMENT SISTEM DISTRIBUSI 20 KV DI PT PLN (PERSERO) ULP MOJOAGUNG MENGGUNAKAN MARKOV MODEL," *J. Tek. Ilmu dan Apl.*, vol. 2, no. 2, pp. 42–48, Jul. 2021.
- [14] I. Pakaya, A. W. Basolle, and Z. Zulfatman, "OPTIMASI PENEMPATAN RECLOSER PADA PENYULANG OLAK ALEN UNTUK MENINGKATKAN KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI MENGGUNAKAN ALGORITMA DIFFERENTIAL EVOLUTION," *Transm. J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 23, no. 1, pp. 14–20, Jan. 2021, doi: 10.14710/TRANSMISI.23.1.14-20.
- [15] A. F. N. Rosyid and T. Wati, "Analisis Pengaruh Distributed Generation (DG) Terhadap Indeks Keandalan pada Penyulang Badai PT PLN UID Bandar Lampung," *Pros. Semin. Nas. Tek. Elektro, Sist. Informasi, dan Tek. Inform.*, vol. 1, no. 1, pp. 113–120, Jun. 2021, doi: 10.31284/P.SNESTIK.2021.1768.
- [16] L. Ge *et al.*, "A DISTRIBUTION SYSTEM RELIABILITY ASSESSMENT APPROACH CONSIDERING MULTI-FAULTS BY IMPACT INCREMENT BASED MONTE CARLO," 2019.
- [17] A. Burhandono and N. Sinaga, "Menjaga Keandalan Sistem PLTS dengan Metode Failure Mode Effect Analysis (FMEA)," *J. Tek. Ind.*, vol. 12, no. 1, pp. 30–39, Jul. 2022, doi: 10.25105/JTI.V12I1.13958.
- [18] R. Harahap, H. Farizi, S. T. Kasim, and Syafruddin, "Analisis Indeks Keandalan Pada Jaringan," *Semnastek*, pp. 140–150, 2022.
- [19] S. S. Fatemi and H. Samet, "Considering DGs Voltage Protection in Optimal Coordination of Directional Overcurrent Relays to Minimize the Energy Not Supplied," *IEEE Syst. J.*, vol. 15, no. 3, pp. 4037–4045, Jun. 2020, doi: 10.1109/JSYST.2020.3001378.
- [20] A. Alanazi and M. Alanazi, "Artificial Electric Field Algorithm-Pattern Search for Many-Criteria Networks Reconfiguration Considering Power Quality and Energy Not Supplied," *Energies* 2022, Vol. 15, Page 5269, vol. 15, no. 14, p. 5269, Jul. 2022, doi: 10.3390/EN15145269.
- [21] V. G. Gambut, R. S. Hartati, and A. I. Weking, "Analisis Energi Listrik Terselamatkan Pada Penyulang Bangli Pt. Pln (Persero) Area Bali Timur Dengan Beroperasinya Plts Kayubihi," *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 15, no. 1, p. 69, 2016, doi: 10.24843/mite.2016.v15i01p12.
- [22] A. I. Karpov and D. A. Akimov, "Integral indicators improvement (SAIFI) of power supply reliability in electric distribution systems based on reclosers placement optimization," *Proc. 2018 IEEE Conf. Russ. Young Res. Electr. Electron. Eng. EIconRus 2018*, vol. 2018-January, pp. 663–666, Mar. 2018, doi: 10.1109/EICONRUS.2018.8317182.
- [23] J. D. Haryantho and H. H. Tumbelaka, "Analisa Keandalan Sistem Kelistrikan Di Daerah Pelayanan P.T. PLN (Persero) Area Timika Berbasis SAIDI SAIFI," *J. Tek. Elektro*, vol. 10, no. 2, pp. 71–74, 2017, doi: 10.9744/JTE.10.2.71-74.