

STUDI OPTIMASI EXCESS POWER PLTA BALAMBANO 110 MW UNTUK MEMASOK BEBAN DI PLN ULP MALILI**Fariz Dzaky Faishal, Budi Sudiarto**

Universitas Indonesia, Indonesia

Email: fariz.dzaky@ui.ac.id, budi.sudiarto@ui.ac.id**Kata Kunci**

Excess Power, PLTA
Balambano, ETAP
19.0.1, Tegangan Jatuh,
Losses, SAIDI, SAIFI,
ENS

Abstrak

Penelitian ini dilakukan di wilayah kerja PLN ULP Malili, Kabupaten Luwu Timur, dengan tujuan menganalisis pemanfaatan excess power dari PLTA Balambano 110 MW milik PT Vale Indonesia. Latar belakang penelitian ini adalah rendahnya pemanfaatan daya yang tersedia, di mana hanya 1,18 MW dari 4,5 MW yang terpakai, serta kebijakan efisiensi anggaran pemerintah yang mendorong optimalisasi sumber daya. Tujuan penelitian adalah membandingkan dua skenario distribusi daya (melalui GI Malili dan GH Balambano) dari segi teknis dan ekonomi, termasuk analisis tegangan jatuh, losses, serta keandalan jaringan (SAIDI, SAIFI, ENS). Metode penelitian menggunakan simulasi teknis dengan ETAP 19.0.1 dan analisis ekonomi kuantitatif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Skenario B (GH Balambano) memiliki losses lebih tinggi (77,6 kW) dibanding Skenario A (52,4 kW), namun secara ekonomi lebih efisien dengan keuntungan bersih mencapai Rp9,63 miliar per tahun. Implikasi penelitian ini memberikan rekomendasi untuk mengadopsi Skenario B sebagai solusi optimal, mengingat keunggulan ekonominya meskipun secara teknis sedikit lebih rendah. Temuan ini menjadi dasar pertimbangan bagi PLN dan pemerintah daerah dalam meningkatkan pendapatan dan efisiensi operasional.

Keywords

Excess Power,
Balambano Hydropower
Plant, ETAP 19.0.1,
Voltage Drop, Power
Loss, SAIDI, SAIFI,
ENS.

Abstract

This study was conducted in the working area of PLN ULP Malili, East Luwu Regency, with the aim of analyzing the utilization of excess power from the 110 MW Balambano Hydroelectric Power Plant owned by PT Vale Indonesia. The background of this study is the low utilization of available power, where only 1.18 MW of 4.5 MW is used, as well as the government's budget efficiency policy that encourages resource optimization. The objective of the study is to compare two power distribution scenarios (via GI Malili and GH Balambano) from technical and economic perspectives, including voltage drop analysis, losses, and network reliability (SAIDI, SAIFI, ENS). The research method employs technical simulation using ETAP 19.0.1 and quantitative economic analysis. The research results show that Scenario B (GH Balambano) has higher losses (77.6 kW) compared to Scenario A (52.4 kW), but is economically more efficient with a net profit of Rp9.63 billion per year. The implications of this research recommend adopting Scenario B as the optimal solution, given its economic advantages despite being slightly inferior technically. These findings serve as a basis for consideration by



PENDAHULUAN

PLN ULP Malili yang terletak di Kabupaten Luwu Timur, Sulawesi Selatan, merupakan bagian dari sistem kelistrikan nasional yang melayani berbagai kecamatan dengan menggunakan beberapa sumber kelistrikan utama. Di antaranya, terdapat empat sumber pembangkitan yang digunakan, yaitu Interkoneksi Pembangkit Sistem Sulbagsel 2,9 GW melalui GI Malili, PLTA Balambano 110 MW melalui GH Balambano, dan PLTA Larona 165 MW melalui GH Gunung Hasan dan GH Sorowako, serta PLTMH Ussu 3 MVA melalui GH Tole - Tole yang masing-masing memiliki wilayah cakupan distribusi listrik yang berbeda. Masing-masing dari sumber kelistrikan ini memiliki peran penting dalam memastikan ketersediaan pasokan listrik yang stabil bagi masyarakat dan sektor industri di Kabupaten Luwu Timur (Bambang et al., 2018; Raharja et al., 2019; Sufandi & Rahayu, 2019).

Salah satu pembangkit yang memiliki kapasitas besar namun belum dimanfaatkan secara optimal adalah PLTA Balambano, yang merupakan milik PT Vale Indonesia. PLTA Balambano memasok penuh kelistrikan yang ada pada site pertambangan PT Vale Indonesia. Namun, dari total 110 MW kapasitas pembangkitan dari PLTA Balambano, hanya 25 MW saja yang terpakai oleh PT Vale Indonesia. Sedangkan untuk daya yang diberikan PT Vale Indonesia ke PLN ULP Malili sesuai dengan kontrak daya yang diberikan hanya sebesar 4,5 MW, dimana beban puncak yang terpakai di GH Balambano pada tahun 2024 baru mencapai 1,18 MW. Hal ini menunjukkan bahwa PLTA Balambano menghasilkan excess power yang dapat dimanfaatkan lebih lanjut untuk meningkatkan pasokan daya di daerah sekitar.

Sehubungan juga dengan adanya efisiensi pada sisi pemerintah melalui Instruksi Presiden No. 1 Tahun 2025 tentang Efisiensi Belanja dalam Pelaksanaan APBN dan APBD Tahun Anggaran 2025 serta Keputusan Menteri Keuangan No. 29 Tahun 2025 tentang Penyesuaian Rincian Alokasi Transfer ke Daerah menurut Provinsi/Kabupaten/Kota Tahun Anggaran 2025 dalam Rangka Efisiensi Belanja dalam Pelaksanaan APBN dan APBD Tahun Anggaran 2025, yang menyebabkan pemangkasan anggaran Dana Transfer dari pemerintah ke Kabupaten Luwu Timur.

Pemerintah Kabupaten Luwu Timur mengungkapkan berkurangnya anggaran pembelajaran daerah tahun 2025 yang diterima oleh Kabupaten Luwu Timur. Oleh karena itu, pemerintah Kabupaten Luwu Timur merasa perlu adanya sumber pemasukan lain untuk dapat meningkatkan Anggaran Pendapatan dan Belanja Daerah. Untuk mewujudkan hal tersebut, Pemerintah Kabupaten Luwu Timur meminta PLN ULP Malili untuk dapat memaksimalkan pasokan listrik dari PLTA Balambano, yaitu GH Balambano yang masih mampu memasok daya listrik sampai 4,5 MW. Hal ini diharapkan dapat membantu meningkatkan pendapatan daerah Kabupaten Luwu Timur, karena dari seluruh daya listrik yang dihasilkan oleh PLTA Balambano dan digunakan oleh pelanggan PLN ULP Malili, Pemerintah Kabupaten Luwu Timur akan mendapatkan penghasilan dari Biaya Pokok Penyediaan (BPP) Pembangkitan sebesar Rp607,49 per kWh.

Salah satu cara untuk memaksimalkan penggunaan daya pada GH Balambano adalah dengan mengalihkan seluruh beban pada Penyulang Karebbe dan Penyulang Malili, yang awalnya dipasok dari GI Malili menjadi dipasok melalui GH Balambano, dengan melakukan beberapa perubahan konfigurasi pada LBS Karebbe dan LBS KM 4 menjadi posisi close, serta melepaskan Disconnecting Switch (DS) pada pangkal Penyulang Karebbe dan Penyulang Malili.

Namun, perubahan jalur distribusi ini memerlukan analisis mendalam mengenai keandalan jaringan serta aspek ekonomi dari dua opsi distribusi yang ada, yakni supply dari GI Malili dan supply dari GH Balambano. Pemilihan jalur distribusi yang tepat akan berpengaruh terhadap keandalan pasokan listrik yang pada akhirnya dapat meningkatkan atau justru menurunkan efisiensi operasional dan pendapatan daerah. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi strategis bagi PLN dan pemerintah daerah terkait jalur distribusi yang lebih optimal dan efisien dalam memanfaatkan kapasitas excess power PLTA Balambano.

Pemanfaatan *excess power* dari pembangkit listrik tenaga air (PLTA) untuk meningkatkan efisiensi sistem distribusi telah menjadi topik penelitian yang relevan dalam beberapa tahun terakhir (Hill et al., 2016; Kamil et al., 2023; Kisworo et al., 2025; Sadiq & Antar, 2024; Sebastián & Peña-Alzola, 2020; Winardi et al., 2024). Studi sebelumnya oleh Randa et al. (2020) mengevaluasi keandalan jaringan distribusi 20 kV dan menemukan bahwa pengoptimalan aliran daya dapat mengurangi *losses* energi yang tidak tersalurkan. Sementara itu, Faruq et al. (2023) menganalisis keandalan penyulang distribusi dengan metode *section technique*, menyoroti pentingnya pemeliharaan jaringan untuk meminimalkan gangguan. Penelitian lain oleh Medina et al. (2021) dan Danishmal et al. (2022) fokus pada analisis tegangan jatuh di jaringan distribusi, menunjukkan bahwa konfigurasi ulang jaringan dan *uprating* konduktor dapat meningkatkan kinerja sistem. Namun, sebagian besar penelitian tersebut belum mengintegrasikan analisis ekonomi secara mendalam, terutama dalam konteks pemanfaatan *excess power* untuk meningkatkan pendapatan daerah.

Kesenjangan penelitian ini terletak pada kurangnya kajian komprehensif yang menggabungkan aspek teknis (seperti tegangan jatuh, *losses*, dan keandalan jaringan) dengan analisis ekonomi dalam pemanfaatan *excess power* PLTA. Studi-studi terdahulu cenderung terfokus pada salah satu aspek saja, sementara dampak kebijakan efisiensi anggaran pemerintah terhadap optimalisasi distribusi daya belum banyak dieksplorasi. Selain itu, penelitian tentang PLTA Balambano sebagai studi kasus spesifik masih sangat terbatas, padahal pembangkit ini memiliki potensi besar untuk berkontribusi pada sistem kelistrikan nasional. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengisi celah tersebut dengan pendekatan holistik yang memadukan simulasi teknis dan analisis ekonomi.

Urgensi penelitian ini didorong oleh kebijakan pemerintah, seperti Instruksi Presiden No. 1 Tahun 2025 tentang Efisiensi Belanja Negara, yang menuntut optimalisasi sumber daya untuk mengurangi beban anggaran. Di sisi lain, Pemerintah Kabupaten Luwu Timur membutuhkan sumber pendapatan baru, di mana pemanfaatan *excess power* PLTA Balambano dapat menjadi solusi. Dengan hanya 1,18 MW dari 4,5 MW daya yang terpakai, potensi peningkatan efisiensi dan pendapatan dari penjualan listrik sangat besar. Selain itu, ketidakstabilan pasokan listrik di daerah pegunungan, seperti yang dialami di wilayah kerja PLN ULP Malili, memperkuat kebutuhan akan studi yang mendalam untuk memastikan keandalan jaringan.

Kebaruan penelitian ini terletak pada pendekatan terintegrasi yang membandingkan dua skenario distribusi (melalui GI Malili dan GH Balambano) dengan menggunakan simulasi ETAP 19.0.1 dan analisis ekonomi kuantitatif. Penelitian ini tidak hanya mengevaluasi parameter teknis seperti tegangan jatuh dan *losses*, tetapi juga menghitung keuntungan finansial dari setiap skenario, termasuk dampaknya terhadap pendapatan daerah. Selain itu, rekomendasi strategis yang dihasilkan dari penelitian ini dapat menjadi acuan bagi PLN dan pemerintah daerah dalam mengambil keputusan berbasis data.

Manfaat penelitian ini mencakup aspek teknis dan ekonomi. Dari sisi teknis, hasil simulasi dan analisis keandalan jaringan dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi operasional PLN ULP Malili. Secara ekonomi, penelitian ini memberikan gambaran nyata tentang potensi peningkatan pendapatan daerah melalui pemanfaatan *excess power*, sekaligus mendukung kebijakan efisiensi anggaran pemerintah. Temuan ini juga dapat diaplikasikan pada PLTA lain di Indonesia dengan karakteristik serupa, sehingga memberikan kontribusi signifikan bagi pengembangan sistem kelistrikan nasional yang lebih berkelanjutan.

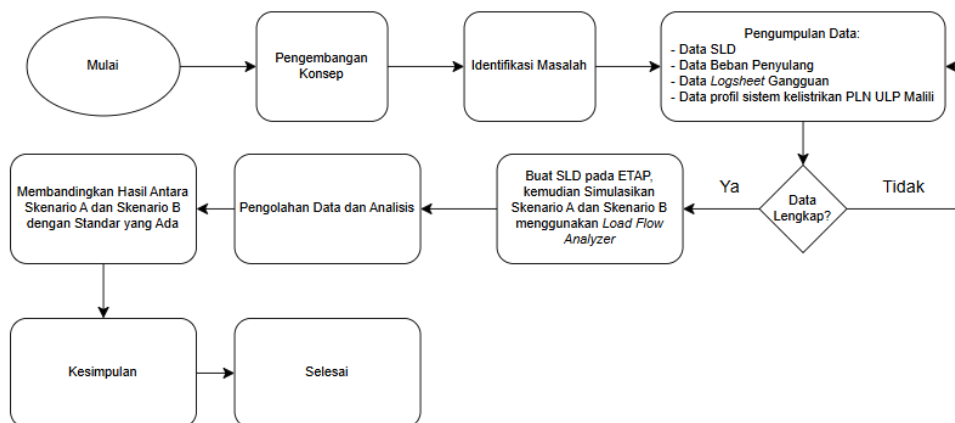
Tujuan dari penelitian ini antara lain sebagai berikut: Mengevaluasi perbandingan tegangan ujung dan rugi - rugi daya pada sistem distribusi listrik Penyulang Karebbe dan Malili dengan menggunakan Skenario A dan Skenario B. Mengevaluasi nilai keandalan jaringan distribusi berdasarkan parameter SAIDI, SAIFI, CAIDI dan ENS dari Skenario A dan Skenario B. Mengevaluasi nilai ekonomi terhadap biaya dan manfaat dari kedua jalur distribusi, dengan fokus pada Harga BPP dan potensi peningkatan pendapatan daerah Kabupaten Luwu Timur. Memberikan rekomendasi mengenai jalur distribusi mana yang lebih optimal untuk memenuhi kebutuhan daya di Penyulang Karebbe dan Penyulang Malili, baik dari sisi teknis maupun ekonomi.

Tujuan dari penelitian ini antara lain sebagai berikut: Menjadi dasar pertimbangan teknis dan ekonomi bagi pihak PT PLN (Persero) dalam mengambil keputusan terkait optimalisasi distribusi excess power. Memberikan wawasan mengenai efisiensi biaya yang diperoleh dengan menggunakan excess power dari GH Balambano dibandingkan dengan penggunaan GI Malili, yang berhubungan dengan biaya BPP dan potensi subsidi daerah. Memberikan gambaran tentang perbandingan tegangan dan keandalan sistem distribusi antara dua jalur distribusi, yaitu supply dari GH Balambano dan GI Malili.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan studi kasus teknik yang bertujuan untuk menganalisis dua alternatif jalur distribusi excess power dari PLTA Balambano, yakni melalui GI Malili dan GH Balambano. Pendekatan yang digunakan adalah kuantitatif deskriptif, di mana data numerik dari simulasi sistem tenaga dan analisis ekonomi teknik dikumpulkan dan dianalisis untuk memperoleh kesimpulan objektif. Metode ini digunakan karena dapat memberikan gambaran yang akurat mengenai efisiensi teknis dan kelayakan ekonomi dari masing-masing opsi distribusi.

Penelitian ini akan berdasarkan pada diagram alir berikut:

**Figur 1. Diagram Alir Penelitian**

Pada gambar dijelaskan diagram alir dari penelitian dimana diperlukan data - data teknis terkait sistem kelistrikan, data beban, serta data rekam gangguan di PLN ULP Malili.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Analisis Beban Penyulang

Pada kondisi sistem secara normal, beberapa kali dilakukan manuver beban dari GH Balambano, seperti pada kondisi Skenario B. Manuver ini dilakukan apabila ada gangguan penyulang di satu sisi, dan juga jika ada kegiatan pemeliharaan dari sisi GI Malili. Kondisi beban pada saat proses manuver tersebut cukup tinggi, hampir mendekati dari 120 A, oleh karena itu dari empat penyulang yang ada di GI Malili, hanya dua penyulang saja yang mampu diambil bebannya oleh GH Balambano. Secara kelayakan dari sisi pembebanan, proses dari Skenario B masih sangat layak untuk dilakukan.

Akan tetapi untuk langkah selanjutnya, dapat dilakukan pertemuan antara pihak PLN, Pemerintah Kabupaten Luwu Timur, dan pihak PT Vale Indonesia guna membahas peningkatan batas Beban yang diberikan dari PT Vale Indonesia pada GH Balambano. Pertemuan ini perlu dilakukan secepat mungkin, mengingat sudah ada pelanggan dengan daya 1 MVA yang masuk di tahun 2025 yang berada di asuhan Penyulang Karebbe. Dimana jika daya 1 MVA tersebut sudah digunakan secara maksimal, maka GH Balambano tidak akan bisa mengisi beban Penyulang Karebbe dan Malili karena akan melewati batas dari beban yang diberikan di GH Balambano.

Hasil Analisis Keandalan Jaringan Segment Out Malili Skenario A

Dari Tabel di bawah, maka dapat dilakukan analisis keandalan jaringan untuk mendapatkan SAIDI, SAIFI, dan ENS dari segment Out Malili dan membandingkannya dengan standar SPLN 68-2: 1986 dan IEEE std 1366-2003.

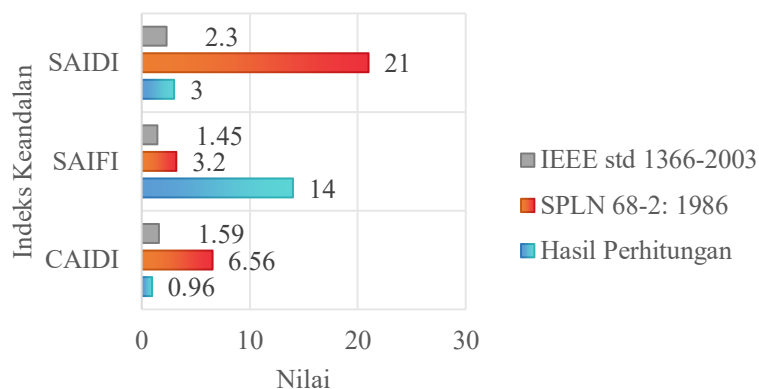
Tabel 1. Hasil Analisis Keandalan Jaringan Segment Out Malili Skenario A

Bulan	Jumlah Pelanggan	Durasi Padam (Jam)	Pelanggan Padam	Jam X Pelanggan Padam	SAIDI	SAIFI	CAIDI	ENS
Januari	17	0,072	17	1.228	0,07	1	0,07	52,22
Februari	17	0	0	0	0	0	0	0
Maret	17	2,37	68	40,31	2,37	4	0,59	1.188,66
April	17	0	0	0	0	0	0	0
Mei	17	0,47	34	7,97	0,47	2	0,23	130,68
Juni	17	0,02	17	0,30	0,02	1	0,002	6,43
Juli	17	0,002	17	0,041	0,002	1	0,002	12,96
Agustus	17	0	0	0	0	0	0	0
September	17	0	0	0	0	0	0	0
Oktober	17	0	0	0	0	0	0	0
November	17	0,0025	51	0,042	0,002	3	0,001	38,06
Desember	17	0,002	34	0,028	0,002	2	0,001	0
Total					3	14	0,096	1429

Berdasarkan Tabel di atas, analisis keandalan segment Out Malili selama periode Januari hingga Desember menunjukkan total SAIDI sebesar 3 jam/pelanggan/tahun dan SAIFI sebesar 14 kali gangguan/pelanggan/tahun. Nilai CAIDI yang diperoleh sebesar 0,096 jam/gangguan mengindikasikan bahwa rata-rata durasi pemulihan per gangguan cukup singkat. Nilai tertinggi pada parameter SAIDI dan ENS tercatat pada bulan Maret, masing-masing sebesar 2,37 jam dan 1.188.66 kWh, disebabkan oleh 68 pelanggan padam selama lebih dari dua jam. Secara keseluruhan, nilai ENS tahunan mencapai 1.429 kWh. Nilai beban saat padam cukup tinggi karena posisi dari GH Balambano sedang melakukan manuver beban ke Penyulang Karebbe dan Malili, sehingga akumulasi ENS cukup tinggi.

Tabel 2. Perbandingan Nilai Perhitungan Indeks Keandalan Segment Out Malili Skenario A dengan SPLN 68-2:1986 dan IEEE std 1366-2003

Indeks Keandalan	Realisasi	Standar Indeks Keandalan	
		SPLN 68-2: 1986	IEEE std 1366-2003
SAIDI (Jam / Pelanggan)	3	21	2.3
SAIFI (Kali / Pelanggan)	14	3.2	1.45
CAIDI (Jam / Kali)	0,096	6.56	1.59



Figur 2. Perbandingan Nilai Perhitungan Indeks Keandalan dengan SPLN 68-2:1986 dan IEEE std 1366-2003

Tabel dan Grafik di atas menunjukkan hasil perbandingan indeks keandalan jaringan untuk segmen Out Malili pada Skenario A terhadap standar SPLN 68-2:1986 dan IEEE Std 1366-2003. Nilai realisasi SAIDI sebesar 3 jam/pelanggan masih berada di bawah ambang batas SPLN (21 jam/pelanggan), namun telah melampaui standar IEEE (2,3 jam/pelanggan). Sementara itu, nilai SAIFI sebesar 14 kali/pelanggan jauh melebihi kedua standar, baik SPLN (3,2 kali) maupun IEEE (1,45 kali), yang mengindikasikan tingginya frekuensi gangguan dalam sistem. Sebaliknya, nilai CAIDI sebesar 0,096 jam/kali jauh di bawah ambang batas kedua standar, menandakan bahwa waktu pemulihan per gangguan tergolong cepat. Secara keseluruhan, meskipun durasi rata-rata gangguan pendek, tingginya frekuensi gangguan menunjukkan perlunya perbaikan pada sistem proteksi dan pemeliharaan jaringan distribusi di segmen Out Malili.

Hasil Analisis ENS Segment Out Malili Skenario A

Untuk melakukan analisis nilai ENS, diperlukan nilai harga tarif tenaga listrik yang sedang berlaku (PT PLN, 2025). Tarif tenaga listrik (TTL) yang terdiri dari beberapa jenis batas dayanya, diambil harga rata - ratanya dalam melakukan analisis ENS.

Tabel 3. Harga Tarif Tenaga Listrik April - Juni 2025

Daya Listrik (VA)	Tarif (Rp per kWh)
450 (Subsidi)	450
900 (Subsidi)	605
900	1.352
1.300	1.444,7
2.200	1.444,7
3.500 - 5.500	1699,53
6.000 - 200.000	1.699,53
Tarif Rata - Rata	1.242,21

Dari total ENS yang didapatkan dari Tabel, maka nilai kerugian yang terjadi dalam Rupiah dapat dihitung dengan persamaan:

$$\begin{aligned}
 \text{Besar Kerugian Out Malili Skenario A} &= \text{ENS} \times \text{Rata} - \text{Rata TTL} \\
 &= 1429 \text{ kWh} \times \text{Rp1.242,21} \\
 &= \text{Rp1.775.118,09}
 \end{aligned}$$

Jadi, total kerugian akibat gangguan di Segment Out Malili Skenario A pada tahun 2024 adalah sebesar Rp1.775.118,09.

Hasil Analisis Keandalan Jaringan Segment Out Malili Skenario B

Untuk dapat melakukan perhitungan analisis keandalan jaringan segment Out Malili pada Skenario B, maka diasumsikan di setiap gangguan yang terjadi pada segment Out Malili, ditambahkan jumlah pelanggan yang padam dan beban yang hilang saat padam. Diketahui jumlah Pelanggan Penyulang Karebbe dan Malili adalah 2230 dan 5331 pelanggan, dan diasumsikan jumlahnya tetap di setiap bulannya, maka perhitungan indeks keandalan jaringan segment Out Malili menjadi seperti pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil Analisis Keandalan Jaringan Segment Out Malili Skenario B

Bulan	Jumlah Pelanggan	Durasi Padam (Jam)	Pelanggan Padam	Jam X Pelanggan Padam	SAIDI	SAIFI	CAIDI	ENS
Januari	7578	0,072	7.578	547,300	0,07	1	0,07	297,67
Februari	7578	0	0	0	0	0	0	0
Maret	7578	2,37	30.312	1.7970,39	2,37	4	0,59	9.247,71
April	7578	0	0	0	0	0	0	0
Mei	7578	0,47	15.156	3.553.24	0,47	2	0,23	1.724,17
Juni	7578	0,02	7.578	134,72	0,02	1	0,02	66,84
Juli	7578	0,02	7.578	181,03	0,02	1	0,02	94,14
Agustus	7578	0	0	0	0	0	0	0
September	7578	0	0	0	0	0	0	0
Oktober	7578	0	0	0	0	0	0	0
November	7578	0,025	22.734	187,345	0,02	3	0,01	122,08
Desember	7578	0,02	15.156	126,30	0,02	2	0,01	73
Total					3	14	0,96	11.626

Hasil Analisis ENS Segment Out Malili Skenario B

Diketahui total ENS selama gangguan pada segment Out Malili adalah sebesar 11.626 kWh, maka total besar kerugiannya dapat dihitung dengan persamaan:

$$\begin{aligned}
 \text{Besar Kerugian Out Malili Skenario B} &= \text{ENS} \times \text{Rata} - \text{Rata TTL} \\
 &= 11.626 \text{ kWh} \times \text{Rp1.242,21} \\
 &= \text{Rp14.441.933,46}
 \end{aligned}$$

Jadi, total kerugian akibat gangguan di Segment Out Malili Skenario B pada tahun 2024 adalah sebesar Rp14.441.933,46.

Hasil Analisis Tegangan Jatuh

Untuk Tegangan Rendah (TR) atau tegangan yang terdapat pada sisi sekunder Trafo Gardu Distribusi, baik Skenario A maupun Skenario B keduanya menunjukkan nilai tegangan

jatuh sisi TR yang masih cukup baik, yaitu berada di dalam batas +5% dan -10% sesuai dengan SPLN No.1:1995.

Tabel 5. Perbandingan dan Evaluasi Tegangan Jatuh Skenario A dan Skenario B Untuk Tegangan Rendah

Parameter	Skenario A	Skenario B
Rentang % Tegangan Jatuh	0,04% – 3,45%	0,04% – 3,4%
Titik tertinggi Tegangan Jatuh	630.BE (3,45%)	630.BE (3,4%)
SPLN No.1:1995	Sesuai ($\leq 10\%$)	Sesuai ($\leq 10\%$)

Sedangkan untuk Tegangan Menengah (TM), pada Skenario A, data menunjukkan bahwa tegangan jatuh di seluruh ujung jaringan berada dalam rentang 3,42% hingga 3,69%. Misalnya, End Karebbe 1 mengalami penurunan sebesar 3,69% dari tegangan nominal 20,7 kV menjadi 19.936,3 V, sedangkan End Malili 2 dan End Malili 3 menunjukkan penurunan tegangan masing-masing sebesar 3,49% dan 3,53%. Secara umum, nilai ini masih berada dalam batas toleransi yang diperkenankan menurut SPLN No.72:1987, yang menyarankan batas maksimum tegangan jatuh sebesar 5% untuk sistem distribusi tegangan menengah.

Pada Skenario B, hasil simulasi menunjukkan bahwa tegangan jatuh meningkat cukup signifikan. Rentang tegangan jatuh berada pada 6,47% hingga 7,38%, dengan nilai tertinggi terjadi di End Karebbe 1 dan End Malili 3. Terjadinya peningkatan nilai persentase tegangan jatuh Pada Skenario B disebabkan oleh bertambahnya panjang jalur distribusi yang melewati Penyulang Karebbe dan Malili, yang diakumulasikan dengan panjang jalur distribusi dari segment Out Malili.

Tabel 6. Perbandingan dan Evaluasi Tegangan Jatuh Skenario A dan Skenario B Untuk Tegangan Menengah

Parameter	Skenario A	Skenario B
Rentang % Tegangan Jatuh	3.42% – 3.69%	1,67% - 2,31%
Titik tertinggi Tegangan Jatuh	End Karebbe 1 (3.69%)	End Malili 2 (2,31%)
SPLN No.72:1987	Sesuai ($\leq 5\%$)	Tidak Sesuai ($> 5\%$)

Secara keseluruhan, nilai dari hasil simulasi tegangan jatuh di Penyulang Karebbe dan Malili pada Skenario A dan Skenario B menunjukkan nilai yang masih layak dan baik jika dijadikan Skenario utama untuk distribusi beban. Namun, nilai tersebut masih dapat ditingkatkan lagi dengan salah satu caranya adalah melakukan uprating jaringan SUTM, terutama pada mainline segment Out Malili yang merupakan segment pangkal pada Skenario B. Penampang SUTM eksisting adalah konduktor AAAC-S 150mm², dimana bisa dilakukan penggantian ke konduktor AAAC-S 240mm². Lalu perlu juga dilakukan uprating pada segment Recloser Karebbe sampai ujung jaringan Penyulang Karebbe, dimana penampang konduktor eksistingnya adalah AAAC 70mm². Konduktor tersebut dapat diganti menjadi AAAC-S 150mm² untuk dapat menjaga besaran tegangan pada ujung jaringan. Cara lain yang dapat dilakukan adalah dengan menaikkan persentase tap trafo yang ada pada GI Malili dan GH Balambano.

Hasil Analisis Rugi - Rugi Daya

Berdasarkan hasil simulasi ETAP, total rugi-rugi daya aktif pada Skenario A tercatat sebagai berikut:

- 1) Penyulang Karebbe memiliki total rugi - rugi daya sebesar 17,70 kW.
- 2) Penyulang Malili memiliki total rugi - rugi daya sebesar 39,55 kW.
- 3) Penyulang Balambano segment Out Malili memiliki total rugi - rugi daya sebesar 0,0004 kW.

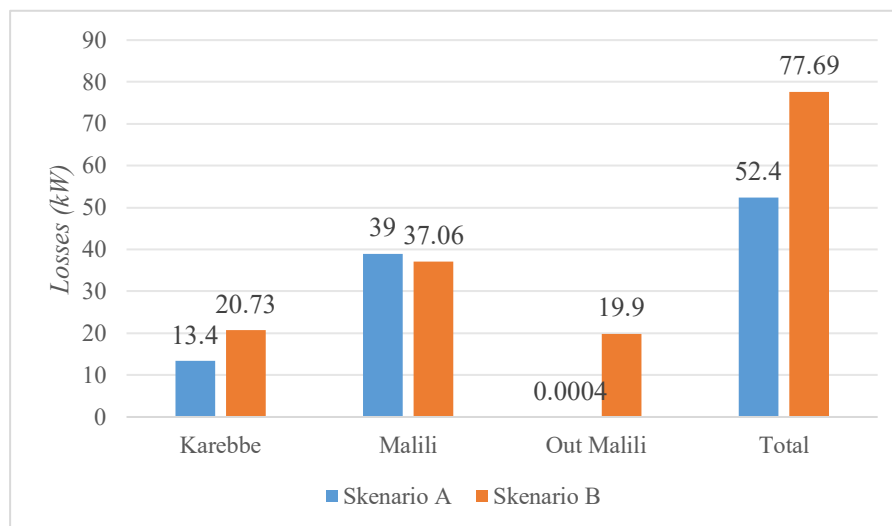
Sementara itu, Skenario B menghasilkan nilai rugi-rugi daya sebagai berikut:

- 1) Penyulang Karebbe memiliki total rugi - rugi daya sebesar 20,73 kW.
- 2) Penyulang Malili memiliki total rugi - rugi daya sebesar 37,06 kW.
- 3) Penyulang Balambano segment Out Malili memiliki total rugi - rugi daya sebesar 19,9 kW.

Dibandingkan dengan Skenario A, peningkatan rugi - rugi daya pada Skenario B terjadi secara signifikan, terutama pada penyulang Out Malili yang menyumbang kerugian daya tertinggi, yang telah mengambil alih beban pada Penyulang Karebbe dan Malili.

Tabel 7. Perbandingan dan Evaluasi Rugi - Rugi Daya Skenario A dan Skenario B

Penyulang	Losses (kW)	
	Skenario A	Skenario B
Karebbe	13,4	20,73
Malili	39	37,06
Out Malili	0,0004	19,9
Total	52,4	77,69



Figur 3. Perbandingan Rugi - Rugi Daya Total Skenario A dan Skenario B

Perbandingan ini menunjukkan bahwa Skenario A memberikan kinerja sistem distribusi yang lebih efisien, dengan total rugi-rugi daya yang lebih rendah 26,49 kW atau sekitar 31,64% dibandingkan Skenario B. Salah satu faktor utama meningkatnya rugi-rugi daya pada Skenario B adalah karena suplai daya harus menjangkau area yang lebih jauh dengan beban yang lebih besar melalui jalur distribusi yang lebih panjang.

Secara keseluruhan berdasarkan nilai dari hasil simulasi rugi - rugi daya pada Skenario A dan Skenario B, seluruh hasilnya menunjukkan hasil yang masih dalam batasan baik dan layak jika dijadikan menjadi Skenario utama distribusi beban dari Penyulang Karebbe dan Malili.

Analisis Ekonomi

Analisis ekonomi yang diteliti mencakup perhitungan keuntungan dan kerugian kuantitatif dari Skenario A dan Skenario B.

Analisis Nilai Keuntungan pada Skenario A

Untuk menghitung nilai keuntungan secara kuantitatif pada Skenario A, diperlukan data berupa besar stand kWh Ekspor Penyulang Karebbe dan Malili, rata - rata TTL, ENS, dan besarnya rugi - rugi daya yang berlangsung. Namun pada Skenario A, nilai ENS tidak diperhitungkan. Rata - rata TTL yang digunakan adalah Rp1.242,21 dan BPP yang digunakan adalah Rp959,02. Perhitungan dapat menggunakan persamaan:

Keuntungan = (stand kWh ekspor x rata-rata TTL) - (stand kWh ekspor x harga BPP) - (Losses x 24 x 365 x rata-rata TTL)

Untuk Penyulang Karebbe, dapat dihitung:

$$\begin{aligned}\text{KeuntunganKarebbe} &= (\text{stand kWh ekspor} \times \text{rata-rata TTL}) - (\text{stand kWh ekspor} \times \text{harga BPP}) - (\text{Losses} \times 24 \times 365 \times \text{rata-rata TTL}) \\ &= (3.836.600 \text{ kWh} \times \text{Rp1.242,21}) - (3.836.600 \text{ kWh} \times \text{Rp959,02}) - (13,4 \text{ kW} \times 24 \times 365 \times \text{Rp1.242,21}) \\ &= \text{Rp4.765.862.886} - \text{Rp3.679.376.132} - \text{Rp145.815.578,64} \\ &= \text{Rp940.671.175,36 per tahun}\end{aligned}$$

Untuk Penyulang Malili, dapat dihitung:

$$\begin{aligned}\text{KeuntunganMalili} &= (\text{stand kWh ekspor} \times \text{rata-rata TTL}) - (\text{stand kWh ekspor} \times \text{harga BPP}) - (\text{Losses} \times 24 \times 365 \times \text{rata-rata TTL}) \\ &= (12.585.750 \text{ kWh} \times \text{Rp1.242,21}) - (12.585.750 \text{ kWh} \times \text{Rp959,02}) - (39 \text{ kW} \times 24 \times 365 \times \text{Rp1.242,21}) \\ &= \text{Rp15.634.144.507,5} - \text{Rp12.069.985.965} - \text{Rp424.388.624,4} \\ &= \text{Rp3.139.769.918,1 per tahun}\end{aligned}$$

Jika ditotal, maka nilai keuntungan pada Penyulang Karebbe dan Malili adalah sebesar Rp4.080.441.093,46 per tahun.

Analisis Nilai Keuntungan pada Skenario B

Untuk menghitung nilai keuntungan secara kuantitatif pada Skenario A, diperlukan data berupa besar stand kWh Ekspor Penyulang Karebbe dan Malili, rata - rata TTL, ENS, dan besarnya rugi - rugi daya yang berlangsung. Pada Skenario B, nilai ENS diperhitungkan berdasarkan pada Tabel 4.11. Rata - rata TTL yang digunakan adalah Rp1.242,21 dan BPP yang digunakan adalah Rp607,49 Perhitungan dapat menggunakan persamaan:

Untuk Penyulang Karebbe, dapat dihitung:

$$\text{KeuntunganKarebbe} = (\text{stand kWh ekspor} \times \text{rata-rata TTL}) - (\text{stand kWh ekspor} \times \text{harga BPP}) - (\text{Losses} \times 24 \times 365 \times \text{rata-rata TTL})$$

$$\begin{aligned}
&= (3.836.600 \text{ kWh} \times \text{Rp}1.242,21) - (3.836.600 \text{ kWh} \times \text{Rp}607,49) - \\
&(20,73 \text{ kW} \times 24 \times 365 \times \text{Rp}1.242,21) \\
&= \text{Rp}4.765.862.886 - \text{Rp}2.330.696.134 - \text{Rp}403.278.010,78 \\
&= \text{Rp}2.031.888.741,22 \text{ per tahun}
\end{aligned}$$

Untuk Penyulang Malili, dapat dihitung:

$$\begin{aligned}
\text{KeuntunganMalili} &= (\text{stand kWh ekspor} \times \text{rata-rata TTL}) - (\text{stand kWh ekspor} \times \text{harga BPP}) - (\text{Losses} \times 24 \times 365 \times \text{rata-rata TTL}) \\
&= (12.585.750 \text{ kWh} \times \text{Rp}1.242,21) - (12.585.750 \text{ kWh} \times \text{Rp}607,49) - \\
&(37,06 \text{ kW} \times 24 \times 365 \times \text{Rp}1.242,21) \\
&= \text{Rp}15.634.144.507,5 - \text{Rp}7.645.717.267,5 - \text{Rp}403.278.010,78 \\
&= \text{Rp}7.585.149.229,22 \text{ per tahun}
\end{aligned}$$

Kemudian dimasukkan nilai ENS setelah total keuntungan dari Penyulang Karebbe dan Malili dijumlahkan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
\text{Keuntungan Total Skenario B} &= \text{KeuntunganKarebbe} + \text{KeuntunganMalili} - (\text{ENS} \times \text{rata-rata TTL}) \\
&= \text{Rp}2.031.888.741,22 + \text{Rp}7.585.149.229,22 - (11.626 \text{ kWh} \times \text{Rp}1.242,21) \\
&= \text{Rp}2.031.888.741,22 + \text{Rp}7.585.149.229,22 - \text{Rp}14.441.933,46 \\
&= \text{Rp}9.631.479.903,91 \text{ per tahun}
\end{aligned}$$

Analisis Akhir Nilai Ekonomi

Berdasarkan hasil perhitungan keuntungan secara kuantitatif, maka Skenario B jauh lebih menguntungkan jika dibandingkan dengan Skenario A. Total keuntungan pada Skenario A mencapai Rp4.080.441.093,46 per tahun dan keuntungan pada Skenario B mencapai Rp9.631.479.903,91 per tahun, dimana jumlahnya lebih dari dua kali lipat dibandingkan pada Skenario A.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa Skenario B (distribusi melalui GH Balambano) lebih direkomendasikan meskipun memiliki losses daya lebih tinggi (77,6 kW) dibanding Skenario A (52,4 kW), karena keunggulan ekonomi yang signifikan dengan keuntungan bersih mencapai Rp9,63 miliar per tahun. Secara teknis, kedua skenario masih memenuhi standar SPLN untuk tegangan jatuh dan keandalan jaringan, meskipun Skenario A lebih unggul dalam hal efisiensi daya. Namun, pertimbangan ekonomi menjadi faktor penentu mengingat kebutuhan peningkatan pendapatan daerah dan efisiensi anggaran sesuai kebijakan pemerintah. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk mengeksplorasi kombinasi kedua skenario dengan mempertimbangkan load balancing yang lebih optimal, serta melakukan studi lebih mendalam tentang dampak peningkatan kapasitas jaringan melalui uprating konduktor atau penambahan kompensasi daya reaktif. Selain itu, penelitian lanjutan dapat memperluas cakupan dengan menganalisis dampak lingkungan dan sosial dari pemanfaatan excess power PLTA untuk pengembangan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bambang, I., Samsul, H., Mahros, D., & Rohman, F. (2018). Pemilihan kapasitas baterai penyimpan energi listrik dari energi surya. *Rotor*, 11(2). <https://doi.org/10.19184/rotor.v11i2.9337>
- Danishmal, M., Ahmadi, S. A., & Danishmal, N. (2022). Voltage drop analysis in medium voltage distribution networks of Ghazni City. *Energy Systems*, 7(3), 89–96.
- Faruq, M. A., Muslimin, & Utomo, R. M. (2023). Analisis keandalan sistem distribusi penyulang 20 kV pada PT. PLN (Persero) Rayon Tanjung Redeb pada tahun 2021 dengan menggunakan metode section technique. *SNITT-Politeknik Negeri Balikpapan*.
- Hill, M. S., Lopez, T. J., & Reitenga, A. L. (2016). CEO excess compensation: The impact of firm size and managerial power. *Advances in Accounting*, 33. <https://doi.org/10.1016/j.adiac.2016.04.007>
- Kamil, K., Chong, K. H., & Hashim, H. (2023). Excess power rerouting in the grid system during high penetration solar photovoltaic. *Electric Power Systems Research*, 214. <https://doi.org/10.1016/j.epr.2022.108871>
- Kisworo, D., Utomo, A. P., Saputra, Y. A., & Stefanie, A. (2025). Analisis rugi-rugi daya pada penyulang Sukamulya di PT PLN (Persero) UP3 Purwakarta dengan menggunakan software ETAP. *Jurnal Teknologi Informasi*, 7(1), 45–52.
- Medina, D., Ratnata, I. W., & Waluyo. (2021). Analisis jatuh tegangan jaringan distribusi 20 kV pada penyulang CPK PT. PLN (Persero) UP3 Bandung. In *Prosiding Seminar Nasional Energi, Telekomunikasi dan Otomasi (SNETO)*, Bandung.
- Presiden Republik Indonesia. (2025). Instruksi Presiden Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2025 tentang efisiensi belanja dalam pelaksanaan anggaran pendapatan dan belanja negara dan anggaran pendapatan dan belanja daerah tahun anggaran 2025. Jakarta: Sekretariat Negara.
- PT PLN (Persero). (2025). Penetapan penyesuaian tarif tenaga listrik (Tariff Adjustment) April–Juni 2025. Jakarta: PLN.
- Raharja, L., Pradigta Setiya, Eviningsih, R. P., Ferdiansyah, I., & Yanaratri, D. S. (2019). Perancangan dan implementasi DC-DC bidirectional converter dengan sumber energi listrik dari panel surya dan baterai untuk pemenuhan kebutuhan daya listrik beban. *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)*, 7(2). <https://doi.org/10.32487/jtt.v7i2.709>
- Sadiq, E. H., & Antar, R. K. (2024). Minimizing power losses in distribution networks: A comprehensive review. *Chinese Journal of Electrical Engineering*, 10(4), 1–10.
- Sebastián, R., & Peña-Alzola, R. (2020). Flywheel energy storage and dump load to control the active power excess in a wind diesel power system. *Energies*, 13(8). <https://doi.org/10.3390/en13082029>
- Sufandi, M. R., & Rahayu, W. I. (2019). Pengembangan sistem pengisian baterai dengan kombinasi sumber listrik dari PLN dan energi surya. *ELKHA*, 10(1). <https://doi.org/10.26418/elkha.v10i1.25280>

- Winardi, B., Karnoto, K., & M, A. A. Z. (2024). Analysis of load balance in 20 kV distribution systems on power losses. *JIMR*, 2(10).
- Y. M. Randa, Hardiansyah, & Purwoharjono. (2020). Evaluasi keandalan sistem jaringan distribusi 20 kV dan rugi-rugi energi yang tidak tersalurkan pada feeder raya 10/Adisucipto. *Program Studi Teknik Elektro, Universitas Tanjungpura*.
- Kementerian Keuangan Republik Indonesia. (2025). Keputusan Menteri Keuangan Republik Indonesia Nomor 29 Tahun 2025 tentang penyesuaian rincian alokasi transfer ke daerah menurut provinsi/kabupaten/kota tahun anggaran 2025 dalam rangka efisiensi belanja dalam pelaksanaan anggaran pendapatan dan belanja negara dan anggaran pendapatan dan belanja daerah tahun anggaran 2025. Jakarta: Kementerian Keuangan.