

ANALISIS SUSUT DAYA AKIBAT PENAMBAHAN PEMBANGKIT PADA SISTEM ISOLATED DI PLN ULP MOUTONG

Dwi Fachrocy Fadel¹, Ahmad Rizal Sultan², Kurniawati Naim³,

^{1,2,3}Politeknik Negeri Ujung Pandang, Jl. Perintis Kemerdekaan KM 10., Kec. Tamalanrea, Kota Makassar, Sulawesi Selatan 90245, Indonesia; Telp/Fax : +62 (411) 585365

Keywords:

Susut Daya;
Sistem *Isolated*;
Pembangkit Listrik Tenaga Diesel;
Pola Operasi.

Correspondent Email:

dwifachrocyfadel@gmail.com

Abstrak. PT PLN (Persero) ULP Moutong UP3 Tolitoli memiliki enam penyulang outgoing pada sistem distribusi 20 kV yang disuplai oleh Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD). Pada tahun 2023, neraca daya sistem Moutong–Kotaraya lebih sering berada dalam kondisi defisit dibandingkan kondisi normal, sehingga dilakukan penambahan kapasitas pembangkit sebesar 3 MW di PLTD Bolano. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi dampak penambahan pembangkit terhadap susut daya di ULP Moutong. Metode yang digunakan adalah simulasi aliran daya dengan perangkat lunak ETAP 16.0.6 pada kondisi sebelum dan sesudah penambahan pembangkit dengan mempertimbangkan perubahan pola operasi sesuai realisasi di lapangan. Hasil analisis menunjukkan bahwa meskipun tegangan rata-rata pada busbar mengalami peningkatan, susut daya justru naik sebesar 0,72% dari 4,33% menjadi 5,05% karena perubahan pola operasi tidak diimbangi dengan penyesuaian konfigurasi jaringan. Peningkatan susut ini setara dengan kehilangan energi sebesar 230.351 kWh/tahun atau sekitar Rp. 921.177.253/tahun, yang menegaskan perlunya strategi optimalisasi operasi dan pengembangan jaringan untuk menekan rugi-rugi daya.



Copyright © [JITET](http://www.jitet.org) (Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan). This article is an open access article distributed under terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC)

Abstract. PT PLN (Persero) ULP Moutong UP3 Tolitoli operates six outgoing feeders in a 20 kV distribution system supplied by Diesel Power Plants (PLTD). In 2023, the power balance of the Moutong–Kotaraya system was more frequently in a deficit condition than in a normal state, leading to the addition of 3 MW generation capacity at PLTD Bolano. This study aims to evaluate the impact of the added generation on power losses at ULP Moutong. The method employed is a load flow simulation using ETAP 16.0.6 software under conditions before and after the addition of generation, taking into account operational changes as realized in the field. The analysis results indicate that although the average busbar voltage increased, power losses rose by 0,72%, from 4,33% to 5,05%, due to operational changes not being accompanied by adjustments in network configuration. This increase in losses is equivalent to an energy loss of 230.351 kWh/year or approximately IDR 921.177.253/year, highlighting the need for operational optimization strategies and network development to minimize distribution losses.

1. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan kebutuhan fundamental dalam mendukung aktivitas manusia modern. Hampir seluruh sektor vital, seperti industri manufaktur, telekomunikasi, teknologi informasi, pertambangan, transportasi umum, hingga rumah tangga, sangat bergantung pada ketersediaan listrik yang andal. PT PLN (Persero), sebagai Badan Usaha Milik Negara (BUMN), memiliki mandat utama untuk menjamin pasokan energi listrik di Indonesia melalui pengelolaan pembangkitan, transmisi, dan distribusi tenaga listrik.

Pada PT.PLN (Persero) Unit Induk Distribusi Sulawesi Utara, Sulawesi Tengah, dan Gorontalo (UID Suluttenggo), khususnya Provinsi Sulawesi Tengah, sistem kelistrikan tersusun atas interkoneksi Sulbagsel (150 kV/70 kV) dan sistem isolated 20 kV yang mayoritas ditopang PLTD (Pembangkit Listrik Tenaga Diesel) dan PLTM (Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro). Di Kabupaten Parigi-Moutong, tiga ULP (Unit Layanan Pelanggan) Parigi, Kotaraya, dan Moutong melayani pertumbuhan permintaan yang relatif tinggi di jaringan isolated. Data operasional menunjukkan pertumbuhan penjualan ULP Moutong 7,76% (kumulatif s.d. Oktober 2023). Namun, sistem lebih sering berada pada kondisi defisit dibandingkan kondisi normal, sehingga kebutuhan penambahan kapasitas pembangkit menjadi mendesak [1].

Keterbatasan potensi pengembangan energi baru terbarukan (EBT) di wilayah ini membuat PLN memilih menambah kapasitas PLTD sebesar 3 MW di Bolano. Meskipun strategis, pemilihan lokasi ini menimbulkan tantangan baru seperti letak pembangkit yang jauh dari pusat beban mengakibatkan meningkatnya rugi-rugi energi atau susut teknis pada jaringan distribusi [2]. Fenomena ini berdampak pada penurunan efisiensi sistem dan kinerja keuangan PLN, karena setiap kenaikan susut teknis berimplikasi langsung pada kehilangan energi yang tidak dapat ditagihkan ke pelanggan [3].

Secara teknis, rugi-rugi jaringan (I^2R) meningkat dengan membesarnya arus dan panjang saluran, serta konfigurasi topologi. Penempatan sumber terhadap pusat beban sangat menentukan profil arus dan drop tegangan, sehingga memengaruhi susut daya.

Optimalisasi operasi pada sistem isolated lebih sulit dibanding sistem interkoneksi karena cadangan daya terbatas, fleksibilitas switching yang rendah, dan sensitivitas terhadap perubahan pola operasi pembangkit dan sebaran beban [4]. Kerangka regulasi Tingkat Mutu Pelayanan (TMP) dari Kementerian ESDM menegaskan kepatuhan terhadap batas tegangan/frekuensi, lama/jumlah gangguan, serta kinerja layanan lainnya yang secara tidak langsung menuntut pengendalian susut agar kualitas pasokan tetap sesuai ketentuan [5].

Dengan demikian, analisis susut akibat penambahan pembangkit di PLTD Bolano menjadi krusial, bukan semata dari sisi kecukupan daya, melainkan juga dari sisi efek sistemik pada aliran daya, profil tegangan, dan rugi-rugi jaringan di ULP Moutong, agar dapat dirumuskan strategi teknis yang meminimalkan susut dan menjaga kesesuaian TMP serta kinerja korporasi.

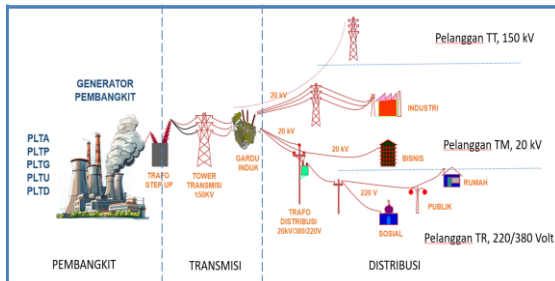
2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem distribusi merupakan salah satu subsistem utama dalam sistem tenaga listrik yang berfungsi menyalurkan energi listrik dari sumber daya besar hingga mencapai pusat beban. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 1, energi listrik dibangkitkan pada level tegangan menengah (kisaran 6–20kV) kemudian dinaikkan (step-up) melalui transformator agar mencapai tegangan transmisi (70–500kV) sehingga rugi-rugi daya akibat aliran arus (I^2R) dapat ditekan seminimal mungkin. Selanjutnya, pada gardu induk, tegangan tersebut diturunkan kembali menjadi 20kV sebagai tegangan menengah distribusi, dan melalui transformator distribusi diturunkan lagi menjadi 230/400V sebelum masuk ke instalasi pelanggan akhir [6][7].

Pada sistem isolated, pembangkit lokal seperti PLTD atau PLTM langsung menyalurkan daya pada tegangan distribusi menengah 20 kV sebelum diturunkan menjadi 230/400V ke pelanggan, tanpa dukungan jaringan transmisi besar. Kondisi ini menimbulkan beberapa karakteristik teknis penting, yaitu cadangan daya yang terbatas sehingga rentan defisit, profil tegangan yang sangat dipengaruhi jarak sumber–beban (semakin jauh semakin besar rugi-rugi daya dan jatuh tegangan), konfigurasi jaringan yang

sederhana (umumnya radial atau open-loop) sehingga fleksibilitas operasi terbatas, serta dominasi rugi teknis pada distribusi primer akibat arus tinggi saat beban besar [8][9].



Gambar 1. Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Dalam praktik penyaluran tenaga listrik, jatuh tegangan yang melampaui batas standar akan berdampak pada penurunan kualitas suplai energi serta dapat memengaruhi kinerja peralatan pelanggan. Berdasarkan SPLN No. 72 Tahun 1987, PT PLN (Persero) menetapkan batas toleransi jatuh tegangan, yakni maksimal 2% untuk sistem spindel/gugus dan 5% untuk sistem radial.

2.2. Pembangkit Tenaga Listrik

Pembangkit listrik merupakan sekumpulan peralatan dan mesin yang berfungsi mengubah energi primer menjadi energi listrik, pada umumnya menghasilkan tegangan AC tiga fasa menggunakan generator sinkron sebagai penggerak utama. Dari sisi teori konversi energi, seluruh jenis pembangkit ini bekerja berdasarkan hukum kekekalan energi, di mana energi primer ditransformasi menjadi energi mekanik lalu energi listrik; sedangkan efisiensi sistem sangat dipengaruhi karakteristik sumber energi, metode konversi, dan struktur biaya operasional [10].

Jenis pembangkit diklasifikasikan berdasarkan sumber energinya, antara lain: Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) yang menggunakan mesin diesel berbahan bakar solar, efisiensinya relatif rendah (<50%) dengan biaya operasional tinggi karena ±70% ditopang oleh konsumsi bahan bakar [11]; Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) yang memanfaatkan energi potensial-kinetik air dengan biaya operasi dan emisi rendah; Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang mengandalkan energi uap panas berbahan bakar batubara atau minyak, menjadi kontributor

terbesar bauran energi nasional, karena biaya pokok produksi murah dan pasokan batubara melimpah; Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) yang menggunakan turbin gas berbahan bakar gas alam atau minyak dengan efisiensi tinggi serta respons cepat, sehingga sesuai sebagai peaking unit [12]; Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) yang memanfaatkan panas bumi dengan emisi CO₂ hanya sekitar seperdelapan dari PLTU batubara; dan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang mengonversi energi radiasi surya melalui modul fotovoltaik [13].

2.3. Susut Distribusi

Susut distribusi adalah selisih antara energi listrik yang masuk ke jaringan distribusi dengan energi listrik yang tercatat sampai ke pelanggan. Dalam istilah lain, susut distribusi menggambarkan kehilangan energi selama proses penyaluran daya dari sisi gardu induk hingga titik pemakaian. Kehilangan ini bisa berbentuk energi yang benar-benar hilang menjadi panas akibat sifat listrik dari material (konduktor, transformator, dan peralatan lainnya), maupun energi yang tidak tercatat dengan benar akibat faktor administrasi dan operasional [14].

Susut daya pada sistem tenaga listrik terbagi menjadi susut teknis dan susut non-teknis. Susut teknis terjadi akibat rugi-rugi pada penghantar, transformator, dan peralatan lain karena resistansi dan impedansi material, di mana semakin besar arus dan panjang saluran maka semakin besar energi hilang dalam bentuk panas [15].

Adapun susut non-teknis muncul akibat faktor non-fisik yang berhubungan dengan aspek manajemen dan administrasi kelistrikan. Penyebab utamanya meliputi pencurian listrik (bypass meter, kWh meter ilegal, atau sambungan langsung), kesalahan pembacaan atau pencatatan meter, serta ketidakakuratan perhitungan tagihan [16]. Tidak seperti susut teknis yang dapat dihitung secara langsung, susut non-teknis ditentukan secara tidak langsung melalui selisih antara susut total dengan susut teknis. Besarnya rugi teknis dapat dihitung dengan persamaan.

$$P = I^2 \sqrt{3} \Delta V \quad (1)$$

$$P_{loss} = P_{in} - P_{out} \quad (2)$$

$$\Delta V = V_S - V_R (kV) \quad (3)$$

Keterangan:

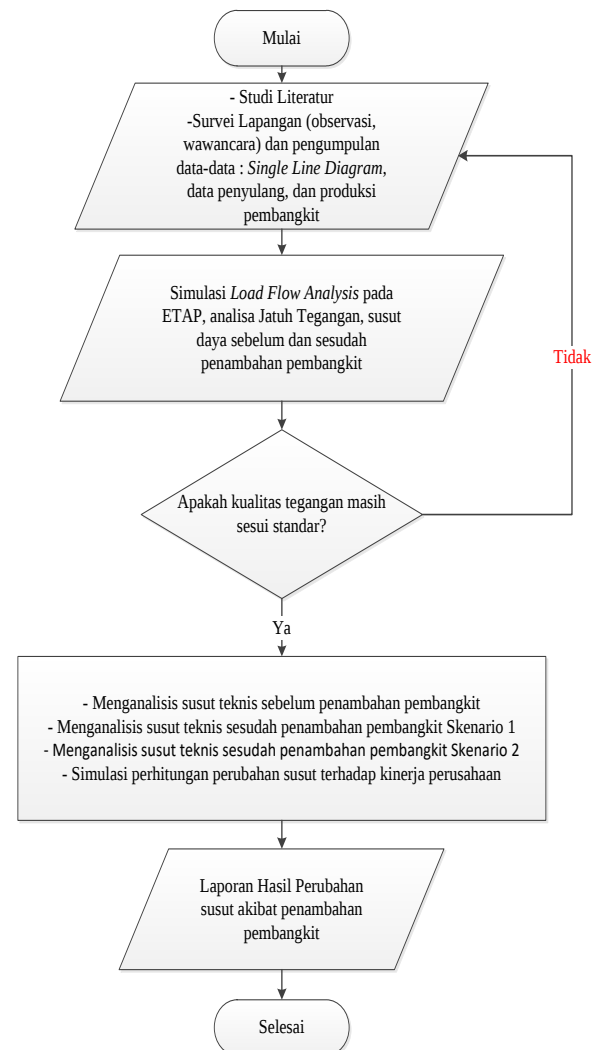
P : Daya (watt)
 I : Arus yang dilewati (A)
 R : Tahanan saluran (Ω /meter)
 ΔV : Jatuh tegangan (kV)
 V_S : tegangan sumber/kirim (kVs)
 V_R : Jatuh Tegangan (V)

3. METODE PENELITIAN

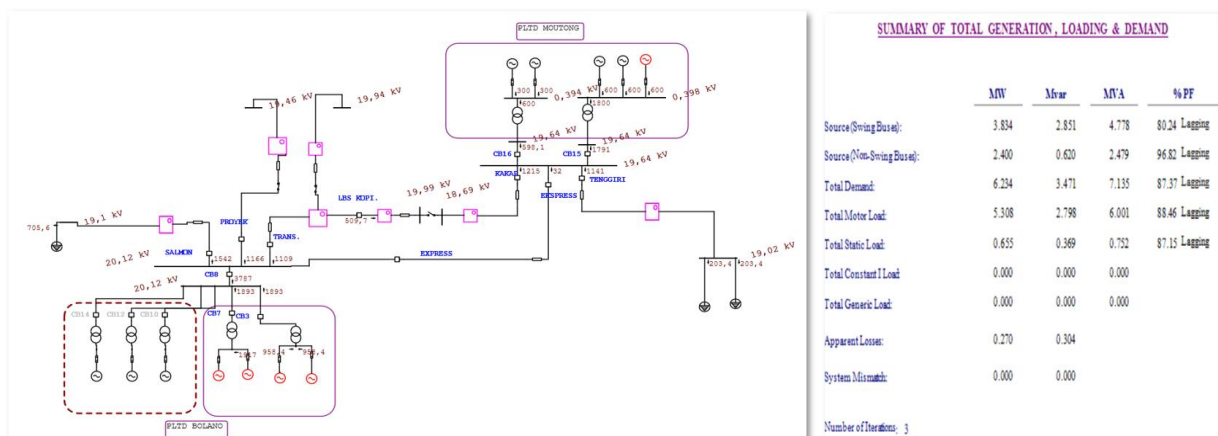
Lokasi penelitian secara umum dilakukan di PT. PLN (Persero) ULP Moutong, Jl. Trans Sulawesi desa Moutong Tengah kecamatan Moutong kabupaten Parigi Moutong pada bulan Desember 2023 sampai September 2024. Dalam penelitian ini terdapat beberapa tahapan yang dilakukan, yaitu:

- 1) Menghimpun data sistem kelistrikan Moutong, meliputi single line diagram (SLD) penyulang, panjang saluran, profil beban, jumlah pelanggan tiap penyulang, serta data peralatan seperti Load Break Switch (LBS) dan Recloser.
- 2) Mengumpulkan data operasional pembangkit, berupa produksi energi dan beban puncak dari PLTD Moutong dan PLTD Bolano.
- 3) Melakukan perhitungan aliran daya (load flow) dan rugi teknis pada sistem sebelum dan sesudah penambahan kapasitas pembangkit dengan menggunakan perangkat lunak ETAP.
- 4) Menganalisis pengaruh perubahan susut terhadap pencapaian target kinerja susut distribusi PT PLN (Persero) ULP Moutong.

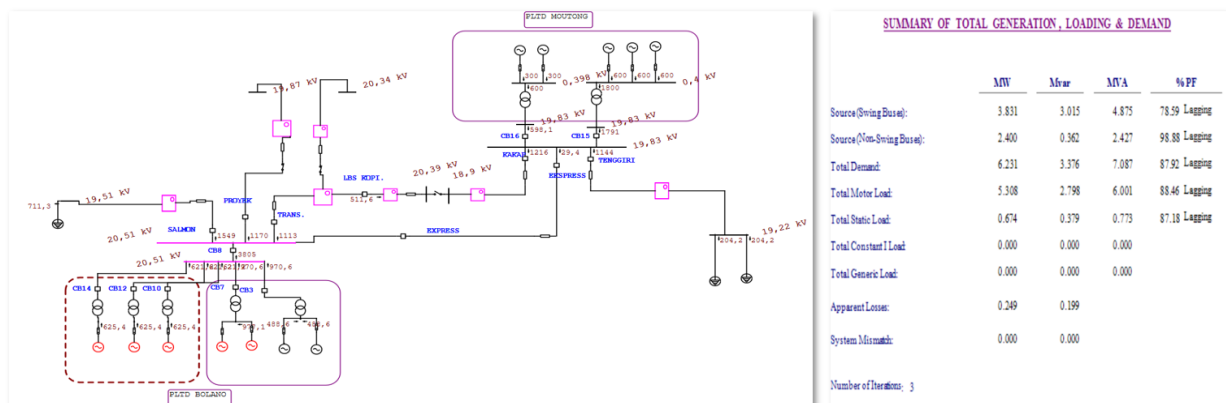
Alur penelitian ini dapat digambarkan dalam bentuk *flowchart* seperti pada gambar 2.



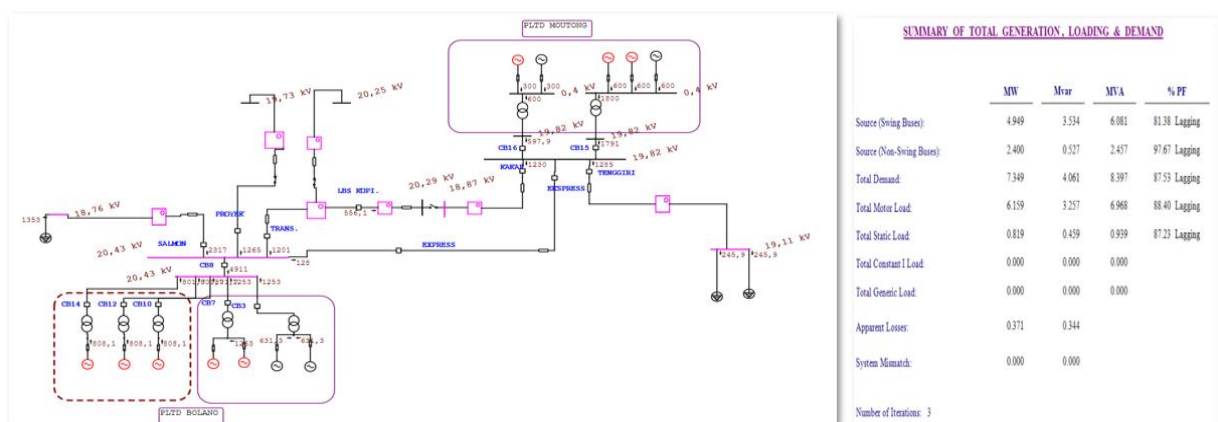
Gambar 2. Alur Penelitian



Gambar 3. Simulasi Sistem ULP Moutong Sebelum Penambahan Pembangkit



Gambar 4. Simulasi Sistem Isolated Moutong Sesudah Penambah Pembangkit Skenario 1



Gambar 5. Simulasi Sistem Isolated Moutong Sesudah Penambah Pembangkit Skenario 2

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Sistem Isolated Moutong-Kotaraya

Sistem Moutong berada di wilayah kerja PLN ULP Moutong dengan cakupan empat kecamatan, panjang penyulang 198,511 kms, dan enam penyulang yang terdiri dari konfigurasi radial, open loop, serta penyulang ekspres yang menghubungkan PLTD Moutong dan PLTD Bolano. Sistem ini terinterkoneksi dengan ULP Kotaraya melalui penyulang Salmon yang dapat dipisahkan dengan LBS Santiagi, dilengkapi kWh meter Exim untuk pencatatan energi.

Simulasi aliran daya dilakukan menggunakan ETAP 16.0.0 dengan model single line diagram sistem Moutong, memanfaatkan data beban puncak, data penyulang, gardu, aset, serta integrasi SCADA. Beban ke ULP Kotaraya diasumsikan sebagai beban statis, sedangkan penghantar yang digunakan bervariasi. Panjang penghantar setiap penyulang dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Penghantar Penyulang ULP Moutong

No	Penyulang	Panjang (kms)			Total
		A3C 35 mm ²	A3C 70 mm ²	A3CS 150 mm ²	
1	Santigi	-	25,42	-	25,42
2	Proyek	7,93	22,29	-	30,22
3	Trans	-	31,16	2,21	33,37
4	Ekspress	-	-	32,90	32,90
5	Kakap	-	54,18	-	54,18
6	Tenggiri	-	22,42	-	22,42
Total		7,93	155,47	35,11	198,51

4.2. Simulasi Sistem Isolated Moutong Sebelum Penambah Pembangkit

Berdasarkan simulasi aliran daya yang ditunjukkan pada gambar 3, sistem distribusi Moutong sebelum penambahan pembangkit masih beroperasi dalam batas standar tegangan dengan nilai tertinggi pada PLTD Bolano sebesar 20,12 kV dan terendah pada ujung penyulang Tenggiri sebesar 19,02 kV dan penyulang Kakap sebesar 18,70 kV, dimana tempat pelanggan tambak udang 2,2 MVA berada. Total beban yang disuplai tercatat sebesar 6.234 kW dengan rugi daya 270 kW atau setara 4,33%. Produksi PLTD Bolano

tercatat lebih besar, namun aliran daya pada feeder ekspres justru mengarah dari PLTD Moutong ke Bolano dengan beban sekitar 32 kW, yang berarti sebagian energi dari PLTD Moutong turut menyuplai kawasan sekitar Bolano. Tabel 2 dan 3 merupakan hasil data sistem sebelum penambahan pembangkit.

Tabel 2. Simulasi Sebelum Penambahan Pembangkit

NO	BUSBAR	TEGANGAN NOMINAL (KV)	TEGANGAN (KV)	TEGANGAN PU	DAYA AKTIF (KW)
1	PLTD Bolano	20	20,1	1,01	3.787,0
2	PLTD Moutong	20	19,6	0,98	2.389,1
3	Exim Kotaraya	20	19,1	0,96	705,6
4	LBS Wanamukti	20	19,6	0,98	514,2
5	Rec Anutapura	20	20,0	1,00	1.149,0
6	LBS Kopi	20	20,1	1,00	509,7
7	Rec Salumpengut	20	18,7	0,94	379,3
8	Rec Boloung	20	19,0	0,95	419,8
8	Ujung Peny. Proyek	20	19,5	0,97	
9	Ujung Peny. Trans	20	19,9	1,00	
10	Ujung Peny. Kakap	20	18,7	0,93	
11	Ujung Peny. Tenggiri	20	19,0	0,95	

Tabel 3. Rincian Beban Penyulang dan Gardu Sebelum Penambahan Pembangkit

NO	PENYULANG	SEBELUM PENAMBAHAN PEMBANGKIT			
		BEBAN PENYULANG (KW)	BEBAN GARDU (KW)	SUSUT (KW)	SUSUT (%)
1	Salmon	1.542	1.478	64	4,18%
2	Proyek	1.166	1.130	36	3,10%
3	Trans	1.109	1.097	12	1,09%
4	Kakap	1.215	1.155	60	4,96%
5	Tenggiri	1.141	1.105	36	3,18%
6	Ekspres	32	30	2	6,25%
TOTAL		6.205	5.994	211	3,40%

Penyebab utama tingginya susut adalah keterbatasan kapasitas penghantar yang digunakan. Sebagian besar jaringan masih memakai konduktor AAAC 70 mm² sepanjang 155,4 kms atau 78,31% dari total, sedangkan konduktor dengan penampang lebih besar, AAACS 150 mm², hanya digunakan pada penyulang Ekspres. Akibatnya, arus yang lebih tinggi harus dialirkan melalui penghantar berpenampang kecil sehingga rugi-rugi meningkat. Kondisi ini terlihat pada penyulang Kakap dengan susut tertinggi 4,96% dan penyulang Salmon sebesar 4,16%. Susut sebesar ini tergolong tinggi karena belum mencakup susut jaringan tegangan rendah (JTR) dan sambungan rumah (SR).

4.2. Simulasi Sistem Isolated Moutong Sesudah Penambah Pembangkit Skenario 1

Hasil simulasi menunjukkan tegangan masih dalam batas standar (+5% s.d -10% dari 20 kV), dengan nilai tertinggi di PLTD Bolano dan terendah di ujung penyulang Kakap (18,9 kV).

Rata-rata tegangan busbar meningkat sekitar 0,3 kV setelah penambahan pembangkit, dengan kenaikan terbesar pada ujung penyulang Trans sebesar 0,36 kV. Total beban tercatat 6.231 kW dengan rugi daya 249 kW atau 3,9%, lebih rendah dibanding kondisi sebelumnya. Susut tertinggi masih terjadi pada penyulang Kakap (4,94%) dan Salmon (4,11%), namun nilainya menurun. Meski demikian, hasil simulasi ini belum sepenuhnya merepresentasikan kondisi nyata karena setelah penambahan pembangkit terjadi perubahan pola operasi akibat pengoptimalan unit baru dan pemeliharaan mesin, yang juga memengaruhi aliran daya antar penyulang terutama Exim Moutong–Kotaraya. Tabel 4 dan 5 merupakan hasil data sistem setelah penambahan pembangkit skenario 1.

Tabel 4. Simulasi Setelah Penambahan Pembangkit Skenario 1

NO	BUSBAR	TEGANGAN NOMINAL (KV)	TEGANGAN (KV)	TEGANGAN PU	DAYA AKTIF (KW)
1	PLTD Bolano	20	20,5	1,03	3.805,0
2	PLTD Moutong	20	19,8	0,99	2.389,1
3	Exim Kotaraya	20	19,5	0,98	711,3
4	LBS Wanamukti	20	20,0	1,00	515,5
5	Rec Anutapura	20	20,3	1,02	1.152,0
6	LBS Kopi	20	20,4	1,02	511,2
7	Rec Salumpengut	20	18,9	0,95	379,8
8	Rec Boloung	20	19,2	0,96	421,2
8	Ujung Peny. Proyek	20	19,9	0,99	
9	Ujung Peny. Trans	20	20,3	1,02	
10	Ujung Peny. Kakap	20	18,9	0,95	
11	Ujung Peny. Tenggiri	20	19,2	0,96	

Tabel 5. Rincian Beban Penyulang dan Gardu Setelah Penambahan Pembangkit Skenario 1

NO	PENYULANG	SEBELUM PENAMBAHAN PEMBANGKIT			
		BEBAN PENYULANG (KW)	BEBAN GARDU (KW)	SUSUT (KW)	SUSUT (%)
1	Salmon	1.549	1.487	62	3,98%
2	Proyek	1.170	1.134	36	3,04%
3	Trans	1.113	1.101	12	1,05%
4	Kakap	1.216	1.157	59	4,86%
5	Tenggiri	1.144	1.108	36	3,18%
6	Ekspres	29	27	2	8,16%
TOTAL		6.221	6.015	207	3,33%

4.3. Simulasi Sistem Isolated Moutong Sesudah Penambah Pembangkit Skenario 2

Setelah penambahan pembangkit 3 MW di PLTD Bolano, beban puncak sistem Moutong–Kotaraya meningkat signifikan hingga mencapai 12,27 MW. Kondisi ini mengubah pola operasi, di mana sistem semakin bertumpu pada PLTD Bolano untuk menyuplai pusat beban di Moutong (32 km) dan Kotaraya (44,2 km). Hasil simulasi menunjukkan tegangan masih dalam batas standar (+5% s.d. -10%), dengan nilai tertinggi di PLTD Bolano sebesar

20,43 kV dan terendah di Exim Kotaraya sebesar 18,76 kV. Perubahan arah aliran feeder ekspres terjadi dari semula PLTD Moutong ke Bolano menjadi sebaliknya dengan beban 128 kW, sementara suplai dari ULP Moutong ke Kotaraya naik 2,5 kali lipat sehingga beban feeder Salmon bertambah 775 kW. Akibatnya, total beban tercatat 7.349 kW dengan rugi daya 371 kW atau 5,05%, lebih tinggi dibanding skenario sebelumnya, dengan susut terbesar terjadi pada penyulang Salmon (6,7%) karena beban meningkat dan penggunaan konduktor masih terbatas pada A3C 70 mm². Tabel 6 dan 7 merupakan hasil data sistem setelah penambahan pembangkit skenario 2.

Tabel 6. Simulasi Setelah Penambahan Pembangkit Skenario 2

NO	BUSBAR	TEGANGAN NOMINAL (KV)	TEGANGAN (KV)	TEGANGAN PU	DAYA AKTIF (KW)
1	PLTD Bolano	20	20,4	1,02	4.911,0
2	PLTD Moutong	20	19,8	0,99	2.388,9
3	Exim Kotaraya	20	18,8	0,94	1.353,0
4	LBS Wanamukti	20	19,8	0,99	563,9
5	Rec Anutapura	20	20,2	1,01	1.244,0
6	LBS Kopi	20	20,3	1,01	555,6
7	Rec Salumpengut	20	18,9	0,94	383,4
8	Rec Boloung	20	19,1	0,95	491,7
8	Ujung Peny. Proyek	20	19,7	0,99	
9	Ujung Peny. Trans	20	20,3	1,01	
10	Ujung Peny. Kakap	20	18,9	0,94	
11	Ujung Peny. Tenggiri	20	19,1	0,96	

Tabel 7. Rincian Beban Penyulang dan Gardu Setelah Penambahan Pembangkit Skenario 1

NO	PENYULANG	SEBELUM PENAMBAHAN PEMBANGKIT			
		BEBAN PENYULANG (KW)	BEBAN GARDU (KW)	SUSUT (KW)	SUSUT (%)
1	Salmon	2.317	2.162	155	6,70%
2	Proyek	1.265	1.222	43	3,39%
3	Trans	1.201	1.187	14	1,19%
4	Kakap	1.230	1.169	61	4,93%
5	Tenggiri	1.285	1.239	46	3,62%
6	Ekspres	128	123	5	3,83%
TOTAL		7.426	7.101	325	4,37%

4.4. Analisa Hasil Simulasi Aliran Daya Sebelum dan Sesudah Penambahan Pembangkit

Setelah penambahan pembangkit dan meningkatnya beban sistem, termasuk suplai ke Kotaraya, hasil simulasi menunjukkan adanya perubahan profil tegangan pada masing-masing bus. Secara umum, tegangan di busbar PLTD dan ujung penyulang mengalami peningkatan, misalnya di PLTD Bolano naik 0,31 kV dari 20,1 kV menjadi 20,4 kV. Namun, pada feeder Salmon (Exim Kotaraya) tegangan justru menurun sebesar 0,34 kV dari 19,1 kV menjadi 18,8 kV karena beban suplai menuju Kotaraya

meningkat signifikan. Kondisi ini menegaskan bahwa PLTD Bolano berperan sebagai pusat suplai utama pada skenario kedua, sedangkan distribusi energi ke Kotaraya memperberat beban penyulang tertentu. Tabel 8, 9 dan 10 merupakan hasil data perbandingan susut sistem sebelum dan sesudah penambahan pembangkit.

Tabel 8. Perbedaan Tegangan Sebelum dan Sesudah Penambahan Pembangkit

NO	BUSBAR	SEBELUM	SESUDAH	Δ Kv	SEBELUM	SESUDAH	Δ Kv
		TEGANGAN (KV)	SKENARIO 1 TEGANGAN (KV)		TEGANGAN (KV)	SKENARIO 2 TEGANGAN (KV)	
1	PLTD Bolano	20,1	20,5	0,39	20,4	0,31	
2	PLTD Moutong	19,6	19,8	0,19	19,8	0,18	
3	Exim Kotaraya	19,1	19,5	0,41	18,8	0,30	
4	LBS Wanamukti	19,6	20,0	0,32	19,8	0,19	
5	Rec Anutapura	20,0	20,3	0,32	20,2	0,22	
6	LBS Kopi	20,1	20,4	0,32	20,3	0,22	
7	Rec Salumpengut	18,7	18,9	0,20	18,9	0,15	
8	Rec Boloung	19,0	19,2	0,17	19,1	0,05	
8	Ujung Peny. Proyek	19,5	19,9	0,41	19,7	0,27	
9	Ujung Peny. Trans	19,9	20,3	0,40	20,3	0,31	
10	Ujung Peny. Kakap	18,7	18,9	0,21	18,9	0,18	
11	Ujung Peny. Tenggiri	19,0	19,2	0,20	19,1	0,09	

Tabel 9. Perbandingan Susut Sebelum dan Sesudah Penambahan Pembangkit

NO	PENYULANG	SEBELUM PENAMBAHAN PEMBANGKIT						SETELAH PENAMBAHAN PEMBANGKIT					
		SKENARIO 1			SKENARIO 2			SKENARIO 1			SKENARIO 2		
		BEBAN PENYULANG (KW)	BEBAN GARDU (KW)	SUSUT (%)	BEBAN PENYULANG (KW)	BEBAN GARDU (KW)	SUSUT (%)	BEBAN PENYULANG (KW)	BEBAN GARDU (KW)	SUSUT (%)	BEBAN PENYULANG (KW)	BEBAN GARDU (KW)	SUSUT (%)
1	Salmon	1.542	1.478	4,18%	1.549	1.487	3,98%	2.317	2.162	6,70%			
2	Proyek	1.166	1.130	3,10%	1.170	1.134	3,04%	1.265	1.222	3,39%			
3	Trans	1.109	1.097	1,09%	1.113	1.101	1,05%	1.201	1.187	1,19%			
4	Kakap	1.215	1.155	4,96%	1.216	1.157	4,86%	1.230	1.169	4,93%			
5	Tenggiri	1.141	1.105	3,18%	1.144	1.108	3,18%	1.285	1.239	3,62%			
6	Ekspres	32	30	6,25%	29	27	8,16%	128	123	3,83%			
TOTAL		6.205	5.994	3,40%	6.221	6.015	3,33%	7.426	7.101	4,37%			

Tabel 10. Rangkuman Susut Sistem Sebelum dan Sesudah Penambahan Pembangkit

NO	KONDISI	PRODUKSI (KW)	BEBAN (KW)	SUSUT (KW)	SUSUT (%)
1	Sebelum Penambahan Pembangkit	6.234	5.964	270	4,33%
2	Sesudah Penambahan Pembangkit Skenario 1	6.230	5.987	243	3,90%
3	Sesudah Penambahan Pembangkit Skenario 2	7.349	6.978	371	5,05%

Walaupun tambahan kapasitas pembangkit meningkatkan tegangan ujung penyulang, susut sistem justru cenderung naik akibat pertumbuhan beban dan konfigurasi jaringan yang tidak menyesuaikan dengan pola operasi baru. Hanya feeder Kakap yang menunjukkan penurunan susut sebesar 0,03%. Berdasarkan simulasi, susut sistem meningkat 0,72% dari 4,33% menjadi 5,05%. Angka ini berdampak besar pada kinerja PLN ULP Moutong karena setara dengan 6,58% dari target susut tahun 2024 sebesar 10,9%. Dengan realisasi siap salur tahun 2023 sebesar 32.117.404 kWh, tambahan susut ini ekuivalen dengan 230.351 kWh/tahun atau kerugian finansial sekitar Rp 921

juta/tahun (dengan BPP Rp 3.999/kWh), sehingga meski pembangkitan bertambah, keuntungan penjualan energi tidak meningkat secara proporsional.

4.4. Analisa Hasil Simulasi Aliran Daya Sebelum dan Sesudah Penambahan Pembangkit

Perhitungan susut teknis dan non-teknis di ULP Moutong dilakukan menggunakan aplikasi SIMPEL-S yang ditunjukkan pada gambar 5. Berdasarkan hasil perhitungan triwulan IV 2023 dan triwulan I 2024, susut teknis tercatat di kisaran 5,94%–6,38%, dihitung menggunakan parameter data aset distribusi, tahanan penghantar, faktor kerja, load factor, serta persentase pembebanan. Sementara itu, susut non-teknis diperoleh dari selisih susut total dengan susut teknis, di mana susut total dihitung menggunakan persamaan. Perhitungan susut non teknis merupakan pengurangan anantara kWh susut total dengan susut teknis. Susut total dihitung dengan rumus,

$$E_{\text{susut total}} = E_{\text{siap salur}} - \text{PSSD} - E_{\text{jual}}$$

$$E_{\text{susut total}} = 8.434.113,33 - 78.334,2 - 7.349.907,781$$

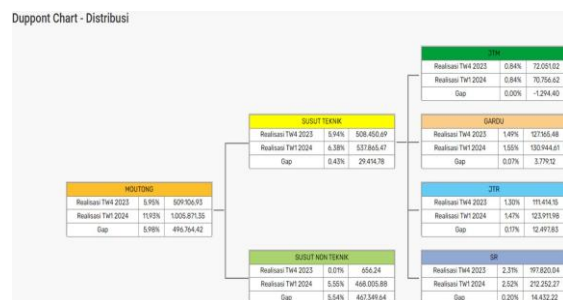
$$E_{\text{susut total}} = 1.005.871,35 \text{ kWh}$$

Sehingga susut non teknis dihitung dengan rumus:

$$E_{\text{susut non teknis}} = E_{\text{total}} - E_{\text{susut teknis}}$$

$$E_{\text{susut non teknis}} = 1.005.871,35 - 537.865,47$$

$$E_{\text{susut non teknis}} = 468.005,88 \text{ kWh}$$



Gambar 5. Duppon Chart Perhitungan Susut ULP Moutong

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa susut daya di PT PLN (Persero) ULP Moutong sebelum penambahan pembangkit sebesar 270 kW dengan beban 6.234 kW atau 4,33%, sedangkan setelah

penambahan pembangkit turun menjadi 243 kW (3,9%) pada skenario 1 namun naik menjadi 371 kW (5,05%) pada skenario 2, sehingga secara keseluruhan penambahan pembangkit dan perubahan pola operasi justru meningkatkan susut daya sebesar 0,86% atau setara 6,58% dari total target susut tahun 2024. Kondisi ini menunjukkan bahwa meskipun suplai daya mencukupi, perubahan konfigurasi dan pola operasi pembangkit menimbulkan kerugian energi yang lebih besar, terutama karena letak pembangkit tidak berada dekat pusat beban serta keterbatasan kapasitas penghantar. Oleh karena itu, disarankan adanya pengembangan jaringan khususnya pada backbone yang menghubungkan sistem Moutong–Kotaraya, serta dilakukannya studi lanjutan terkait pola operasi dan optimalisasi pembangkit agar efisiensi meningkat dan susut dapat ditekan sesuai target kinerja.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak terkait yang telah memberikan dukungan terhadap penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Y. Latif, A. W. Indrawan, N. A. Noor, and A. Rahmadani, "ANALISIS DAMPAK INTEGRASI GARDU INDUK MOUTONG TERHADAP DROP TEGANGAN SISTEM ISOLATED ULP KOTARAYA," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 13, no. 3, 2025.
- [2] C. I. Cahyadi, K. Atmia, and A. Fitriani, "Analisis Pengaruh Rugi-Rugi Daya Pada Jaringan Transmisi 150 kV Menggunakan Software Etap 12.6," *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 4, no. 2, pp. 126–130, Jul. 2022, doi: 10.37905/jjee.v4i2.13306.
- [3] A. Rahmadani and A. Fernandes, "RANCANG BANGUN KWH METER PORTABEL DENGAN FITUR TAGIHAN SUSULAN DAN PEMUTUS OTOMATIS BERBASIS IOT," *JATI (Jurnal Mhs. Tek. Inform.)*, vol. 9, no. 3, pp. 3849–3856, 2025.
- [4] Y. Patasik, A. R. Sultan, A. R. Idris, and A. Rahmadani, "ANALISIS POLA OPERASI JARINGAN 20 KV PASCA BEROPERASINYA GARDU INDUK MOLIBAGU DI PLN UP3 KOTAMOBAGU," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 13, no. 3, 2025.
- [5] A. R. W. YANTI and R. Ratna, "PENGARUH KENAIKAN TARIF

- DASAR LISTRIK DAN MUTU PELAYANAN TERHADAP KEPUASAN PELANGGAN PADA PT PLN-PERSERO (Studi kasus DesaBanda Masen kec. Banda Sakti Kota Lhokseumawe),” *J. Ekon. Indones.*, vol. 12, no. 2, pp. 25–36, 2023.
- [6] R. Sulistyowati, M. N. Ramadhan, T. Suheta, N. P. U. Putra, N. H. Rohiem, and I. Masfufiah, “Keandalan Sistem Distribusi 20KV Pada Penyulang Sistem Distribusi PT. PLN UP3 Surabaya Utara Dengan Metode Reliability Network Equivalent Approach (RNEA),” 2022.
- [7] P. Julianto, “REKONFIGURASI JARINGAN PADA SISTEM DISTRIBUSI RADIAL UNTUK MEREDUKSI RUGI-RUGI DAYA MENGGUNAKAN ALGORITMA GENETIKA ADAPTIF,” *Elektr. Borneo*, vol. 9, no. 1, Apr. 2023, doi: 10.35334/eb.v9i1.3578.
- [8] J. Hamilton, M. Negnevitsky, and X. Wang, “The role of modified diesel generation within isolated power systems,” *Energy*, vol. 240, p. 122829, 2022.
- [9] A. F. Othman, M. L. Othman, M. Z. A. Ab Kadir, N. Izzri, A. Wahab, and A. A. Z. Abidin, “Optimizing Voltage Profile and Mitigating Power Losses in Distribution Network Reconfiguration Via the Integration of Distributed Generation Penetration in Malaysia,” *network*, vol. 133, no. 1, pp. 120–134, 2025.
- [10] N. B. Alnavis, R. R. Wirawan, K. I. Solihah, and V. H. Nugroho, “Energi listrik berkelanjutan: Potensi dan tantangan penyediaan energi listrik di Indonesia,” *J. Innov. Mater. Energy, Sustain. Eng.*, vol. 1, no. 2, 2024.
- [11] M. J. B. Kabeyi, A. O. Oludolapo, and H. Teresa, “Performance analysis of diesel engine power plants for grid electricity supply,” in *31st annual Southern African institute for Industrial Engineering conference, South Africa, 5th*, 2020, no. 31, pp. 236–250.
- [12] R. Akbar, M. R. A. Miming, Y. Sukmono, and M. Hanafi, “Peranan Heat Recovery Steam Generator (HRSG) pada Pembangkit Listrik PLTGU,” *J. Tek. Ind.*, vol. 3, no. 1, pp. 31–38, 2025.
- [13] M. Makkiabadi *et al.*, “Performance evaluation of solar power plants: A review and a case study,” *Processes*, vol. 9, no. 12, p. 2253, 2021.
- [14] N. Soedjarwanto, A. Z. Kurniawan, and S. A. Aulia, “ANALISIS PENGARUH ARUS BEBAN DAN KEKENDORAN KONEKTOR TERHADAP TEGANGAN JATUH (VOLTAGE DROP),” *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 12, no. 2, Apr. 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i2.4070.
- [15] R. F. Ariyanti and Y. Widharto, “Identifikasi Penyebab Susut Energi Listrik PT PLN (Persero) Area Semarang Menggunakan Metode Failure Mode \& Effect Analysis (FMEA),” *Ind. Eng. Online J.*, vol. 8, no. 1, 2019.
- [16] F. Surusa, Q. Aini, A. I. Pratiwi, and Y. Mohamad, “Analisis Susut Non Teknis Akibat Gangguan pada kWh Meter PT. PLN UP3 Gorontalo,” *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 6, no. 1, pp. 32–38, 2024.