

Studi Susut Daya dan Tegangan Pada Penyulang Rijali Kota Ambon

Vicky Salamena¹, Pelpinus Sinay², Soleman Sesa³

[Submission: 05-06-2026, Accepted: 06-06-2026]

Abstract— The electric power distribution system plays an important role in maintaining the quality of electrical energy delivery to consumers. One of the main parameters determining the quality of a distribution system is the magnitude of power losses and voltage drops occurring in the primary distribution network. This study aims to analyze power losses, voltage drops, and power distribution efficiency in the OG_RIJALI feeder in Ambon City based on the actual operating conditions of the 20 kV distribution network.

The research method employs a theoretical calculation approach based on line impedance parameters, including resistance, reactance, conductor length, load current, and power factor in each feeder segment. This study also evaluates the voltage profile and distribution efficiency level according to the SPLN 72:1987 standard. The research data were obtained from technical documentation and operational data of PLN UP3 Ambon.

The results show that the total apparent power loss in the OG_RIJALI feeder is 91.35 kVA, with active power losses of 50.01 kW and reactive power losses of 76.44 kVAr, while the total transmitted power is 8,112 kVA. The percentage of active power losses to total power is only 0.77%, while apparent power losses are 1.13% and reactive power losses are 1.57%, all of which remain below the technical loss limits specified by the SPLN standard. The largest voltage drop occurs in the initial feeder segment due to the high load current; however, the voltage profile at all buses remains within the tolerance limit of $\pm 5\%$ of the nominal 20 kV voltage. This study contributes by providing an evaluation of distribution efficiency based on actual power loss profiles in the Ambon City distribution network, as well as technical recommendations to improve network efficiency through conductor cross-sectional optimization, phase load balancing, and reactive power compensation.

Intisari— Sistem distribusi tenaga listrik memegang peranan penting dalam menjaga kualitas penyaluran energi listrik kepada konsumen. Salah satu parameter utama yang menentukan kualitas sistem distribusi adalah besarnya rugi daya dan susut tegangan pada jaringan distribusi primer. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis rugi daya, rugi tegangan, serta

Metode penelitian menggunakan pendekatan analisis perhitungan teoritis berbasis parameter impedansi saluran, meliputi tahanan, reaktansi, panjang penghantar, arus beban, dan faktor daya pada setiap segmen penyulang. Penelitian ini juga mengevaluasi profil tegangan jaringan dan tingkat efisiensi penyaluran berdasarkan standar SPLN 72:1987. Data penelitian

diperoleh dari dokumentasi teknis dan data operasi PLN UP3 Ambon.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa total rugi daya semu pada penyulang OG_RIJALI sebesar 91,35 kVA, rugi daya aktif sebesar 50,01 kW, dan rugi daya reaktif sebesar 76,44 kVAr dengan total daya tersalur sebesar 8.112 kVA. Persentase rugi daya aktif terhadap total daya hanya sebesar 0,77%, sedangkan rugi daya semu sebesar 1,13% dan rugi daya reaktif sebesar 1,57%, yang masih berada di bawah batas rugi teknis jaringan distribusi menurut standar SPLN. Penurunan tegangan terbesar terjadi pada segmen awal penyulang akibat arus beban yang tinggi, namun profil tegangan seluruh bus masih berada pada batas toleransi $\pm 5\%$ dari tegangan nominal 20 kV.

Penelitian ini memberikan kontribusi berupa evaluasi efisiensi distribusi berbasis profil rugi daya aktual pada jaringan distribusi Kota Ambon serta rekomendasi teknis untuk peningkatan efisiensi jaringan melalui optimalisasi penampang konduktor, penyeimbangan beban antar fasa, dan kompensasi daya reaktif [20].

Kata kunci: rugi daya; rugi tegangan; efisiensi jaringan; distribusi 20 kV; penyulang OG_RIJALI.

I. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan utama dalam kehidupan manusia modern. Hampir seluruh aktivitas ekonomi, industri, pemerintahan, dan rumah tangga bergantung pada pasokan energi listrik yang andal dan berkualitas. Oleh karena itu, sistem tenaga listrik harus dirancang dan dioperasikan dengan efisien agar energi listrik dapat disalurkan dari pusat pembangkit ke konsumen dengan kerugian (*losses*) yang sekecil mungkin. Sistem distribusi tenaga listrik merupakan bagian penting dalam sistem tenaga listrik yang berfungsi menyalurkan energi listrik dari gardu induk menuju konsumen. Kualitas sistem distribusi dipengaruhi oleh beberapa parameter teknis seperti rugi daya (*power losses*), susut tegangan (*voltage drop*), faktor daya, dan efisiensi jaringan distribusi [1], [2]

Sistem tenaga listrik secara umum terdiri atas tiga bagian utama, yaitu pembangkit (*generation*), transmisi (*transmission*), dan distribusi (*distribution*) [22]. Dari ketiganya, sistem distribusi memiliki peran penting karena merupakan tahap akhir yang menyalurkan daya listrik langsung ke konsumen. Kualitas pelayanan energi listrik kepada pelanggan sangat dipengaruhi oleh kinerja sistem distribusi, khususnya dari sisi rugi daya (*losses*) dan susut tegangan (*voltage drop*) yang terjadi sepanjang jaringan. Dalam proses penyaluran energi listrik, sebagian daya hilang akibat adanya impedansi (resistansi dan reaktansi) pada penghantar. Besarnya rugi daya

p-ISSN:1693 – 2951; e-ISSN: 2503-2372

^{1,2,3}Dosen, Jurusan Teknik Elektro, Jalan Ir.M Putuhena Wailela, Rumahtiga - Ambon 97234 (telp:0911-322714; e-mail: vickysalamena@gmail.com), nus_sinay20@gmail.com, solemansesa@gmail.com



ini dipengaruhi oleh panjang saluran, ukuran konduktor, besar arus, dan faktor daya beban. Rugi daya yang terlalu besar tidak hanya menyebabkan penurunan efisiensi sistem, tetapi juga menurunkan kualitas tegangan di sisi pelanggan. Oleh karena itu, analisis terhadap rugi daya dan rugi tegangan menjadi hal penting dalam evaluasi kinerja sistem distribusi. Penelitian terkait analisis rugi daya pada jaringan distribusi telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya. Dasman [3] menganalisis rugi-rugi daya dan drop voltage pada jaringan distribusi 20 kV GH Lubuk Gadang Muaralabuh. Afiditus dkk. [4] melakukan perhitungan rugi-rugi daya dan energi listrik pada jaringan distribusi tegangan menengah PT PLN ULP Nanga Pinoh. Binilang dkk. [5] juga melakukan studi analisis rugi daya pada saluran distribusi primer 20 kV di Kota Tahuna.

Dalam proses penyaluran energi listrik, sebagian daya hilang akibat adanya impedansi (resistansi dan reaktansi) pada penghantar. Besarnya rugi daya ini dipengaruhi oleh panjang saluran, ukuran konduktor, besar arus, dan faktor daya beban. Rugi daya yang terlalu besar tidak hanya menyebabkan penurunan efisiensi sistem, tetapi juga menurunkan kualitas tegangan di sisi pelanggan. Oleh karena itu, analisis terhadap rugi daya dan rugi tegangan menjadi hal penting dalam evaluasi kinerja sistem distribusi.

Penyalur OG_RIJALI merupakan salah satu jaringan distribusi tegangan menengah 20 kV di Kota Ambon yang menyalurkan energi listrik dari PLTD Hative ke berbagai jenis beban seperti perumahan, fasilitas umum, dan beban komersial. Seiring pertumbuhan kebutuhan energi listrik, beban pada penyalur ini meningkat dan berpotensi menambah rugi daya serta menurunkan profil tegangan di jaringan.

Berbagai penelitian sebelumnya telah membahas analisis rugi daya dan susut tegangan pada jaringan distribusi tenaga listrik. Dasman [3] menjelaskan bahwa rugi daya pada jaringan distribusi dipengaruhi oleh impedansi penghantar, panjang saluran, dan besarnya arus beban. Afiditus dkk. [4] juga menunjukkan bahwa peningkatan pembebanan pada jaringan distribusi 20 kV dapat meningkatkan rugi-rugi teknis dan menurunkan efisiensi penyaluran daya. Penelitian Binilang dkk. [5] menemukan bahwa distribusi beban yang tidak merata menyebabkan peningkatan rugi daya pada penyalur distribusi primer. Selain itu, penelitian Putra dan Manuaba [6] menekankan pentingnya efisiensi sistem tenaga listrik dan monitoring parameter distribusi dalam menjaga kualitas penyaluran energi listrik. Penelitian tersebut menjelaskan bahwa implementasi *Advanced Metering Infrastructure* (AMI) mampu meningkatkan akurasi monitoring energi dan mendukung efisiensi sistem distribusi tenaga listrik. Penelitian lain oleh Hasibuan dkk. [7] menunjukkan bahwa sistem monitoring tegangan berbasis *Internet of Things* (IoT) sangat membantu dalam evaluasi kualitas tegangan dan kontinuitas suplai daya pada sistem tenaga listrik.

Namun demikian, sebagian besar penelitian terdahulu diantaranya Rahman dan Prasetyo [8]; Wijaya dkk. [9]; Siregar dan Nugroho [14] masih berfokus pada perhitungan rugi daya secara umum dan belum mengintegrasikan evaluasi profil tegangan, efisiensi penyaluran daya, serta karakteristik pembebanan aktual pada penyalur distribusi perkotaan dengan variasi beban komersial dan rumah tangga yang tinggi. Selain itu, penelitian mengenai evaluasi rugi daya pada sistem distribusi di wilayah kepulauan seperti Kota Ambon masih

relatif terbatas. Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini memiliki novelty berupa analisis terintegrasi antara rugi daya, rugi tegangan, profil tegangan bus, serta evaluasi efisiensi penyaluran daya pada penyalur OG_RIJALI berdasarkan kondisi aktual operasi jaringan distribusi 20 kV di Kota Ambon.

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis rugi daya dan rugi tegangan pada penyalur OG_RIJALI dengan mempertimbangkan kondisi operasi aktual berdasarkan data beban, panjang saluran, dan jenis konduktor. Analisis ini diharapkan dapat memberikan gambaran efisiensi penyaluran daya serta menjadi bahan pertimbangan dalam upaya peningkatan keandalan dan kualitas sistem distribusi tenaga listrik di wilayah kerja PLN Kota Ambon.

Tujuan dari penelitian ini adalah:

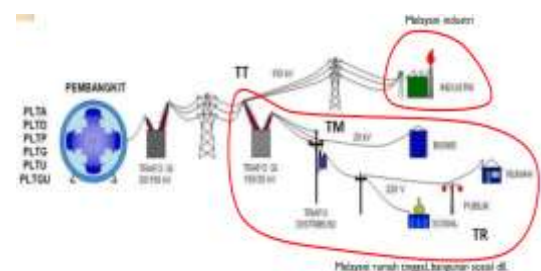
1. Menghitung besar rugi daya dan rugi tegangan pada setiap segmen saluran penyalur OG_RIJALI.
2. Menentukan persentase rugi daya total terhadap daya beban yang disalurkan.
3. Mengevaluasi kondisi profil tegangan dan efisiensi sistem distribusi.

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi teknis bagi peningkatan efisiensi sistem distribusi, seperti pemilihan ukuran konduktor yang sesuai, pengaturan pembebanan, serta perbaikan faktor daya untuk meminimalkan rugi daya dan menjaga kualitas tegangan pada jaringan distribusi.

II. STUDI PUSTAKA

A. Section Distribusi Tenaga Listrik

Sistem distribusi tenaga listrik merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan energi listrik ke berbagai konsumen dengan beban listrik yang bervariasi kapasitas serapan daya listriknya. Energi listrik dibangkitkan oleh generator di stasiun pembangkit kemudian disalurkan ke pelanggan (beban) melalui saluran transmisi yang membawa daya besar, kemudian dilanjutkan ke sistem distribusi untuk di bagikan ke setiap beban. Saluran transmisi yang mempunyai tegangan tinggi (TT) 150kV diturunkan menjadi tegangan menengah (TM) 20kV. Tegangan 20kV adalah saluran distribusi primer yang selanjutnya mendistribusikan energi listrik ke konsumen [10]. Efisiensi jaringan distribusi merupakan perbandingan antara daya yang diterima beban terhadap daya yang dikirimkan dari sumber. Nilai efisiensi dipengaruhi oleh rugi-rugi teknis pada penghantar distribusi [11], [8].



Gambar 1. Sistem Tenaga Listrik

Beban yang dilayani oleh sistem distribusi adalah beban berdaya besar seperti industri dan beban berdaya sedang dan kecil seperti perkantoran, swalayan dan pemukiman (beban komersial).

B. Rugi/Susut Daya

Rugi atau susut daya pada jaringan merupakan daya yang diserap oleh impedansi penghantar di jaringan distribusi sehingga daya yang diterima oleh pelanggan lebih kecil dari daya yang di berikan oleh sumber di gardu hubung. Ada rugi teknis dan rugi non-teknis, rugi non-teknis adalah rugi akibat prosedur administratif seperti kesalahan pencatatan sedangkan rugi teknis adalah jarak penyulang dari sumber ke konsumen yang cukup jauh, kebocoran pada isolator dan juga proses penuaan peralatan. Rugi daya pada jaringan distribusi dipengaruhi oleh tahanan penghantar dan besarnya arus yang mengalir pada saluran. Secara matematis rugi daya dapat dihitung menggunakan persamaan I²R [2], [12].

Dalam penyaluran daya listrik terjadi kerugian pada penghantar disaluran distribusi. Penghantar mempunyai nilai impedansi (resistif, dan reaktif,), kedua nilai ini sebanding dengan panjang penghantar [10]. Jika pada penghantar tersebut mengalir arus maka rugi daya dinyatakan dalam persamaan (1).RX

$$S_{d,1\phi} = V_d \cdot I_s^* = |S_{d,1\phi}| \angle \delta = P_{d,1\phi} + jQ_{d,1\phi}, \text{ sistem 1 fasa} \quad (1)$$

$$S_{d,3\phi} = 3 \cdot V_d \cdot I_s^* = |S_{d,1\phi}| \angle \delta = P_{d,3\phi} + jQ_{d,3\phi}, \text{ sistem 3 fasa} \quad (2)$$

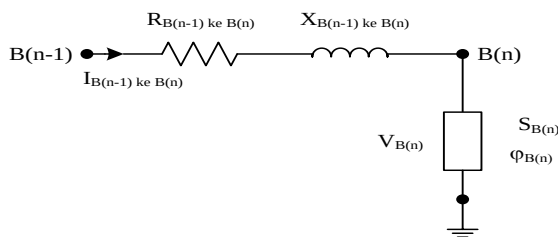
dengan:

- S_d : rugi daya semu di saluran,
- V_d : rugi tegangan di saluran,
- I_s^* : arus beban pada segmen saluran,
- P_d : rugi daya nyata di saluran,
- Q_d : rugi daya reaktif di saluran,
- δ : sudut fasa rugi day semu.

Perhitungan susut tegangan pada saluran distribusi tegangan menengah 20kV 3 fasa diperoleh dengan model rangkaian sebagai berikut,

a. Rangkaian beban ujung saluran

Beban ujung saluran dapat dimodelkan seperti Gambar 2.



Gambar 2 Model rangkaian beban ujung saluran

Arus yang mengalir di saluran B(n-1) ke B(n) adalah arus yang mengalir di beban S(n), dinyatakan dalam persamaan (3).

Vicky Salamena: Studi Susut Daya dan

$$I_{B(n-1)-B(n)} = \frac{S_{B(n)} \angle \phi_{B(n)}}{\sqrt{3} \cdot V_{B(n)} \angle 0^\circ}, \quad (3)$$

Rugi tegangan pada saluran B(n-1) ke B(n) adalah:

$$V_{B(n-1) \text{ ke } B(n)} = I_{B(n-1) \text{ ke } B(n)} \cdot Z_{B(n-1) \text{ ke } B(n)}, \\ = I_{B(n-1) \text{ ke } B(n)} \cdot (R_{B(n-1) \text{ ke } B(n)} + jX_{B(n-1) \text{ ke } B(n)}), \quad (4)$$

Rugi daya semu pada saluran B(n-1) ke B(n) adalah:

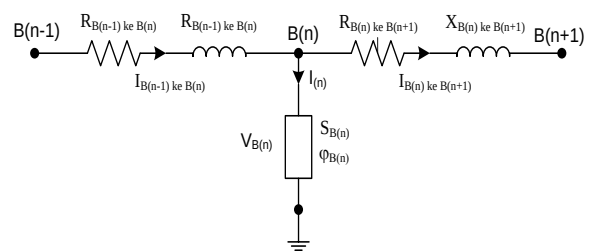
$$S_{B(n),1\phi} = V_{B(n-1) \text{ ke } B(n)} \cdot I_{B(n-1)-B(n)}, \text{ satu fasa} \quad (5)$$

$$S_{B(n),3\phi} = 3 \cdot V_{B(n-1) \text{ ke } B(n)} \cdot I_{B(n-1)-B(n)}, \text{ tiga fasa} \quad (6)$$

b. Susut daya dan tegangan di segmen saluran:

Susut tegangan (voltage drop) pada jaringan distribusi dipengaruhi oleh impedansi penghantar, panjang saluran, faktor daya, dan besar arus beban [13], [9]

Model dari beban rangkaian yang ada di segmen saluran seperti ditunjukkan dalam Gambar 3.



Gambar 3 Model rangkaian beban di segmen saluran

Arus yang mengalir di Saluran B(n-1) ke B(n) adalah:

$$I_{B(n-1) \text{ ke } B(n)} = I_{B(n) \text{ ke } B(n+1)} + \frac{S_{B(n)}^* \angle \phi_{B(n)}}{\sqrt{3} \cdot V_{B(n)} \angle 0^\circ}, \quad (7)$$

Sehingga rugi tegangan pada saluran B(n-1) ke B(n) akibat impedansi Saluran B(n-1) ke B(n) dengan menjadi,

$$V_{B(n-1) \text{ ke } B(n)} = I_{B(n-1) \text{ ke } B(n)} \cdot Z_{B(n-1) \text{ ke } B(n)}, \\ = I_{B(n-1) \text{ ke } B(n)} \cdot (R_{B(n-1) \text{ ke } B(n)} + jX_{B(n-1) \text{ ke } B(n)}),$$

Diperoleh rugi daya pada saluran B(n-1) ke B(n):

Daya semu:

$$S_{B(n-1) \text{ ke } B(n)} = V_{B(n-1) \text{ ke } B(n)} \cdot I_{B(n-1) \text{ ke } B(n)}^*,$$

Daya aktif:

$$P_{B(n-1) \text{ ke } B(n)} = S_{B(n-1) \text{ ke } B(n)} \cos \phi_{B(n-1) \text{ ke } B(n)},$$

Daya reaktif:

$$Q_{B(n-1) \text{ ke } B(n)} = S_{B(n-1) \text{ ke } B(n)} \sin \phi_{B(n-1) \text{ ke } B(n)},$$

III. METODOLOGI

Metode Penelitian menggunakan pendekatan analisis perhitungan teoritis berbasis parameter impedansi saluran yang meliputi tahanan,reaktansi,arus beban,factor daya,dan panjang penghantar sebagaimana digunakan dalam penelitian Siregar dan Nugroho [14], Dasman [3] dan Binilang dkk. [5].Penelitian ini bermaksud mengkaji rugi atau susut daya dan tegangan pada penyulang OG_RIJALI yang terdiri dari 18 bus beban yang



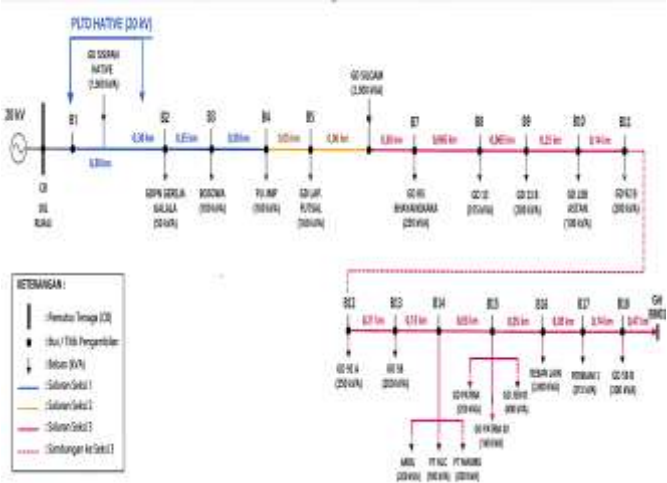
terpasang di penyulang tersebut. Untuk menyederhanakan rangkaian maka semua beban yang terhubung pada salah satu cabang (bus) dijumlahkan menjadi satu beban yang terhubung ke bus yang bersangkutan. Kemudian diasumsikan bahwa tegangan di setiap bus dipertahankan 20kV (fasa-fasa) dan faktor daya di tiap bus 0,8 lagging. Menghitung susut daya tegangan dilakukan pada setiap segmen secara terpisah. Aliran penelitian dapat ditunjukkan seperti Gambar 4.



Gambar 4. Bagan Alir Penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

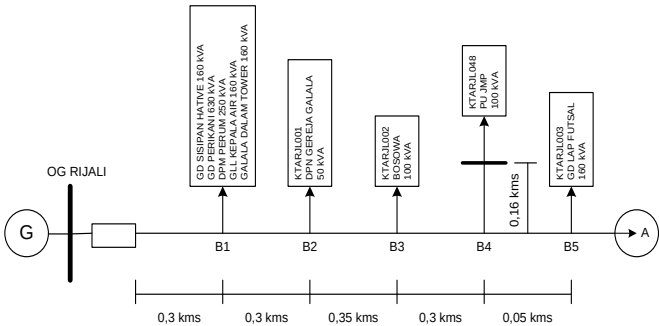
Penyulang Rijali Kota Ambon berawal dari stasiun pembangkit PLTD Hative di Desa Galala dan berakhir di Gardu Hubung BM01. Beban yang terhubung bervariasi yakni dari pemukiman sampai ke beban komersial. Diagram satu garis dari penyulang tersebut ditunjukkan oleh Gambar 5.



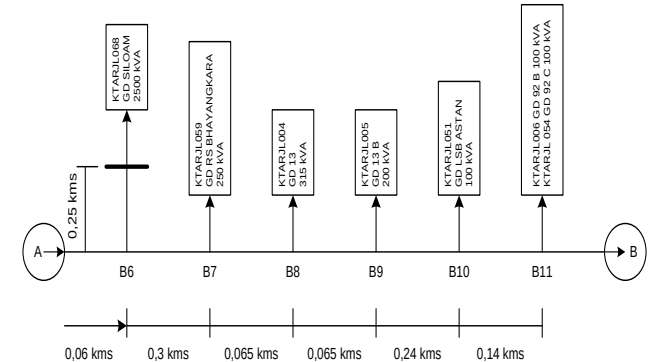
Gambar 5 Diagram satu garis penyulang Rijali Kota Ambon

Untuk mengkaji rugi daya dan rugi tegangan pada penyulang tersebut maka dilakukan penyederhanaan saluran dengan mengumpulkan beban-beban pada setiap pencahangan jaringan

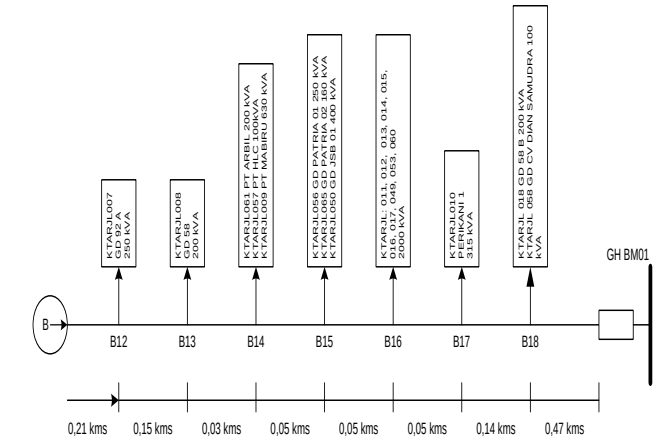
ketitik pengambilan pada penyulang tersebut. Beban-beban ini yang diwakili oleh kapasitas transformator distribusi dijumlahkan kemudian nilai kVA-nya di masukkan ke bus dimana cabang rangkaian itu diambil. Rangkaian penyederhanaan penyulang Rijali Kota Ambon ditunjukkan oleh Gambar 6.



(a) Saluran gardu OG Rjali – Gardu KTA Rijali 003



(b) Saluran Gardu KTA Rijali – Gardu KTA Rijali GD 92B



(c) Saluran Gardu KTA Rijal 001 – Gardu Hubung BM01

Gambar 6 Diagram penyederhanaan penyulang Rijali Kota Ambon

Setelah melakukan penyederhanaan rangkaian diperoleh daya dari setiap bus yang ada pada penyulang tersebut yang ditunjukkan oleh Tabel 1.

TABEL 1 DAYA DISETIAP BUS PENYULANG RIJALI KOTA AMBON

NO	BU S	BEBAN	DAYA [kVA]	
			UNIT	TOTAL

1	OG RIJALI			
2	B1	GD SISIPAN HATIVE	160	1360
		GD PERIKANI	630	
		DPM PERUM	250	
		GLL KEPALA AIR	160	
		GALALA DALAM TOWER	160	
3	B2	KTARJL 001 DPN GEREJA GALALA	50	50
4	B3	KTARJL 002 BOSOWA	100	100
5	B4	KTARJL 048 PU JMP	100	100
6	B5	KTARJL 003 GD LAP. FUTSAL	160	160
7	B6	KTARJL 068 GD SILOAM	250	2500
8	B7	KTARJL 058 GD RS BHAYANGKARA	250	250
9	B8	KTARJL 004 GD 13	315	315
10	B9	KTARJL 005 GD 13 B	200	200
11	B10	KTARJL 051 GD LSB ASTAN	100	100
12	B11	KTARJL 006 GD 92 B	100	200
		KTARJL 054 GD 92 C	100	
13	B12	KTARJL 007 GD 92 A	250	250
14	B13	KTARJL GD 58	200	200
15	B14	KTARJL 061 ARBIL	200	930
		KTARJL 057 PT HLC	100	
		KTARJL 009 PT MABIRU	630	
16	B15	KTARJL 056 GD PATRIA 01	250	810
		KTARJL 065 GD PATRIA 02	160	
		KTARJL 050 GD JSB 01	400	
17	B16	KTARJL: 011... 017, 049, 053, 060	200	2000
18	B17	KTARJL PERIKANI 1	315	315
19	B18	KTARJL 018 GD 58 B	200	300
		KTARJL 058 GD CV DIAN SAMUDRA	100	
20	GH BM01			

TOTAL
L 10.140

Aturan beban maksimum yang diizinkan mengacu pada standar perusahaan seperti SPLN D3.002-1:2007 (IEC 60076-1) [18] yang menetapkan batas beban transformator distribusi adalah 80% dari kapasitas transformator tersebut, sehingga besar nilai pembebanan untuk transformator distribusi disetiap bus ditunjukkan dalam Tabel 2.

TABEL 2 NILAI PEMBEBANAN DI SETIAP BUS

NO.	BUS	DAYA [kVA]	
		TRAFO	80%
1	OG RIJALI	-	-
2	B1	1.360,0	1.088,0
3	B2	50,0	40,0
4	B3	100,0	80,0
5	B4	100,0	80,0
6	B5	160,0	128,0
7	B6	2.500,0	2.000,0
8	B7	250,0	200,0
9	B8	315,0	252,0
10	B9	200,0	160,0
11	B10	100,0	80,0

12	B11	200,0	160,0
13	B12	250,0	200,0
14	B13	200,0	160,0
15	B14	930,0	744,0
16	B15	810,0	648,0
17	B16	2.000,0	1.600,0
18	B17	315,0	252,0
19	B18	300,0	240,0
20	GH BM01		-

Penghantar yang dipakai pada penyulang ini adalah kabel AAAC dengan tahanan (R) dan reaktansi (XL) penghantar pada tegangan 20 kV (SPLN 64:1985 [17]) dapat ditunjukkan pada Tabel 3.

TABEL 3 SPESIFIKASI PENGHANTAR AAAC TEGANGAN 20 kV

Luas Penampang (mm ²)	Jari ² (mm)	Urut	GMR (mm)	Impedansi urutan positif (ohm/km)	Impedansi urutan Nol (ohm/km)
16	2,2563	7	1,6380	2,0161 + j 0,4036	2,1641 + j 1,6911
25	2,8203	7	2,0475	1,2903 + j 0,3895	1,4384 + j 1,6770
35	3,3371	7	2,4227	0,9217 + j 0,3790	1,0697 + j 1,6665
50	3,9886	7	2,8957	0,6452 + j 0,3678	0,7932 + j 1,6553
70	4,7193	7	3,4262	0,4608 + j 0,3572	0,6088 + j 1,6447
95	5,4979	19	4,1674	0,3096 + j 0,3449	0,4876 + j 1,6324
120	6,1791	19	4,6837	0,2688 + j 0,3376	0,4168 + j 1,6324
150	6,9084	19	5,2365	0,2162 + j 0,3305	0,3631 + j 1,6180
185	7,6722	19	5,8155	0,1744 + j 0,3239	0,3224 + j 1,6114
240	8,7386	19	6,6238	0,1344 + j 0,3158	0,2824 + j 1,6034

Sumber: PLN. SPLN 64:1985 tentang Konduktor AAAC untuk Jaringan Distribusi Tegangan Menengah [17]

Sesuai dengan data penghantar AAAC pada Tabel 3 dan panjang penghantar segmen penyulang antar bus disajikan pada Tabel 4.

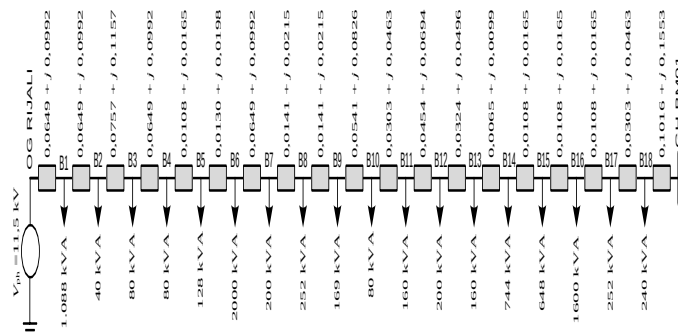
TABEL 4 NILAI IMPEDANSI SEGMENT PENGHANTAR ANTAR BUS

NO	SALURAN	PANJANG (kms)	KABEL AAAC-S: 150mm ²		
			R	X	Z
1	OG RIJALI - B1	0,300	0,0649	0,0992	0,1185



2	B1 - B2	0,300	0,0649	0,0992	0,1185
3	B2 - B3	0,350	0,0757	0,1157	0,1382
4	B3 - B4	0,300	0,0649	0,0992	0,1185
5	B4 - B5	0,050	0,0108	0,0165	0,0197
6	B5 - B6	0,060	0,0130	0,0198	0,0237
7	B6 - B7	0,300	0,0649	0,0992	0,1185
8	B7 - B8	0,065	0,0141	0,0215	0,0257
9	B8 - B9	0,065	0,0141	0,0215	0,0257
10	B9 - B10	0,250	0,0541	0,0826	0,0987
11	B10 - B11	0,140	0,0303	0,0463	0,0553
12	B11 - B12	0,210	0,0454	0,0694	0,0829
13	B12 - B13	0,150	0,0324	0,0496	0,0592
14	B13 - B14	0,030	0,0065	0,0099	0,0118
15	B14 - B15	0,050	0,0108	0,0165	0,0197
16	B15 - B16	0,050	0,0108	0,0165	0,0197
17	B16 - B17	0,050	0,0108	0,0165	0,0197
18	B17 - B18	0,140	0,0303	0,0463	0,0553
19	B18 - GH BM01	0,470	0,1016	0,1553	0,1856

Untuk menganalisis penyulang Rijali Kota Ambon menggunakan data pada Gambar 6, Tabel 2, dan Tabel 4, dapat disusun rangkaian ekuivalen penyulang tersebut seperti digambarkan pada Gambar 7.

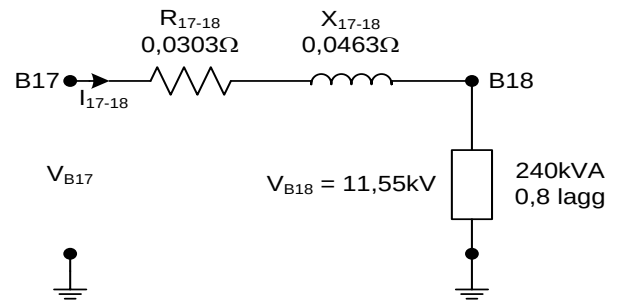


Gambar 7 Rangkaian ekuivalen penyulang Rijali Kota Ambon

Selanjutnya untuk menghitung rugi daya dan tegangan pada saluran penyulang Rijali Kota Ambon dilakukan asumsi sebagai berikut:

1. Pada Bus GH-BM01 CB posisi terbuka sehingga tidak ada beban pada Bus tersebut.
2. Tegangan fasa-fasa diukur pada Bus GH-BM01 (*bus receive*) 20 kV.
3. Drop tegangan disetiap bus pada sisi tegangan rendah (TR) transformator distribusi diantisipasi dengan perubahan tap trafo sehingga tegangan sekunder transformator distribusi (TR) ada pada nilai nominal sehingga penyaluran dayanya ke pelanggan juga bernilai nominal kapasitas transformator (80% dari rating transformator).
4. Untuk menghitung arus pada bus bersangkutan menggunakan daya tiga fasa setiap bus dan tegangan TM-nya yaitu 20kV.
5. Faktor daya di setiap bus 0,8 tertinggal Standar SPLN No. 72: 1987 [16].

Untuk menghitung rugi daya dan tegangan pada Saluran17-18 model perhitungan ditunjukkan oleh Gambar 8.



Gambar 8 Model rangkaian beban Bus 18 dan saluran 17 – 18.

Daya beban pada Bus 18 adalah,

$S_{3\phi} = 240 \text{ kVA}$ dan $\cos \varphi = 0,8$, sehingga dalam bentuk bilangan kompleks adalah:

$$S_{3\phi} = 240 \angle (\cos^{-1} 0,8) = 240 \angle 36,87^\circ \text{ kVA, atau}$$

$$S_{3\phi} = 240 (\cos 36,87^\circ + j \sin 36,87^\circ) = 192 + j194 \text{ kVA,}$$

Dengan asumsi tegangan fasa-fasa Bus 18 $V_{B18} = 20 \text{ kV}$, maka arus yang mengalir pada saluran 17-18 adalah:

$$I_{17-18} = \frac{S_{B18} \angle \varphi_{B18}}{\sqrt{3} \cdot V_{B18}} = \frac{240 \angle -36,87^\circ}{\sqrt{3} \cdot 20 \angle 0^\circ} = 5,54 - j4,16 \text{ A} =$$

$$6,93 \angle -36,87^\circ \text{ A,}$$

Dengan diketahui resistans dan reaktansi saluran 17-18 maka impedansi saluran 17-18:

$$Z_{17-18} = R_{17-18} + jX_{17-18} = 0,0303 + j0,0463 \Omega, \text{ atau}$$

$$Z_{17-18} = \sqrt{(R_{17-18})^2 + (X_{17-18})^2} \angle \tan^{-1} \left(\frac{X_{17-18}}{R_{17-18}} \right),$$

$$= \sqrt{0,0303^2 + 0,0463^2} \angle \tan^{-1} \left(\frac{0,0463}{0,0303} \right) =$$

$$0,0553 \angle 56,81^\circ \Omega,$$

Tegangan saluran 17-18 adalah:

$$V_{B17-18} = I_{17-18} \cdot Z_{17-18} = 6,93 \angle -36,87^\circ \cdot$$

$$0,0553 \angle 56,81^\circ = 0,38 \angle 19,94^\circ \text{ V, (tegangan per fasa)}$$

Rugi daya semu pada saluran G_RIJALI – B1 diperoleh sebagai berikut,

$$S_{sal:G_RIJALI-B1} = V_{G_RIJALI-B1} \cdot I_{G_RIJALI-B1}^*$$

$$= 0,38 \cdot 10^{-3} \angle 19,94^\circ \cdot 6,93 \angle -36,8^\circ$$

$$= 0,01 \angle -16,93^\circ \text{ Kva}$$

Rugi daya nyata,

$$P_{sal:G_RIJALI-B1} =$$

$$S_{sal:G_RIJALI-B1} \cos \varphi_{sal:G_RIJALI-B1} = 0,01 \cos -16,93^\circ =$$

$$0,01 \text{ kW,}$$

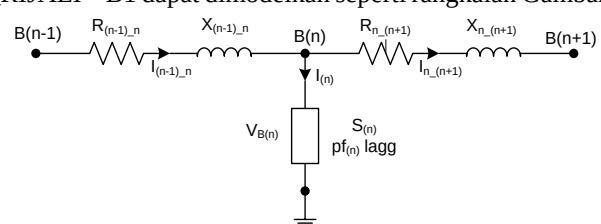
Rugi daya reaktif,

$$Q_{sal:G_RIJALI-B1} =$$

$$S_{sal:G_RIJALI-B1} \sin \varphi_{sal:G_RIJALI-B1} = 0,01 \sin -16,93^\circ =$$

$$0,0069 \text{ kW,}$$

Untuk saluran 16 – 17 sampai dengan saluran G_RIJALI – B1 dapat dimodelkan seperti rangkaian Gambar 9.



Gambar 9 Model rangkaian beban Bus 17 s/d Bus G_RIJALI

Saluran 16-17:

$n = 17$, dan $n - 1 = 16$

Arus yang mengalir di Saluran 16 – 17 adalah:

$$I_{16-17} = I_{17-18} + \frac{S_{B17} \angle \varphi_{B17}}{\sqrt{3} \cdot V_{17} \angle 0^\circ} = 6,93 \angle -36,87^\circ + \frac{252 \angle -36,87^\circ}{\sqrt{3} \cdot 20 \angle 0^\circ} = 14,20 \angle -36,87^\circ \text{ A,}$$

Sehingga rugi tegangan pada saluran 16 – 17 akibat impedansi Saluran 16 – 17 dengan menjadi,

$$V_{16-17} = I_{16-17} \cdot Z_{16-17} = 14,20 \angle -36,87^\circ \cdot 0,0197 \angle 56,81^\circ = 0,28 \angle 19,94^\circ \text{ V,}$$

Diperoleh rugi daya pada saluran 16 – 17:

Daya semu:

$$S_{sal:16-17} = V_{16-17} \cdot I_{16-17}^* = 0,28 \cdot 10^{-3} \angle 19,94^\circ \cdot 14,20 \angle 36,87^\circ = 0,01 \angle 56,81^\circ \text{ kVA,}$$

Daya aktif:

$$P_{sal:16-17} = S_{sal:16-17} \cos \varphi_{sal:16-17} = 0,01 \cos 41,39^\circ = 0,0069 \text{ kW,}$$

Daya reaktif:

$$Q_{sal:16-17} = S_{sal:16-17} \sin \varphi_{sal:16-17} = 0,00924 \sin 41,39^\circ = 0,0061 \text{ kVAR,}$$

Selanjutnya perhitungan untuk semua bus yang ada pada penyulang tersebut ditunjukkan oleh Tabel 5.

TABEL 5 HASIL PERHITUNGAN ARUS DAN RUGI TEGANGAN SALURAN SERTA RUGI DAYA DI SALURAN

SALURAN	ARUS		TEGANGAN		S [kVA]	P [kW]	Q [kVAR]
	I [A]	φ	V [V]	φ			
OG RIJALI - B1	234,17	$-36,87^\circ$	27,74	19,94	19,49	10,67	16,31
B1 - B2	202,765	$-36,87^\circ$	24,02	19,94	14,61	8,00	12,23
B2 - B3	201,61	$-36,87^\circ$	27,87	19,94	16,86	9,23	14,11
B3 - B4	199,30	$-36,87^\circ$	23,61	19,94	14,12	7,73	11,82
B4 - B5	196,99	$-36,87^\circ$	3,89	19,94	2,30	1,26	1,92
B5 - B6	193,30	$-36,87^\circ$	4,58	19,94	2,66	1,45	2,22
B6 - B7	135,56	$-36,87^\circ$	16,06	19,94	6,53	3,58	5,47
B7 - B8	129,79	$-36,87^\circ$	3,33	19,94	1,30	0,71	1,09
B8 - B9	122,51	$-36,87^\circ$	3,15	19,94	1,16	0,63	0,97
B9 - B10	117,89	$-36,87^\circ$	11,64	19,94	4,12	2,25	3,45
B10 - B11	115,59	$-36,87^\circ$	6,39	19,94	2,22	1,21	1,85
B11 - B12	110,97	$-36,87^\circ$	9,20	19,94	3,06	1,68	2,56
B12 - B13	105,19	$-36,87^\circ$	6,23	19,94	1,97	1,08	1,65
B13 - B14	100,57	$-36,87^\circ$	1,19	19,94	0,36	0,20	0,30
B14 - B15	79,10	$-36,87^\circ$	1,56	19,94	0,37	0,20	0,31

Vicky Salamena: Studi Susut Daya dan

B15 - B16	60,39	$-36,87^\circ$	1,19	19,94	0,22	0,12	0,18
B16 - B17	14,20	$-36,87^\circ$	0,28	19,94	0,01	0,01	0,01
B17 - B18	6,93	$-36,87^\circ$	0,38	19,94	0,01	0,01	0,00

Dari hasil perhitungan rugi daya pada saluran sepanjang 2,86 kms, daya semu 91,35 kVA, daya aktif 50,01 kW dan rugi daya reaktif 76,44 kVAR. Prosentasi rugi daya total dibandingkan dengan daya total yang diserap oleh beban sepanjang saluran ditunjukkan oleh Tabel 6.

TABEL 6 PROSENTASE RUGI DAYA DI SALURAN

DAYA			PROSENTASE (%)
JENIS	BEBAN	RUGI	
SEMU (S) [kVA]	8.112,0	91,35	1,13
AKTIF (P) [kW]	6.489,6	50,01	0,77
REAKTIF (Q) [kVAR]	4.867,2	76,44	1,57

Hasil penelitian menunjukkan bahwa rugi daya terbesar terjadi pada segmen awal penyulang, khususnya pada saluran OG_RIJALI-B1. Kondisi ini disebabkan oleh besarnya arus yang mengalir pada segmen tersebut karena harus menyuplai seluruh beban pada sisi hilir jaringan. Secara teoritis, rugi daya berbanding lurus dengan kuadrat arus sesuai persamaan I^2R sehingga semakin besar arus maka rugi daya semakin tinggi. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Dasman [3] yang menyatakan bahwa rugi daya pada jaringan distribusi primer meningkat pada segmen dengan pembebanan tinggi dan panjang saluran yang besar. Penelitian Binilang dkk. [5] juga menunjukkan bahwa distribusi beban yang tidak merata dapat meningkatkan rugi-rugi teknis jaringan distribusi. Selain itu, profil tegangan pada seluruh bus masih berada dalam batas toleransi SPLN 72:1987 yaitu $\pm 5\%$ dari tegangan nominal 20 kV. Hasil ini memperlihatkan bahwa penyulang OG_RIJALI masih memiliki tingkat keandalan operasi yang baik walaupun mengalami pembebanan cukup tinggi pada beberapa titik jaringan. Kondisi ini sesuai dengan teori bahwa rugi daya berbanding lurus terhadap kuadrat arus sesuai persamaan I^2R [2], [12].

Temuan ini juga didukung oleh penelitian Putra dan Manuaba [6] yang menjelaskan bahwa monitoring parameter sistem distribusi secara berkelanjutan sangat penting dalam menjaga efisiensi dan kualitas penyaluran energi listrik pada jaringan tenaga listrik modern. Hasil penelitian Hasibuan dkk. [7] juga menunjukkan bahwa sistem monitoring tegangan berbasis IoT mampu meningkatkan pengawasan kualitas tegangan dan kontinuitas suplai daya sehingga membantu menjaga stabilitas operasi sistem distribusi tenaga listrik. Berdasarkan hasil evaluasi efisiensi jaringan, nilai rugi daya aktif sebesar 0,77% menunjukkan bahwa sistem distribusi masih bekerja secara efisien karena nilainya lebih kecil dibandingkan batas rugi teknis jaringan distribusi tegangan menengah yang umumnya berada pada kisaran 3–5%.[8], [11] Penelitian Julianto dan Febrianti [22] yang mengkaji optimasi operasi pembangkit listrik menunjukkan bahwa pengelolaan



beban secara optimal berkontribusi langsung pada pengurangan kerugian teknis dalam sistem tenaga listrik. Selain itu, penelitian Meunasah dan Rahmadani [23] menekankan pentingnya sistem monitoring kondisi peralatan di gardu induk berbasis IoT untuk mendukung keandalan dan efisiensi operasi sistem distribusi tenaga listrik secara keseluruhan.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis terhadap penyulang OG_RIJALI Kota Ambon, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Total rugi daya dan rugi tegangan pada penyulang OG_RIJALI yang memiliki panjang saluran sekitar 2,86 km menunjukkan nilai rugi daya semu sebesar 91,35 kVA, rugi daya aktif sebesar 50,01 kW, dan rugi daya reaktif sebesar 76,44 kVAr. Nilai ini relatif kecil dibandingkan dengan total daya yang disalurkan yaitu 8.112 kVA, sehingga efisiensi sistem distribusi masih tergolong baik.
2. Persentase rugi daya aktif terhadap total daya aktif beban sebesar 0,77%, sedangkan rugi daya semu sebesar 1,13% dan rugi daya reaktif sebesar 1,57%. Nilai tersebut masih berada di bawah batas rugi teknis maksimum yang diizinkan oleh SPLN 72:1987, yaitu sekitar 3–5% untuk jaringan distribusi tegangan menengah.
3. Rugi tegangan terbesar terjadi pada segmen awal penyulang (OG_RIJALI – B1), yang disebabkan oleh arus beban yang besar karena menyalurkan daya ke seluruh bus di sisi penerima. Semakin ke ujung penyulang, nilai arus semakin kecil sehingga rugi tegangan dan rugi daya menurun secara signifikan.

Berdasarkan hasil perhitungan, profil tegangan di setiap bus masih berada dalam batas toleransi $\pm 5\%$ [21] dari tegangan nominal 20 kV, sehingga kondisi operasi penyulang masih memenuhi standar kualitas tegangan distribusi. Analisis profil tegangan dilakukan untuk mengetahui kondisi tegangan pada setiap segmen penyulang dan mengevaluasi kesesuaian tegangan terhadap standar SPLN 72:1987 [15].

REFERENSI

- [1] Kapu JMG, Jasa L, Hartati RS. Analisa Indeks Keandalan pada Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas (PLTMG) MPP Flores. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*. 2024;23(1):125-130. DOI: <https://doi.org/10.24843/MITE.2024.v23i01.P13>.
- [2] Laksono HD, Putri DR, Muharam M, Pratama RW, Nofendra R. Analisis Kinerja Pengendali Kaskade Pada Sistem Load Frequency Control (LFC) Hidraulik Menggunakan PIDTune Model Standard. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*. 2024;23(2):291-296. DOI: <https://doi.org/10.24843/MITE.2024.v23i02.P13>.
- [3] Dasman. Rugi-Rugi Daya dan Drop Tegangan pada SUTM 20kV GH Lubuk Gadang Muaralabuh. *Jurnal Teknik Elektro Institut Teknologi Padang*. 2020;9(2). E-ISSN: 2598-8255.
- [4] Afiditus, Arsyad MI, Abidin Z. Perhitungan Rugi-Rugi Daya dan Energi Listrik pada Jaringan Tegangan Menengah 20 kV PT PLN (Persero) ULP Nanga Pinoh. *Jurnal Electrical Engineering, Energi, and Information Technology*. 2022;10(2). E-ISSN: 3026-1858.
- [5] Binilang RB, Tumaliang H, Lisi F. Studi Analisa Rugi Daya pada Saluran Distribusi Primer 20 kV di Kota Tahuna. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*. 2017;6(2):45-52.
- [6] Putra IMAA, Manuaba IBG. Literature Review: Challenges and Technologies in the Development of Advanced Metering Infrastructure (AMI). *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*. 2025;24(1):1-10.
- [7] Hasibuan DMA, Arjana IGD, Suartika IM, Arjana AAGMP. Evaluasi Aplikasi Blynk Dalam Monitoring Perpindahan Suplai Daya dan Logging Tegangan Berbasis IoT Pada Sistem ATS-AMF. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*. 2025;24(2):151-158.
- [8] Rahman F, Prasetyo E. Distribution Network Efficiency Assessment Based on Technical Losses. *IEEE Access*. 2022;10:112455-112463.
- [9] Wijaya D, Firmansyah R, Saputra H. Evaluation of Voltage Drop in Medium Voltage Distribution Networks. *Journal of Electrical Systems*. 2024;20(1):88-97.
- [10] Irsyam M, Algusri M, Marpaung LP. Analisa Rugi-Rugi (Losses Power) pada Jaringan Tegangan Rendah PT. Musim Mas Batam. *Jurnal Sigma Teknika*. 2023;6(1):15-23.
- [11] Wibowo H, Kadir A. Studi Efisiensi Penyaluran Energi Listrik pada Sistem Distribusi Perkotaan. *Jurnal Energi dan Kelistrikan*. 2025;17(2):110-119.
- [12] Singh RK, Patel H. Analysis of Technical Losses in Distribution Feeders Using Load Flow Techniques. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. 2023;148:108982.
- [13] Ahmed M, Khan I. Voltage Stability and Loss Reduction in Radial Distribution Networks. *Electric Power Systems Research*. 2024;225:109786.
- [14] Siregar H, Nugroho A. Analysis of Power Losses in 20 kV Distribution Systems Using Load Flow Method. *International Journal of Power Engineering*. 2023;12(2):55-63.
- [15] Lestari D, Pumomo B. Evaluasi Profil Tegangan pada Penyulang Distribusi 20 kV Menggunakan Simulasi ETAP. *Jurnal Rekayasa Elektro*. 2024;18(1):21-30.
- [16] PLN. Standar PLN 72:1987 tentang Batas Toleransi Tegangan dan Frekuensi Sistem Tenaga Listrik. Jakarta: PT PLN (Persero); 1987.
- [17] PLN. SPLN 64:1985 tentang Konduktor AAAC untuk Jaringan Distribusi Tegangan Menengah. Jakarta: PT PLN (Persero); 1985.
- [18] Syukri S, Asyadi TM, Muliadi M, Moesnadi F. Analisa Pembebanan Transformator Distribusi 20 kV Pada Penyulang LS5 Gardu LSA 249. *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*. 2022;4(2):202-206. DOI: <https://doi.org/10.37905/jjee.v4i2.14500>.
- [19] Sartika L, Saputro MBA, Prasetya AM. Analisis Pengaruh Beban Lebih Terhadap Efisiensi Dan Torsi Pada Motor Induksi 3 Fasa. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*. 2024;23(2):213-222. DOI: <https://doi.org/10.24843/MITE.2024.v23i02.P04>.
- [20] Kurniawan R. Optimization of Distribution Feeder Performance Using Capacitor Bank Placement. *TELKOMNIKA*. 2024;22(3):1201-1210.
- [21] Saputra A, Maulana D, Iskandar F. Evaluation of Voltage Profile in 20 kV Distribution Feeders. *Indonesian Journal of Electrical Engineering*. 2025;13(1):44-53.
- [22] Julianto P, Febrianti R. Optimasi Pengoperasian Pembangkit Listrik Untuk Minimalisasi Emisi Gas Buang Menggunakan Metode Quadratic Constrained Programming. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*. 2024;23(1):1-8. DOI: <https://doi.org/10.24843/MITE.2024.v23i01.P01>.
- [23] Meunasah ARS, Rahmadani A. Prototipe Alat Monitoring Suhu dan Kelembapan Ruang Baterai pada Gardu Induk Berbasis IoT. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*. 2024;23(2):241-248. DOI: <https://doi.org/10.24843/MITE.2024.v23i02.P07>.

{ Halaman ini sengaja dikosongkan }

