

Analisis Dampak Jatuh Tegangan pada Saluran Transmisi 150 kV Gardu Induk Kendari New – Gardu Induk Puuwatu 150 kV

La Ode Masri Ande Kolewora¹, Hasmina Tari Mokui², Yuni Aryani Koedoes¹

, Luther Pagiling¹, Tachrir¹, Achamd Nur Aliansyah,¹ Mustamin¹, Gamal Abdel Nasser Maskki¹

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Halu Oleo

²Program Studi Manajemen Rekayasa, Program Pascasarjana, Universitas Halu Oleo, Kendari 93232

*Corresponding Author: La Ode Masri Ande Kolewora (laodemasriandekolewora@gmail.com)

Abstract — Electrical energy has become a basic societal need due to technological advances and increasing living standards. Therefore, PT. PLN, as a provider of electrical energy, is required to efficiently and reliably meet society's demand for electrical power. However, when transmitting electrical power to consumers, there are several issues, including voltage drop, which occurs when there is a voltage difference between the sending and receiving ends. This paper aims to analyze the voltage drop along the transmission line from the Kendari New Substation to the Puuwatu 150 kV Substation and to calculate the economic loss due to the power loss. The calculation method involves the voltage drop equation and analysis using ETAP software. The reference standards for service voltage variations are SPLN.1-1995 and IEEE 1159-1995. Based on the manual calculations, the voltage drop value is 0.371%, while the ETAP software simulation results show a voltage drop of 0.143%. Compared with SPLN.1-1995 and IEEE 1159-1995, the percentage of voltage drop is still within the acceptable limit of less than 5%. Additionally, the calculation of economic losses due to the loss of electrical power from January to June amounted to Rp161,408,119.92. This demonstrates that voltage drops on transmission lines not only impact power quality but also result in economic losses.

Keyword — Drop Voltage, Transmission Line, Substation, ETAP Software.

Abstrak — Energi Listrik telah menjadi kebutuhan dasar masyarakat akibat kemajuan teknologi dan meningkatnya taraf hidup. Oleh karena itu, PT. PLN sebagai penyedia energi listrik dituntut untuk memenuhi kebutuhan energi listrik masyarakat secara efisien dan berkualitas. Namun demikian, pada proses pengiriman daya listrik kepada konsumen terdapat beberapa masalah diantaranya adalah jatuh tegangan, yakni apabila terdapat perbedaan tegangan pada sumber pengiriman dengan tegangan pada ujung penerimaan. Tujuan paper ini adalah untuk melakukan analisis jatuh tegangan yang terjadi sepanjang saluran transmisi pada Gardu Induk Kendari New - Gardu Induk Puuwatu 150 kV serta menghitung nilai ekonomis akibat hilangnya daya listrik. Metode perhitungan yang dilakukan menggunakan persamaan jatuh tegangan dan analisis menggunakan software ETAP. Standar acuan variasi tegangan pelayanan yang digunakan adalah SPLN.1-1995 dan IEEE 1159-1995. Berdasarkan hasil perhitungan secara manual, nilai jatuh tegangan adalah sebesar 0,371 %, sedangkan hasil simulasi menggunakan software ETAP menunjukkan jatuh tegangan sebesar 0.143 %. Jika dibandingkan dengan SPLN.1-1995 dan IEEE 1159-1995, persentase jatuh

tegangan yang diperoleh masih berada dalam batas yang ditoleransikan yakni kurang dari 5%. Selain itu, perhitungan kerugian ekonomis akibat hilangnya daya listrik selama bulan januari sampai bulan juni sebesar Rp161.408.119,92. Hal ini menunjukkan bahwa jatuh tegangan pada saluran transmisi tidak hanya berdampak pada penurunan kualitas daya tetapi juga pada kerugian ekonomis.

Kata kunci — Jatuh Tegangan, Saluran Transmisi, Gardu Induk, Software ETAP.

I. PENDAHULUAN

Di era sekarang ini, kebutuhan masyarakat terhadap pasokan energi listrik semakin meningkat seiring dengan kemajuan teknologi dan meningkatnya taraf hidup masyarakat, sehingga energi listrik telah menjadi kebutuhan pokok bagi masyarakat dalam memenuhi kebutuhan hidupnya. Secara umum komponen sistem tenaga listrik meliputi beberapa komponen utama, yaitu pembangkit, transmisi, distribusi dan beban. Pembangkit tenaga listrik menghasilkan daya listrik yang selanjutnya dialirkan secara bertahap menuju saluran transmisi, kemudian dialirkan ke sistem distribusi untuk dialirkan ke beban.

Sistem kelistrikan menghubungkan unit-unit pembangkit dengan pusat-pusat beban melalui saluran transmisi yang jaraknya ratusan hingga ribuan kilometer [1]. Beban (konsumen) dapat terdistribusi di beberapa tempat, namun penentuan lokasi unit pembangkit haruslah mendekati sumber energi seperti pada Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) ataupun lokasi yang memudahkan transportasi bahan bakar seperti halnya pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang umumnya dibangun di tepi laut.

Saluran transmisi tegangan tinggi memiliki rugi – rugi tegangan dan rugi – rugi daya. Hal ini dapat diakibatkan oleh faktor korona dan faktor kebocoran isolator yang umumnya sering ditemukan pada saluran transmisi tegangan tinggi serta apabila terdapat perbedaan tegangan antara pangkal pengiriman dan ujung penerimaan. Dengan kata lain, jatuh tegangan atau rugi-rugi tegangan adalah besarnya tegangan yang hilang di suatu penghantar selama proses penyaluran tenaga listrik. Jatuh tegangan yang

terjadi tersebut diakibatkan karena panjangnya suatu kawat penghantar di saluran transmisi tegangan tinggi, sehingga mengurangi keandalan proses penyaluran energi listrik ke konsumen [2], [3]. Untuk itu, perlu dilakukan analisis jatuh tegangan untuk mengetahui besarnya persentase jatuh tegangan yang terjadi disaluran transmisi serta kerugian biaya akibat terjadinya jatuh tegangan [4].

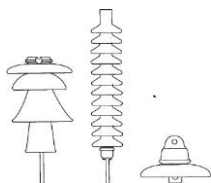
PLN Unit Layanan Transmisi dan Gardu Induk (ULTG) Kendari, saat ini memiliki beberapa gardu induk yakni diantaranya Gardu Induk Puuwatu 70 kV, Puuwatu 150 kV, Gardu Induk Nii Tanasa 70 kV, Gardu Induk Kendari New 150 kV, Gardu Induk Moramo 150 kV, Gardu Induk Unaaha 150 kV, Gardu Induk Kolaka 150 kV, dan Gardu Induk Lasusua 150 kV. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis dampak jatuh tegangan saluran transmisi 150 kV pada Gardu Induk Kendari New – Gardu Induk Puuwatu 150 kV. Pada penelitian ini, gambaran jatuh tegangan pada saluran transmisi diperoleh dengan dengan cara menghitung besar persentase jatuh tegangan yang terjadi di sepanjang saluran tersebut. Selanjutnya persentase jatuh tegangan dianalisa dan dibandingkan dengan standar yang telah ditetapkan oleh pihak Perusahaan Listrik Negara (PLN). Melalui perhitungan jatuh tegangan ini akan dilakukan perhitungan besarnya rugi-rugi daya yang hilang dan akan dikonversikan kedalam rupiah. Energi yang hilang dan ditimbulkan oleh susut daya, dapat merugikan perusahaan listrik negara itu sendiri. Kerugian ini disebabkan karena energi yang disalurkan tidak sesuai dengan energi yang diterima pada ujung penerima. Dengan kata lain, energi yang tersalur tidak terjual seluruhnya. Perhitungan rugi-rugi daya yang berdampak secara ekonomis dapat dilakukan dengan menganalisis berapanya besar dana yang hilang atau dirugikan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Saluran Transmisi

Fungsi saluran transmisi adalah menyalurkan tenaga listrik dari pusat pembangkit ke pusat beban. Pada praktek penyaluran tenaga listrik, terjadi rugi-rugi tenaga sepanjang saluran transmisi. Untuk mengatasinya, maka tenaga listrik yang dikirim dari pusat pembangkit ke pusat beban harus ditransmisikan melalui tegangan tinggi maupun tegangan ekstra tinggi atau *extra high voltage* (EHV) [5].

Media penyaluran transmisi tenaga listrik dibedakan menjadi saluran kabel bawah tanah (*underground cable*) dan saluran udara (*overhead lines*) [1]. Kabel bawah tanah merupakan saluran kabel transmisi yang menyalurkan tenaga listrik melalui kabel-kabel yang ditanam dibawah tanah.



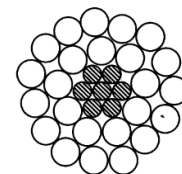
Gambar 1. Jenis isolator porselin pada saluran transmisi: pasak, pos saluran, dan gantung (kiri ke kanan) [6]

Kedua cara penyaluran tenaga listrik diatas mempunyai kelebihan dan kekurangan masing-masing. Kelebihan dari saluran bawah tanah diantaranya adalah saluran bawah tanah tidak dipengaruhi oleh bahaya petir, cuaca buruk, hujan, angin, taufan dan sebagainya. Kelebihan lain dari saluran bawah tanah adalah lebih estetik jika dibandingkan dengan saluran udara karena tidak mengganggu pandangan. Kelebihan tersebut membuat saluran bawah tanah paling banyak digunakan untuk wilayah dengan penduduk yang padat, seperti di kota-kota besar. Namun dibalik keuntungan tersebut terdapat kekurangan pada saluran bawah tanah, misalnya biaya pembangunannya jauh lebih mahal dibandingkan dengan saluran udara dan kekurangan lainnya adalah apabila terjadi gangguan hubung singkat pada saluran bawah tanah, maka perbaikannya akan lebih sulit diatasi dan dideteksi [5].

B. Kawat Penghantar

Pemilihan kawat penghantar untuk saluran transmisi harus memiliki kualitas yang baik, misalnya kuat tarik mekanik yang tinggi maupun konduktivitas yang tinggi. Namun disisi lain juga harus lebih ekonomis. Jenis kawat penghantar yang digunakan pada saluran transmisi yaitu kawat tembaga yang mempunyai konduktivitas 100% (Cu 100%), tembaga dengan konduktivitas 97,5% (Cu 97,5%) dan aluminium dengan konduktivitas 61% (Al 61%). Terdapat berbagai jenis dan lambing dari kawat penghantar aluminium antara lain [6]:

- AAC = *All-Aluminium Conductor*, adalah kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari aluminium.
- AAAC = *All-Aluminium-Alloy Conductor*, adalah kawat penghantar yang seluruhnya dibuat dari campuran aluminium.
- ACSR = *Aluminium conductor, steel-Reinforced*, adalah kawat penghantar aluminium yang berinti kawat baja (lihat Gambar 2).
- ACAR = *Aluminium conductor, Alloy-Reinforced*, adalah kawat penghantar aluminium dengan campuran logam.



Gambar 2. Penampang kawat penghantar ACSR [6]

III. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan di Unit Layanan Transmisi dan Gardu Induk Kendari (ULTG Kendari) Kelurahan Tobuaha, Kecamatan Puuwatu, kota kendari, Sulawesi Tenggara. Waktu penelitian dilaksanakan pada minggu kedua bulan Desember Tahun 2020 sampai minggu keempat bulan Mei 2021.

B. Data

Adapun data yang digunakan pada penelitian ini adalah:

- Data tegangan penerimaan kawat penghantar saluran transmisi 150 KV pada gardu induk Kendari New – Puuwatu 150 KV.
- Data jenis penghantar saluran transmisi 150 KV pada gardu induk Kendari New – Puuwatu 150 KV.
- Data pemantauan beban pada gardu induk.
- Data panjang saluran penghantar saluran transmisi 150 KV pada gardu induk kendari new – puuwatu 150 KV.
- Data resistansi pada kawat pengantar saluran transmisi 150 KV pada gardu induk Kendari New – Puuwatu 150 KV.
- Data arus pengantar saluran transmisi 150 KV pada gardu induk Kendari New – Puuwatu 150 KV.
- Data single line diagram gardu induk kendari new.
- Data single line diagram gardu induk puuwatu 150 KV.

C. Gambaran Sistem

Saluran transmisi Gardu Induk Kendari New - Gardu Induk Puuwatu 150 kV dikategorikan sebagai saluran transmisi pendek. Saluran transmisi kawat pendek merupakan saluran transmisi dengan panjang saluran kurang dari 80 km. Saluran Transmisi 150 kV dari Gardu Induk Kendari New – Gardu Induk Puuwatu 150 kV menggunakan penghantar jenis *Aluminium Conductor, Steel Reinforced* (ASCR) kawat penghantar aluminium yang berinti kawat baja dengan luas penampang penghantar 2 x 240 mm². Saluran Transmisi Gardu Induk Kendari New – Gardu Induk Puuwatu 150 kV memiliki panjang saluran 14,18 km. Dibawah ini Spesifikasi saluran transmisi Gardu Induk Kendari New – Gardu Induk Puuwatu 150 kV.

Gardu Induk	Bay Line	Jarak (km)	Impedansi				Tipe Konduktor
			Urutan positif		Urutan negatif		
			R	jX	R0	jX0	
GI Puuwatu 150 kV	Line KDI	14,18	0,865	4,0129	4,9063	13,528	ASCR 2 x 240
	NEW# 1						
	Line KDI NEW#2						
GI Kendari New	Line PWT	14,18	0,865	4,0129	4,9063	13,528	ASCR 2 x 240
	150#1						
	Line PWT 150#1						

Gambar 3. Spesifikasi saluran transmisi Gardu Induk Kendari New – Gardu Induk Puuwatu 150 kV.

D. Analisis Data

1) Perhitungan impedansi saluran

Saluran transmisi Kendari new – puuwatu 150 kV adalah merupakan saluran transmisi jarak pendek yaitu kurang dari 80 km, sehingga untuk mencari impedannya menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Z = R + j X_L \tag{1}$$

Keterangan:

- Z = Impedansi total saluran (Ohm)
- R = Tahanan saluran (Ohm)
- X_L = Reaktansi induktif penghantar (Ohm)

2) Perhitungan resistansi total

Untuk mencari resistansi total penghantar dengan menghitung jarak jauh penghantar menggunakan persamaan:

$$R_{total} = \rho \times l \tag{2}$$

Keterangan:

- R_{total} = Resistansi total (ohm)
- ρ = Resistansi jenis penghantar (Ohm/km)
- l = Panjang saluran (km)

3) Perhitungan tegangan pengiriman

Hubungan antara tegangan dan arus dapat dijelaskan menggunakan persamaan:

$$V_S = V_R + Z.I_R \tag{3}$$

Keterangan:

- V_s = Tegangan pada pangkal pengiriman (kV)
- I_s = Arus pada pangkal pengiriman (Ampere)
- V_r = Tegangan pada ujung penerimaan (kV)
- I_r = Arus pada ujung penerimaan (Ampere)
- Z = Impedansi saluran (Ohm)

4) Jatuh Tegangan Saluran Transmisi

Jatuh tegangan adalah selisih antara tegangan pada pangkal pengiriman (sending end) dan tegangan pada ujung penerimaan (receiving end) listrik. Untuk saluran dengan tegangan bolak-balik besarnya jatuh tegangan yang terjadi tergantung pada faktor daya, admitansi dan impedansi saluran pada beban. Untuk menghitung dan menganalisa persentase jatuh tegangan yang terjadi di saluran transmisi digunakan persamaan jatuh tegangan relative [7].

Untuk kawat pendek V_r (NL) = V_s dan V_r (FL) = V_r, maka untuk menghitung persentase jatuh tegangan pada saluran transmisi digunakan persamaan di bawah ini:

$$\Delta V (\%) = \left(\frac{V_s - V_r}{V_r} \right) \times 100 \% \tag{4}$$

Keterangan:

- ΔV (%) = Jatuh tegangan relative atau regulasi tegangan (%)
- V_s = Tegangan kirim (Volt)
- V_r = Tegangan terima (Volt)

5) Nilai Ekonomis Hilangnya Daya Listrik

a. Perhitungan rugi daya listrik

Rugi teknis pada sistem transmisi adalah penjumlahan dari (I²R) atau rugi tahanan, dan dapat dengan mudah diketahui saat arus puncaknya diketahui. Dalam menentukan rugi / susut teknis pada saluran distribusi cara yang dilakukan adalah perbandingan energi yang disalurkan oleh gardu induk dan energi yang terjual dalam selang waktu tertentu. Untuk menghitung besarnya rugi-rugi daya dapat menggunakan persamaan [13]:

$$P = 3 \times I^2 \times R \tag{5}$$

Keterangan:

- P = Rugi-rudi daya (Watt)
- I = Arus yang mengalir (Ampere)
- R = Tahanan saluran (Ohm/meter)

b. Perhitungan Biaya Listrik

Rugi oleh PLN karena adanya energi yang hilang di timbulkan oleh susut daya, hal ini bisa merugikan oleh perusahaan listrik negara itu sendiri. Kerugian ini disebabkan karena adanya energi tersalurkan tidak sesuai dengan di ujung terimanya, makanya energi yang tersalur tidak bisa seluruhnya terjual. Rugi-rugi daya itu dapat dilakukan dengan menganalisis berapanya besar dana yang hilang atau dirugikan dengan menggunakan persamaan [13].

$$E = P \times t \tag{6}$$

Keterangan:

- E = Energi Listrik (kWh)
- P = Daya Listrik (Watt)
- t = Waktu (hour)

$$\text{Biaya Listrik} = E \times TDL \tag{7}$$

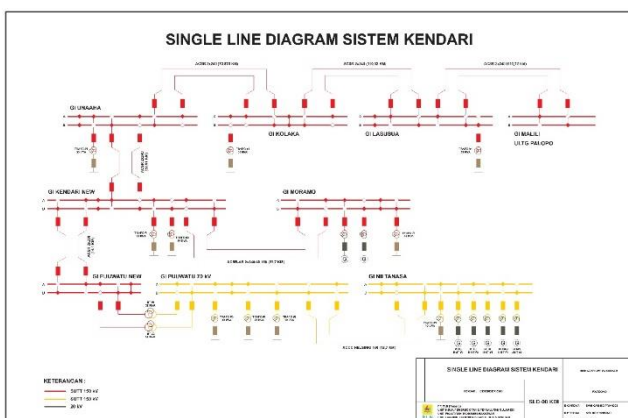
Keterangan:

- E = Energi Listrik (kWh)
- TDL = Tarif Dasar Listrik (Rupiah)

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Spesifikasi Saluran Transmisi 150 Kv Dari Gardu Induk Kendari New – Gardu Induk Puuwatu 150 Kv

Saluran Transmisi 150 Kv dari Gardu Induk Kendari New – Gardu Induk Puuwatu 150 Kv menggunakan penghantar jenis ASCR 2x240 dan memiliki Panjang saluran 14,18 km. Gambar 4 menunjukkan single line diagram sistem Kendari.



Gambar 4. Single line diagram sistem Kendari

Saluran Transmisi 150 kV dari Gardu Induk Kendari New – Gardu Induk Puuwatu 150 kV menggunakan circuit briker dengan rating tegangan 170 kV dengan rating arus

2000 Ampere. Selain itu circuit briker menggunakan manufactur merek siemen dengan model 170-3API-40. Untuk saluran transmisi yang akan diturunkan ke 20 kV (150kV/20kV) dimana tegangan disisi primer adalah 150 kV dan tegangan disisi sekunder adalah 20 kV. Trafo yang dipakai dengan kapasitas daya 60 MVA.

B. Perhitungan Jatuh Tegangan

Perhitungan jatuh tegangan dilakukan setiap hari selama 6 (enam) bulan, dimulai pada Bulan Januari tahun 2020 sampai dengan Bulan Juni Tahun 2020. Berikut ini merupakan contoh perhitungan jatuh tegangan pada tanggal 01 Januari 2020.

- R (resistansi jenis penghantar) : 0,865 Ohm/km
- Reaktansi total : 4,0129 Ohm/km
- l (Panjang saluran) : 14,18 km
- P_r (daya penerimaan) : 13,49 MW
- Q (daya reaktif) : 4,01 MVAR
- V_r Line : 150.000 Volt
- I (arus line) : 55 Ampere
- f (frekuensi sumber tenaga) : 50 Hz

1) Perhitungan Resistansi Total

$$\begin{aligned} R_{total} &= R \times l \\ &= 0,865 \times 14,18 \\ &= 12,266 \text{ Ohm} \end{aligned}$$

2) Impedansi Saluran

$$\begin{aligned} Z &= R + jx \\ &= \sqrt{R^2 + X^2} \\ &= \sqrt{12,266^2 + 4,0129^2} \\ &= 12,905 \text{ Ohm} \end{aligned}$$

3) Tegangan (Tegangan Pengiriman dan Tegangan Penerimaan)

$$\begin{aligned} V_r &= \frac{V_{r_line}}{\sqrt{3}} \\ &= \frac{150.000}{\sqrt{3}} \\ &= 86602,540 \times \sqrt{3} \\ &= 150.000 \text{ Volt} \\ V_s &= V_r + I \times Z \\ &= 86602,540 + 55 \times 12,905 \\ &= 87312,340 \times \sqrt{3} \\ &= 151229,410 \text{ Volt} \end{aligned}$$

4) Jatuh Tegangan

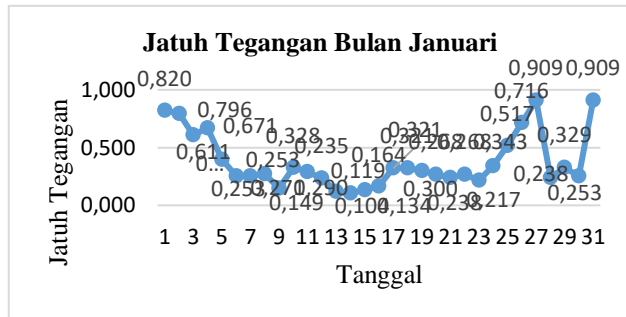
$$\begin{aligned} \Delta V (\%) &= \frac{(V_s - V_r)}{V_r} \times 100 \% \\ &= \frac{(151229,410 - 150.000)}{150.000} \times 100 \% \\ &= 0,8196065 \% \end{aligned}$$

5) Grafik jatuh tegangan Bulan Januari Tahun 2020

Penjelasan perhitungan nilai jatuh tegangan selama Bulan Januari (01 Januari - 31 Januari Tahun 2020) dapat

dijelaskan pada Gambar 5, dimana jatuh tegangan yang terjadi disepanjang bulan Januari memiliki nilai yang berbeda-beda hal ini dipengaruhi oleh P_r (daya penerimaan), Q (daya aktif), dan I (arus line).

Pada Gambar 5, nilai jatuh tegangan terkecil terjadi pada tanggal 14 Januari dengan nilai 0,104%, sedangkan jatuh tegangan terbesar terjadi pada tanggal 27 dan 31 Januari dengan nilai jatuh tegangan sebesar 0,909 %.



Gambar 5. Grafik jatuh tegangan selama Bulan Januari 2020

C. Rekapitulasi Perhitungan Jatuh Tegangan dan Rugi Energi Dalam Rupiah Selama Enam Bulan (Januari – Juni 2020)

Dengan menggunakan cara yang sama pada bagian B, diperoleh rekapitulasi jatuh tegangan selama Periode Januari-Juni 2020 (Tabel 1).

Tabel 10. Rata-rata perhitungan jatuh tegangan periode bulan Januari-Juni 2020

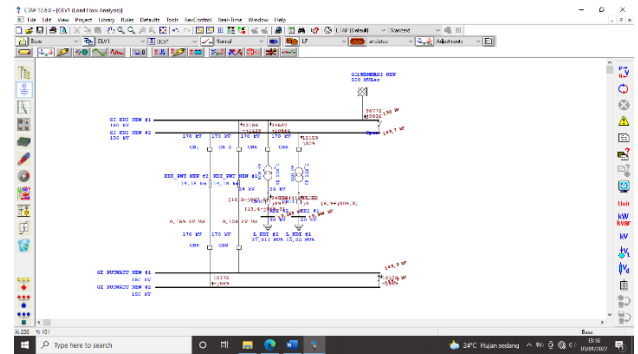
TABEL 1
REKAPITULASI NILAI JATUH TEGANGAN PERIODE JANUARI-JUNI 2020

No	Bulan	Rata-rata tegangan pengiriman (V_s)	Rata-rata tegangan penerimaan (V_R)	Rata-rata jatuh tegangan (ΔV)
		Volt	Volt	%
1	Januari	150568,131	150.000	0,3787543
2	Februari	150.547,191	150.000	0,3647942
3	Maret	150568,131	150.000	0,3789543
4	April	150.541,618	150.000	0,3610789
5	Mei	150568,131	150.000	0,3787543
6	Juni	150.541,618	150.000	0,3610789
Rata-rata		150.555,803	150.000	0,3710621

Berdasarkan Tabel 1 diatas rata-rata tegangan pengiriman (V_s) bulan januari sampai dengan juni 2020 adalah 150.555,803 Volt dan rata-rata tegangan penerimaan (V_R) adalah 150.000 Volt. Sehingga Rata-rata jatuh tegangan (ΔV) selama 6 bulan (januari – juni 2020) sebesar 0,3710621 %.

D. Simulasi Jatuh Tegangan Menggunakan ETAP

Rangkaian simulasi ETAP 12.6.0 ini dibuat berdasarkan Single Saluran Transmisi 150 KV Gardu Induk Kendari New – Gardu Induk Puuwatu 150 KV.



Gambar 6. Tampilan setelah program dijalankan.

Berdasarkan simulasi jatuh tegangan diatas dapat dilihat bahwa jatuh tegangan yang terjadi di Gardu Induk Kendari New – Gardu Induk Puuwatu 150 KV pada line transmisi 1 adalah sebesar 0,159 % dan jatuh tegangan yang terjadi di Gardu Induk Kendari New – Gardu Induk Puuwatu 150 KV pada line transmisi 2 adalah sebesar 0,126 % KV. Sehingga apabila dirata-ratakan sebesar 0.143 %. Tabel 2 menunjukkan perbandingan nilai jatuh tegangan yang diperoleh melalui perhitungan manual dan simulasi ETAP dan kedua nilai tidak terlalu jauh berbeda

TABEL 2
PERHITUNGAN NILAI JATUH TEGANGAN MANUAL DAN SIMULASI ETAP

Saluran Transmisi Gardu Induk Kendari New-Gardu Induk Puuwatu 150 Kv	Perhitungan Manual Jatuh Tegangan (kV)	Perhitungan Simulasi ETAP Jatuh Tegangan (kV)
Rata-rata	0,371 %	0.143 %

Berdasarkan SPLN.1-1995 dan IEEE 1159-1995, variasi tegangan pelayanan ditetapkan maksimum +5% dan minimum -10 % terhadap tegangan nominal. Apabila dinyatakan dalam satuan kV maka nilai batas aman yang dimaksud adalah 63 kV - 73,5 kV (untuk nominal tegangan 70 kV) dan 135 kV - 157,5 kV (untuk tegangan nominal 150 kV). Merujuk pada standar SPLN.1-1995 dan IEEE 1159- 1995 maka perhitungan secara manual nilai jatuh tegangan adalah sebesar 0,371 %, hasil simulasi jatuh tegangan menggunakan software ETAP adalah sebesar 0.143 %. Sesuai dengan standar, jatuh tegangan yang terjadi masih berada dalam batas yang ditoleransikan yakni kurang dari 5%.

E. Perhitungan Rugi-Rugi Energi Dalam Rupiah

Tarif dasar listrik (Tabel 3) menjadi acuan dalam perhitungan rugi-rugi energi dalam rupiah yang disajikan sebagai berikut.

TABEL 3
TARIF DASAR LISTRIK TAHUN 2020 [8]

No	Golongan Daya Listrik (VA)	Tarif (Rp/KWH)
1	450 VA	415
2	900 VA	586
3	900 VA – RTM	1.352,00
4	1.300 VA	1.467,28
5	2.200 VA	1.467,28
6	3.500 VA s.d. 5.500 VA	1.467,28
7	6.600 VA s.d. 200 kVA	1.467,28
Rata-rata tarif		1174,58

Sumber: Kementerian energi dan sumber daya mineral

Berikut adalah contoh perhitungan rugi-rugi energi berdasarkan data pada Rabu, 01 Januari 2020:

1) Perhitungan rugi daya

$$\begin{aligned} P &= 3 \times I^2 \times R_{total} \\ &= 3 \times (552) \times 12,266 \\ &= 111.313,950 \text{ Watt} \\ &= 111,314 \text{ kW} \end{aligned}$$

2) Perhitungan Energi Listrik

$$\begin{aligned} E &= P \times t \\ &= 111,314 \times 24 \\ &= 2.671,535 \text{ kWh} \end{aligned}$$

3) Perhitungan Biaya Listrik

$$\begin{aligned} \text{Biaya listrik} &= E \times TDL \\ &= 2.671,535 \times 1174,58 \\ &= \text{Rp. } 3.137.931,345 \end{aligned}$$

4) Sehingga rekapitulasi rugi-rugi energi dalam rupiah selama Periode Januari-Juni Tahun 2020 ditunjukkan pada Tabel 2.

TABEL 2
PERHITUNGAN KERUGIAN BIAYA LISTRIK PERIODE BULAN
JANUARI-JUNI 2020

Bulan	Rata-rata perhitungan rugi-rugi daya (P_{Losses})	Perhitungan kerugian biaya listrik
	(Watt)	(Rp)
Januari	32.862,059	28.717.743,427
Februari	30.040,133	24.558.039,395
Maret	29.111,037	25.439.772,170
April	29.393,283	24.857.828,539
Mei	35.141,161	30.709.422,165
Juni	31.012,395	27.125.314,222
Jumlah		161.408.119,92

Berdasarkan tabel 2 diatas kerugian biaya listrik terbesar terjadi pada Bulan Mei dengan kerugian sebesar Rp30.709.422,165, sedangkan untuk kerugian biaya listrik terkecil pada Bulan Februari sebesar Rp24.558.039,395. Adapun jumlah kerugian biaya listrik selama periode Bulan Januari sampai Juni 2020 sebesar Rp161.408.119,92. Nilai kerugian ini cukup signifikan sehingga sangatlah penting dilakukan upaya-upaya untuk meminimalisirnya.

V. PENUTUP

Berdasarkan hasil Analisa dan pembahasan maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Dari hasil perhitungan secara manual nilai jatuh tegangan sepanjang jalur pada gardu induk kendari new - gardu induk puuwatu 150 kV adalah 0,371 %. Nilai ini berdasarkan rata-rata perhitungan jatuh tegangan selama 6 bulan. Sesuai dengan standar SPLN.1-1995 dan IEEE 1159-1995 jatuh tegangan yang terjadi masih berada dalam batas yang ditoleransikan yakni kurang dari 5%.
- 2) Hasil simulasi jatuh tegangan menggunakan software ETAP pada Gardu Induk Kendari New – Gardu Induk Puuwatu 150 kV pada line transmisi 1 adalah sebesar 0,159 % dan jatuh tegangan yang terjadi di Gardu Induk Kendari New – Gardu Induk Puuwatu 150 KV pada line transmisi 2 adalah sebesar 0,126 % Sehingga apabila dirata-ratakan sebesar 0,143 %. Sesuai dengan standar SPLN.1-1995 dan IEEE 1159-1995 jatuh tegangan yang terjadi masih berada dalam batas yang ditoleransikan yakni kurang dari 5%.
- 3) Perhitungan kerugian nilai ekonomis akibat hilangnya daya listrik selama bulan januari sampai bulan juni pada saluran transmisi gardu induk Kendari new – gardu induk puuwatu 150 kv adalah sebesar Rp. 161.408.119,92.

UCAPAN TERIMAKASIH

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa sehingga kita semua masih dalam lindungan-Nya. Ucapan Terimakasih penulis persembahkan kepada kedua orang tua penulis yang telah membiayai sekolah penulis tanpa mengenal kata lelah, tanpa mengenal kata panas terik demi kelancaran sekolah anak-anakmu. Terima kasih kepada Unit Layanan Transmisi dan Gardu Induk Kendari (ULTG Kendari) Kelurahan Tobuuha, Kecamatan Puuwatu, kota kendari, Sulawesi Tenggara yang telah mengizinkan pengambilan data penelitian ini. Terima kasih pula kepada semua pihak yang telah banyak membantu dalam setiap proses penyelesaian Tugas Akhir ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Cekmas Cekdin, *Transmisi Daya Listrik*. Yogyakarta: Penerbit Andi, 2013.
- [2] B. A. Anggoro, S. B. Utomo, and I. Widiastuti, "Analisa Rugi-Rugi Daya Dan Jatuh Tegangan Pada Saluran Transmisi 150 kV GI Pati Bay GI Jekulo Menggunakan ETAP 12.6.0," *Elektrika*,

- vol. 12, no. 2, p. 80, 2020, doi: 10.26623/elektrika.v12i2.2828.
- [3] Raka Trialviano Bagus and D. Irawan, "Analisis Perbaikan Jatuh Tegangan Pada Sistem Transmisi 150kV Gardu Induk Cerme Menggunakan Aplikasi Digsilent," *J. Ampere*, vol. 8, no. 1, pp. 10–21, 2023, doi: 10.31851/ampere.v8i1.11635.
- [4] T. Suheta, A. Khusaeri, and V. Urzhasa, "Mengevaluasi Rugi-Rugi Daya Akibat Jatuh Tegangan Pada Saluran Transmisi 150 Kv," *Pros. Semin. Nas. Tek. Elektro, Sist. Informasi, dan Tek. Inform.*, vol. 1, no. 1, pp. 426–433, 2024.
- [5] M. H. Ulawia, "Evaluasi Pengaruh Lokasi Pemasangan Surja Arrester pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 KV terhadap Tegangan Lebih Switching," Institut Technology Sepuluh Nopember, 2015.
- [6] T. S. Hutauruk, *Transmisi Daya Listrik*. Jakarta: Erlangga, 1990.
- [7] Arismunandar, Artono, Kuwahara, and Susumu, *Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik, Saluran Transmisi*, 2nd ed. Jakarta: Pradnya Paramita, 2004.
- [8] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, *Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 3 Tahun 2020 tentang Perubahan Keempat Atas Peraturan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Nomor 28 Tahun 2016 Tentang Tarif Tenaga Listrik Yang Disediakan Oleh PT Perusahaan Listrik Negara (Persero)*. Indonesia.