

# Analisis Perhitungan Rugi-Rugi Daya pada Saluran Transmisi Tegangan Tinggi 150 kV Gardu Induk Tambak Lorok – Bawen dengan menggunakan Etap 12.6.0

Rifal<sup>1)</sup>, Sukarno Budi Utomo<sup>2)</sup>, Muhamad Haddin<sup>3)</sup>

Teknik Elektro FTI Unissula  
Jl. Raya Kaligawe Km. 4 Semarang  
Email : rifal.unissula@std.unissula.ac.id

**Abstrack** - Perkembangan kebutuhan tenaga listrik di Indonesia terus meningkat sesuai dengan laju pertumbuhan ekonomi dan industri serta penambahan penduduk. PLTG Tambak Lorok merupakan pembangkit listrik terletak di Kota besar yaitu Semarang, sehingga pembangkit ini membutuhkan pasokan energi listrik yang cukup besar untuk menyuplai pusat pusat beban, sistem kelistrikan antar pusat pembangkit dan pusat beban pada umumnya terpisah dalam ratusan bahkan ribuan kilometer. Pada transmisi tegangan tinggi terdapat rugi rugi tegangan dan rugi rugi daya, sehingga mengakibatkan tegangan mengalami penurunan atau biasa yang disebut jatuh tegangan. Gardu Induk Bawen 150 kV adalah pusat beban terjauh dari pusat pembangkit PLTG Tambak Lorok. Sehingga perlu untuk diketahui berapa besarnya rugi daya dan berapa biaya kerugian setelah di uangkan.

ETAP (Electric Transient Analysis Program) merupakan suatu perangkat lunak yang mendukung sistem tenaga listrik. Dengan kemampuan tersebut bisa diketahui berapa besarnya rugi daya serta jumlah kerugian ekonomis. Kemudian melakukan perbandingan antara perhitungan manual dan perhitungan menggunakan ETAP. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini menunjukkan kondisi aliran daya SUTT Tambak Lorok – Bawen, dengan jatuh tegangan 4,27 % setara 6,41 kV, rugi daya dalam sebulan 207.525 kWh dengan nilai rupiah sebesar Rp. 237.620.276, sehingga berdasarkan hasil tersebut SUTT Tambak Lorok – Bawen masih berada pada batasan toleransi yang ditetapkan SPLN No.1:1978 dengan batas toleransi tegangan +5% dan -10%.

**Kata kunci:** Sistem transmisi, Kota Semarang, Jatuh Tegangan, Rugi Daya

**Abstrack** - The development of electricity demand in Indonesia continues to increase in accordance with the rate of economic and industrial growth and population growth. PLTG Tambak Lorok is a power plant located in a large city that is Semarang, so this power plant requires a large enough supply of electrical energy to supply the load centers, electrical systems between power stations and load centers generally separated in hundreds or even thousands of kilometers. In high voltage transmissions there are voltage losses and power losses, so that the voltage drops or is commonly called a voltage drop. The 150 kV Bawen substation is the farthest load center from the Tambak Lorok power plant. So it is necessary to know how much power loss and how much the cost of losses after being cashed. With this capability, it can be seen how much power loss and the amount of economic loss. Then make a comparison between manual calculations and calculations using ETAP. The results obtained from this study indicate the condition of the SUTT Tambak Lorok-Bawen power flow, with a voltage drop of 4.27% equivalent to 6.41 kV, a power loss in a month of 207,525 kWh with a rupiah value of Rp. 237,620,276, so based on these results SUTT Tambak Lorok - Bawen is still within the tolerance limits set by SPLN No.1: 1978 with voltage tolerance limits of + 5% and -10%.

**Key words:** Transmission system, Semarang City, Voltage Drop, Power Loss

## I. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Penyaluran energi listrik dari pusat pembangkit ke pusat beban umumnya terpisah dalam jarak yang cukup jauh yaitu ratusan bahkan ribuan kilometer. SUTET 500 kV dan SUTT 150 kV adalah perantara dalam penyaluran energi listrik dari pusat pembangkit ke pusat beban, agar energi listrik yang dikirim dari sisi kirim ke sisi terima tetap bisa maksimal. Namun dalam penyaluran energi listrik, terjadi hilangnya tegangan dan daya listrik yang diterima oleh pusat beban, yang biasa dikenal dengan istilah jatuh tegangan dan rugi-rugi daya. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya yaitu panjang, jenis dan luas penampang saluran yang digunakan.

Jarak menjadi salah satu faktor yang berpengaruh terhadap jatuh tegangan dan rugi-rugi daya. Sehingga untuk mengetahui standarisasi jatuh tegangan dan rugi-rugi daya yang telah di toleransi berdasarkan SPLN No.1:1978 dengan batas toleransi tegangan +5% dan -10%, diperlukan hasil perhitungan untuk mengetahui seberapa besar jatuh tegangan dan rugi-rugi daya yang terjadi.

ETAP (*Electric Transient Analysis Program*) merupakan suatu perangkat lunak yang mendukung sistem tenaga listrik. Perangkat ini mampu menganalisa pembangkitan tenaga listrik, sistem transmisi maupun sistem distribusi tenaga listrik. Dengan kemampuan tersebut bisa diketahui berapa besarnya jatuh tegangan dan rugi-rugi daya serta jumlah kerugian ekonomis yang terjadi pada saluran transmisi tegangan tinggi, serta mengetahui berapa akurasi perbandingan antara perhitungan menggunakan software ETAP 12.6.0 dan perhitungan manual.

Berdasarkan latar belakang tersebut dan sebagai objek penelitian Tugas Akhir dilakukan analisis perhitungan rugi-rugi daya pada saluran transmisi tegangan tinggi 150 kV Tambak Lorok – Bawen dengan software ETAP 12.6.0.

#### B. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah berdasarkan latar belakang adalah :

1. Berapa jatuh tegangan pada saluran transmisi tegangan tinggi 150 kV Gardu Induk Tambak Lorok – Bawen?
2. Berapa kerugian daya dari Gardu Induk Tambak Lorok – Bawen 150 kV?
3. Berapa rupiah dana selama sebulan yang disebabkan oleh rugi daya yang terjadi pada saluran transmisi tegangan tinggi 150 kV Gardu Induk Tambak Lorok – Bawen?

#### C. Pembatasan Masalah

Untuk menyelesaikan permasalahan dalam Tugas Akhir ini dibatasi oleh asumsi sebagai berikut :

1. Sistem tenaga listrik menjadi objek Tugas Akhir adalah sistem jaringan transmisi 150 kV Gardu Induk Tambak Lorok – Bawen.
2. Analisis rugi daya pada sistem jaringan transmisi 150 kV Gardu Induk Tambak Lorok – Bawen mengacu pada data yang diperoleh dari PT. PLN Persero.
3. Penelitian ini menyimpulkan kerugian pada sistem transmisi 150 kV Gardu Induk Tambak Lorok – Bawen.
4. Pada penelitian ini akan disimpulkan besarnya biaya selama sebulan pada sistem transmisi 150 kV Gardu Induk Tambak Lorok – Bawen.

#### D. Tujuan

Adapun yang menjadi tujuan dalam penulisan Tugas Akhir yaitu :

1. Nilai jatuh tegangan serta kerugian daya yang terjadi dalam saluran transmisi 150 kV Gardu Induk Tambak Lorok – Bawen.
2. Mengetahui standarisasi besarnya nilai jatuh tegangan Tambak Lorok – Bawen masih dalam ambang kewajaran atau tidak.
3. Mengetahui besarnya biaya selama sebulan yang disebabkan hilangnya daya dari saluran Tambak Lorok – Bawen.
4. Mengetahui kondisi aliran daya pada Gardu Induk Tambak Lorok – Bawen 150 kV.

#### E. Manfaat

Diharapkan dapat menjadi referensi dan pertimbangan bagi pihak PLN dalam menganalisis rugi –rugi daya serta upaya menjaga dan meningkatkan stabilitas saluran transmisi 150 kV Gardu Induk Tambak Lorok – Bawen .

## II. DASAR TEORI

### A. Sistem Tenaga Listrik

Suatu sistem tenaga listrik pada umumnya terdiri atas empat unsur, yaitu pembangkit, transmisi, distribusi dan pemakaian tenaga listrik atau beban. Pembangkit listrik terdiri atas berbagai jenis pusat tenaga listrik, berbagai pusat listrik tersebut merupakan tempat energi listrik pertama kali dibangkitkan, dimana terdapat turbin sebagai penggerak mula (*prime mover*) dan generator yang membangkitkan listrik. Biasanya dipusat pembangkit listrik juga terdapat gardu induk. Peralatan utama pada gardu induk antara lain : transformer, yang berfungsi untuk menaikkan tegangan generator (11,5 kV) menjadi tegangan transmisi /tegangan tinggi (150kV) dan juga peralatan pengaman dan pengatur energi listrik yang dibangkitkan di pusat tenaga listrik harus di salurkan atau ditransmisikan ke pusat-pusat pemakai melalui kawat (saluran).

Pada suatu sistem yang cukup besar, tegangan yang keluar dari generator harus dinaikkan lebih dahulu dari tegangan menengah menjadi tegangan tinggi atau tegangan ekstra tinggi. Penyaluran energi listrik melalui jarak yang jauh dilakukan dengan menaikkan tegangan guna memperkecil kerugian yang terjadi, berupa rugi – rugi daya [1].

Ada dua kategori saluran transmisi : saluran udara (*Overhead lines*) dan saluran kabel tanah (*Underground Cable*). Yang pertama menyalurkan tenaga listrik melalui kawat – kawat yang digantung pada menara atau

tiang transmisi dengan perantara isolator, sedang kategori kedua menyalurkan tenaga listrik melalui kabel yang ditanam dibawah permukaan tanah. Kedua cara penyaluran diatas mempunyai untung ruginya sendiri-sendiri. Dibandingkan dengan saluran udara, saluran bawah tanah tidak terpengaruh oleh cuaca buruk, topan, hujan, angin, bahaya petir dan sebagainya. Saluran bawah tanah dipandang lebih estetis karena tidak mengganggu pemandangan sehingga dengan alasan ini saluran bawah tanah lebih disukai terutama untuk daerah yang padat penduduknya dan kota – kota besar. Akan tetapi biaya pembangunannya jauh lebih mahal di bandingkan dengan pembangunan saluran udara dan perbaikannya lebih sukar apabila terjadi gangguan hubung singkat dan kesukaran – kesukaran lain [2].

#### B. Jenis – Jenis Konduktor

Kawat dengan bahan konduktor untuk saluran transmisi tegangan tinggi selalu tanpa pelindung/isolasi kawat. Ini hanya kawat berbahan tembaga atau alumunium dengan inti baja (steel-reinforced alumunium cable/ACSR) telanjang besar yang terbentang untuk mengalirkan arus listrik [6].

Jenis-jenis kawat penghantar yang biasa digunakan antara lain :

1. Tembaga dengan konduktivitas 100% (cu 100%)
2. Tembaga dengan konduktivitas 97,5% (cu 97,5%)
3. Alumunium dengan konduktivitas 61% (Al 61%)

Kawat tembaga mempunyai kelebihan dibandingkan dengan kawat penghantar alumunium, karena konduktivitas dan kuat tariknya lebih tinggi. Akan tetapi juga mempunyai kelemahan yaitu untuk besaran tahanan yang sama, tembaga lebih berat dan lebih mahal dari alumunium. Oleh karena itu kawat penghantar alumunium telah mulai menggantikan kedudukan kawat tembaga. Untuk memperbesar kuat tarik dari kawat alumunium, digunakan

campuran alumunium (*alumunium alloy*). Untuk saluran transmisi tegangan tinggi, dimana jarak antara menara/tiang berjauhan, maka dibutuhkan kuat tarik yang lebih tinggi, oleh karena itu digunakan kawat penghantar ACSR.

#### C. Rugi Daya dan Jatuh Tegangan

Pada Saluran transmisi selain terjadi *drop voltage*, juga terjadi rugi daya. Rugi daya mencerminkan adanya daya yang terbuang sehingga mengakibatkan daya yang diterima disisi penerima lebih kecil dari daya yang dikirim pada sisi pengirim. Pembuangan daya ini dikonversikan dalam bentuk panas pada sistem transmisi selama selang waktu tertentu. Sehingga energi yang diterima pada sisi penerima lebih kecil dari energi yang dikirim. Secara umum rugi daya ini disebabkan oleh tahanan pada penghantar dan daya korona [4].

Afandi mengutip dari Arismunandar, penggunaan sebuah persamaan untuk mennetukan besar rugi – rugi daya pada saluran 3 fasa yang dinyatakan sebagai berikut :

$$P = I^2 \cdot R \text{ (W)} \quad (1)$$

Masih menurut Afandi, yang dikatif dari Tobing rugi daya pada saluran transmisi dapat dikurangi dengan cara meninggikan tegangan transmisi, memperkecil tahanan konduktor, dan memperbesar faktor daya beban. Tetapi cara yang cenderung dilakukan adalah meninggikan tegangan transmisi dengan beberapa pertimbangan teknik. Rugi-rugi daya merupakan selisih antara daya kirim dan daya terima yang disebabkan oleh saluran transmisi maupun saluran distribusi. Saluran Transmisi antara GI Tambak Lorok dan GI Bawen terhitung cukup jauh sehingga dapat memicu kerugian yang cukup besar. Peneliti telah mengambil data yang diharapkan dapat menjadi referensi untuk mengetahui jumlah rugi-rugi. Dari data yang didapat pada saat penelitian. Perhitungan rugi-rugi daya menggunakan ZEBRA / ACSR (*Aluminium Conductor, Steel-Reinforced*), yaitu kawat penghantar aluminium berinti kawat baja dengan resistansi 0.0674 ohm/km. Sehingga resistansi sepanjang saluran Tambak Lorok – Bawen dengan jarak 12,86 km adalah 2,57 ohm.

$$P_{\text{losses}} = 3 \cdot I^2 \cdot R \quad (2)$$

dengan :

$P_{\text{losses}}$  = rugi-rugi daya (watt)

$I$  = arus yang di salurkan (watt)

$R$  = tahanan saluran (  $\Omega$  / meter )

Menurut hukum ohm, besarnya arus listrik yang mengalir melalui sebuah pengantar selalu berbanding lurus dengan beda potensial yang diterapkan kepadanya.

$$V = I \times R \quad (3)$$

$$R = (\rho \cdot l) / A \quad (4)$$

dengan :

$V$  = Tegangan (V)

$I$  = Arus Listrik (A)

$R$  = Hambatan listrik ( $\Omega$ )

$A$  = Luas Penampang ( $m^2$ )

$\rho$  = hambatan Jenis ( $\Omega m$ )

Voltage Collaps atau jatuh tegangan adalah fenomena yang mungkin terjadi dalam sistem tenaga listrik dengan beban yang sangat besar. Hal ini dapat terjadi dalam bentuk urutan kejadian bersamaan dengan ketidakstabilan tegangan yang dapat menyebabkan pemadaman (*black out*) atau level tegangan berada di jauh di bawah standar dari yang ditetapkan. Karena sifat nonlinear dari jaringan listrik, sebagai fenomena yang berkaitan dengan sistem tenaga, maka diperlukan teknik nonlinear untuk menganalisa *voltage collapse* dan menemukan solusi untuk menghindari runtuhnya tegangan tersebut [6].

Selain itu ada beberapa gangguan yang berkontribusi menyebabkan terjadinya jatuh tegangan misalkan peningkatan beban tripnya saluran transmisi, trafo, dan generator. Persamaan untuk menghitung besarnya jatuh tegangan:

$$\Delta V = \sqrt{3} \cdot I \cdot L(R \cos \theta + X \sin \theta) \quad (5)$$

dengan :

$\Delta V$  = Jatuh Tegan ( Volt)

I = Arus Beban (Ampere)

R = Tahanan (ohm/km)

X = Reaktansi ( ohm/km)

L = Jarak (km)

#### D. ETAP

ETAP (*Electric Transient Analysis Program*) merupakan suatu perangkat lunak yang mendukung sistem tenaga listrik. Perangkat ini mampu bekerja dalam keadaan offline untuk simulasi tenaga listrik, online untuk pengelolaan data real time atau digunakan untuk mengendalikan sistem secara real-time. Fitur yang terdapat di dalamnya pun bermacam-macam antara lain fitur yang digunakan untuk menganalisa pembangkitan tenaga listrik, sistem transmisi maupun sistem distribusi tenaga listrik. ETAP dapat digunakan untuk membuat proyek sistem tenaga listrik dalam bentuk diagram satu garis untuk berbagai analisis, antara lain: aliran daya, rugi-rugi daya, hubung singkat, starting motor, transient stability, koordinasi relay proteksi dan sistem harmonisasi.

### III. METODE PENELITIAN

Saat melakukan analisis penelitian ada berbagai proses yang dibutuhkan untuk pelaksanaan tugas akhir ini, salah satunya adalah memperoleh data melalui metode penelitian, ada beberapa sumber data yang diperlukan jika dijabarkan diantaranya adalah :

#### A. Studi Pustaka

Dalam studi pustaka ada beberapa hal yang harus di persiapkan misalkan mencari sumber referensi. Sumber referensi bisa di dapatkan dari berbagai sumber misalkan mengambil sumber dari penelitian tugas akhir yang telah dilakukan sebelumnya yang berhubungan dengan rugi daya dan jatuh tegangan yang akan di analisis, bisa juga dari data lain yang bersifat teoritis seperti buku, jurnal ilmiah. Semua sumber tersebut dapat digunakan untuk memperkuat argumen dan penyusunan serta simulasi tugas akhir.

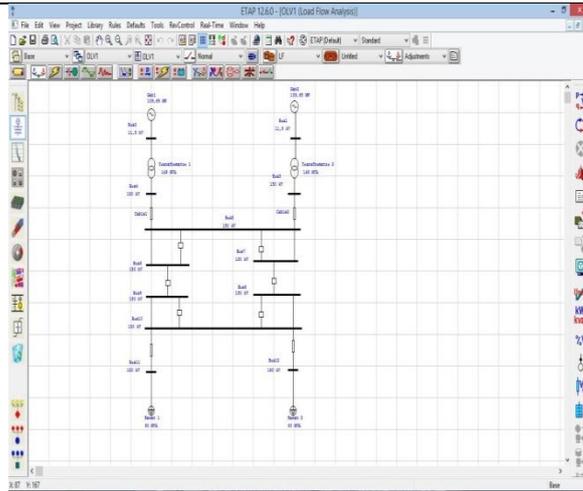
#### B. Metode Penelitian

Prosedur dimulai dengan studi literatur tentang rugi-rugi daya listrik, jatuh tegangan dari pembangkit sampai ke beban, serta aplikasi dan teknologi yang telah ada dan sedang berkembang untuk menganalisis pencapaian tujuan-tujuan tersebut. Setelah itu dilakukan pengimpunan data aliran daya listrik untuk memperoleh data operasioanl pembebanan sistem tenaga listrik dari pembangkit PLTG Tambak Lorok sampai ke saluran GI Bawen. Setelah data dihimpun, kemudian dilakukan disimulasikan untuk meperoleh data awal untuk melakukan simulasi. Data berisikan beban pada bus, data parameter saluran transmisi, data daya pembangkitan serta tegangan pada bus. Setelah itu dilakukan simulasi *power flow*, dengan mensimulasikan beban normal dan seimbang dan simulasi *continuation power flow*, yaitu untuk mengetahui karakteristik kesetabilan tegangan maupun rugi-rugi daya listrik pada sistem PLTG Tambak Lorok sampai GI Bawen. Hasil dari simulasi pada ETAP untuk analis saluran tegangan tinggi GI PLTG Tambak Lorok-Bawen, dengan tujuan mengetahui rugi daya masih dalam ambang normal atau sebaliknya, mengetahui besar jatuh tegangan, serta upaya peningkatan kesetabilan tegangan sistem tenaga setelah diketahui persentasi tingkat kerugian yang terjadi.

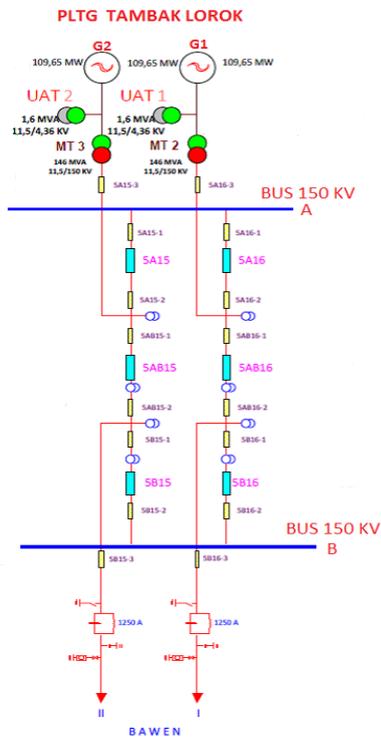
### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Simulasi ETAP (*Electric Transient and Analysis Program*)

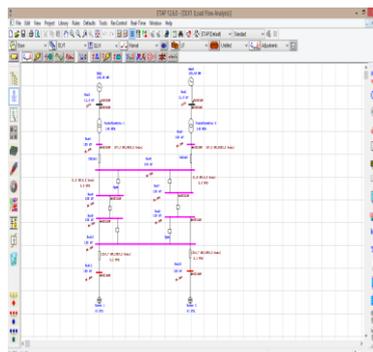
Tujuan Etap adalah untuk simulasi tenaga listrik, online untuk pengelolaan data real time atau digunakan untuk mengendalikan sistem secara real-time. Adapun dalam simulasi dibutuhkan data penelitian terdiri atas single line diagram dan data spesifikasi peralatan serta data penyaluran beban PLTG Tambak Lorok ke Gardu Induk Bawen 150 kV selama sebulan. Gambar 4.1 *one-line* dengan ETAP.



Gambar 4.1 *One-Line* Diagram dengan ETAP 12.6.0



Gambar 4.2 Diagram *One-line* Gardu Induk 150 kV PLTG Tambak Lorok – Bawen.



Gambar 4.3 *One-Line* Diagram dengan ETAP 12.6.0 Setelah di Jalankan

Project:	ETAP	Page:	1
Location:	12.6.0H	Date:	03-08-2018
Contract:		SN:	
Engineer:	Study Case: LF	Revision:	Base
Filename:	simulaita	Config:	Normal

**Branch Losses Summary Report**

CKT / Branch ID	From-To Bus Flow		To-From Bus Flow		Losses		% Bus Voltage		Vd
	MW	Mvar	MW	Mvar	kW	kvar	From	To	% Drop in Vmag
Transformer 2	46.600	39.417	-46.533	-36.592	67.3	2825.2	100.0	97.0	3.01
Transformer 1	46.600	39.417	-46.533	-36.592	67.3	2825.2	100.0	97.0	3.01
Cable2	46.533	36.592	-46.531	-36.587	1.8	4.2	97.0	97.0	0.01
Cable1	46.533	36.592	-46.531	-36.587	1.8	4.2	97.0	97.0	0.01
Line Bawen 2	46.531	36.587	-46.316	-34.737	214.7	1850.2	97.0	94.9	2.13
Line Bawen 1	46.531	36.587	-46.316	-34.737	214.7	1850.2	97.0	94.9	2.13
					567.6	9359.4			

Gambar 4.4 Keluaran Studi Aliran Daya Dapat Diketahui Setelah Program Dapat dijalankan.

Tabel 3.1 Hasil Perhitungan dengan Menggunakan ETAP

CKT / Branch ID	From-To Bus Flow		To-From Bus Flow		Losses		% Bus Voltage		Vd Drop
	MW	Mvar	MW	Mvar	kW	kVar	from	to	%
T1	46,6	39,4	-46,5	-36,6	67,3	2825,2	100	97	3,01
T2	46,6	39,4	-46,5	-36,6	67,3	2825,2	100	97	3,01
Kabel 1	46,5	36,6	-46,5	-36,6	1,8	4,2	97	97	0,01
kabel 2	46,5	36,6	-46,5	-36,6	1,8	4,2	97	97	0,01
Line 1	46,5	36,6	-46,3	-34,7	214,7	1850,2	97	94,9	2,13
Line 2	46,5	36,6	-46,3	-34,7	214,7	1850,2	97	94,9	2,13
<b>Total</b>					567,6	9359,4			5,1

Perhitungan rugi-rugi daya menggunakan penghantar jenis ZEBRA / ACSR (Aluminium Conductor, Steel-Reinforced), yaitu kawat penghantar aluminium berinti kawat baja dengan resistansi 0.0674 ohm/km. Sehingga resistansi sepanjang saluran Tambak Lorok – Bawen dengan jarak 12,86 km adalah 2,57 ohm.

Tabel 3.2 Data Energi Listrik yang di Salurkan Pada Pukul 10:00 WIB

TANGGAL	DAYA (MW)	ARUS (AMPERE)	IMPEDANSI (OHM)	TEGANGAN (V)
1	38,356	186	2,57	149.000
2	40,690	196	2,57	150.000
3	34,851	169	2,57	149.000
4	31,139	151	2,57	149.000
5	32,602	156	2,57	151.000

Tabel 3.33 Data Energi Listrik yang di Salurkan pada Pukul 19:00 WIB

TANGGAL	DAYA (MW)	ARUS (AMPERE)	IMPEDANSI (OHM)	TEGANGAN (V)
1	40,334	193	2,57	151.000
2	38,356	186	2,57	149.000
3	35,469	172	2,57	149.000
4	32,801	158	2,57	150.000
5	34,273	164	2,57	151.000

Sehingga untuk menentukan besarnya rugi daya menggunakan persamaan (2).

$$P_{\text{losses}} = 3 \cdot I^2 \cdot R$$

dengan :

$P_{\text{losses}}$  = rugi-rugi daya (watt)

$I$  = arus yang di salurkan (watt)

$R$  = tahanan saluran (  $\Omega$  / meter )

Untuk mencari Ploss kita harus menentukan nilai  $R_{\text{total}}$  atau nilai hambatan dengan jarak saluran yang telah ditentukan.

diketahui :

Arus (  $I$  ) : menyesuaikan dengan data arus pada Tabel 3.2 dan 3.1

Resistansi (  $R$  ) : 0,0674 ohm/km

Panjang saluran (  $L$  ) : 12,86 km

$$\begin{aligned} R_{\text{total}} &= R \times L \\ &= 0,0674 \text{ ohm/km} \times 12,86 \text{ km} \\ &= 2,57 \text{ ohm.} \end{aligned}$$

Sehingga  $P_{\text{losses}} = \dots ?$

#### Perhitungan $P_{\text{losses}}$ pada pukul 10:00 WIB

$$\begin{aligned} \text{Tanggal (n)} \quad & 3 \times I^2 \times R_{\text{total}} = P_{\text{losses}} \\ \text{Tanggal (1)} \quad & 3 \times 186^2 \times 2,57 = 0,267 \text{ MW} \\ \text{Tanggal (2)} \quad & 3 \times 196^2 \times 2,57 = 0,296 \text{ MW} \\ \text{Tanggal (3)} \quad & 3 \times 169^2 \times 2,57 = 0,220 \text{ MW} \end{aligned}$$

#### Perhitungan $P_{\text{losses}}$ pada pukul 19:00 WIB

$$\begin{aligned} \text{Tanggal (n)} \quad & 3 \times I^2 \times R_{\text{total}} = P_{\text{losses}} \\ \text{Tanggal (1)} \quad & 3 \times 193^2 \times 2,57 = 0,287 \text{ MW} \\ \text{Tanggal (2)} \quad & 3 \times 186^2 \times 2,57 = 0,267 \text{ MW} \\ \text{Tanggal (3)} \quad & 3 \times 172^2 \times 2,57 = 0,228 \text{ MW} \end{aligned}$$

#### $P_{\text{losses}}$ Rata-rata per hari

$$\begin{aligned} \text{Tanggal (n)} \quad & \frac{P_{\text{loss 10:00}} + P_{\text{loss 19:00}}}{2} = \text{Rata-rata Ploss/hari} \times 24 \text{ jam} = \text{Ploss (MWh)} \\ \text{Tanggal (1)} \quad & \frac{0,267 + 0,287}{2} = 0,277 \text{ MW} \quad \times 24 \text{ jam} = 6,64 \text{ MWh} \\ \text{Tanggal (2)} \quad & \frac{0,296 + 0,267}{2} = 0,281 \text{ MW} \quad \times 24 \text{ jam} = 6,75 \text{ MWh} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tanggal (3)} & \quad \frac{0,220+0,228}{2} = 0,224 \text{ MW} & \quad \times 24 \text{ jam} = 5,38 \text{ MWh} \\ \text{Tanggal (4)} & \quad \frac{0,176+0,192}{2} = 0,184 \text{ MW} & \quad \times 24 \text{ jam} = 4,42 \text{ MWh} \\ \text{Tanggal (5)} & \quad \frac{0,188+0,207}{2} = 0,197 \text{ MW} & \quad \times 24 \text{ jam} = 4,74 \text{ MWh} \end{aligned}$$

Tabel 3.4 Hasil Perhitungan Rugi-rugi Daya pada penghantar ACSR Zebra dengan Resistansi 0.0674 ohm/km.

TANGGAL	P (MW)	I (A)	Ploss 10:00 (MW)	P (MW)	I (A)	Ploss 19:00 (MW)	Rata-rata Ploss/jam (MWh)	Ploss Harian (MWh)
1	38,4	186	0,267	40,3	193	0,287	0,277	6,65
2	40,7	196	0,296	38,4	186	0,267	0,281	6,76
3	34,9	169	0,220	35,5	172	0,228	0,224	5,38
4	31,1	151	0,176	32,8	158	0,192	0,184	4,42
5	32,6	156	0,188	34,3	164	0,207	0,197	4,74

Losses terbesar di malam hari terjadi pada tanggal 22 November dengan losses sebesar 0,387 MW dan losses terendah terjadi pada tanggal 4 November dengan losses 0,184 MW.

Terjadinya rugi-rugi daya pada saluran transmisi ini menunjukkan bahwa tidak semua daya yang di kirim oleh PLTG Tambak Lorok tersalurkan ke GI Bawen. Pada dasarnya proses pengiriman rugi-rugi daya disebabkan karena pada pengiriman kadang terjadi perubahan arus yang tidak stabil sehingga berpengaruh terhadap resistansi dan suhu penghantar, selain itu jarak, jenis penghantar dan luas penampang juga berpengaruh terhadap rugi-rugi daya.

#### B. Perhitungan Manual

Untuk menghitung besarnya jatuh tegangan digunakan persamaan (5).

$$\Delta V = \sqrt{3} \cdot I \cdot L (R \cos \theta + X \sin \theta)$$

dengan :

$\Delta V$  = Jatuh Tegangan ( Volt)

$I$  = Arus Beban (Ampere)

$R$  = Tahanan (ohm/km)

$X$  = Reaktansi ( ohm/km)

$L$  = Jarak (km)

jatuh tegangan = .. ?

diketahui :

$I$  = 235 Ampere

$R$  = 0,067 ohm

$X$  = 0,74 ohm

$L$  = 38,14 km

$\cos \theta$  = 0.8

$\sin \theta$  = 0.6

$$\begin{aligned} \Delta V &= \sqrt{3} \times 195 \times 38,14 (0,0674 (0,8) + 0,74(0,6)) \\ &= 6,410 \text{ KV} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Jatuh Tegangan} &= \frac{\Delta V}{V_{\text{kirim}}} \times 100 \% \\ &= \frac{6,410 \text{ KV}}{150 \text{ KV}} \times 100 \% \\ &= 4,27 \% \end{aligned}$$

Karena jatuh tegangan masih berada dalam batas toleransi yaitu antara 5 – 10% sehingga jatuh tegangan pada GI PLTG Tambak Lorok sampai GI Bawen masih dalam kondisi normal.

**C. Perbandingan Plosses dengan Software Etap dan Perhitungan Manual**

Perbandingan Ploss dengan menggunakan software ETAP dan perhitungan manual

Tabel 3.5 Hasil Perbandingan Perhitungan Plosses dan Jatuh Tegangan dengan Menggunakan Software ETAP dan Perhitungan Manual.

Penghantar	Perhitungan Plosses Secara Manual (kW)	Perhitungan Plosses dengan Software ETAP (kW)
Tambak Lorok Bawen I	288	282,8
Tambak Lorok Bawen II	288	282,8
Penghantar	Perhitungan Jatuh Tegangan Secara Manual (kV)	Perhitungan Jatuh Tegangan dengan Software ETAP (kV)
Tambak Lorok Bawen I	4,27	5,1 %
Tambak Lorok Bawen II	4,27	5,1 %

Berdasarkan data perbandingan Plosses

$$\begin{aligned}
 \text{Plosses secara manual} &= \frac{\text{Total penjumlahan Plosses/jam}}{30} \\
 &= \frac{8644 \text{ MW}}{30} \\
 &= 0,288 \text{ MW} \times 1000 \\
 &= 288 \text{ KW} \\
 \text{Plosses software ETAP} &= \frac{\text{Total nilai losses}}{2} \\
 &= \frac{576 \text{ KW}}{2} \\
 &= 283,8 \text{ KW}
 \end{aligned}$$

Melihat hasil tersebut terjadi perbedaan Ploss antara perhitungan secara manual dan menggunakan aplikasi ETAP. Hal ini bisa terjadi karena komponen dan peralatan di lapangan tidak selamanya akan bekerja secara stabil dan normal, sehingga akan ada perbedaan yang terjadi antara lapangan dan pengujian dengan aplikasi ETAP. Namun berdasarkan selisih perbandingannya cukuplah kecil dan masih masuk dalam nilai toleransi.

**D. Jumlah Dana Kerugian Akibat Hilangnya Daya Listrik**

Berikut proses perhitungan biaya listrik akibat dari rugi-rugi daya.

Tabel 3.6 Tarif Tenaga Listrik (TTL) Bersubsidi dan Non-Subsidi Bulan Februari 2019

Daya Listrik	Keterangan	Tarif (Rp / kWh)
450 VA	Subsidi	415
900 VA	Subsidi	586
1300 VA	Non-Subsidi	1467,28
2200 VA	Non-Subsidi	1467,28
3500 VA, 4400 VA, 5500 VA	Non-Subsidi	1467,28
6600 VA ke atas	Non-Subsidi	1467,28
Rata-rata Tarif		1145,02 Rp/kWh

Tabel 3.6 merupakan hasil rata-rata dari tarif tenaga listrik bersubsidi dan non subsidi pada bulan Februari 2019. Dengan melihat rata-rata tarif tenaga listrik, peneliti dapat memperkirakan besarnya dana

kerugian akibat dari rugi-rugi daya PT. PLN (persero) pada saluran transmisi GI PLTG Tambak Lorok ke GI Bawen. Perhitungan biaya listrik yang hilang oleh rugi-rugi daya.

Tanggal (n)	PlossMWh	x 1000	= PlosskWh	x Tarif rata-rata	= Harga Jual
Tanggal (1)	6,64 MW	x 1000	= 6.640 kWh	x 1.145,02 Rp/kWh	= Rp. 7.602.933
Tanggal (2)	6,75 MW	x 1000	= 6.750 kWh	x 1.145,02 Rp/kWh	= Rp. 7.734.610
Tanggal (3)	5,38 MW	x 1000	= 5.380 kWh	x 1.145,02 Rp/kWh	= Rp. 6.160.208
Tanggal (4)	4,41 MW	x 1000	= 4.410 kWh	x 1.145,02 Rp/kWh	= Rp. 5.059.843
Tanggal (5)	4,74 MW	x 1000	= 4.740 kWh	x 1.145,02 Rp/kWh	= Rp. 5.427.395

Berdasarkan Tabel 3.4 memperlihatkan bahwa, hilangnya daya yang terjadi pada saat proses pengiriman dari GI PLTG Tambak Lorok ke GI Bawen selama satu bulan (30 hari) sebesar 207.525 kWh. Rugi-rugi daya pada sistem transmisi merupakan hilangnya daya yang mengakibatkan kerugian materi. Dana kerugian dapat dilihat dari hilangnya daya dalam satu bulan (kWh) dan di kalikan dengan biaya per kWh pada tarif tenaga listrik, sehingga dapat diketahui kerugian PT.PLN (persero). Rugi-rugi daya pada saluran transmisi GI PLTG Tambak Lorok Bawen mencapai Rp 237.620.276,00 dalam satu bulan. Rugi-rugi daya tidak dapat di hindari tetapi dapat di minimalisir dengan pemilihan Panjang saluran, jenis penghantar dan luas penampang yang tepat dan usaha perbaikan pada saat beban puncak, sehingga dapat melayani dengan baik ketika terjadi beban puncak/ beban lebih.

## V. SIMPULAN

### A. Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari tugas akhir ini :

1. Panjang saluran, jenis penghantar dan luas penampang adalah faktor yang berpengaruh terhadap jatuh tegangan dan rugi-rugi daya pada saluran transmisi tegangan tinggi 150 kV Gardu Induk Tambak Lorok – Bawen.
2. Hasil Simulasi dengan *software* ETAP 12.6.0 dan perhitungan jatuh tegangan menunjukkan kondisi pada sistem transmisi 150 kV GI PLTG Tambak Lorok – Bawen menunjukkan hasil yang stabil, karena masih dalam kategori tegangan yang diperbolehkan aturan SPLN dengan jatuh tegangan 4,27 % yaitu 6,41 kV.
3. Hasil perhitungan rugi-rugi daya dengan simulasi *software* ETAP 12.6.0 dan manual pada saluran transmisi tegangan tinggi 150 kV Gardu Induk PLTG Tambak Lorok – Bawen adalah 6.918 KW/hari.
4. Nilai rugi daya dalam sebulan pada saluran transmisi tegangan tinggi 150 kV Gardu Induk PLTG Tambak Lorok – Bawen selama adalah 207.525 kWh dengan nilai rupiah sebesar Rp. 237.620.276

### B. Saran

1. Perlu dilakukan penelitian berupa upaya mengurangi dampak rugi rugi daya yang terjadi pada saluran transmisi tegangan tinggi 150 KV Gardu Induk PLTG Tambak Lorok – Bawen.
2. Perlu dilakukan penelitian dengan ruang lingkup yang lebih besar yaitu pada saluran interkoneksi yang terhubung dengan PLTGU Tambak Lorok.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] M.E. Van Valkenburg. (1994). *Analisis Jaringan Listrik*, Jakarta: Erlangga.
- [2] H. Supari Muslim dkk. (2008). *Teknik Pembangkit Tenaga Listrik*, Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- [3] Ghofur, Bk. (2017). *Analisis Rugi-Rugi Daya Pada Saluran Transmisi Tegangan Tinggi 150 KV Pada Gardu Induk Jajar – Gondangrejo*. Solo: Universitas Muhammadiyah Solo.
- [4] S. Kuwahara, A. Arismunandar, (1991). *Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik Jilid III*, Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- [5] Akbar, A. (2014). *Analisis Perhitungan Rugi-Rugi Daya Pada Gardu Induk PLTU 2 Sumut Pangkalan Susu Dengan Software ETAP 7.5.0*. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- [6] PT. PLN (Persero). (2010). *Buku I Kriteria Desain Enjineriing Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik*, hal 32, 171, 236.
- [7] Stevenson, Jr., William, D. (1994). *Analisis Sistem Tenaga Listrik*, Jakarta: Erlangga
- [8] Cekdin, C., & Barlian, T. (2013). *Transmisi Daya Listrik*. Yogyakarta: ANDI.
- [9] Marsudi, D. (2006). *Operasi Sistem Tenaga Listrik*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [10] F. Suryatmo, (1992). *Dasar – Dasar Teknik Listrik*, Jakarta: PT. Rineka Cipta.