

Analisis Kerugian Daya dan Jatuh Tegangan Pada Saluran Transmisi dari Gardu Induk Balambano ke Gardu Induk *Thermal* 150 kV

MUHAMMAD NUR PRATAMA, WALUYO

Institut Teknologi Nasional Bandung
Email: nurpratama12@gmail.com

Received DD MM YYYY | *Revised* DD MM YYYY | *Accepted* DD MM YYYY

ABSTRAK

Kebutuhan energi listrik yang meningkat, mensyaratkan ketersediaan energi listrik yang efisien dan berkualitas. Untuk menyuplai energi listrik tersebut dibutuhkan saluran transmisi dimana saluran ini berfungsi menyalurkan energi listrik dari sisi pengirim(pembangkit listrik) ke sisi penerima(beban listrik). Dalam proses penyaluran energi listrik terjadi kerugian energi listrik atau pengurangan energi listrik pada sisi penerima(beban listrik) dan menyebabkan jatuh tegangan sehingga menghasilkan biaya listrik yang harus dikeluarkan akibat kerugian daya. Pada penelitian ini menggunakan metode pengambilan data terukur yang selanjutnya akan dilakukan perhitungan. Hasil kerugian daya tertinggi diperoleh 205,496 kW pukul 21:00 di Line 4 dan pada Line 3 diperoleh 2461,794 kW pukul 22:00. Besarnya jatuh tegangan yang diperoleh sebesar $1797,654 \angle 79,06^\circ$ V pada line 4 dan $5946,019 \angle 79,43^\circ$ V pada line 3. Berdasarkan standar kerugian daya PLN sebesar 5% hasil kerugian daya diatas dapat disimpulkan bahwa saluran transmisi gardu induk balambano ke gardu induk thermal masih beroperasi dengan baik.

Kata kunci: *gardu induk, jatuh tegangan, kerugian daya, saluran transmisi.*

ABSTRACT

The increasing demand for electrical energy requires the availability of efficient and quality electrical energy. To supply this electrical energy, a transmission line is needed where this channel functions to distribute electrical energy from the sending side (power plant) to the receiving side (electrical load). In the process of distributing electrical energy, there is a loss of electrical energy or a reduction in electrical energy on the receiving side(electrical load) and causes a drop voltage resulting in electricity cost that must be incurred due to power losses. In this study using the method of taking measured data which will than be calculated. The highest power loss results were obtained at 205,496 kW at 21:00 on Line 4 and on Line 3 obtained 2461,794 kW at 22:00. The magnitude of the drop voltage obtained is $1797,654 \angle 79,06^\circ$ V on line 4 and $5946,019 \angle 79,43^\circ$ V on line 3. Based on the standard PLN power loss of 5%, it can be concluded that the transmission line from the balambano substation to the thermal substation is still operating properly.

Keywords: *switchyard, drop voltage, power loss, transmission line.*

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik yang semakin meningkat, mensyaratkan ketersediaan energi listrik yang efisien dan berkualitas. Efisien dalam arti, energi yang dibangkitkan dapat didistribusikan secara maksimal kepada konsumen tanpa kehilangan energi seperti pada sistem jaringan maupun peralatan listrik seperti pada trafo (Patras, Tuegeh, & Hontong, 2015). Untuk menyuplai energi listrik tersebut dibutuhkan suatu saluran transmisi tegangan tinggi di mana saluran transmisi tegangan tinggi ini merupakan suatu alat yang berfungsi untuk menyalurkan energi listrik dari sisi pengirim dalam hal ini pembangkit listrik ke sisi penerima. Ada dua jenis saluran transmisi yang diketahui yaitu saluran udara (*overhead line*) dan saluran bawah tanah (*underground*) (Pramono, 2010).

Saluran udara menyalurkan energi listrik melalui kawat-kawat yang digantung pada tiang-tiang transmisi dengan perantara isolator-isolator (Edi & Sunawar, 2010). Sedangkan saluran bawah tanah menyalurkan energi listrik melalui kabel-kabel bawah tanah (Supri, 2019). Dalam proses penyaluran energi listrik ini terjadi kerugian energi listrik atau pengurangan energi listrik pada sisi penerima energi listrik (beban listrik).

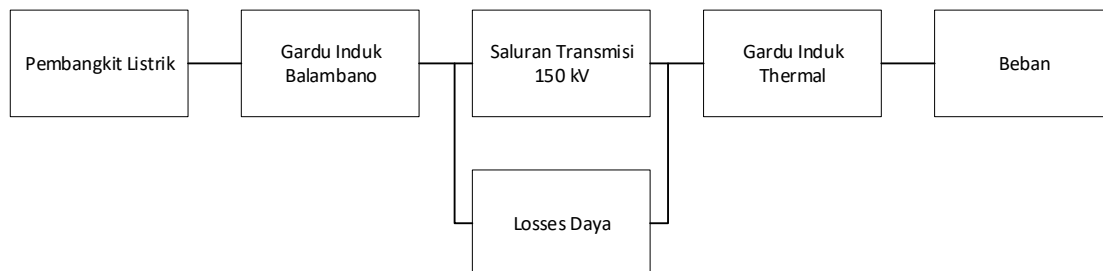
Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui besarnya kerugian daya pada saluran transmisi dari gardu induk Balambano ke gardu induk *thermal* 150 kV, lalu mencari besarnya biaya listrik yang dikeluarkan akibat kerugian daya tersebut dan untuk mengetahui besarnya jatuh tegangan (*drop voltage*) yang dihasilkan. Rumusan masalah yang diangkat pada penelitian ini adalah, berapa besar kerugian daya pada saluran transmisi gardu induk Balambano ke gardu induk *thermal* 150 kV, berapa biaya tarif listrik dan berapa besar jatuh tegangan yang dihasilkan.

Agar penelitian ini lebih spesifik, digunakan ruang lingkup masalah yang memudahkan penulis untuk menyusun penelitian ini, yaitu besarnya kerugian daya yang dicari adalah hanya pada penghantar saluran transmisi gardu induk Balambano ke gardu induk *thermal*, lalu besarnya kerugian daya yang diperoleh adalah akibat adanya perubahan arus saluran dan besarnya resistansi saluran saat keadaan berbeban, dan besarnya jatuh tegangan yang diperoleh adalah nilai arus dikalikan dengan besarnya impedansi saluran.

2. MATERIAL & METODE

2.1. Cara Kerja Umum Sistem

Cara kerja umum dan diagram blok sistem dari penelitian ini secara sederhana ditunjukkan pada Gambar 1.



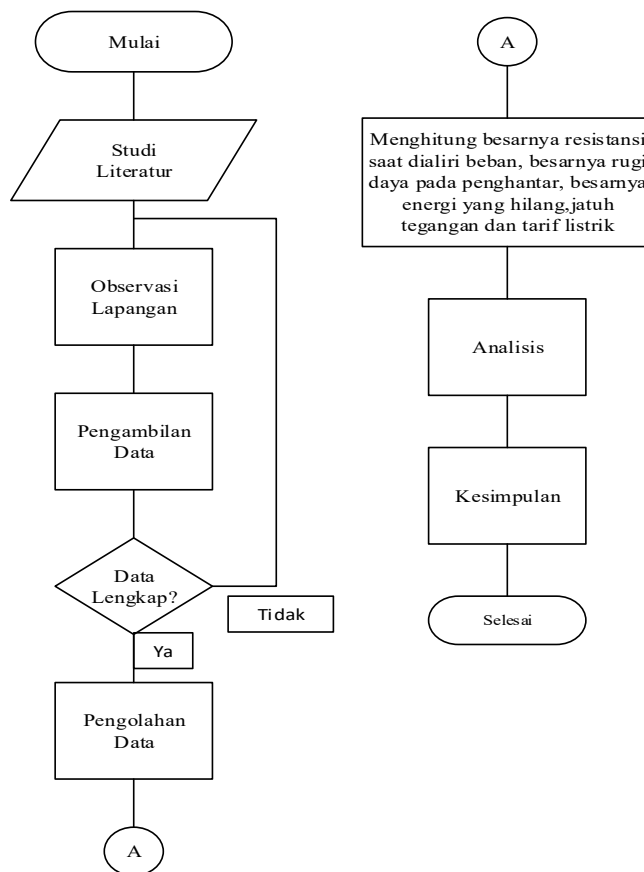
Gambar 1. Blok Diagram Penelitian

Pembangkit listrik membangkitkan daya listrik kemudian daya listrik dengan tegangan keluarannya sebesar 11 kV dinaikkan tegangannya oleh transformator *step-up* sebesar 150 kV. Kemudian daya listrik dialirkan menuju saluran transmisi dari gardu induk Balambano, ke gardu induk *thermal*. kemudian daya listrik ini digunakan oleh beban. Selama proses

penyaluran energi listrik di saluran transmisi, terjadi kerugian/susut daya yang mengakibatkan proses penyaluran daya dari sisi pembangkit menuju sisi beban tidak sempurna. Kerugian daya listrik ini disebabkan adanya komponen resistansi (ohm) yang menyebabkan terjadinya panas pada kabel penghantar saluran transmisi. Pada penelitian ini penyebab penyusutan daya listrik difokuskan pada hambatan resistansi (ohm) kemudian di analisis.

2.2. Metodologi Perencanaan

Dalam melakukan penelitian ini secara garis besar dijelaskan diagram alir penelitian dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Berdasarkan gambar 2, penelitian dimulai dengan melakukan studi literatur yaitu mencari sumber-sumber seperti jurnal-jurnal ilmiah, buku-buku, *commissioning test, datasheet, maintenance dan operating manual book*. Kemudian melakukan observasi lapangan, di mana observasi dilakukan di stasiun pembangkit listrik Balambano, gardu induk Balambano dan gardu induk *thermal*, namun observasi tidak dilakukan secara keseluruhan. Kemudian melakukan diskusi bersama dosen pembimbing dan pembimbing penulis di tempat penelitian. Kemudian melakukan pengambilan data, yang mana pengambilan data ini penulis peroleh dari data *operation and maintenance manual section 3 transmission line, data thermal control room, data utilities power overview*. Selanjutnya penulis melakukan pengolahan data menggunakan persamaan-persamaan matematis yang diperlukan, kemudian hasil pengolahan data tersebut dianalisis dan menghasilkan kesimpulan. Kemudian akan ditampilkan spesifikasi penghantar yang digunakan pada saluran transmisi gardu induk balambano ke gardu induk *thermal*.

Tabel 1. Spesifikasi Penghantar Saluran Transmisi Gardu Induk Balambano ke Gardu Induk *Thermal*

Jenis Kabel	ACSR
Jenis penghantar	Penghantar tunggal
Luas Penampang kabel	795 MCM atau 431,6 mm ²
Jari-jari Kabel	11,724 mm
Tahanan Dalam (R_{DC}) di suhu 20°C	0,07191 Ω /km
Tahanan Dalam (R_{AC}) di suhu 20°C	0,0729 Ω /km *
Koefisien Suhu Aluminium	0,00403 °C (Suhu Kamar 20 °C) *

(UMBA000026, 1998)

2.3. Metodologi Pengujian

Dalam metodologi pengujian dibutuhkan lima persamaan untuk mencari nilai resistansi saluran besarnya rugi-rugi daya, energi listrik yang terbuang, biaya listrik dan tegangan jatuh. Kelima persamaan tersebut adalah sebagai berikut:

- a. Persamaan resistansi saluran yang dipengaruhi oleh temperatur lingkungan saat dialiri beban menggunakan rumus

$$R_2 = R_1 [1 + a(T_2 - T_1)] \quad (1)$$

(Cortailod, 2015)

dimana:

 R_2 = resistansi saat suhu n derajat R_1 = resistansi AC saat suhu lingkungan (20°) a = koefisien suhu alumunium T_2 = suhu lingkungan saat waktu tertentu T_1 = suhu standar lingkungan (20°)

- b. Persamaan besarnya kerugian daya per phasa pada penghantar menggunakan rumus

$$P_{losses} = I^2 \cdot R_2 \cdot l \quad (2)$$

(Sujatmiko, 2009)

dimana:

 P_{losses} = Besar Kerugian Daya (Watt) I^2 = arus kuadrat (A) l = Panjang saluran (km)

- c. Persamaan energi listrik yang terbuang akibat rugi-rugi daya

$$E = P \cdot t \quad (3)$$

(Dwi Cahyo, 2018)

dimana:

E = energi listrik (kWh)
 P = besar kerugian daya (Watt)
 t = waktu (jam)

d. Persamaan biaya listrik yang dikenakan akibat rugi daya menggunakan rumus

$$\text{Biaya Listrik} = \text{Energi rata-rata perhari} \times \text{TTL} \quad (4)$$

(Dwi Cahyo, 2018)

dimana:

TTL = tarif tenaga listrik (/kWh)

e. Persamaan Tegangan Jatuh di Penghantar

$$\Delta V = I \cdot Z \quad (5)$$

(Sau, 2015)

dimana:

ΔV = Tegangan Jatuh (V)

I = Arus Saluran (A)

Z = Impedansi Saluran (Ω)

3. HASIL DAN ANALISIS

Untuk menentukan kerugian daya pada saluran transmisi Gardu Induk Balambano menuju Gardu Induk *Thermal* diperlukan parameter-parameter seperti besarnya resistansi saluran per km saat keadaan berbeban di suhu lingkungan tertentu, nilai arus saluran dan selanjutnya nilai-nilai parameter tersebut digunakan untuk mendapatkan besarnya kerugian daya, besarnya energi yang hilang dan besarnya tarif energi listrik akibat hilangnya energi pada saluran transmisi dari gardu induk Balambano menuju gardu induk thermal.

a. Menghitung resistansi saluran saat keadaan berbeban per jam

Diambil contoh perhitungan resistansi saat pukul 00.00

$$\begin{aligned} R_2 &= R_1 [1 + \alpha(T_2 - T_1)] \\ &= 0,0729 [1 + 0,00403(22 - 20)] \\ &= 0,0729 (1,00806) \\ &= 0,07349 \Omega/\text{km} \end{aligned}$$

Kemudian mencari besarnya resistansi saluran sepanjang 22,36 km

$$\begin{aligned} R_{22,36 \text{ km}} &= (0,07349 \Omega/\text{km} \times 22,36 \text{ km}) \\ &= 1,64318 \Omega \end{aligned}$$

Tabel 2. Data Terukur Daya, Arus dan Tegangan yang Terkirim di *Line* 4

Waktu	Tegangan (V)	Daya (kW)	Arus fasa A (A)	Arus fasa B (A)	Arus fasa C (A)
00:00	157.322,34	45.082,96	201,98	202,65	201,75
1:00:00	157.633,39	44.045,55	198,71	198,94	197,92
2:00:00	157.827,31	43.707,78	196,57	196,89	196,35
3:00:00	157.706,67	43.747,84	196,57	196,80	196,76
4:00:00	157.834,98	44.025,11	198,45	198,82	198,90
5:00:00	157.688,11	44.819,19	199,61	200,71	200,41
6:00:00	157.637,78	44.967,43	199,61	200,90	199,81
7:00:00	157.955,81	43.993,48	197,19	198,14	197,39
8:00:00	157.874,75	44.757,41	199,88	200,76	200,28

9:00:00	157.735,41	45.478,65	201,71	202,93	202,62
10:00:00	158.031,66	44.431,11	197,25	199,13	198,30
11:00:00	158.167,11	42.782,57	192,12	193,38	192,79
12:00:00	158.368,25	42.497,46	192,11	194,26	193,72
13:00:00	158.328,72	43.641,09	196,35	197,04	198,04
14:00:00	157.646,25	44.881,86	199,24	201,19	199,41
15:00:00	158.188,86	43.812,20	197,14	197,43	196,94
16:00:00	158.250,75	43.257,59	195,46	196,40	196,06
17:00:00	157.980,11	44.051,93	198,11	198,23	198,31
18:00:00	157.637,39	44.842,47	199,62	200,73	200,58
19:00:00	157.719,11	44.462,73	200,09	200,37	199,56
20:00:00	157.735,41	44.772,02	200,36	203,29	200,57
21:00:00	157.494,53	45.858,95	203,79	204,48	203,01
22:00:00	157.656,06	45.350,67	202,04	203,16	201,97
23:00:00	157.697,25	45.356,56	201,39	201,93	201,33

Tabel 3. Data Terukur Daya, Arus dan Tegangan yang Terkirim di Line 3

Waktu	Tegangan (V)	Daya (kW)	Arus fase A (A)	Arus fase B (A)	Arus fase C (A)
00:00	156.650,98	127.102,66	525,28	531,83	519,80
1:00:00	156.071,02	170.034,44	665,29	666,29	672,19
2:00:00	156.692,02	160.172,92	634,43	629,50	635,33
3:00:00	158.335,72	166.877,97	639,08	645,16	643,53
4:00:00	156.909,66	136.365,08	537,44	531,19	534,71
5:00:00	157.149,02	141.079,72	559,70	555,89	560,17
6:00:00	157.864,97	132.614,14	537,46	538,23	546,87
7:00:00	156.832,56	142.883,05	579,08	628,50	583,71
8:00:00	156.540,03	128.571,31	517,37	520,29	517,69
9:00:00	156.603,41	133.901,88	542,04	533,21	541,40
10:00:00	157.710,58	134.511,72	528,28	526,36	536,86
11:00:00	157.066,75	107.669,59	496,99	402,18	441,73
12:00:00	156.827,91	148.784,52	606,45	604,44	605,71
13:00:00	157.966,09	136.425,09	550,89	550,11	548,08
14:00:00	157.229,48	148.426,30	582,30	588,60	579,00
15:00:00	157.279,50	147.710,42	587,46	583,86	587,83
16:00:00	156.373,58	151.101,97	600,86	605,43	603,44
17:00:00	157.418,59	160.803,83	639,15	622,72	629,55
18:00:00	157.242,13	107.116,53	459,05	429,54	424,11
19:00:00	157.653,66	151.189,81	603,19	606,26	621,71
20:00:00	156.584,11	162.880,59	642,60	644,05	652,01
21:00:00	156.676,59	170.245,88	677,49	673,40	684,03
22:00:00	155.835,83	173.252,59	698,59	698,01	719,01

23:00:00	155.864,28	165.427,98	695,45	664,29	676,53
----------	------------	------------	--------	--------	--------

(Utilities, 2019)

Tabel 2 dan Tabel 3 menampilkan data terukur daya, arus dan tegangan yang terkirim pada *line* 4 dan *line* 3 pada saluran transmisi gardu induk balambano ke gardu induk *thermal*. Data ini diperoleh dari tabular report dari PT Vale Indonesia, dapat dilihat dari kedua tabel perubahan nilai daya, arus dan tegangan mengalami perubahan disetiap waktunya, hal ini disebabkan pada waktu waktu tertentu terjadi pemakaian beban yang cukup besar di sisi penerima sehingga data daya, arus dan tegangan bernilai besar dan bernilai kecil

b. Menghitung Kerugian Daya

Setelah memperoleh data terukur daya, arus dan tegangan disaluran transmisi pada *line* 3 dan *line* 4, dilakukan perhitungan kerugian daya per fasa
Diambil contoh perhitungan kerugian daya pada pukul 00.00

• *Line* 3 pada pukul 00.00

$$\begin{aligned} P_{\text{loss fasa A}} &= (I_A)^2 \cdot R_2 \\ &= (525,28)^2 \cdot 1,64318 \Omega \\ &= 453385,306 \text{ W} \\ &= 453,385 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{loss fasa B}} &= (I_B)^2 \cdot R_2 \\ &= (531,83)^2 \cdot 1,64318 \Omega \\ &= 464762,815 \text{ W} \\ &= 464,763 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{loss fasa C}} &= (I_C)^2 \cdot R_2 \\ &= (519,80)^2 \cdot 1,64318 \Omega \\ &= 443974,738 \text{ W} \\ &= 443,975 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{loss total}} &= P_{\text{loss fasa A}} + P_{\text{loss fasa B}} + P_{\text{loss fasa C}} \\ &= 453385,306 \text{ W} + 464762,815 \text{ W} + 443974,738 \text{ W} \\ &= 1362122,86 \text{ W} \end{aligned}$$

• *Line* 4 pada pukul 00.00

$$\begin{aligned} P_{\text{loss fasa A}} &= (I_A)^2 \cdot R_2 \\ &= (201,98)^2 \cdot 1,64318 \Omega \\ &= 67035,128 \text{ W} \\ &= 67,035 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{loss fasa B}} &= (I_B)^2 \cdot R_2 \\ &= (202,65)^2 \cdot 1,64318 \Omega \\ &= 67480,599 \text{ W} \\ &= 67,481 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{loss fasa C}} &= (I_C)^2 \cdot R_2 \\ &= (201,75)^2 \cdot 1,64318 \Omega \\ &= 66882,546 \text{ W} \\ &= 66,883 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{loss total}} &= P_{\text{loss fasa A}} + P_{\text{loss fasa B}} + P_{\text{loss fasa C}} \\ &= 67035,128 \text{ W} + 67480,599 \text{ W} + 66882,546 \text{ W} \\ &= 201398,273 \text{ W} \end{aligned}$$

Tabel 4. Hasil Perhitungan Kerugian Daya pada Line 3

Waktu	Rugi daya phasa A (Watt)	Rugi daya phasa B (Watt)	Rugi daya phasa C (Watt)	Rugi daya total (Watt)
00:00	453.385,306	464.762,815	443.974,738	1.362.122,86
1:00:00	724.381,752	726.561,879	739.486,265	2.190.429,90
2:00:00	658.739,096	648.541,073	660.609,391	1.967.889,56
3:00:00	668.430,826	681.209,794	677.771,983	2.027.412,60
4:00:00	472.722,191	461.791,355	467.935,375	1.402.448,92
5:00:00	512.692,106	505.743,206	513.553,519	1.531.988,83
6:00:00	474.654,940	476.015,957	491.421,224	1.442.092,12
7:00:00	553.217,096	651.671,946	562.098,891	1.766.987,93
8:00:00	443.350,101	448.368,697	443.898,706	1.335.617,50
9:00:00	490.499,187	474.648,584	489.341,581	1.454.489,35
10:00:00	469.578,658	466.171,553	484.955,742	1.420.705,95
11:00:00	417.222,339	273.220,444	329.599,120	1.020.041,90
12:00:00	623.660,052	619.532,822	622.138,981	1.865.331,86
13:00:00	514.621,236	513.164,973	509.384,628	1.537.170,84
14:00:00	574.978,369	587.487,244	568.479,821	1.730.945,43
15:00:00	582.946,709	575.823,916	583.681,255	1.742.451,88
16:00:00	605.100,815	614.340,328	610.308,390	1.829.749,53
17:00:00	684.678,574	649.930,292	664.265,363	1.998.874,23
18:00:00	351.799,811	308.022,785	300.284,312	960.106,91
19:00:00	602.632,560	608.782,497	640.206,432	1.851.621,49
20:00:00	681.239,629	684.317,475	701.337,361	2.066.894,46
21:00:00	757.223,772	748.108,666	771.913,720	2.277.246,16
22:00:00	805.124,775	803.788,430	852.880,770	2.461.793,97
23:00:00	794.726,203	725.105,400	752.072,708	2.271.904,31
Rata-rata Kerugian Daya Dalam 1 Hari				1.729.846,60

Tabel 5. Hasil Perhitunga Kerugian Daya pada Line 4

Waktu	Rugi daya phasa A (Watt)	Rugi daya phasa B (Watt)	Rugi daya phasa C (Watt)	Rugi daya total (Watt)
00.00	67.035,128	67.480,599	66.882,546	201.398,273
1:00:00	64.622,754	64.772,438	64.109,782	193.504,975
2:00:00	63.238,345	63.444,406	63.096,872	189.779,622
3:00:00	63.193,313	63.386,417	63.360,653	189.940,384

Analisis Kerugian Daya dan Jatuh Tegangan Pada Saluran Transmisi dari Gardu Induk Balambano ke Gardu Induk *Thermal* 150 kV

4:00:00	64.453,755	64.694,321	64.746,394	193.894,469
5:00:00	65.209,460	65.930,146	65.733,203	196.872,809
6:00:00	65.471,200	66.320,163	65.602,464	197.393,826
7:00:00	64.148,755	64.768,342	64.278,947	193.196,045
8:00:00	66.173,333	66.757,290	66.438,450	199.369,073
9:00:00	67.925,130	68.749,276	68.539,391	205.213,797
10:00:00	65.465,733	66.719,595	66.164,562	198.349,890
11:00:00	62.347,265	63.167,744	62.782,884	188.297,893
12:00:00	62.583,215	63.991,854	63.636,582	190.211,652
13:00:00	65.376,210	65.836,498	66.506,449	197.719,157
14:00:00	67.314,867	68.638,962	67.429,788	203.383,617
15:00:00	65.648,039	65.841,322	65.514,906	197.004,267
16:00:00	64.031,981	64.649,343	64.425,700	193.107,025
17:00:00	65.780,012	65.859,725	65.912,894	197.552,631
18:00:00	66.524,822	67.266,710	67.166,215	200.957,747
19:00:00	66.312,453	66.498,175	65.961,621	198.772,249
20:00:00	66.227,827	68.178,979	66.366,729	200.773,535
21:00:00	68.514,769	68.979,515	67.991,297	205.485,581
22:00:00	67.343,112	68.091,809	67.296,456	202.731,376
23:00:00	66.644,070	67.001,943	66.604,366	200.250,379
Rata-rata Kerugian Daya Dalam 1 Hari				197.298,345

Berdasarkan tabel 4 pada *line* 3, kerugian daya terbesar dialami saat pukul 22:00 sebesar 2.461.793,97 W atau sekitar 2461,794 kW sedangkan kerugian daya terkecil dialami saat pukul 18:00 sebesar 960.106,91 W atau sekitar 960,107 kW. Rata-rata keseluruhan kerugian daya pada *line* 4 sebesar 197298,345 W atau sekitar 197,298 kW sedangkan *Line* 3 sebesar 1729846,60 W atau sekitar 1729,847 kW. Sedangkan pada *line* 4 kerugian daya terbesar dialami sebesar 205485,581 W atau sekitar 205,486 kW pada pukul 21:00 sedangkan kerugian daya terkecil dialami oleh saluran *Line* 4 sebesar 188297,893 W atau sekitar 188,298 kW pada pukul 11:00. Kerugian terbesar pada saluran *Line* 4 diperoleh karena pada pukul 21:00 terjadi pengiriman daya yang besar sehingga rugi daya pun meningkat.

Setelah mengetahui besarnya rugi energi yang dihasilkan saluran *line* 3 dan *line* 4 maka dapat ditentukan tarif tenaga listrik yang dikenakan kepada kedua saluran tersebut.

Berdasarkan ketentuan peraturan kementerian ESDM, besarnya tarif tenaga listrik untuk industri besar dengan kode I-4/TR seharga Rp 1.191/kWh (Permen, 2016). Berikut perhitungan biaya listrik akibat kerugian daya.

a. *Line* 4

$$\begin{aligned}
 \text{Biaya Listrik} &= \text{Energi rata-rata perhari} \cdot (\text{Tarif Tenaga Listrik}) \\
 &= 4735,160 \text{ kWh} \cdot (\text{Rp } 996,74/\text{kWh}) \\
 &= 4719723,38 \text{ atau senilai} \\
 &= \text{Rp } 4.719.723,38
 \end{aligned}$$

b. *Line 3*

$$\begin{aligned}
 \text{Biaya Listrik} &= \text{Energi rata-rata perhari} \cdot (\text{Tarif Tenaga Listrik}) \\
 &= 41516,318 \text{ kWh} \cdot (\text{Rp } 996,74/\text{kWh}) \\
 &= 41391769,05 \text{ atau senilai} \\
 &= \text{Rp } 41.380.974,8
 \end{aligned}$$

Dalam proses menyalurkan daya listrik dari sisi pengirim(pembangkit listrik) menuju sisi penerima(beban) selain adanya kerugian daya, terdapat juga tegangan jatuh yang dapat mempengaruhi besarnya kerugian daya listrik yang dialami suatu saluran transmisi. Berikut perhitungan tegangan jatuh pada saluran transmisi gardu induk Balambano menuju gardu induk *Thermal*.

a. Tegangan Jatuh pada *line 3*

Impedansi Saluran:

$$\begin{aligned}
 Z &= (r + j\omega L) \\
 &= (0,07584 + j(2\pi fL)) \\
 &= (0,07584 + j(2 \cdot (3,14) \cdot 50 \cdot (1,2495 \times 10^{-3}))) \\
 &= (0,07584 + j0,39234) \Omega/\text{km}
 \end{aligned}$$

Impedansi Saluran Sepanjang 22,36 km

$$\begin{aligned}
 Z_{22,36 \text{ km}} &= (0,07584 + j0,39234) \times 22,36 \text{ km} \\
 &= (1,69573 + j8,77272) \Omega \\
 &= 8,93511 \angle 79,06^\circ \Omega
 \end{aligned}$$

Tegangan Jatuh:

$$\begin{aligned}
 V &= I \cdot Z \\
 &= 604,44 \cdot (8,93511 \angle 79,06^\circ) \\
 &= 5400,738 \angle 79,06^\circ \text{ V}
 \end{aligned}$$

b. Tegangan Jatuh pada *line 4*

Impedansi Saluran:

$$\begin{aligned}
 Z &= (r + j\omega L) \\
 &= (0,07584 + j(2\pi fL)) \\
 &= (0,07584 + j(2 \cdot (3,14) \cdot 50 \cdot (1,2495 \times 10^{-3}))) \\
 &= (0,07584 + j0,39234) \Omega/\text{km}
 \end{aligned}$$

Impedansi Saluran Sepanjang 22,36 km

$$\begin{aligned}
 Z_{22,36 \text{ km}} &= (0,07584 + j0,39234) \times 22,36 \text{ km} \\
 &= (1,69573 + j8,77272) \Omega \\
 &= 8,93511 \angle 79,06^\circ \Omega
 \end{aligned}$$

Tegangan Jatuh:

$$\begin{aligned}
 V &= I \cdot Z \\
 &= 201,19 \cdot (8,93511 \angle 79,06^\circ) \\
 &= 1797,654 \angle 79,06^\circ \text{ V}
 \end{aligned}$$

Besarnya tegangan jatuh ini dipengaruhi oleh besarnya arus, nilai impedansi saluran, Panjang saluran dan besarnya daya yang terkirim. Semakin besar nilai arus, impedansi saluran, Panjang saluran dan besarnya daya yang diperoleh maka semakin besar juga tegangan jatuh yang diperoleh oleh suatu saluran transmisi.

Kerugian daya berbanding lurus terhadap jumlah daya yang disuplai semakin besar daya yang dikirim semakin besar juga kerugian daya yang dialami oleh saluran transmisi, begitupun sebaliknya. Hal ini dipengaruhi oleh besarnya arus, beban dan resistansi pada saluran transmisi. Untuk meminimalisasi kerugian daya, nilai tegangan yang digunakan pada saluran transmisi dinaikkan sehingga diperoleh nilai efisiensi yang besar juga dan memerhatikan kondisi beban. Membuat bentuk penghantar menjadi berkas (*bundle*) juga bisa dapat meminimalisasi kerugian daya yang dialami oleh. Pemberkasan penghantar pada saluran transmisi dapat memperkecil resistansi penghantar karena pada pemberkasan resistansi di paralel sehingga arus pada penghantar lebih kecil namun

beban akan menerima arus yang sama yang dikirimkan dari sumber pembangkit listrik. Saluran transmisi ini mempunyai panjang saluran dari sisi pengirim (Pembangkit) sampai di sisi penerima (*thermal switchyard*) yaitu 22,36 km. Sehingga untuk menganalisisnya menggunakan representasi saluran pendek. Dimana saluran pendek ini memiliki jarak dibawah atau sama dengan 80 km.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diperoleh dari hasil dan analisis penelitian ini adalah:

1. Rata-rata kerugian daya pada tanggal tersebut adalah sebesar 197298,345 W atau sekitar 197,298 kW untuk *Line* (saluran) 4 dan 1729846,60 W atau sekitar 1729,847 kW untuk *Line* (saluran) 3
2. Besarnya biaya tarif listrik yang diakibatkan kerugian daya pada saluran transmisi dari Gardu Induk Balambano ke Gardu Induk *Thermal* 150 kV adalah Rp 4.719.723,38 pada *line* 4 dan Rp 41.380.974,8 pada *line* 3.
3. Besarnya tegangan jatuh (*drop voltage*) pada *line* 4 saat kondisi lingkungan dengan suhu terendah 21° C adalah sebesar 1791,150 \pm 79,43 ° V, saat kondisi suhu tertinggi sebesar 1797,654 \pm 79,06 ° V dan saat kondisi suhu median sebesar 1783,190 \pm 79,06 ° V.
4. Besarnya tegangan jatuh (*drop voltage*) pada *line* 3 saat kondisi lingkungan dengan suhu terendah 21° C adalah sebesar 5946,019 \pm 79,43 ° V, saat kondisi suhu tertinggi sebesar 5400,738 \pm 79,06 ° V dan saat kondisi suhu median sebesar 5325,200 \pm 79,33 ° V.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada penelitian ini penulis mengucapkan terima kasih kepada departemen utilities PT Vale Indonesia yang telah bersedia untuk penulis melakukan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Cortailod, A. (2015). Temperature and Frequency Effects on Cable Resistance. *Application Note*, 02-03.
- Dwi Cahyo, G. (2018). *Analisis Susut Daya Pada Saluran Transmisi Tegangan TInggi 150 kV Pada Gardu Induk Palur-Masaran*. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Edi, S., & Sunawar, A. (2010, Februari 10). *Bahan-bahan Listrik*. Diambil kembali dari academia.edu: www.academia.edu
- Patras, L. S., Tuegeh, M., & Hontong, N. J. (2015). Analisis Rugi-rugi Daya Pada Jaringan Distribusi di PT.PLN Palu (Vol. 4). *Palu, Palu: Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*.
- Permen, E. (2016, May 04). *Permen ESDM No.28* . Diambil kembali dari Permen ESDM: <http://web.pln.co.id>
- Pramono, J. (2010). *Makalah Teknik Tenaga Listrik: Transmission of Electrical Energy*. Depok: Departemen Teknik Elektro.
- Sau, M. (2015). *Transmisi Daya Elektrik*. Makassar: Andi.
- Sujatmiko, H. (2009, Januari). Analisis Kerugian Daya Pada Saluran Transmisi Tegangan Ekstra TInggi 500 kV di PT.PLN (Persero) Penyaluran & Pusat Pengaturan Beban (P3B) Jawa Bali Regional Jawa Tengah & DIY Unit Pelayanan Transmisi Semarang. *Teknik Elektro, I*, 42-43.
- Supri, A. (2019, Agustus 2). *Definisi Gardu Induk*. Diambil kembali dari blog.unnes.ac.id: <http://blog.unnes.ac.id>

- UMBA000026, M. (1998). *O&M Manual Section 3 Transmission Line Vol. 1 of 4*. Soroako: PT Expansion Project.
- Utilities, P. V. (2019). *Tabular Report, Line 3 & Line 4 Data*. Soroako: PT Vale Indonesia.