

RUGI RUGI DAYA DAN SUSUT TEGANGAN PADA SALURAN UDARA TEGANGAN EKSTRA TINGGI (SUTET) 500 KV UNGARAN-PEDAN

Hanifan Pandu Cahyandaru¹, Sapto Nisworo², Deria Pravitasari³

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tidar

²Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tidar

³Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tidar

Jln. Kapten Supratman 39 potrobangsari, Magelang Utara, Magelang, Jawa Tengah

Email: hanifanpandu@gmail.com, saptonisworo@untidar.ac.id, deria.pravitasari@untidar.ac.id

ABSTRAK

Kebutuhan listrik terus meningkat, terutama dalam beberapa tahun terakhir karena kemajuan teknologi dan penggunaan perangkat elektronik yang terus mengalami perubahan, dan disertai dengan bertambahnya penduduk. Energi listrik yang cukup dan berkualitas tinggi harus selalu tersedia. Analisa rugi-rugi daya dan susut tegangan pada saluran udara tegangan ekstra tinggi SUTET 500 kV Ungaran-Pedan akan diambil sampling pada suhu pada kawat penghantar antara 20°C sampai 40°C. Pada saat kawat penghantar menunjukkan suhu sebesar 34°C di peroleh hasil resistansi total sebesar 0,00685 ohm dengan nilai rugi-rugi daya sebesar 1.464,98 Watt. Susut tegangan saluran transmisi mencapai 2.797 volt sehingga presentase susut tegangan pada saluran transmisi mencapai 0,00937 %.

Kata kunci : Rugi-rugi dan susut tegangan, Saluran Transmisi, SUTET

ABSTRACT

The need for electricity continues to increase, especially in recent years due to technological advances and the use of electronic devices that continue to change, and is accompanied by an increase in population. Sufficient and high quality electrical energy must always be available. Analysis of power losses and voltage losses on the extra high voltage SUTET 500 kV Ungaran-Pedan overhead line will be sampled at the temperature of the conducting wire between 20°C to 40°C. When the conductor wire shows a temperature of 34°C, a total resistance of 0.00685 ohms is obtained with a power loss of 1.464.98 Watt. The voltage drop in the transmission line reaches 2,797 volts so that the percentage of voltage loss on the transmission line reaches 0.00937%.

Keyword: Voltage losses and losses, Transmission Lines, SUTET

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik yang terus mengalami kenaikan seiring dengan berjalannya waktu, kemajuan teknologi yang semakin modern, dan juga pertambahan penduduk, mensyaratkan kebutuhan energi harus efisien dan berkualitas. Energi yang dari pembangkit dapat tersalurkan secara baik kepada pengguna tanpa kehilangan energi seperti pada sistem transmisi maupun peralatan listrik [1].

Saluran transmisi mendistribusikan energi listrik melewati saluran udara tegangan tinggi (SUTT), saluran kabel

tegangan tinggi (SKTT) saluran udara tegangan ekstra tinggi (SUTET). Masalah pada saluran transmisi maupun distribusi diantaranya sering terjadi rugi rugi daya yang di sebabkan oleh berbagai macam faktor yaitu faktor kebocoran isolator, faktor jarak antara saluran transmisi, faktor korona dan lain lain. Kehilangan daya dapat dideteksi dengan mengukur perbedaan tegangan tegangan pada pangkal pengirim (pembangkit) dan pangkal penerima yang mengalami perbedaan [2].

Saat mendistribusikan energi, terjadi penurunan tegangan karena adanya impedansi pada saluran penghantar, yang

mengakibatkan daya yang di terima konsumen akan mengalami penurunan dari pada daya yang dikirim. Tegangan yang kurang dari atau lebih dari batas yang standar yaitu 5% (± 25 kV) dari tegangan ekstra tinggi yang akan mempengaruhi kinerja peralatan listrik sehingga tidak berfungsi secara baik [3].

Pemilihan kawat saluran transmisi didasarkan konduktivitasnya dan kekuatan tarikan kawat penghantar. Saluran transmisi tegangan tinggi menggunakan menara untuk menopang kawat, dan jarak menara berjauhan. Kawat yang dipakai dalam saluran transmisi kawat ACSR (*Aluminium Conductor Steel Reinforced*) dipilih kawat jenis ini karena kekuatan tarik yang tinggi [4].

Kehilangan daya dalam sistem transmisi dan distribusi daya di Rumania tingkatnya sekitar dua kali lipat dari rata-rata di Eropa Volume kehilangan energi dalam sistem transmisi dan distribusi tenaga listrik adalah penting, karena umumnya mencapai 3 - 13% Hasil pengujian menunjukkan pentingnya evaluasi dengan pengukuran real-time, dibandingkan dengan hasil evaluasi dengan perhitungan [5].

Rugi daya dan rugi tegangan pada saluran listrik tegangan tinggi harus diselidiki karena saluran listrik secara rutin terkena rugi daya dan rugi tegangan. Ini memberikan gambaran tentang rugi daya dan tegangan yang terjadi pada Saluran Transmisi Tegangan Super Tinggi (SUTET) Ungarapedang. Memungkinkan nilai kerugian ditentukan sesuai dengan batas toleransi SPLN.

TINJAUAN PUSTAKA , LANDASAN TEORI

Berdasarkan kebutuhan Penelitian yang akan dilakukan, membutuhkan berbagai referensi yang sesuai dengan yang akan dikerjakan pada penelitian ini. Dari referensi digunakan untuk menentukan batasan masalah dan untuk menjadi tolak ukur apa saja yang menyangkut dari topik

penelitian. Adapun penelitian penelitian yang di gunakan untuk referensi sebagai berikut.

mengatakan kualitas dari sistem kelistrikan dikatakan baik karena besar kecilnya rugi daya. Dari penelitiannya total jatuh tegangan mencapai 235,4250 V dengan presentase 0,65%, dan rugi daya sebesar 9,480 Kw dengan presentase sebesar 0,45%. Nilai rugi daya kecil karena panjang saluran hanya sepanjang 113,8 Km. [6].

saluran transmisi 150 kV Gardu Induk Palur dengan perhitungan yang dilakukan pengumpulan data pada Gardu Induk 150 kV. Perhitungan dilakukan pada saat beban puncak pukul 10.00 dan 19.00 dengan di peroleh hasil presentase jatuh tegangan masih dalam toleransi PLN (SPLN) yakni kurang dari 10 %. Disimpulkan rugi rugi daya tertinggi mencapai 15.958 KW dan daya terendah mencapai 7.462 KW [7].

Sistem tenaga adalah kumpulan beberapa komponen atau peralatan listrik seperti generator, transformator, saluran transmisi, saluran distribusi, dan beban yang terhubung ke sistem. Suatu sistem dapat terdiri dari beberapa subsistem yang saling berhubungan atau sering disebut sebagai sistem interkoneksi.

Sistem transmisi tenaga adalah sistem yang menyalurkan energi listrik dari generator ke jaringan distribusi. Energi listrik ditransmisikan melalui bahan konduktif yang berjalan antara generator dan beban. Saluran transmisi membawa energi pada tegangan tinggi dan digunakan untuk mengurangi kehilangan daya akibat penurunan tegangan di sepanjang jalur konduktif. Penggunaan jaringan tergantung pada jumlah listrik yang harus didistribusikan dari produsen ke konsumen.

Saluran transmisi dapat dilihat dari jarak atau panjang saluran dapat di bedakan menjadi tiga saluran transmisi, yaitu:

1. saluran transmisi yang jarak panjang kurang dari 80 km dapat disebut transmisi jarak pendek (*Shot line*).

2. saluran transmisi yang jarak panjangnya 80 km-240 km dapat disebut transmisi jarak menengah (*Medium line*).
3. saluran transmisi yang jarak panjangnya lebih dari 240 km disebut transmisi jarak jauh (*Long line*).

Komponen yang utama pada saluran transmisi 500 kV terdiri dari ;

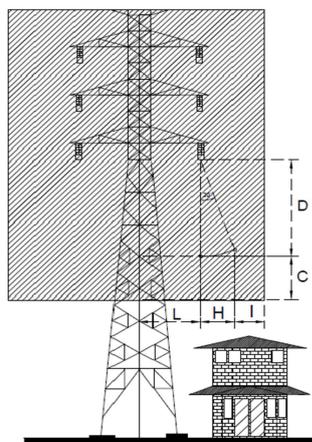
1. menara transmisi

Saluran udara tegangan ekstra tinggi (SUTET) menggunakan konstruksi menara besi baja karena sangat kuat.

Tabel 1. ketentuan jarak Menara

Saluran Udara	Jarak Antar Menara (m)
SUTT 66 kV Tiang Baja	160
SUTT 66 kV Tiang Beton	60
SUTT 66 kV Menara	300
SUTT 150 kV Tiang Baja	200
SUTT 150 kV Tiang Beton	80
SUTT 150 kV Menara	350
SUTET 275 kV Sirkuit Ganda	400
SUTET 500 kV Sirkuit Tunggal	450
SUTET 500 kV Sirkuit Ganda	450

Saluran transmisi SUTET Ungaran-Pedan menggunakan menara saluran ganda. Terdapat aturan jarak bebas pada menara seperti pada gambar berikut



Gambar 1. jarak bebas menara SUTT dan SUTET

Pada menara transmisi sudah terdapat ketentuan jarak bebas di bawah nya maupun diatasnya

2. Isolator

Bahan isolasi yang digunakan. Secara mekanik berfungsi untuk menahan beban mekanis dari konduktor pnhantar yang digunakan, secara elektris isolator gantung fungsinya untuk memisahkan antara bagian yang bertegangan dengan bagian yang bebas dari tegangan. Isolator transmisi biasanya menggunakan isolator gantung dan digandeng ke bawah. Pada saluran transmisi tegangan tinggi isolator gantung yang dibutuhkan tidak hanya satu buah tetapi terdiri dari beberapa isolator yang digandengkan.

3. kawat penghantar (*conductor*)

Konduktor atau kawat peghantar berfungsi untuk mengalirkan arus listrik yang membentang antara tiang penyangga. Ada beberapa jenis konduktor pada saluran transmisi biasanya menggunakan kawat telanjang tanpa isolasi dan hanya mengandalkan udara sebagai media isolasinya. Ada berbagai macam jenis kawat penghantar pada saluran yang digunakan antara lain:

1. Penghantar berbahan tembaga dengan konduktivitas 100% (cu 100%)
2. Penghantar berbahan tembaga dengan konduktivitas 97,5% (cu 97,5%)
3. Penghantar berbahan alumunium dengan konduktivitas 61% (al 61%)

Kawat ACSR merupakan kawat yang terbuat dari Alumunium sebagai penghantar dan berinti baja untuk penguat tegangannya. Kawat ACSR digunakan sebagai kawat penghantar tidak diperkenankan ada sambungan pada kawat aumunium maupun kawat baja.

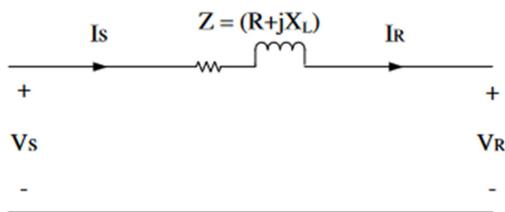


Gambae 2. Kawat ACSR

4. kawat tanah (*ground wires*)

Kawat arde, sering disebut sebagai GSW (Ground Steel Wiring), dipasang di atas menara atau tiang listrik dan berfungsi sebagai penangkal petir, sehingga disambungkan langsung ke tanah tanpa terpapar langsung ke konduktor. Melindungi peralatan Anda dari kerusakan yang disebabkan oleh sambaran petir.

Saluran transmisi 500 kV Ungaran-Pedan merupakan saluran transmisi jarak pendek karena panjang saluran hanya 75,31 km, dan jenis penghantar menggunakan OHL-500-ACSR-DOVE-4x327,9mm (data dari sampulur kertas, ITS).



Gambar 3. ekivalen saluran transmisi jarak pendek

Nilai resistansi suatu saluran transmisi dapat dipengaruhi oleh *resistivitas* konduktor dan suhu konduktor, Seperti persamaan berikut :

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

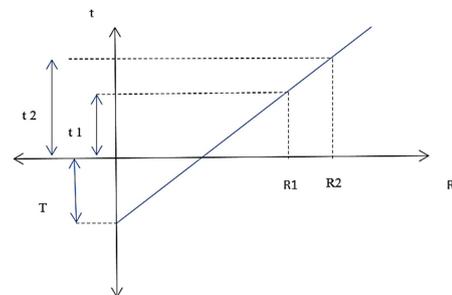
keterangan :

- ρ = Resistivitas (Ω);
- R = Resistan arus serah (Ω);
- l = Panjang Konduktor (m);
- A = Luas Penampang (m^2).

Tabel 2. Resistivitas bahan konduktor standar

Material	Koefisien temperature dari tahanan x 10 ⁻³						
	ρ_0 ($^{\circ}C$)	ρ_{20} ($^{\circ}C$)	ρ_{25} ($^{\circ}C$)	ρ_{50} ($^{\circ}C$)	ρ_{75} ($^{\circ}C$)	ρ_{80} ($^{\circ}C$)	ρ_{100} ($^{\circ}C$)
Cu 100%	1,58	1,72	1,75	1,92	2,09	2,12	2,26
CU 97,5%	1,63	1,77	1,80	1,97	2,14	2,18	2,31
Al 61 %	2,60	2,83	2,89	3,17	3,46	3,51	3,74

Resistansi/besarnya suatu konduktor dapat berubah dengan perubahan suhu dalam perhitungan teknis, dan resistansi dapat dianggap linier terhadap perubahan suhu tertentu. Sumbu vertikal adalah suhu dan sumbu horizontal adalah nilai resistansi.



Gambar 4. Resistansi kawat penghantar logam sebagai fungsi temperature

METODE

Perhitungan yang di gunakan untuk menentukan rugi rugi saluran dan susut tegangan saluran udara tegangan ekstra ringgi sebagai berikut:

1. kawat penghantar saluran udara tegangan ekstra tinggi Ungaran-Pedan menggunakan jenis penghantar menggunakan OHL-500-ACSR-DOVE-4x327,9 mm dengan luas penampang berbentuk lingkaran, meghitung luas penampang dari kawat penghantar dengan rumus sebagai berikut:

$$A = \pi \times r^2$$

atau

$$A = \frac{1}{4} \pi d^2$$

2. selanjtnya menghitung nilai resistansi pada kawat saluran degan nilai resistansi kawat perkilometer pada saat keadaan suhu standar yaitu 20°C

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

3. setelah nilai resistansi pada kawat saat keadaan standar telah di tentukan selanjutnya digunaan untu mencari niai resistansi pada saat suhu penghantar 34 °C, digunakan rumus:

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{T + t_2}{T + t_1}$$

Kawat penghantar menggunakan kawat pilin, harus di kalikan dengan 1,02 (2% faktor koreksi) untuk memperhitungkan pengaruh dari lapisan konduktor pilin lebih dari dua lapis.

4. setelah nilai resistansi kawat saat suhu 34 °C maka di hitung nilai resistansi total dari kawat penghantar menggunakan rumus :

$$R_{Total} = R \times l$$

5. menghitung nilai rugi-rugi daya pada saluran dengan mengunakan rumus

$$P_t = 3 \times I^2 \times R$$

6. selanjutnya mencari nilai induktansi saluran yang sebelumnya dicari nilai GMR dan GMD

$$GMR = \sqrt[16]{(D_S \times d \times d \times d \times d)^4}$$

menjadi

$$GMR = 1,09 \sqrt[4]{D_S \times d^3}$$

$$GMD = \sqrt[3]{D_{AB} D_{BC} D_{AC}}$$

$$L = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{GMD}{GMR}$$

$$X_L = 2. \pi. f. L$$

7. dilanjutkan mencari nilai jx dan nilai impedansi saluran menggunakan rumus sebagai berikut :

$$jx \text{ total}$$

$$= XL \times l$$

$$Z$$

$$= \sqrt{R + jX}$$

8. nilai Vr telah diketahui maka digunakan untuk mencari nilai tegangan kirim menggunakan rumus dinawah

$$Vr = \frac{Vr_{line}}{\sqrt{3}}$$

9. selanjutnya mencari nilai V sumber /V sisi kirim menggunakan rumus:

$$Vs = Vr + I \times Z$$

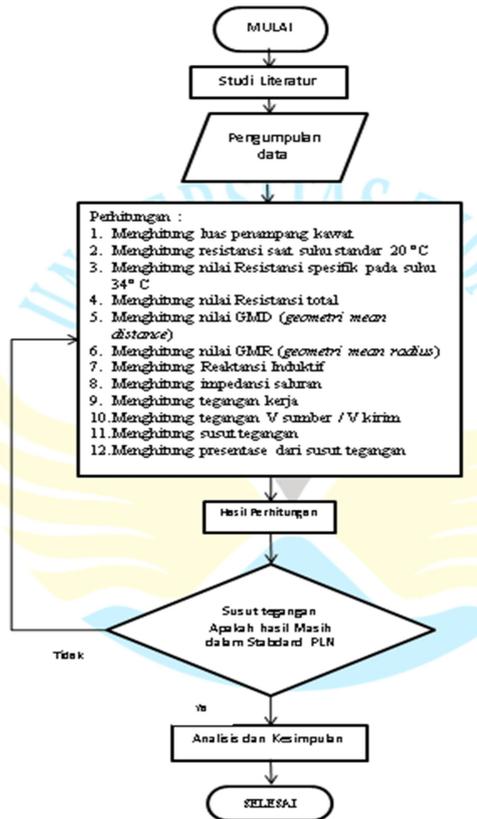
10. Menghitung faktor daya (cos Ø) dengan menggunakan rumus 2.16 sebagai berikut :

$$S$$

Selanjutnya menghitung faktor daya jadi cos Ø

11. dilanjutka mencari nilai susut tegangan (selisih dari v kirim dengan v terima) dan selanjutnay mencari nilai prosentase dari susut tegangan menggunakan

$$Vr = \frac{Vr_{line}}{\sqrt{3}}$$



HASIL DAN PEMBAHASAN

Kawat penghantar saluran udara tegangan ekstra tinggi 500 kV Ungaran ke Pedan dapat di sebut saluran transmisi jarak pendek karena panjang saluran hanya 75,31 km, Luas penampang kawat 32,6 cm², resistansi fasa per kilometer pada suhu standar yaitu 20°C menggunakan persamaan 2.2 sebagai berikut :

$$R = \frac{l}{A}$$

$$= \frac{22}{7} \times (1,02 \times 10^{-2})^2$$

$$= 3,26 \times 10^{-4} m^2$$

Mencari nilai resistansi pada saat 34°C dengan Rho yang sudah di dapat dari perhitungan di atas, dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{T + t_2}{T + t_1}$$

$$\frac{R_{t2}}{8,68 \times 10^{-5}} = \frac{228,1 + 34}{228,1 + 20}$$

$$R_{t2} = 8,68 \times 10^{-5} \frac{262,1}{248,1}$$

$$R_{t2} = 9,166 \times 10^{-5} ohm/km$$

Kawat penghantar menggunakan kawat pilin untuk memperhitungkan pengaruh dari lapisan konduktor pilin yang terdiri dari dua lapis atau lebih maka Rtotal dikalikan dengan 1,02 (2% faktor koreksi).

$$9,166 \times 10^{-5} \times 1,02 = 9,349 \times 10^{-5} ohm/km$$

Setelah nilai resistansi kawat saat suhu 34 °C maka di hitung nilai resistansi total dari kawat penghantar menggunakan rumus

$$R_{total} = R \times l$$

$$= 9,349 \times 10^{-5} \times 73,31$$

$$= 0,00685 ohm$$

Tabel 3. Nilai Resistansi Total

Suhu Awal(°C)	Suhu Akhir (°C)	Resistansi Pada T2 (ohm/km)	Faktor koreksi	Panjang Saluran (km)	Nilai Resistansi (ohm)
20	25	8,854 x 10 ⁻⁵	1,02	73,31	0,00660
20	27	8,924 x 10 ⁻⁵	1,02	73,31	0,00667
20	30	9,029 x 10 ⁻⁵	1,02	73,31	0,00675
20	34	9,166 x 10 ⁻⁵	1,02	73,31	0,00685
20	37	9,274 x 10 ⁻⁵	1,02	73,31	0,00693
20	40	9,379 x 10 ⁻⁵	1,02	73,31	0,00701

Menghitung nilai rugi-rugi daya pada saluran dengan menggunakan persamaan:

$$P_t = 3 \times I^2 \times R$$

$$P_t = 3 \times 267^2 \times 0,00685$$

$$P_t = 1,464,98 W$$

Tabel 3. Nilai rugi-rugi daya

Suhu (°C)	Nilai Resistansi (ohm)	Arus Saluran (Ampere)	Nilai Rugi-rugi daya (watt)
25	0,00660	267	1.411,52
27	0,00667	267	1.426,49
30	0,00675	267	1.443,60

34	0,00685	267	1.464,98
37	0,00693	267	1.482,09
40	0,00701	267	1.500,01

Mencari nilai induktansi saluran yang sebelumnya dicari nilai GMR dan GMD

$$GMR = 1,09^4 \sqrt[4]{D_s \times d^3}$$

$$GMR = 1,09^4 \sqrt[4]{0,927 \times 0,3048 \times 0,6^3}$$

$$GMR = 1,09^4 \sqrt[4]{0,061037}$$

$$GMR = 0,5417$$

Menghitung GMD

$$GMD = \sqrt[3]{D_{AB} D_{BC} D_{AC}}$$

$$GMD = \sqrt[3]{11 \times 11 \times 22}$$

$$GMD = \sqrt[3]{2662}$$

$$GMD = 13,8591m$$

Menghitung induktansi fasa per kilometer

$$XL = 2\pi fL \ln \frac{GMD}{GMR}$$

$$XL = 2 \times 3,14 \times 50 \times 2 \times 10^{-7} \times 10^{-3} \ln \frac{13,8591}{0,5417}$$

$$XL = 0,0002034 \text{ ohm/km}$$

Sehingga di tentukan Impedansi saluran

$$Z = \sqrt{R + jX}$$

$$Z = \sqrt{0,00685 + j0,0149}$$

$$Z = 0,010102 \text{ ohm}$$

Menghitung faktor daya

$$S = \sqrt{P_r^2 + Q^2}$$

$$S = \sqrt{140^2 + 160^2}$$

$$S = \sqrt{45.200}$$

$$S = 212,602 \text{ Mwatt}$$

$$\text{jadi } \cos \phi = \frac{P}{S}$$

$$\cos \phi = \frac{140}{212,6029}$$

$$\cos \phi = 0,65850$$

Menghitung tegangan kerja selanjutnya digunakan untuk mencari tegangan dari sisi kirim V sumber / V kirim

$$V_r = \frac{V_{rline}}{\sqrt{3}}$$

$$V_r = \frac{517000}{\sqrt{3}}$$

$$V_r = 298.490,845 \text{ volt}$$

Setelah menghitung tegangan kerja selanjutnya digunakan untuk mencari tegangan dari sisi kirim V sumber / V kirim

$$V_s = V_r + I \times Z$$

$$V_s = 298.490,845 + 267 \times 0,010102$$

$$V_s = 298.490,845 + 2,2697$$

$$V_s = 298.493,542 \text{ volt}$$

Menghitung prosentase susut tegangan

$$V_R = \frac{V_s - V_r}{V_r} \times 100 \%$$

$$V_R = \frac{301.223,59 - 298.490,845}{298.490,845} \times 100 \%$$

$$V_R = 0,00937\%$$

SIMPULAN

Dari perhitungan dari penelitian diatas dapat diperoleh besar resistansi pada suhu 20°C sebesar $8,68 \times 10^{-5} \text{ ohm/km}$, dan pada suhu 34°C sebesar $9,166 \times 10^{-5} \text{ ohm/km}$ maka dapat diambil kesimpulan besar nilai resistansi suatu kawat penghantar berbanding lurus dengan kenaikan suhu. Rugi daya dan susut tegangan disebabkan oleh panjang transmisi, dan luas penampang transmisi. Rugi daya saat 34°C mencapai 1.464,98 Watt. Susut tegangan saluran transmisi mencapai 2.797 volt sehingga presentase susut tegangan pada saluran transmisi mencapai 0,00937%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kosasih, G. B. (2017). *Analisis Rugi-Rugi Daya Pada Saluran Transmisi Tegangan Tinggi 150 kV Pada Gardu Induk Jajar-Gondangrejo*. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [2] Setiawan, A., & Priatama, A. (2021). *Analisis Rugi-Rugi Daya Pada Transmisi*

- Tegangan Tinggi 150 kV di PLN Sangguminasa*. Makasar: Universitas Muhammadiyah Makasar.
- [3] Amir, M., & Winarno, A. (2020). *Analisi Susut Tegangan Saluran Transmisi Tegangan Ekstra Tinggi 500 kV*. Jakarta: Institut Sains Dan Teknologi Nasional.
- [4] Rifal, Utomo, S. B., & Haddin, M. (2019). *Analisis Perhitungan Rugi-Rugi Daya pada Saluran Transmisi Tegangan Tinggi 150 kV Gardu Induk Tambak lorok-Bawen dengan Menggunakan Etap 12.6.0*. Semarang: Universitas Islam Sultan Agung.
- [5] Moldoveanu, C., Ionita, I., & dkk. (2021). *Romanian innovative system for power losses real time monitoring and analysis in electrical transmission and distribution systems*. Romania: International Conference on Modern Power Systems (MPS).
- [6] Syahri, M. N. (2021). *Analisis Rugi-Rugi Daya Dan Jatuh Tegangan Pada Penyulang Natrium Gardu Induk Gandus Paembang*. Palembang: Universitas Sriwijaya.
- [7] Haryadi, S. (2017). *Analisis Rugi-Rugi Daya Dan Jatuh Tegangan Pada Saluran Transmisi Tegangan Tinggi 150kV Pada Gardu Induk Palur-Masaran*. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.