

Analisis Traveling Wave Signal untuk Menentukan Titik Gangguan Pada Saluran Transmisi 150 KV PT PLN (Persero) Gardu Induk Glugur

Abdul Azis Hutasuhut¹, Muhammad Daffa Aprilio², Noorly Evalina^{3*}, Faisal Irsan Pasaribu⁴, Cholish⁵, Abdullah⁵

^{1,2,3,4}Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
^{5,6}Teknik Elektro, Politeknik Negeri Medan

email_abdulazis@umsu.ac.id¹, email_noorlyevalina@umsu.ac.id³

ABSTRAK

Kontinuitas penyaluran tenaga listrik yang baik merupakan dambaan bagi setiap konsumen energi listrik., maka diperlukan sistem proteksi untuk melindungi saluran transmisi dari kerusakan yang diakibatkan oleh gangguan, sistem proteksi yang digunakan pada saluran transmisi salah satunya adalah relai jarak (*distance relay*). Relai jarak digunakan karena kemampuannya menghilangkan gangguan dengan cepat serta penyetelannya yang relatif mudah. travelling wave sinyal adalah alat tambahan sebagai penguat dan pembanding untuk mengetahui lokasi gangguan yang akurat, metode yang digunakan adalah gelombang berjalan yang dimana komponen frekuensi tinggi diambil dari satu titik gangguan, perhitungan dan analisis dari sinyal yang diambil, persentase error perhitungan menggunakan metode travelling wave signal tidak ada yang melebihi 0,5 %.

Kata Kunci : Saluran transmisi, Travelling Wave Signal, Gelombang Berjalan

PENDAHULUAN

Saluran transmisi adalah sistem yang menyalurkan tenaga listrik dengan skala yang besar dari sistem pembangkitan (*power plant*) ke sistem distribusi (*substation distribution*) melalui saluran udara. Pemakaian saluran transmisi didasarkan atas besarnya daya yang harus disalurkan dari pusat pembangkit listrik ke pusat beban (Hamdani, Fikriansyah)..

Sistem transmisi menyalurkan daya dengan tegangan tinggi yang digunakan untuk mengurangi adanya rugi-rugi transmisi akibat jatuh tegangan (Baharsyah & Gapy), secara umum saluran transmisi dibagi dua bagian yaitu saluran udara dan saluran bawah tanah, saluran udara menyalurkan tenaga listrik melalui kawat-kawat yang digantungkan pada menara transmisi, sedangkan saluran bawah tanah menyalurkan tenaga listrik melalui kabel-kabel yang ditanam didalam tanah.

Sistem proteksi yang digunakan pada saluran transmisi salah satunya adalah relai jarak (*distance relay*). relai jarak digunakan karena kemampuannya menghilangkan gangguan dengan cepat serta penyetelannya yang relatif mudah. Relai jarak akan bekerja bila impedansi yang diukur dari besaran arus CT dan tegangan PT/CVT lebih kecil dari impedansi setelan ($Mu'tasim$)(Shidiqi).

Tingkat keandalan suatu sistem tenaga listrik ditinjau dari frekuensi pemadaman dan waktu pemadaman. Semakin tinggi frekuensi pemadaman dan semakin lama waktu pemadaman (Fakhrian, D.D), maka tingkat keandalan sistem tenaga listrik tersebut semakin rendah. Pemadaman tersebut biasanya dapat terjadi dikarenakan adanya gangguan pada sistem tersebut, baik berupa gangguan internal sistem ataupun gangguan eksternal dari sistem tenaga listrik, untuk mengatasi permasalahan tersebut dibutuhkan mekanisme yang dapat menghindari frekuensi pemadaman dan waktu pemadaman yang terlampau sering dalam waktu yang cukup lama. Oleh sebab itu, dibutuhkan sistem proteksi untuk mengamankan jaringan tenaga listrik, untuk mengetahui lokasi titik gangguan dengan cepat digunakan alat tambahan sebagai penguat dan pembanding, sehingga diketahui lokasi gangguan yang akurat dan alat yang digunakan adalah *traveling wave signal* (Krzysztof, G., Kowalik, R).

TINJAUAN PUSTAKA

Traveling Wave Signal Fault Locator adalah peralatan perekam/pengolah input analog arus, melakukan proses recording dan penentuan lokasi titik gangguan pada saluran transmisi 150 KV maupun 500 KV berdasarkan teori gelombang berjalan (Ma, G., Jiang, L., Zhou, K., & Xu, G), menggunakan metode tipe D dimana pencarian lokasi gangguan dengan melakukan pengukuran di kedua ujung gelombang. Gelombang yang dihasilkan di lokasi gangguan berjalan berlawanan arah menuju gardu induk A dan B dan sampai dalam beberapa mikrodetik. Untuk penentuan jarak yang benar, memerlukan penggunaan dua perangkat yang tersinkronisasi yang dipasang di kedua ujung saluran. Sinkronisasi antar perangkat dilakukan dengan menggunakan sistem GPS. GPS pada travelling wave signal berguna sebagai penguat dalam menentukan titik gangguan dengan cara mensinkronisasi kedua gardu induk yang berhadapan saat terjadi gangguan. Penentuan lokasi gangguan menentukan perbedaan waktu ketika gelombang mencapai gardu induk A dan B, yang kemudian digunakan untuk menghitung jarak gangguan dari gardu induk A dengan menggunakan persamaan berikut :

$$D = \frac{(L - (t_A - t_B)) \times v}{2} \quad (1)$$

Dimana :

D = jarak lokasi gangguan (km)

L = panjang saluran (km)

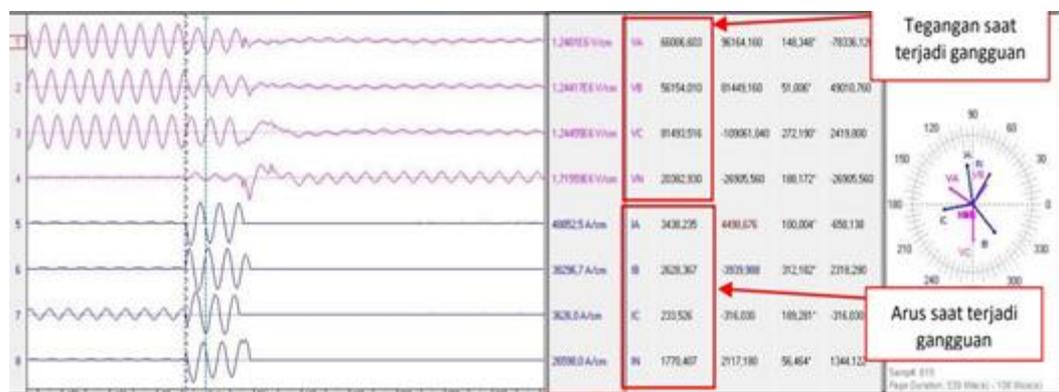
t_A = waktu ketika gelombang pertama dibangkitkan pada lokasi gangguan saat tiba di gardu induk A (s)

t_B = waktu ketika gelombang pertama dibangkitkan pada lokasi gangguan saat tiba di gardu induk B (s)

v = kecepatan gelombang (m/s)

Gelombang Berjalan

Gelombang berjalan merupakan suatu peristiwa transien dimana merupakan suatu fungsi nonperiodik dari waktu dan memiliki durasi yang pendek. Gelombang berjalan biasanya berupa surja tegangan atau surja arus. Pada surja tegangan bisa dilihat dengan adanya perubahan mendadak pada tegangan, dimana kecepatannya tergantung pada medium dimana surja tersebut berjalan. gambar 1. memperlihatkan kurva tegangan impuls, Surja arus terjadi karena adanya peristiwa charging dan discharging arus kapasitif yang diakibatkan perubahan tegangan di sepanjang kapasitansi shunt dari sistem. Surja tegangan dapat diakibatkan oleh : sambaran petir, switching, atau gangguan.



Gambar 1. Bentuk Gelombang Saat Terjadi Gangguan

Metode gelombang berjalan dapat menganalisa sinyal frekuensi tinggi pada tegangan dan arus pada saluran distribusi. Konduktor mempunyai resistansi dan induktansi yang tersebar secara merata sepanjang saluran. Metode gelombang berjalan untuk menentukan lokasi gangguan sangat cocok, karena dengan menggunakan metode gelombang berjalan, komponen frekuensi tinggi dapat diambil dari satu titik perhitungan, dan analisis dari sinyal yang diambil dapat dilakukan dengan membandingkan jarak relatif puncak saat terjadi gangguan dengan sinyal gelombang pada saat normal, variasi waktu dari gelombang berjalan sepanjang saluran dapat diteliti dengan menghitung profil gelombang berjalan dengan tahapan waktu diskrit. Gangguan yang terjadi pada saluran akan menghasilkan gelombang arus dan tegangan. Arus dan tegangan akan berjalan sepanjang saluran sampai bertemu pada titik ketidaksinambungan dari saluran seperti titik gangguan. Pada titik ini, gelombang arus dan tegangan akan terjadi refleksi dan refraksi. Hal ini akan menghasilkan gelombang tambahan yang akan menyebar sepanjang saluran

Tegangan dan arus pada titik x harus memenuhi persamaan differensial berikut :

$$\frac{dv(x_2t)}{dx} = -L \frac{di(x_1t)}{dt}$$

$$\frac{di(x_1t)}{dx} = -C \frac{dv(x_2t)}{dt}$$

L dan C adalah induktansi dan kapasitansi dari saluran per meter dan v(x,t) dan i(x,t) adalah tegangan dan arus yang berubah pada lokasi x pada waktu t karena gelombang berjalan. Solusi umum untuk persamaan ini adalah

$$v(x, t) = f_1 \left(t - \frac{x}{v} \right) + f_2 \left(t + \frac{x}{v} \right)$$

$$i(x, t) = \frac{1}{Z_0} f_1 \left(t - \frac{x}{v} \right) - \frac{1}{Z_0} f_2 \left(t + \frac{x}{v} \right)$$

v adalah kecepatan propagasi gelombang dan Zo adalah impedansi karakteristik saluran $Z_0 = \sqrt{LC}$, Fungsi f1 dan f2 adalah menampilkan dua gelombang yang berjalan pada arah yang berlawanan. f1 adalah gelombang yang berjalan pada sisi positif dari x (arah maju), sedangkan f2 adalah gelombang yang berjalan ke arah negatif dari x (gelombang mundur). Tegangan dan arus maju gelombang berjalan dapat secara lengkap atau sebagian dipantulkan ketika gelombang mencapai titik ketidaksinambungan. Itu mungkin terjadi karena open atau short pada sirkuit terminal. Pada keadaan ketidaksinambungan, sebagian dari *taveling wave* akan dipantulkan kembali sepanjang saluran dan sebagian akan ditransmisikan sampai di beban. Besarnya sinyal yang dipantulkan atau diteruskan tergantung dari besarnya impedansi pada ketidaksinambungan gelombang tersebut. Gelombang akan terus dipantulkan dan ditransmisikan sampai habis karena redaman.

Persentase error

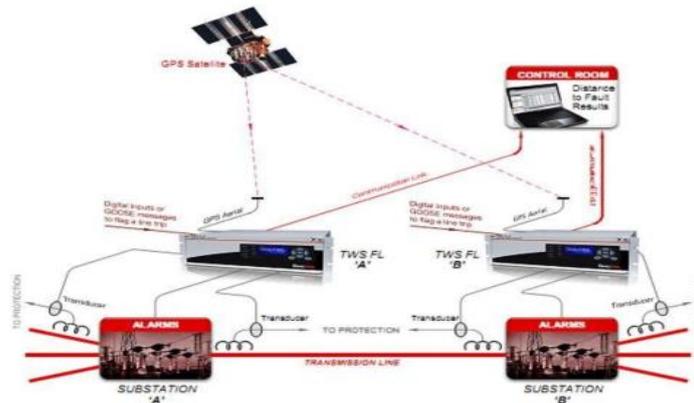
Persentase error adalah perbedaan antara perkiraan atau nilai terukur dan nilai yang tepat atau diketahui. Alat proteksi biasanya selalu memiliki persentase error dalam menentukan jarak gangguan dari jarak gangguan yang sebenarnya. Persamaan persentase error jarak lokasi gangguan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$Error = \frac{Jarak_{aktual} - Jarak_{prediksi}}{Jarak_{total}} \times 100\% \quad (2)$$

Dimana :
 Jarak_{aktual} = Jarak aktual lokasi gangguan dalam simulasi (km)
 Jarak_{prediksi} = Jarak prediksi lokasi gangguan (km)
 Jarak_{total} = Jarak total saluran (km)

METODE PENELITIAN

Metode penelitian dilakukan dengan mengambil data gangguan yang terjadi pada saluran transmisi Titi Kuning – Brastagi, kemudian dilakukan perhitungan titik gangguan dan persentase error gangguan, seperti terlihat pada diagram alir pada gambar 2.



Gambar 2. Metode Pencarian Dengan Traveling Wave Signal

Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam proses mendownload gangguan saluran transmisi pada traveling wave signal sebagai berikut, jalankan program IQ + Client, setelah muncul tampilan software IQ + Client, untuk mendownload jarak gangguan pilih nama Gardu Induk kemudian pilih penghantar, kemudian akan muncul time interval untuk mengatur waktu download gangguan, start date and time: di isi waktu awal gangguan dikurang satu hari (H – 1), end date and time : di isi waktu akhir gangguan dikurang satu hari (H + 1), setelah proses download selesai pada Tab Data Analysis klik Fault Location dan semua data FL akan muncul, untuk memudahkan pencarian maka atur Time Interval untuk mengatur data rekaman yang akan kita tampilkan. Jika time interval tidak muncul maka PILIH “VIEW” kemudian pilih TIME INTERVAL, untuk mengkalkulasi secara otomatis lokasi gangguan dalam kilo meter (km) klik FL Results dan pilih data sesuai dengan data jam gangguan dengan cara double klik di record tersebut maka akan muncul waveform FL Viewer, untuk pengambilan data velocity pertama pilih data analysis kemudian pilih view velocity lalu pilih gangguan pada penghantar yang akan di lihat setelah itu akan muncul hasil velocity dari data gangguan yang diinginkan.

Penelitian ini menggunakan metode pencari tipe D dengan melakukan pengukuran pada kedua ujung garis. Gelombang yang dihasilkan di lokasi gangguan berjalan dalam arah yang berlawanan, ke gardu induk A dan B, dan mencapai sana dalam beberapa mikrodetik, sehingga dapat ditentukan jarak gangguan yang benar, pencari kesalahan tipe-D menggunakan dua perangkat tersinkronisasi yang dipasang di kedua ujung saluran pada penelitian ini dari Titi Kuning-Berastagi, sinkronisasi antar perangkat diwujudkan dengan menggunakan sistem GPS. Pencari kesalahan menentukan perbedaan waktu, ketika gelombang mencapai gardu induk A dan B, yang kemudian digunakan untuk menghitung jarak ke gangguan. Saluran transmisi dan perambatan gelombang

HASIL DAN PEMBAHASAN

Titik gangguan yang terjadi pada saluran transmisi Titi Kuning- Berastagi dengan jarak saluran 52,32 km, dengan menggunakan metode penentuan jarak gangguan dengan traveling wave signal pada kecepatan gelombang saat terjadi gangguan pada saluran transmisi, gelombang akan muncul pada titik gangguan dan menuju ke gardu induk dalam hitungan mikrodetik, titik gangguan dapat diketahui dengan menggunakan rumus (1).

$$D = \frac{(L - (t_A - t_B)) \times v}{2}$$

Gangguan ke 1 Titi Kuning-Berastagi

Pada gangguan Titi Kuning-Berastagi ke 1 didapat nilai waktu pada gelombang menuju gardu induk yaitu $t_A = 12:18:16.657$ dan $t_B = 12:18:15.646$. Kecepatan gelombang berjalan yaitu 1,617 m/s. Sehingga dapat diketahui jarak titik gangguan

$$\begin{aligned} D &= \frac{(L - (t_A - t_B)) \times v}{2} \\ &= \frac{(52,32 - (1,011)) \times 1,617}{2} \\ &= 41,48 \text{ km} \end{aligned}$$

kesalahan error dalam pendeteksian titik gangguan pada saluran ini

$$\begin{aligned} \text{Error} &= \frac{\text{Jarak}_{\text{aktual}} - \text{Jarak}_{\text{prediksi}}}{\text{Jarak}_{\text{total}}} \times 100\% = \frac{41,66 - 41,48}{52,32} \times 100 \\ &= 0.34 \% \end{aligned}$$

Gangguan ke 2 Titi Kuning-Berastagi

Pada gangguan Titi Kuning-berastgi ke 2 didapat nilai waktu pada gelombang menuju gardu induk yaitu $t_A = 03:34:26.257$ dan $t_B = 03:34:25.255$. Kecepatan gelombang berjalan yaitu 1,011 m/s. Sehingga dapat diketahui jarak titik gangguan

$$\begin{aligned} D &= \frac{(L - (t_A - t_B)) \times v}{2} \\ &= \frac{(52,32 - (1,002)) \times 1,011}{2} \\ &= 25,94 \text{ km} \end{aligned}$$

kesalahan error dalam pendeteksian titik gangguan pada saluran ini

$$\text{Error} = \frac{\text{Jarak}_{\text{aktual}} - \text{Jarak}_{\text{prediksi}}}{\text{Jarak}_{\text{total}}} \times 100\% = \frac{26,10 - 25,94}{52,32} \times 100\% = 0.30 \%$$

Gangguan ke 3 Titi Kuning-Berastagi

Pada gangguan Titi Kuning-berastgi ke 3 didapat nilai waktu pada gelombang menuju gardu induk yaitu $t_A = 14:37:50.578$ dan $t_B = 14:37:49.562$. Kecepatan gelombang berjalan yaitu 2,421 m/s. Sehingga dapat diketahui jarak titik gangguan

$$\begin{aligned} D &= \frac{(L - (t_A - t_B)) \times v}{2} \\ &= \frac{(52,32 - (1,028)) \times 2,421}{2} \\ &= 62,08 \text{ km} \end{aligned}$$

kesalahan error dalam pendeteksian titik gangguan pada saluran ini

$$\text{Error} = \frac{\text{Jarak}_{\text{aktual}} - \text{Jarak}_{\text{prediksi}}}{\text{Jarak}_{\text{total}}} \times 100\% = \frac{62,22 - 62,08}{52,32} \times 100\% = 0.26 \%$$

Gangguan ke 4 Titi Kuning-Berastagi

Pada gangguan Titi Kuning-berastagi ke 4 didapat nilai waktu pada gelombang menuju gardu induk yaitu $t_A = 19:32:54.399$ dan $t_B = 19:32:51.399$. Kecepatan gelombang berjalan yaitu 1,463 m/s. Sehingga dapat diketahui jarak titik gangguan

$$D = \frac{(L - (t_A - t_B)) \times v}{2}$$

$$= \frac{(52,32 - (3)) \times 1,463}{2}$$

$$= 36,07 \text{ km}$$

kesalahan error dalam pendeteksian titik gangguan pada saluran ini

$$Error = \frac{Jarak_{aktual} - Jarak_{prediksi}}{Jarak_{total}} \times 100\% = \frac{36,16 - 36,07}{52,32} \times 100\% = 0,17 \%$$

Gangguan ke 5 Titi Kuning-Berastagi

Pada gangguan Titi Kuning-Berastagi ke 4 didapat nilai waktu pada gelombang menuju gardu induk yaitu $t_A = 21:04:16.286$ dan $t_B = 21:04:15.284$. Kecepatan gelombang berjalan yaitu 1,335 m/s. Sehingga dapat diketahui jarak titik gangguan

$$D = \frac{(L - (t_A - t_B)) \times v}{2}$$

$$= \frac{(52,32 - (1,002)) \times 1,335}{2}$$

$$= 34,25 \text{ km}$$

kesalahan dalam pendeteksian titik gangguan pada saluran ini

$$Error = \frac{Jarak_{aktual} - Jarak_{prediksi}}{Jarak_{total}} \times 100\% = \frac{34,43 - 34,25}{52,32} \times 100\% = 0,34 \%$$

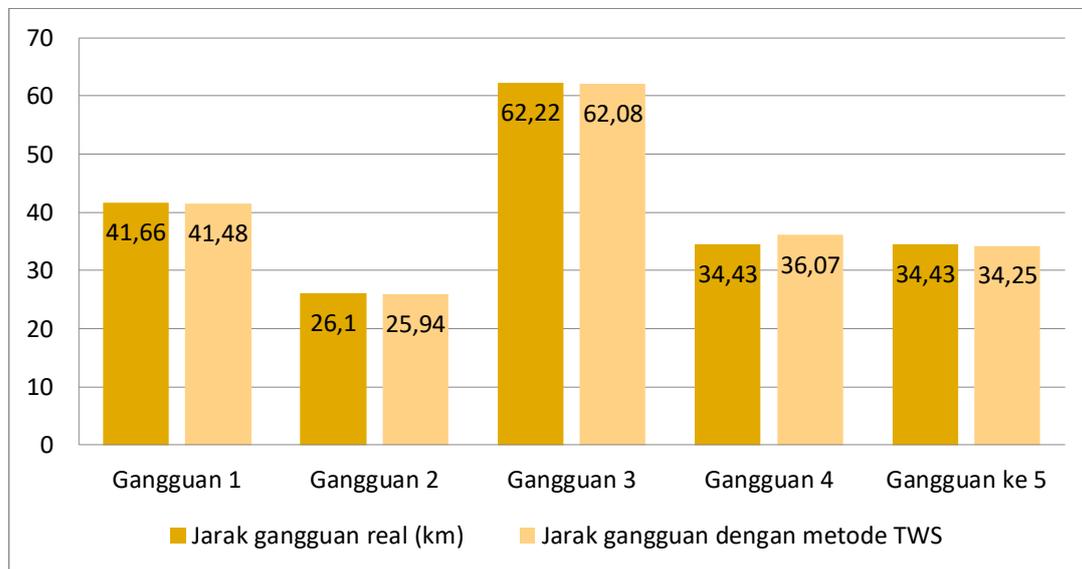
hasil perhitungan pada metode traveling wave signal pada setiap titik gangguan dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Dengan Travelling Wave Signal

Item	Jarak Gangguan Real	Hasil Perhitungan dgn Metode TWS	Error Pada Metode TWS
Gangguan ke 1	41,66 km	41,48 km	0,34 %
Gangguan ke 2	26,10 km	25,94 km	0,30 %
Gangguan ke 3	62,22 km	62,08 km	0,26 %
Gangguan ke 4	36,16 km	36,07 km	0,17 %
Gangguan ke 5	34,43 km	34,25 km	0,34 %

Tabel 1. Memperlihatkan hasil perhitungan jarak titik gangguan dengan metode traveling wave signal hampir mendekati jarak titik gangguan yang real atau yang benar terjadi dilapangan

dikarenakan gelombang pantul pada saluran tunggal menghasilkan kesalahan yang lebih kecil dibanding saluran bercabang yang merambat dan melewati titik persimpangan, sehingga gelombang balik atau gelombang pantul yang menuju ke titik gangguan tidak hanya dari satu saluran saja.



Gambar 3. Titik gangguan sebenarnya dan dengan menggunakan metode TWS

Gambar 3. Memerlihatkan kam grafik antara titik gangguan sebenarnya dibandingkan titik gangguan dengan menggunakan TWS, grafik memperlihatkan bahwa selisih jarak titik gangguan sangat kecil, artinya metode TWS ini sangat tepat digunakan untuk menentukan titik gangguan yang terjadi di saluran transmisi, sehingga gangguan dapat diketahui dengan akurat dan cepat

KESIMPULAN

Traveling Wave Signal menggunakan metode gelombang berjalan yang dimana komponen frekuensi tinggi dapat diambil dari satu titik perhitungan, dan analisis dari sinyal yang diambil dapat dilakukan dengan membandingkan jarak relatif puncak saat terjadi gangguan dengan sinyal gelombang pada saat normal dalam menentukan jarak titik gangguan sedangkan relay jarak menggunakan nilai impedansi gangguan untuk menentukan jarak titik gangguan, nilai error dengan metode *traveling wave signal* tidak ada yang melebihi 0,5 % dapat dikatakan keakuratan dengan metode *traveling wave signal* dalam menentukan jarak titik gangguan sangat akurat dan hampir mendekati jarak titik gangguan yang benar terjadi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti menyampaikan ucapan terima kasih kepada Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dan PT PLN persero UPT Medan Gardu Induk Glugur yang telah membantu dalam menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Hamdadi dan Fikriansyah, A. (2014). Analisa dan Pengaturan Ulang Relay Jarak Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 KV Keramasan – Bukit Asam. *Jurnal Mikrotiga*, 1(3), 9–17.
- Baharsyah, F., & Gapy, M. (2018). Analisis Pengaruh Perubahan Suhu Lingkungan Terhadap Kapasitas Pembawa Arus Pada Kabel Tegangan Menengah. *Jurnal Komputer, Informasi Teknologi, Dan Elektro*, 3(2), 9–16.

- Mu'tashim, Q. Z. (2017). Analisis Penggunaan Rele Jarak Pada Sistem Transmisi Gardu Induk 150 kV Jajar Ke Gardu Induk 150 kV Banyudono. *E-Jurnal Universitas Muhammadiyah Surakarta*.
- Shidiqi Malik Ash. (2018). *Analisis Setting Relay Jarak (Distance Relay) Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 Kv Gardu Induk Bantul – Wates (Studi Kasus Pada Gardu Induk Bantul 150 Kv)*. 2–13.
- Fakhrian, D. D. (2017). *Analisis Perhitungan Setting Relay Jarak Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 Kv Gardu Induk Kentungan-Sanggrahan*.
- Krzysztof, G., Kowalik, R., Rasolomampionona, D., & Anwar, S. (2011). Traveling Wave Fault Location In Power Transmission Systems: An Overview. *Journal Of Electrical Systems*, 7(3), 287–296.
- Ma, G., Jiang, L., Zhou, K., & Xu, G. (2016). A Method Of Line Fault Location Based On Traveling Wave Theory. *International Journal Of Control And Automation*, 9(2), 261–270. <https://doi.org/10.14257/ijca.2016.9.2.25>