

Penggunaan Sensor Tegangan Terhadap Penentuan Lokasi Gangguan Saluran Transmisi 150 kV

Tesyau Uldira Septiyeni*, Asde Rahmawati, Fahrizal, Basthul Wajhi Akramunnas, Wiwit Yuni Safitri

Department of Electrical Engineering, Institut Teknologi Bisnis Riau, Indonesia
Jl. Jend. Sudirman, Tengkerang Selatan, Kec. Bukit Raya, Kota Pekanbaru, Riau

E-mail: tesyauldira@gmail.com*

Abstract

Long transmission systems located in open areas often experience disturbances, with disturbance allocation being quite difficult because it takes a long time and is often inaccurate. In this study, the use of a voltage sensor, namely the Coupling Capacitor Voltage Transformer, was tested using three types of sampling amounts, namely 10 kHz, 500 kHz, and 1 MHz. The data used is the transmission system of the Maninjau Hydroelectric Power Plant (PLTA) to the Pauh Limo Substation. The disturbance system modeled is a single-phase ground fault, two-phase, two-phase ground, three-phase, three-phase ground, and lightning surge. The results obtained by the variation in the number sampling of 1 MHz are more effective with a smaller error value so that the resulting accuracy value is higher compared to the number sampling of 10 kHz and 500 kHz.

Keywords: Coupling Capacitor Voltage Transformer, Discrete Wavelet Transform, Transmission Systems, Travelling Wave.

Abstrak

Sistem transmisi yang Panjang dan berada di daerah terbuka sering mengalami gangguan, dengan alokasi gangguan yang cukup sulit karena membutuhkan waktu yang cukup lama serta sering tidak akurat. Pada penelitian ini, diuji penggunaan sensor tegangan yaitu Coupling Capacitor Voltage Transformer menggunakan tiga jenis jumlah sampling yaitu 10 kHz, 500 kHz, dan 1 MHz. Adapun data yang digunakan yaitu system transmisi Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Maninjau hingga Gardu Induk Pauh Limo. System gangguan yang dimodelkan yaitu gangguan satu fasa tanah, dua fasa, dua fasa tanah, tiga fasa, tiga fasa tanah, dan surja petir. Hasil yang diperoleh variasi jumlah sampling 1 MHz lebih efektif dengan nilai error yang lebih kecil sehingga nilai akurasi yang dihasilkan lebih tinggi dibandingkan dengan jumlah sampling 10 kHz dan 500 kHz.

Kata kunci: Coupling Capacitor Voltage Transformer, Gelombang berjalan, Sistem Transmisi, Transformasi Wavelet Diskrit.

1. Pendahuluan

Penentuan lokasi gangguan pada saluran transmisi system tenaga listrik berbasis gelombang berjalan (*travelling wave*) Adalah salah satu metode paling baik untuk memperkirakan jarak gangguan [1], [2]. Dengan menggunakan tegangan sebagai input data untuk penentuan lokasi gangguan berbasis TW, pengaplikasiannya diutamakan berfokus pada pendekatan ujung ganda, karena penentuan lokasi gangguan ini pada dasarnya bergantung pada deteksi gelombang gangguan yang diinduksi di

ujung saluran transmisi. Namun, jika tegangan gelombang berjalan yang dipantulkan dan dibiaskan diukur dengan benar, penentuan lokasi gangguan berbasis TW dapat ditingkatkan keakurasiannya, karena proses ini akan memungkinkan identifikasi yang baik untuk sinyal gangguan.

Affijulla dan Tripathy membahas mengenai teknik deteksi gangguan dengan robust fault detection and discrimination (RFDD) untuk saluran transmisi menggunakan perangkat lunak Siemens PSS/Sincal, namun metode ini hanya akurat digunakan dengan relay jarak, lalu hanya

efektif untuk deteksi gangguan seperti power swing [3]. Majd dkk juga membahas mengenai metode deteksi dan klasifikasi gangguan berbasis K-NN (k-Nearest Neighbor) untuk sistem transmisi daya yang disimulasikan pada suatu perangkat lunak MATLAB Simulink, dimana resistansi, sudut awal gangguan, lokasi gangguan, level hubung singkat, rasio X/R, sudut beban sumber disimulasikan namun memberikan hasil yang kurang akurat [4]. Tirupathi dkk membahas mengenai deteksi gangguan menggunakan logika fuzzy pada 6 fasa pada saluran transmisi, dimana hasil yang didapatkan akurat hanya untuk gangguan yang bersifat seri saja [5]. Zhu Xiaoguang dkk membahas mengenai deteksi gangguan menggunakan Hilbert-Huang Transformer (HHT) pada lokasi dan resistansi yang berbeda dan menunjukkan presisi dan ketahanan yang signifikan namun belum memberikan hasil yang akurat [6]. Zhao Jianwen dan Duan Jiabin membahas mengenai deteksi gangguan menggunakan metode travelling wave dengan transformasi wavelet empiris yang menguraikan sinyal gelombang dan dikalibrasi menggunakan EMF2 frekuensi tinggi, hanya saja terdapat masalah aliasing [7].

Pengukuran gelombang pantulan dan refraksi yang akurat sangat diperlukan untuk menganalisa dan menentukan lokasi gangguan dengan error yang mendekati nol [8]. Namun karena keterbatasan peralatan secara praktis sehingga pengujian respon frekuensi biasanya dibatasi hingga 10 kHz [9], yang tidak merepresentasikan dan sesuai dengan frekuensi tinggi gelombang yang diinduksikan oleh gangguan. Seperti yang dilaporkan berbagai jurnal sebelumnya, pemodelan CCVT pada spektrum frekuensi terbatas hingga 10 kHz, sehingga menghasilkan pengukuran dan deteksi gelombang pantulan awal menjadi kurang akurat dalam hal waktu datangnya [8], [10].

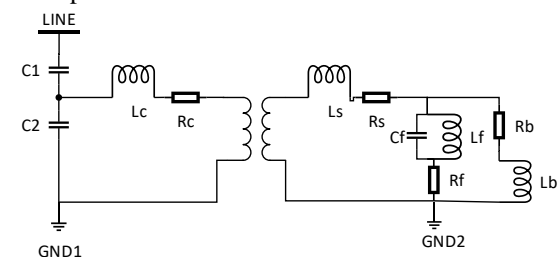
Penelitian ini menggunakan model CCVT untuk spektrum frekuensi yang lebih tinggi dari spektrum terbatas 10 kHz dengan metode gelombang berjalan pada ujung Tunggal belum ada dilaporkan pada jurnal-jurnal sebelumnya. Oleh karena itu, penelitian dengan menggunakan CCVT spektrum tinggi dengan metode gelombang berjalan pada ujung Tunggal menarik bagi industry, Dimana dapat pada pengembangan model CCVT baru, yang di analisa pada penentuan lokasi gangguan berbasis gelombang berjalan.

2. Metodologi

Saat ini, CCVT paling banyak diaplikasikan di Power System memiliki struktur kolom. Terdiri dari dua bagian: Capacitive

Voltage Divider (CVD) dan Electromagnetic Unit (EMU). CVD terdiri dari kapasitor tegangan tinggi, kapasitor tegangan menengah, eksternal metal expander, dan isolator porselen. Baik dari tinggi dan kapasitor tegangan menengah terdiri dari puluhan atau ratusan unit capacitance secara seri. Setiap unit capacitance terbuat dari aluminium foil dan isolasi film yang ditumpuk menjadi satu dan direndam dalam minyak isolasi [11]. CVD mengubah tegangan tinggi primer menjadi tegangan menengah mulai dari 10-25 kV sebagai tegangan input EMU. EMU terdiri dari reaktor kompensasi, transformator tegangan menengah, dan peredam. Ini digunakan untuk mengubah tegangan menengah, yaitu tegangan keluaran CVD, menjadi standard secondary voltage sebagai input power meters dan perangkat proteksi relai. Secara umum, total Voltage Different Ratio CCVT bergantung pada CVD, EMU, pergeseran suhu, variasi frekuensi daya, dan efek kedekatan.

Model rangkaian ekuivalen CCVT lengkap memperhitungkan sepenuhnya faktor-faktor yang relevan, seperti stray capacitance, dielectric loss of voltage divider capacitor, beban listrik dan sebagainya [12]. Model rangkaian ekuivalen CCVT ditunjukkan pada Gambar 1, R_c merupakan resistansi reactor; L_c merupakan induktansi reactor; L_s merupakan inductor sekunder, R_s merupakan resistansi sekunder, ferroresonance suppression circuit (FSC) meliputi capacitance (C_f), induktansi (L_f), dan resistansi (R_f); R_b merupakan resistansi beban, dan L_b merupakan Inductor beban.



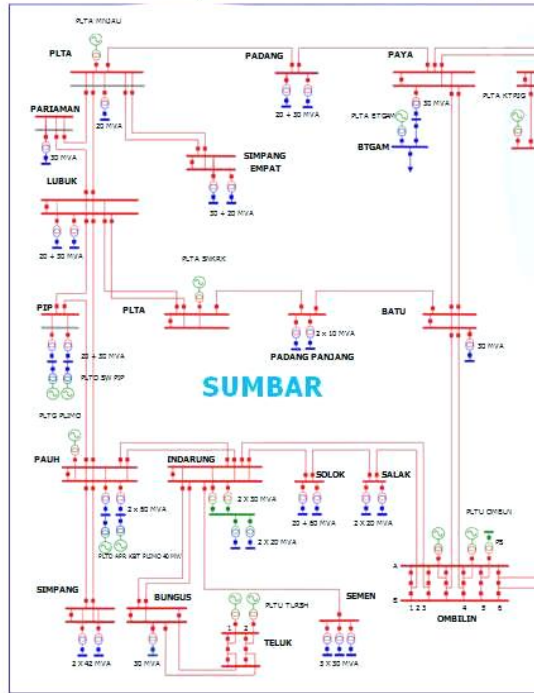
Gambar 1. Rangkaian Ekuivalen Coupling Capacitor Voltage Transformer

Penelitian ini akan menganalisa dan menentukan perbandingan lokasi gangguan pada saluran transmisi dengan sensor tegangan (CCVT) tanpa mempertimbangkan stray capacitance. Kasus yang digunakan yaitu pada Unit Pelayanan Transmisi (UPT) PLN Padang terkhusus saluran dari pembangkit listrik tenaga air (PLTA) Maninjau hingga gardu induk (GI) Pauh Limo sepanjang 92 km. Metode yang digunakan pada penelitian ini merupakan simulasi dengan menetapkan beberapa lokasi dan jenis gangguan, serta menggunakan jenis sensor yaitu sensor tegangan (CCVT) yang akan disimulasikan

menggunakan perangkat lunak Alternative Transient Program (ATP). Selanjutnya untuk menentukan lokasi gangguan digunakan perangkat lunak Matlab. Hasil yang didapatkan akan dibandingkan dan dianalisa keakuratannya.

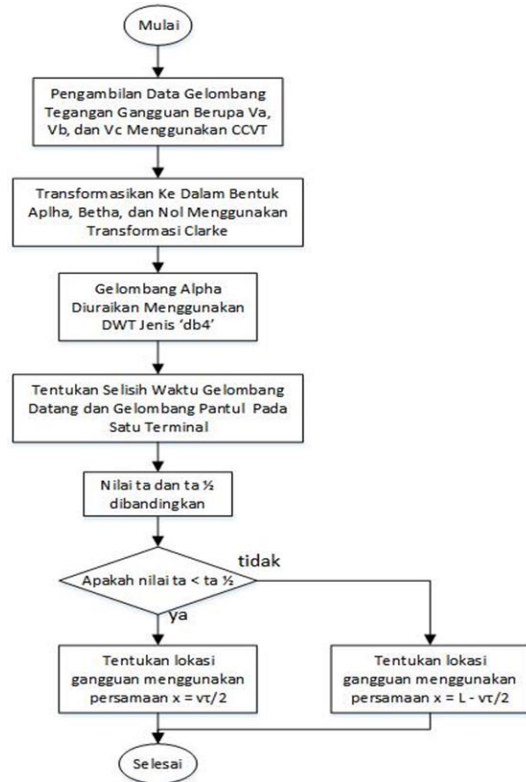


SISTEM TENAGALISTRIK SUMBAGTENG



Gambar 2. Single Line Diagram Sistem Kelistrikan Sumatera Barat

Metode penentuan lokasi gangguan menggunakan metode gelombang berjalan dan discrete wavelet transform (DWT), dengan metode pengujian yaitu single-ended method.



Gambar 3. Diagram Alir Single-ended Method

Data gelombang yang diambil ketika gangguan terjadi menggunakan jenis sensor tegangan. Gelombang tegangan yang diambil adalah V_a , V_b , dan V_c menggunakan CCVT. Gelombang ini didapatkan dari model saluran transmisi yang disimulasikan menggunakan perangkat lunak ATP. Gelombang tegangan yang dihasilkan ditransformasikan dari dalam bentuk fasa abc ke dalam bentuk fasa α , β , dan 0 menggunakan transformasi Clarke. Gelombang α hasil dari transformasi Clarke diurai dalam domain waktu dan frekuensi menggunakan discrete wavelet transform (DWT) jenis ('db4'). Jenis wavelet tersebut digunakan untuk menentukan selisih gelombang datang dan gelombang pantul pada salah satu terminal.

Untuk gangguan yang kurang dari setengah panjang saluran, lokasi gangguan dapat dihitung dengan persamaan :

$$\tau = 2x(t_b - t_a) \tag{1}$$

Untuk gangguan yang terletak lebih dari setengah Panjang saluran, lokasi gangguan dapat dihitung dengan persamaan :

$$x = L - \frac{v\tau}{2} \tag{2}$$

Dan jarak lokasi gangguan dapat dihitung dengan persamaan :

$$x = \frac{v\tau}{2} \quad (3)$$

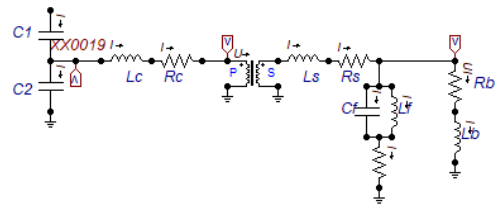
Dimana x adalah jarak lokasi gangguan, v adalah kecepatan gelombang, τ adalah interval waktu antara dua puncak pertama dari gelombang pada terminal A.

Lokasi gangguan yang telah didapat dari hasil simulasi dan perhitungan dibandingkan dengan nilai yang ditetapkan untuk menganalisa besar kesalahan simulasi. Selanjutnya akan dianalisa perbandingan hasil menggunakan sensor tegangan (CCVT).

3. Hasil dan Pembahasan

Pada sisi pengukuran dipasang suatu sensor yang berguna untuk membaca dan menangkap gelombang berjalan dari titik gangguan, dimana sensor yang digunakan yaitu coupling capacitor

voltage transformer (CCVT). CCVT ini terdiri dari dua kapasitor yang terhubung seri yang berguna menjadi pembagi tegangan, lalu dihubungkan dengan sebuah trafo tegangan yang dilalui oleh tahanan kompensasi, selanjutnya tegangan gangguan akan diukur pada sisi sekunder trafo tegangan.



Gambar 4. Model Coupling Capacitor Voltage Transformer

3.1. Gangguan satu fasa tanah

Gangguan satu fasa dimodelkan dengan metode ujung tunggal atau single ended untuk penentuan lokasi gangguan, serta menggunakan tiga jenis jumlah sampling yaitu 10 kHz, 500 kHz, dan 1 MHz.

Tabel 1.

Hasil Simulasi Gangguan Satu Fasa Tanah Metode Ujung Tunggal

No	Jumlah sampling	Jarak Gangguan (km)	t_a (s)	t_b (s)	τ (s)	X (km)	Error (%)
1	10 kHz	30	0,00772	0,00781	0,00018	26,547	3,75
		46	0,00775	0,0079	0,0003	44,246	1,9
		60	0,00775	0,00788	0,00026	53,653	6,9
2	500 kHz	30	0,007701	0,007806	0,00021	30,97	1,06
		46	0,007726	0,007884	0,000316	46,6	0,65
		60	0,00775	0,00786	0,00022	59,55	0,48
3	1 MHz	30	0,007695	0,007798	0,000208	30,677	0,73
		46	0,007724	0,007881	0,000314	46,31	0,33
		60	0,007748	0,007857	0,000218	59,84	0,16

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa error maksimum yaitu 6,9 % yang terjadi pada jarak gangguan 60 km dengan jumlah sampling 10 kHz, sedangkan error minimum yaitu 0,16 % terjadi pada jarak 60 km pada jumlah sampling 1 MHz. Dapat dilihat bahwa tingkat akurasi masing-masing jarak gangguan pada setiap kenaikan jumlah sampling menurun, dimana semakin tinggi jumlah sampling maka tingkat akurasi yang didapatkan akan semakin baik.

3.2. Gangguan Dua Fasa

Gangguan dua fasa dimodelkan menggunakan dua saklar yang masing-masing saling terhubung ke kedua fasa yang dikontrol dengan waktu 0,01 detik. Saluran sepanjang 92 km dan gangguan yang disimulasikan berjarak 30 km, 46 km, dan 60 km dari ujung saluran tempat pengukuran.

Tabel 2.

Hasil Simulasi Gangguan Dua Fasa Metode Ujung Tunggal							
No	Jumlah sampling	Jarak Gangguan (km)	ta (s)	tb (s)	τ (s)	X (km)	Error (%)
1	10 kHz	30	0,00772	0,00783	0,00022	32,447	2,66
		46	0,00774	0,00789	0,0003	44,246	1,91
		60	0,00777	0,00796	0,00038	56,045	4,3
2	500 kHz	30	0,007698	0,007802	0,000208	30,677	0,74
		46	0,007724	0,007884	0,00032	47,196	1,3
		60	0,007748	0,007956	0,000416	61,354	1,47
3	1 MHz	30	0,007695	0,007799	0,000208	30,677	0,74
		46	0,007723	0,007881	0,000316	46,605	0,66
		60	0,007746	0,00795	0,000408	60,175	0,19

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa error maksimum yaitu 4,3 % yang terjadi pada jarak gangguan 60 km dengan jumlah sampling 10 kHz, sedangkan error minimum yaitu 0,19 % terjadi pada jarak 60 km pada jumlah sampling 1 MHz. Dapat dilihat bahwa tingkat akurasi masing-masing jarak gangguan pada setiap kenaikan jumlah sampling menurun, dimana semakin tinggi jumlah sampling maka tingkat akurasi yang didapatkan akan semakin baik.

3.3. Gangguan Dua Fasa Tanah

Gangguan dua fasa dimodelkan menggunakan dua saklar yang masing-masing saling terhubung ke kedua fasa yang dikontrol dengan waktu 0,01 detik dan dihubungkan ke tanah melalui impedansi gangguan ke tanah sebesar 1 ohm. Saluran sepanjang 92 km dan gangguan yang disimulasikan berjarak 30 km, 46 km, dan 60 km dari ujung saluran tempat pengukuran. Ketika terjadi gangguan maka tegangan transien yang dihasilkan akan merambat ke kedua arah menuju busbar A dan B.

Tabel 3.

Hasil Simulasi Gangguan Dua Fasa Tanah Metode Ujung Tunggal							
No	Jumlah sampling	Jarak Gangguan (km)	ta (s)	tb (s)	τ (s)	X (km)	Error (%)
1	10 kHz	30	0,00772	0,00781	0,00018	26,547	2,66
		46	0,00774	0,00789	0,0003	44,246	1,9
		60	0,00777	0,00796	0,00038	56,045	4,3
2	500 kHz	30	0,007698	0,007802	0,000208	30,677	0,7
		46	0,007724	0,007884	0,00032	47,196	1,3
		60	0,007748	0,007956	0,000416	61,354	1,47
3	1 MHz	30	0,007695	0,007799	0,000208	30,677	0,7

46	0,007723	0,007881	0,000316	46,605	0,66
60	0,007746	0,00795	0,000408	60,175	0,19

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa error maksimum yaitu 2,66 % yang terjadi pada jarak gangguan 30 km dengan jumlah sampling 10 kHz, sedangkan error minimum yaitu 0,19 % terjadi pada jarak 60 km pada jumlah sampling 1 MHz. Dapat dilihat bahwa tingkat akurasi masing-masing jarak gangguan pada setiap kenaikan jumlah sampling menurun, dimana semakin tinggi jumlah sampling maka tingkat akurasi yang didapatkan akan semakin baik.

3.4. Gangguan Tiga Fasa

Gangguan tiga fasa dimodelkan menggunakan tiga saklar yang masing-masing saling terhubung ke ketiga fasa yang dikontrol dengan waktu 0,01 detik. Saluran sepanjang 92 km dan gangguan yang disimulasikan berjarak 30 km, 46 km, dan 60 km dari ujung saluran tempat pengukuran. Ketika terjadi gangguan maka tegangan transien yang dihasilkan akan merambat ke kedua arah menuju busbar A dan B. Pada busbar A terdapat CCVT yang berguna untuk mengukur tegangan transien yang datang, kemudian tegangan tersebut sebagian akan dipantulkan dan sebagian lagi akan diteruskan.

Tabel 4.

No	Jumlah sampling	Hasil Simulasi Gangguan Tiga Fasa Metode Ujung Tunggal					Error (%)
		Jarak Gangguan (km)	ta (s)	tb (s)	τ (s)	X (km)	
1	10 kHz	30	0,00772	0,00781	0,00018	26,547	3,75
		46	0,00775	0,00789	0,00028	41,296	5,11
		60	0,00777	0,00796	0,00038	56,045	4,29
2	500 kHz	30	0,007706	0,007812	0,000212	31,27	1,37
		46	0,007726	0,00788	0,000308	45,425	0,6
		60	0,00775	0,007952	0,000404	59,584	0,45
3	1 MHz	30	0,007694	0,007798	0,000208	30,67	0,73
		46	0,007724	0,007879	0,00031	45,72	0,3
		60	0,007748	0,007857	0,000218	59,85	0,17

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa error maksimum yaitu 5,11 % yang terjadi pada jarak gangguan 46 km dengan jumlah sampling 10 kHz, sedangkan error minimum yaitu 0,17 % terjadi pada jarak 60 km pada jumlah sampling 1 MHz. Dapat dilihat bahwa tingkat akurasi masing-masing jarak gangguan pada setiap kenaikan jumlah sampling menurun, dimana semakin tinggi jumlah sampling maka tingkat akurasi yang didapatkan akan semakin baik.

3.5. Gangguan Tiga Fasa Tanah

Gangguan tiga fasa tanah dimodelkan menggunakan tiga saklar yang masing-masing saling terhubung ke ketiga fasa yang dikontrol

dengan waktu 0,01 detik dan terhubung ke tanah melalui impedansi sebesar 1 ohm. Saluran sepanjang 92 km dan gangguan yang disimulasikan berjarak 30 km, 46 km, dan 60 km dari ujung saluran tempat pengukuran. Ketika terjadi gangguan maka tegangan transien yang dihasilkan akan merambat ke kedua arah menuju busbar A dan B. Pada busbar A terdapat CCVT yang berguna untuk mengukur tegangan transien yang datang, kemudian tegangan tersebut sebagian akan dipantulkan dan sebagian lagi akan diteruskan. Gelombang yang dipantulkan oleh busbar A tersebut akan kembali menuju titik gangguan dan dipantulkan kembali ke busbar A.

Tabel 5.

Hasil Simulasi Gangguan Tiga Fasa Tanah Metode Ujung Tunggal							
No	Jumlah sampling	Jarak Gangguan (km)	t_a (s)	t_b (s)	τ (s)	X (km)	Error (%)
1	10 kHz	30	0,00772	0,00781	0,00018	26,547	3,75
		46	0,00775	0,00789	0,00028	41,296	5,11
		60	0,00777	0,00796	0,00038	56,045	4,29
2	500 kHz	30	0,007707	0,007812	0,00021	30,97	1,05
		46	0,007726	0,00788	0,000308	45,425	0,6
		60	0,00775	0,007952	0,000404	59,584	0,45
3	1 MHz	30	0,007694	0,007798	0,000208	30,67	0,73
		46	0,007724	0,007879	0,00031	45,72	0,3
		60	0,007749	0,007951	0,000404	59,58	0,45

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa error maksimum yaitu 5,11 % yang terjadi pada jarak gangguan 46 km dengan jumlah sampling 10 kHz, sedangkan error minimum yaitu 0,3 % terjadi pada jarak 46 km pada jumlah sampling 1 MHz. Dapat dilihat bahwa tingkat akurasi masing-masing jarak gangguan pada setiap kenaikan jumlah sampling menurun, dimana semakin tinggi jumlah sampling maka tingkat akurasi yang didapatkan akan semakin baik.

Gangguan surja petir dimodelkan paralel dengan tahanan. Saluran sepanjang 92 km dan gangguan yang disimulasikan berjarak 30 km, 46 km, dan 60 km dari ujung saluran tempat pengukuran. Ketika terjadi gangguan maka tegangan transien yang dihasilkan akan merambat ke kedua arah menuju busbar A dan B. Pada busbar A terdapat CCVT yang berguna untuk mengukur tegangan transien yang datang, kemudian tegangan tersebut sebagian akan dipantulkan dan sebagian lagi akan diteruskan.

3.6. Gangguan Surja Petir

Tabel 6.

Hasil Simulasi Gangguan Tiga Fasa Tanah Metode Ujung Tunggal							
No	Jumlah sampling	Jarak Gangguan (km)	t_a (s)	t_b (s)	τ (s)	X (km)	Error (%)
1	10 kHz	30	0,0077	0,00781	0,00022	32,447	2,66
		46	0,00773	0,00788	0,0003	44,246	1,9
		60	0,00775	0,00788	0,00026	53,65	6,89
2	500 kHz	30	0,0077	0,0078	0,0002	29,497	0,54
		46	0,00772	0,007878	0,000316	46,6	0,65
		60	0,007746	0,00786	0,000228	58,37	1,76
3	1 MHz	30	0,007694	0,007798	0,000208	30,677	0,7
		46	0,007724	0,007881	0,000314	46,31	0,33

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa error maksimum yaitu 6,89 % yang terjadi pada jarak gangguan 60 km dengan jumlah sampling 10 kHz, sedangkan error minimum yaitu 0,16 % terjadi pada jarak 60 km pada jumlah sampling 1 MHz. Dapat dilihat bahwa tingkat akurasi masing-masing jarak gangguan pada setiap kenaikan jumlah sampling menurun, dimana semakin tinggi jumlah sampling maka tingkat akurasi yang didapatkan akan semakin baik.

4. Simpulan

Secara keseluruhan penelitian semua model komponen yang digunakan mampu dimodelkan dan dijalankan sesuai dengan kebutuhan penelitian. Penggunaan sensor tegangan yaitu Coupling Capacitor Voltage Transformer mampu mempengaruhi nilai akurasi dalam penentuan lokasi gangguan pada saluran transmisi 150 kV, baik saat diberikan perlakuan gangguan dari dalam system ataupun dari luar sistem. Variasi jumlah sampling yang diberikan sangat mempengaruhi nilai akurasi penentuan lokasi gangguan pada saluran transmisi 150 kV. Semakin tinggi pemberian jumlah sampling maka akan memberikan nilai akurasi yang jauh lebih baik dibandingkan dengan jumlah sampling yang lebih kecil.

Saran untuk penelitian selanjutnya yaitu penggunaan Coupling Capacitor Voltage Transformer dengan memperhitungan nilai stray capacitance untuk menganalisa lebih lanjut pengaruh dalam penentuan lokasi gangguan pada saluran transmisi. Lalu disarankan untuk melakukan penelitian di laboratorium untuk melihat apakah praktek penggunaan Coupling Capacitor Voltage Transformer dapat diaplikasikan dengan baik.

Daftar Pustaka

- [1] Greenwood, "Electrical Transients in Power Systems," 1973.
- [2] W. Fluty and Y. Liao, "Electric Transmission Fault Location Techniques Using Traveling Wave Method and Discrete Wavelet Transform," 2020.
- [3] S. Affijulla and P. Tripathy, "A Robust Fault Detection and Discrimination Technique for Transmission Lines," vol. 3053, no. c, pp. 1–11, 2017, doi: 10.1109/TSG.2017.2709546.
- [4] A. A. Majd and H. Samet, "k-NN based fault detection and classification methods for power transmission systems," 2017, doi: 10.1186/s41601-017-0063-z.
- [5] T. R. Althi and E. Koley, "Fuzzy Logic based Fault Detection and Classification scheme for Series Faults in Six Phase Transmission," pp. 479–483, 2021.
- [6] Z. Xiaoguang, H. Chunying, D. Junbo, G. Yubo, and C. Xiaohui, "Research on a Highly Precise Fault Location Method for ± 1 100kV UHVDC Transmission Lines Based on Hilbert-Huang Transform," pp. 850–854, 2019.
- [7] Z. Jianwen and D. Jiaxin, "Traveling Wave Fault Location for Lines Combined with Overhead-Lines and Cables Based on Empirical Wavelet Transform," pp. 285–289, 2019.
- [8] A. Guzmán, B. Kasztenny, Y. Tong, and M. V Mynam, "Accurate and Economical Traveling-Wave Fault Locating Without Communications," 2018.
- [9] D. F. Jr, W. L. A. Neves, and J. C. A. Vasconcelos, "Coupling capacitor voltage transformer: A model for electromagnetic transient studies," vol. 77, pp. 125–134, 2007, doi: 10.1016/j.epsr.2006.02.007.
- [10] E. O. Schweitzer, B. Kasztenny, and M. V Mynam, "Performance of Time-Domain Line Protection Elements on Real-World Faults," 2016.
- [11] C. Xiang, X. Chen, H. Zhao, Z. Ren, and G. Zhao, "Studying the Effect of Stray Capacitance on the Measurement Accuracy of the CVT Based on the Boundary Element Method," vol. 2021, 2021, doi: 10.1155/2021/1155443.
- [12] S. Wang and G. Xu, "Research on traveling wave fault technology based on ground potential," no. May, 2023, doi: 10.1063/5.0069963.