

Analisis Akurasi Fault Locator Berbasis Impedansi terhadap Variasi Resistansi Gangguan pada Penyulang Rindam

Ahmad Fajar¹ | Muhammad Fadli Tukmuly² | Andi Faharuddin^{*2} | Abdul Hafid²

1 Mahasiswa Program Studi Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Makassar, Indonesia.

Email:

af07fajar@gmail.com

tukmulymuhammadfadli@gmail.com

2 Program Studi Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Makassar, Indonesia.

Email:

afaharuddin@ymail.com

abdulhafid@unismuh.ac.id

Korespondensi:

*Andi Faharuddin

afaharuddin@ymail.com

ABSTRAK

Sistem distribusi tenaga listrik memiliki tingkat kerentanan yang tinggi terhadap gangguan, khususnya gangguan hubung singkat yang dapat menurunkan keandalan penyaluran energi listrik dan memperpanjang waktu pemulihan sistem. Oleh karena itu, diperlukan metode yang mampu mengidentifikasi lokasi gangguan secara cepat dan akurat. Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan dan menganalisis kinerja *fault locator* berbasis impedansi pada saluran distribusi Penyulang Rindam menggunakan perangkat lunak PSCAD/EMTDC. Metodologi penelitian meliputi pemodelan sumber Thevenin, transformator, saluran distribusi, serta sistem beban berdasarkan data aktual penyulang. Simulasi gangguan dilakukan pada beberapa titik lokasi, yaitu 25%, 50%, dan 75% dari panjang saluran, dengan variasi resistansi gangguan sebesar 0,001 Ω , 2 Ω , dan 5 Ω . Parameter arus dan tegangan hasil simulasi digunakan untuk menghitung impedansi gangguan dan menentukan estimasi lokasi gangguan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode *fault locator* berbasis impedansi memiliki tingkat akurasi yang sangat baik pada gangguan dengan resistansi rendah, di mana persentase *error* estimasi lokasi berada di bawah 1%.

Kata Kunci: *Fault locator*, Impedansi, PSCAD, Lokasi gangguan, Simulasi

ABSTRACT

Electric power distribution systems are highly vulnerable to disturbances, particularly short-circuit faults, which can reduce the reliability of power delivery and extend system recovery time. Therefore, a method capable of identifying fault locations quickly and accurately is required. This study aims to model and analyze the performance of an impedance-based fault locator on the Rindam distribution feeder using PSCAD/EMTDC software. The research methodology includes modeling the Thevenin equivalent source, transformer, distribution line, and load system based on actual feeder data. Fault simulations were conducted at several locations, namely 25%, 50%, and 75% of the feeder length, with fault resistance variations of 0.001 Ω , 2 Ω , and 5 Ω . The simulated current and voltage parameters were used to calculate fault impedance and estimate the fault location. The results show that the impedance-based fault locator method provides very high accuracy under low fault resistance conditions, with fault location estimation errors below 1%.

Keywords:

Fault locator, Impedance, PSCAD, fault location, Simulation

1 | PENDAHULUAN

Sistem distribusi tenaga listrik merupakan bagian krusial dalam menyediakan kebutuhan energi listrik masyarakat yang terus meningkat (Sulistiyo 2019). Sistem distribusi rentan terhadap gangguan seperti hubung singkat yang disebabkan oleh kondisi eksternal seperti petir atau pohon tumbang. *Fault locator* berbasis impedansi menjadi penting untuk mendeteksi lokasi gangguan secara cepat dan akurat guna meningkatkan keandalan sistem tenaga (Syafira et al., 2016).

Energi listrik tersebut sering dijumpai adanya gangguan, gangguan yang terjadi bisa diakibatkan oleh kesalahan sistem, maupun gangguan dari luar seperti sambaran petir, pohon tumbang, dan badai (Saputra et al., n.d 2022.). Pada masalah tegangan terdapat bagian-bagian instansi seperti, berbeban lebih dan rugi-rugi daya dalam jaringan merupakan masalah yang perlu dicatat dan dianalisa secara terus menerus (Susilo,Duhi et al., 2024)

Gangguan pada sistem distribusi dapat berupa beban lebih, tegangan lebih, maupun gangguan hubung singkat. Di antara jenis gangguan tersebut, hubung singkat merupakan gangguan yang paling sering terjadi dan paling berbahaya karena menghasilkan arus sangat besar yang berpotensi merusak peralatan jaringan transformator, konduktor, maupun pemutus tenaga (Al qoyyimi et al., 2017). Jika lokasi gangguan tidak segera ditemukan, maka pemulihan jaringan menjadi lambat, konsumen mengalami pemadaman lebih lama, dan keandalan sistem distribusi menurun (sofiyan, 2017).

Menghitung impedans dari resistans dan reaktans dalam rangkaian seri tidak bisa dijumlahkan karena kedua nilai tersebut berada pada fase yang berbeda (Dayana, Sari et al., 2023). Simulasi *PSCAD* dapat digunakan dengan beberapa parameter kontrol memerlukan konversi ke nilai yang tepat karena perbedaan satuan (Syahputra, 2015). Sisi penyearah menggunakan kontrol arus dengan referensi yang diperoleh dari inverter atau sistem *HVDC* terdiri dari jaringan pasokan, filter, dan transformator di kedua sisi konverter (Faruque et al., 2006). Gangguan hubung singkat merupakan gangguan yang paling sering terjadi pada sistem tenaga listrik yang menyebabkan arus yang mengalir lebih besar sehingga dapat merusak peralatan bila tidak dilengkapi dengan proteksi yang tepat (Kim & Kim, 2007).

Fault locator yang banyak digunakan di sistem distribusi adalah metode berbasis impedansi, metode gelombang berjalan (*traveling wave*), serta metode berbasis kecerdasan buatan (KIYAR, 2022). Di antara berbagai metode tersebut, metode berbasis impedansi relatif lebih sederhana untuk diterapkan karena hanya membutuhkan data arus dan tegangan pada titik pengukuran tertentu, misalnya di gardu induk (Hafizi Bin Idris, 2020). Ada banyak metode yang digunakan untuk menemukan lokasi kesalahan saluran atau kabel seperti menggunakan metode berbasis impedansi, metode gelombang perjalanan, kecerdasan buatan atau jaringan saraf, transformasi gelombang dan beberapa metode lainnya (Paramytha et al., 2024). Sistem *fault locator* bertujuan untuk mendeteksi titik gangguan (*fault*) pada jaringan distribusi tenaga listrik dan memberikan informasi lokasi secara akurat. Dengan menggunakan teknik berbasis impedansi, lokasi gangguan dapat dihitung berdasarkan perbedaan antara tegangan dan arus yang terukur pada titik pengukuran tertentu, kemudian dipetakan pada saluran distribusi (Reza Sarwo Widagdo et al., 2024).

2 | METODE

2.1 | Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan dengan mengambil data sistem distribusi dari GI Borongloe pada **Gambar 1** -5.229037, 119.504107, dan Penyulang Rindam, wilayah kerja PLN ULTG Panakkukang dan UP3 Makassar Selatan. Proses simulasi dan analisis dilakukan di Laboratorium Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Makassar. (juli 2025 – agustus 2025).



Gambar 1 PLN Gardu Induk Borongloe -5.229037, 119.504107,

2.2 | Teknik Pengumpulan Data

Data Arus Hubung-Singkat: GI Borongloe 70 kV dengan arus hubung singkat tiga fasa maksimum 2,51 kA dan minimum 2,26 kA, Data Trafo: Transformator *step-down* 70/20 kV dengan kapasitas 20 MVA dan impedansi 11,9%, Data Penyulang Rindam: Panjang saluran 5,375 km, kabel XLPE 240 mm², dengan parameter resistansi 0,1344 Ω /km dan induktansi 0,1014 mH/km, Data Beban puncak siang dan malam bervariasi antara 125 A – 156 A dengan daya aktif 4,2 MW dan daya reaktif 2,7 MVAR.

2.3 | Alat dan Bahan

Perangkat keras: Laptop dengan spesifikasi prosesor Intel Core i5, RAM 8 GB, HDD 320 GB, Perangkat lunak: PSCAD/EMTDC Student Version, Literatur pendukung. Buku dan jurnal terkait sistem distribusi, *fault locator*, dan teori Thevenin.

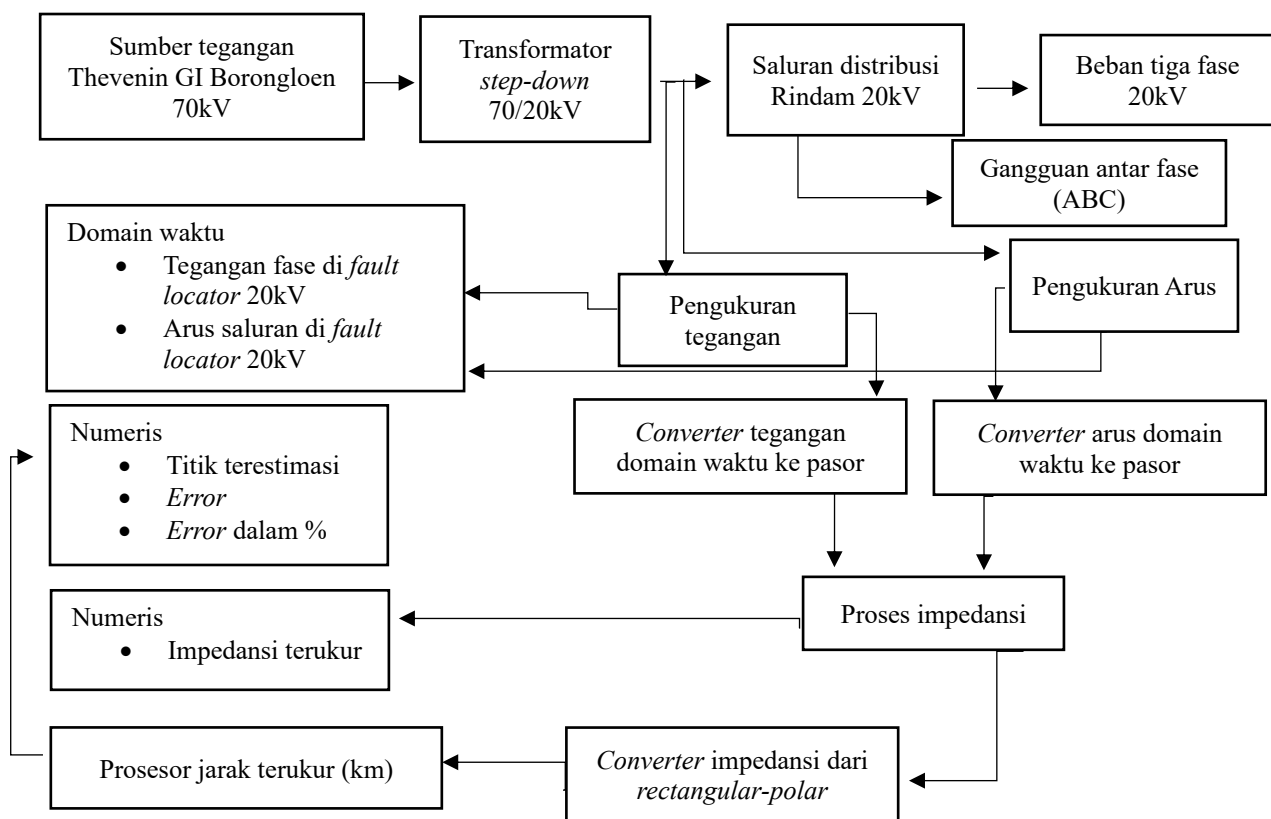
2.4 | Pemodelan Sistem di PSCAD

1. Sumber Thevenin 70 kV – mewakili jaringan listrik Sulselrabar yang terhubung ke GI Borongloe. Nilai impedansi dihitung dari daya hubung singkat.
2. Transformator *step-down* 70/20 kV – untuk menurunkan tegangan dari 70 kV ke 20 kV dengan daya 20 MVA.
3. Penyulang Rindam – dimodelkan sepanjang 5,375 km menggunakan data impedansi kabel XLPE.
4. Beban tiga fasa – disimulasikan dengan nilai $P = 4,2$ MW dan $Q = 2,7$ MVAR.
5. Sensor arus dan tegangan (CT & VT) – diasumsikan dengan rasio 1:1 untuk mempermudah analisis.
6. *Fault block (Timed Fault Logic)* – digunakan untuk mengatur lokasi dan jenis gangguan yang diuji.

3 | HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 | Konfigurasi Sistem Untuk Kondisi Operasi Gangguan

Model sistem distribusi Penyulang Rindam dibangun menggunakan perangkat lunak PSCAD pada **Gambar 2**. Konfigurasi utama terdiri dari:



GAMBAR 2 Blok Diagram Simulasi Sistem Daya

Diagram blok menjelaskan skema penelitian yang menunjukkan proses kerja sistem *fault locator* berbasis impedans, dimulai dari sumber tegangan Thevenin (V_{Th}) 70 kV yang diturunkan oleh transformator *step-down* menjadi 20 kV dan disalurkan melalui jaringan distribusi menuju beban tiga fasa, di mana terjadi gangguan antar fasa (ABC), kemudian tegangan dan arus pada titik pengukuran diambil oleh sensor, diubah dari domain waktu menjadi fasor, diproses untuk menghitung impedans

gangguan, dikonversi ke bentuk polar untuk memperkirakan jarak gangguan dalam kilometer, serta ditampilkan bersama data tegangan, arus, impedansi, titik lokasi gangguan, dan persentase kesalahan estimasi. Selain itu tegangan Thevenin (V_{Th}) di Rel 70 kV diukur menggunakan voltmeter fase, yang menunjukkan tegangan, serta amperemeter pendukung arus. Hasil akhir ditampilkan melalui display dan juga menunjukkan status domain waktu dan numeris (Faharuddin, 2002).

3.2 | Pemodelan Sumber Thevenin di GI Borongloe

TABEL 1 Data tegangan dan arus hubung-singkat di GI 70 kV Borongloe

Tegangan Rel (Teg.hubung Buka)	Arus hubung-Singkat Tiga-Fase	
70 kV	Maks.(kA)	Min.(kA)
70 kV	2.51	2.26

Sumber : ULTG Panakkukang, 2025

Daya hubung-singkat maksimum yang diperoleh: $S_{Th} = \sqrt{3} V_{th} \times I_{sc} = 304,3124 \text{ MVA}$

Selanjutnya, nilai parameter induktans dapat diperoleh seperti berikut, dengan terlebih dahulu menghitung nilai impedans (resistansi diabaikan). $Z = (70 \text{ kV})^2 / S_{Th} = 16,1018 \Omega$. Oleh karena resistansi diabaikan maka nilai reaktans sama dengan impedansi, yakni $16,1018 \Omega$. Dengan demikian, nilai induktans (L). $X_L = 2\pi f L$, $L = X_L / (2\pi f)$. Jadi nilai untuk induktans Generator Thevenin GI Borongloe adalah: $0,05127 \text{ H}$.

3.3 | Model Transformator

Penelitian ini kami menggunakan trafo tiga-fase penurun tegangan (*step-down*) dari tegangan 70 kV ke 20 kV.

TABEL 2 Data Spesifikasi Trafo 2 GI Borongloe

Spesifikasi trafo	Nilai/tipe
Tegangan Primer	70
Tegangan Sekunder	20 kV
Daya Trafo	20 MVA
Impedans Trafo	11,9 %
Tipe Trafo	YNyn0+d

Sumber : Ultg Panakkukang, 2025

3.4 | Model Saluran Distribusi Penyulang Rindam

1. Panjang Penyulang

Panjang Penyulang Rindam = 5,375 KMS

2. Impedans Jenis

Ukuran kawat = $3 \times 240 \text{ mm}^2$ Jenis Kabel = XLPE

TABEL 3 Impedansi jenis

Jenis kabel (impedansi)	Nilai (Ohm/Km)
Resistans (R)	0,1344 Ohm / Km
Induktans (L)	0,1014 mH/ km

Sumber : SPLN 43-5/IEC 60502-2

3.5 | Hasil hitungan Impedansi Penyulang

Hasil perhitungan beban pada Penyulang Rindam menunjukkan daya semu sebesar 5 MVA dengan faktor daya ($\cos \phi$) sebesar 0,78. Daya nyata yang disalurkan sebesar 4,2 MW dan daya reaktif sebesar 2,7 MVar. Nilai-nilai ini menunjukkan karakteristik penyulang yang bersifat induktif dan menjadi dasar dalam analisis performa sistem serta simulasi gangguan pada penyulang.

$R_{Total} = R \text{ per km} \times \text{Panjang Penyulang} = 0,7224$

$L_{Total} = L \text{ per km} \times \text{Panjang Penyulang} = 0,0054 \text{ H}$

Reaktansi induktif X_L dengan menggunakan adalah $X_L = 1,6956 \Omega$, $Z_{Total} = 1,8431 \Omega$

Pada hasil Perhitungan Beban penyulang Rindam : Daya Semu, = 5 MVA

$\cos \phi = 31,78$, Daya nyata, $P = 4,2 \text{ MW}$, Daya reaktif, $Q = 2,7 \text{ MVA}$

3.6 | Hasil simulasi dalam kondisi normal

TABEL 4. Hasil Simulasi dalam Keadaan Normal

Pengukuran	Hasil Simulasi Pengukuran
Arus (kA)	0.1386
Tegangan (kV)	11.3222

Hasil Simulasi dalam Keadaan Normal, pada tabel 4, diperoleh bahwa pada kondisi operasi normal sistem distribusi, arus hasil simulasi sebesar 0,1386 kA, sedangkan tegangan tercatat sebesar 11,3222 kV.

3.7 | Gangguan 25% (0,001 Ohm)

TABEL 5. Hasil Simulasi dari 25% dengan Resistans Gangguan 0.001 Ohm

Pengukuran	Hasil Simulasi Gangguan 25% (1.34375 km)
Arus Terukur (kA)	1.7394
Tegangan Terukur (kV)	0.8021
Titik Lokasi Gangguan Terestimasi (km)	1.3445
Error Aktual (km)	0.0008
Error dalam (%)	0.0607
Impedans Terukur (ohm)	0.4611

Berdasarkan Tabel 5, Hasil Simulasi Gangguan 25% dengan Resistansi Gangguan 0,001 Ω , diperoleh arus terukur sebesar 2,79 kA dan tegangan terukur 1,29 kV. Titik lokasi gangguan terestimasi pada jarak 1,34 km, yang sangat mendekati lokasi gangguan aktual 1,3437 km, dengan *error* jarak sekitar 0,05 km atau 0,03%.

a. Hasil Gangguan Simulai 50

TABEL 6. Hasil Simulasi dari 50% dengan Resistans Gangguan 0.001 Ohm

Pengukuran	Hasil Simulasi Gangguan 50% (2.6875 km)
Arus Terukur (kA)	2.5317
Tegangan Terukur (kV)	2.3344
Titik Lokasi Gangguan Terestimasi (km)	2.6890
Error Aktual (km)	0.0008
Error dalam (%)	0.0567
Impedans Terukur (ohm)	0.9220

Berdasarkan Tabel 6 Hasil Simulasi Gangguan 50% dengan Resistansi Gangguan 0,001 Ω , diperoleh arus terukur sebesar 2,5317 kA dan tegangan terukur 2,3344 kV. Lokasi gangguan terestimasi pada jarak 2,6890 km, sangat mendekati lokasi aktual 2,6875 km, dengan *error* sebesar 0,0008 km atau 0,0567%. Nilai impedansi terukur 0,9220 Ω menunjukkan bahwa metode estimasi lokasi gangguan memiliki tingkat akurasi yang tinggi pada kondisi gangguan 50%.

3.8 | Resistansi Gangguan 2 Ohm

TABEL 7. Hasil Simulasi dari 25% dengan Resistans Gangguan 2 Ohm

Pengukuran	Hasil Simulasi Gangguan 25% (1.34375 km)
Arus Terukur (kA)	1.6795
Tegangan Terukur (kV)	1.5867
Titik Lokasi Gangguan Terestimasi (km)	2.7543
Error Aktual (km)	1.4106
Error dalam (%)	104.985
Impedans Terukur (ohm)	0.9447

Berdasarkan Tabel 7 Hasil Simulasi Gangguan 25% dengan Resistansi Gangguan 2 Ω , diperoleh arus terukur sebesar 1,6795 kA dan tegangan terukur 1,5867 kV. Lokasi gangguan terestimasi pada jarak 2,7543 km, yang berbeda cukup signifikan dari

lokasi aktual 1,3437 km, dengan *error* sebesar 1,4106 km atau 104,985%. Nilai impedansi terukur 0,9447 Ω menunjukkan bahwa peningkatan resistansi gangguan menyebabkan penurunan akurasi metode estimasi lokasi gangguan berbasis impedansi.

a. Hasil Gangguan Simulasi 50%

TABEL 8. Hasil Simulasi dari 50% dengan Resistans Gangguan 2 Ohm

Pengukuran	Hasil Simulasi Gangguan 50% (2.6875 km)
Arus Terukur (kA)	2.4759
Tegangan Terukur (kV)	3.2955
Titik Lokasi Gangguan Terestimasi (km)	3.8798
<i>Error</i> Aktual (km)	1.1923
<i>Error</i> dalam (%)	44.3658
Impedans Terukur (ohm)	1.3310

Berdasarkan Tabel 8 Hasil Simulasi Gangguan 50% dengan Resistansi Gangguan 2 Ω , diperoleh arus terukur sebesar 2,4759 kA dan tegangan terukur 3,2955 kV. Lokasi gangguan terestimasi berada pada jarak 3,8798 km, berbeda dari lokasi aktual 2,6875 km, dengan *error* sebesar 1,1923 km atau 44,3658%. Nilai impedansi terukur 1,3310 Ω menunjukkan bahwa pada resistansi gangguan yang lebih besar, akurasi metode estimasi lokasi gangguan berbasis impedansi mengalami penurunan yang signifikan.

3.9 | Hasil Resistansi Gangguan 5 Ohm

TABEL 9. Hasil Simulasi dari 25% dengan Resistans Gangguan 5 Ohm

Pengukuran	Hasil Simulasi Gangguan 25% (1.34375 km)
Arus Terukur (kA)	1.49483
Tegangan Terukur (kV)	2.79827
Titik Lokasi Gangguan Terestimasi (km)	5.45782
<i>Error</i> Aktual (km)	4.11412
<i>Error</i> dalam (%)	306.179
Impedans Terukur (ohm)	1.87196

Berdasarkan tabel 9 menunjukkan hasil simulasi gangguan sebesar 25% dengan resistansi gangguan 5 Ohm. Dari hasil pengukuran diperoleh arus terukur sebesar 1,49483 kA dan tegangan terukur sebesar 2,79827 kV. Titik lokasi gangguan terestimasi berada pada jarak 5,45782 km, sedangkan jarak aktual gangguan adalah 4,11412 km.

a. Hasil Gangguan Simulasi 50%

TABEL 10. Hasil Simulasi dari 50% dengan Resistans Gangguan 5 Ohm

Pengukuran	Hasil Simulasi Gangguan 50% (2.6875 km)
Arus Terukur (kA)	2.31619
Tegangan Terukur (kV)	5.04702
Titik Lokasi Gangguan Terestimasi (km)	6.35165
<i>Error</i> Aktual (km)	3.66415
<i>Error</i> dalam (%)	136.341
Impedans Terukur (ohm)	2.17902

Berdasarkan tabel 10 menunjukkan hasil simulasi gangguan sebesar 50% dengan resistansi gangguan 5 Ohm. Hasil pengukuran menunjukkan arus terukur sebesar 2,31619 kA dan tegangan terukur sebesar 5,04702 kV. Titik lokasi gangguan terestimasi berada pada jarak 6,35165 km, sedangkan jarak aktual gangguan adalah 2,6875 km. Selisih tersebut menghasilkan *error* aktual sebesar 3,66415 km dengan persentase *error* sebesar 136,341%. Selain itu, impedansi terukur yang diperoleh adalah 2,17902 Ohm.

TABEL 11. Hasil Simulasi *Fault locator* Penyulang Rindam

Pengukuran	Keadaan Normal	Simulasi Gangguan dengan Resistans					
		0.001 ohm		2 ohm		5 ohm	
		25%	50%	25%	50%	25%	50%
AruTerukur (kA)	0.138677	1.7394	2.5317	1.6795	2.4759	1.4948	2.3161
Tegangan Terukur (kV)	11.3222	0.8021	2.3344	1.5867	3.2955	2.7982	5.0470
Titik Lokasi Gangguan		1.3445	2.6890	2.7543	3.8798	5.4578	6.3516
Terestimasi (km)							
Error Aktual (km)		0.0008	0.0008	1.4106	1.1923	4.1141	3.6641
Error dalam (%)		0.0607	0.0567	104.985	44.3658	306.179	136.341
Impedans Terukur (ohm)		0.4611	0.9220	0.9447	1.3310	1.8719	2.1790

Berdasarkan tabel 11 menunjukkan hasil simulasi *fault locator* pada penyulang Rindam dengan variasi resistansi gangguan 0,001 Ω , 2 Ω , dan 5 Ω pada kondisi gangguan 25% dan 50%. Hasil simulasi memperlihatkan bahwa semakin besar resistansi gangguan, arus terukur cenderung menurun, sedangkan tegangan terukur dan estimasi jarak gangguan meningkat. Selain itu, peningkatan resistansi gangguan menyebabkan nilai *error* aktual dan persentase *error* semakin besar, khususnya pada resistansi 5 Ω . Impedansi terukur juga mengalami kenaikan seiring bertambahnya resistansi gangguan, yang menunjukkan bahwa resistansi gangguan berpengaruh signifikan terhadap akurasi penentuan lokasi gangguan.

4 | KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian serta pembahasan yang telah dilakukan dalam skripsi ini mengenai penerapan metode berbasis impedansi untuk penentuan lokasi kesalahan pada penyulang Rindam dengan menggunakan perangkat lunak PSCAD, dapat disimpulkan bahwa model PSCAD yang dibangun telah berhasil merepresentasikan sistem distribusi tenaga listrik secara akurat. Model ini mencakup rentang sistem mulai dari sumber tegangan Thevenin di Gardu Induk Borongloe 70 kV hingga tegangan 20 kV melalui transformator, serta melibatkan elemen proteksi dan impedansi saluran yang disesuaikan dengan data lapangan sebagai acuan simulasi yang realistis. Berdasarkan tabel 11 menunjukkan hasil simulasi *fault locator* pada penyulang Rindam dengan variasi resistansi gangguan 0,001 Ω , 2 Ω , dan 5 Ω pada kondisi gangguan 25% dan 50%. Hasil simulasi memperlihatkan bahwa semakin besar resistansi gangguan, arus terukur cenderung menurun, sedangkan tegangan terukur dan estimasi jarak gangguan meningkat. Selain itu, peningkatan resistansi gangguan menyebabkan nilai *error* aktual dan persentase *error* semakin besar, khususnya pada resistansi 5 Ω . Impedansi terukur juga mengalami kenaikan seiring bertambahnya resistansi gangguan, yang menunjukkan bahwa resistansi gangguan berpengaruh signifikan terhadap akurasi penentuan lokasi gangguan.

Berdasarkan tabel simulasi yang menunjukkan variasi akurasi *fault locator* berdasarkan resistansi gangguan, disarankan untuk penelitian selanjutnya agar mengkaji lebih dalam pengaruh jenis gangguan lain (seperti gangguan satu fasa ke tanah atau dua fasa) terhadap kinerja alat. Hal ini penting untuk mendapatkan pemahaman yang lebih komprehensif tentang bagaimana berbagai jenis gangguan memengaruhi akurasi *fault locator*, sehingga dapat meningkatkan keandalan dan keefektifan sistem proteksi secara keseluruhan dalam mendeteksi dan melokalisasi gangguan pada sistem tenaga listrik.

Daftar Pustaka

- 2019, S. (2021). *Perencanaan Sistem Hybrid untuk Pelayanan Jaringan Kelistrikan di Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi*. 1–10. <http://repo.unsrat.ac.id/3321/>
- Al qoyyimi, T. A., Penangsang, O., & Aryani, N. K. (2017). Penentuan Lokasi Gangguan Hubung Singkat pada Jaringan Distribusi 20 kV Penyulang Tegalsari Surabaya dengan Metode Impedansi Berbasis GIS (Geographic Information System). *Jurnal Teknik ITS*, 6(1). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v6i1.21297>
- Duhi, S., Elektro, P. T., Tansa, S., Deddy, R., Dako, R., Musa, W., & Abdussamad, S. (2025). Sistem Monitoring Lokasi dan Data Gangguan Satu Fase Menggunakan Esp8266 via Blynk dan Telegram Location and Single-Phase Fault Data Monitoring System Using ESP8266 via Blynk and Telegram. *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 284.
- Faharuddin, A. (2002). *Analisis Gangguan Simetris Dengan Menggunakan Metode Mva Hubung-Singkat (Mva Sc)*. 2, 1–7.

