

ANALISIS PENGUJIAN PROTEKSI SALURAN TRANSMISI MENGGUNAKAN DISTANCE RELAY PADA BAY LINE SENGKOL–KUTA DI GI 150 KV SENGKOL

Haris Setyo Adi¹, Agung Budi Muljono²

^{1,2}Jurusan Teknik Elektro, Universitas Mataram; Jl. Majapahit 62 Mataram

Keywords:

Distance Relay;
Proteksi Saluran Transmisi;
Omicron CMC 356;
IEC 60255-121:2014.

Correspondent Email:

haris.setyoadi@gmail.com

Abstrak. *Distance relay* adalah komponen penting dalam sistem proteksi saluran transmisi tegangan tinggi. Gangguan pada saluran transmisi dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan dan mengganggu kontinuitas pasokan listrik. Penelitian ini bertujuan untuk menguji kinerja dan karakteristik *distance relay* pada saluran transmisi *bay line* Sengkol – Kuta di GI 150 kV Sengkol. Metode pengujian yang digunakan adalah *shutdown testing* dengan mengacu pada standar IEC 60255-121:2014 dan SPLN No.15 Tahun 2014. Pengujian dilakukan menggunakan alat uji Omicron CMC 356 dan *software Test Universe*. *Setting* zona proteksi yang diuji meliputi zona-1 dan zona-2 dengan parameter impedansi dan waktu kerja yang disesuaikan dengan panjang saluran. Hasil pengujian menunjukkan bahwa rele MiCOM P543 bekerja dengan akurat dan responsif terhadap gangguan yang disimulasikan, ditunjukkan melalui karakteristik kurva Mho dan Quadrilateral yang sesuai dengan batas kerja sistem. Hasil ini membuktikan bahwa sistem proteksi *distance relay* yang digunakan telah berfungsi secara optimal dalam mendeteksi gangguan dan menjaga keandalan sistem tenaga listrik.



Copyright © [JITET](http://www.jitet.org) (Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan). This article is an open access article distributed under terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC)

Abstract. *Distance relay* is a crucial component in the protection system of high-voltage transmission lines. Faults on transmission lines can cause equipment damage and disrupt the continuity of power supply. This study aims to evaluate the performance and characteristics of the distance relay on the Sengkol–Kuta transmission line bay at the 150 kV Sengkol Substation. The testing method employed is *shutdown testing*, referring to IEC 60255-121:2014 and SPLN No.15 of 2014 standards. The test was conducted using an Omicron CMC 356 test set and *Test Universe* software. The protection zones examined include zone-1 and zone-2, with impedance and operating time parameters adjusted according to the line length. The results indicate that the MiCOM P543 relay operates accurately and responsively to simulated faults, as demonstrated by Mho and Quadrilateral characteristic curves that align with the protection system boundaries. These findings confirm that the implemented distance relay protection system functions optimally in fault detection and contributes to maintaining the reliability of the power system.

1. PENDAHULUAN

Gangguan yang terjadi pada saluran transmisi sering menimbulkan pemadaman listrik [1]. Gangguan dari luar sistem yang sering terjadi berasal dari kondisi alam misalnya hujan lebat, sambaran petir, dan badai, serta gangguan dari dalam sistem seperti

gangguan *short circuit* (hubung singkat) maupun gangguan *overload* (beban berlebih) [2]. Gangguan yang terjadi dapat menimbulkan kerusakan pada komponen dan mengakibatkan proses penyaluran energi listrik menjadi terganggu. Untuk mengurangi kerusakan yang ditimbulkan oleh gangguan yang terjadi,

sehingga diperlukan sebuah sistem proteksi yang cepat, andal dan baik [3]. Untuk meminimalkan gangguan pada saluran transmisi maka dilakukannya pengujian peralatan proteksi yang merupakan bagian dari *predictive maintenance* pada sistem tenaga listrik, sebagaimana juga dilakukan pada pengujian komponen lain di gardu induk [4].

Distance relay adalah komponen penting dari sistem proteksi tenaga listrik. Pada saluran transmisi, *distance relay* (rele jarak) berperan sebagai proteksi utama karena rele bekerja dengan cepat dan penyetelannya yang mudah dan juga rele ini memiliki kelebihan dalam menghilangkan gangguan (*fault clearing*) [5].

Pengujian fungsi rele mengacu pada standar IEC 60255-121:2014 dan untuk *setting distance relay* mengacu pada standar SPLN No. 15 tahun 2014 [6]. Pada pengujian *distance relay* menggunakan metode *shutdown testing*, yang mendukung evaluasi menyeluruh terhadap fungsi rele dengan kondisi seperti situasi operasional sebenarnya dalam proses simulasi. Dalam melakukan pengujian rele, alat uji yang digunakan yaitu Omicron CMC 356 hal ini dikarenakan alat uji ini memiliki tingkat keandalan dan dapat memberikan hasil pengujian dengan konsisten dan akurat [7].

Penelitian bertujuan untuk mengetahui hasil uji dan karakteristik dari *distance relay* pada saluran transmisi Sengkol-Kuta di GI 150 kV Sengkol. Standar pengujian yang digunakan yaitu standar IEC 60255-121:2014 dan SPLN No. 15 tahun 2014. Untuk membuat penelitian lebih mudah disajikan, penulisan artikel dimulai dengan pendahuluan, diikuti dengan tinjauan literatur tentang metode penelitian, hasil, pembahasan, dan kesimpulan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Bagian ini menyajikan landasan teori yang berkaitan langsung dengan penelitian yang dilakukan.

2.1 Saluran Transmisi

Saluran transmisi adalah komponen dari sistem tenaga listrik yang berperan dalam menghantarkan energi dari pusat pembangkit menuju jaringan distribusi hingga akhirnya sampai ke konsumen. Penyaluran daya dilakukan pada tegangan tinggi dengan tujuan meminimalkan rugi-rugi energi yang dapat timbul akibat penurunan tegangan. [8].

2.2 Gangguan Hubung Singkat pada Saluran Transmisi

Gangguan hubung singkat adalah gangguan pada saluran transmisi dimana konduktor yang memiliki arus bertemu dengan konduktor lainnya atau dengan *ground*. Gangguan hubung singkat dapat menimbulkan arus yang jauh lebih besar dibandingkan arus pada kondisi operasi normal. [9].

1. Gangguan Tiga Fasa

Gangguan tiga fasa diasumsikan bersifat simetris, sehingga perhitungan khusus tidak diperlukan untuk menganalisisnya [10].

$$I_1 = I_{aF} = \frac{V}{Z_1} \text{ atau } I_1 = I_{aF} = \frac{V}{Z_1 + Z_F} \quad (1)$$

2. Gangguan Satu Fasa Ke Tanah

Gangguan satu fasa ke tanah dapat digambarkan dengan menghubungkan ketiga jaringan urutan secara bersamaan [10].

$$I_1 = I_2 = I_0 = \frac{V}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \quad (2)$$

atau

$$I_1 = I_2 = I_0 = \frac{V}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_F} \quad (3)$$

3. Gangguan Fasa Ke Fasa

Jenis gangguan ini terjadi akibat hubungan langsung antara fasa b dengan fasa c. [10].

$$I_1 = -I_2 = \frac{V}{Z_1 + Z_2 + Z_F} \quad (4)$$

4. Gangguan Dua Fasa Ke Tanah

Koneksi pada jenis gangguan ini memiliki kesamaan dengan gangguan antar fasa, namun dengan tambahan jaringan urutan nol yang dihubungkan secara paralel [10].

$$I = \frac{V}{Z_1 + \frac{Z_2 Z_0}{Z_2 + Z_0}} \quad (5)$$

atau

$$I = \frac{V}{Z_1 + \frac{Z_F (Z_2 + (\frac{Z_F}{2})) (Z_0 + (\frac{Z_F}{2}) + 3Z_{FG})}{Z_2 + Z_0 + Z_F + 3Z_{FG}}} \quad (6)$$

$$I_2 = -I_1 = \frac{Z_0}{Z_2 + Z_0} \text{ dan } I_0 = -I_1 = \frac{Z_2}{Z_2 + Z_0} \quad (7)$$

2.3 Sistem Proteksi Bay Line

Sistem proteksi *bay line* adalah sebuah sistem yang berfungsi sebagai pengaman atau isolasi saluran transmisi dari gangguan yang bersifat sementara (temporer) maupun bersifat permanen. Komponen sistem proteksi terdiri

dari *current transformer* (CT), *potential transformer* (PT), rele proteksi, pemutus tenaga (PMT), dan *power supply* [11].

2.4 Distance Relay (Rele Jarak)

Distance relay adalah jenis rele proteksi yang bekerja berdasarkan pengukuran arus dan tegangan pada suatu titik di saluran transmisi. dengan bertujuan mendapatkan nilai impedansi saluran setelah itu dilakukan perbandingan antara nilai *setting* dengan nilai yang terukur untuk memutuskan apakah rele perlu beroperasi atau tidak [5].

2.5 Pemilihan Zona Pengaman pada Distance Relay

a. Pemilihan zona-1

Zona-1 pada *distance relay* mencakup sekitar 80% dari total panjang saluran yang diproteksi. [11].

$$Z_1 = 0.8 \times Z_{L1} \quad (8)$$

Keterangan :

Z_{L1} = impedansi saluran yang diproteksi

b. Pemilihan Zona-2

Zona-2 memiliki jangkauan proteksi yang mencakup hingga busbar yang berada di sisi depan (*near end bus*) [10].

$$Z_{2min} = 1.2 \times Z_{L1} \quad (9)$$

$$Z_{2max} = 0.8 \times (Z_{L1} + (0.5 Z_{L2}) \times K) \quad (10)$$

Keterangan :

Z_{L1} = impedansi saluran yang diproteksi

Z_{L2} = impedansi saluran terpendek selanjutnya

K = faktor masukan daya (K = 1 s.d 2)

c. Pemilihan Zona-3

Zona-3 memiliki jangkauan yang mencakup hingga dua busbar gardu induk di sisi depan yang paling jauh (*far end bus*) [10].

$$Z_{3min} = 1.2 (Z_{L1} + K \times Z_{L3}) \quad (11)$$

$$Z_{3max1} = 0.8 \times (Z_{L1} + ((1.2 \times Z_{L3} \times K))$$

$$Z_{3max2} = 0.8 \times (Z_{L1} + (0.8 \times ((Z_{L3} + 0.8 \times Z_{L4}) \times K)) \quad (12)$$

$$Z_{TR} = 0.8 \times (Z_{L1} + (0.8 \times X_t)) \quad (13)$$

Keterangan :

Z_{L1} = impedansi saluran yang diamankan

Z_{L3} = impedansi saluran terpanjang berikutnya

Z_{L4} = impedansi saluran terpendek dari *far end* bus

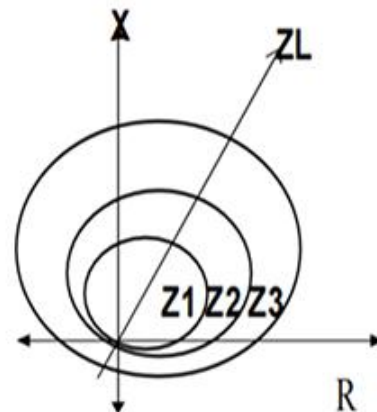
X_t = reaktansi trafo

K = faktor masukan daya (K = 1 s.d 2)

2.6 Karakteristik Distance Relay

a. Karakteristik Mho

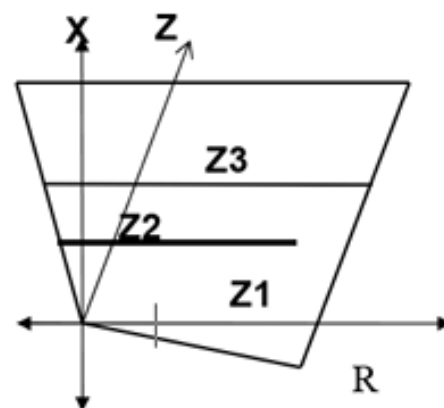
Karakteristik mho memiliki ciri seperti lingkaran yang melewati titik pusat sesuai Gambar 1. Karena rele dapat mengidentifikasi arah gangguan maka jenis rele ini tidak membutuhkan rele tambahan [13].



Gambar 1. Karakteristik Mho

b. Quadrilateral

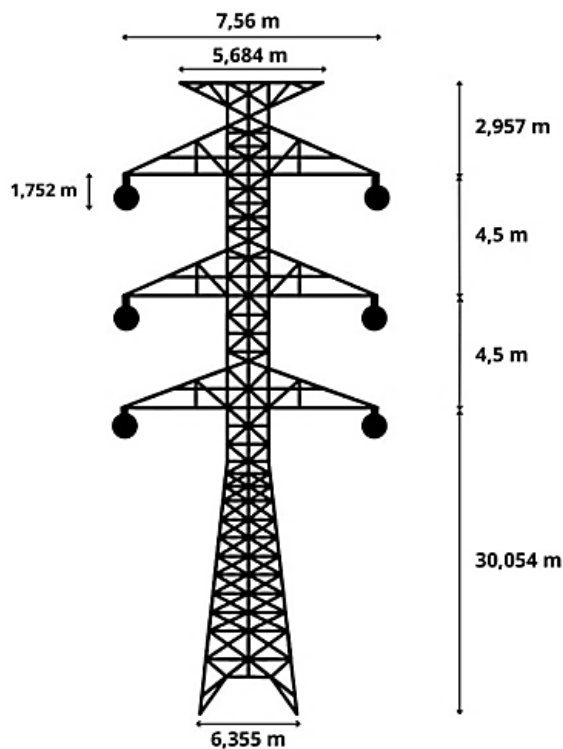
Karakteristik quadrilateral terdiri dari komponen reaktansi, resistansi, dan *directional* seperti Gambar 2. Dengan menggunakan *setting* jangkauan resistif yang cukup besar, karakteristik ini dapat mengatasi gangguan tanah dengan tahanan tinggi [13].



Gambar 2. Karakteristik Quadrilateral

2.7 Spesifikasi Saluran Transmisi Sengkol - Kuta

Spesifikasi Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) yang digunakan pada *bay line* Sengkol - Kuta, panjang lintasan transmisi yaitu 11,8 km dengan jumlah menara sebanyak 39 unit. Sistem ini dilengkapi dengan kawat tanah yang terbuat dari *galvanized steel wire* berjumlah dua buah dengan diameter masing-masing 9,6 mm sebagaimana Gambar 3. Untuk penghantar, digunakan konduktor tipe ACSR *Hawk* dengan luas penampang 240 mm², berdiameter 21,9 mm, dan memiliki berat 0,987 kg per meter. Konduktor ini mampu menahan tegangan mendatar hingga 8640 kg. Selain itu, pada bagian isolasi digunakan bahan kaca dengan panjang 146 mm, dimana jumlah isolator yang dipasang sebanyak 12 buah [14].

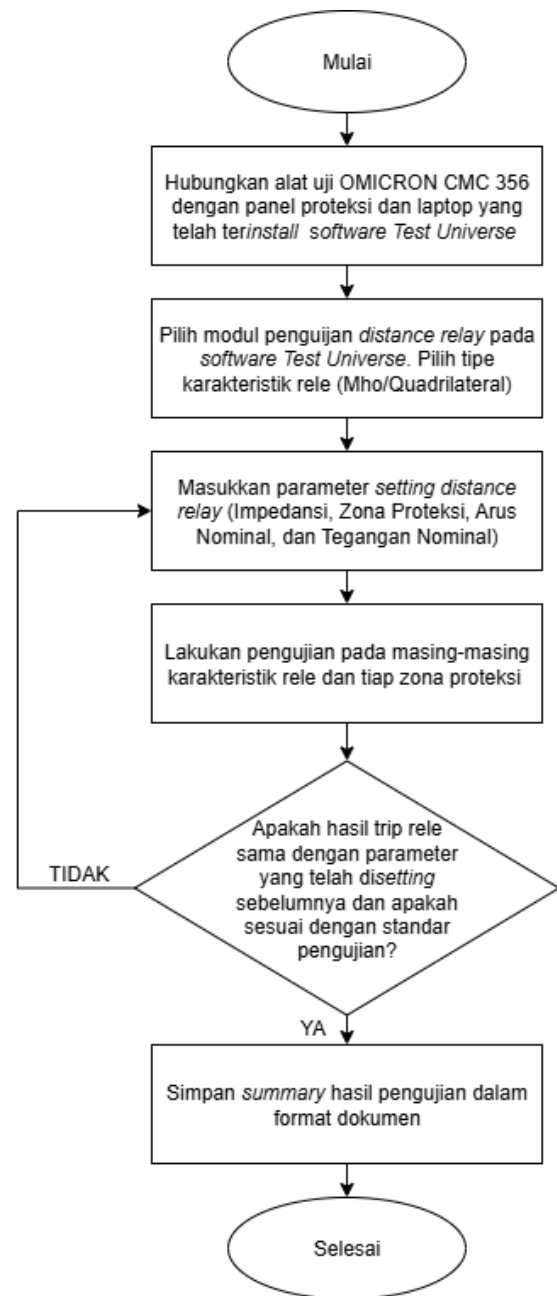


Gambar 3. SUTT 150 kV Sengkol – Kuta

5. METODE PENELITIAN

Penelitian *distance relay* ini mengacu pada standar IEC 60255-121:2014 [15] dan SPLN No. 15 tahun 2014 [6]. metode yang digunakan adalah *shutdown testing* dan alat uji yang digunakan adalah Omicron CMC 356 [7]. Prosedur dalam melakukan pengujian *distance relay* menggunakan alat uji Omicron CMC 356 dapat dilihat pada Gambar 4.

Berdasarkan standar SPLN No. 15 tahun 2014 Dalam melakukan *setting distance relay*, pengujian dianggap berhasil ketika nilai impedansi gangguan lebih kecil daripada impedansi *setting* rele sehingga rele akan bekerja ($Z_f < Z_s$). Sebaliknya, jika nilai impedansi gangguan lebih besar dibanding impedansi *setting* rele maka rele tidak akan bekerja ($Z_f > Z_s$). [16].



Gambar 4. Prosedur Pengujian *Distance Relay*

6. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian *distance relay* dilakukan di dalam ruangan panel proteksi di gardu induk 150 kV Sengkol. Pengujian dilakukan sesuai dengan prosedur yang dijabarkan pada Gambar 4 *flowchart* prosedur pengujian *distance relay* menggunakan alat uji OMICRON CMC 356 dan *software Test Universe* seperti Gambar 5.



Gambar 5. Proses Pengujian *Distance Relay* di GI 150 kV Sengkol

4.1 Komponen Pengujian *Distance Relay* di GI 150 kV Sengkol

a. Rele MiCOM P543

Rele MiCOM P543 pada Gambar 6, merupakan salah satu contoh alat rele jarak yang tergabung dalam jenis rele proteksi yang dilengkapi dengan berbagai fitur proteksi berbasis teknologi digital dan merupakan komponen penting dalam sistem proteksi.



Gambar 6. Rele MiCOM P543

b. Alat Uji Omicron CMC 356

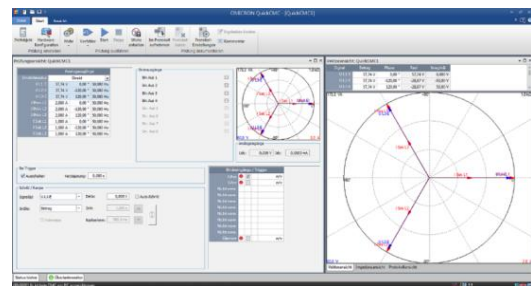
Omicron CMC 356 berfungsi sebagai peralatan standar untuk menguji berbagai jenis rele proteksi dan sistem perlindungan tenaga listrik pada Gambar 7.



Gambar 7. Rele MiCOM P543

c. *Software Test Universe*

Test Universe merupakan *software* yang digunakan untuk melakukan pengujian rele dengan cara mengatur parameter pengujian, mensimulasikan kondisi gangguan, dan menganalisis respon rele dalam sistem tenaga listrik dengan tampilan seperti pada Gambar 8.



Gambar 8. Tampilan *Software Test Universe*

4.2 *Setting Zona Proteksi Distance Relay Pada Saluran Transmisi Sengkol – Kuta*

Single line digaram SUTT Sengkol-Kuta seperti Gambar 9, disimalisakan Zona proteksi rele jarak seperti Gambar 10 dan 11 dengan parameter saluran sesuai data pada Tabel 1 dan hasil setting rele seperti pada Tabel 2 :

Konduktor : OHL-150kV-ACSR Hawk
1x240mm²

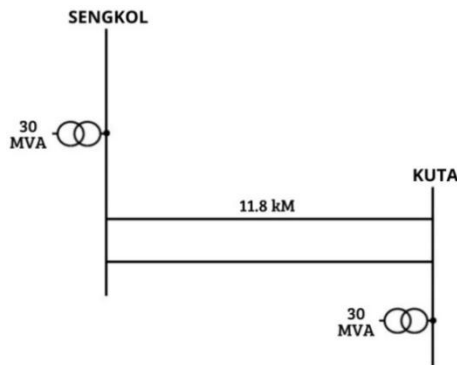
CCC (*Continuous Current Capacity*) : 580 A

Panjang saluran L_1 : 11.8 km = 7,333 mile

Tegangan saluran : 150 kV = 150.000 V

Tabel 1. Data Resistansi dan Reaktansi SUTT
Sengkol – Kuta

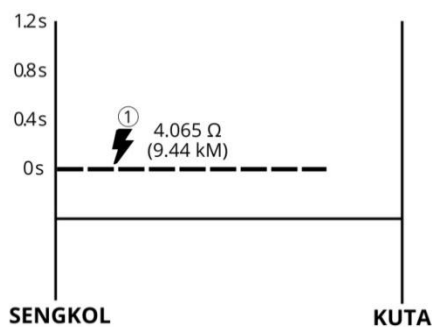
Keterangan (Ω/km)	Urutan Positif	Urutan Negatif	Urutan Nol
Resistansi	0.153898	0.153898	0.388813
Reaktansi	j0.4022	j0.4022	j1.05457



Gambar 9. *Single Line Diagram* Saluran Sengkol – Kuta

Zona-1

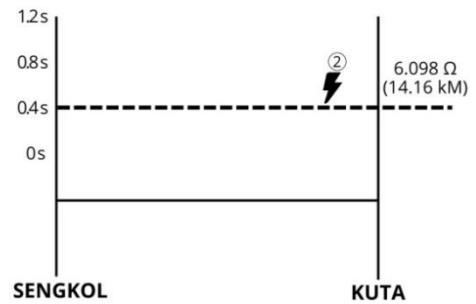
$$\begin{aligned}
 Z_{1P} &= 0.8 \times Z_{1L} \\
 &= 0.8 \times (1.816 + j4.746) \\
 &= 1.453 + j3.797 \, \Omega \\
 |Z_{1P}| &= 4.065 \, \Omega \, (9.44 \, \text{km}) \\
 t_1 &= 0 \, \text{detik}
 \end{aligned}$$



Gambar 10. Jangkauan Impedansi Zona-1

Zona-2

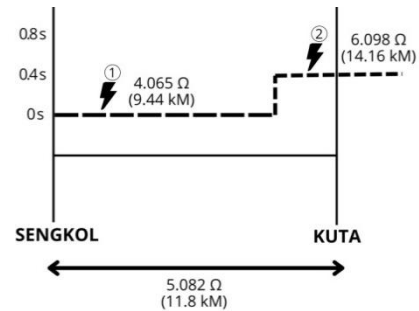
$$\begin{aligned}
 Z_{2P} &= 1.2 \times Z_{1L} \\
 &= 1.2 \times (1.816 + j4.746) \\
 &= 2.179 + j5.695 \, \Omega \\
 |Z_{2P}| &= 6.098 \, \Omega \, (14.16 \, \text{km}) \\
 T_2 &= 0.4 \, \text{detik}
 \end{aligned}$$



Gambar 11. Jangkauan Impedansi Zona-2

Tabel 2. *Setting Distance Relay Saluran Sengkol – Kuta*

Zona	1	2
Impedansi Primer (Ω)	4.065	6.098
Setting Waktu (detik)	0	0.4



Keterangan :

----- : Jangkauan Impedansi Zona 1
----- : Jangkauan Impedansi Zona 2

Gambar 12. Koordinasi Zona *Proteksi Distance Relay Saat Gangguan*

Pada saluran Sengkol–Kuta, gangguan yang terjadi pada 80% panjang saluran ditangani oleh rele jarak zona satu secara seketika atau 0 detik. Sementara itu, gangguan pada 120% panjang saluran ditangani oleh zona dua dengan waktu tunda 0,4 detik. Selain itu, zona dua juga berfungsi sebagai cadangan jika zona satu gagal bekerja pada area proteksinya sesuai Gambar 12.

4.3 Hasil Pengujian *Distance Relay*

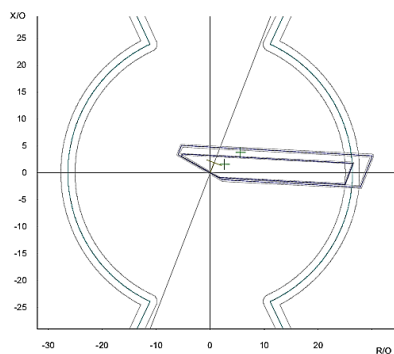
Pengujian dilakukan secara otomatis pada tiap fasa masing-masing zona. Nilai yang didapatkan yaitu waktu nominal, *actual*, dan deviasi dengan menggunakan parameter *Trip*, *CB Open*, dan *Dead Time* sebagaimana pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian *Distance Relay*

Zona	Fasa	Parameter	T_{nom}	T_{act}	T_{dev}	Status
1	R	<i>Trip</i>	0,00 s	22,60 ms	+22,60 ms	<i>Passed</i>
		<i>CB Open</i>	40,00 ms	38,00 ms	-2,00 ms	<i>Passed</i>
		<i>Dead Time</i>	1,000 s	987,0 ms	-13,00 ms	<i>Passed</i>
	S	<i>Trip</i>	0,00 s	19,10 ms	+19,10 ms	<i>Passed</i>
		<i>CB Open</i>	40,00 ms	36,80 ms	-3,20 ms	<i>Passed</i>
		<i>Dead Time</i>	1,000 s	983,0 ms	-17,00 ms	<i>Passed</i>
	T	<i>Trip</i>	0,00 s	23,50 ms	+23,50 ms	<i>Passed</i>
		<i>CB Open</i>	40,00 ms	38,20 ms	-1,80 ms	<i>Passed</i>
		<i>Dead Time</i>	1,000 s	987,0 ms	-13,00 ms	<i>Passed</i>
2	Semua	<i>Trip</i>	400,0 ms	426,1 ms	26,10 ms	<i>Passed</i>
		<i>CB Open</i>	40,00 ms	37,90 ms	-2,100 ms	<i>Passed</i>

4.4 Hasil Uji Karakteristik Quadrilateral

Gambar 13 menunjukkan karakteristik zona kerja *distance relay* pada *bay line* Sengkol-Kuta. Terlihat bahwa zona proteksi berada dalam batas yang sesuai terhadap sumbu resistansi dan reaktansi, hal ini menunjukkan *setting* impedansi yang proporsional dan tidak melewati batas *overreach*. Berdasarkan standar standar IEC 60255-121:2014, zona 1 tidak melampaui 85% panjang saluran, sehingga zona proteksi yang ditampilkan pada grafik ini dapat dikatakan telah disetting dengan baik dan siap merespons gangguan internal secara selektif.

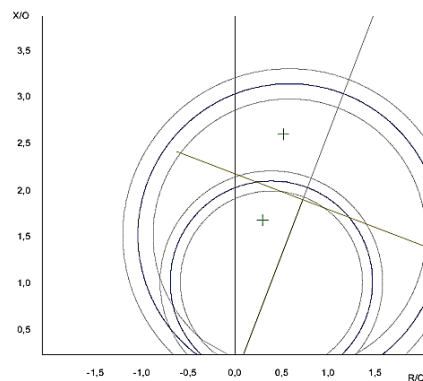


Gambar 13. Karakteristik Quadrilateral

4.4 Hasil Uji Karakteristik Mho

Gambar 14 menunjukkan karakteristik impedansi elemen proteksi untuk gangguan satu fasa ke tanah. Terlihat dua titik gangguan dalam kurva zona proteksi, hal ini menunjukkan bahwa rele telah sesuai dengan *setting* zona kerjanya secara selektif terhadap gangguan internal. Kurva RX yang terbentuk tetap berada dalam batas normal sistem dan tidak melewati zona luar. Berdasarkan standar IEC 60255-121:2014, pengenalan gangguan oleh rele dianggap andal selama titik impedansi

gangguan berada dalam area kerja yang dirancang.



Gambar 14. Karakteristik Mho

7. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pengujian *distance relay* pada saluran transmisi *bay line* Sengkol – Kuta di GI 150 kV Sengkol, maka dapat disimpulkan.

- Pengujian *distance relay* dilakukan menggunakan metode *shutdown testing* dengan alat uji Omicron CMC 356 dan *software Test Universe* sesuai standar IEC 60255-121:2014 dan SPLN No.15 Tahun 2014, dengan hasil bahwa rele MiCOM P543 bekerja dengan baik ketika nilai impedansi gangguan berada dalam area kerja ($Z_f < Z_s$), menunjukkan kinerja sistem proteksi yang andal dan selektif.
- Setting* zona proteksi telah disesuaikan dengan panjang dan impedansi saluran secara akurat, yaitu Zona-1 (4,065 Ω) menjangkau 80% saluran dan Zona-2 (6,098 Ω) hingga busbar berikutnya, masing-masing dengan waktu tunda 0 detik dan 0,4 detik, serta ditunjukkan melalui karakteristik Mho dan Quadrilateral yang berada dalam batas normal sistem proteksi tanpa terjadi *overreach*.
- Pengujian menunjukkan bahwa sistem proteksi *distance relay* telah bekerja secara efektif dan responsif terhadap kondisi gangguan yang disimulasikan, dengan hasil yang konsisten dan sesuai dengan parameter yang telah ditentukan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada PT PLN (Persero) Unit Layanan Transmisi dan Gardu Induk (ULTG) Lombok Barat atas kesempatan yang telah diberikan

untuk melakukan pengujian di lapangan secara langsung.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. E. M. Yusuf, "Analisis Proteksi Rele Jarak Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 kV," *Sinusoida*, vol. XXII, no. 83, 2020.
- [2] Nabila Khoirunnisa, Nelli Inayah, Farid Wiherdiansyah, I Kadek Dwi Adyano, and Didik Aribowo, "Studi Literatur Tentang Jenis dan Penyebab Gangguan Pada Saluran Transmisi," *Surya Tek.*, vol. 11, no. Studi Literatur Tentang Jenis dan Penyebab Gangguan Pada Saluran Transmisi, pp. 569–573, 2024.
- [3] D. Romdhani, Supriyatna, and A. B. Muljono, "Proteksi Rele Jarak Pada Jaringan Sutt 150 Kv Gi Ampenan – Pltu Lombok Energy Dynamic (Led)," *Dielektrika*, vol. 8, no. 1, p. 36, 2021, doi: 10.29303/dielektrika.v8i1.263.
- [4] C. P. Maharani, I. M. A. Nrratha, S. I. Nugroho, and A. Hasibuan, "Pengujian Tegangan Tembus Minyak Trafo Pada Bay Trafo 1 Di Gi 150 Kv Tanjung," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 12, no. 3, 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i3.4347.
- [5] R. A. Wahyuningsih, Supriyatna, and A. B. Muljono, "Proteksi Rele Jarak (Distance Relay) Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV Sistem Kelistrikan Lombok," *Dielektrika*, vol. 7, no. 1, p. 15, 2020, doi: 10.29303/dielektrika.v7i1.230.
- [6] N. Benedicta, "Analisis Scanning Setting Proteksi Distance Relay Pada Penghantar 150 kV Gardu Induk Garuda Sakti Ke Gardu Induk Balai Pungut," 2021, [Online]. Available: <http://repository.uin-suska.ac.id/id/eprint/54191>
- [7] G. Agustina, S. Anisah, and A. S. P. Tarigan, "Analisa Hasil Pemeliharaan Shutdown Testing Dengan Alat Uji Omicron CMC 356 Pada Relay Distance Bay Line 150 Kv Jantho Di Gi Sigli," *J. Electr. Syst. Control Eng.*, vol. 8, no. 2, pp. 271–279, 2025, doi: 10.31289/jesce.v6i2.14168.
- [8] M. F. R. Pratama, M. A. S. Yudono, and H. B. Tambunan, "Analisis Kegagalan Kerja Relay Auto Reclose Pmt 7Ab3 Di Gistet Saguling," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 12, no. 3S1, 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i3s1.5224.
- [9] A. S. Sampeallo, Nursalim, and P. J. Fischer, "Analisis Gangguan Hubung Singkat Pada Jaringan Pemakaian Sendiri Pltu Bolok PT. SMSE (IPP) Unit 3 Dan 4 Menggunakan Software Etap 12.6.0," no. 0380, 2015.
- [10] J. L. T. J. D. Blackburn, *Protective Relaying: Principles and Applications Third Edition*. 2006. doi: 10.1002/9781119806721.ch12.
- [11] PLN, "Pedoman dan Petunjuk Sistem Proteksi Transmisi dan Gardu Induk Jawa Bali," *PT PLN*, no. September, p. 513, 2013.
- [12] PLN, "Buku Pedoman Pemeliharaan Proteksi dan Kontrol Penghantar," *Jakarta PT. PLN*, no. 0520, pp. 3–4, 2014.
- [13] I. A. Wibowo, "Optimasi Keandalan Proteksi Rele Distance Pada Penghantar 150 Kv Sunyaragi – Jatigede," 2024.
- [14] E. Criyanto, Supriyatna, and A. B. Muljono, "Analisis Koordinasi Isolasi Di Gardu Induk Kuta Terhadap Tegangan Lebih Akibat Sambaran Petir Pada Saluran Transmisi 150 kV," *Dielektrika*, vol. 7, no. 1, pp. 64–72, 2020.
- [15] International Electrotechnical Commission (IEC), "Measuring relays and protection equipment – Part 121: Functional requirements for distance protection," Geneva, Switzerland, 2014.
- [16] L. Andreansyah, Gunawan, and B. Sukoco, "Analisis Rele Jarak Sebagai Proteksi Pada Jaringan Transmisi Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 Kv Gardu Induk Randu Garut-Weleri," *Konf. Ilm. Mhs. Unissula 2*, pp. 133–140, 2019.