
ANALISIS GANGGUAN JARINGAN TRANSMISI BERDASARKAN DFR DISTANCE RELAY DAN MENENTUKAN TITIK GANGGUAN MELALUI PERBANDINGAN ALAT PELACAK BERBASIS TWS DI GARDU INDUK SUNYARAGI

Annisa Azizzah

Fakultas Teknik, Universitas Kahuripan Kediri

Dwi Sari Ida Aflaha

Universitas Kahuripan Kediri

Alamat: Jl. Pb. Sudirman No.25, Plongko, Pare, Kec. Pare, Kabupaten Kediri, Jawa Timur
64212

Korespondensi penulis: annisa.a@students.kahuripan.ac.id

Abstract. *The reliability of electric power transmission is a crucial aspect of power system operation, as any disturbance can significantly impact the continuity of energy supply. Therefore, particularly in transmission networks, a protection system is required that not only responds to and minimizes disturbances promptly but is also capable of recording fault data for further analysis. This study presents a fault analysis of the transmission network based on data obtained from the Digital Fault Recorder (DFR) of distance relay to determine the fault characteristics and pinpoint the fault location, thereby accelerating fault handling. The analysis of fault characteristics is conducted using the fault signature method based on DFR of distance relay recordings, with fault location data compared to the results from the Travelling Wave System (TWS) to ensure accuracy. The results of this study successfully identify the type of fault, the involved phases, and the fault location with improved accuracy.*

Keywords: *fault analysis, DFR, Travelling Wave System, fault signature.*

Abstrak. Keandalan penyaluran tenaga listrik merupakan aspek krusial dalam penyaluran sistem tenaga listrik, mengingat gangguan yang terjadi dapat berdampak signifikan terhadap kesinambungan pasokan energi. Oleh karena itu, dalam penyaluran tenaga listrik terutama jaringan transmisi diperlukan sistem proteksi yang tidak hanya mampu merespon dan meminimalisir gangguan secara cepat tetapi juga mampu merekam data gangguan untuk keperluan analisis lebih lanjut. Dalam penelitian ini membahas analisis gangguan jaringan transmisi berdasarkan data Digital Fault Recorder (DFR) Relay Distance) untuk menentukan karakteristik gangguan serta lokasi titik gangguan sehingga diharapkan dapat mempercepat penanganan gangguan. Analisis karakteristik gangguan berdasarkan rekaman DFR relay distance menggunakan metode fault signature serta menentukan titik lokasi gangguan dengan data rekaman tersebut dan dibandingkan dengan hasil rekaman pada peralatan Travelling Wave System (TWS) agar dapat memberikan data yang akurat. Hasil dari penelitian ini dapat mengidentifikasi jenis gangguan, fase yang terlibat, dan lokasi gangguan secara lebih akurat.

Kata kunci: Analisis gangguan, DFR, Travelling Wave System, dan *fault signature*.

LATAR BELAKANG

Listrik merupakan kebutuhan utama sehingga pemerintah melalui PT PLN (Persero) menjaga kualitas penyaluran energi melalui saluran transmisi (SUTT/SKTT). Untuk meningkatkan keandalan, Indonesia menerapkan sistem interkoneksi, namun gangguan transmisi dapat berdampak besar sebagaimana peristiwa blackout Jawa 4 Agustus 2019 akibat gangguan saluran 500 kV Ungaran–Pemalang dan Tasikmalaya–Bandung Selatan. Hal ini menegaskan pentingnya deteksi dan pelacakan gangguan yang cepat dan akurat sangat krusial untuk mencegah penyebaran gangguan, meminimalisir risiko pemadaman besar, dan mempercepat pemulihan pasca gangguan.

Keandalan sistem dipertahankan melalui sistem proteksi yang tepat, selektif, dan dilengkapi perangkat monitoring real-time. Proteksi utama pada penghantar umumnya menggunakan *distance relay* berbasis impedansi. Data hasil rekaman relai tersebut dapat digunakan untuk menganalisis penyebab dan akibat gangguan yang terjadi untuk mempercepat proses pemulihan gangguan. Akan tetapi, pendekatan berbasis impedansi memiliki keterbatasan dalam hal akurasi penentuan lokasi gangguan, terutama pada saluran panjang dan kondisi sistem tidak normal. Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, teknologi *Travelling Wave System* (TWS) mulai banyak diimplementasikan. Pada Bay penghantar Sunyaragi-Arjawinangun dan Sunyaragi-Kuningan data yang akan digunakan diperoleh melalui studi literatur dan pengumpulan data yaitu data rekaman gangguan DFR dari *distance relay*. Berdasarkan analisis DFR dapat disimpulkan penyebab-penyebab gangguan dan penentuan lokasi (*fault locator*) gangguan pada jaringan transmisi berbasis impedansi dan membandingkan dengan penentuan lokasi berbasis *travelling wave system*.

KAJIAN TEORITIS

A. Sistem Transmisi

Transmisi tenaga listrik merupakan proses penyaluran energi dari pembangkit (power plant) ke sistem distribusi melalui konduktor, baik berupa saluran udara (SUTT/SUTET) maupun kabel tanah (SKTT). Peningkatan kebutuhan energi mendorong pembangunan pembangkit berkapasitas besar yang umumnya berlokasi jauh dari permukiman, sehingga diperlukan sistem transmisi tegangan tinggi yang andal untuk menjamin efisiensi dan kontinuitas pasokan.

Keandalan sistem transmisi sangat ditentukan oleh sistem proteksi, yang berfungsi mendeteksi gangguan serta mengisolasi bagian yang abnormal (SPLN T5.002-1:2010). Sistem proteksi harus memenuhi kriteria sensitif, selektif, handal, dan cepat agar mampu bekerja efektif.

B. Distance Relay (Relai Jarak)

Relai *Distance* adalah relai penghantar yang prinsip kerjanya berdasarkan pengukuran impedansi penghantar. Impedansi penghantar yang dirasakan oleh relai adalah hasil bagi tegangan dengan arus dari sebuah sirkit. Relai ini mempunyai keterbatasan sensitivitas untuk gangguan satu fasa ke tanah (*high resistance*). Relai *distance* sebagai proteksi utama mempunyai fungsi lain yaitu sebagai proteksi cadangan jauh (remote backup) untuk penghantar di depan maupun belakangnya (*Zone-2, Zone-3, Zone-3 reverse*). Relai ini biasanya dilengkapi dengan elemen power swing blocking untuk mencegah malakerja relai akibat ayunan daya (PT PLN (Persero), 2013).

Relai jarak mengukur tegangan pada titik relai dan arus gangguan yang terlihat dari relai, dengan membagi besaran tegangan dan arus, maka impedansi sampai titik terjadinya gangguan dapat ditentukan. Perhitungan impedansi dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Z_f = \frac{V_f}{I_f} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana,

Z_f : Impedansi gangguan (ohm)

V_f : Tegangan gangguan (Volt)

I_f : Arus gangguan (Amp)

Relai jarak akan bekerja dengan cara membandingkan impedansi gangguan yang terukur dengan impedansi seting, dengan ketentuan:

- a. Bila nilai impedansi gangguan lebih kecil dari pada impedansi *setting* relai maka relai akan *trip*.
- b. Bila nilai impedansi gangguan lebih besar dari pada impedansi *setting* relai maka relai tidak *trip*.

C. Jenis Gangguan

Gangguan sistem tenaga listrik diklasifikasikan berdasarkan penyebab, durasi, dan kategori simetris. Berdasarkan penyebab, gangguan dapat berupa sistem (aktif: kerusakan peralatan, isolasi; pasif: power swing, over voltage, overload) atau non-sistem (pohon, binatang, petir, cuaca). Berdasarkan durasi, gangguan terbagi menjadi temporer yang hilang sendiri/ autorecloser dan permanen yang memerlukan penanganan. Berdasarkan simetris, gangguan dibedakan menjadi asimetris (hubung singkat 1 fasa ke tanah, 2 fasa, 2 fasa ke tanah) dan simetris (hubung singkat 3 fasa atau 3 fasa ke tanah).

D. Jenis Fault Locator

Fault locator adalah peralatan perekam yang mengolah data arus dan tegangan untuk memperkirakan lokasi gangguan. Secara umum terdapat dua jenis, yaitu berbasis impedansi, yang menentukan lokasi gangguan melalui analisis arus-tegangan dengan teori relai jarak, dan berbasis *travelling wave system* (TWS), yang menggunakan komponen frekuensi tinggi dari gelombang berjalan dengan sinkronisasi waktu untuk menentukan titik gangguan secara lebih akurat.

E. Fault Signature

Fault signature adalah cacat pada sinyal sinus sistem tenaga listrik yang menunjukkan ciri khas tiap jenis gangguan. Gangguan akibat petir ditandai tegangan yang terpotong di puncak gelombang dengan lonjakan arus besar, semua fasa terlihat cacat, serta arus bergeser dari titik nol terutama bila gangguan dekat dengan sumber. Pada gangguan pohon, tegangan hanya turun sedikit, arus meningkat perlahan secara linier, biasanya terdeteksi oleh fungsi DEF, dan arus netral mulai merasakan adanya gangguan bahkan sebelum fault penuh terjadi. Gangguan benda asing hanya memengaruhi fasa tertentu, biasanya saat cuaca normal tanpa sambaran petir, arus langsung besar dengan waktu pemutusan singkat sekitar 50 ms, serta umumnya bersifat temporer sehingga reclose berhasil. Gangguan konduktor putus sering muncul sebagai fasa ke tanah (konduktor bawah) atau fasa ke fasa (konduktor atas/tengah), dengan arus fasa yang putus mendekati nol sebelum fault, dan termasuk gangguan permanen karena reclose gagal dan relay trip akhir. Sedangkan gangguan isolator kotor biasanya didahului titik-titik kecil perubahan arus dan tegangan, menimbulkan ketidakseimbangan antara gelombang positif dan negatif, sangat dipengaruhi sensitivitas DFR, dan jika flash berlanjut maka akan berakhir dengan reclose gagal serta trip permanen.

F. Electrical Fault pada Sistem Tenaga Listrik

Pada saat terjadi gangguan yang direspon oleh relai *distance* adalah perbandingan antara impedansi gangguan dan impedansi penghantar. Impedansi urutan positif ataupun impedansi urutan nol digunakan untuk menghitung impedansi penghantar sebagai berikut [10]-[11]:

1. Impedansi Positif

$$Z_1 = \sqrt{R^2 + X^2} \quad (2.1)$$

2. Impedansi Urutan Nol

$$Z_0 = \sqrt{R^2 + X^2} \quad (2.2)$$

3. Faktor Kompensasi

$$K_N = \frac{Z_0 - Z_1}{3Z_1} \quad (2.3)$$

Selanjutnya untuk menghitung impedansi gangguan hubung singkat dapat menggunakan rumus berikut ini:

1. Impedansi hubung singkat fase-fase

$$Z_{MLN} = \frac{U_{LM} - U_{LN}}{I_{LM} - I_{LN}} \quad (2.4)$$

Dimana:

Z_{MLN} = Elemen pengukur Impedansi fase m dan n

U_{LM} = Tegangan terukur di fase m

U_{LN} = Tegangan terukur di fase n

I_{LM} = Arus terukur di fase m

I_{LN} = Arus terukur di fase n

2. Impedansi hubung singkat fasa-netral

$$Z_{MLN} = \frac{U_{LN}}{I_{LN} \times (1 + K_N)} \quad (2.5)$$

Dimana:

Z_{MLN} = Elemen pengukur Impedansi fase m dan n

U_{LN} = Tegangan terukur di fase n

I_{LN} = Arus terukur di fase n

K_N = Faktor Kompensasi pengembalian bumi

Selanjutnya untuk menentukan jarak titik gangguan pada gangguan fase-fase dan fase-netral dapat dilakukan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Jarak Gangguan} = \frac{Z_{Fault}}{Z_{line}} \quad (2.6)$$

Dimana:

Z_{Fault} = Impedansi gangguan

Z_{line} = Impedansi penghantar

Lalu untuk menentukan *error* pada jarak lokasi gangguan dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Error (\%)} = \frac{d - d_{exact}}{l} \times 100\% \quad (2.7)$$

Dimana:

d = Impedansi gangguan
 d_{exact} = Impedansi penghantar
 l = panjang saluran

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Gardu Induk Sunyaragi, Cirebon, pada Januari–Maret 2025 dengan tahapan studi literatur, pengumpulan data, pengolahan, analisis, hingga penarikan kesimpulan. Populasi penelitian berupa rekaman gangguan transmisi dari DFR distance relay, data lokasi gangguan dari Travelling Wave System (TWS), serta data pendukung lainnya, sedangkan sampel yang digunakan adalah masing-masing tiga data gangguan pada penghantar Sunyaragi-Arjawinangun dan Sunyaragi-Kuningan di GI Sunyaragi. Metode yang diterapkan adalah kuantitatif, karena analisis teknis dilakukan melalui perhitungan data kelistrikan yang bersifat terukur. Data yang dikumpulkan kemudian diolah untuk mengidentifikasi pola arus dan tegangan serta menentukan penyebab dan lokasi gangguan menggunakan metode impedansi, lalu hasilnya dibandingkan dengan metode TWS. Analisis ini bertujuan untuk menilai tingkat keandalan masing-masing metode. Selanjutnya, hasil evaluasi disesuaikan dengan tujuan penelitian dan standar IEEE Std C37.114, yang menegaskan bahwa metode travelling wave merupakan pendekatan paling akurat dalam penentuan lokasi gangguan pada jaringan transmisi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Berdasarkan pengumpulan data dari hasil download peralatan maupun tambahan data dari rekan-rekan ULTG Cirebon dan GI Sunyaragi yang telah dilakukan didapat beberapa data yang dapat dianalisis sebagai berikut:

1. Data Penghantar

Pada data penghantar ini didapatkan spesifikasi konduktor yang digunakan pada jaringan transmisi Sunyaragi-Arjawinangun yang ditunjukkan pada Tabel 1 dan Sunyaragi-Kuningan yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 1. Data Konduktor Jaringan Transmisi SUTT Sunyaragi- Arjawinangun

No	Item	Uraian
1.	Jenis konduktor	TACSR
2.	Resistansi positif (R1)	2,467 Ω
3.	Reaktansi positif (X1)	7,852 Ω
4.	Resistansi (R0)	5,511 Ω
5.	Reaktansi (X0)	21,575 Ω
6.	Panjang saluran	20,6 km
7.	Ukuran	240 mm

Tabel 2. Data Konduktor Jaringan Transmisi SUTT Sunyaragi-Kuningan

**ANALISIS GANGGUAN JARINGAN TRANSMISI BERDASARKAN DFR DISTANCE RELAY DAN
MENENTUKAN TITIK GANGGUAN MELALUI PERBANDINGAN ALAT PELACAK BERBASIS
TWS DI GARDU INDUK SUNYARAGI**

No	Item	Uraian
1	Jenis konduktor	TACSR
2	Resistansi positif (R1)	2,467 Ω
3	Reaktansi positif (X1)	7,852 Ω
4	Resistansi (R0)	5,511 Ω
5	Reaktansi (X0)	21,575 Ω
6	Panjang saluran	20,6 km
7	Ukuran	240 mm

2. Data Rekaman DFR dan TWS Distance Relay

Berdasarkan hasil download rekaman gangguan terakhir pada DFR *Relay Distance* dan TWS *Fault Locator* Bay Sunyaragi-Arjawinangun I-II didapat data seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3 dan Data Gangguan Jaringan Transmisi SUTT Sunyaragi-Kuningan ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 3. Data Gangguan Jaringan Transmisi SUTT Sunyaragi-Arjawinangun

No	DATA REKAMAN				
	Gangguan	Fase Terganggu	TWS (km)	I Fault (A)	V Fault (V)
1	Reclose (8 April 2023)	S-N	18,27	1059	14714
2	Reclose (17 November 2023)	R-N	17,02	2051	4427
3	Reclose (24 Desember 2024)	R-S-N	3,46	R: 3500 S: 3100	R: 24000 S: 14000

Tabel 4. Data Gangguan Jaringan Transmisi SUTT Sunyaragi-Kuningan

No	DATA REKAMAN				
	Gangguan	Fase Terganggu	TWS (km)	I Fault (A)	V Fault (V)
1	Reclose (5 Desember 2023)	R-N	Belum terpasang	1078	4079
2	Reclose (8 April 2024)	R-N	Belum terpasang	871	9816
3	Reclose-Final Trip (22 Agustus 2024)	T-N	Belum terpasang	13900	297

Berdasarkan tabel 4 diatas dapat diketahui bahwa pada saat gangguan Bay Sunyaragi-Kuningan belum terpasang *fault locator* berbasis TWS. Berdasarkan

keterangan pengelola TWS pada Bay Kuningan I dan II baru terpasang pada tanggal 19 September 2024.

3. Perhitungan *Fault Location*

Berikut ini penjelasan untuk Sub-Sub judul.

a) Jaringan Transmisi SUTT Sunyaragi-Arjawinangun

Perhitungan impedansi penghantar berdasarkan data konduktor pada Jaringan Transmisi SUTT Sunyaragi-Arjawinangun.

A. Impedansi Positif

$$Z_1 = \sqrt{R^2 + X^2}$$

$$Z_1 = \sqrt{2,467^2 + 7,852^2}$$

$$Z_1 = \sqrt{67,74}$$

$$Z_1 = 8,23 \, \Omega$$

Impedansi per km

$$Z_1 = \frac{Z_1}{\text{panjang saluran}}$$

$$Z_1 = \frac{8,23 \, \Omega}{20,6 \, \text{km}}$$

$$Z_1 = 0,3999 \, \Omega/\text{km}$$

$$Z_{\text{line}} = Z_1$$

B. Impedansi Urutan Nol

$$Z_0 = \sqrt{R^2 + X^2}$$

$$Z_0 = \sqrt{5,511^2 + 21,575^2}$$

$$Z_0 = \sqrt{495,852}$$

$$Z_0 = 22,27 \, \Omega$$

Impedansi per km

$$Z_0 = \frac{Z_0}{\text{panjang saluran}}$$

$$Z_0 = \frac{22,27 \, \Omega}{20,6 \, \text{km}}$$

$$Z_0 = 1,0811 \, \Omega/\text{km}$$

C. Faktor Kompensasi

$$K_N = \frac{Z_0 - Z_1}{3Z_1}$$

$$K_N = \frac{1,0811 - 0,3999}{3(0,3999)}$$

$$K_N = \frac{0,6812}{1,1997}$$

$$K_N = 0,568$$

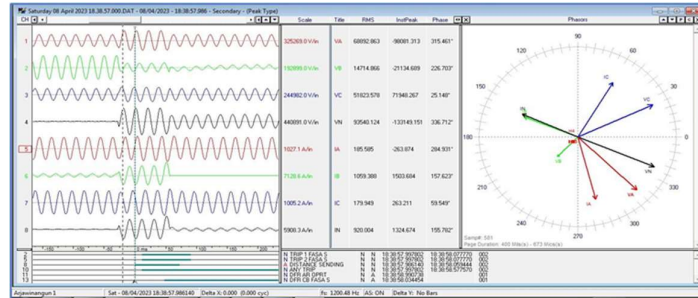
Perhitungan lokasi gangguan (*fault location*) berdasarkan data rekaman DFR pada *distance relay* Sunyaragi-Arjawinangun sebagai berikut:

A. Reclose Sunyaragi-Arjawinangun 1 (8 April 2023)

Diketahui :

**ANALISIS GANGGUAN JARINGAN TRANSMISI BERDASARKAN DFR DISTANCE RELAY DAN
MENENTUKAN TITIK GANGGUAN MELALUI PERBANDINGAN ALAT PELACAK BERBASIS
TWS DI GARDU INDUK SUNYARAGI**

- Gangguan R-N
- Tegangan : 14714 V
- Arus : 1059 A



Gambar 1. DFR Reclose Sunyaragi-Arjawinangun I (8 April 2023)



Gambar 2. TWS Reclose Sunyaragi-Arjawinangun I (8 April 2023)

Perhitungan impedansi gangguan fase-netral terganggu yaitu pada fase R (ZMLR)

$$14714$$

$$Z_{MLR} = 1059 \times (1 + 0,568)$$

$$Z_{MLR} = 8,8611 \, \Omega$$

$$\text{Jarak Gangguan} = \frac{Z_{Fault}}{Z_{line}}$$

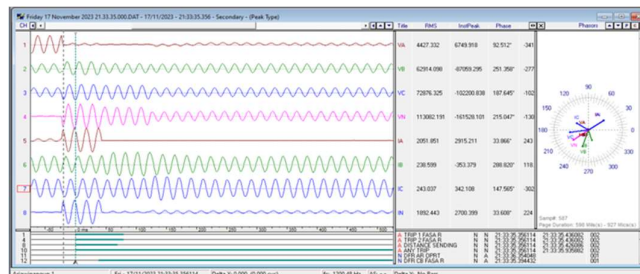
$$\text{Jarak Gangguan} = \frac{8,8611}{0,3999}$$

$$\text{Jarak Gangguan} = 22,158 \, \text{km}$$

B. Reclose Sunyaragi-Arjawinangun 1 (17 November 2023)

Diketahui :

- Gangguan R-N
- Tegangan : 4427 V
- Arus : 2051 A



Gambar 3. DFR Reclose Sunyaragi-Arjawinangun I (17 November 2023)

**ANALISIS GANGGUAN JARINGAN TRANSMISI BERDASARKAN DFR DISTANCE RELAY DAN
MENENTUKAN TITIK GANGGUAN MELALUI PERBANDINGAN ALAT PELACAK BERBASIS
TWS DI GARDU INDUK SUNYARAGI**



Gambar 4. TWS Reclose Sunyaragi-Arjawinangun I (17 November 2023)

Perhitungan impedansi gangguan fase-netral terganggu yaitu pada fase R (ZMLR)

$$Z_{MLR} = \frac{4427}{2051 \times (1 + 0,568)}$$

$$Z_{MLR} = 1,376 \, \Omega$$

$$\text{Jarak Gangguan} = \frac{Z_{Fault}}{Z_{line}}$$

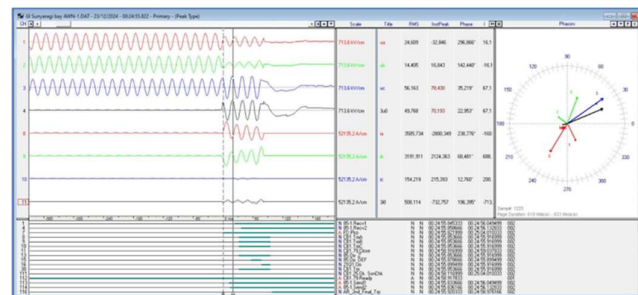
$$\text{Jarak Gangguan} = \frac{1,376}{0,3999}$$

$$\text{Jarak Gangguan} = 3,44 \, \text{km}$$

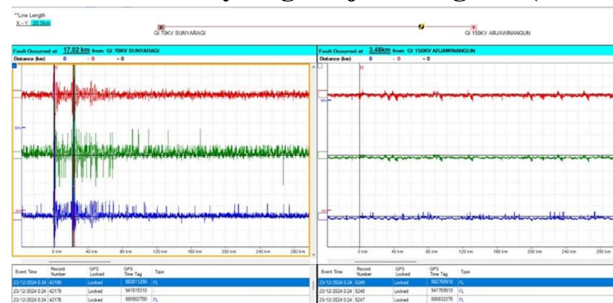
C. Reclose Sunyaragi-Arjawinangun 1 (23 Desember 2024)

Diketahui :

- Gangguan R-S-N
- Tegangan R : 24000 V
- Arus R: 3500 A
- Tegangan S : 14000 V
- Arus S: 3100 A



Gambar 5. DFR Reclose Sunyaragi-Arjawinangun I (23 Desember 2024)



Gambar 6. TWS Reclose Sunyaragi-Arjawinangun I (23 Desember 2024)

Perhitungan impedansi gangguan fase netral terganggu yaitu pada fase R dan S (ZMLRS)

$$Z_{MLR} = \frac{24000}{3500 \times (1 + 0,568)}$$

$$Z_{MLR} = 4,473 \, \Omega$$

$$Z_{MLS} = \frac{14000}{3100 \times (1 + 0,568)}$$

$$Z_{MLS} = 2,88 \, \Omega$$

$$Z_{MLRS} = Z_{MLR} + Z_{MLS}$$

$$Z_{MLRS} = 4,473 + 2,88 = 7,353 \, \Omega$$

$$\text{Jarak Gangguan} = \frac{Z_{Fault}}{Z_{line}}$$

$$\text{Jarak Gangguan} = \frac{7,353}{0,3999}$$

$$\text{Jarak Gangguan} = 18,43 \, \text{km}$$

b) Jaringan Transmisi SUTT Sunyaragi-Kuningan

Perhitungan impedansi penghantar berdasarkan data konduktor pada Jaringan Transmisi SUTT Sunyaragi-Kuningan.

A. Impedansi Positif

$$Z_1 = \sqrt{R^2 + X^2}$$

$$Z_1 = \sqrt{0,2175^2 + 0,3871^2}$$

$$Z_1 = \sqrt{0,1971}$$

$$Z_1 = 0,4439 \, \Omega/\text{km}$$

$$Z_{line} = Z_1$$

B. Impedansi Urutan Nol

$$Z_0 = \sqrt{R^2 + X^2}$$

$$Z_0 = \sqrt{0,3675^2 + 1,1613^2}$$

$$Z_0 = \sqrt{1,4837}$$

$$Z_0 = 1,2181 \, \Omega/\text{km}$$

C. Faktor Kompensasi

$$K_N = \frac{Z_0 - Z_1}{3Z_1}$$

$$K_N = \frac{1,2181 - 0,4439}{3(0,4439)}$$

$$K_N = \frac{0,7742}{1,3317}$$

$$K_N = 0,5814$$

Perhitungan lokasi gangguan (*fault location*) berdasarkan data rekaman DFR pada *distance relay* Sunyaragi-Arjawinangun sebagai berikut:

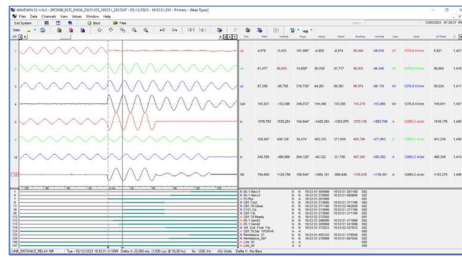
A. Reclose Sunyaragi-Kuningan 1 (5 Desember 2023)

Diketahui :

- Gangguan T-N

**ANALISIS GANGGUAN JARINGAN TRANSMISI BERDASARKAN DFR DISTANCE RELAY DAN
MENENTUKAN TITIK GANGGUAN MELALUI PERBANDINGAN ALAT PELACAK BERBASIS
TWS DI GARDU INDUK SUNYARAGI**

- Tegangan : 4079 V
- Arus : 1078 A



Gambar 7. DFR Sunyaragi-Kuningan I (5 Desember 2023)

Perhitungan impedansi gangguan fase-netral terganggu yaitu pada fase R (ZMLR)

$$Z_{MLR} = \frac{4079}{1078 \times (1 + 0,5814)}$$

$$Z_{MLR} = 2,393 \, \Omega$$

$$\text{Jarak Gangguan} = \frac{Z_{Fault}}{Z_{line}}$$

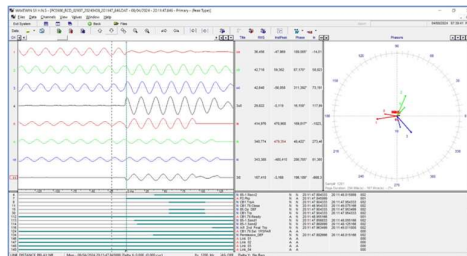
$$\text{Jarak Gangguan} = \frac{2,393}{0,4439}$$

$$\text{Jarak Gangguan} = 5,39 \, \text{km}$$

B. Reclose Sunyaragi-Kuningan 1 (8 April 2024)

Diketahui :

- Gangguan R-N
- Tegangan R : 9816 V
- Arus R: 871 A



Gambar 8. DFR Sunyaragi-Kuningan I (8 April 2024)

Perhitungan impedansi gangguan fase netral terganggu yaitu pada fase R (ZMLR)

$$Z_{MLR} = \frac{9816}{871 \times (1 + 0,5814)}$$

$$Z_{MLR} = 7,1265 \, \Omega$$

$$\text{Jarak Gangguan} = \frac{Z_{Fault}}{Z_{line}}$$

$$\text{Jarak Gangguan} = \frac{7,1265}{0,4439}$$

$$\text{Jarak Gangguan} = 16,05 \, \text{km}$$

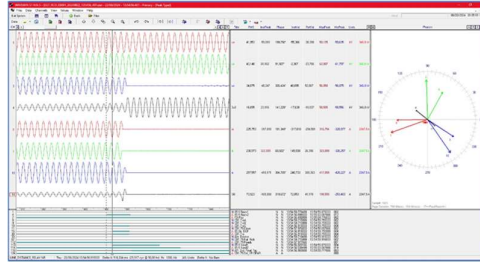
$$\text{Jarak Gangguan} = 16,05 \, \text{km}$$

C. Reclose Sunyaragi-Kuningan 1 (22 Agustus 2024)

Diketahui :

**ANALISIS GANGGUAN JARINGAN TRANSMISI BERDASARKAN DFR DISTANCE RELAY DAN
MENENTUKAN TITIK GANGGUAN MELALUI PERBANDINGAN ALAT PELACAK BERBASIS
TWS DI GARDU INDUK SUNYARAGI**

- Gangguan T-N
- Tegangan : 13900 V
- Arus : 297 A



Gambar 9. DFR Sunyaragi-Kuningan I (22 Agustus 2024)

Perhitungan Impedansi Gangguan terukur fase-netral terganggu yaitu pada fase T (Z_{MLT})

$$Z_{MLT} = \frac{13900}{297 \times (1 + 0,5814)}$$

$$Z_{MLT} = 29,595 \, \Omega$$

$$\text{Jarak Gangguan} = \frac{Z_{Fault}}{Z_{line}}$$

$$\text{Jarak Gangguan} = \frac{29,595}{0,4439}$$

$$\text{Jarak Gangguan} = 66,67 \, \text{km (Out of Range)}$$

Pembahasan

Berdasarkan data-data rekaman gangguan yang telah didapat maka dapat diproses untuk dilakukan analisis sehingga dapat menentukan informasi berkaitan gangguan seperti lokasi serta penyebab gangguan. Proses meliputi perhitungan *fault location*, analisis data rekaman gangguan, dan perbandingan *fault location*.

1. Analisis Data Gangguan

Tabel 5. Hasil Analisis Gangguan Jaringan Transmisi

No	Tanggal	Gangguan dan Penghantar	Lokasi Gangguan DFR (km)	Fault Signature	Analisis
1	8 April 2023	Reclose Sunyaragi-Arjawinangun I	22,158	Petir	• Tegangan pada ketiga fase mengalami cacat gelombang dan terjadi drop tegangan pada fase S. • Adanya kenaikan arus dari 187 A ke 1059 A pada phasa S. • Temuan lapangan arcing horn welded pada T.74
2	17 November 2023	Reclose Sunyaragi-Arjawinangun I	3,44	Petir	• Tegangan pada ketiga phasa mengalami cacat gelombang dan terjadi drop tegangan pada phasa R.

**ANALISIS GANGGUAN JARINGAN TRANSMISI BERDASARKAN DFR DISTANCE RELAY DAN
MENENTUKAN TITIK GANGGUAN MELALUI PERBANDINGAN ALAT PELACAK BERBASIS
TWS DI GARDU INDUK SUNYARAGI**

					- Adanya kenaikan arus dari 242 A ke 2051 A pada phasa R dan kenaikan arus. - Temuan lapangan flashover di isolator dan arching horn welded di T. 16
3	23 Desember 2024	Reclose Sunyaragi-Arjawinangun I	18,43	Petir	- Tegangan pada ketiga phasa mengalami cacat gelombang dan terjadi drop tegangan pada phasa R dan S. - Adanya kenaikan arus dari 98,9 A ke 3500 A pada phasa R dan kenaikan arus dari 100,9 A ke 3100 A pada phasa S. - Temuan lapangan arching horn welded di T.75
4	5 Desember 2023	Reclose Sunyaragi-Kuningan I	5,39	Petir	- Tegangan pada ketiga phasa mengalami cacat gelombang dan terjadi drop tegangan pada phasa R. - Adanya kenaikan arus dari 340 A ke 1078 A pada phasa R. - Temuan lapangan flashover isolator di T.12b.
5	8 April 2024	Reclose Sunyaragi-Kuningan I	16,05	Petir	- Tegangan pada ketiga phasa mengalami cacat gelombang dan terjadi drop tegangan pada phasa R. - Adanya kenaikan arus dari 340 A ke 414 A pada phasa R. - Temuan lapangan flashover isolator dan isolator welded di T.50,51,52.
6	22 Agustus 2024	Reclose Final Trip Sunyaragi-Kuningan I	66,67	Pohon	- Tegangan pada phasa yang terganggu (phasa T) tidak terlalu drop. - Kenaikan arus phasa T tidak terlalu tinggi dari 230 A menjadi 297 A

**ANALISIS GANGGUAN JARINGAN TRANSMISI BERDASARKAN DFR DISTANCE RELAY DAN
MENENTUKAN TITIK GANGGUAN MELALUI PERBANDINGAN ALAT PELACAK BERBASIS
TWS DI GARDU INDUK SUNYARAGI**

					• Adanya indicator fungsi DEF • Temuan lapangan aktivitas warga penebangan pohon di span 76-77
--	--	--	--	--	---

Berdasarkan Tabel 5 dapat diketahui bahwa hasil analisis rekaman gangguan dengan metode *fault signature* mengidentifikasi 5 gangguan akibat petir dan 1 gangguan akibat pohon. Secara umum, gangguan yang disebabkan oleh petir terjadi jika lonjakan tegangan melebihi tegangan tembus kritis isolator, maka akan terjadi loncatan listrik (*flashover*), yang menghasilkan gangguan hubung singkat hingga menyebabkan kerusakan berupa pengelasan (*welded*) pada komponen arching horn atau pun kerusakan pada isolator berupa bercak putih jika bahan isolator terbuat dari keramik (*Fault Location on Transmission and Distribution Lines: Principles and Applications*, IEEE, 2022). Dengan demikian, hasil analisis gangguan pada jaringan transmisi menggunakan metode *fault signature* menunjukkan kesesuaian dengan data hasil temuan di lapangan, sehingga membuktikan keandalan metode tersebut dalam mengidentifikasi dan mengklasifikasikan jenis penyebab gangguan secara akurat.

2. Perbandingan *Fault Location* DFR, TWS, dan Temuan Lapangan

Pada Tabel 6. berikut ini ditunjukkan perbedaan hasil penunjukkan lokasi gangguan (*fault location*) berdasarkan perhitungan DFR, TWS, dan temuan di Lapangan.

Tabel 6. Perbandingan Hasil *Fault Location*

No	Tanggal	Gangguan dan Penghantar	Lokasi Gangguan (km)		
			DFR	TWS	Temuan Lapangan
1	8 April 2023	Reclose Sunyaragi-Arjawinangun I	22,158 (T.81-T.84)	18,27 (T.73-T.76)	Arcing horn welded pada T.74 (18,097 km)
2	17 November 2023	Reclose Sunyaragi-Arjawinangun I	3,44 (T.11-T.14)	3,46 (T.11-T.14)	Flashover di isolator dan arching horn welded di T. 16 (4,348 km)
3	23 Desember 2024	Reclose Sunyaragi-Arjawinangun I	18,43	17,02	Arching horn welded di T.75 (18,273 km)
4	5 Desember 2023	Reclose Sunyaragi-Kuningan I	5,39 (T.19-T.22)	Belum terpasang	Flashover isolator di T.12b (3,114 km)
5	8 April 2024	Reclose Sunyaragi-Kuningan I	16,05 (T.54-T.58)	Belum terpasang	Flashover isolator dan isolator welded di T.50,51,52. (T.52 = 15.130 km)
6	22 Agustus 2024	Reclose Final Trip Sunyaragi-Kuningan I	66,67 (<i>Out of range</i>)	Belum terpasang	Aktivitas warga penebangan pohon di span 76-77 (22,084 km)

Pada Tabel 6 ditunjukkan bahwa metode penentuan lokasi berbasis *Traveling Wave System* (TWS) menunjukkan tingkat akurasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode *fault locator* berbasis impedansi. Hal ini sesuai dengan penelitian. Ditunjukkan pula bahwa pada kasus gangguan Sunyaragi-Kuningan I tanggal 22 Agustus 2024 merupakan gangguan resistansi tinggi, yang disebabkan oleh pohon, metode *fault locator* berbasis impedansi mengalami deviasi estimasi yang signifikan, akibat ketidakmampuannya mengidentifikasi perubahan impedansi secara akurat pada kondisi tersebut. Namun, pada bay yang mengalami gangguan tersebut belum terpasang sistem TWS, sehingga akurasi penunjukan lokasi gangguan tidak dapat dimaksimalkan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian menunjukkan bahwa sebagian besar gangguan transmisi disebabkan oleh petir, dengan indikasi *flashover* isolator atau *arching horn welded*, serta satu kasus akibat pohon yang menempel pada konduktor. Hasil perbandingan metode *fault locator* menunjukkan bahwa Travelling Wave System (TWS) lebih akurat dibanding metode impedansi (DFR), karena mampu mendeteksi gelombang transien secara langsung dan tidak terpengaruh variasi beban maupun parameter sistem. Namun, pada kasus gangguan resistansi tinggi seperti tree fault, metode impedansi memiliki keterbatasan, sementara TWS belum terpasang pada semua bay sehingga analisis belum maksimal. Untuk meningkatkan akurasi penentuan lokasi gangguan, disarankan penggabungan metode TWS dan impedansi serta penerapan TWS secara bertahap pada bay strategis, khususnya jaringan dengan risiko gangguan resistansi tinggi, sesuai standar IEEE Std C37.114.

DAFTAR REFERENSI

- [1] N. Tenda, L. S. Patras, dan H. Tumaliang, "*Penyusutan daya listrik pada penyulang jaringan transmisi Isimu–Marisa*," E-Journal Teknik Elektro dan Komputer, vol. 5, no. 1, pp. 75–83, Jan.–Mar. 2016.
- [2] M. Hendartyo, "*Ini Kronologis Listrik Padam di Jakarta, Banten, dan Jawa Barat*," *Tempo.co*, 5 Agustus 2019. [Online]. Tersedia: <https://www.tempo.co/ekonomi/ini-kronologis-listrik-padam-di-jakarta-banten-dan-jawa-barat-720738>.
- [3] W. D. Stevenson, Jr., *Analisis Sistem Tenaga Listrik*, ed. 4. Jakarta: PT. Erlangga, 1984.
- [4] PT PLN (Persero), *Buku Pedoman dan Petunjuk Sistem Proteksi Transmisi dan Gardu Induk Jawa Bali*, Jakarta : PT PLN (Persero), 2013.
- [5] Handayani M, J.P MJ. *Analisa Gangguan Penghantar Berdasarkan Data Rekaman Relai Distance dan Rekaman DFR Bay Penghantar KSRAN-SMKEI 1 di PT PLN (Persero) Unit Layanan Transmisi dan Gardu Induk Kisaran*. 2022;7776.
- [6] Arlenny, Abrar Tanjung, Muhd. Fathur Dharna Alqadri, "*Analisis Gangguan Jaringan Transmisi 150 kV menggunakan Disturbance Fault Recorder Alat Pelacak Berbasis Travelling Wave System Pada ULTG Duri*" *SainETIn*. Vol. 8 No. 1, Desember 2023, pp. 13 – 20.
- [7] PT PLN (Persero), *Buku Pedoman Pemeliharaan Saluran Udara Tegangan Tinggi dan Ekstra Tinggi (SUTT/SUTET)*, Jakarta : PT PLN (Persero), 2014.

- [8] S. Das, S. Santoso, and S. N. Ananthan, “*Fault Location on Transmission and Distribution Lines: Principles and Applications*” IEEE, 2022.
- [9] Sazali P. Abdul Karim, “*Protection System Analysis for Transmission Overhead Line Using Fault Signatures*”, PhD Thesis, Universiti Teknologi Malaysia, Desember 2008.
- [10] S. Fidel Rios, “*SETTING OF RELE,*” 2005.
- [11] Amira and A. Effendi, “*Studi Analisa Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa Ke Tanah Pada SUTT 150 KV Untuk Setting Relay OCR (Aplikasi GI PIP – Pauh Limo)*”, *J. Tek. Elektro ITP*, vol. 3 No. 2, pp. 95–104, 2014.
- [12] IEEE Power Engineering Society, *IEEE Guide for Determining Fault Location on AC Transmission and Distribution Lines*, IEEE Std C37.114-2014, Maret 2015.