

## HUBUNG SINGKAT ANTAR FASA TERHADAP KINERJA RELAI JARAK TRANSMISI GI KRAMATWATU 150 kV

Hartono<sup>1</sup>, Rehan Fauzan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

<sup>1</sup>hartono@untirta.ac.id, <sup>2</sup>fauzan7553@gmail.com\*

Corresponding Author: Rehan Fauzan

### ABSTRACT

*A distance relay is a protective device that safeguards and maintains the reliability of an electrical transmission system against various types of faults. A short circuit is a type of fault that occurs in the electrical transmission line connecting the Kramatwatu Substation to the Cilegon Baru Substation. This study aims to analyze the performance of distance relays under normal conditions and during between phase short-circuit fault using the ETAP simulation method. The data used includes fault data records, distance relay setting data, and electrical network impedance data. The simulation results show that the Kramat distance relay operates at 10 ms and the PMT trips at 50 ms when an interphase fault occurs. These results are considered valid because, based on calculations, the fault impedance falls within Zone 1 of the distance relay ( $Z_{\text{fault}} < ZZ1$ ), so the relay should indeed operate instantaneously. The 10 ms difference from the theoretical setting of 0 s is still acceptable as the internal processing time of the digital relay, while the additional 40 ms represents the PMT's operating time. Thus, this study can be useful for providing recommendations for more adaptive distance relay settings that are capable of maintaining the stability and reliability of the power transmission system in overcoming all existing faults based on SPLN T5.002 2021.*

**Keywords:** Power Grid System, Distance Relay, Short Circuit between phase, ETAP Simulation.

### ABSTRAK

Relai Jarak merupakan alat proteksi yang berfungsi sebagai pelindung dan menjaga keandalan pada sistem transmisi listrik dari bermacam jenis gangguan. Hubung singkat adalah jenis gangguan yang ada pada transmisi listrik menghubungkan antar Gardu Induk Kramatwatu dengan Gardu Induk Cilegon Baru. Penelitian ini dilakukan bertujuan untuk menganalisis kinerja relai jarak saat keadaan normal dan saat gangguan hubung singkat antar fasa yang terjadi dengan metode simulasi ETAP. Data yang digunakan meliputi rekaman data gangguan, data setelan relai jarak dan data impedansi jaringan listrik. Berdasarkan hasil simulasi menunjukkan bahwa relai jarak Kramat bekerja pada 10 ms dan PMT trip pada 50 ms saat terjadi gangguan antar fasa. Hasil ini dinyatakan valid karena secara perhitungan impedansi gangguan berada di dalam Zona 1 relai jarak ( $Z_{\text{fault}} < ZZ1$ ) sehingga relai memang seharusnya bekerja instan. Selisih 10 ms dari setting teoritis 0 s masih dapat diterima sebagai waktu proses internal relai digital, sedangkan tambahan 40 ms merupakan waktu operasi PMT. Dengan demikian penelitian ini dapat bermanfaat untuk memberikan rekomendasi setelan relai jarak yang lebih adaptif serta mampu menjaga stabilitas dan keandalan sistem transmisi tenaga listrik dalam mengatasi semua gangguan yang ada berdasarkan SPLN T5.002 2021.

**Kata Kunci:** Sistem Jaringan Listrik, Relai Jarak, Hubung Singkat antar fasa, Simulasi ETAP.

### 1. Pendahuluan

Hubung singkat adalah gangguan yang ada pada saluran listrik yang mana keadaan pada sirkuit listrik terjadi alur resistansi yang terlalu rendah secara di luar kendali, seperti antar kabel yang saling bersentuhan yang ter-aliri arus listrik sehingga terjadinya lonjakan arus dan panas percikan api [1]. Berbagai macam jenis hubung singkat, seperti hubung singkat dan gangguan tanah, yang dapat mengakibatkan kerusakan pada peralatan dan pemadaman



Lisensi

Lisensi Internasional Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0.

listrik. Untuk menangani masalah ini, diperlukan sistem proteksi yang dapat mendeteksi dan mengisolasi bagian jaringan yang terganggu secara cepat dan tepat, salah satunya adalah relai proteksi jarak [2].

Hubung singkat antar fasa salah satu gangguan pada transmisi listrik yang terjadi karena terbentuknya jalur konduktif antar fasa ini disebabkan oleh faktor internal (peralatan konduktor) maupun eksternal (cuaca/suhu) contoh kasus hubung singkat antar fasa terjadi pada tahun 2020 di PLTU Bolok Kupang hal ini mengakibatkan fasor tiga fasa menjadi tidak seimbang sehingga gangguan yang menjadi kontribusi arus gangguan terbesar yaitu pada generator I sebesar 10.615 kA dan perubahan beban yang beroperasi saat simulasi arus gangguan hubung singkat pada bus Gen I menyebabkan nilai  $Z_1$  dan  $Z_2$  berubah sedangkan untuk nilai  $Z_0$  tidak berpengaruh terhadap jumlah beban yang beroperasi. Dimana saat semua beban beroperasi nilai impedansi  $Z_1 = 0.03695 + j0.38654$  ohm, dan  $Z_2 = 0.03378 + j0.33411$  ohm, serta  $Z_0 = 2.12797 + j0.19580$  ohm [3]. Relai jarak diatur dalam beberapa zona proteksi, yang dirancang untuk meminimalkan dampak gangguan pada sistem dengan mengisolasi bagian yang terganggu tanpa memengaruhi area lain yang tidak terganggu[4],[5]. Namun, terdapat sejumlah tantangan dalam penerapan relai proteksi jarak, terutama dalam hal variasi impedansi saluran dan beban sistem. Kondisi ini sering kali membuat relai proteksi tidak berfungsi optimal, baik karena terlalu cepat atau terlambat beroperasi [6],[7].

Penelitian menunjukkan bahwa pengaturan yang tidak tepat pada relai proteksi jarak, terutama dalam hal zona proteksi dan waktu tunda, dapat menyebabkan kegagalan dalam mendeteksi dan mengisolasi gangguan dengan cepat [8]. Kesalahan dalam penentuan parameter ini berpotensi menyebabkan relai gagal mengisolasi gangguan, atau justru memutus bagian jaringan yang tidak terganggu [9]. Kondisi ini dapat mengakibatkan gangguan yang lebih luas atau bahkan kerusakan peralatan [10]. Sistem proteksi yang handal sangat diperlukan untuk menunjang penyaluran tenaga listrik[11], [12]. Tanpa pengaturan yang tepat, hal ini dapat mengakibatkan gangguan yang lebih sulit diidentifikasi oleh relai [13]. Oleh karena itu, analisis kinerja relai proteksi jarak menjadi sangat penting untuk menjaga keandalan dan stabilitas sistem tenaga listrik. Studi lebih lanjut diperlukan untuk mengidentifikasi parameter optimal yang dapat meningkatkan respons proteksi dalam berbagai kondisi operasi, termasuk dalam integrasi sumber energi terbarukan [14], [15]. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh gangguan eksternal seperti benang layangan yang tersangkut terhadap kinerja relai proteksi jarak dan memberikan rekomendasi pengaturan optimal guna meningkatkan keandalan sistem tenaga listrik.

## 2. Tinjauan Pustaka

Berikut merupakan tinjauan pustaka berisikan rangkuman studi literasi penelitian-penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan topik penelitian.

Pada penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan teknik baru yang dapat secara akurat mengawasi relai jarak selama kondisi power swing. Teknik yang diusulkan mengandalkan pengukuran synchrophasor untuk membangun diagram locus dari perbedaan arus dan tegangan antara dua ujung saluran yang dilindungi. Dengan menggunakan data ini, teknik ini dapat secara real-time membedakan antara gangguan nyata dan kondisi power swing,



sehingga meningkatkan kinerja relai jarak dan mengurangi risiko pemadaman listrik yang tidak perlu [23].

Pada penelitian sebelumnya bertujuan untuk melakukan analisis dan penentuan koordinasi proteksi relé jarak dan arus lebih pada transmisi 150 kV di PLTP Darajat. Dengan menggunakan perangkat lunak ETAP 16.0 dan Mathcad 15, penelitian ini akan mengevaluasi pengaturan relai yang ada, melakukan perhitungan ulang, serta merekomendasikan penambahan relai jarak dan diferensial arus yang sesuai dengan standar acuan[11].

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan arus hubung singkat yang dihitung secara manual dengan simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP 12.60 di Gardu Induk Gandul. Metode yang digunakan adalah deskriptif kualitatif dengan pengumpulan data real-time dari sistem SCADA dan pemeliharaan harian. Analisis dilakukan dengan menghitung arus hubung singkat menggunakan perhitungan manual dan simulasi ETAP[24].

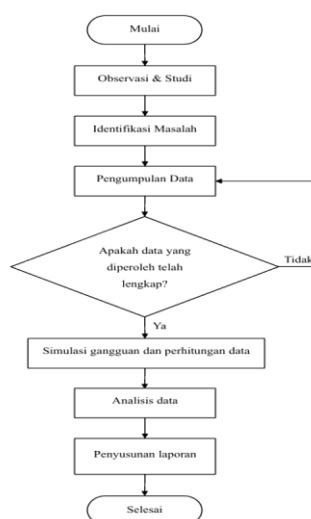
Penelitian ini menganalisis penyebab kegagalan relai dan menghitung pengaturan yang tepat menggunakan software Digsilent 14.1. Analisis dilakukan dengan simulasi pengaturan relai menggunakan parameter dari APP Surabaya. Hasil simulasi dibandingkan dengan pengaturan relai PLN dan pengaturan perhitungan berdasarkan zona kerja menggunakan kurva MHO[25].

Penelitian ini menentukan nilai impedansi jangkauan (reach) dan koordinasi waktu pada setiap zona sangat menentukan efektivitas relai jarak dalam menjaga kestabilan sistem tenaga listrik saat terjadi gangguan hubung singkat[26].

### 3. Metodologi Penelitian

#### 3.1. Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian memiliki alur secara berurutan supaya memudahkan dalam pelaksanaannya. Dimulai dari melakukan observasi dan studi, melakukan identifikasi masalah, pengumpulan data dengan pemeriksaan apakah data yang dibutuhkan telah lengkap jika belum mengulangi pengumpulan data Kembali dan jika sudah dilanjutkan dengan simulasi dan perhitungan dari data yang diperoleh, melakukan analisis data dan diakhiri dengan melakukan penyusunan laporan. Berikut merupakan diagram alir pada penelitian ini:



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

### 3.2. Metode Penelitian

Berikut merupakan metode penelitian yang dilakukan pada penelitian ini,

1. Studi lapangan/ Observasi. Pada bagian ini melakukan observasi dengan cara terjun langsung ke lapangan dan mengamati serta mempelajari bidang yang akan dijadikan judul pada penelitian ini.
2. Studi literatur dan analisis data. Pada bagian ini mempelajari dan membaca buku referensi maupun buku panduan manual serta melakukan riset jurnal-jurnal terkait proteksi relai jarak serta melakukan analisis data yang diperoleh pada saat observasi.
3. Wawancara dengan ahli dan teknisi. Pada bagian ini melakukan wawancara kepada ahli dan teknisi yang ada di Gardu Induk Kramatwatu 150kV serta bimbingan dan konsultasi dengan pembimbing lapangan untuk mendapatkan informasi dan data. Judul harus jelas, lugas, singkat dan informatif yang merepresentasikan isi kandungan artikel, maksimal 12 kata, ukuran huruf 14pt, tidak cetak tebal dan hanya huruf awal kata saja yang dicetak kapital.

### 3.3. Setting Relai Jarak

Tabel 1. Setting Relai Jarak

|      |                  |             |      |                   |             |
|------|------------------|-------------|------|-------------------|-------------|
| 3201 | PHASE DISTANCE   |             | 3259 | R1 Gnd. Resistive | 32.74 Ohm   |
| 3202 | Z1 Ph. Reach     | 5.576 Ohm   | 325B | Z1 Sensit Ignd>1  | 50.00 mA    |
| 3203 | Z1 Ph. Angle     | 83.419 deg  | 3260 | Z2 Gnd. Reach     | 8.364 Ohm   |
| 3209 | Z1Sensit. lph>1  | 50.00 mA    | 3261 | Z2 Gnd. Angle     | 83.419 deg  |
| 3210 | Z2 Ph. Reach     | 8.364 Ohm   | 3263 | Z2 Dynamic Tilt   | Disabled    |
| 3211 | Z2 Ph. Angle     | 83.419 deg  | 3265 | kZN2 Res. Comp    | 0.693       |
| 3217 | Z2 Sensit. lph>2 | 50.00 mA    | 3266 | kZN2 Res. Angle   | -10.595 deg |
| 3220 | Z3 Ph. Reach     | 39.816 Ohm  | 3269 | R2 Gnd. Resistive | 40.92 Ohm   |
| 3221 | Z3 Ph. Angle     | 83.419 deg  | 326B | Z2 Sensit Ignd>2  | 50.00 mA    |
| 3228 | Z3 Sensit. lph>3 | 50.00 mA    | 3270 | Z3 Gnd. Reach     | 39.816 Ohm  |
| 3250 | GROUND DISTANCE  |             | 3271 | Z3 Gnd. Angle     | 83.419 deg  |
| 3251 | Z1 Gnd. Reach    | 5.576 Ohm   | 3273 | Z3 Dynamic Tilt   | Disabled    |
| 3252 | Z1 Gnd. Angle    | 83.419 deg  | 3275 | kZN3 Res. Comp    | 0.693       |
| 3253 | Z1 Dynamic Tilt  | Disabled    | 3276 | kZN3 Res. Angle   | -10.595 deg |
| 3255 | kZN1 Res. Comp   | 0.693       | 3279 | R3 Gnd. Res. Fwd. | 51.15 Ohm   |
| 3256 | kZN1 Res. Angle  | -10.595 deg | 327C | Z3 Sensit. Ignd>3 | 50.00 mA    |

Berdasarkan pada Tabel 1. relai jarak pada Gardu Induk Kramatwatu dengan sudut fasa yang masing-masing sama besar antar fasa lainnya akan tetapi beda dengan tiap jangkauan fasa nya dan begitu juga halnya dengan fasa ke tanahnya. Pada catatan setelan terdapat hasil scanning terhadap koordinasi *setting* relai *distance* yang menghubungkan waktu terhadap impedansi. Untuk *setting* fasa jarak sesuai dengan standar yang berlaku yaitu standar SPLN T5.002 2021 (revisi).

## 4. Hasil dan Pembahasan

Secara perhitungan manual, untuk menentukan jarak yaitu dengan menghitung persentase panjang impedansi dengan cara membandingkan masing-masing *reach* terhadap total impedansi saluran Z setelah mendapatkan persentase kemudian dikalikan dengan panjang dari Line 1 sebesar 10.968 sehingga didapatkan hasilnya sebagai Tabel 2. berikut:

Tabel 2. Perhitungan menentukan jarak jangkauan

| Parameter | Perhitungan Manual (Estimasi) | Data Tap <i>Setting</i> (Dokumen) | Status |
|-----------|-------------------------------|-----------------------------------|--------|
|-----------|-------------------------------|-----------------------------------|--------|



Lisensi

Lisensi Internasional Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0.

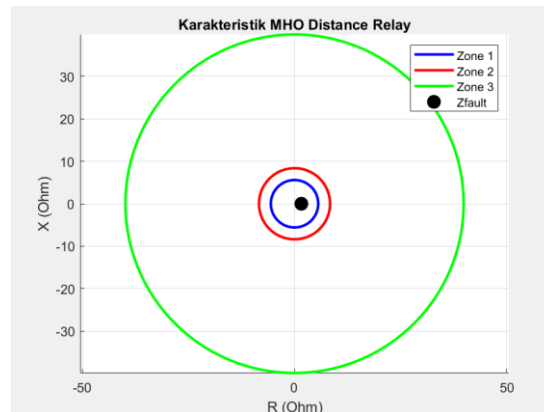
|                           |                         |                 |      |
|---------------------------|-------------------------|-----------------|------|
| Zone 1 <i>Reach</i> (Pri) | 5,576 $\Omega$ (80% L1) | 5,576 $\Omega$  | Sama |
| Zone 1 <i>Time</i>        | 0s                      | 0s              | Sama |
| Zone 2 <i>Reach</i> (Sec) | 8,36 $\Omega$           | 8,364 $\Omega$  | Sama |
| Zone 2 <i>Time</i>        | 0,4 - 0,8s              | 0,800s          | Sama |
| Zone 3 <i>Reach</i> (Sec) | 39,81 $\Omega$          | 39,816 $\Omega$ | Sama |
| Zone 3 <i>Time</i>        | 1,2 - 1,6s              | 1,200s          | Sama |

Berdasarkan Tabel 1. perhitungan manual diatas semua angka reach yang digunakan sama persis yang tercatat pada konfigurasi *setting* relai sehingga perhitungan diatas dapat mengonfirmasi nilai-nilai pada Tap *setting* yang digunakan pada Gardu Induk Kramatwatu. Dalam catatan hasil rekapan *setting* menyatakan  $Z1 = 5.576 \Omega$ ,  $Z2 = 8.364 \Omega$ ,  $Z3 = 39.816 \Omega$  dengan waktu respons  $Z1=0s$ ;  $Z2=0,8s$  dan  $Z3=1,2s$  sesuai dengan hasil perhitungan manual diatas dan persentase yang cocok dengan perhitungan persen diatas. Jadi tidak ada perbedaan yang mencolok antara perhitungan manual yang aku lakukan dan angka yang tertera pada tap *setting* yang diterapkan *setting* reach standar  $Z1 = 80\%$  dan  $Z2 = 120\%$ . Pada catatan *file* bahwa nilai *reach* dalam satuan ohm yang merupakan nilai yang digunakan relai yang direferensikan ke sekunder relai oleh perangkat setelan/*engineering tool*. Untuk menganalisis jarak kita bandingkan langsung dengan impedansi total saluran sebesar 6.97. Jika keduanya diberikan dicatat dalam basis yang sama, perhitungan manual diatas sudah valid.

Untuk memetakan impedansi relai sekunder ke impedansi primer fisik atau sebaliknya maka perlu menghitung rasio VT dan CT. Pada catatan dituliskan pada CT = 4000/1 sedangkan VT = 150 kV/100 V, sehingga konversi ini sudah biasa diperhitungkan secara otomatis oleh *engineering tool* saat menghasilkan nilai *reach* satuan ohm yang tercantum dan catatan yang sudah tertulis bisa disimpulkan sudah kompatibel. Kelebihan *setting*  $Z1=80\%$  merupakan hal yang biasa digunakan untuk menghindari *overreach* ke bus remote agar mudah *clearing* dengan cepat untuk gangguan dekat dan catatan yang tercantum sudah mengikuti hal ini. Begitupun halnya dengan  $Z2 = 120\%$  memberikan sedikit *overlap* ke *line* berikutnya untuk *backup* ini merupakan hal yang umum dilakukan. Potensi hal yang perlu dikoreksi ketika *Overlap*  $Z1$  kedua ujung sebab sering menggunakan  $Z1=80\%$  area *overlap* cukup besar. Untuk *fault* yang berada di *overlap*, kedua  $Z1$  dapat *pick-up* itu merupakan hal normal akan tetapi pastikan *coordination* dengan *pilot scheme* (PUTT/POTT) supaya tidak terjadi *mal-coordination*, dalam kasus ini terjadinya  $Z1$  dua ujung *pick-up*. Pada catatan konfigurasi diperlukan untuk verifikasi parameter *ground*, catatan ini memiliki nilai *ground reach* yang sama  $Z1g$  sebesar 5.576  $\Omega$ , dengan memastikan nilai ini konsisten dengan sistem pembumian dan bahwa komponen residu diaplikasikan dengan tepat sebesar 0,693 dalam catatan. Apabila saluran lawan mempunyai trafo dan pembumian yang berbeda maka komponen *ground* bisa melakukan respons yang berbeda. Penilaian waktu respons yang disetting  $Z2$  delay 0.8s dan  $Z3$  dengan waktu 1.2s dengan melakukan pengecekan koordinasi dengan OCR backup yang disetel pada bay lawan supaya tidak ada konflik waktu.

Dengan adanya kasus ini yang mana  $Z1$  kedua ujung *pick-up* menyebabkan *undesired trips* atau kesulitan *grading*, pertimbangkan menurunkan *reach*  $Z1$  pada salah satu ujung ke 70% dari 80% hanya bila analisis koordinasi dan reliabel *pilot* sudah dipertimbangkan, hasil uji sensitivitas  $\pm 20\%$  SC MVA sumber harus dilakukan sebelum perubahan. Dalam kasus ini juga pastikan persamaan rasio CT dan VT serta polaritas

dikedua ujung cocok masing-masing dengan nilai 4000/1 & 150kV/100V susai dengan catatan *setting* sebab *mismatch* dapat mengubah nilai impedansi tampak dan menyebabkan perbedaan *pick-up*.



Gambar 2. Kurva Mho relai Kramatwatu

Kurva MHO *distance relay* pada gambar menunjukkan daerah kerja relai jarak dalam bidang R–X (resistansi–reaktansi) untuk tiga zona proteksi, yaitu Zone 1 (biru), Zone 2 (merah), dan Zone 3 (hijau). Masing-masing lingkaran merepresentasikan jangkauan impedansi yang dapat dideteksi relai: Zone 1 sebagai proteksi utama paling cepat untuk sekitar 80% panjang saluran, Zone 2 sebagai proteksi cadangan dengan waktu tunda, dan Zone 3 sebagai backup jarak jauh dengan waktu operasi paling lambat. Pada grafik terlihat bahwa titik impedansi gangguan  $Z_{fault}$  yang ditandai titik hitam berada sangat dekat dengan titik origin dan berada di dalam lingkaran Zone 1, sehingga secara prinsip relai akan mengidentifikasi gangguan tersebut sebagai gangguan dekat dan memerintahkan *trip* melalui Zona 1 secara *instan*. Posisi titik gangguan yang berada jauh di dalam jangkauan Zone 1 juga menunjukkan bahwa nilai impedansi gangguan jauh lebih kecil daripada *setting* impedansi Zona 1, sehingga tidak ada keraguan bahwa relai akan memilih zona tercepat. Sementara itu, Zone 2 dan Zone 3 pada kurva tetap berfungsi sebagai cadangan apabila gangguan berada lebih jauh di sepanjang saluran atau apabila relai utama gagal bekerja. Dengan demikian, kurva MHO tersebut memvalidasi hasil analisis dan simulasi sebelumnya bahwa gangguan antar fasa pada saluran Kramatwatu–Cilegon Baru masuk ke daerah operasi Zone 1, sehingga relai jarak bekerja cepat untuk mengisolasi gangguan dan menjaga kestabilan sistem transmisi.

| Data Rev: Base           |                 | Config: Normal |              | Date: 18-06-2026         |         |                               |
|--------------------------|-----------------|----------------|--------------|--------------------------|---------|-------------------------------|
| Study Type: Single Fault |                 |                |              | Fault Type: Line-to-Line |         |                               |
| Time (ms)                | Device ID       | IO ID          | IO Type      | T1 (ms)                  | T2 (ms) | Condition                     |
| 10                       | Relay Kramat    | DO2            | Relay Output | 10                       |         | On - Phase - OC1 - 51         |
| 50                       | Circuit Breaker |                | Interlock    | 40                       |         | Tripped by Relay Kramat - DO2 |

Gambar 3. Hasil Simulasi Relai Jarak

Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada saat terjadi gangguan *line-to-line* (antar fasa), Relay Kramat mengeluarkan Relay *Output* DO2 pada  $t = 10$  ms, kemudian *circuit breaker* trip pada  $t = 50$  ms dengan keterangan “*Tripped by Relay Kramat – DO2*”. Secara teknis, hasil ini valid dan konsisten dengan hasil perhitungan manual maupun data gangguan aktual



yang sebelumnya dianalisis. Hal ini karena pada kasus gangguan antar fasa Kramatwatu–Cilegon Baru, impedansi gangguan yang dihitung dari data *disturbance* berada di dalam jangkauan Zona 1 relai jarak, yaitu sekitar  $Z_{fault} \approx 1,61 \Omega$ , sedangkan *setting* Zona 1 relay =  $5,576 \Omega$ . Karena  $Z_{fault} < ZZ1$ , maka relai seharusnya bekerja instan (tanpa intentional delay). Pada *file tap setting*, waktu operasi Zona 1 memang disetel 0,0 s, sehingga keluarnya sinyal relay pada simulasi di 10 ms masih dapat dianggap sesuai karena ETAP tetap memperhitungkan waktu proses internal relai / *sampling / logic output*, walaupun secara *setting* proteksi dinyatakan instan. Dengan kata lain, delay 10 ms bukan menunjukkan salah *setting*, melainkan representasi waktu respons digital relay yang masih sangat cepat dan tetap berada pada kategori *instantaneous trip*.

Dari sisi pemutusan PMT, simulasi memperlihatkan bahwa relai memberi perintah trip pada 10 ms dan *circuit breaker* benar-benar membuka pada 50 ms, sehingga terdapat selisih 40 ms. Nilai ini juga masih realistis dan valid, karena pada sistem proteksi nyata selalu ada waktu kerja PMT (*breaker clearing time*) setelah relai mengirimkan perintah trip. Jadi total waktu pembersihan gangguan pada simulasi adalah sekitar 50 ms (0,05 s), yang masih jauh lebih cepat daripada *setting* Zona 2 = 0,8 s dan Zona 3 = 1,2 s, sehingga hal ini semakin menguatkan bahwa gangguan memang berhasil diamankan oleh Zona 1. Jika dibandingkan dengan hasil gangguan aktual yang menunjukkan lonjakan arus besar pada fasa terganggu, penurunan tegangan, dan operasi PH DIST Z1 OP—maka respons simulasi ini konsisten dengan fenomena lapangan, yaitu relai mendeteksi gangguan antar fasa sebagai gangguan dekat dan segera mengeluarkan trip.

Tabel 3. Persentase Toleransi Error

|                    | Perhitungan Manual | Data gangguan  | %Toleransi Error Simulasi |
|--------------------|--------------------|----------------|---------------------------|
| Impedansi Gangguan | 1,61 $\Omega$      | 1,607 $\Omega$ | 0,19%                     |
| %Lokasi Gangguan   | 23,1%              | 23,06%         | 0,17%                     |
| Arus Gangguan      | 26,44 kA           | 26,444 kA      | 0,02%                     |

Berdasarkan hasil validasi antara perhitungan manual, data *disturbance relay*, dan hasil simulasi ETAP, diperoleh kesesuaian yang sangat baik pada parameter utama gangguan. Hasil perhitungan menunjukkan impedansi total saluran sebesar 6,97  $\Omega$ , sedangkan impedansi gangguan hasil perhitungan manual sebesar 1,61  $\Omega$ . Dari data *disturbance*, arus gangguan fasa B tercatat sebesar 26,444 kA dan tegangan gangguan fasa B sebesar 42,480 kV, sehingga impedansi gangguan hasil *disturbance* adalah 1,607  $\Omega$ . Dengan demikian, *error* impedansi gangguan terhadap hasil manual hanya sekitar 0,19%, yang menunjukkan bahwa perhitungan manual telah merepresentasikan kondisi gangguan aktual dengan sangat baik. Selanjutnya, persentase lokasi gangguan hasil perhitungan manual sebesar 23,1% dari panjang saluran, sedangkan dari data *disturbance* diperoleh 23,06%, sehingga *error* lokasi gangguan hanya sekitar 0,17%. Nilai *error* yang sangat kecil ini menunjukkan bahwa estimasi lokasi gangguan menggunakan pendekatan impedansi sudah valid dan konsisten dengan data rekaman relai.

## 5. Kesimpulan



Lisensi

Lisensi Internasional Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0.

Berdasarkan hasil analisa dan simulasi yang telah dilakukan maka pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa:

1. Berdasarkan perhitungan dengan menggunakan persamaan impedansi sama dengan konfigurasi relai jarak yang digunakan pada Gardu Induk Kramatwatu dan konfigurasi ini telah memenuhi standar dan sesuai dengan SPLN T5.002 2021 yaitu sebesar  $0,07467 + j0,64723 \Omega/\text{km}$ .
2. Berdasarkan hasil simulasi ETAP, relay Kramat bekerja pada 10 ms dan PMT trip pada 50 ms saat terjadi gangguan antar fasa. Hasil ini dinyatakan valid karena secara perhitungan impedansi gangguan berada di dalam Zona 1 relai jarak ( $Z_{\text{fault}} < Z_1$ ) sehingga relai memang seharusnya bekerja instan. Selisih 10 ms dari setting teoritis 0 s masih dapat diterima sebagai waktu proses internal relai digital, sedangkan tambahan 40 ms merupakan waktu operasi PMT.

## REFERENSI

- [1] S. A. Koesardhinata *et al.*, “Analisa Rugi-Rugi Daya pada Jaringan Transmisi 150 KV Gardu Induk Waru Bay Sidoarjo,” *Jurnal EL Sains*, vol. 5, Jun. 2023.
- [2] O. Oputa, C. S. Ezeonye, I. K. Onwuka, and G. C. Diyoke, “DISTANCE RELAI PROTECTION OF AN 11 kV DISTRIBUTION SYSTEM PERFORMANCE ENHANCEMENT USING MICROPROCESSORS,” *INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATIVE ENGINEERING, TECHNOLOGY AND SCIENCE*, vol. 8, Oct. 2024, doi: 10.5281/zenodo.14521506.
- [3] A. S. Sampeallo 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,” Kupang, 2020.
- [4] A. Srinaldi, M. Raudhi Azmi, and P. Teknik Elektro, “Proteksi Jaringan Transmisi Saluran Udara dengan Menggunakan Relai Jarak,” *Aceh Journal of Electrical Engineering and Technology*, vol. 1, Dec. 2021.
- [5] N. Praneeth *et al.*, “Finding Optimal Zone II Settings for Distance Relais in Coordination with Directional Overcurrent Relais Using QCQP Algorithm,” *IEEE*, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2023.0322000.
- [6] K. Mohammed Mejdhab and A. N. Hamoodi, “Distance Relai Setting for One Zone of Transmission Line,” *NTU Journal of Engineering and Technology*, vol. 3, no. 4, pp. 35–41, Dec. 2024, doi: 10.56286/ntujet.v3i4.1063.
- [7] Epiwardi, B. E. Prasetyo, and M. A. Zuhri, “Analisis Kinerja Relai Proteksi di Gardu Induk Bangil T/L Bay Pandaan 1 pada Tegangan 70kV (Epiwardi) 56,” *ELPOSYS*, vol. 7, Jan. 2020.
- [8] A. Pangestu, S. Hardi, and Rohana, “Pengaruh Sambaran Petir Terhadap Kinerja Relai Jarak,” 2023.
- [9] T. A. Taha, H. I. Zaynal, A. S. T. Hussain, H. Desa, and F. H. Taha, “Definite time over-current protection on transmission line using MATLAB/Simulink,” *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, vol. 13, no. 2, pp. 713–723, Apr. 2024, doi: 10.11591/eei.v13i2.5301.
- [10] D. Franklin Ayebagbalinyo, “Performance Analysis of Mho-type Distance Protection Relai against Asymmetrical Faults on a 400-km Transmission Line,” *ASUPFE*, vol. 2, Apr. 2024, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/380530595>
- [11] A. S. Putra, Hermawan, and M. Facta, “ANALISIS DAN PENENTUAN KOORDINASI PROTEKSI RELAI JARAK DAN ARUS LEBIH TRANSMISI 150 KV DI PLTP DARAJAT,” *Transcient*, vol. 10, 2021.



Lisensi

Lisensi Internasional Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0.



- [12] R. Katuuk, A. Ramschie, and P. N. Manado, "Implementasi Sistem Proteksi Dan Automatic Transfer Switch (ATS) Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)," *Jurnal Elektrik*, vol. 2, Jun. 2023, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/375773857>
- [13] I. T. Cahyaningsih, M. Facta, and D. Denis, "PERHITUNGAN NILAI *SETTING* PROTEKSI RELAI JARAK PADA SALURAN TRANSMISI GARDU INDUK 150 KV GULUK-GULUK PULAU MADURA PROVINSI JAWA TIMUR," *TRANSIENT*, vol. 9, no. 2, pp. 2685–0206, Jun. 2020, [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/transient>
- [14] Diogo A. do Nascimento and Wellington Maycon S. Bernardes, "Setting of Distance Relais on Lines Considering Weather Conditions from IEEE Standard 738," in *Proceedings IX Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos*, SBA Sociedade Brasileira de Automática, 2018. doi: 10.20906/sbse.v2i1.2896.
- [15] M. Aminian, M. J. Shahbazzadeh, and M. Eslami, "Distance optimization and directional overcurrent relai coordination using edge-powered biogeography-genetic algorithms," *Journal of Cloud Computing*, vol. 13, no. 1, Dec. 2024, doi: 10.1186/s13677-024-00672-2.
- [16] N. B. Dharmawan, W. G. Ariastina, and A. A. N Amrita, "STUDI SISTEM PROTEKSI LINE CURRENT DIFFERENTIAL RELAI PADA SALURAN TRANSMISI 150 KV," 2020.
- [17] E. Maulana Yusuf, J. I. Moh Kahfi, S. Sawah, K. Jagakarsa, K. Jakarta Selatan, and D. Khusus, "ANALISIS PROTEKSI RELAI JARAK PADA SALURAN UDARA TEGANGAN TINGGI 150 KV."
- [18] I. A. Fauzi and H. S. Dini, "Koordinasi Relai Jarak Sebagai Pengaman Utama Dengan Relai Arus Lebih Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 KV Balongbendo - 150 KV Sekarputih," *KILAT*, vol. 11, no. 1, pp. 40–52, Apr. 2022, doi: 10.33322/kilat.v11i1.1480.
- [19] A. Nurdin and A. Azis, "PENGARUH JARAK ANTAR SUB KONDUKTOR BERKAS REAKTANSI INDUKTIF SALURAN TERHADAP TRANSMISI 150 KV DARI GARDU INDUK KERAMASAN KE GARDU INDUK MARIANA," *Jurnal Ampere*, vol. 3, no. 2, p. 145, Dec. 2018, doi: 10.31851/ampere.v3i2.2395.
- [20] "Analisis\_Rugi-Rugi\_Daya\_Pada\_Saluran\_Transmisi\_150".
- [21] U. Khoirunnisa, B. Bayu Murti, and M. Budiyo, "Analisis Rugi-Rugi Daya dan Jatuh Tegangan pada Saluran Transmisi 150 kV Gardu Induk Pandean Lamper-Pudak Payung," *Jurnal Teknologi dan Vokasi*, vol. 2, no. 2, pp. 54–68, Jul. 2024, doi: 10.21063/jtv.2024.2.2.7.
- [22] P. N. Utami, Y. A. Volta, and M. H. Fatin, "SIMULATION OF ELECTRIC POWER SYSTEM PROTECTION COORDINATION USING ETAP," 2024.
- [23] L. M. Ali El-Sayed, D. K. Ibrahim, M. I. Gilany, and A. El'Gharably, "An accurate technique for supervising *distance* relais during power swing," *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 21, no. 3, pp. 1279–1290, Mar. 2021, doi: 10.11591/ijeecs.v21.i3.pp1279-1290.
- [24] C. Calnela, I. R. Arif, P. Teknik Elektro, F. Teknik, and U. Negeri Jakarta, "ANALISIS HUBUNG SINGKAT PADA GARDU INDUK 150/20 KV (STUDI KASUS DI GARDU INDUK GANDUL, CINERE)."
- [25] I. Budi Eko Prasetyo, H. K. Mukti, and Y. Pamasari, "ANALISA KINERJA *DISTANCE* RELAI TERHADAP GANGGUAN PENGHANTAR 150 KV SURABAYA BARAT ALTAPRIMA I," *ELPOSYS: Jurnal Sistem Kelistrikan POLINEMA*, vol. 7, no. 1, 2020.



**CATATAN: Ubah template kertas ini sesuai kebutuhan Anda. Penulis diminta untuk mengubah bagian sebagaimana berlaku untuk Artikel Penelitian Asli/Makalah Penelitian/Makalah Review/Laporan Kasus/Komunikasi Singkat dll. Harap hapus kata-kata yang tidak perlu dari kertas.**

\*\*\*\*\*



**Lisensi**

Lisensi Internasional Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0.