

**OPTIMASI KEANDALAN PROTEKSI RELAI
DISTANCE PADA PENGHANTAR 150KV
SUNYARAGI – JATIGEDE**

LAPORAN TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana S1 Pada
Prodi Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung



Oleh :

NAMA : ILHAM AJI WIBOWO

NIM : 30602200169

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG**

2024

FINAL PROJECT

OPTIMIZATION OF DISTANCE RELAY PROTECTION RELIABILITY ON THE 150KV SUNYARAGI – JATIGEDE TRANSMISSION LINE

*Suggested As One of the Requirements to Get a Bachelor's Degree in a Study Program
Electrical Engineering at Universitas Islam Sultan Agung.*



Arranged By :

ILHAM AJI WIBOWO

30602200169

ELECTRICAL ENGINEERING STUDY PROGRAM

FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY

UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG

SEMARANG

2024

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul “**OPTIMASI KEANDALAN PROTEKSI RELAI *DISTANCE* PADA PENGHANTAR 150KV SUNYARAGI – JATIGEDE**” ini disusun oleh:

Nama : ILHAM AJI WIBOWO
NIM : 30602200169
Program Studi : Teknik Elektro

Telah disahkan dan disetujui oleh dosen pembimbing pada:

Hari : Rabu
Tanggal : 12 Februari 2025

Pembimbing I



Ir. Arief Marwanto, ST., M.Eng., Ph.D, IPM.
NIDN : 0628097501

Mengetahui,

Ka. Program Studi Teknik Elektro



Jenny Putri Hapsari, S.T., M.T.
NIDN : 0607018501



LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Laporan Tugas Akhir dengan judul “**OPTIMASI KEANDALAN PROTEKSI RELAI *DISTANCE* PADA PENGHANTAR 150KV SUNYARAGI – JATIGEDE**” ini telah dipertahankan di depan Penguji sidang Tugas Akhir pada:

Hari : Kamis
Tanggal : 27 Februari 2025

Tim Penguji

Tanda Tangan

Munaf Ismail, S.T., M.T.
NIDN : 0613127302
Ketua

Dr. Gunawan, S.T., M.T.
NIDN : 0607117101
Penguji I

Ir. Arief Marwanto, ST., M.Eng., Ph.D, IPM.
NIDN : 0628097501
Penguji II

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Ilham Aji Wibowo
NIM : 30602200101
Jurusan : Teknik Elektro
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri

Dengan ini saya menyatakan bahwa Tugas Akhir yang diajukan dengan judul **“OPTIMASI KEANDALAN PROTEKSI RELAI *DISTANCE* PADA PENGHANTAR 150KV SUNYARAGI – JATIGEDE”** adalah hasil karya sendiri, tidak pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di perguruan tinggi lain maupun ditulis dan diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam daftar pustaka. Tugas Akhir ini adalah milik saya segala bentuk kesalahan dan kekeliruan dalam Tugas Akhir ini adalah tanggung jawab saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sadar dan penuh tanggung jawab.

Semarang, Februari 2025

Yang Menyatakan



Ilham Aji Wibowo

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Ilham Aji Wibowo
NIM : 30602200169
Program Studi : Teknik Elektro
Fakultas : Teknologi Industri

Dengan ini saya menyerahkan karya ilmiah berupa Tugas Akhir dengan judul **“OPTIMASI KEANDALAN PROTEKSI RELAI *DISTANCE* PADA PENGHANTAR 150KV SUNYARAGI – JATIGEDE”** dan menyetujui menjadi hak milik Universitas Islam Sultan Agung serta memberikan hak bebas royalti non-eksklusif untuk disimpan, dialih mediakan, dikelola dalam pangkalan data dan publikasinya di internet atau media lain untuk kepentingan akademis selama tetap mencantumkan nama penulis sebagai pemilik Hak Cipta.

Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari terbukti ada pelanggaran Hak Cipta/ Plagiarisme dalam karya ilmiah ini, maka segala bentuk tuntutan hukum yang timbul akan saya tanggung secara pribadi tanpa melibatkan pihak Universitas Islam Sultan Agung

Semarang, Februari 2025

Yang Menyatakan



20
METERAI
TEMPEL
D2ALX357324915

Ilham Aji Wibowo

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Alhamdulillah, segala puji syukur bagi Allah subhanahu wa ta'ala karena atas berkat rahmat dan hidayah-Nya sehingga saya masih berkesempatan dalam menuntut ilmu dalam keadaan sehat wal'afiat, kemudian Shalawat serta Salam semoga senantiasa tercurahkan kepada baginda Rasulullah Muhammad shallallahu 'alaihi wa sallam, semoga kelak kita mendapatkan syafaatnya. Aamiin Yaa Robbaalalamin.

Penelitian ini diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi Strata Satu (S1) di Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Dalam penyusunan penelitian ini, pastinya banyak pihak yang sudah memberikan bantuan baik moral dan material. Oleh karena itu saya menyampaikan ucapan Jazakumullah Khoiron dan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. H. Gunarto, SH., M.Hum. selaku Rektor Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Ibu Dr. Ir. Novi Mariyana, ST., MT., IPU., ASEAN, Eng. selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Ibu Jenny Putri Hapsari, ST., MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
4. Bapak Ir. Arief Marwanto, ST., M.Eng., Ph.D., IPM selaku Dosen Pembimbing yang dengan penuh kesabaran dan kebijaksanaan telah memberikan bimbingan, arahan, dan motivasi dalam penyusunan penelitian hingga selesai.
5. Seluruh Dosen jurusan Teknik Elektro, Universitas Islam Sultan Agung Semarang yang telah memberikan ilmu, wawasan, dan arahan selama masa perkuliahan. Serta seluruh Staff Teknik Elektro yang selalu siap membantu dalam berbagai urusan administratif dan teknis selama masa perkuliahan.
6. Istri saya tercinta yang telah memberikan dorongan, semangat dan motivasi tersendiri dalam penyelesaian penelitian ini.

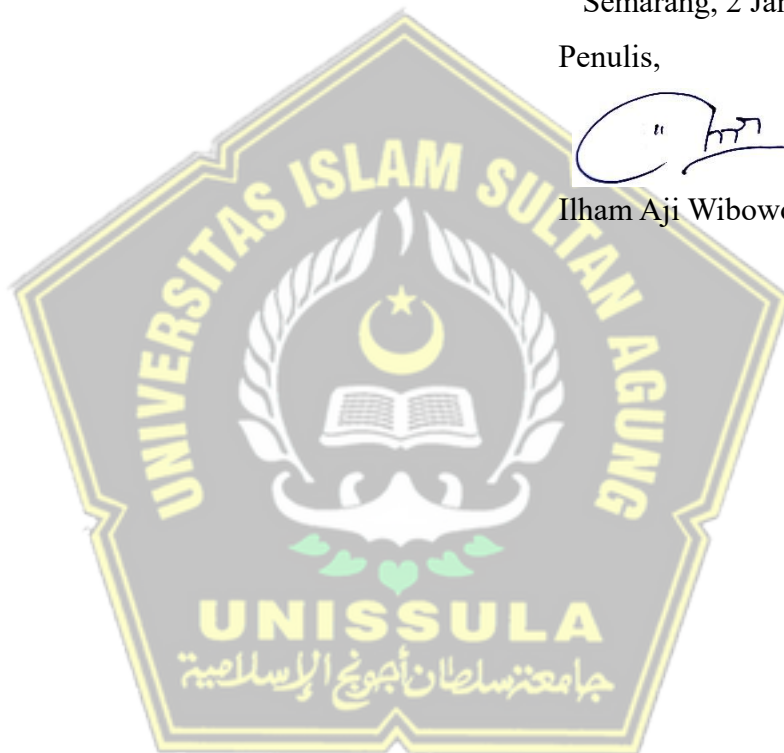
7. Bapak, Ibu serta Saudara-saudara saya tercinta atas dukungan kepada saya berupa kasih sayang, keridhoan, doa, dan motivasi yang telah diberikan.
8. Teman-teman seperjuangan yang telah memberikan dukungan moral, semangat, serta saran dan kritik yang membangun. Kebersamaan dan kerja sama kalian sangat membantu dalam menjalani perkuliahan.
9. Semua pihak yang telah memberikan bantuan hingga selesainya penelitian ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu oleh penulis.

Semarang, 2 Januari 2025

Penulis,



Ilham Aji Wibowo

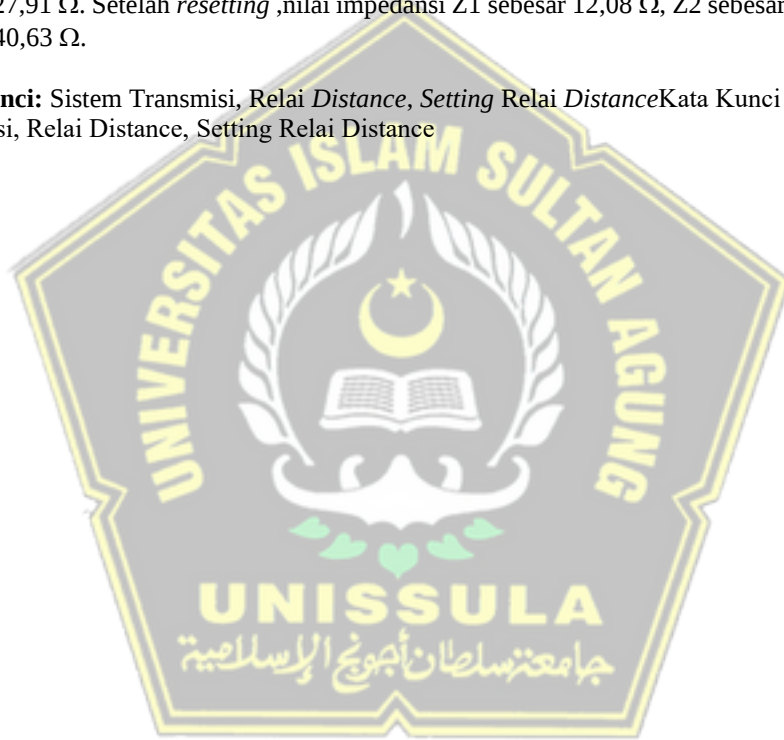


ABSTRAK

Semakin berkembangnya pertumbuhan ekonomi dan industri menyebabkan pusat beban semakin meluas. Hal itu menuntut adanya perkembangan dan perubahan konfigurasi jaringan listrik. Perubahan konfigurasi jaringan memicu malakerja pada relai *distance* yang berdampak pada keterlambatan waktu trip dan gangguan yang meluas. Solusinya adalah melakukan *resetting* impedansi zona guna optimalisasi kerja relai *distance*. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan evaluasi kinerja pada relai *distance* akibat adanya rekonfigurasi jaringan. Metode penelitian yang digunakan adalah pengambilan data *setting* relai, impedansi penghantar, panjang penghantar, impedansi transformator, nameplate CT dan PT. DIGSILENT PowerFactory 15.1 digunakan untuk menyimulasikan model penelitian, sedangkan obyek penelitian ditentukan adalah rekonfigurasi penghantar 150kV Sunyaragi-Kadipaten menjadi Sunyaragi-Jatigede.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa DIGSILENT PowerFactory 15.1 mampu digunakan untuk simulasi kerja relai *distance*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa *setting* impedansi relai *distance* pada kondisi eksisting tidak relevan digunakan pasca rekonfigurasi, sehingga perlu dilakukan *resetting*. Pada kondisi eksisting, *setting* impedansi Z1 sebesar 9,3 Ω , Z2 sebesar 13,95 Ω , dan Z3 sebesar 27,91 Ω . Setelah *resetting*, nilai impedansi Z1 sebesar 12,08 Ω , Z2 sebesar 18,12 Ω , dan Z3 sebesar 40,63 Ω .

Kata kunci: Sistem Transmisi, Relai *Distance*, *Setting* Relai *Distance*
Kata Kunci : Sistem Transmisi, Relai *Distance*, *Setting* Relai *Distance*

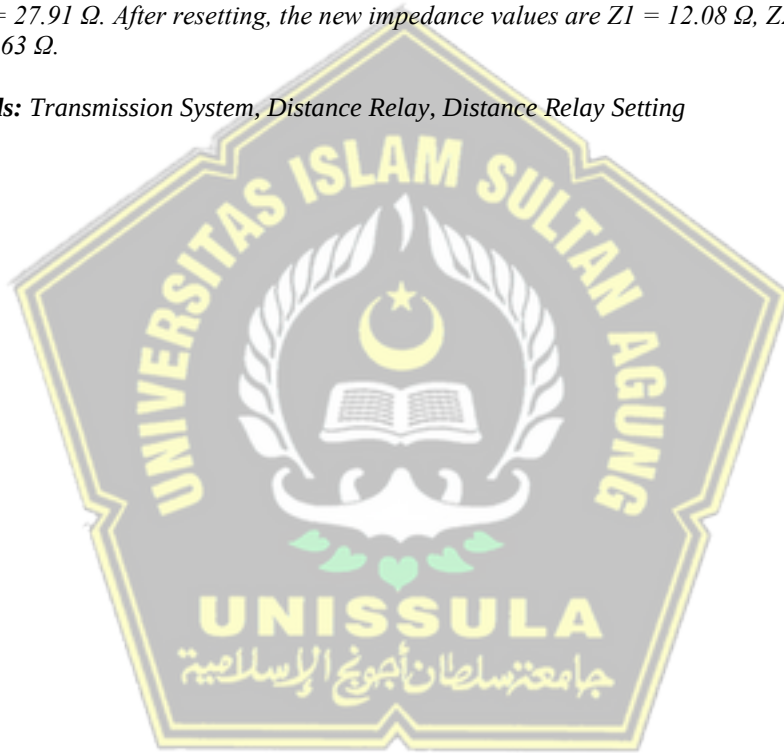


ABSTRACT

The continuous growth of the economy and industry has led to an expansion of load centers, requiring the development and reconfiguration of power networks. These network configuration changes can cause malfunctions in distance relays, resulting in trip delays and widespread disturbances. The solution is to reset the impedance zones to optimize the performance of distance relays. This study aims to evaluate the performance of distance relays due to network reconfiguration. The research method involves collecting data on relay settings, conductor impedance, conductor length, transformer impedance, and CT and PT nameplate data. DIgSILENT PowerFactory 15.1 is used to simulate the research model, with the study focusing on the reconfiguration of the 150kV Sunyaragi-Kadipaten transmission line into the Sunyaragi-Jatigede line.

The results indicate that DIgSILENT PowerFactory 15.1 is capable of simulating the performance of distance relays. The simulation results show that the impedance settings of the distance relay in the existing condition are no longer relevant after reconfiguration, necessitating a resetting process. In the existing condition, the impedance settings were $Z1 = 9.3 \Omega$, $Z2 = 13.95 \Omega$, and $Z3 = 27.91 \Omega$. After resetting, the new impedance values are $Z1 = 12.08 \Omega$, $Z2 = 18.12 \Omega$, and $Z3 = 40.63 \Omega$.

Keywords: Transmission System, Distance Relay, Distance Relay Setting



DAFTAR ISI

OPTIMASI KEANDALAN PROTEKSI RELAI <i>DISTANCE</i> PADA PENGHANTAR 150KV SUNYARAGI – JATIGEDE.....	i
OPTIMIZATION OF DISTANCE RELAY PROTECTION RELIABILITY ON THE 150KV SUNYARAGI – JATIGEDE TRANSMISSION LINE	ii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	iii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI	iv
SURAT PERNYATAAN	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI ILMIAH	v
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK	ix
ABSTRACT.....	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Pembatasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat	4
1.6 Sistematika Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....	6
2.1 Tinjauan Pustaka	6
2.2 Dasar Teori	9
2.2.1 Sistem Tenaga listrik	9
2.2.2 Sistem Pembangkit listrik	10
2.2.3 Sistem Transmisi	10
2.2.4 Gangguan Hubung Singkat	14
2.2.5 Sistem Proteksi Penghantar.....	18
2.2.6 Relai Distance	20
2.2.7 Penentuan Zona Pengaman Pada Relay <i>Distance</i>	20
2.2.8 Margin Keamanan Impedansi Zone Relay Distance.....	24

2.2.9	Data Rasio CT dan PT.....	25
2.2.10	Karakteristik Relai <i>Distance</i> Berdasarkan Sistem Kerjanya.....	25
2.2.11	DIGSILENT PowerFactory	27
BAB III METODE PENELITIAN.....		29
3.1	Sistem Model Penelitian	29
3.2	Lokasi Penelitian.....	30
3.3	Studi Literatur	31
3.4	Prosedur Penelitian	31
3.5	Data Penelitian	32
3.6	<i>Setting</i> Impedansi Zona Relai <i>Distance</i>	35
3.7	Arus Hubung Singkat Sistem.....	35
3.8	Data Spesifikasi PMT Bay Sunyaragi – Jatigede	36
3.9	Simulasi Pada Aplikasi DIGSILENT PowerFactory 15.1	37
3.9.1	Membuat Single Line Diagram.....	38
3.9.2	Memasukkan Parameter pada setiap Komponen	38
3.9.3	Melakukan <i>Setting</i> Relai	39
3.9.4	<i>Time Distance Diagram</i>	39
3.9.5	Short Circuit Analysis	40
3.9.6	Analisa Hasil	41
3.10	Diagram Alir Penelitian	41
3.11	Langkah Penelitian.....	42
BAB IV HASIL DAN ANALISA.....		45
4.1	HASIL.....	45
4.1.1	<i>Setting</i> Impedansi Relai <i>Distance</i> SUTT 150kV Sunyaragi-New Kadipaten.....	45
4.1.2	<i>Setting</i> Impedansi Relai <i>Distance</i> SUTT 150kV Sunyaragi-Jatigede 48	
4.1.3	<i>Setting</i> Waktu Operasi Saluran Sunyaragi – New Kadipaten	51
4.1.4	<i>Setting</i> Waktu Operasi Saluran Sunyaragi – Jatigede	52
4.1.5	<i>Input</i> Data pada Simulasi DIGSILENT PowerFactory 15.1	52
4.1.6	Hasil Simulasi pada Fitur <i>Time Distance Diagram</i>	59
4.1.7	Hasil Simulasi pada Fitur <i>Short Circuit Analysis</i>	60
4.2	ANALISA	66
4.2.1	Hasil Simulasi pada Fitur <i>Time Distance Diagram</i>	66

4.2.2 Hasil Simulasi pada Fitur <i>Short Circuit Analysis</i>	67
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	70
5.1 Kesimpulan	70
5.2 Saran	71
DAFTAR PUSTAKA.....	72
LAMPIRAN.....	75



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Skema Sistem Tenaga Listrik [1]	9
Gambar 2. 2 SUTET 500kV Mandirancan-Pemalang 2	11
Gambar 2. 3 SUTT 70kV Kadipaten-Arjawinangun	12
Gambar 2. 4 AAC (<i>All Alluminium Conductor</i>)	12
Gambar 2. 5 AAAC (<i>All-Aluminium-Alloy Conductor</i>)	13
Gambar 2. 6 ACSR (<i>Alluminium Conductor Steel Reinforced</i>)	13
Gambar 2. 7 ACAR (<i>Aluminium Conductor, Alloy-Reinforced</i>)	13
Gambar 2. 8 Gangguan Satu Fasa ke Tanah [1]	16
Gambar 2. 9 Gangguan Antar Fasa [1]	16
Gambar 2. 10 Gangguan Dua Fasa ke Tanah [1]	17
Gambar 2. 11 Gangguan Tiga Fasa [2]	17
Gambar 2. 12 Tipikal Komponen Sistem Proteksi SUTET [4]	18
Gambar 2. 13 Tipikal Komponen Sistem Proteksi SUTT [4]	18
Gambar 2. 14 Komponen Utama Relai Proteksi [6]	19
Gambar 2. 15 Diagram Skematik Relai Distance [4]	20
Gambar 2. 16 Karakteristik Relai Impedansi dengan Diagram R – X [17]	25
Gambar 2. 17 Karakteristik Relai Jarak Mho [19]	26
Gambar 2. 18 Karakteristik Relai Jarak Jenis Reaktansi [20]	26
Gambar 2. 19 Karakteristik Relai Jarak Jenis Quadrilateral [21]	27
Gambar 3. 1 Flowchart Penelitian	29
Gambar 3. 2 Single Line Diagram GI 150kV Sunyaragi	33
Gambar 3. 3 Time Distance Diagram	40
Gambar 3. 4 Short Circuit Analysis	40
Gambar 3. 5 Diagram Alir Penelitian	42
Gambar 4. 1 R-X Diagram <i>Setting</i> Impedansi Penghantar Sunyaragi–New Kadipaten	48
Gambar 4. 2 R-X Diagram <i>Setting</i> Impedansi Penghantar Sunyaragi – Jatigede	51
Gambar 4. 3 Tampilan Awal DIgSILENT PowerFactory 15.1	53
Gambar 4. 4 Rangkaian Pengganti pada DIgSILENT PowerFactory 15.1	53
Gambar 4. 5 Input Tegangan Kerja	54
Gambar 4. 6 Input Panjang Penghantar	54
Gambar 4. 7 Input Impedansi Saluran	55
Gambar 4. 8 Input Relai Distance	55
Gambar 4. 9 Pemodelan CT	56
Gambar 4. 10 Pemodelan VT	56
Gambar 4. 11 Setting Waktu kerja Zona 1, 2, dan 3	57
Gambar 4. 12 Pemodelan External Grid	58
Gambar 4. 13 Kurva Waktu Operasi Saluran Sunyaragi – Jatigede – New Kadipaten	59
Gambar 4. 14 Kurva Waktu Operasi Saluran Sunyaragi – Jatigede – Rancaekek - Rancakasumba	59
Gambar 4. 15 Letak Gangguan Skenario 1	61

Gambar 4. 16 R-X Diagram Gangguan 3 Fasa Skenario 1 Eksisting.....	61
Gambar 4. 17 R-X Diagram Gangguan 3 Fasa Skenario 1 <i>Resetting</i>	62
Gambar 4. 18 Letak Gangguan Skenario 2.....	62
Gambar 4. 19 R-X Diagram Gangguan 3 Fasa Skenario 2 Eksisting.....	63
Gambar 4. 20 R-X Diagram Gangguan 3 Fasa Skenario 2 <i>Resetting</i>	63
Gambar 4. 21 Letak Gangguan Skenario 3.....	64
Gambar 4. 22 R-X Diagram Gangguan 3 Fasa Skenario 3 Eksisting.....	64
Gambar 4. 23 R-X Diagram Gangguan 3 Fasa Skenario 3 <i>Resetting</i>	65
Gambar 4. 24 Grafik Skenario Gangguan Kondisi Eksisting.....	66
Gambar 4. 25 Grafik Skenario Gangguan Kondisi <i>Resetting</i>	66



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan Hasil Penelitian.....	7
Tabel 2. 2 Spesifikasi Konduktor Pada SUTT.....	14
Tabel 3. 1 Data Penghantar [11],[12],[13],[14],[15].....	33
Tabel 3. 2 Data Impedansi Saluran [11],[12],[13],[14],[15].....	34
Tabel 3. 3 Data Rasio CT Dan PT [11],[12]	34
Tabel 3. 4 Data Impedansi Trafo [25].....	35
Tabel 3. 5 Data Arus Hubung Singkat Sistem Jawa Bali [16]	36
Tabel 3. 6 Spesifikasi PMT Sunyaragi-Jatigede.....	37
Tabel 4. 1 <i>Setting</i> Impedansi Zona Pada Saluran 1, 2, 3, dan 4.....	57
Tabel 4. 2 Skenario Gangguan Hubung Singkat.....	60
Tabel 4. 3 Kinerja Relai <i>Distance</i> Skenario 1	67
Tabel 4. 4 Kinerja Relai <i>Distance</i> Skenario 2.....	68
Tabel 4. 5 Kinerja Relai <i>Distance</i> Skenario 3.....	69



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem tenaga listrik adalah suatu kesatuan sistem dimana listrik diproduksi hingga sampai ke pelanggan melalui jaringan yang saling terinterkoneksi. Sistem tenaga listrik terdiri dari 3 sub sistem, yaitu sistem pembangkit listrik, sistem transmisi dan sistem distribusi. Prinsip kerja dalam sistem penyaluran tenaga listrik dimulai dari pembangkit yang kemudian disalurkan melalui sistem jaringan transmisi 500kV, 275 kV, 150kV serta 70 kV kepada Gardu Induk . Tenaga listrik yang diterima gardu induk kemudian disalurkan serta dibagi kepada pelanggan melalui jaringan distribusi 20 kV [4].

Sistem transmisi menjadi salah satu komponen yang krusial dalam sistem penyaluran. Sistem transmisi dalam hal ini SUTT (Saluran Udara Tingkat Tinggi) / SUTET (Saluran Udara Tegangan Extra Tinggi) dalam pengoperasiannya sering mengalami gangguan. Gangguan tersebut bisa disebabkan oleh hubung singkat, surja petir, pohon, binatang dan lain lain yang berdampak pada terganggunya kelangsungan operasi dan mengakibatkan kerusakan pada peralatan sistem tenaga listrik. Untuk menghindari kerusakan dan kerugian yang lebih besar, maka diperlukan suatu sistem proteksi tenaga listrik yang dapat bekerja secara cepat mengisolasi gangguan [4].

Sistem proteksi merupakan suatu sistem perlindungan pada peralatan listrik dengan cara mengidentifikasi gangguan dan memisahkan bagian sistem yang terganggu dari bagian lain yang masih dapat berjalan normal. Dengan perkembangan sistem interkoneksi tenaga listrik yang semakin besar dan kompleks dibutuhkan kinerja sistem proteksi yang handal, cepat, sensitif, selektif dan ekonomis. Sehingga dapat menjamin bahwa setiap gangguan yang terjadi pada sistem dapat diamankan dengan cepat. Adanya keterlambatan atau kegagalan dalam memisahkan bagian yang terganggu

dapat menimbulkan kerugian baik dari sisi konsumen maupun dari sisi penyedia tenaga listrik [8].

Relai Jarak (*distance relay*) adalah peralatan proteksi proteksi utama dan sekaligus sebagai proteksi cadangan jauh pada SUTT/SUTET. Koordinasi *distance* relai antar Gardu Induk sangat penting untuk menghindari terjadinya *overlap* atau *underreach protection* dengan kata lain relai *distance* bekerja pada zona yang tidak diharapkan. Hal tersebut, dapat menyebabkan keandalan dan selektifitas sistem proteksi menjadi berkurang serta pemadam yang meluas. Di ULTG Cirebon telah terjadi perubahan subsistem yang semula Penghantar 150kV Sunyaragi – New Kadipaten menjadi Penghantar 150kV Sunyaragi – Jatigede dalam rangka menciptakan sistem penyaluran yang saling terintegrasi. Sehingga perlu dilakukan evaluasi *setting* relai *distance* sesuai dengan impedansi saluran dan panjang saluran setelah rekonfigurasi penghantar agar relay dapat bekerja selektif dan handal.

Oleh karena itu, penulis melakukan penelitian dengan judul *OPTIMASI KEANDALAN PROTEKSI RELAI DISTANCE PADA PENGHANTAR 150KV SUNYARAGI - JATIGEDE*, dimana akan dilakukan scanning koordinasi relai *distance* dan perhitungan *setting* relai untuk memastikan koordinasi relai *distance* di ruas penghantar tersebut sudah benar.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka dapat diambil rumusan masalah sebagai berikut :

- a. Bagaimana dampak rekonfigurasi penghantar terhadap *setting* proteksi relai *distance* SUTT 150kV Sunyaragi-Jatigede?
- b. Bagaimana hasil evaluasi *setting* proteksi relai *distance* SUTT 150kV Sunyaragi-Jatigede dengan standar yang ditetapkan pada Buku Pedoman dan Petunjuk Sistem Proteksi Transmisi dan Gardu Induk Jawa Bali (2013)?
- c. Bagaimana koordinasi kerja relai *distance* SUTT 150kV Sunyaragi-Jatigede dengan relai *distance* pada penghantar di depannya?
- d. Bagaimana kinerja relai *distance* SUTT 150kV Sunyaragi-Jatigede saat terjadi hubung singkat?

1.3 Pembatasan Masalah

Agar penelitian dapat dilakukan lebih fokus dan mendalam maka penulis memandang permasalahan penelitian yang diangkat perlu dibatasi variabelnya. Oleh sebab itu, penulis membatasi batasan masalahnya sebagai berikut :

- a. Sistem saluran transmisi yang dibahas adalah Penghantar 150kV Sunyaragi-Kadipaten dan Penghantar 150kV Sunyaragi-Jatigede.
- b. Penelitian ini tidak membahas proteksi pada penghantar selain Relai *Distance*.
- c. Penelitian ini menggunakan simulasi gangguan pada aplikasi DIgSILENT PowerFactory.
- d. *Setting* impedansi relai *distance* yang digunakan dalam penelitian ini dijelaskan dalam Buku Pedoman dan Petunjuk Sistem Proteksi Transmisi dan Gardu Induk Jawa Bali (2013).

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

- a. Menganalisa dampak rekonfigurasi penghantar terhadap *setting* proteksi relai *distance* SUTT 150kV Sunyaragi-Jatigede
- b. Menghitung *setting* impedansi dan waktu kerja proteksi relai *distance* SUTT 150kV Sunyaragi-Jatigede dengan standar yang ditetapkan pada Buku Pedoman dan Petunjuk Sistem Proteksi Transmisi dan Gardu Induk Jawa Bali (2013).
- c. Menggambarkan peta *setting* relai *distance* berupa grafik impedansi dan waktu kerja relai untuk mengetahui koordinasi kerja relai *distance* SUTT 150kV Sunyaragi-Jatigede dengan relai *distance* penghantar yang berada di depannya.
- d. Membuat simulasi gangguan hubung singkat pada SUTT 150kV Sunyaragi-Jatigede maupun penghantar di depannya menggunakan aplikasi DIgSILENT PowerFactory untuk memastikan relai *distance* bekerja secara optimal saat terjadi gangguan pada zona 1, zona 2 dan zona 3.

1.5 Manfaat

Berdasarkan penelitian “OPTIMASI KEANDALAN PROTEKSI RELAI DISTANCE PADA PENGHANTAR 150KV SUNYARAGI - JATIGEDE” maka diperoleh manfaat yaitu:

- Memberikan pemahaman mengenai cara kerja relai *distance* sebagai peralatan proteksi utama pada saluran Transmisi yaitu SUTT/SUTET.
- Memberikan pemahaman mengenai perhitungan *setting* koordinasi relai *distance* pada penghantar 150kV Sunyaragi-Jatigede.
- Memberikan pemahaman mengenai koordinasi nilai parameter *setting* impedansi zona 1, zona 2, dan zona 3 antara GI Sunyaragi dan GI Jatigede.
- Memberikan pemahaman koordinasi proteksi setelah rekonfigurasi penghantar 150kV Sunyaragi-Kadipaten menjadi penghantar 150kV Sunyaragi-Jatigede.
- Memberikan pemahaman dampak koordinasi proteksi setelah rekonfigurasi penghantar 150kV Sunyaragi-Kadipaten menjadi penghantar 150kV Sunyaragi-Jatigede tanpa diikuti perubahan setting relai *distance*.
- Memberikan pemahaman mengenai cara membuat simulasi koordinasi setting relai *distance* menggunakan aplikasi DIgSILENT PowerFactory.

1.6 Sistematika Penelitian

Saat menulis penelitian, gunakan pendekatan sistematis untuk memperjelas pemahaman bahan yang digunakan sebagai objek implementasi penelitian. Sistem ini ditulis sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Dalam bab ini membahas tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat, metode penelitian dan penulisan sistematis penelitian yang akan dilakukan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

Bab ini membahas secara umum tentang proteksi sistem transmisi tenaga listrik serta dasar teori dan prinsip yang melandasi pembuatan penelitian ini.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

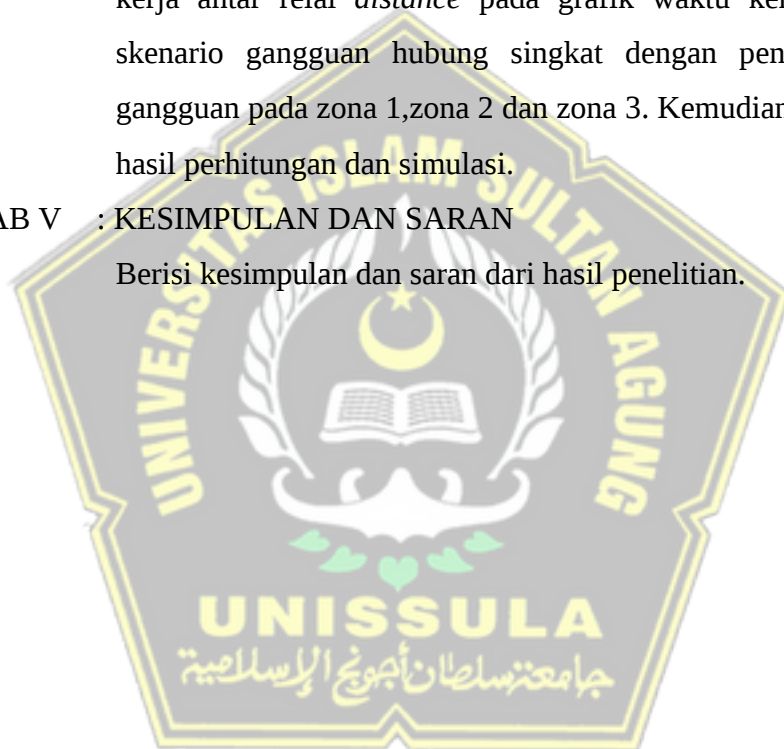
Mengulas mengenai model penelitian, alat dan bahan, prosedur, metode direct serta tahapan penelitian yang digunakan dalam menjawab permasalahan penelitian untuk mencapai tujuan penelitian.

BAB IV : HASIL DAN ANALISA

Melakukan perhitungan nilai *setting* impedansi kerja serta waktu kerja relai *distance* dan melakukan simulasi menggunakan software DIgSILENT PowerFactory 15.1 terhadap koordinasi kerja antar relai *distance* pada grafik waktu kerja relai serta skenario gangguan hubung singkat dengan pengaturan letak gangguan pada zona 1, zona 2 dan zona 3. Kemudian menganalisis hasil perhitungan dan simulasi.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi kesimpulan dan saran dari hasil penelitian.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka yang digunakan sebagai materi pendukung dengan melampirkan abstrak berupa penelitian yang pernah dilakukan para peneliti terdahulu antara lain :

- a. Perhitungan Parameter *Setting* Relai Jarak Menggunakan Digsilent Powerfactory Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV Gi New Tarahan - GI Sebalang - GI Kalianda[1]. Penelitian ini menjelaskan setting koordinasi relai *distance* pada saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV GI New - Tarahan - GI Sebalang - GI Kalianda. Kemudian dilakukan simulasi gangguan hubung singkat tiga fasa dengan aplikasi DIgSILENT PowerFactory dengan lokasi gangguan sebesar 40% dari panjang saluran yang diamankan.
- b. Analisis Scanning *Setting* Proteksi *Distance Relay* pada Penghantar 150 kV Gardu Induk Garuda Sakti Ke Gardu Induk Balai Pungut [2]. Penelitian ini dilakukan dengan cara melakukan perhitungan menggunakan standar NPAG Alstom guna evaluasi optimalisasi koordinasi *setting* relai jarak. Kemudian dilakukan simulasi gangguan hubung singkat tiga fasa dengan aplikasi DIgSILENT PowerFactory dengan lokasi gangguan sebesar 30% – 50% dari panjang saluran yang diamankan.
- c. Koordinasi Rele Jarak (*Distance Relay*) Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV Gardu Induk Ungaran-BSB-Krapyak [3]. Penelitian ini menjelaskan *setting* koordinasi relai *distance* pada sistem transmisi GI Ungaran bay Krapyak, GI Ungaran bay BSB (Bumi Semarang Baru), dan GI BSB bay krapyak. Proses *Scanning* dan Penetapan nilai parameter (*setting*) relai jarak dengan menggunakan aplikasi *Mathcad*.

Adapun perbandingan dengan penelitian terdahulu dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 2. 1 Perbandingan Hasil Penelitian

Penulis /Komponen	M. Sugi Arto (2021)	Nadhira Benedicta (2021)	Mahyuddin Effendi (2017)	Ilham Aji Wibowo (2025)
Judul Penelitian	Perhitungan <i>Parameter Setting</i> Relai Jarak Menggunakan <i>Digsilent PowerFactory</i> Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 Kv GI New Tarahan - GI Sebalang - GI Kalianda	Analisis <i>Scanning Setting</i> Proteksi <i>Distance Relay</i> Pada Penghantar 150 kV Gardu Induk Garuda Sakti Ke Gardu Induk Balai Pungut	Koordinasi Rele Jarak (<i>Distance Relay</i>) Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV Gardu Induk Ungaran-BSB-Krapyak	Optimasi Keandalan Proteksi Relai <i>Distance</i> Pada Penghantar 150kV Sunyaragi – Jatigede (Penelitian yang sedang diajukan)
Objek Penelitian	SUTT 150kV New Tarahan-Sabalang, SUTT 150kV Sabalang-Kalianda	SUTT 150 kV Garuda Sakti-Balai Pungut	SUTT 150 kV Ungaran-BSB, SUTT 150 kV BSB-Krapyak	SUTT 150kV Sunyaragi-New Kadipaten, SUTT 150kV Sunyaragi-Jatigede, SUTT 150kV Jatigede-New Kadipaten, SUTT 150kV Jatigede-Rancaek, SUTT 150kV

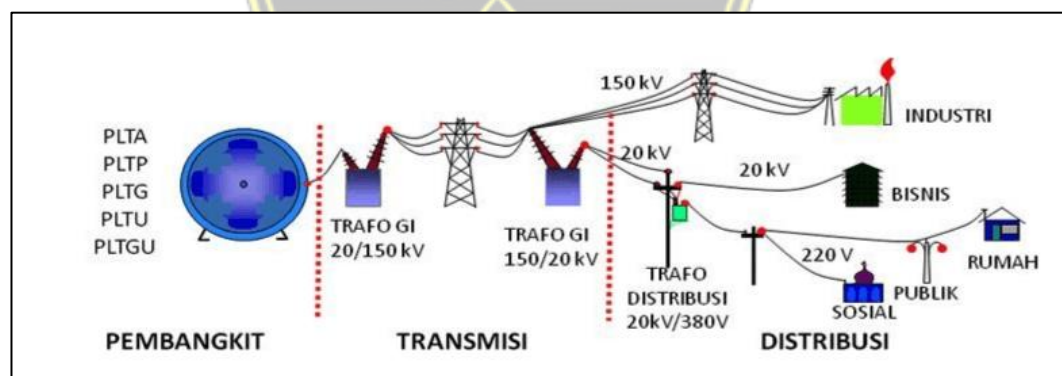
				Rancaekek-New Rancakasumba
Latar Belakang Penelitian	Scanning setting relai <i>distance</i> guna optimalisasi proteksi terhadap gangguan hubung singkat	Evaluasi <i>setting</i> relai <i>distance</i> pada standar SPLN No. 15 tahun 2014 dengan standar umum lainnya, yaitu IEEE C37.113.2015 dan NPAG Alstom	Evaluasi <i>setting</i> relai <i>distance</i> akibat perubahan nilai arus hubung singkat pada gardu induk	Evaluasi setting relai <i>distance</i> akibat rekonfigurasi penghantar dari SUTT 150kV Sunyaragi-New Kadipaten menjadi SUTT 150kV Sunyaragi- Jatigede
Standar Acuan	Buku Pedoman dan Petunjuk Sistem Proteksi Transmisi dan Gardu Induk Jawa Bali (2013)	IEEE C37.113.2015 dan NPAG Alstom	Buku Pedoman dan Petunjuk Sistem Proteksi Transmisi dan Gardu Induk Jawa Bali (2013)	Buku Pedoman dan Petunjuk Sistem Proteksi Transmisi dan Gardu Induk Jawa Bali (2013)
Software	DIGSILENT PowerFactory	DIGSILENT PowerFactory	Mathcad	DIGSILENT PowerFactory
Simulasi	Input setting impedansi relai untuk memperoleh peta setting relai <i>distance</i> berupa grafik impedansi dan waktu kerja relai, Merancang	Input setting impedansi relai untuk memperoleh peta setting relai <i>distance</i> berupa grafik impedansi dan waktu kerja relai, Merancang	Input setting impedansi relai untuk memperoleh peta setting relai <i>distance</i> berupa grafik impedansi dan waktu kerja relai.	Input setting impedansi relai untuk memperoleh peta setting relai <i>distance</i> berupa grafik impedansi dan waktu kerja relai, Merancang

	skenario gangguan hubung singkat 3 fasa dengan lokasi gangguan sejauh 40% dari panjang saluran.	skenario gangguan hubung singkat 3 fasa dengan lokasi gangguan sejauh 30-50% dari panjang saluran		skenario gangguan hubung singkat 3 fasa, 2 fasa, 2 fasa ke tanah dengan lokasi gangguan pada zona 1 sejauh 70%, zona 2 sejauh 110% dan zona 3 sejauh 190% dari panjang saluran.
--	--	--	--	---

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Sistem Tenaga listrik

Sistem tenaga listrik adalah suatu sistem yang terdiri dari beberapa pembangkit sebagai penghasil energi listrik yang dihubungkan dengan jaringan transmisi menuju Gardu Induk (GI) sebagai penggabungan energi listrik dari beberapa pembangkit sebelum akhirnya di distribusikan pada pusat-pusat beban melalui jaringan distribusi untuk sampai ke konsumen. Sistem tenaga listrik terdiri dari tiga bagian utama, yaitu pembangkit tenaga listrik, transmisi tenaga listrik dan distribusi tenaga listrik, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1[1].



Gambar 2. 1 Skema Sistem Tenaga Listrik [1]

2.2.2 Sistem Pembangkit listrik

Sistem pembangkit listrik adalah tempat energi listrik pertama kali dibangkitkan, dimana terdapat turbin sebagai penggerak mula dan generator yang membangkitkan listrik. Dipusat pembangkit listrik juga terdapat gardu induk. Peralatan utama pada gardu induk antara lain, *transformator step up* yang berfungsi untuk menaikkan tegangan generator menjadi tegangan transmisi serta peralatan pengaman dan pengatur. Jenis pembangkit listrik yang sering dijumpai di Indonesia antara lain PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Air), PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap), PLTB (Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi, PLTD (Pembangkit Listrik Tenaga Diesel) dan lain sebagainya [2].

2.2.3 Sistem Transmisi

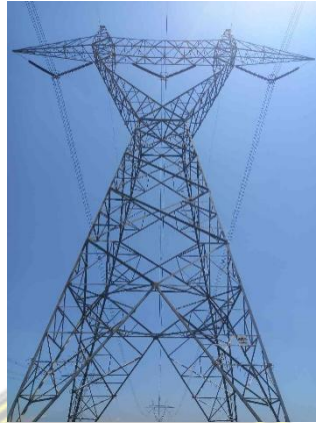
Sistem transmisi merupakan proses penyaluran tenaga listrik dari tempat pembangkit tenaga listrik menuju gardu induk ,yang kemudian di transmisikan ke jaringan distribusi. Standar tegangan pada sistem transmisi di Indonesia diklasifikasikan menjadi 2 yaitu TET (Tegangan Ekstra Tinggi) dan TT (Tegangan Tinggi). TET memiliki besaran tegangan 275 kV dan 500 kV sedangkan TT (Tegangan Tinggi) memiliki besaran tegangan 70 kV dan 150 kV. Tenaga listrik ditransmisikan melalui sebuah penghantar yang dapat dipasang di bawah tanah (*underground*) yang biasa disebut dengan saluran kabel maupun di atas tanah (*overload*) atau saluran udara. Pada transmisi saluran udara terdapat beberapa komponen pendukung yang penting salah satunya yaitu konduktor. Konduktor pada jaringan transmisi merupakan kawat telanjang yang digunakan sebagai media penyaluran tenaga listrik dari pembangkit listrik ke Gardu Induk atau dari Gardu Induk ke Gardu Induk lainnya, ada beberapa jenis konduktor yaitu yang berbahan tembaga dan alumunium, namun karena tembaga memiliki harga yang mahal maka dipilihlah konduktor berbahan alumunium [5].

Jenis Saluran Penghantar

a. Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) 275kV – 500kV

Sistem transmisi dengan SUTET 500 kV telah diterapkan di Indonesia yaitu di Jawa yang menginterkoneksi seluruh sistem-sistem pembangkit tenaga listrik yang ada. Sistem pengiriman daya listrik melalui jaringan

transmisi saluran udara tegangan ekstra tinggi (SUTET) memberikan berbagai keuntungan seperti pengiriman daya listrik lebih besar, kerugian daya bertambah kecil, keandalan tinggi, dan sebagainya. SUTET ditunjukkan pada Gambar 2.2 [5].



Gambar 2. 2 SUTET 500kV Mandirancan-Pemalang 2

b. Saluran Kabel Laut (*Submarine Line*) Tegangan Tinggi (SKLTT)

Merupakan inovasi dari PLN yang sedang dikaji baik keunggulan atau kekurangannya dan akan direalisasikan pada Jaringan Transmisi Jawa-Bali. Hal yang mendasarinya adalah PLTU yang berada di Jawa Timur mengalami *surplus* yang cukup besar sehingga *surplus* listrik tersebut dapat memperkuat pasokan listrik yang ada di Bali. Selain itu, biaya produksi listrik lebih efisien menggunakan PLTU di Jawa Timur karena telah memiliki keandalan pada Pembangkit dan Jaringannya. Dan mengingat bahwa Pulau Bali adalah destinasi wisata yang harus dijaga kebersihan udaranya sehingga kurang tepat apabila dibangun PLTU [5].

c. Saluran Kabel Tegangan Tinggi (SKTT)

Saluran kabel bawah tanah (*underground cable*) biasanya dipasang di kota-kota besar karena di kota-kota besar sangat susah mencari tempat untuk mendirikan tower. Hal ini juga mempertimbangkan keamanan dan keindahan estetika karena mengingat di kota-kota besar sangat padat maka keamanan sangat diutamakan serta keindahan tata kota sebagai pertimbangan saluran kabel tegangan tinggi ini dipasang di kota-kota besar [5].

d. Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 30 kV – 270kV

Saluran transmisi ini memiliki tegangan operasi antara 30 kV sampai 270 kV. Kapasitas daya yang dapat disalurkan oleh sirkuit bila menggunakan konduktor tunggal 5x60 MVA. Digunakan *bundle conductor* untuk meningkatkan kapasitas daya saluran transmisi. Untuk menjaga kontinuitas daya perlu digunakan saluran vertikal ganda, sehingga jika salah satu saluran terputus transmisi masih mampu menyalurkan daya dengan satu saluran yang lain. SUTT ditunjukkan pada Gambar 2.3 [5].



Gambar 2. 3 SUTT 70kV Kadipaten-Arjawinangun

Jenis-Jenis Konduktor Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT)

1. AAC (*All Aluminium Conductor*)

Yaitu kawat penghantar yang semua anggota *bundle*-nya atau keseluruhannya terbuat dari aluminium.



Gambar 2. 4 AAC (*All Aluminium Conductor*)

2. AAAC (*All-Aluminium-Alloy Conductor*)

Yaitu kawat penghantar yang terbuat dari aluminium campuran. Tidak murni aluminium seperti AAC. Namun kawat ini memiliki kekuatan Tarik yang lebih besar daripada aluminium murni.



Gambar 2. 5 AAAC (All-Alumunium-Alloy Conductor)

3. ACSR (Allumunium Conductor Steel Reinforced).

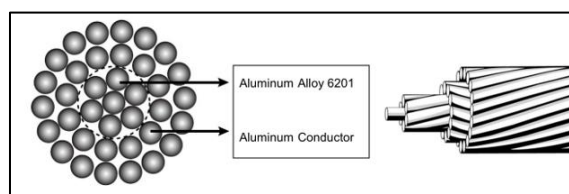
Yaitu kawat penghantar alumunium berinti kawat baja, Konduktor ini terdiri dari kawat murni ditambah dengan kawat baja yang berfungsi untuk menambah *tensile strength* atau kekuatan tarikan. ACSR merupakan jenis konduktor yang umum digunakan di Indonesia. Alumunium baik dalam menghantarkan listrik (konduktivitas tinggi), namun alumunium rapuh secara mekanik maka dari itu diperkuat oleh baja pada inti agar mekanik fisik pada konduktor itu kuat. Sehingga konduktor dengan jenis ini memiliki sifat konduktivitas tinggi, kekuatan tarik mekanikal tinggi, ringan, murah, dan tidak mudah patah. Namun dengan adanya kawat baja ini kemungkinan terjadinya korosi semakin tinggi.



Gambar 2. 6 ACSR (Allumunium Conductor Steel Reinforced)

4. ACAR (Alumunium Conductor, Alloy-Reinforced)

Yaitu konduktor yang tersusun oleh kawat alumunium dibagian luar dan penguat *stranded alloy* alumunium yang tersusun dari Al-Mg-Si pada bagian inti atau *core*.



Gambar 2. 7 ACAR (Alumunium Conductor, Alloy-Reinforced)

Perbandingan spesifikasi utama dari jenis konduktor listrik *AAC*, *AAAC*, *ACSR*, dan *ACAR* dijelaskan pada tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Spesifikasi Konduktor Pada SUTT

Jenis Konduktor	AAC	AAAC	ACSR	ACAR
Material	Aluminium murni (EC Grade)	Paduan aluminium (6201-T81)	Aluminium dengan inti baja	Aluminium + paduan aluminium
Kekuatan Tarik	Rendah	Lebih tinggi dari AAC	Sangat tinggi	Lebih tinggi dari AAC & AAAC
Konduktivitas	Sangat tinggi (~61% IACS)	Sedikit lebih rendah (~52–53% IACS)	Relatif lebih rendah (~52–53% IACS)	Sedikit lebih tinggi (~55% IACS)
Berat	Ringan	Lebih ringan	Lebih berat	Berat sedang
Ketahanan Korosi	Baik	Sangat baik	Cukup (inti baja rentan korosi)	Baik
Aplikasi Umum	Distribusi listrik di area perkotaan	Distribusi dan transmisi menengah	Transmisi jarak jauh dan aplikasi beban tinggi	Transmisi dengan kombinasi kekuatan dan efisiensi

2.2.4 Gangguan Hubung Singkat

Hubung singkat merupakan suatu peristiwa yang terjadi secara abnormal (termasuk busur api) pada impedansi yang nilainya relatif lebih rendah dan terjadi secara langsung antara dua titik yang mempunyai nilai beda potensial yang berbeda. Istilah gangguan hubung singkat digunakan untuk menjelaskan suatu permasalahan yang digunakan untuk mengetahui hubungan singkat. Untuk mengatasi gangguan

tersebut, perlunya melakukan analisis hubung singkat sehingga sistem proteksi yang akan dipasang sesuai dengan sistem tenaga listrik yang akan ditentukan [3].

Adapun tujuan analisis hubung singkat, yaitu:

1. Untuk menentukan nilai arus maksimum dan minimum hubung singkat.
2. Untuk menentukan nilai arus gangguan tak simetris bagi gangguan satu dan dua fasa ke tanah, gangguan fasa ke fasa, dan rangkaian terbuka
3. Penyelidikan operasi relai proteksi
4. Untuk menentukan kapasitas pemutus dari *circuit breaker*
5. Untuk menentukan penyaluran arus gangguan dan tingkat tegangan busbar selama terjadinya gangguan

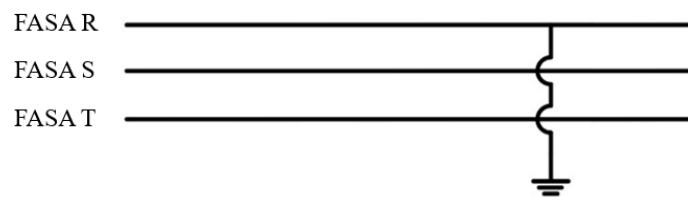
Gangguan terdiri dari gangguan temporer atau permanen. Gangguan permanen merupakan gangguan yang dapat menyebabkan kerusakan permanen pada sistem. Pada sistem saluran bawah tanah mayoritas gangguan yang terjadi adalah gangguan permanen. Gangguan permanen hampir semuanya menyebabkan pemutusan gangguan pada setiap konsumen. Untuk melindungi jaringan dari gangguan dapat menggunakan *fuse*, *recloser* atau *CB* [1]. Sedangkan gangguan temporer merupakan gangguan yang berlangsung singkat dan sesaat serta tidak menimbulkan kerusakan fisik. Gangguan ini bersifat tidak permanen dan dapat disebabkan oleh faktor eksternal atau kondisi sementara yang mempengaruhi aliran listrik. Penyebab umum gangguan temporer pada saluran transmisi adalah sambaran petir, pepohonan, burung dan lainnya [3].

Berdasarkan pada kesimetrisannya, gangguan terdiri dari gangguan simetris dan asimetris. Gangguan simetris adalah gangguan yang terjadi pada setiap fasanya sehingga tegangan dan arus pada setiap fasanya mempunyai nilai yang sama, yaitu hubung singkat tiga fasa ke tanah dan hubung singkat tiga fasa. Sedangkan gangguan asimetris yaitu gangguan yang terjadi pada setiap fasanya tidak seimbang, yaitu gangguan dua hubung singkat, satu fasa ke tanah, dan dua fasa ke tanah. Adapun rumus gangguan hubung singkat [1]

$$I = \frac{V}{Z} \quad (2.1)$$

- a. Gangguan Hubung Singkat 1 fasa ke tanah

Gangguan ini terjadi ketika salah satu fasa dari sistem tenaga listrik terhubung singkat dengan tanah.



Gambar 2. 8 Gangguan Satu Fasa ke Tanah [1]

$$I_b = 0$$

$$I_c = 0$$

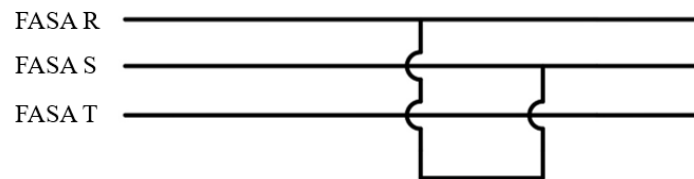
$$V_a = 0$$

Dimana besar arus gangguan sebagai berikut :

$$I_a = \frac{V_f}{Z_0 + Z_1 + Z_2} \quad (2.2)$$

b. Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa

Peristiwa hubung singkat terjadi ketika dua buah fasa dari sistem tenaga listrik terhubung singkat.



Gambar 2. 9 Gangguan Antar Fasa [1]

$$I_a = 0$$

$$I_b = -I_c$$

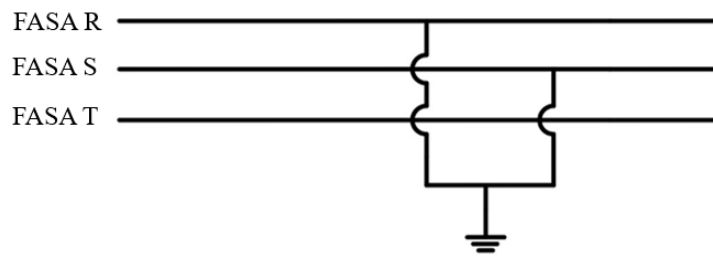
$$V_b = V_c$$

Sehingga besar arus gangguan :

$$I_b = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2} \quad (2.3)$$

c. Gangguan dua fasa ke tanah

Terjadi ketika dua buah fasa dari sistem tenaga listrik terhubung singkat dengan tanah.



Gambar 2. 10 Gangguan Dua Fasa ke Tanah [1]

$$I_a = 0$$

$$V_a = 0$$

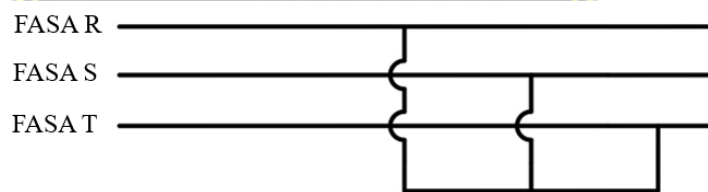
$$V_b = 0$$

Adapun besar arus gangguannya adalah :

$$I_b = \frac{V_f}{Z_0 + \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2}} \quad (2.4)$$

d. Gangguan Tiga Fasa

Gangguan tiga fasa sering kali bersifat simetris, artinya gangguan terjadi pada ketiga fasa dengan beban yang serupa. Penyebab gangguan ini antara lain surja petir yang menyambar ketiga kawat fasa ataupun pohon yang mengenai kawat fasa. Gangguan ini merupakan gangguan yang paling besar dari gangguan-gangguan di atas [2].



Gambar 2. 11 Gangguan Tiga Fasa [2]

$$I_{3fasa} = \frac{V_f}{Z_1} \quad (2.5)$$

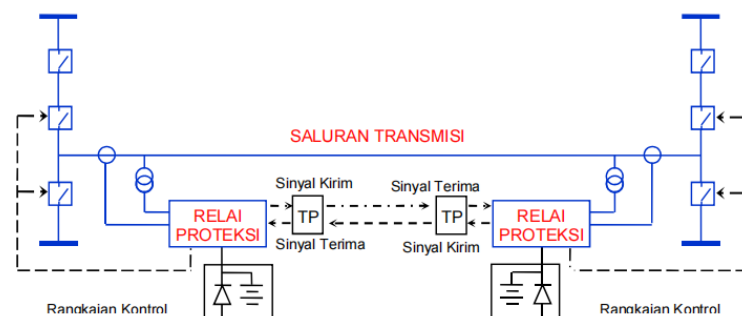
Dimana :

V_f = Tegangan di titik gangguan sebelum terjadinya gangguan (Volt)

Z_1 = Impedansi titik positif dilihat dari titik gangguan (Ohm)

2.2.5 Sistem Proteksi Penghantar

Sistem proteksi bay penghantar adalah suatu sistem yang berfungsi untuk mengamankan/mengisolir penghantar (saluran udara/saluran kabel) tegangan tinggi atau tegangan ekstra tinggi dari gangguan temporer dan gangguan permanen yang terjadi pada penghantar tersebut. Secara umum, bagian dari sistem proteksi penghantar dapat digambarkan pada Gambar 2.8 dan Gambar 2.9 sebagai berikut [4].



Gambar 2. 12 Tipikal Komponen Sistem Proteksi SUTET [4]

Komponen sistem proteksi terdiri dari transformator arus (CT), transformator tegangan (PT/CVT), relai proteksi, pemutus tenaga (PMT), catudaya rangkaian pengawatannya (*wiring*) dan teleproteksi [4].



Gambar 2. 13 Tipikal Komponen Sistem Proteksi SUTT [4]

Daerah kerja proteksi bay penghantar adalah daerah di antara 2 (dua) atau lebih CT pada gardu-gardu induk berhadapan yang disebut sebagai unit proteksi penghantar. Relai proteksi mempunyai bagian-bagian utama sebagai terlihat pada Gambar 2.8 berikut [6].



Gambar 2. 14 Komponen Utama Relai Proteksi [6]

Kriteria Pemilihan Relai Proteksi

Ada beberapa pertimbangan yang harus diperhatikan pada saat pemilihan relai proteksi untuk menjamin kelangsungan kerja dan kontinuitas penyaluran tenaga listrik, yaitu:

1. *Sensitivity* (Sensitifitas)

Sensitifitas adalah kepekaan rele proteksi terhadap segala macam gangguan dengan tepat yakni gangguan yang terjadi di daerah perlingkungannya. Kepekaan suatu sistem proteksi ditentukan oleh nilai terkecil dari besaran penggerak saat peralatan proteksi mulai beroperasi. Nilai terkecil besaran penggerak berhubungan dengan nilai minimum arus gangguan dalam daerah yang dilindunginya[22].

2. *Speed* (Kecepatan)

Sistem proteksi perlu memiliki tingkat kecepatan sebagaimana ditentukan sehingga meningkatkan mutu pelayanan, keamanan manusia, peralatan dan stabilitas operasi. Mengingat suatu sistem tenaga mempunyai batas-batas stabilitas serta kadang-kadang gangguan sistem bersifat sementara, maka relai yang semestinya bereaksi dengan cepat. Namun pada sistem proteksi cadangan kerjanya perlu diperlambat (*time delay*) [24].

3. *Selectivity* (Selektifitas)

Selektif berarti suatu sistem proteksi harus dapat memilih bagian sistem yang harus diisolir apabila rele proteksi mendeteksi gangguan. Bagian yang dipisahkan dari sistem yang sehat sebisanya adalah bagian yang terganggu saja [8]. Diskriminatif berarti suatu sistem proteksi harus mampu membedakan antara kondisi normal dan kondisi abnormal. Ataupun membedakan apakah

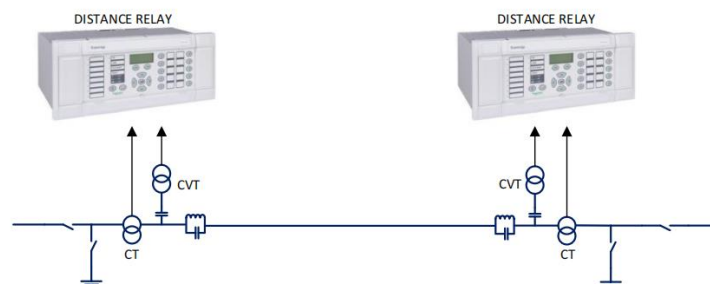
kondisi abnormal tersebut terjadi di dalam atau di luar daerah proteksinya. Dengan demikian, segala tindakannya akan tepat dan akibatnya gangguan dapat dieliminir menjadi sekecil mungkin [17].

4. *Reliability* (Keandalan)

Relay hanya dapat bekerja pada saat terjadi gangguan (tidak boleh gagal) atau tidak salah bekerja sehingga dapat menghindari terjadinya pemadaman total dan kerusakan pada peralatan listrik [23].

2.2.6 Relai Distance

Distance relay adalah salah satu jenis proteksi penghantar yang bekerja berdasarkan perbandingan nilai impedansi. *Distance relay* akan bekerja bila impedansi yang diukur dari besaran arus CT dan tegangan PT/CVT lebih kecil dari impedansi setelan. Selain sebagai proteksi utama penghantar, relai ini juga berfungsi sebagai proteksi cadangan jauh terhadap proteksi utama penghantar di depannya [7].



Gambar 2. 15 Diagram Skematik Relai Distance [4]

2.2.7 Penentuan Zona Pengaman Pada Relay *Distance*

Formula perhitungan impedansi yang digunakan dalam analisis ini dijelaskan dalam Buku Pedoman dan Petunjuk Sistem Proteksi Transmisi dan Gardu Induk Jawa Bali (2013). Dengan penentuan zona pengaman pada relay distance sebagai berikut :

1. Impedansi Saluran

Impedansi total saluran merupakan jumlah atau gabungan dari semua elemen impedansi dalam saluran tersebut yaitu kombinasi dari resistansi (R)

dan reaktansi (X) yang dipengaruhi oleh panjang saluran. Untuk menentukan impedansi total saluran, maka digunakan persamaan (2.6) [10].

$$Z_L = Z_1 \times \ell \quad (2.6)$$

dengan

Z_L : Impedansi total saluran (Ω)

Z_1 : Impedansi urutan positif saluran (Ω)

ℓ : Panjang saluran (km)

2. Menentukan Impedansi Transformator

Dipilih impedansi terkecil pada Gardu Induk yang terhubung pada saluran

1. Impedansi trafo dalam satuan per-unit (Z_{pu}) yang tertera pada nameplate dikonversi menjadi impedansi dalam satuan ohm dengan persamaan (2.7) [9].

$$X_T = \frac{z_{pu}}{100} \cdot \frac{V_{base}^2}{S_{base}} \quad (2.7)$$

dengan

X_T : Impedansi Trafo (Ω)

Z_{pu} : impedansi dalam satuan per-unit (pu)

V_{base} : Tegangan dasar (kV)

S_{base} : Daya dasar (MVA)

3. Proteksi Utama (Zona 1)

Sebagai proteksi utama, jangkauan zona 1 harus mencakup seluruh saluran yang diproteksi. Namun dengan mempertimbangkan adanya kesalahan-kesalahan dari data konstanta saluran, CT, PT dan peralatan-peralatan lainnya sebesar 20 %, maka zone-1 relai diset 80 % dari panjang saluran yang diamankan [10]. Untuk menghitung impedansi zona 1, dapat dituliskan sebagai berikut :

$$Z_1 = 0,8 \times Z_{L1} \quad (2.8)$$

dengan

Z_1 : Jangkauan proteksi pada zona 1 (Ω)

Z_{L1} : Impedansi saluran 1 yang diamankan (Ω)

4. Proteksi Cadangan Jauh Zona 2

Jangkauan zona 2 harus mencakup hingga busbar di depannya (near end bus) namun tidak boleh *overlap* dengan zona 2 relai jarak di seksi berikutnya. Dengan mengasumsikan kesalahan-kesalahan seperti pada *setting* zona 1 sekitar 20%, maka didapat penyetingan minimum dan maksimum untuk zona 2 sebagai berikut [10] :

$$Z_{2min} = 1,2 \times Z_{L1} \quad (2.9)$$

dengan

Z_{2min} : Setting impedansi zona 2 minimum (Ω)

Z_{L1} : Impedansi saluran yang diamankan (Ω)

$$Z_{2max} = 0,8 (Z_{L1} + 0,5 \cdot Z_{L2}) \quad (2.10)$$

dengan

Z_{2max} : Setting impedansi zona 2 maksimum (Ω)

Z_{L1} : Impedansi saluran yang diamankan (Ω)

Z_{L2} : Impedansi saluran berikutnya yang terkecil (Ω)

$$Z_{trf2} = 0,8 \cdot (Z_{L1} + 0,5 \cdot X_{T'}) \quad (2.11)$$

dengan

Z_{trf2} : Setting impedansi zona 2 dengan batasan impedansi transformator GI di depannya (Ω)

Z_{L1} : Impedansi saluran yang diamankan (Ω)

$X_{T'}$: Impedansi trafo terkecil (Ω)

Dipilih yang terbesar antara Z_{2min} dan Z_{2max} namun tidak melebihi Z_{trf2}

$$Z_{21max} = Z_{2max} \cdot (|Z_{2max}| > |Z_{2min}|) + Z_{2min} \cdot (|Z_{2min}| > |Z_{2max}|)$$

$$Z_{22max} = Z_{21max} \cdot (|Z_{21max}| < |Z_{trf2}|) + Z_{trf2} \cdot (|Z_{trf2}| < |Z_{21max}|)$$

5. Proteksi Cadangan Jauh Zona 3

Jangkauan zone-3 harus mencakup dua busbar GI didepannya yang terjauh (far end bus) sehingga diperoleh penyetingan zone-3 sebagai berikut [10]:

$$Z_{3min} = 1,2 (Z_{L1} + Z_{L2}) \quad (2.12)$$

dengan

Z_{3min} : Setting impedansi zona 3 minimum (Ω)

Z_{L1} : Impedansi saluran yang diamankan (Ω)

Z_{L2} : Impedansi saluran berikutnya yang terkecil (Ω)

$$Z_{3max1} = 0,8 [Z_{L1} + (1,2 \cdot Z_{L3})] \quad (2.13)$$

dengan

Z_{3max1} : Setting impedansi zona 3 maksimum 1 (Ω)

Z_{L1} : Impedansi saluran yang diamankan (Ω)

Z_{L3} : Impedansi saluran berikutnya yang terbesar (Ω)

$$Z_{3max2} = 0,8 [Z_{L1} + [0,8 \cdot (Z_{L3} + 0,8 \cdot Z_{L4})]] \quad (2.14)$$

dengan

Z_{3max2} : Setting impedansi zona 3 maksimum 2 (Ω)

Z_{L1} : Impedansi saluran yang diamankan (Ω)

Z_{L3} : Impedansi saluran berikutnya yang terbesar (Ω)

Z_{L4} : Impedansi saluran dari far end bus yang terkecil (Ω)

$$Z_{trf3} = 0,8 \cdot (Z_{L1} + 0,8 \cdot X_{T'}) \quad (2.15)$$

dengan

$X_{T'}$: Impedansi trafo terkecil (Ω)

Z_{L1} : Impedansi saluran yang diamankan (Ω)

Z_{trf3} : Setting impedansi zona 3 dengan batasan impedansi transformator GI di depannya

Dipilih yang terbesar antara Z_{3min} , Z_{3mak1} dan Z_{3mak2} namun tidak lebih dari Z_{trf3}

$$Z_{31} = Z_{3max1} \cdot (|Z_{3max1}| > |Z_{3max2}|) + Z_{3max2} \cdot (|Z_{3max2}| > |Z_{3max1}|)$$

$$Z_{32} = Z_{31} \cdot (|Z_{31}| > |Z_{3min}|) + Z_{3min} \cdot (|Z_{3min}| > |Z_{31}|)$$

$$Z_{3P} = Z_{trf3} \cdot (|Z_{32}| > |Z_{trf3}|) + Z_{32} \cdot (|Z_{trf3}| > |Z_{32}|)$$

6. Setting Waktu Operasi Zona 1

Zona 1, Penyetelan waktu untuk daerah proteksi ini (t_1) umumnya instan dengan penyetelan waktu adalah nol [8].

$$T_1 = 0 \text{ detik}$$

7. Setting Waktu Operasi Zona 2

Zona 2 memiliki waktu tunda (*delayed trip*) tergantung pada koordinasi dengan proteksi saluran lainnya. Waktu ini bertujuan untuk memberikan kesempatan bagi relai Zona 1 (yang bekerja lebih cepat, yaitu 0 detik) untuk membersihkan gangguan sebelum Zona 2 bekerja. Untuk menghitung waktu kerja zona 2, dapat dituliskan sebagai berikut [10]:

$$Z_{2b} = Z_{L1} + (0,8 \cdot Z_{L2}) \quad (2.16)$$

dengan

Z_{2b} : Setting impedansi zona 1 pada saluran berikutnya yang terkecil (Ω)

Z_{L2} : Impedansi saluran berikutnya yang terkecil (Ω)

Jika setting impedansi zona 2 melebihi impedansi zona 1 GI depannya (Z_{2b}) maka waktu kerja akan berhimpitan, sehingga $T_2 = 0.8$ detik dan jika tidak $T_2 = 0.4$ detik.

8. Setting Waktu Operasi Zona 3

Zone-3 memiliki seting waktu 1.6 detik. Pemilihan 1.6 detik agar melebihi waktu *pole discrepancy* 1.5 detik dan DEF backup [10].

$$T_3 = 1,6 \text{ detik}$$

2.2.8 Margin Keamanan Impedansi Zone Relay Distance

Margin keamanan adalah toleransi yang diberikan pada *setting* relai *distance* untuk memastikan bahwa perangkat tidak salah melakukan trip atau pemutusan (*misoperation*) dalam kondisi yang tidak seharusnya. Tujuannya adalah untuk menghindari gangguan palsu atau kesalahan deteksi yang bisa merusak sistem, sekaligus memberikan perlindungan yang memadai terhadap gangguan nyata [6].

Margin keamanan relai *distance* berdasarkan dalam Modul Pedoman dan Petunjuk Sistem Proteksi Transmisi dan Gardu Induk Jawa Bali (2013) ditentukan sebesar 20% dengan mempertimbangkan adanya kesalahan-kesalahan dari data

konstanta saluran, CT, PT dan peralatan-peralatan lainnya maka *zone-1* relai diset 80% dari panjang saluran yang diamankan. Dan pada *zone-2* dan *zone-3* pada setting relai dikalikan dengan konstanta 0,8 [10].

2.2.9 Data Rasio CT dan PT

Setelah ditentukan *setting* impedansi relai *distance* dengan persamaan (2.8) – (2.15) maka diperoleh nilai impedansi di sistem tenaga (primer), untuk mengubahnya menjadi impedansi sekunder dihitung dengan perkalian rasio CT dan VT pada persamaan berikut [18] :

$$n = \frac{CT_P \times VT_S}{CT_S \times VT_P} \quad (2.17)$$

dengan

n : Rasio CT dan VT

CT_P : Rasio CT Primer

CT_S : Rasio CT Sekunder

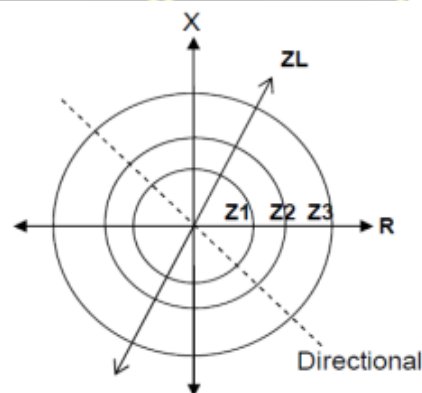
VT_P : Rasio VT Primer

VT_S : Rasio VT Sekunder

2.2.10 Karakteristik Relai *Distance* Berdasarkan Sistem Kerjanya

1. Relai jarak jenis impedansi

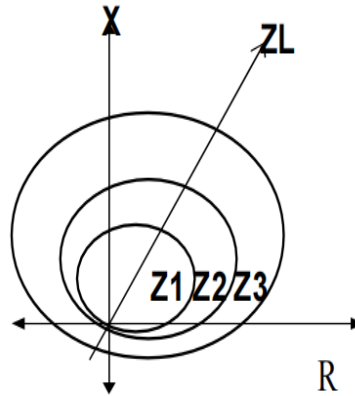
yaitu relai jarak yang berbentuk lingkaran dengan titik pusatnya yang berada ditengah-tengah. Sehingga relai ini tidak memiliki arah (*non directional*) [17].



Gambar 2. 16 Karakteristik Relai Impedansi dengan Diagram R – X [17]

2. Relai jarak jenis *Mho*

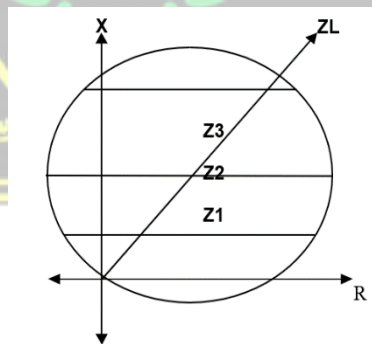
Karakteristik relai *Mho* merupakan suatu lingkaran yang melalui titik pusat. Relai jarak jenis *Mho* tidak perlu ditambahkan lagi relai arah karena relai telah berarah [19].



Gambar 2. 17 Karakteristik Relai Jarak Mho [19]

3. Relai jarak Jenis reaktansi

Karakteristik reaktansi adalah Mempunyai sifat non directional. Untuk aplikasi di SUTT (saluran udara tegangan tinggi) perlu di tambah relai directional. Relai ini hanya mengukur komponen reaktif dari impedansi jaringan [20].

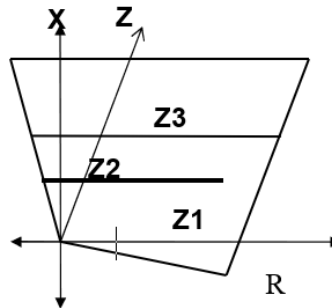


Gambar 2. 18 Karakteristik Relai Jarak Jenis Reaktansi [20]

4. Relai jarak Jenis quadrilateral

Karakteristik quadrilateral adalah kombinasi dari 3 macam komponen yaitu Reaktansi, berarah, resistif. Dengan setting jangkauan resitif cukup besar maka karakteristik relai quadrilateral dapat mengantisipasi gangguan

tanah dengan tahanan tinggi. Biasanya relai jenis quadrilateral digunakan untuk gangguan yang terjadi dengan nilai yang besar [21].



Gambar 2. 19 Karakteristik Relai Jarak Jenis Quadrilateral [21]

2.2.11 DIgSILENT PowerFactory

Program perhitungan DIgSILENT PowerFactory, adalah *engineering tool* yang berguna untuk melakukan analisis transmisi, distribusi, dan sistem tenaga listrik industri. *Software* ini telah dirancang sebagai perangkat lunak terintegrasi dan interaktif yang canggih dan aplikasi ini didedikasikan untuk sistem dan kontrol tenaga listrik analisis untuk mencapai tujuan utama yaitu perencanaan dan optimalisasi operasi [2].

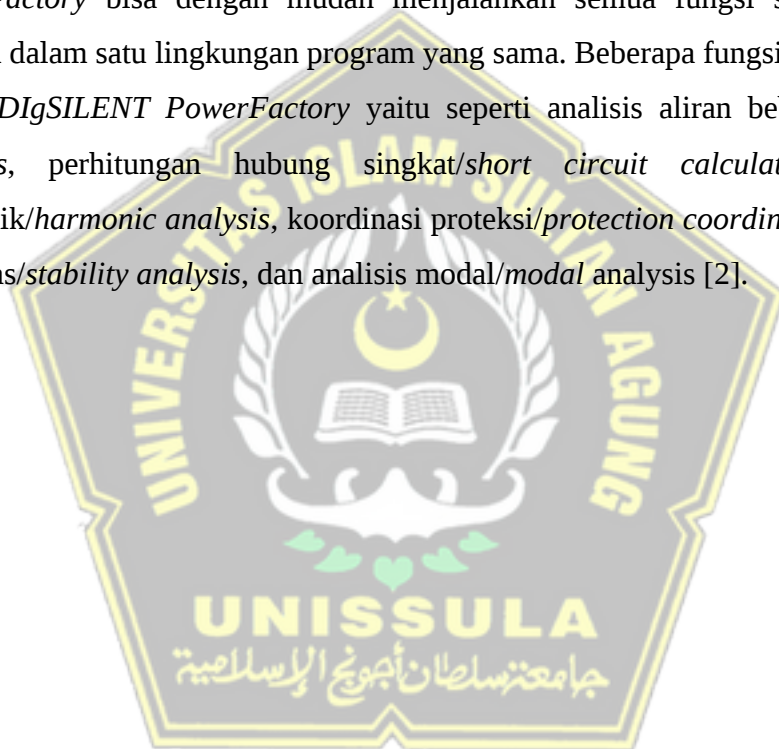
DIgSILENT adalah singkatan dari “***D*igital *S*imuLation of *E*lectrical *N*eTworks””. *PowerFactory* dirancang dan dikembangkan oleh insinyur dan *programmer* yang berkualifikasi selama bertahun-tahun dalam analisis sistem tenaga listrik dan pemrograman komputer. Akurasi dan validitas hasil yang diperoleh dengan *PowerFactory* telah dikonfirmasi dalam banyak implementasi oleh organisasi yang terlibat didalam perencanaan dan pengoperasian sistem tenaga di seluruh dunia [2].**

Untuk memenuhi persyaratan dalam menganalisis sistem daya, *PowerFactory* dirancang sebagai *engineering tool* yang terintegrasi dan menyediakan rangkaian yang lengkap dengan fungsi-fungsi analisis sistem tenaga yang tersedia dalam satu program yang dapat dieksekusi. Berikut adalah fitur utama dari *software DIgSILENT PowerFactory* meliputi [2]:

1. Fungsi inti *PowerFactory*: definisi, modifikasi, dan organisasi kasus, rutinitas inti numerik, fungsi *output* dan dokumentasi.
2. Grafik garis tunggal interaktif dan data penanganan kasus yang terintegrasi.

3. Elemen sistem tenaga yang berbasis data dari kasus-kasus dasar.
4. Fungsi kalkulasi terintegrasi (misalnya kalkulasi parameter garis dan mesin yang berdasarkan informasi geometri atau papan nama/*nameplate*).
5. Konfigurasi jaringan sistem tenaga yang terhubung dengan SCADA interaktif atau *on-line*.
6. *Interface* umum untuk sistem pemetaan berbasis komputer.

Dan hanya dari penggunaan database tunggal, dengan semua data yang dibutuhkan untuk semua peralatan dari dalam sistem tenaga (misalnya data saluran, data generator, data proteksi, data harmonik, data pengontrol), artinya *PowerFactory* bisa dengan mudah menjalankan semua fungsi simulasi yang tersedia dalam satu lingkungan program yang sama. Beberapa fungsi yang tersedia dalam *DIgSILENT PowerFactory* yaitu seperti analisis aliran beban/*load flow analysis*, perhitungan hubung singkat/*short circuit calculation*, analisis harmonik/*harmonic analysis*, koordinasi proteksi/*protection coordination*, analisis stabilitas/*stability analysis*, dan analisis modal/*modal analysis* [2].

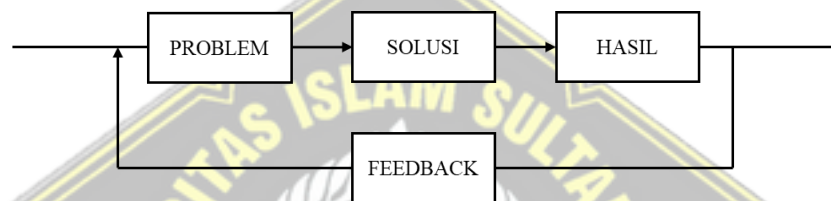


BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Sistem Model Penelitian

Penelitian tindakan (action research) merupakan penelitian pada upaya pemecahan masalah atau perbaikan yang dirancang menggunakan metode penelitian tindakan (calssroom action research) yang bersifat reflektif dan kolaboratif. Prosedur pelaksanaan penelitian tindakan berupa suatu siklus atau daur ulang untuk spiral (aspiral of steps) yang setiap langkahnya terdiri dari empat tahap, yaitu perencanaan, tindakan, observasi dan refleksi menurut Kemmis dan Taggart.



Gambar 3. 1 Flowchart Penelitian

a. Identifikasi Problem

Problem pada penelitian ini yaitu perubahan konfigurasi penghantar yang semula SUTT 150kV Sunyaragi-New Kadipaten menjadi SUTT 150kV Sunyaragi-Jatigede menyebabkan perubahan pada komponen impedansi urutan serta panjang saluran yang memicu malfungsi relai *distance*.

b. Solusi

Dilakukan evaluasi *setting* relai *distance* dengan standar yang ditetapkan pada Buku Pedoman dan Petunjuk Sistem Proteksi Transmisi dan Gardu Induk Jawa Bali (2013). Parameter *setting* yang telah dihitung kemudian di simulasikan menggunakan *software* DigSilent PowerFactory untuk memperoleh grafik impedansi dan waktu kerja serta dilakukan simulasi gangguan hubung singkat dengan skenario gangguan yang bervariasi.

c. Hasil

Hasil dari simulasi pada *software* DIgSILENT PowerFactory adalah peta setting relai *distance* berupa grafik impedansi dan waktu kerja relai *distance* (*Time Distance Diagram*) serta analisis gangguan hubung singkat (*short circuit analysis*) yang direpresentasikan dalam R-X diagram dengan karakteristik relai mho.

d. Feedback

Setelah melakukan tindakan dan pengamatan peneliti melakukan feedback mencakup analisa dan penilaian. Analisa hasil simulasi yang sudah dilakukan yaitu memastikan bahwa koordinasi relai *distance* SUTT 150kV Sunyaragi-Jatigede dengan relai *distance* yang berada pada penghantar berikutnya sudah sesuai dan tidak terjadi overlap serta relai *distance* bekerja secara optimal saat terjadi gangguan pada zona 1, zona 2 dan zona 3. Dari hasil feedback kemungkinan muncul permasalahan yang perlu mendapat perhatian, sehingga perlu melakukan perencanaan ulang, tindakan ulang, pengamatan ulang dan juga refleksi ulang. Tahapan ini akan dilakukan berulang dan berkelanjutan sampai permasalahan sudah bisa datasi dengan siklus, rencana, tindakan, observasi, dan refleksi.

3.2 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di PT.PLN (Persero) ULTG Cirebon Gardu Induk 150kV Sunyaragi yang terletak di Jl. Brigjen Darsono, Kelurahan Sunyaragi, Kecamatan Kesambi, Kota Cirebon, Provinsi Jawa Barat. Gardu Induk 150kV Sunyaragi memiliki 7 unit bay *transformator* dan 8 bay penghantar. Adapun alasan pemilihan lokasi adalah adanya perubahan subsistem yang semula Penghantar 150kV Sunyaragi – New Kadipaten berubah arah menjadi Penghantar 150kV Sunyaragi – Jatigede dalam rangka menciptakan sistem penyaluran yang saling terintegrasi. Sehingga perlu dilakukan evaluasi *setting* relai *distance* sesuai dengan impedansi saluran dan panjang saluran setelah rekonfigurasi penghantar agar relai dapat bekerja selektif dan handal.

3.3 Studi Literatur

Dalam studi literatur melakukan pengumpulan sejumlah sumber referensi, terkait jurnal penelitian sebelumnya dan laporan penelitian sebelumnya sebagaimana dijelaskan pada Tinjauan Pustaka Bab 2 serta buku Buku Pedoman dan Petunjuk Sistem Proteksi Transmisi dan Gardu Induk Jawa Bali (2013). Pada jurnal terkait akan dilakukan analisa mengenai teori yang dipakai dan metode apa yang diterapkan. Sedangkan pada buku akan diambil teori pendukung dan nilai acuan standar dalam penelitian.

3.4 Prosedur Penelitian

Adapun prosedur penelitian ini terdiri dari langkah-langkah dalam melakukan penelitian, yaitu sebagai berikut:

1. Identifikasi masalah

Masalah yang diangkat dalam penelitian ini adalah evaluasi kinerja proteksi *distance relay* pada penghantar 150 kV Sunyaragi – Jatigede akibat adanya perubahan konfigurasi dengan pendekatan simulasi gangguan hubung singkat 3 fasa.

Konsekuensi teknis terjadi jika setting relai tidak diperbarui setelah rekonfigurasi adalah :

a. Pemutusan yang Tidak Selektif yaitu,

di mana relai memutuskan lebih banyak saluran atau bagian sistem yang tidak terpengaruh oleh gangguan. salah satu dampak paling umum adalah *overreach*/tumpang tindih *setting relay distance*. Ketika dua relai proteksi mengatur area proteksi yang tumpang tindih, keduanya bisa mendeteksi gangguan yang sama dan memutuskan saluran atau peralatan secara bersamaan, meskipun gangguan hanya terjadi pada satu bagian saluran.

b. Keterlambatan Waktu Trip (*Time Delay*),

Setting waktu trip terlalu lama, terjadi apabila relai tidak diprogram untuk merespons gangguan dalam waktu yang cukup cepat (misalnya pengaturan waktu trip yang lebih panjang), gangguan dekat mungkin tidak akan diputus segera. Hal ini bisa menyebabkan kerusakan peralatan atau

kerusakan saluran transmisi, karena arus gangguan yang lebih tinggi dapat merusak isolasi atau komponen sistem lainnya.

Setting waktu trip terlalu cepat, terjadi apabila pengaturan relai terlalu sensitif, relai mungkin akan memutuskan saluran terlalu cepat meskipun gangguan hanya terjadi pada saluran yang lebih jauh dari sumber gangguan. Ini akan menyebabkan false yang mengurangi keandalan sistem.

c. Trip Tak Terkendali (*False Trip*)

False trip terjadi ketika relai mendeteksi gangguan yang sebenarnya tidak ada atau sangat kecil. Salah pengaturan pada nilai impedansi atau kurva waktu relai dapat menyebabkan trip yang tidak sesuai dengan kenyataan.

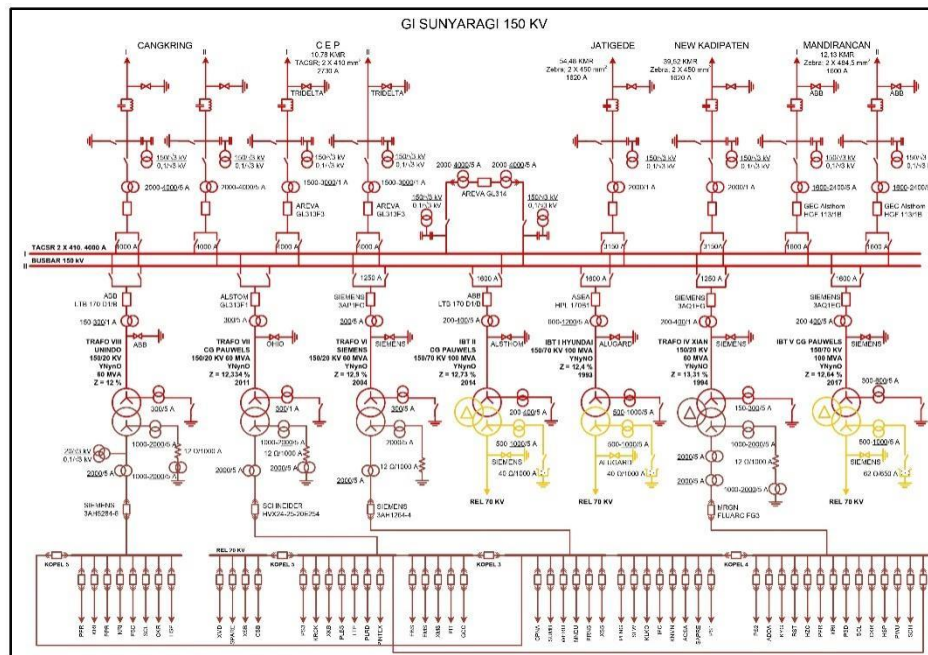
Contoh: Pengaturan relai *distance* yang tidak sesuai dengan panjang saluran atau jenis konduktor dapat membuat relai terlalu peka terhadap gangguan kecil atau bahkan perubahan arus normal yang tidak berbahaya. Hal ini bisa menyebabkan pemutusan saluran yang tidak diperlukan, mengganggu operasi sistem dan menyebabkan kerugian finansial akibat *downtime* dan proses pemulihan.

3.5 Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data milik PT. PLN (Persero) Unit Layanan Transmisi dan Gardu Induk (ULTG) Cirebon dan pihak Gardu Induk Sunyaragi. Adapun data-data yang dibutuhkan dalam penelitian adalah *single line diagram*, data impedansi saluran, data penghantar, data rasio CT dan PT, dan data *setting distance relay*. Rincian data yang diperoleh adalah sebagai berikut:

1. *Single Line Diagram*

Single Line Diagram (SLD) di bawah merupakan milik PT. PLN Persero UPT Cirebon ULTG Cirebon Gardu Induk 150kV Sunyaragi. Gambar *SLD* di bawah merupakan gambaran keseluruhan rangkaian dan konfigurasi jaringan Gardu Induk Sunyaragi. Data ini diperlukan sebagai acuan dalam membuat angkaian dan konfigurasi jaringan pada *software* DIGSILENT PowerFactory.



Gambar 3. 2 Single Line Diagram GI 150kV Sunyaragi

2. Data Penghantar

Data penghantar yang diambil dan data dibutuhkan pada penelitian ini adalah panjang penghantar, tipe konduktor dan Kapasitas Arus / *Current Carrying Capacity*. Berikut data penghantar 150kV Sunyaragi – New Kadipaten, penghantar 150kV Sunyaragi – Jatigede, penghantar 150kV Jatigede – New Kadipaten, penghantar 150kV Jatigede – Rancaekek, dan penghantar 150 kV Rancaekek – New Rancakasumba

Tabel 3. 1 Data Penghantar [11],[12],[13],[14],[15]

No	SUTT 150kV	Panjang saluran	Tipe Konduktor	CCC
1	SUTT 150kV Sunyaragi-New Kadipaten	39,52 km	ACSR 450mm ² Zebra	1620 A
2	SUTT 150kV Sunyaragi-Jatigede	54,48 km	ACSR 429mm ² Zebra	1620 A
3	SUTT 150kv Jatigede – New Kadipaten	15 km	ACSR 450mm ² Zebra	1690 A
4	SUTT 150kV Jatigede – Rancaekek	50,8 km	DOVE 327,94mm ²	600 A
5	SUTT 150 kV Rancaekek – New Rancakasumba	6,41 km	DOVE 435 mm ²	600 A

3. Data Impedansi Saluran

Data impedansi saluran pada penghantar 150kV Sunyaragi – New Kadipaten, penghantar 150kV Sunyaragi – Jatigede, penghantar 150kV Jatigede – New Kadipaten, penghantar 150kV Jatigede – Rancaekek, dan penghantar 150 kV Rancaekek – New Rancakasumba dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 3. 2 Data Impedansi Saluran [11],[12],[13],[14],[15]

No	SUTT 150kV	R1	X1	R0	X0
1	SUTT 150kV Sunyaragi-New Kadipaten	0,036	0,292	0,214	0,829
2	SUTT 150kV Sunyaragi-Jatigede	0,034	0,0275	0,184	0,825
3	SUTT 150kV Jatigede – New Kadipaten	0,034	0,293	0,184	0,879
4	SUTT 150kV Jatigede – Rancaekek	0,084	0,376	0,234	1,129
5	SUTT 150 kV Rancaekek – New Rancakasumba	0,034	0,277	0,184	0,831

4. Data CT dan PT

Data CT (*Current Transformator*) dan PT (*Potential Transformator*) yang diambil meliputi dari data rasio CT (*Current Transformator*) dan data rasio PT (*Potential Transformator*) SUTT 150kV Sunyaragi – New Kadipaten dan SUTT 150kV Sunyaragi – Jatigede yang dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 3. 3 Data Rasio CT Dan PT [11],[12]

No	SUTT 150kV	Rasio CT		Rasio PT	
		Primer	Sekunder	Primer	Sekunder
1	SUTT 150kV Sunyaragi-New Kadipaten	2000	1	150.000	100
2	SUTT 150kV Sunyaragi-Jatigede	2000	1	150.000	100

5. Data Impedansi Trafo

Untuk menentukan zona proteksi, impedansi trafo harus diperhitungkan bersama dengan impedansi saluran transmisi. impedansi trafo berfungsi untuk membatasi zona proteksi agar tidak melampaui area yang ditentukan.

Tabel 3. 4 Data Impedansi Trafo [25]

No	Trafo	%Impedansi	V	S
1	TRAFO 1 GI NEW KADIPATEN	12,692%	150/20 kV	60 MVA
2	TRAFO 2 GI NEW KADIPATEN	12,415%	150/20 kV	60 MVA
3	TRAFO 1 GI JATIGEDE	14,04 %	150/20 kV	70 MVA
4	TRAFO 2 GI JATIGEDE	13,91 %	150/20 kV	70 MVA
5	TRAFO 3 GI JATIGEDE	7,97 %	150/11 kV	5 MVA

3.6 *Setting Impedansi Zona Relai Distance*

Metode perhitungan impedansi zona pada relai *distance* digunakan untuk menentukan batas atau zona perlindungan terhadap gangguan pada jaringan transmisi berdasarkan nilai impedansi (resistansi dan reaktansi) dari saluran transmisi antara lokasi relai dan titik gangguan. Formula perhitungan impedansi yang digunakan dalam analisis ini dijelaskan dalam Buku Pedoman dan Petunjuk Sistem Proteksi Transmisi dan Gardu Induk Jawa Bali (2013). Berikut parameter yang diperlukan dalam perhitungan impedansi zona pada relai *distance* :

- a. Lokasi Gardu Induk
- b. Panjang Saluran (km)
- c. Tipe Konduktor
- d. Impedansi Saluran (Ω/km)
- e. Impedansi Trafo (Ω)
- f. Rasio CT Saluran
- g. Tegangan Kerja

3.7 *Arus Hubung Singkat Sistem*

Data arus hubung singkat sistem yang diambil berupa arus hubung singkat tiga fasa yang diambil berdasarkan data milik GI Sunyaragi dan GI Rancakasumba.

Nilai arus hubung singkat didapat dari data arus hubung singkat GI/GITET Sistem Jawa Bali semester 2 tahun 2024 yang dikeluarkan oleh UP2B Jawa-Bali. Pada simulasi ini arus hubung singkat berfungsi untuk mewakili sumber daya listrik eksternal (*external grid*) yang terhubung dengan sistem yang sedang dianalisis.

Tabel 3. 5 Data Arus Hubung Singkat Sistem Jawa Bali [16]

Arus Hubung Singkat GI/GITET Sistem Jawa Bali Semester 2 Tahun 2024														
No.	Bus	GI/GITET	UP2B	Arus Hubung Singkat Pembangkit DMN ROB Juli 2024								Arus Hubung Singkat KIT AKIF ROB Juli 2024		
				TEG	Impedansi Urutan Positif	Impedansi Urutan Negatif	Impedansi Urutan Nol	Arus Hubung Singkat	1ph(kA)	3ph(kA)				
				kV	R1(pu)	X1(pu)	R2(pu)	X2(pu)	R0(pu)	X0(pu)	1ph(kA)	3ph(kA)	3ph(kA)	
625	S-I	PITS CIRATAS	UP2B Jawa Barat	150	0.000744	0.018731	0.000755	0.018717	0.000893	0.008420	27.60	27.56	26.93	
626	S-II	PITS CIRATAS	UP2B Jawa Barat	150	0.000744	0.018731	0.000755	0.018717	0.000893	0.008420	27.60	27.56	26.93	
627	A	PLTU KANCIS	UP2B Jawa Barat	150	0.000740	0.016043	0.000877	0.019129	0.000840	0.011642	27.05	26.32	26.89	
628	B	PLTU KANCIS	UP2B Jawa Barat	150	0.000740	0.016043	0.000877	0.019129	0.000840	0.011642	27.05	26.32	26.89	
629	I-5	PONCOL BARU	UP2B Jawa Barat	150	0.001186	0.028180	0.001158	0.028203	0.005503	0.026515	15.23	15.00	15.06	
630	II-5	PONCOL BARU	UP2B Jawa Barat	150	0.001186	0.028180	0.001158	0.028203	0.005503	0.026515	15.23	15.00	15.06	
631	I-5	PONCOL BARU II	UP2B Jawa Barat	150	0.001201	0.029295	0.001173	0.029318	0.005584	0.026861	15.12	14.94	14.96	
632	II-5	PONCOL BARU II	UP2B Jawa Barat	150	0.001201	0.029295	0.001173	0.029318	0.005584	0.026861	15.12	14.94	14.96	
633	S-I	PURWAKARTAS	UP2B Jawa Barat	150	0.002511	0.032028	0.002496	0.032032	0.009882	0.048387	11.20	13.16	11.09	
634	S-II	PURWAKARTAS	UP2B Jawa Barat	150	0.002511	0.032028	0.002496	0.032032	0.009882	0.048387	11.20	13.16	11.09	
635	S-I	RAJAMANDALA	UP2B Jawa Barat	150	0.010287	0.051484	0.010800	0.053047	0.010098	0.084442	6.62	8.05	6.15	
636	S-II	RAJAMANDALA	UP2B Jawa Barat	150	0.010287	0.051484	0.010800	0.053047	0.010098	0.084442	6.62	8.05	6.15	
637	I-5	RAJAPAKSI	UP2B Jawa Barat	150	0.001156	0.018377	0.001148	0.018382	0.002556	0.015900	23.95	23.95	25.25	
638	II-5	RAJAPAKSI	UP2B Jawa Barat	150	0.001156	0.018377	0.001148	0.018382	0.002556	0.015900	23.95	23.95	25.25	
639	I-5	RAJAPAKSI KTT	UP2B Jawa Barat	150	0.001197	0.018386	0.001149	0.018391	0.002566	0.015928	23.93	22.94	25.23	
640	II-5	RAJAPAKSI KTT	UP2B Jawa Barat	150	0.001197	0.018386	0.001149	0.018391	0.002566	0.015928	23.93	22.94	25.23	
641	S-I	RANCANEGES	UP2B Jawa Barat	150	0.001130	0.015542	0.001091	0.015447	0.002407	0.014630	27.61	27.10	27.35	
642	S-II	RANCANEGES	UP2B Jawa Barat	150	0.001130	0.015542	0.001091	0.015447	0.002407	0.014630	27.61	27.10	27.35	
643	S-I	RANCASUMBA	UP2B Jawa Barat	150	0.002002	0.031197	0.001953	0.031263	0.006382	0.033256	18.54	19.66	16.46	
644	S-II	RANCASUMBA	UP2B Jawa Barat	150	0.002002	0.031197	0.001953	0.031263	0.006382	0.033256	18.54	19.66	16.46	
645	S-I	SUKALUPUS	UP2B Jawa Barat	150	0.000800	0.041251	0.008323	0.042110	0.013320	0.079815	7.65	10.05	7.25	
646	S-II	SUKALUPUS	UP2B Jawa Barat	150	0.000800	0.041251	0.008323	0.042110	0.013320	0.079815	7.65	10.05	7.25	
647	S-I	SUKAMANDI	UP2B Jawa Barat	150	0.002844	0.029264	0.002783	0.029265	0.011168	0.060464	10.55	14.38	9.99	
648	S-II	SUKAMANDI	UP2B Jawa Barat	150	0.002844	0.029264	0.002783	0.029265	0.011168	0.060464	10.55	14.38	9.99	
649	S-I	SUKATAN GORIS	UP2B Jawa Barat	150	0.001574	0.010301	0.001532	0.030299	0.004777	0.039847	12.59	13.94	12.43	
650	S-II	SUKATAN GORIS	UP2B Jawa Barat	150	0.001574	0.010301	0.001532	0.030299	0.004777	0.039847	12.59	13.94	12.43	
651	S-I	SUNYARAGIS	UP2B Jawa Barat	150	0.000778	0.015469	0.000820	0.017570	0.002523	0.015257	26.13	27.29	25.94	
652	S-II	SUNYARAGIS	UP2B Jawa Barat	150	0.000778	0.015469	0.000820	0.017570	0.002523	0.015257	26.13	27.29	25.94	
653	S-I	SUZUKI	UP2B Jawa Barat	150	0.000701	0.015887	0.000649	0.015883	0.001229	0.006948	32.64	26.58	30.62	
654	S-II	SUZUKI	UP2B Jawa Barat	150	0.000701	0.015887	0.000649	0.015883	0.001229	0.006948	32.64	26.58	30.62	
655	S-I	TAJURIS	UP2B Jawa Barat	150	0.003214	0.018720	0.003087	0.018388	0.009486	0.040399	16.00	22.20	15.85	
656	S-II	TAJURIS	UP2B Jawa Barat	150	0.003214	0.018720	0.003087	0.018388	0.009486	0.040399	16.00	22.20	15.85	
657	I-5	TAMBUNG	UP2B Jawa Barat	150	0.000649	0.024026	0.000621	0.024048	0.002549	0.014052	20.37	17.60	20.08	
658	II-5	TAMBUNG	UP2B Jawa Barat	150	0.000649	0.024026	0.000621	0.024048	0.002549	0.014052	20.37	17.60	20.08	
659	A-5	TASIKMALAYA BARUS	UP2B Jawa Barat	150	0.000818	0.021828	0.000947	0.020823	0.000879	0.008803	24.61	19.36	24.45	
660	B-5	TASIKMALAYA BARUS	UP2B Jawa Barat	150	0.000818	0.021828	0.000947	0.020823	0.000879	0.008803	24.61	19.36	24.45	
661	S-I	TASIKMALAYAS	UP2B Jawa Barat	150	0.001345	0.024913	0.001483	0.023505	0.002498	0.017178	19.26	16.95	19.17	
662	S-II	TASIKMALAYAS	UP2B Jawa Barat	150	0.001345	0.024913	0.001483	0.023505	0.002498	0.017178	19.26	16.95	19.17	
663	S-I	TATAJABAR	UP2B Jawa Barat	150	0.004213	0.033588	0.003793	0.033627	0.004951	0.032820	12.57	12.49	10.30	
664	S-II	TATAJABAR	UP2B Jawa Barat	150	0.004213	0.033588	0.003793	0.033627	0.004951	0.032820	12.57	12.49	10.30	
665	BB2	TATAJABAR_KTTS	UP2B Jawa Barat	150	0.004222	0.033651	0.003802	0.033690	0.004992	0.033008	12.53	12.46	10.27	
666	I-5	TATAJABAR_KTTS	UP2B Jawa Barat	150	0.004222	0.033651	0.003802	0.033690	0.004992	0.033008	12.53	12.46	10.27	
667	S-I	TEGAL HERANGS	UP2B Jawa Barat	150	0.001673	0.022991	0.001634	0.022996	0.005978	0.028454	16.76	18.34	16.85	
668	S-II	TEGAL HERANGS	UP2B Jawa Barat	150	0.001673	0.022991	0.001634	0.022996	0.005978	0.028454	16.76	18.34	16.85	
669	I	TELUKJAMBE	UP2B Jawa Barat	150	0.001752	0.021379	0.001649	0.021363	0.006811	0.032928	16.59	19.70	15.41	
670	II	TELUKJAMBE	UP2B Jawa Barat	150	0.001752	0.021379	0.001649	0.021363	0.006811	0.032928	16.59	19.70	15.41	
671	S-I	THK	UP2B Jawa Barat	150	0.000884	0.017583	0.000845	0.017587	0.003588	0.012227	26.54	24.01	26.76	
672	S-II	THK	UP2B Jawa Barat	150	0.000884	0.017583	0.000845	0.017587	0.003588	0.012227	26.54	24.01	26.76	

Pada Tabel 3.5 diatas terlihat data yang dibutuhkan berupa nilai arus hubung singkat, reaktansi (X) dan resistansi (R) pada gardu induk sunyaragi dan gardu induk rancakasumba. Untuk data reaktansi dan resistansi dibutuhkan data urutan, yaitu urutan positif dan urutan nol.

3.8 Data Spesifikasi PMT Bay Sunyaragi – Jatigede

Pemutus tenaga (*circuit breaker*) berfungsi untuk melindungi peralatan dan sistem kelistrikan dari kerusakan akibat gangguan, seperti gangguan hubung singkat dengan memutuskan aliran listrik secara otomatis. Dalam mengatasi arus gangguan yang terjadi dalam sistem kelistrikan, PMT memiliki kapasitas *Rated Short Circuit Current*.

Tabel 3. 6 Spesifikasi PMT Sunyaragi-Jatigede

Spesifikasi PMT Bay Jatigede GI 150kV Sunyaragi	
<i>Merk / Type</i>	ABB / LTB170D1/B
<i>Voltage</i>	170 kV
Frequency	50 Hz
Normal Current	3150 A
Gas Pressure SF ₆	abs (+20°C)
Max. Working Pressure	0,9 MPa
Filling	0,8 MPa
Signal	0,72 MPa
Blocking	0,7 MPa
Breaking Current	40 kA
Short-time Current	3s 40 kA

Rated Short Circuit Current pada Pemutus Tenaga (*Circuit Breaker*) adalah nilai arus hubung singkat maksimum yang dapat diterima dan diputuskan oleh pemutus tenaga tanpa merusak pemutus tenaga itu sendiri. Nilai ini dinyatakan dalam kiloampere (kA). Nilai *rated short circuit current* pada PMT penghantar sunyaragi – jatigede sesuai pada tabel 3.6 adalah sebesar 40 kA.

3.9 Simulasi Pada Aplikasi DigSILENT PowerFactory 15.1

Pada pembuatan simulasi evaluasi kinerja relai *distance* ini proses pemrograman diawali dengan membuat single line diagram, kemudian memasukkan parameter yang sudah ada disetiap komponen seperti data MVA *short circuit*, CT, VT, panjang saluran, tegangan kerja, frekuensi dan impedansi saluran. Setelah semua parameter sudah dimasukkan, diberikan gangguan hubung singkat pada saluran untuk menguji kinerja relai *distance*. Untuk menghasilkan *setting* relai yang tepat perlu adanya analisis *setting* relai yang sesuai dengan standar yaitu megacu pada Buku Pedoman dan Petunjuk Sistem Proteksi Transmisi dan Gardu Induk Jawa Bali (2013). Apabila relai tidak bekerja tidak sesuai dengan standar perlu dilakukan peninjauan ulang pada relai tersebut. Adapun hal yang perlu dilakukan untuk membuat simulasi kerja relai *distance* yaitu sebagai berikut :

3.9.1 Membuat Single Line Diagram

Membuat rangkaian *single line diagram* menggunakan software DIgSILENT PowerFactory 15.1 sesuai dengan konfigurasi *real* di lapangan yaitu 2 external grid, 4 saluran transmisi serta komponen-komponen tenaga listrik lainnya.

3.9.2 Memasukkan Parameter pada setiap Komponen

Parameter yang dibutuhkan disetiap komponen yaitu :

a. Eksternal Grid

Data *eksternal grid* yang dimasukkan dalam *single line diagram* yaitu sebagai berikut :

1. MVAsc
2. R/X Ratio Impedansi

b. Data Saluran Transmisi

Data saluran transmisi yang dimasukkan dalam *single line diagram* yaitu sebagai berikut :

1. ID Saluran Transmisi
2. Panjang saluran transmisi (km)
3. Impedansi (Z_+)
4. Frekuensi
5. Tegangan Kerja

c. Busbar

Data Busbar yang dimasukkan dalam *single line diagram* yaitu tegangan kerja

d. Relai Proteksi *Distance*

Data relai proteksi yang dimasukkan dalam *single line diagram* yaitu sebagai berikut :

1. Tipe Relai
2. Rasio *Current Transformer*
3. Rasio *Voltrage Transformer*
4. *Setting* Impedansi Zona 1, Zona 2, dan Zona 3
5. *Setting* Waktu Kerja Zona 1, Zona 2, dan Zona 3

3.9.3 Melakukan *Setting* Relai

Menginput *setting* impedansi zona dan waktu kerja relai berdasarkan data perhitungan untuk mendapatkan titik lokasi gangguan dan besar gangguan yang terjadi pada saluran. Formula perhitungan impedansi yang digunakan dalam analisis ini dijelaskan dalam Buku Pedoman dan Petunjuk Sistem Proteksi Transmisi dan Gardu Induk Jawa Bali (2013).

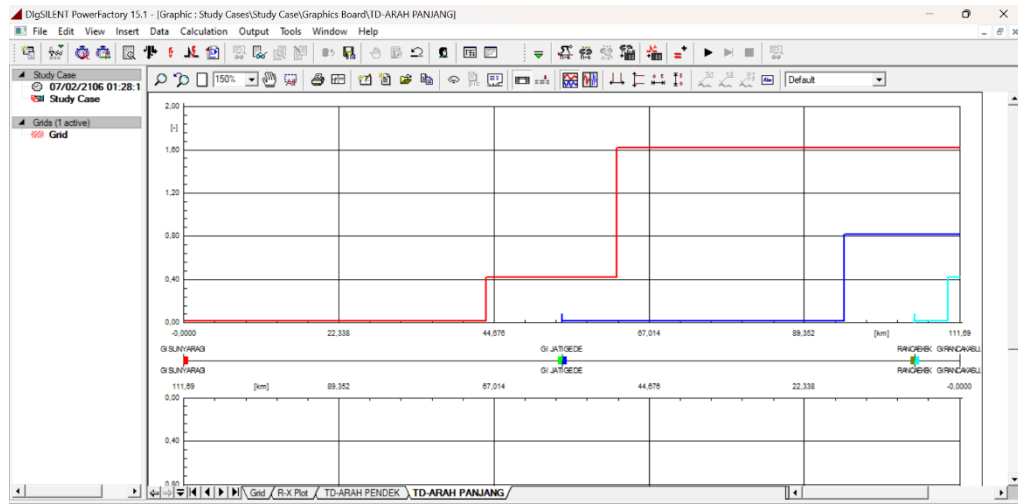
3.9.4 *Time Distance Diagram*

Fitur *Time Distance Diagram* pada aplikasi DlgSILENT PowerFactory digunakan untuk menganalisis kinerja relay *distance* dalam sistem proteksi. Diagram ini sangat penting untuk memvisualisasikan waktu yang diperlukan oleh relai untuk melakukan pemutusan (*tripping*) berdasarkan jarak (*distance*) antara relai dan gangguan dalam sistem tenaga listrik.

Parameter yang harus dipenuhi untuk menggunakan fitur ini yaitu modeling relai yaitu memastikan relai *distance* sudah dimodelkan dengan benar dalam skema proteksi serta pengaturan parameter relai yaitu pengaturan impedansi, kurva karakteristik, dan waktu tunda.

Manfaat *Time Distance Diagram* yang didapat pada penelitian ini adalah :

1. Evaluasi Kinerja Proteksi: Memastikan bahwa relai *distance* yang telah dievaluasi akan bekerja secara selektif dan cepat serta mengisolasi gangguan pada titik yang benar.
2. Perencanaan Sistem Proteksi: Membantu perencanaan pada penelitian ini dalam merancang dan mengatur relai dengan mempertimbangkan jarak dan waktu trip.
3. Optimasi Waktu Trip: Membantu menentukan waktu trip yang optimal agar gangguan bisa dipisahkan dengan cepat tanpa merusak bagian lain dari sistem tenaga.

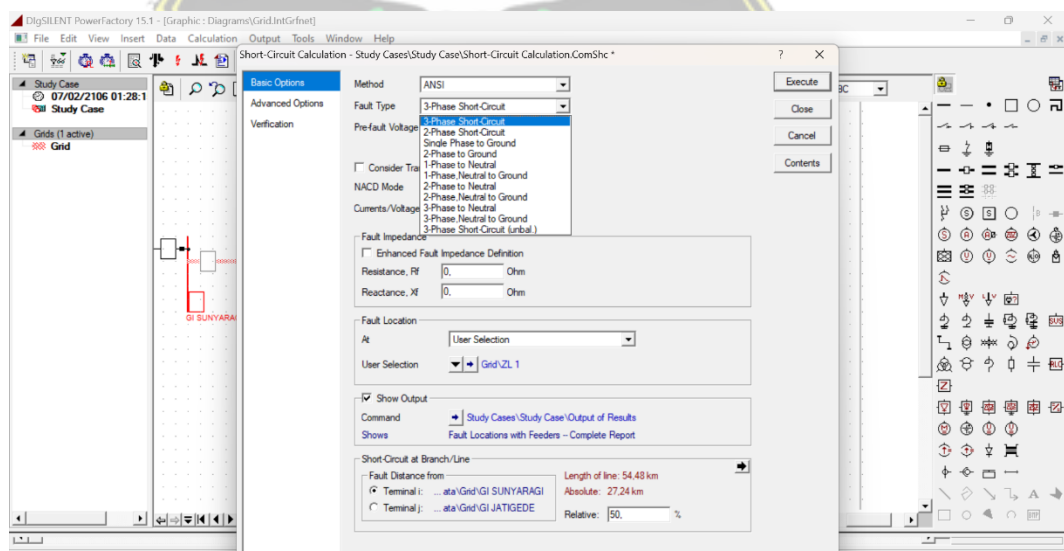


Gambar 3. 3 Time Distance Diagram

3.9.5 Short Circuit Analysis

Pada penelitian ini dilakukan simulasi gangguan hubung singkat dengan melakukan variasi persentase gangguan pada panjang saluran. Tujuannya untuk mengetahui kontribusi proteksi rele jarak terhadap besar arus hubung singkat. Jenis hubung singkat yang diberikan adalah :

- Hubung Singkat 3 Fasa
- Hubung Singkat 2 Fasa
- Hubung Singkat 2 Fasa ke Tanah



Gambar 3. 4 Short Circuit Analysis

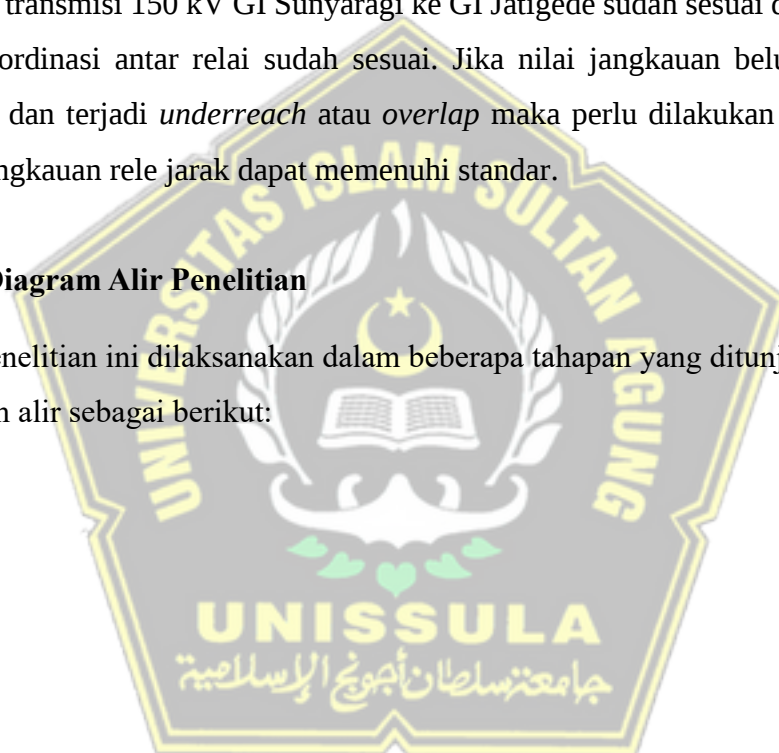
3.9.6 Analisa Hasil

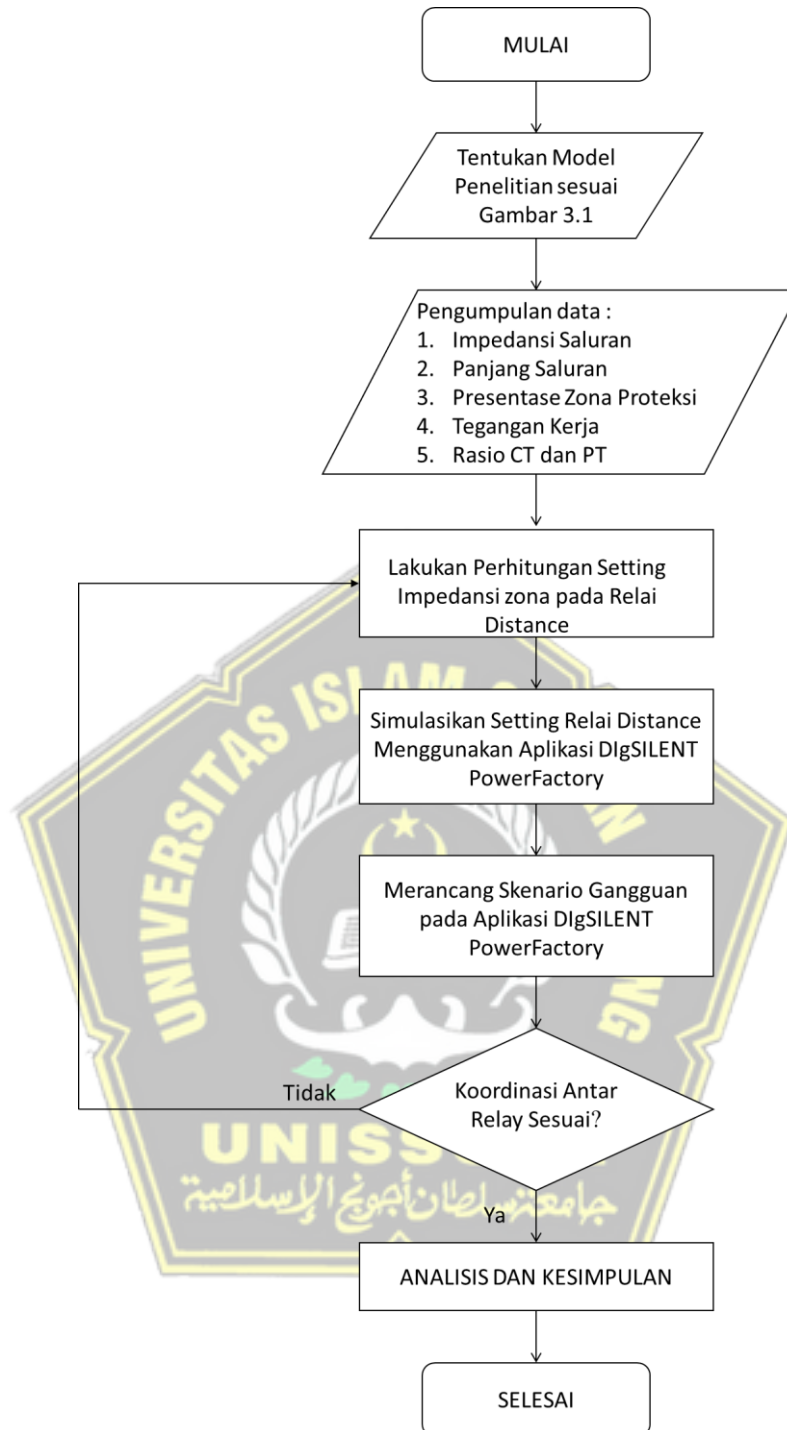
Setelah memberikan gangguan hubung singkat , maka tahapan terakhir adalah analisis kinerja koordinasi relai. Analisis kinerja relai dilakukan dengan memberikan gangguan hubung singkat dan didapatkan data hasil simulasi berupa diagram r-x. Diagram r-x yang merepresentasikan kinerja koordinasi relai saat terjadi gangguan yaitu menunjukkan zona jangkauan relai dan waktu trip relai.

Analisa hasil simulasi *scanning* koordinasi rele jarak yang direpresentasikan ke dalam diagram R – X dengan memberikan gangguan hubung singkat. Sehingga dapat diketahui apakah data *setting* impedansi setiap zona yang telah dihitung pada saluran transmisi 150 kV GI Sunyaragi ke GI Jatigede sudah sesuai dengan standar dan koordinasi antar relai sudah sesuai. Jika nilai jangkauan belum memenuhi standar dan terjadi *underreach* atau *overlap* maka perlu dilakukan *resetting* agar nilai jangkauan rele jarak dapat memenuhi standar.

3.10 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dalam beberapa tahapan yang ditunjukkan dengan diagram alir sebagai berikut:





Gambar 3. 5 Diagram Alir Penelitian

3.11 Langkah Penelitian

Langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menentukan model penelitian sebagai gambaran awal objek yang akan diteliti sesuai dengan gambar 3.1 yaitu gambar *single line diagram* Gardu Induk

150kV Sunyaragi sebagai lokasi penelitian, merancang model rangkaian pengganti menggunakan *software* DIGSILENT PowerFactory 15.1 sesuai dengan konfigurasi *real* di lapangan yaitu 2 external grid, 4 saluran transmisi serta komponen-komponen tenaga listrik lainnya.

2. Melakukan pengumpulan data berupa impedansi saluran, panjang saluran, presentase zona proteksi, tegangan kerja, rasio CT dan Rasio PT pada penghantar SUTT 150kV Sunyaragi - New Kadipaten, SUTT 150kV Sunyaragi-Jatigede, SUTT 150kV Jatigede - New Kadipaten, SUTT 150kV Jatigede-Rancaekek, SUTT 150kV Rancaekek – Rancakasumba. Input data yang sudah dikumpulkan pada *software* DIGSILENT PowerFactory 15.1.
3. Melakukan perhitungan setelan/*setting* impedansi zona relai *distance* dengan mengacu pada Buku Pedoman dan Petunjuk Sistem Proteksi Transmisi dan Gardu Induk Jawa Bali (2013) pada penghantar SUTT 150kV Sunyaragi - New Kadipaten dan pasca rekonfigurasi pengantar menjadi SUTT 150kV Sunyaragi-Jatigede.
4. Input data hasil perhitungan setelan impedansi zona pada relai *distance* yang telah ditambahkan pada model rangkaian pengganti sehingga dapat ditampilkan koordinasi kerja antar relai menggunakan fitur time distance diagram untuk memastikan bahwa *setting* impedansi rele dan *setting* waktu kerja relai sudah sesuai dengan perhitungan yang dilakukan.
5. Merancang skenario gangguan pada zona 1, zona 2 dan zona 3 dengan jenis gangguan hubung singkat 3 fasa, 2 fasa dan 2 fasa ke tanah dengan membandingkan *setting* sebelum dan sesudah rekonfigurasi penghantar pada saat dijalankan pada kondisi penghantar saat ini dan disimulasikan pada *software* DIGSILENT PowerFactory 15.1.
6. Evaluasi koordinasi kerja antara relai *distance* yang terpasang di GI Sunyaragi, GI Jatigede, GI New Kadipaten, GI Rancaekek dan GI Rancakasumba serta evaluasi proteksi terhadap gangguan hubung singkat dimana relai *distance* diharuskan bekerja sesuai zona proteksinya . Jika terjadi *overlap/underreach* zona proteksi maka perlu dilakukan *resetting* impedansi zona relai *distance*.

7. Analisa relevansi setting impedansi zona relai *distance* sebelum rekonfigurasi penghantar yaitu SUTT 150kV Sunyaragi-New Kadipaten jika digunakan pasca rekonfigurasi pada SUTT 150kV Sunyaragi - Jatigede



BAB IV

HASIL DAN ANALISA

4.1 HASIL

Dengan menentukan model penelitian sesuai Gambar 3.1, serta data – data yang terdiri dari data penghantar, data impedansi saluran, data CT, data PT, data impedansi trafo. Maka dapat dilakukan perhitungan *setting* impedansi dan kurva waktu kerja relai *distance* pada SUTT 150kV Sunyaragi-Jatigede. Dari perhitungan *setting* tersebut kemudian disimulasikan menggunakan aplikasi digsilent powerfactory 15.1 untuk mengetahui koordinasi relai *distance* setelah dilakukan resetting.

4.1.1 *Setting* Impedansi Relai *Distance* SUTT 150kV Sunyaragi-New Kadipaten

Berikut merupakan kondisi *setting* impedansi relai *distance* kondisi eksisting sebelum dilakukan rekonfigurasi penghantar :

1. Perhitungan Impedansi Saluran (Primer) :

Dengan mengacu pada persamaan (2.6) serta Tabel 3.1 dan 3.2, maka dapat ditentukan nilai impedansi saluran (Z_L) sebagai berikut.

$$Z_{L1} = Z_{L2} = Z_{L3} = Z_{L4}$$

$$Z_{L1} = (0,036 + j 0,292) \times 39,52$$

$$Z_{L1} = 1,422 + j 11,539 \Omega/\text{km}$$

$$|Z_{L1}| = 11,626 \angle 82,9^\circ \Omega$$

2. Rasio antara arus dan tegangan :

Dengan mengacu pada persamaan (2.17) serta Tabel 3.3, maka dapat ditentukan nilai rasio antara CT terhadap PT (n_1) sebagai berikut.

$$n_1 = \frac{2000 \times 100}{1 \times 150000}$$

$$n_1 = 1,333$$

3. Menentukan impedansi trafo terkecil pada Gardu Induk GI New Kadipaten
Dengan mengacu pada persamaan (2.7) serta Tabel 3.4, maka dapat ditentukan nilai impedansi trafo dalam satuan ohm sebagai berikut.

- a. Trafo 1 150/20kV 60 MVA IMP 12,692%

$$X_{T1} = \frac{0,12692 \cdot 150^2}{60}$$

$$X_{T1} = 47,59 \Omega$$

- b. Trafo 2 150/20kV 60 MVA IMP 12,415%

$$X_{T2} = \frac{0,12415 \cdot 150^2}{60}$$

$$X_{T2} = 46,55 \Omega$$

Dipilih impedansi terkecil

$$X_{T'} = X_{T2}$$

$$X_{T'} = 46,55 \Omega$$

4. Menghitung *setting* impedansi zona 1

Dengan mengacu pada persamaan (2.8), maka dapat ditentukan *setting* impedansi zona 1 sebagai berikut.

$$Z_1 = 0,80 \times (1,422 + j 11,539)$$

$$|Z_1| = 9,30 \angle 82,9 \Omega$$

5. Menghitung *setting* impedansi zona 2

Dengan mengacu pada persamaan (2.9) maka dapat ditentukan *setting* impedansi zona 2 minimum sebagai berikut.

$$Z_{2min} = 1,2 \times (1,422 + j 11,539)$$

$$Z_{2min} = 1,706 + j 13,846 \Omega/km$$

$$|Z_{2min}| = 13,951 \angle 82,9 \Omega$$

Dengan mengacu pada persamaan (2.10) maka dapat ditentukan *setting* impedansi zona 2 maksimum sebagai berikut.

$$Z_{2max} = 0,8 (1,422 + j 11,539 + 0.5 (1,422 + j 11,539))$$

$$|Z_{2max}| = 13,944 \angle 82,9 \Omega$$

Dengan mengacu pada persamaan (2.11) maka dapat ditentukan *setting* impedansi zona 2 dengan batasan impedansi transformator GI New Kadipaten sebagai berikut.

$$Z_{trf2} = 0,8 \cdot (11,626 + 0,5 \cdot 46,55)$$

$$|Z_{trf2}| = 27,92 \angle 82,9 \Omega$$

Dipilih yang terbesar antara Z_{2min} dan Z_{2max} namun tidak melebihi Z_{trf2}

$$Z_{2P} = Z_{2min}$$

$$Z_{2S} = 18,6 \angle 82,9 \Omega$$

8. Menghitung *setting* impedansi Zona 3

Dengan mengacu pada persamaan (2.12) maka dapat ditentukan *setting* impedansi zona 3 minimum sebagai berikut.

$$Z_{3min} = 1,2 [(1,422 + j 11,539) + (1,422 + j 11,539)]$$

$$|Z_{3min}| = 27,91 \Omega$$

Dengan mengacu pada persamaan (2.13) maka dapat ditentukan *setting* impedansi zona 3 maksimum 1 sebagai berikut.

$$Z_{3max1} = 0,8 [(1,422 + j 11,539) + 1,2 \cdot (1,422 + j 11,539)]$$

$$|Z_{3max1}| = 20,46 \Omega$$

Dengan mengacu pada persamaan (2.14) maka dapat ditentukan *setting* impedansi zona 3 maksimum 2 sebagai berikut.

$$Z_{3max2} = 0,8 [1,422 + j11,539 + [0,8 \cdot (1,422 + j11,539) + 0,8 \cdot 1,422 + j11,539]]$$

$$|Z_{3max2}| = 20,46 \Omega$$

Dengan mengacu pada persamaan (2.15) maka dapat ditentukan *setting* impedansi zona 3 dengan batasan impedansi transformator GI New Kadipaten sebagai berikut.

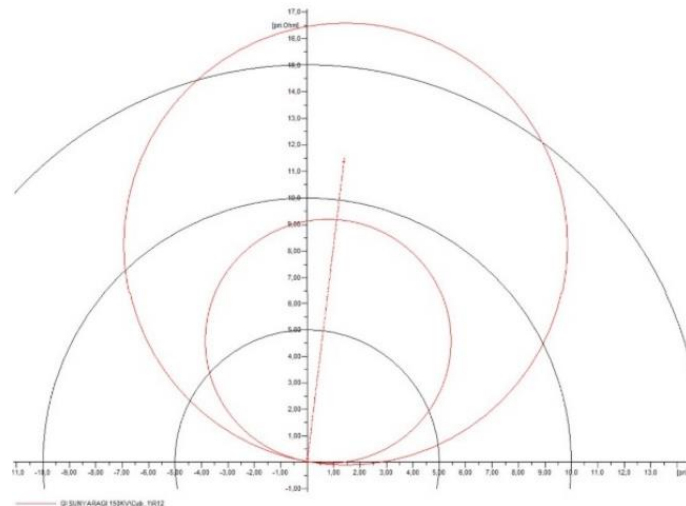
$$Z_{trf3} = 0,8 \cdot (11,626 + 0,8 \cdot 46,55)$$

$$|Z_{trf3}| = 39,09 \Omega$$

Dipilih yang terbesar antara Z_{3min} , Z_{3mak1} dan Z_{3mak2} namun tidak lebih dari Z_{trf3}

$$Z_{3P} = 27,91 \Omega$$

$$Z_{3S} = 37,21 \angle 82,9$$



Gambar 4. 1 R-X Diagram *Setting* Impedansi Penghantar Sunyaragi–New Kadipaten

4.1.2 *Setting* Impedansi Relai *Distance* SUTT 150kV Sunyaragi-Jatigede

Dapat dilihat dari data tabel 3.1 bahwa tipe konduktor dan Panjang total saluran mengalami perubahan, untuk itu diperlukan *resetting* dengan menghitung ulang impedansi menggunakan persamaan berikut.

1. Perhitungan Impedansi Saluran (Primer) :

Dengan mengacu pada persamaan (2.6) serta Tabel 3.1 dan 3.2, maka dapat ditentukan nilai impedansi saluran (Z_L) sebagai berikut.

a. SUTT 150kV Sunyaragi – Jatigede

$$Z_{L1} = (0,034 + j 0,275) \times 54,48$$

$$Z_{L1} = 1,852 + j 14,982 \Omega/\text{km}$$

$$|Z_{L1}| = 15,096 \angle 82,9^\circ \Omega$$

b. SUTT 150kV Jatigede - New Kadipaten

$$Z_{L2} = (0,034 + j 0,293) \times 15$$

$$Z_{L2} = 0,51 + j 4,39 \Omega/\text{km}$$

$$|Z_{L2}| = 4,42 \angle 83,3^\circ \Omega$$

c. SUTT 150kV Jatigede – Rancaekek

$$Z_{L3} = (0,084 + j 0,376) \times 50,8$$

$$Z_{L3} = 4,27 + j 19,10 \Omega/\text{km}$$

$$|Z_{L3}| = 19,57 \angle 77,41^\circ \Omega$$

d. SUTT 150kV Rancaekek – Rancakasumba

$$Z_{L4} = (0,034 + j 0,277) \times 6,41$$

$$Z_{L4} = 0,22 + j 1,78 \Omega/\text{km}$$

$$|Z_{L4}| = 1,79 \angle 83^\circ \Omega$$

2. Rasio antara arus dan tegangan :

Dengan mengacu pada persamaan (2.17) serta Tabel 3.3, maka dapat ditentukan nilai rasio antara CT terhadap PT (n_1) sebagai berikut.

$$n_1 = \frac{2000 \times 100}{1 \times 150000}$$

$$n_1 = 1,333$$

3. Menentukan impedansi trafo terkecil pada Gardu Induk GI New Kadipaten

Dengan mengacu pada persamaan (2.7) serta Tabel 3.4, maka dapat ditentukan nilai impedansi trafo dalam satuan ohm sebagai berikut.

a. Trafo 1 150/11kV 70 MVA IMP 14,04%

$$X_{T1} = \frac{0,1404 \cdot 150^2}{70}$$

$$X_{T1} = 45,12 \Omega$$

b. Trafo 2 150/11kV 70 MVA IMP 13,91%

$$X_{T2} = \frac{0,1391 \cdot 150^2}{70}$$

$$X_{T2} = 44,71 \Omega$$

c. Trafo 3 150/20kV 5 MVA IMP 7,97%

$$X_{T3} = \frac{0,0797 \cdot 150^2}{5}$$

$$X_{T3} = 358,6 \Omega$$

Dipilih impedansi terkecil

$$X_{T'} = X_{T2}$$

$$X_{T'} = 44,71 \Omega$$

4. Menghitung *setting* impedansi zona 1

Dengan mengacu pada persamaan (2.8), maka dapat ditentukan *setting* impedansi zona 1 sebagai berikut.

$$Z_1 = 0,80 \times (1,85 + j 14,98)$$

$$|Z_1| = 12,08 \angle 82,9^\circ \Omega$$

5. Menghitung *setting* impedansi zona 2

Dengan mengacu pada persamaan (2.9) maka dapat ditentukan *setting* impedansi zona 2 minimum sebagai berikut.

$$Z_{2\min} = 1,2 \times (1,85 + j 14,98)$$

$$|Z_{2\min}| = 18,12 \angle 82,9^\circ \Omega$$

Dengan mengacu pada persamaan (2.10) maka dapat ditentukan *setting* impedansi zona 2 maksimum sebagai berikut.

$$Z_{2\max} = 0,8 [1,85 + j 14,98 + 0,5 (0,51 + j 4,39)]$$

$$|Z_{2\max}| = 13,85 \angle 83^\circ \Omega$$

Dengan mengacu pada persamaan (2.11) maka dapat ditentukan *setting* impedansi zona 2 dengan batasan impedansi transformator GI New Kadipaten sebagai berikut.

$$Z_{\text{trf2}} = 0,8 \cdot (15,096 + 0,5 \cdot 44,71)$$

$$|Z_{\text{trf2}}| = 29,96 \angle 82,9^\circ \Omega$$

Dipilih yang terbesar antara $Z_{2\min}$ dan $Z_{2\max}$ namun tidak melebihi Z_{trf2}

$$Z_{2P} = Z_{2\min}$$

$$Z_{2P} = 18,12 \angle 82,9^\circ \Omega$$

$$Z_{2S} = 24,15 \angle 82,9^\circ \Omega$$

9. Menghitung *setting* impedansi Zona 3

Dengan mengacu pada persamaan (2.12) maka dapat ditentukan *setting* impedansi zona 3 minimum sebagai berikut.

$$Z_{3\min} = 1,2 [(1,85 + j 14,98) + (4,27 + j 19,10)]$$

$$|Z_{3\min}| = 41,55$$

Dengan mengacu pada persamaan (2.13) maka dapat ditentukan *setting* impedansi zona 3 maksimum 1 sebagai berikut.

$$Z_{3\text{mak1}} = 0,8 [(1,85 + j 14,98) + 1,2 \cdot (4,27 + j 19,10)]$$

$$|Z_{3\text{mak1}}| = 30,83 \Omega$$

Dengan mengacu pada persamaan (2.14) maka dapat ditentukan *setting* impedansi zona 3 maksimum 2 sebagai berikut.

$$Z_{3\text{mak}2} = 0,8 [1,85 + j 14,98 + [0,8 \cdot (4,27 + j 19,10 + 0,8 \cdot 0,22 + j 1,78)]]$$

$$|Z_{3\text{mak}2}| = 25,49 \Omega$$

Dengan mengacu pada persamaan (2.15) maka dapat ditentukan *setting* impedansi zona 3 dengan batasan impedansi transformator GI New Kadipaten sebagai berikut.

$$Z_{\text{trf}3} = 0,8 \cdot (15,096 + 0,8 \cdot 44,71)$$

$$|Z_{\text{trf}3}| = 40,63 \Omega$$

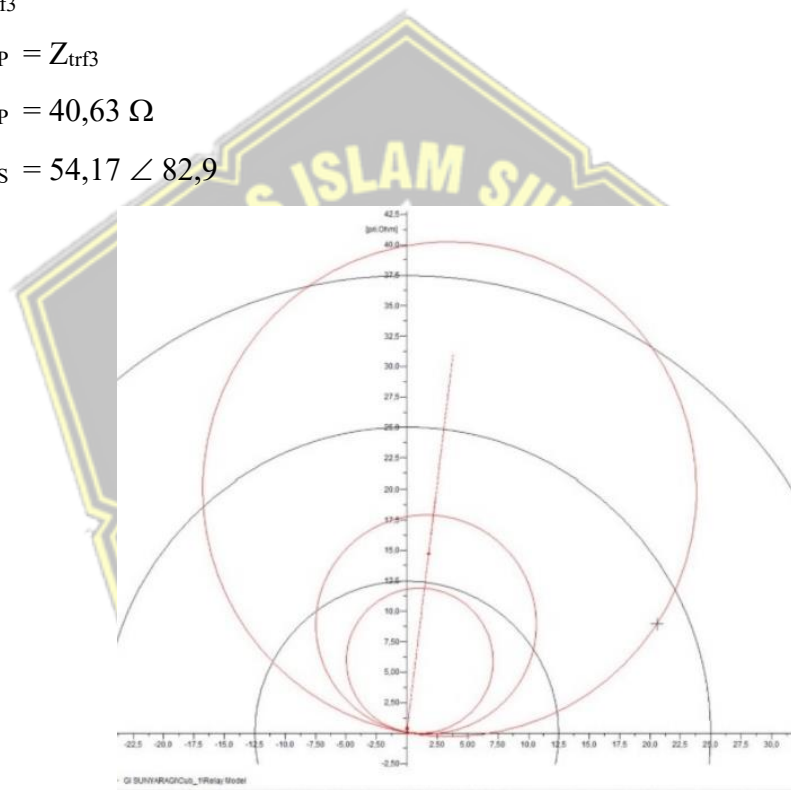
Dipilih yang terbesar antara $Z_{3\text{min}}$, $Z_{3\text{mak}1}$ dan $Z_{3\text{mak}2}$ namun tidak lebih dari

$$Z_{\text{trf}3}$$

$$Z_{3P} = Z_{\text{trf}3}$$

$$Z_{3P} = 40,63 \Omega$$

$$Z_{3S} = 54,17 \angle 82,9^\circ$$



Gambar 4. 2 R-X Diagram Setting Impedansi Penghantar Sunyaragi – Jatigede

4.1.3 Setting Waktu Operasi Saluran Sunyaragi – New Kadipaten

a. Zona 1

$$T_1 = 0 \text{ detik}$$

b. Zona 2

Karena GI New Kadipaten merupakan GI radial maka penentuan waktu kerja relai *distance* pada zona 2 tidak dipengaruhi oleh *setting* impedansi zona 1 GI yang berada didepannya.

$$T_2 = 0,4 \text{ detik}$$

c. Zona 3

$$T_3 = 1,6 \text{ detik}$$

4.1.4 Setting Waktu Operasi Saluran Sunyaragi – Jatigede

a. Zona 1

$$T_1 = 0 \text{ detik}$$

b. Zona 2

Dengan mengacu pada persamaan (2.16) maka dapat ditentukan *setting* waktu kerja zona 2 sebagai berikut.

$$Z_{2b} = 15,096 + 0,8 (4,42)$$

$$Z_{2b} = 18,63 \Omega$$

$$Z_{2P} = 18,12 \Omega$$

Jika Z_{2P} melebihi Z_{1P} di GI depannya (Z_{2b}) maka waktu kerja akan berhimpitan, sehingga $T_2 = 0.8$ detik dan jika tidak $T_2 = 0.4$ detik. Maka :

$$T_2 = 0,4 \text{ detik}$$

c. Zona 3

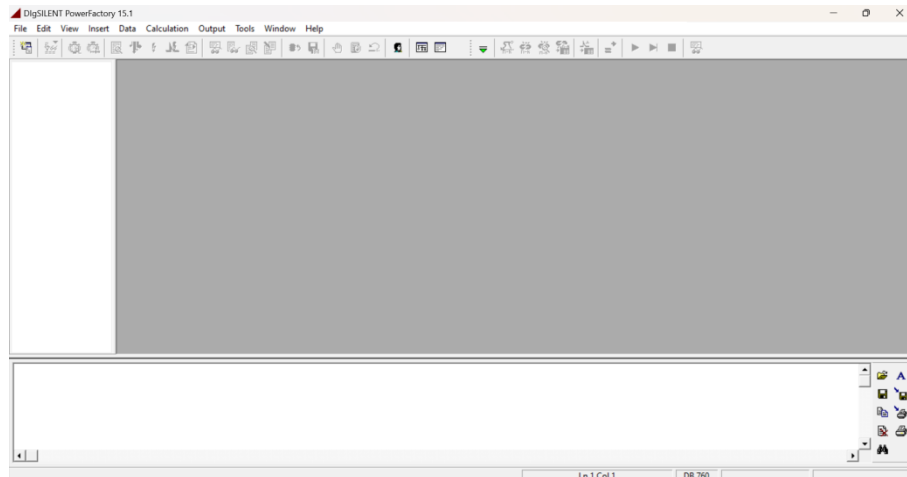
$$T_3 = 1,6 \text{ detik}$$

4.1.5 Input Data pada Simulasi DIgSILENT PowerFactory 15.1

Pemodelan dilakukan menggunakan *software* DIgSILENT PowerFactory 15.1 dengan langkah – langkah sebagai berikut:

1. Menjalankan Program

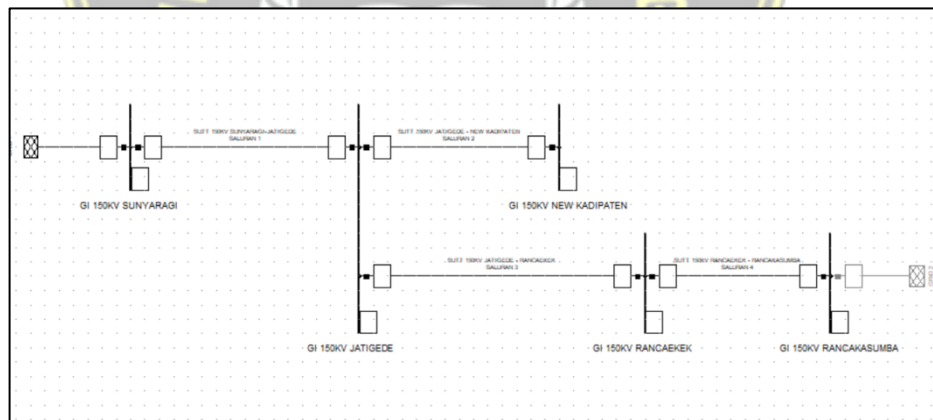
Setelah proses penginstalan berhasil, maka selanjutnya adalah menjalankan simulasi program pada *software* DIgSILENT PowerFactory 15.1 seperti pada Gambar 4.3.



Gambar 4. 3 Tampilan Awal DigSILENT PowerFactory 15.1

2. Membuat *project* baru dan membuat model rangkaian pengganti

Rangkaian pengganti dibuat untuk mempermudah analisis dengan merepresentasikan komponen-komponen fisik sistem tenaga listrik dalam bentuk model matematis. Rangkaian pengganti sistem proteksi relai *distance* pada SUTT 150kV Sunyaragi-Jatigede dibuat berdasarkan konfigurasi sistem 150 kV PLN UP2B Jawa Barat yang ditunjukkan pada Gambar 4.4



Gambar 4. 4 Rangkaian Pengganti pada DigSILENT PowerFactory 15.1

3. Menentukan nilai parameter pada setiap komponen

Parameter pada setiap komponen di model rangkaian pengganti disesuaikan dengan data yang telah dikumpulkan pada penelitian ini.

a. Menentukan tegangan nominal penghantar

Memasukkan nilai tegangan kerja pada busbar gardu induk pada rangkaian pengganti. Tegangan kerja yang digunakan pada simulasi ini adalah 150kV sesuai dengan tegangan kerja dilapangan.

Gambar 4. 5 Input Tegangan Kerja

b. Menentukan panjang penghantar

Memasukkan nilai panjang penghantar pada saluran rangkaian pengganti. Panjang penghantar yang diperlukan pada simulasi koordinasi kerja relai distance yaitu panjang pernghantar pada SUTT 150kV Sunyaragi-Jatigede, SUTT 150kV Jatigede-New Kadipaten, SUTT 150kV Jatigede-Rancaekek, dan SUTT 150kV Rancaekek-Rancakasumba sesuai tabel 3.1.

Gambar 4. 6 Input Panjang Penghantar

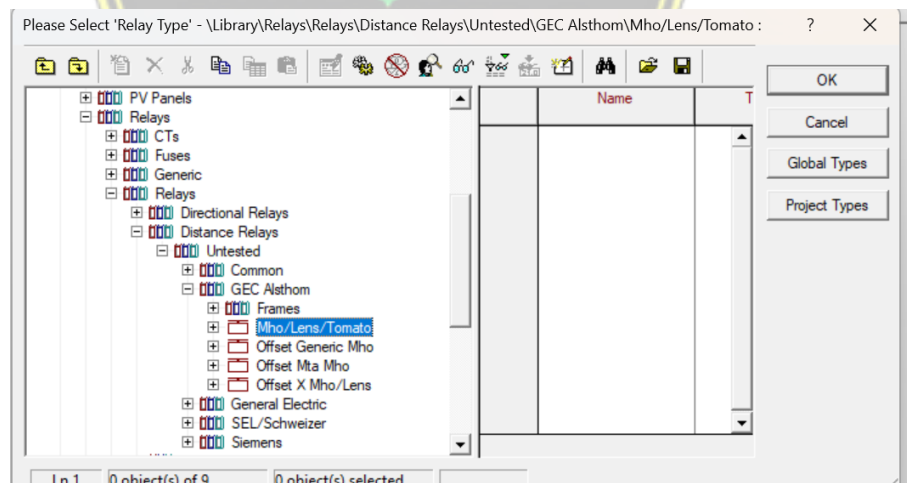
c. Menentukan impedansi saluran

Memasukkan nilai impedansi saluran pada saluran rangkaian pengganti. Impedansi urutan yang dibutuhkan adalah impedansi urutan positif dan impedansi urutan nol sesuai pada tabel 3.2.

Gambar 4. 7 Input Impedansi Saluran

4. Menambahkan relai *distance* pada model rangkaian pengganti

Relai *distance* ditambahkan pada model rangkaian pengganti dengan memilih relai model pada *library* yang sudah disediakan pada *software* DIgSILENT PowerFactory 15.1. Dipilih relai *distance* dengan karakteristik mho dengan merk alstom seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.8.

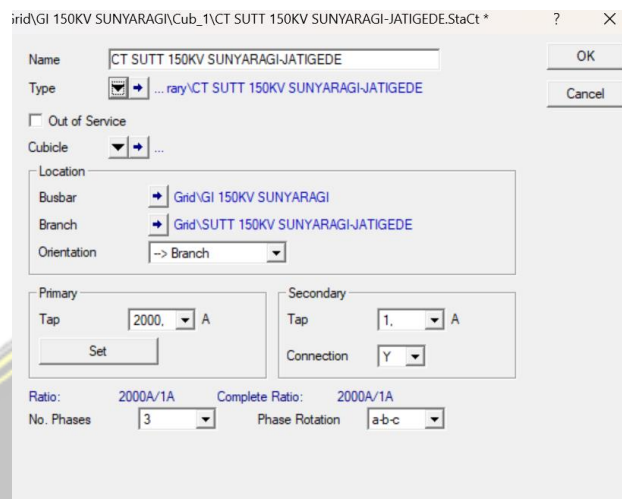


Gambar 4. 8 Input Relai Distance

Setelah relai *distance* ditambahkan maka perlu dilakukan pemodelan CT dan VT serta dilakukan penyetelan/*setting* impedansi dan waktu kerja relai agar relai tersebut bekerja optimal dan sesuai dengan standar yang digunakan.

a. Pemodelan CT

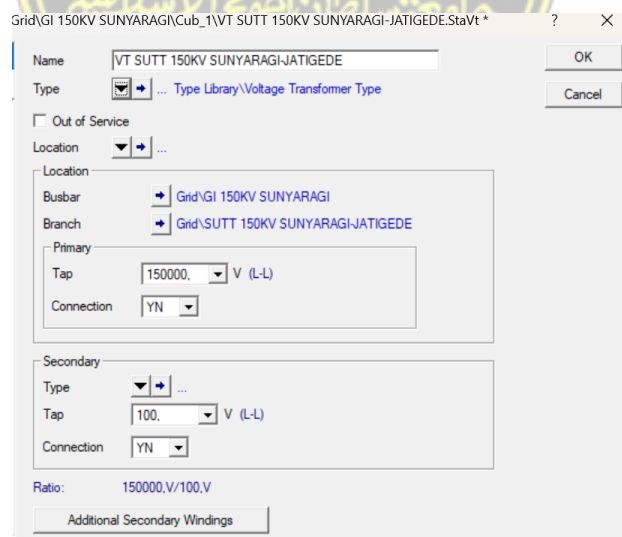
Membuat model CT pada *software* DIgSILENT PowerFactory 15.1 sesuai CT yang terpasang pada SUTT 150kV Sunyaragi-Jatigede sesuai dengan tabel 3.3.



Gambar 4. 9 Pemodelan CT

b. Pemodelan VT

Membuat model VT pada *software* DIgSILENT PowerFactory 15.1 sesuai VT yang terpasang pada SUTT 150kV Sunyaragi-Jatigede sesuai dengan tabel 3.3.



Gambar 4. 10 Pemodelan VT

c. Menentukan *setting* impedansi relai distance

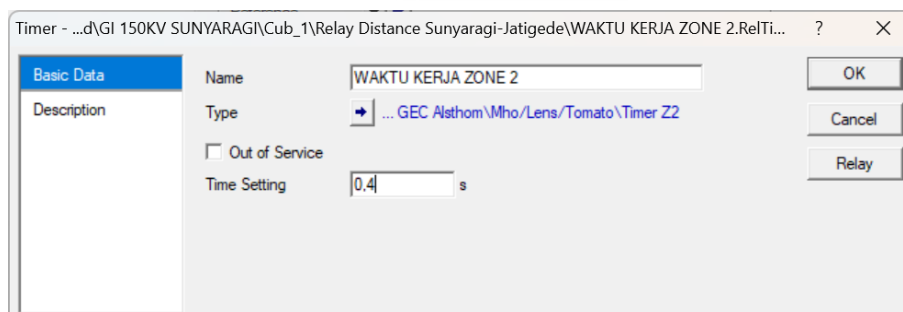
Menambahkan parameter penyetelan relai distance yaitu nilai impedansi kerja pada zona 1, zona 2 dan zona 3 sesuai dengan perhitungan yang telah dilakukan pada penelitian ini serta data *setting* impedansi relai *distance* pada saluran 2, 3 dan 4. Input nilai impedansi pada kolom impedansi primer kemudian pastikan impedansi yang terbaca pada sisi sekunder dan presentase daerah yang diproteksi sudah sesuai dengan perhitungan. Data impedansi zona relai *distance* pada saluran 1, 2, 3 dan 4 ditunjukkan pada Tabel 4.1

Tabel 4. 1 *Setting* Impedansi Zona Pada Saluran 1, 2, 3, dan 4

No	SUTT 150kV	Z1	Z2	Z3
1	Sunyaragi-New Kadipaten	$9,3 \angle 82,9 \Omega$	$13,95 \angle 82,9 \Omega$	$27,91 \angle 82,9 \Omega$
2	Sunyaragi-Jatigede	$12,08 \angle 82,9 \Omega$	$18,12 \angle 82,9 \Omega$	$40,63 \angle 82,9 \Omega$
3	Jatigede – New Kadipaten	$3,52 \angle 83,3 \Omega$	$8,13 \angle 83,3 \Omega$	$19,21 \angle 83,3 \Omega$
4	Jatigede – Rancaekek	$15,67 \angle 77 \Omega$	$23,505 \angle 77 \Omega$	$26,85 \angle 77 \Omega$
5	Rancaekek – New Rancakasumba	$1,25 \angle 83 \Omega$	$4,73 \angle 83 \Omega$	$8,3 \angle 83 \Omega$

d. Menentukan *setting* waktu kerja relai distance

Menambahkan parameter waktu penyetelan relai distance yaitu waktu kerja pada zona 1, zona 2 dan zona 3 sesuai dengan perhitungan yang telah dilakukan pada penelitian ini.



Gambar 4. 11 Setting Waktu kerja Zona 1, 2, dan 3

5. Menambahkan *external grid*

Menambahkan external grid yang dihubungkan pada bus GI 150kV Sunyaragi dan GI 150kV Rancakasumba. Pada external grid tersebut dimasukkan nilai MVA_{sc} 3 fasa dan R/X Ratio. Untuk menghitung MVA_{sc} maka dibutuhkan data arus hubung singkat yang tercantum pada tabel 3.5, diketahui bahwa nilai arus hubung singkat 3 fasa pada GI 150 kV Sunyaragi adalah 27,29 kA dan pada GI Rancakasumba adalah 19,66 kA. Nilai MVA_{sc} dihitung dengan persamaan berikut :

$$MVA_{sc} = \sqrt{3} \cdot kV_{LL} \cdot kA_{sc} \quad (4.1)$$

dengan

kV_{LL} : Tegangan fasa-fasa (kV)

kA_{sc} : Arus hubung singkat (kA)

MVA_{sc} : Daya hubung singkat (VA)

- *External Grid* pada GI 150kV Sunyaragi

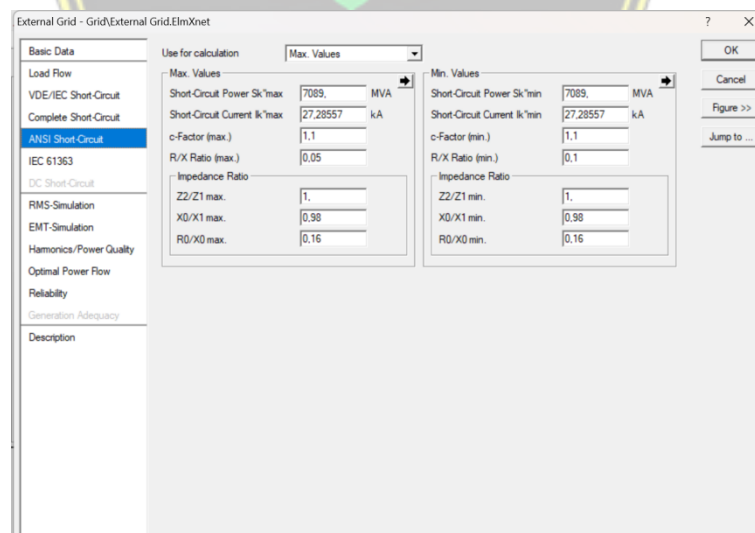
$$MVA_{sc} = \sqrt{3} \cdot 150 \cdot 27,29$$

$$MVA_{sc} = 7089,94 \text{ MVA}$$

- *External Grid* pada GI 150kV Rancakasumba

$$MVA_{sc} = \sqrt{3} \cdot 150 \cdot 19,66$$

$$MVA_{sc} = 5107,66 \text{ MVA}$$

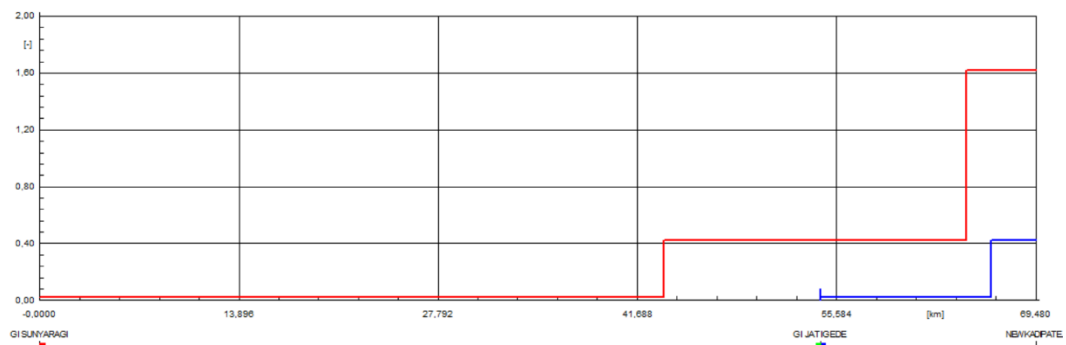


Gambar 4. 12 Pemodelan External Grid

4.1.6 Hasil Simulasi pada Fitur *Time Distance Diagram*

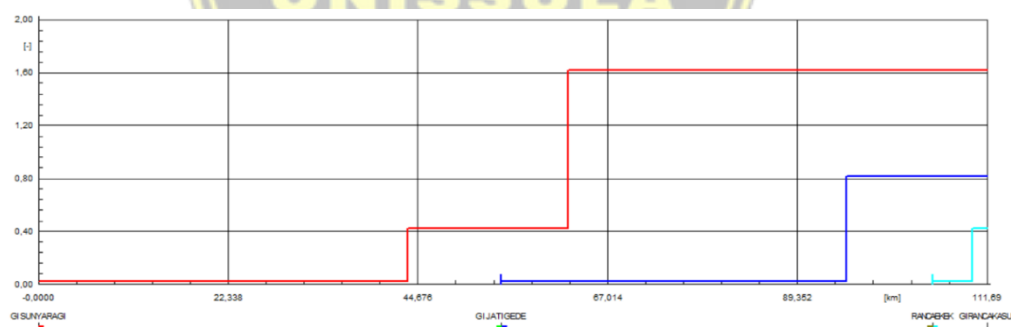
Setelah semua parameter terpenuhi maka dapat ditampilkan koordinasi kerja antar relai menggunakan fitur time distance diagram untuk memastikan bahwa setting impedansi rele dan setting waktu kerja relai sudah sesuai dengan perhitungan yang dilakukan. Sesuai pada Gambar 4.4 terdapat percabangan pada rangkaian sehingga koordinasi kerja relai distance SUTT 150kV Sunyaragi-Jatigede terbagi menjadi 2 yaitu seperti berikut :

a. Time Distance Diagram Saluran Sunyaragi – Jatigede – New Kadipaten



Gambar 4. 13 Kurva Waktu Operasi Saluran Sunyaragi – Jatigede – New Kadipaten

b. Time Distance Diagram Saluran Sunyaragi – Jatigede – Rancaekek - Rancakasumba



Gambar 4. 14 Kurva Waktu Operasi Saluran Sunyaragi – Jatigede – Rancaekek - Rancakasumba

4.1.7 Hasil Simulasi pada Fitur *Short Circuit Analysis*

Pada penelitian ini dilakukan simulasi gangguan hubung singkat pada penghantar 150kV Sunyaragi-Jatigede dengan menggunakan *setting* relai *distance* kondisi eksisting (sebelum rekonfigurasi penghantar) dan *setting* relai *distance* kondisi *resetting* (pasca rekonfigurasi penghantar). Sehingga dapat diketahui performma dan relevansi *setting* relai *distance* SUTT 150kV Sunyaragi – New Kadipaten jika digunakan pada SUTT 150kV Sunyaragi – Jatigede. Jenis hubung singkat yang diberikan adalah :

- a. Hubung Singkat 3 Fasa
- b. Hubung Singkat 2 Fasa
- c. Hubung Singkat 2 Fasa ke Tanah

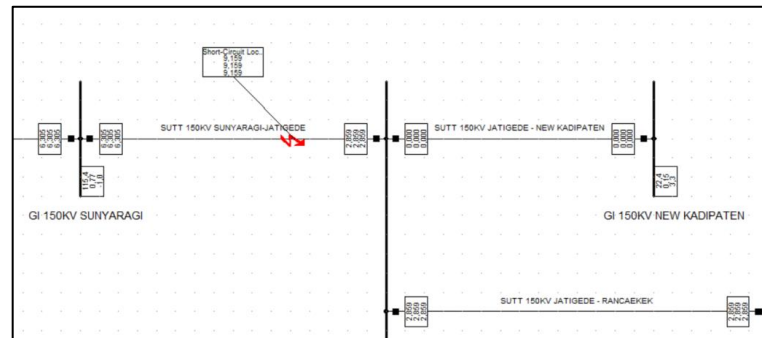
Terdapat 3 skenario gangguan yang dirancang berdasarkan lokasi gangguannya. Skenario gangguan hubung singkat ini dibuat untuk melihat kinerja dari relai *distance*. Skenario gangguan hubung singkat ditunjukkan pada Tabel 4.2

Tabel 4. 2 Skenario Gangguan Hubung Singkat

Skenario	Letak	Jenis Gangguan	Lokasi Gangguan dari GI Sunyaragi
Skenario 1	SUTT 150kV Sunyaragi - Jatigede	3 Fasa	70% (38,136 km)
		2 Fasa	70% (38,136 km)
		2 Fasa ke Tanah	70% (38,136 km)
Skenario 2	SUTT 150kV Jatigede - New Kadipaten	3 Fasa	110% (59,92 km)
		2 Fasa	110% (59,92 km)
		2 Fasa ke Tanah	110% (59,92 km)
Skenario 3	SUTT 150kV Jatigede - Rancaekek	3 Fasa	190% (103,51 km)
		2 Fasa	190% (103,51 km)
		2 Fasa ke Tanah	190% (103,51 km)

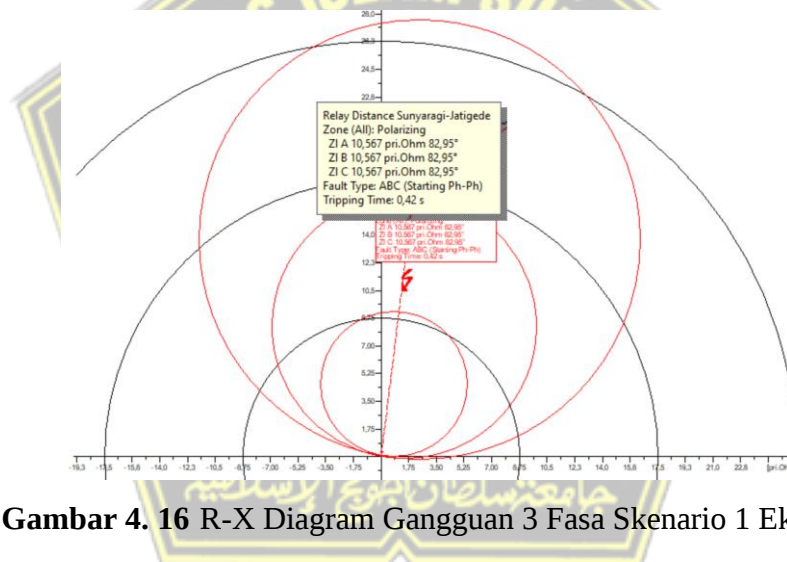
a. Skenario 1

Skenario 1 merupakan gangguan yang terjadi diantara menara SUTT 150kV Sunyaragi-Jatigede. Gangguan terletak diantara subsistem Sunyaragi dan Jatigede sejauh 70% atau 38,136 km dari GI 150kV Sunyaragi.



Gambar 4. 15 Letak Gangguan Skenario 1

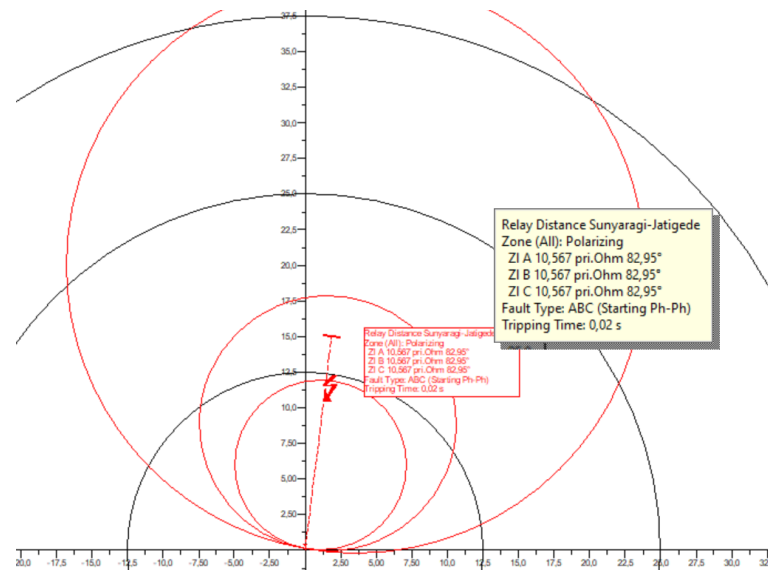
- Kondisi Eksisting



Gambar 4. 16 R-X Diagram Gangguan 3 Fasa Skenario 1 Eksisting

Pada Gambar 4.16 dapat dilihat kinerja relai *distance* subsistem Sunyaragi – Jatigede dengan menggunakan *setting* kondisi eksisting saat terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa. Impedansi yang terukur saat terjadi gangguan sebesar $10,567 \Omega$, waktu kerja rele *distance* GI Sunyaragi untuk mengisolir gangguan ditampilkan sebesar 0,42 s dengan relai *distance* bekerja pada zona 2.

- Kondisi *Resetting*

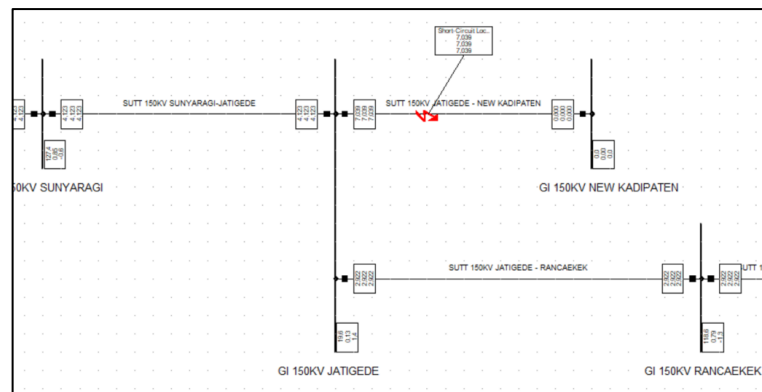


Gambar 4. 17 R-X Diagram Gangguan 3 Fasa Skenario 1 *Resetting*

Pada Gambar 4.17 dapat dilihat kinerja relai *distance* subsistem Sunyaragi – Jatigede kondisi *resetting* saat terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa. Impedansi yang terukur saat terjadi gangguan sebesar 10,567 Ω , waktu kerja rele *distance* GI Sunyaragi untuk mengisolir gangguan sebesar 0,02 s dengan relai *distance* bekerja pada zona 1.

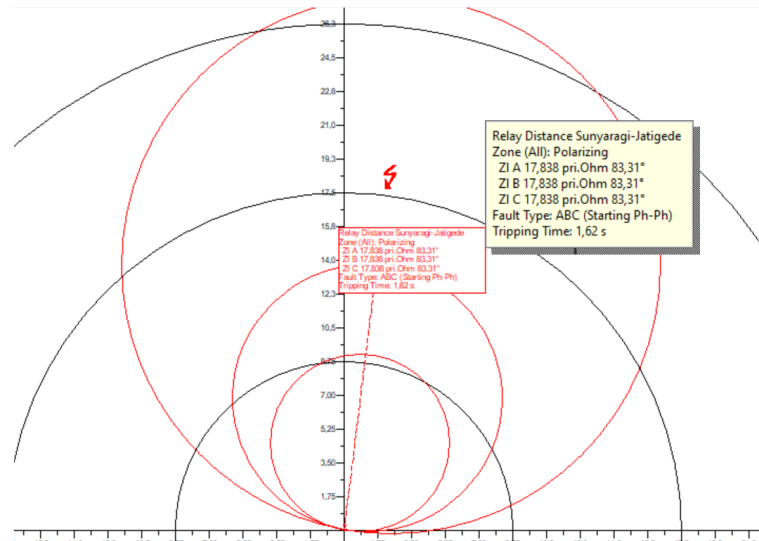
b. Skenario 2

Skenario 2 merupakan gangguan yang terjadi diantara menara SUTT 150kV Jatigede – New Kadipaten. Gangguan terletak sejauh 110% dari panjang saluran Sunyaragi – Jatigede, tepatnya diantara subsistem Jatigede – New Kadipaten sejauh 5,44 km dari GI 150kV Jatigede



Gambar 4. 18 Letak Gangguan Skenario 2

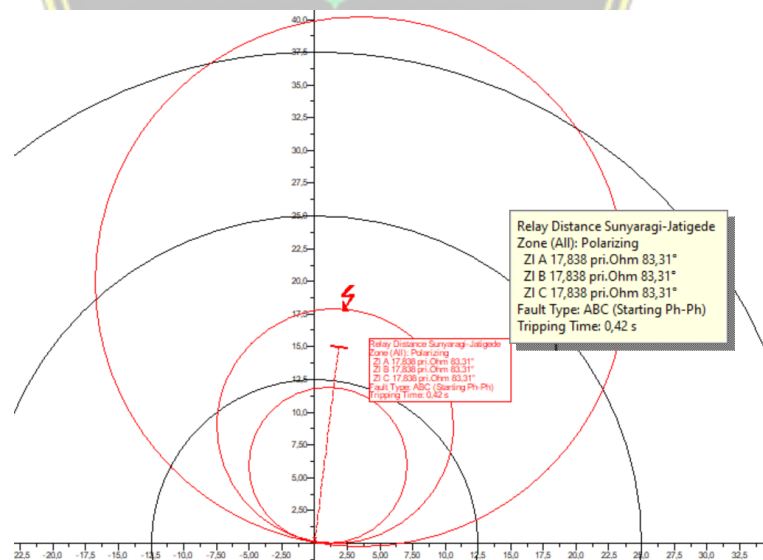
- Kondisi Eksisting



Gambar 4. 19 R-X Diagram Gangguan 3 Fasa Skenario 2 Eksisting

Pada Gambar 4.19 dapat dilihat kinerja relai *distance* subsistem Sunyaragi–Jatigede menggunakan *setting* kondisi eksisting saat terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa. Impedansi terukur saat terjadi gangguan sebesar 17,838 Ω , waktu kerja relai *distance* GI Sunyaragi untuk mengisolir gangguan ditampilkan sebesar 1,62 s dengan relai *distance* bekerja pada zona 3.

- Kondisi Resetting

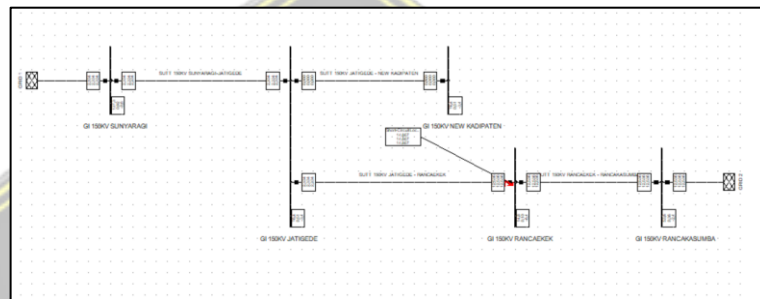


Gambar 4. 20 R-X Diagram Gangguan 3 Fasa Skenario 2 *Resetting*

Pada Gambar 4.20 dapat dilihat kinerja relai *distance* subsistem Sunyaragi–Jatigede kondisi *resetting* saat terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa. Impedansi yang terukur saat terjadi gangguan sebesar $17,838 \Omega$, waktu kerja rele *distance* GI Sunyaragi untuk mengisolir gangguan sebesar 0,42 s dengan relai distance bekerja pada zona 2.

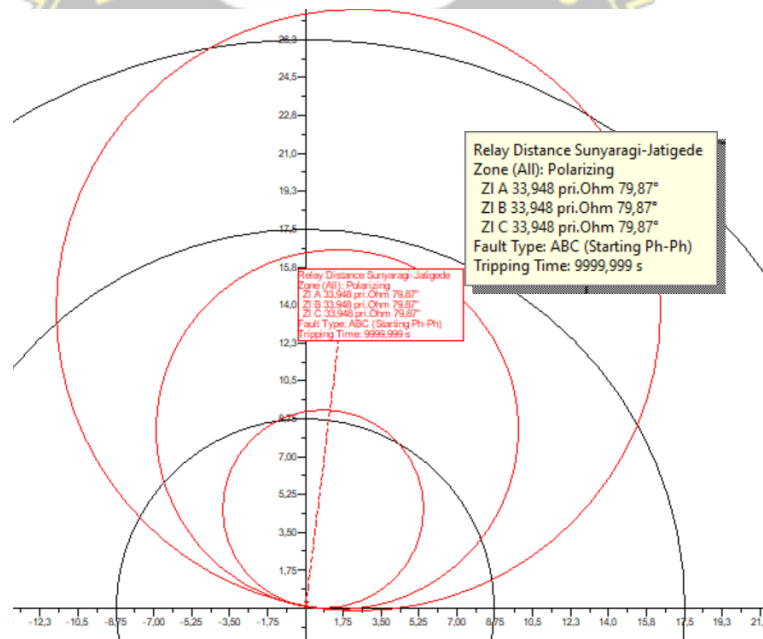
c. Skenario 3

Skenario 3 merupakan gangguan yang terjadi diantara menara SUTT 150kV Jatigede – Rancaekek. Gangguan terletak sejauh 190% dari panjang saluran Sunyaragi – Jatigede, tepatnya diantara subsistem Jatigede – Rancaekek sejauh 49,03 km dari GI 150kV Jatigede.



Gambar 4. 21 Letak Gangguan Skenario 3

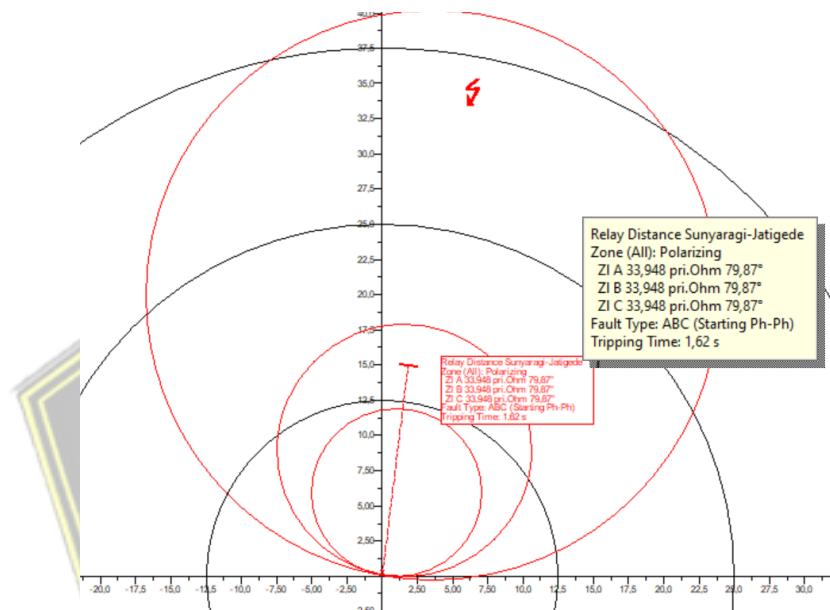
- Kondisi Eksisting



Gambar 4. 22 R-X Diagram Gangguan 3 Fasa Skenario 3 Eksisting

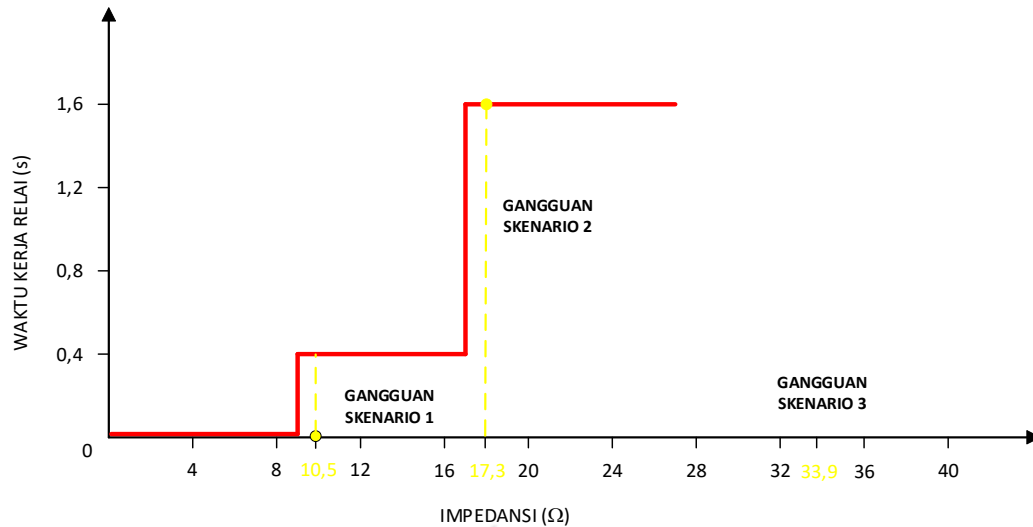
Pada Gambar 4.22 dapat dilihat kinerja relai *distance* subsistem Sunyaragi-Jatigede menggunakan *setting* kondisi eksisting saat terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa. Impedansi saat terjadi gangguan sebesar 33,948 Ω . Dari hasil simulasi yang telah dilakukan, relai *distance* GI Sunyaragi tidak dapat membaca adanya gangguan. yang menunjukkan kondisi eksisting belum sesuai standar.

- Kondisi Resetting

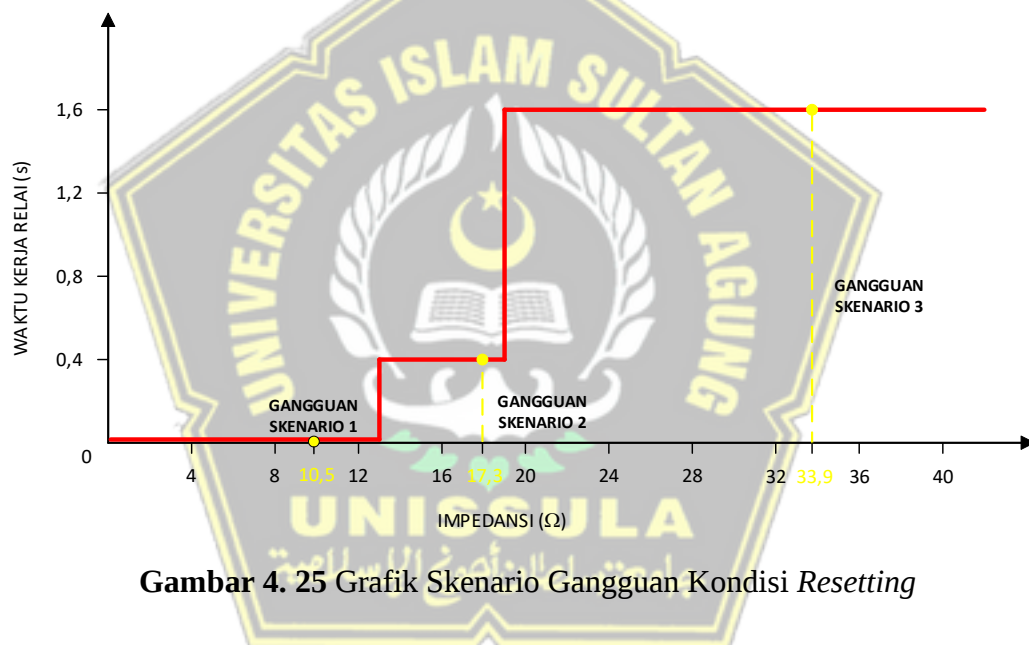


Gambar 4. 23 R-X Diagram Gangguan 3 Fasa Skenario 3 Resetting

Pada Gambar 4.23 dapat dilihat kinerja relai *distance* subsistem Sunyaragi-Jatigede kondisi *resetting* saat terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa. Impedansi yang terukur saat terjadi gangguan sebesar 33,948 Ω , waktu kerja rele *distance* GI Sunyaragi untuk mengisolir gangguan sebesar 1,62 s dengan relai distance bekerja pada zona 3.



Gambar 4. 24 Grafik Skenario Gangguan Kondisi Eksisting



Gambar 4. 25 Grafik Skenario Gangguan Kondisi Resetting

4.2 ANALISA

4.2.1 Hasil Simulasi pada Fitur *Time Distance Diagram*

Berdasarkan hasil simulasi *time distance diagram* pada aplikasi DIGSILENT PowerFactory 15.1, menunjukkan bahwa koordinasi proteksi pada saluran Sunyaragi – Jatigede – New Kadipaten dan saluran Sunyaragi – Jatigede – Rancaekek – Rancakasumba tidak terjadi *overlapping*, yang berarti bahwa setting proteksi relai *distance* pada SUTT 150kV Sunyaragi-Jatigede bekerja secara optimal dengan memastikan tidak ada tumpang tindih antara zona proteksi yang satu dengan yang lainnya.

4.2.2 Hasil Simulasi pada Fitur *Short Circuit Analysis*

a. Skenario 1

Tabel 4.3 menunjukkan hasil simulasi *short circuit analysis* skenario 1 pada aplikasi DIGSILENT PowerFactory 15.1 dengan impedansi gangguan yang terukur sebesar $10,567 \Omega$ (70% impedansi saluran). Berdasarkan Standar Buku Pedoman dan Petunjuk Sistem Proteksi Transmisi dan Gardu Induk Jawa Bali (2013), proteksi jangkauan zona 1 relai *distance* mencakup 80% impedansi saluran yang diamankan. Sehingga pada skenario 1 relai *distance* harus bekerja pada zona 1 dengan waktu kerja instan. Sedangkan pada kondisi eksisting menunjukkan relai *distance* GI Sunyaragi bekerja pada zona 2 dengan waktu kerja relai untuk mengisolir gangguan sebesar 0,42 s yang berarti kondisi eksisting belum sesuai standar dimana terjadi *underreach protection*.

Pada kondisi *resetting* hasil simulasi menunjukkan relai *distance* GI Sunyaragi bekerja pada zona 1 dengan waktu kerja rele untuk mengisolir gangguan sebesar 0,02 s yang berarti kondisi *resetting* sesuai standar.

Tabel 4. 3 Kinerja Relai *Distance* Skenario 1

Setting Impedansi	Jenis Gangguan	Waktu Trip	Zona yang Bekerja
Kondisi Eksisting	3 fasa	0,42 s	Zona 2
	2 fasa	0,42 s	Zona 2
	2 fasa ke tanah	0,42 s	Zona 2
Kondisi Resetting	3 fasa	0,02 s	Zona 1
	2 fasa	0,02 s	Zona 1
	2 fasa ke tanah	0,02 s	Zona 1

b. Skenario 2

Tabel 4.4 menunjukkan hasil simulasi *short circuit analysis* skenario 2 pada aplikasi DIGSILENT PowerFactory 15.1 dengan impedansi gangguan yang terukur sebesar $17,838 \Omega$ (118% impedansi saluran). Berdasarkan Standar Buku Pedoman dan Petunjuk Sistem Proteksi Transmisi dan Gardu Induk Jawa Bali (2013), proteksi jangkauan zona 2 relai *distance* mencakup 120% impedansi saluran yang diamankan. Sehingga pada skenario 2 relai

distance harus bekerja pada zona 2 dengan waktu tunda 0,4 s. Sedangkan pada kondisi eksisting menunjukkan relai *distance* GI Sunyaragi bekerja pada zona 3 dengan waktu kerja relai untuk mengisolir gangguan sebesar 1,62 s yang berarti kondisi eksisting belum sesuai standar dimana terjadi *underreach protection*.

Pada kondisi *resetting* hasil simulasi menunjukkan relai *distance* GI Sunyaragi bekerja pada zona 2 dengan waktu kerja rele untuk mengisolir gangguan sebesar 0,42 s yang berarti kondisi *resetting* sesuai standar.

Tabel 4. 4 Kinerja Relai Distance Skenario 2

Saluran	Jenis Gangguan	Waktu Trip	Zona yang Bekerja
Kondisi Eksisting	3 fasa	1,62 s	Zona 3
	2 fasa	1,62 s	Zona 3
	2 fasa ke tanah	1,62 s	Zona 3
Kondisi Resetting	3 fasa	0,42 s	Zona 2
	2 fasa	0,42 s	Zona 2
	2 fasa ke tanah	0,42 s	Zona 2

c. Skenario 3

Tabel 4.5 menunjukkan hasil simulasi *short circuit analysis* skenario 3 pada aplikasi DIgSILENT PowerFactory 15.1 dengan impedansi gangguan yang terukur sebesar 33,948 Ω (224% impedansi saluran). Berdasarkan Standar Buku Pedoman dan Petunjuk Sistem Proteksi Transmisi dan Gardu Induk Jawa Bali (2013), proteksi jangkauan zona 3 relai *distance* mencakup 269% impedansi saluran yang diamankan. Sehingga pada skenario 3 relai *distance* harus bekerja pada zona 3 dengan waktu tunda 1,6 s. Sedangkan pada kondisi eksisting menunjukkan relai *distance* GI Sunyaragi tidak dapat membaca adanya gangguan, hal ini dapat berbahaya apabila proteksi utama pada SUTT 150kV Jatigede–Rancaekek tidak bekerja sehingga terjadi kegagalan proteksi yang menyebabkan kerusakan peralatan atau kerusakan saluran transmisi serta gangguan yang meluas. Hal tersebut menunjukkan bahwa kondisi eksisting belum sesuai standar dimana terjadi *underreach protection*.

Pada kondisi *resetting* hasil simulasi menunjukkan relai *distance* GI Sunyaragi bekerja pada zona 3 dengan waktu kerja rele untuk mengisolir gangguan sebesar 1,62 s yang berarti kondisi *resetting* sesuai standar.

Tabel 4. 5 Kinerja Relai Distance Skenario 3

Saluran	Jenis Gangguan	Waktu Trip	Zona yang Bekerja
Kondisi Eksisting	3 fasa	-	-
	2 fasa	-	-
	2 fasa ke tanah	-	-
Kondisi Resetting	3 fasa	1,62 s	Zona 3
	2 fasa	1,62 s	Zona 3
	2 fasa ke tanah	1,62 s	Zona 3



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan simulasi yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Dampak konfigurasi penghantar menyebabkan nilai jangkauan pada relai distance Sunyaragi-New Kadipaten tidak sesuai standar referensi setelah dengan jangkauan pada zona 1 menjadi sebesar 61,5%, zona 2 sebesar 92% ,dan zona 3 sebesar 184%. Sehingga perlu dilakukan resetting pada seluruh zona impedansinya.
2. *Resetting* dilakukan dengan formula perhitungan impedansi seperti yang dijelaskan pada Buku Pedoman dan Petunjuk Sistem Proteksi Transmisi dan Gardu Induk Jawa Bali (2013) dengan jangkauan zona 1 menjadi sebesar 80%, zona 2 sebesar 120% ,dan zona 3 sebesar 268%.
3. Berdasarkan hasil simulasi koordinasi dan kinerja *distance* subsistem Sunyaragi – Jatigede menggunakan *fitur time distance diagram software* DIgSILENT, maka dapat diketahui bahwa pada kondisi resetting sudah sesuai dengan standar serta koordinasi relai *distance* GI Sunyaragi arah GI Jatigede dengan relai *distance* yang berada didepannya yaitu pada GI Jatigede arah GI New Kadipaten, GI Jatigede arah Rancaekek, dan GI Rancaekek arah GI Rancakasumba tidak mengalami *overlapping*.
4. Berdasarkan simulasi gangguan dengan 3 macam skenario gangguan berdasarkan letaknya, yaitu 70% dari panjang saluran Sunyaragi-Jatigede, 110% dari panjang saluran Sunyaragi-Jatigede , dan 190% dari panjang saluran Sunyaragi-Jatigede maka dapat diketahui bahwa pada kondisi resetting relay distance pada jangkauan zona 1, 2, dan 3 sudah sesuai dengan standar, sedangkan pada kondisi eksisting pada jangkauan zona 1, 2 dan 3 tidak sesuai standar. Jenis gangguan yang diberikan yaitu

gangguan 3 fasa, gangguan 2 fasa, dan gangguan 2 fasa ke tanah menggunakan fitur *Short Circuit Analysis software* DIgSILENT.

5.2 Saran

1. Studi lebih lanjut dapat dikembangkan dengan mengkoordinasikan rele jarak sebagai *main protection* dan *Over Current Relay (OCR)* sebagai *backup protection*
2. Studi lebih lanjut dapat dikembangkan dengan memperluas cakupan sistem sehingga dapat mengevaluasi relai *distance* pada subsistem lain di wilayah PT. PLN (Persero) UPT Cirebon.
3. Studi lebih lanjut dapat dikembangkan dengan analisis konsekuensi teknis yang akan terjadi pada peralatan (Konduktor pada saluran transmisi dan peralatan MTU di Swicthyard Gardu Induk) saat relai *distance* gagal bekerja dengan parameter nilai arus hubung singkat terbesar saat terjadi gangguan.
4. Pihak PLN dapat menggunakan penelitian ini sebagai masukan dalam langkah melakukan resetting relai pada saluran transmisi 150 kV agar keandalan sistem tenaga listrik tetap terjaga dengan baik. Serta penelitian ini dapat dikembangkan dengan mempertimbangkan perubahan konfigurasi jaringan yang mungkin terjadi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1].Arto, M. Sugi. 2021. *Perhitungan Parameter Setting Relai Jarak Menggunakan DigSILENT PowerFactory Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV GI New Tarahan - GI Sebalang - GI Kalianda*. Lampung : Digital Repository Unila.
- [2].Benedicta, Nadhira. 2021. *Analisis Scanning Setting Proteksi Distance Relay Pada Penghantar 150 kV Gardu Induk Garuda Sakti Ke Gardu Induk Balai Pungut*. Pekanbaru : Repository UIN Suska.
- [3].Effendi, Mahyuddin. 2017. *Koordinasi Rele Jarak (Distance Relay) Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV Gardu Induk Ungaran-Bsb-Krapyak*. Semarang : USM Science.
- [4].PT PLN (Persero). 2014. *Buku Pedoman Pemeliharaan Proteksi Dan Kontrol Penghantar*. Jakarta Selatan : PT PLN (Persero).
- [5].PT PLN (Persero). 2014. *Buku Pedoman Pemeliharaan Saluran Udara Tegangan Tinggi Dan Ekstra Tinggi (SUTT/SUTET)*. Jakarta Selatan : PT PLN (Persero).
- [6].Hamdadi, Antonius dan Fikriansyah. 2014. *Analisa Dan Pengaturan Ulang Relai Jarak Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 kV Keramasan – Bukit Asam*. Mikrotiga, Vol 1, No. 3.
- [7].IEEE. 2015. *IEEE Guide for Protective Relay Applications to Transmission Lines*. New York : IEEE Xplore Digital Library.
- [8].ALSTOM GRID. 2011. *Network Protection & Automation Guide*. ALSTOM.
- [9].Sampeallo, AS dkk. 2017. *Effect of distance relay settings on interferencezone reading on 70 kV transmission lines Bolok -Maulafa using Digsilnet 15.1.7*. Kupang : IOP Science.
- [10].PT PLN (Persero). 2013. *Buku Pedoman Dan Petunjuk Sistem Proteksi Transmisi Dan Gardu Induk Jawa Bali*. Jakarta : PT PLN (Persero).
- [11].PT PLN (Persero). 2023. *Setting Relai Distance GI 150kV Sunyaragi Bay New Kadipaten 1-2*. Bandung : PT PLN (Persero) UITJBT.

- [12]. PT PLN (Persero). 2024. *Setting Relai Distance GI 150kV Sunyaragi Bay Jatigede*. Bandung : PT PLN (Persero) UITJBT.
- [13]. PT PLN (Persero). 2024. *Setting Relai Distance GI 150kV Jatigede Bay New Kadipaten*. Bandung : PT PLN (Persero) UITJBT.
- [14]. PT PLN (Persero). 2023. *Setting Relai Distance GI 150kV Jatigede Bay Rancaekek*. Bandung : PT PLN (Persero) UITJBT.
- [15]. PT PLN (Persero). 2024. *Setting Relai Distance GI 150kV Rancaekek Bay Rancakasumba*. Bandung : PT PLN (Persero) UITJBT.
- [16]. PT PLN (Persero). 2024. *Arus Hubung Singkat GI/GITET Sistem Jawa-Bali Semester 2 Tahun 2024*. Jakarta: PT PLN (Persero) UIP2B Jawa-Bali.
- [17]. Nugraha, K. T., Handoko, S., dan Nugroho, A. 2018. *Analisis Koordinasi Setting Rele Jarak Pada GI 150 kV Kudus-Jekulo-Pati Secara Dua Arah*. Transient, Vol. 7, No.1.
- [18]. Wahyuningsih, R. A., Supriyatna, dan Muljono, A. B. 2020. *Proteksi Rele Jarak (Distance Relay) Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV Sistem Kelistrikan Lombok*. Dielektrika, Vol.7, No.1.
- [19]. Sepang, J. B., Patras, L. S., dan Lisi, F. 2017. *Analisa Koordinasi Setting Relai Jarak Sistem Transmisi 150 kV Area Gardu Induk Otam – Gardu Induk Isimu*. Jurnal Teknik Elektro dan Komputer, Vol.6, No.1.
- [20]. Hidayatullah, K., Hartati, R. S., dan Sukerayasa, I. W. 2019. *Analisis Penentuan Setting Distance Relay Penghantar SUTT 150 kV GIS Pesanggaran – GI Pemecutan Kelod*. Jurnal SPEKTRUM, Vol.6, No.1.
- [21]. Munir, M dkk. 2022. *Analisa Koordinasi Proteksi Relay Jarak dengan Software Digsilent pada GI Sukolilo ke GI Kenjeran Menggunakan Metode Fuzzy*. BEES: Bulletin of Electrical and Electronics Engineering, Vol.3, No.1.
- [22]. Haskarya, H., Pujiantara, M., & Musthofa, A. 2016. *Koordinasi Proteksi Saluran Udara Tegangan Tinggi Pada Gardu Induk Mliwang – Tuban Akibat Penambahan Penghantar PLTU Tanjung Awar-Awar*. Jurnal Teknik ITS, Vol.5, No.2.
- [23]. Prasetyo, W. A dkk. 2023. *Analisis Re-Setting Distance Relay Menggunakan Metode Artificial Neural Network Pada Saluran Transmisi Sistem 150 kV Gardu Induk Bangil – Gardu Induk Pier*. Jurnal Spektrum, Vol.10, No.4.

- [24]. Ilyas, I., Setiawan, M. F., & Sugeng, U. M. 2022. *Analisis Penggantian Distance Relay Dengan Line Current Differential Relay Pada Penghantar Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 kV*. Sinusoida, Vol.24, No.2.
- [25]. PT PLN (Persero). 2024. *Prosedur Pengoperasian Peralatan Gardu Induk 150 kV Kadipaten*. Cirebon : PT PLN (Persero) UPT Cirebon

