

**ANALISIS KINERJA RELE JARAK DAN *TRAVELLING WAVE SIGNAL* (TWS) DALAM MENENTUKAN TITIK GANGGUAN
AKIBAT SAMBARAN PETIR
(APLIKASI : SALURAN TRANSMISI 150 kV GI GLUGUR – PAYAGELI)**

TESIS

*Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Magister Teknik
Dalam Bidang Teknik Elektro*

Oleh :

ADAM PANGESTU
NPM : 1920080017



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2022**

PENGESAHAN PEMBIMBING

Nama : **ADAM PANGESTU**
Nim : 1920080017
Prodi/Konsentrasi : Magister Teknik Elektro/Managemen Energi Listrik
Judul Thesis : Analisis Kinerja Rele Jarak dan Travelling Wave Signal
(TWS) Dalam Menentukan Titik Gangguan Akibat
Sambaran Petir (Aplikasi : Saluran Transmisi 150 kV GI
Glugur – Payageli)

Pengesahan Tesis :

Medan, 2 Juli 2022

Komisi Pembimbing

Pembimbing I

Pembimbing II



Assoc. Prof. Dr. Ir. Surya Hardi, M.Sc



Rohana S.T., M.T

Diketahui :

Direktur



Prof. Dr. Triono Eddy, S.H., M.Hum

Ketua Program Studi



Assoc. Prof. Dr. Ir. Suwarno, M.T

PENGESAHAN

**ANALISIS KINERJA RELE JARAK DAN *TRAVELLING WAVE SIGNAL*
(TWS) DALAM MENENTUKAN TITIK GANGGUAN AKIBAT
SAMBARAN PETIR
(APLIKASI : SALURAN TRANSMISI 150 kV GI GLUGUR – PAYAGELI)**

“Tesis ini Telah Dipertahankan Dihadapan Panitia Penguji
Yang Dibentuk Oleh Magister Teknik Elektro PPs.UMSU dan Dinyatakan Lulus
Dalam Ujian,
Pada Hari Sabtu, Tanggal 02 Juli 2022”

PANITIA PENGUJI

1. Assoc. Prof Dr. Ir. Suwarno,M.T
Ketua

1.....

2. Assoc. Prof. Dr. Muhammad Fitra Zambak,S.T,M.Sc
Sekretaris

2.....

3. Dr. Josef Hadipramana
Anggota

3.....

UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

PERNYATAAN

ANALISIS KINERJA RELE JARAK DAN *TRAVELLING WAVE SIGNAL* (TWS) DALAM MENENTUKAN TITIK GANGGUAN AKIBAT SAMBARAN PETIR (APLIKASI : SALURAN TRANSMISI 150 kV GI GLUGUR – PAYAGELI)

Dengan ini penulis menyatakan bahwa :

1. Tesis ini disusun sebagai syarat untuk memperoleh gelar Magister pada Program Magister Teknik Elektro Program Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara benar merupakan hasil karya peneliti sendiri.
2. Tesis ini asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (Sarjana, Magister, dan/atau doktor), baik di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara maupun di perguruan tinggi lain.
3. Tesis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Komisi Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
4. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya. Apabila dikemudian hari ternyata ditemukan seluruh atau sebagian tesis ini bukan hasil karya penulis sendiri atau adanya plagiat dalam bagian-bagian tertentu, penulis bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang penulis sandang dan sanksi-sanksi lainnya sesuai dengan peraturan perundangan yang berlaku.

Medan, 02 Juli 2022

Penulis



ADAM PANGESTU

**ANALISA KINERJA RELE JARAK DAN *TRAVELLING WAVE SIGNAL*
(TWS) DALAM MENENTUKAN TITIK GANGGUAN AKIBAT
SAMBARAN PETIR (APLIKASI : SALURAN TRANSMISI 150 KV GI
GLUGUR – PAYAGELI)**

**ADAM PANGESTU
NPM : 1920080017**

ABSTRAK

Saluran transmisi harus dirancang dengan mempertimbangkan beberapa aspek seperti kehandalan, ekonomis, dan keamanan. Oleh karena itu, maka sistem proteksi saluran transmisi harus bekerja dengan sensitif, selektif, cepat, maupun handal pada saat terjadinya gangguan sambaran petir. Rele jarak dan *Travelling Wave Signal* dapat mendeteksi titik gangguan pada saat saluran transmisi mengalami gangguan akibat sambaran petir. Penelitian ini bertujuan menganalisa kinerja Rele Jarak dan *Traveling Wave Signal* dalam menentukan titik gangguan akibat sambaran petir pada Gardu Induk Glugur – Payageli. Dalam penelitian ini akan menganalisa berbagai data pendukung yang didapatkan dari PT PLN (PERSERO) untuk mengetahui *setting* an Rele Jarak dalam menentukan titik gangguan serta mengetahui kinerja *Travelling Wave Signal* dalam menentukan titik gangguan. *Setting* pada Rele Jarak yang tidak tepat akan mengakibatkan rele jarak gagal bekerja sesuai dengan zona nya. Dalam penelitian ini rele jarak bekerja sesuai dengan standard SPLN No. 0520-2K./DIR Tahun 2014 tetapi Rele jarak dalam menentukan titik gangguan berdasarkan jarak aktual dilapangan memiliki kesalahan pembacaan diatas 3%, sedangkan *Travelling Wave Signal* dalam menentukan titik gangguan berdasarkan jarak aktual dilapangan memiliki kesalahan pembacaan tidak melebihi 1%. Dari penelitian ini didapatkan bahwasanya *Travelling Wave Signal* dapat digunakan di seluruh gardu induk yang ada di Indonesia sebagai pembanding dalam menentukan lokasi titik gangguan.

Kata Kunci : Saluran Transmisi, Gangguan, Rele Jarak, *Travelling Wave Signal*

**ANALYSIS THE PERFORMANCE OF DISTANCE RELAY AND
TRAVELLING WAVE SIGNAL (TWS) IN DETERMINING THE FAULT
LOCATION DUE LIGHTNING (APPLICATION : LINE TRANSMISSION
150 KV GI GLUGUR – PAYAGELI)**

**ADAM PANGESTU
NPM : 1920080017**

ABSTRACT

The transmission line must be designed by considering several aspects such as handling, economy, and safety. Therefore, the transmission line protection system must work sensitively, selectively, quickly, and reliably in the event of a lightning strike. Distance relays and Traveling Wave Signals can detect interference points when the transmission line is disturbed due to lightning strikes. This study aims to analyze the performance of the Distance Relay and Traveling Wave Signal in determining the point of disturbance due to a lightning strike at the Glugur - Payageli Substation. In this study, we will analyze various supporting data obtained from PT PLN (PERSERO) to determine the Distance Relay setting in determining the fault point and determine the performance of the Traveling Wave Signal in determining the fault point. Setting the distance relay that is not right will cause the distance relay to fail to work according to its zone. In this study, the distance relay works according to the SPLN No. standard. 0520-2K./DIR 2014 but the distance relay in determining the fault point based on the actual distance in the field has a reading error of above 3%, while the Traveling Wave Signal in determining the fault point based on the actual distance in the field has a reading error of not exceeding 1%. From this study, it was found that the Traveling Wave Signal can be used in all substations in Indonesia as a comparison in determining the location of the disturbance point.

Keywords : Line transmission, fault, distance relay, travelling wave signal

KATA PENGANTAR



Puji syukur kehadiran ALLAH SWT atas rahmat dan karunianya yang telah menjadikan kita sebagai manusia yang beriman dan insya ALLAH berguna bagi alam semesta. Shalawat berangkaikan salam kita ucapkan kepada junjungan kita Nabi besar Muhammad.SAW karena beliau adalah suri tauladan bagi kita semua yang telah membawakan kita pesan ilahi untuk dijadikan pedoman hidup agar dapat selamat hidup di dunia hingga nanti kembali ke akhirat.

Tulisan ini dibuat sebagai proposal thesis untuk memenuhi syarat dalam meraih gelar kemagisteran pada Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Adapun judul thesis ini adalah **“ANALISIS KINERJA RELE JARAK DAN *TRAVELLING WAVE SIGNAL* (TWS) DALAM MENENTUKAN TITIK GANGGUAN AKIBAT SAMBARAN PETIR (APLIKASI : SALURAN TRANSMISI 150 KV GI GLUGUR – PAYAGELI)”**

Selesainya penulisan proposal thesis ini tidak terlepas dari bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Allah SWT, karena atas berkah dan izin-Mu saya dapat menyelesaikan tugas akhir dan studi di Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

2. Ayahanda dan ibunda tercinta, yang dengan cinta kasih & sayang setulus jiwa mengasuh, mendidik, dan membimbing dengan segenap ketulusan hati tanpa mengenal kata lelah sehingga penulis bisa seperti saat ini.
3. Bapak Prof. Dr. H. Triono Eddy, SH., M.Hum selaku Direktur Program Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Assoc. Prof. Dr. Ir. Suwarno M.T, selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Dr. Ir. Surya Hardi, M.Sc selaku Dosen Pembimbing I dalam penyusunan thesis ini.
6. Ibu Rohana, S.T, M.T selaku Sekretaris Program Studi Magister Teknik Elektro sekaligus Dosen Pembimbing II dalam penyusunan thesis ini.
7. Segenap Bapak & Ibu dosen di Program Pascasarjana Program Studi Magister Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Kepada teman seperjuangan Program Studi Magister Teknik Elektro angkatan 2019 yang selalu memberikan dukungan, dan motivasi kepada penulis
9. Karyawan Biro Program Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
10. Serta semua pihak yang telah mendukung dan tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa tulisan ini masih jauh dari kata sempurna, hal ini disebabkan keterbatasan kemampuan penulis, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik & saran yang membangun dari segenap pihak.

Akhir kata penulis mengharapkan semoga tulisan ini dapat menambah dan memperkaya lembar khazanah pengetahuan bagi para pembaca sekalian dan khususnya bagi penulis sendiri. Sebelum dan sesudahnya penulis mengucapkan terima kasih.

Wassalamualaikum, Wr. Wb

Medan, 15 April 2022

Penulis

ADAM PANGESTU

1920080017

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah	5
1.3 Batasan Masalah.....	6
1.4 Rumusan Masalah	7
1.5 Tujuan Penelitian.....	7
1.6 Manfaat Penelitian.....	8
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Landasan Teori	9
2.1.1 Saluran Transmisi	9
2.1.1.1 Kawat Penghantar	12
2.1.2 Gangguan Saluran.....	14
2.1.2.1 Klasifikasi Gangguan	14
2.1.2.2 Pengaruh Gangguan	15
2.1.3 Transformator	16
2.1.3.1 Current Transformator (CT).....	16
2.1.4 Sistem Proteksi	17
2.1.4.1 Daerah Proteksi	18
2.1.5 Rele Jarak.....	19
2.1.5.1 Prinsip Kerja Rele Jarak.....	20
2.1.5.2 Pemilihan Zona	21
2.1.5.3 Penentuan Zona 1	22
2.1.5.4 Penentuan Zona 2.....	23
2.1.5.5 Penentuan Zona 3.....	23

2.1.5.6 Menentukan Letak Gangguan	24
2.1.6 Impedansi.....	25
2.1.7 Travelling Wave Signal (TWS)	26
2.1.7.1 Metode Pengukuran Jarak Dengan Travelling Wave Signal	27
2.1.8 Petir.....	33
2.1.8.1 Proses Terjadinya Petir	34
2.1.8.3 Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Sambaran Petir	40
2.2 Tinjauan Pustaka Relevan	41
2.3 Kerangka Berpikir	51
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	53
3.1 Pendekatan Penelitian.....	53
3.2 Tempat Penelitian.....	53
3.3 Data Penelitian.....	54
3.4 Metode Penelitian.....	56
3.5 Diagram Alir Penelitian.....	58
BAB 4 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	60
4.1 Deskripsi Hasil Penelitian	60
4.2 Kinerja Rele Jarak	60
4.2.1 Perhitungan Impedansi	60
4.2.2 Penentuan Zona.....	61
4.2.3 Jarak Gangguan Berdasarkan Rele Jarak.....	65
4.2.4 Persentase <i>Error</i> Pembacaan Rele Jarak	68
4.2.5 Jarak Gangguan Berdasarkan <i>Travelling Wave Signal</i>	69
4.2.6 Persentase Error Pembacaan Travelling Wave Signal.....	72
4.3 Pembahasan	73
BAB 5 PENUTUP.....	77
5.1 Kesimpulan.....	77
5.2 Saran	78
DAFTAR PUSTAKA	79
LAMPIRAN	82

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Rangkaian ekivalen saluran transmisi pendek	11
Gambar 2.2 Rangkaian ekivalen saluran transmisi menengah rangkaian T	12
Gambar 2.3. Rangkaian ekivalen saluran transmisi menengah rangkaian π	12
Gambar 2.4. Zona Proteksi Rele Jarak.....	22
Gambar 2.5. Fault Locator Travelling Wave Signal	27
Gambar 2.6. Metode Tipe A dan Diagram Kisi	28
Gambar 2.7. Metode Tipe D dan Diagram Kisi	29
Gambar 2.8. Metode Tipe E dan Diagram Kisi	31
Gambar 2.9. Metode Dengan Travelling Wave Signal	32
Gambar 2.10. Model Stepped Leader Wagner dan Hileman	37
Gambar 2.11. Jarak sambar.....	38
Gambar 2.12. Tahapan Sambaran Petir.....	39
Gambar 2.13 Kerangka Berpikir	51
Gambar 3.1 Rele Jarak dan <i>Travelling Wave Signal</i>	53
Gambar 3.2 Single Line Diagram	54
Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian	58
Gambar 4.1 Bentuk Gangguan Glugur 1 – Payageli 1 Pada Jarak 6,77 km	65
Gambar 4.2 R – X Plot Zona Gangguan	66
Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Jarak Gangguan.....	69
Gambar 4.4 Bentuk Gangguan Glugur 1 – Payageli 1 Pada Jarak 6,77 km	70
Gambar 4.5 Signal Gelombang Gangguan Pada Jarak 6,7 km	71
Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Jarak Gangguan.....	73
Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Jarak Gangguan.....	75

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Rasio CT dan Rasio PT	54
Tabel 3.2 Data Kawat Penghantar ACSR GI Glugur 1 – GI Payageli 1	55
Tabel 3.3 Data Kawat Penghantar ACSR GI Payageli 1 – GI Payapasir 1	55
Tabel 3.4 Data Kawat Penghantar GI Glugur 2 – GI Payageli 2	55
Tabel 3.5 Data Kawat Penghantar GI Payageli 2 – GI Payapasir 2	55
Tabel 4.1 Jarak Gangguan Pada Rele Jarak	67
Tabel 4.2 Perbandingan Jarak Gangguan	68
Tabel 4.3 Jarak Gangguan <i>Travelling Wave Signal</i>	71
Tabel 4.4 Perbandingan Jarak Gangguan	72
Tabel 4.5 <i>Setting</i> Rele Jarak Berdasarkan Zona	73
Tabel 4.6 Perbandingan TWS dan Rele Jarak	75

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	82
Lampiran 2	83
Lampiran 3	84
Lampiran 4	85
Lampiran 5	86
Lampiran 6	90
Lampiran 7	100

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada zaman era teknologi sekarang ini sangat di perlukan adanya tenaga listrik. Sistem tenaga listrik di tuntut harus dapat memenuhi kebutuhan konsumen. Seiring dengan bertambahnya kebutuhan energi listrik, kehandalan sistem tenaga listrik merupakan kunci bagi masyarakat Indonesia. Disebabkan karena semakin banyak aktivitas masyarakat maka semakin meningkat kebutuhan energi listrik.

Kualitas daya menjadi satu dari berbagai faktor dalam sistem tenaga listrik. Kualitas daya yang tidak memenuhi standard akan menjadi permasalahan utama dalam sistem tenaga listrik. Kualitas daya ini dapat mempengaruhi peralatan – peralatan listrik akan menjadi buruk baik di industri maupun peralatan listrik di rumah tangga.

Dalam pendistribusian energi listrik ke konsumen, kontinuitas distribusi merupakan aspek penting dalam memenuhi kebutuhan tenaga listrik konsumen. Sistem tenaga listrik yang dioperasikan dengan baik dapat menjaga kontinuitas dan ketersediaan distribusi. Saluran transmisi adalah saluran untuk mengalirkan energi listrik dari generator ke konsumen yang mengkonsumsi listrik.

Dalam sistem tenaga listrik, jika jarak antara generator dan beban cukup jauh, jatuh tegangan pada saluran akan menurunkan kualitas tegangan. Oleh karena itu, saluran transmisi perlu dilengkapi dengan berbagai komponen untuk menjaga kestabilan kualitas daya hingga sampai ke konsumen.

Indonesia merupakan negara tropis yang keberadaannya terletak di garis khatulistiwa. Dengan adanya keadaan ini, maka Indonesia memiliki potensi petir yang tinggi dari pada negara lain. Petir dapat menyambar saluran transmisi dan peralatan listrik lainnya yang berada diruang terbuka. Petir merupakan penyebab gangguan transmisi paling dominan di Indonesia. Saat hujan, kelembaban udara meningkat, isolasi udara berkurang, aliran listrik lebih mudah, dan kilat terjadi sehingga dapat menyebabkan daya isolasi udara akan menurun yang menyebabkan arus listrik akan mudah mengalir. Petir dapat mengakibatkan beberapa masalah yang terjadi seperti padamnya daya listrik, induksi tegangan pada peralatan elektronik.

Ketika sambaran petir terjadi pada saluran transmisi, terjadi tegangan lebih, menyebabkan gangguan tanah dan kegagalan isolasi (*back flashover*). Fenomena *flashover* ini terjadi ketika tegangan melintasi saluran isolator melebihi tegangan kritis *flashover*, menyebabkan retakan api pada isolator. Pengaman yang digunakan pada saluran transmisi ialah rele jarak yang mampu mendeteksi gangguan. Selain rele jarak, *travelling wave signal* sangat diperlukan juga dalam mengatasi gangguan dengan membaca gelombang berjalan pada saluran transmisi untuk mencari titik gangguan.

Rele jarak adalah sebuah alat proteksi pada saluran transmisi karena dapat mendeteksi kegagalan dengan cepat dan relatif mudah dipasang. Rele jarak, baik SUTT maupun SUTET sebagai proteksi utama juga dapat bekerja sebagai cadangan untuk seksi didepan. Mengukur impedansi (Z) merupakan prinsip kerja dari rele jarak, transmisi dibagi menjadi beberapa area cakupan keamanan yaitu Zona 1,

Zona 2, Zona 3, dan proteksi jarak jauh juga dilengkapi proteksi yaitu Teleproteksi yang bekerja dengan cepat dan akurat di area proteksi.

Sinyal gelombang berjalan adalah alat perekam atau alat pemrosesan *input analog* yang melakukan proses perekaman dan mengidentifikasi lokasi gangguan pada saluran transmisi 150kV atau 500kV, yang kerjanya didasarkan pada teori gelombang berjalan.

Pada GI Glugur – GI Payageli merupakan saluran transmisi yang menggunakan rele proteksi jenis rele jarak. Rele jarak dapat mendeteksi gangguan dengan cepat berdasarkan impedansi gangguan sehingga titik gangguan didapatkan dengan cepat. Tetapi pada saat terjadi gangguan, jarak titik gangguan di lapangan terjadi *error* sebesar 3% sampai dengan 5%. Hal ini mengakibatkan perbaikan gangguan cukup lama dilakukan karena *error* pembacaan titik gangguan cukup besar. Maka dari itu, *travelling wave signal* hadir untuk mengatasi *error* titik gangguan pada saluran transmisi 150 kV.

Pentingnya rele jarak pada saluran transmisi untuk menjaga kontinuitas dan stabilitas distribusi sistem tenaga listrik. Dalam keadaan tertentu dapat memaksimalkan kinerja rele yaitu sensitivitas, selektivitas, keandalan, dan kecepatan dengan menggunakan data yang lengkap dan akurat serta menghitung *setting* yang sesuai. Karena impedansi gangguan berbeda setiap kali konduktor digunakan, jarak gangguan juga berbeda. Semakin tinggi impedansi gangguan, semakin besar jarak gangguan atau semakin jauh di sepanjang saluran transmisi [1].

Keakuratan lokasi gangguan merupakan bagian dari operasi sistem tenaga. Peningkatan kesalahan lokasi dapat mengurangi waktu perawatan, meningkatkan

efisiensi, dan menghemat uang. Ketika terjadi gangguan, mengirimkan gangguan pada arus dan tegangan di masing – masing arah yang hampir sama dengan kecepatan cahaya. Gangguan ini disebut gelombang berjalan, dan dapat digunakan untuk menemukan kesalahan. Dalam upaya meningkatkan akurasi, digunakan teori gelombang berjalan untuk menemukan kesalahan dalam menentukan titik gangguan [2].

Proteksi diperlukan untuk menghilangkan secepat mungkin setiap elemen sistem tenaga yang mengalami gangguan selama gangguan tetap terhubung. Gangguan pada saluran transmisi perlu diperbaiki secepat mungkin. Semakin cepat dipulihkan, semakin kecil risiko pemadaman listrik, kerusakan peralatan jaringan. Rele yang diusulkan didasarkan pada gelombang berjalan yang dihasilkan ketika gangguan terjadi pada saluran. Komponen gelombang berjalan pada sisi yang berlawanan dapat digunakan untuk menentukan keadaan saluran dan lokasi gangguan jika terjadi gangguan [3].

Tegangan lebih transien (*transient overvoltages*) yang terjadi pada sistem energi dapat disebabkan oleh pengaruh eksternal (seperti petir) atau ditimbulkan oleh kerja *switching*. Fenomena transien yang terjadi pada sistem transmisi biasanya disebabkan oleh perubahan mendadak pada kondisi operasi atau konfigurasi sistem. Petir merupakan ancaman bahaya pada peralatan sistem tenaga listrik, adapun kerja *switching* dapat juga menyebabkan kerusakan pada perlengkapan tersebut [4].

Amplitudo dan kecuraman karakteristik arus petir tropis memberikan pengaruh pada tegangan yang dihasilkan pada menara saluran transmisi. Masalah utama

akibat sambaran petir adalah back flashover ketika petir mengenai menara dan kabel bumi dan masalah lainnya adalah kegagalan pelindung yang akan terjadi ketika petir mengenai kabel fasa secara langsung [5].

Gelombang berjalan yang dipasang di gardu induk, deteksi saluran yang terdapat gangguan dapat ditemukan dengan membandingkan polaritas sinyal arus dan tegangan transien yang masuk. Lokasi gangguan dapat dihitung dengan membandingkan waktu kedatangan transien awal di dua gardu induk A dan B menggunakan kecepatan rambat sinyal transien gelombang berjalan yang diketahui. Lokasi gangguan dapat diperkirakan dengan menggunakan penundaan kedatangan dari transien gangguan yang diberikan pada lokasi yang berbeda dalam sistem tenaga dengan mengetahui waktu perjalanan minimum dari sinyal-sinyal ini [6]

Berdasarkan penjelasan diatas, maka penulis akan melakukan penelitian dengan judul “Analisis Kinerja Rele Jarak dan *Travelling Wave Signal* (TWS) Dalam Menentukan Titik Gangguan Akibat Sambaran Petir (Aplikasi : Saluran Transmisi 150 kV GI Glugur – Payageli)”.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, penelitian ini mengidentifikasi masalah yang ada sebagai berikut:

1. Saluran transmisi 150 kV umumnya sering terjadi gangguan. gangguan yang terjadi biasanya gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, gangguan hubung singkat fasa ke fasa, gangguan antar fasa ke tanah, dan gangguan simetris. Gangguan petir sering terjadi pada saluran transmisi 150 kV di Indonesia karena merupakan negara tropis. Dengan sering terjadinya gangguan petir di saluran

transmisi 150 kV maka diperlukan nya sistem proteksi yang baik sehingga meningkatkan keandalan sistem tenaga listrik untuk memenuhi kebutuhan energi listrik.

2. Sistem tenaga listrik di tuntut harus mempunyai sistem yang handal. Untuk menjaga agar sistem tenaga listrik terus berjalan secara kontiniu maka diperlukan sistem proteksi yang baik. Sistem proteksi pada saluran transmisi harus dapat bekerja dengan baik sehingga dapat mengamankan zona proteksi agar gangguan tidak menyebar luas sehingga penyaluran energi listrik dapat berjalan dengan baik.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Data yang akan digunakan pada penelitian ini di ambil dari PT PLN (Persero) Gardu Induk Glugur yaitu gangguan sambaran petir, *setting* an rele jarak, spesifikasi kawat penghantar saluran transmisi, dan historis *travelling wave signal*.
2. Metode yang digunakan pada penelitian ini dengan menganalisa titik gangguan sambaran petir dengan menggunakan rele jarak dan *travelling wave signal*.
3. Penelitian ini tidak membahas proteksi eksternal akibat sambaran petir yang meliputi *air terminal*, *down conductor*, dan sistem pentanahan pada saluran transmisi

1.4 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana kinerja rele jarak dalam mengidentifikasi titik gangguan sambaran petir pada saluran transmisi 150 kV GI Glugur – GI Payageli ?
2. Bagaimana kinerja *travelling wave signal* pada saat menentukan titik gangguan sambaran petir pada saluran transmisi 150 kV GI Glugur – GI Payageli ?
3. Bagaimana perbandingan rele jarak dengan *travelling wave signal* dalam menentukan titik gangguan sambaran petir pada saluran transmisi 150 kV GI Glugur – GI Payageli ?

1.5 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian pada penelitian ini adalah :

1. Menganalisa kinerja rele jarak pada saat mengidentifikasi titik gangguan sambaran petir pada saluran transmisi 150 kV GI Glugur – GI Payageli.
2. Menganalisa kinerja *travelling wave signal* pada saat menentukan titik gangguan sambaran petir pada saluran transmisi 150 kV GI Glugur – GI Payageli.
3. Menganalisa perbandingan rele jarak dan *travelling wave signal* dalam menentukan titik gangguan sambaran petir pada saluran transmisi 150 kV GI Glugur – GI Payageli.

1.6 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian pada penelitian ini adalah :

1. Menjaga kontinuitas pelayanan tenaga listrik kepada konsumen dan memberikan referensi atau informasi yang akurat dalam mengidentifikasi lokasi gangguan pada saluran transmisi 150kV PT PLN (PERSERO).
2. Memberikan informasi bagi penulis tentang kinerja rele jarak dan *travelling wave signal* dalam mengidentifikasi titik gangguan akibat sambaran petir pada saluran transmisi 150 kV.
3. Menjadi referensi penelitian bagi peneliti dan mahasiswa lainnya

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

Pada saluran transmisi akan mengalirkan energi menggunakan tegangan tinggi yang berfungsi untuk meminimalisir adanya rugi – rugi daya akibat jatuh tegangan. Dalam melakukan penyaluran tenaga listrik menggunakan kawat penghantar yang berfungsi mengalirkan tegangan dari satu lokasi ke lokasi yang lain. Pada saluran transmisi sering terjadi adanya gangguan sistem yang umumnya disebabkan oleh kegagalan isolasi atau konduktor terhubung singkat.

Kegagalan pada saluran listrik umumnya disebabkan oleh sambaran petir. Oleh sebab itu diperlukannya adanya sistem proteksi seperti rele proteksi. Rele proteksi adalah perangkat listrik yang secara otomatis mendeteksi kondisi abnormal pada rangkaian dan mengirimkan sinyal ke pemutus arus (PMT) untuk mengidentifikasi bagian yang terkena gangguan. Adapun rele proteksi yang digunakan pada saluran transmisi yaitu rele jarak.

2.1.1 Saluran Transmisi

Pusat daya, juga dikenal sebagai pembangkit listrik. Pusat tenaga listrik seringkali terletak jauh dari tempat listrik digunakan. Untuk alasan ini, listrik yang dihasilkan harus dialirkan melalui penghantar tegangan tinggi. Penggunaan saluran transmisi tergantung pada jumlah energi yang perlu ditransfer dari pusat pembangkit ke pusat beban. Sistem transmisi tegangan tinggi untuk meminimalisir adanya rugi – rugi daya yang mengakibatkan adanya jatuh tegangan. Secara umum,

saluran transmisi tenaga listrik dibagi menjadi dua saluran udara dan saluran bawah tanah. Saluran udara mengalirkan tenaga listrik dengan kabel yang tergantung pada tower tegangan tinggi, sedangkan saluran bawah tanah mengirimkan listrik dengan kabel pembumian.

Saluran transmisi bawah tanah ketika adanya cuaca buruk tidak berpengaruh tetapi biaya konstruksi jauh lebih mahal dari pada saluran udara sehingga transmisi dengan jarak yang jauh lebih murah ekonomis menggunakan saluran udara.

Untuk analisis yang lebih mudah, saluran transmisi dibagi menjadi beberapa kategori :

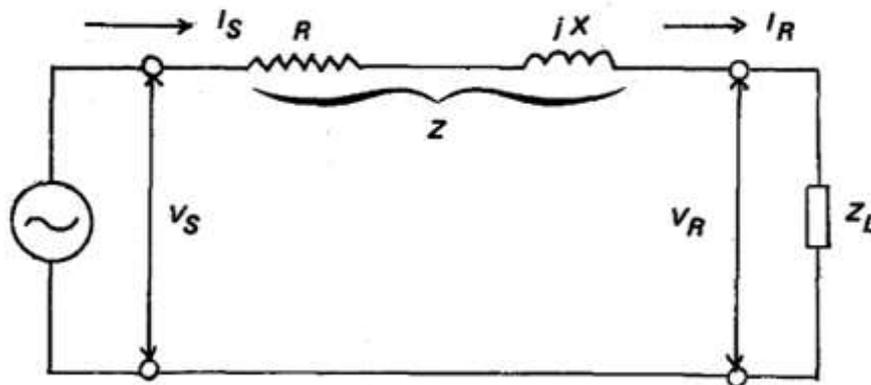
1. Klasifikasi panjang saluran
 - a. Transmisi jarak pendek (kurang dari 80 km)
 - b. Transmisi jarak menengah (80 – 250 km)
 - c. Transmisi jarak panjang (250 km)
2. Klasifikasi tegangan kerja
 - a. Tegangan menengah yaitu 20 kV
 - b. Tegangan tinggi standard yaitu 70 kV, 150 kV, 275 kV
 - c. Tegangan ekstra tinggi (EHV) yaitu 500 kV
 - d. Tegangan ultra tinggi (UHV) yaitu 1000 kV sampai dengan 1500 kV
3. Klasifikasi menurut fungsinya
 - a. Transmisi merupakan penyaluran daya dalam jumlah besar dari pusat pembangkit ke daerah beban.
 - b. Transmisi-Sub adalah saluran percabangan dari saluran yang lebih tinggi ke saluran dengan tegangan yang lebih rendah.

c. Distribusi adalah penyaluran daya kepada konsumen – konsumen

Di bawah ini adalah deskripsi saluran transmisi berdasarkan panjang saluran.

1. Saluran Transmisi Pendek

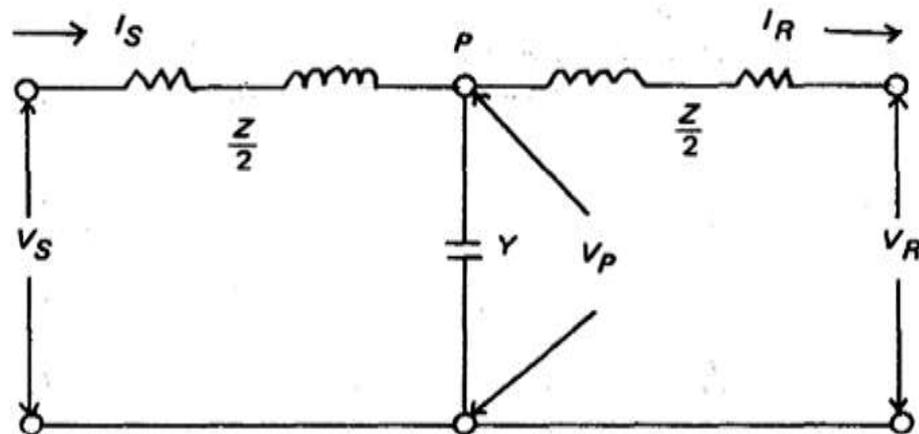
Pada saluran transmisi pendek, nilai daya saluran dapat diabaikan, sehingga jika kawat dimodelkan dengan impedansi (R dan jX), rangkaian ekuivalen dimodelkan dengan saluran transmisi pendek pada Gambar 2.1.



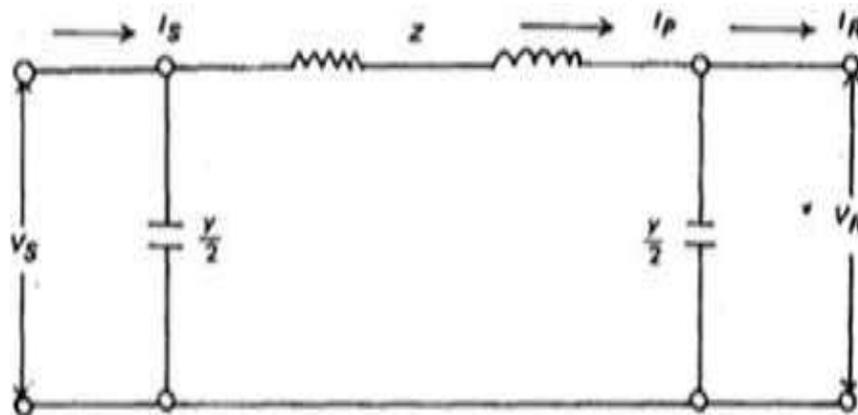
Gambar 2.1. Rangkaian ekuivalen saluran transmisi pendek

2. Saluran transmisi menengah

Saluran transmisi jarak menengah dapat dianggap sebagai rangkaian π atau sirkuit T, dan sementara saluran transmisi tidak dapat mengabaikan nilai kapasitansi penghantar, sehingga penghantar dapat dimodelkan menggunakan Impedansi penghantar (R dan jX) dan kapasitansi dapat menjadi model. sebagai rangkaian T ekuivalen rata-rata. pada gambar 2.2 dan rangkaian ekuivalen saluran transmisi rangkaian π terdapat pada gambar 2.3.



Gambar 2.2 Rangkaian ekivalen saluran transmisi menengah rangkaian T



Gambar 2.3. Rangkaian ekivalen saluran transmisi menengah rangkaian π

3. Saluran Transmisi Panjang

Transmisi jarak panjang adalah transmisi yang panjangnya lebih dari 250 km. Karena parameter saluran didistribusikan secara merata di sepanjang saluran, parameter impedansi seri dan paralel tidak lagi dipertimbangkan dalam saluran ini.

2.1.1.1 Kawat Penghantar

Konduktor adalah kawat yang digunakan dalam mentransfer tegangan dari satu tempat ke tempat yang lain. Konduktor dengan resistansi rendah merupakan

konduktor yang baik, sehingga rugi tegangan harus minimal agar tegangan mencapai beban maksimum. [28]. Pada saluran transmisi ada beberapa jenis kawat saluran yang digunakan yaitu :

- a. Tembaga dengan konduktivitas 100 % (CU 100 %)
- b. Tembaga dengan konduktivitas 97,5 % (CU 97,5 %)
- c. Aluminium dengan konduktivitas 61 % (Al 61 %)

Keunggulan dari konduktor tembaga yaitu memiliki konduktivitas listrik dan kekuatan tariknya yang lebih tinggi dibandingkan dengan konduktor aluminium. Tetapi juga memiliki titik lemah, karena dengan resistansi yang sama, tembaga lebih berat dan lebih mahal daripada aluminium. Untuk alasan ini, konduktor aluminium mulai menggantikan konduktor tembaga.

Komposit aluminium (paduan aluminium) digunakan untuk meningkatkan kekuatan tarik kawat aluminium. Untuk saluran tegangan tinggi yang jarak antar tiangnya ratusan meter, diperlukan gaya kuat yang lebih tinggi. Maka digunakan konduktor ACSR. Konduktor aluminium meliputi beberapa jenis dengan simbol yaitu :

- a. AAC (*All – aluminium conductor*), yaitu aluminium sebagai bahan dasar pada kawat saluran.
- b. AAAC (*All – aluminium alloy conductor*), yaitu campuran aluminium sebagai bahan dasar pada kawat saluran.
- c. ACSR (*Alluminium conductor steel reinforced*), yaitu aluminium yang memiliki inti baja sebagai bahan dari kawat penghantar.

- d. ACAR (*Alluminium Conductor Alloy Reinforced*), yaitu logam dan aluminium sebagai bahan campuran pada kawat saluran.

2.1.2 Gangguan Saluran

Kegagalan sistem kelistrikan sering disebabkan oleh insulasi yang salah atau konduktor korsleting. Kegagalan isolasi biasanya disebabkan oleh penurunan kekuatan dielektrik bahan isolasi. *Overvoltage* dapat menyebabkan korsleting yang mampu merusak peralatan pada sistem tenaga listrik [29].

Sambaran petir merupakan gangguan yang umum terjadi pada saluran transmisi dan distribusi. Pepohonan, hewan seperti burung yang menyentuh saluran, terutama pada cuaca basah (hujan), dan lainnya dapat memperpendek jarak yang berpotensi aman melalui loncatan api. Loncatan api dapat terjadi ketika permukaan isolator terkontaminasi debu yang biasanya terjadi pada daerah pesisir pantai ataupun industri. Tegangan tembus juga bisa disebabkan oleh adanya keretakan secara mekanis pada isolator. Demikian juga arus bocor pada isolator dapat terjadi ketika udara lembab / basah.

2.1.2.1 Klasifikasi Gangguan

Pada sistem tenaga listrik ada beberapa gangguan yaitu :

1. Menurut jenis gangguan

- a. Gangguan simetris

Gangguan simetris adalah gangguan hubung singkat 3 fasa dan hubungan singkat 3 fasa ke tanah.

- b. Gangguan tidak simetris

Gangguan tidak simetris yang terdiri dari gangguan fasa dan gangguan fasa ke tanah. Gangguan–gangguan jenis ini dapat terjadi secara simultan.

2. Berdasarkan lama waktu gangguan

a. Gangguan temporer

Gangguan temporer yaitu gangguan terjadi dalam waktu singkat saja setelah sistem kembali pada keadaan normal misalnya gangguan sambaran kilat, sentuhan ranting pohon mengenai jaringan.

b. Gangguan permanen

Gangguan permanen baru dapat dihilangkan atau diperbaiki setelah bagian yang terganggu itu di isolir dengan bekerjanya PMT.

2.1.2.2 Pengaruh Gangguan

Adapun efek dari gangguan hubung singkat jika tidak segera diisolir yaitu :

1. Gaya mekanis yang tinggi dan pemanasan lebih yang dihasilkan oleh arus hubung singkat dapat merusak peralatan listrik.
2. *Short circuit* yang menimbulkan busur api dapat menyebabkan kebakaran, jika tidak di isolasi dengan waktu yang cepat dapat memperluas wilayah kerusakan.
3. Hilangnya beban ke industri diakibatkan oleh penurunan suplai tegangan yang besar dari pembangkit.
4. Panas berlebih diakibatkan oleh ketidakseimbangan tegangan dan arus pada motor dan generator.
5. Stabilitas sistem yang berkurang dapat mengakibatkan *drop voltage* di generator.
6. Energi tidak dapat dijual karena terputusnya kontinuitas pelayanan kepada konsumen.

2.1.3 Transformator

Transformator merupakan perangkat listrik yg bisa membarui level tegangan AC ke level tegangan yang lebih rendah. Maksud menurut perubahan tegangan ini misalnya ingin menurunkan tegangan AC dari 220 VAC ke 12 VAC atau juga ingin menaikkan tegangan dari 110 VAC ke 220 VAC.

2.1.3.1 Current Transformator (CT)

Trafo arus adalah trafo yang menghasilkan arus sekunder yang besarnya sebanding dengan arus primer. Misalnya, CT 200 / 5A berarti jika primernya adalah 200A, CT sekunder akan menghasilkan 5A. Dan arus sekunder inilah yang dipakai untuk input Ampere meter analog untuk ditampilkan besar arus yang lewat.

Trafo arus terbuat dari sebuah inti besi yang dililiti oleh kawat tembaga, dan memiliki pilihan ratio besar arus Ampere. Pada trafo CT tertulis class dan burden, dimana masing masing mewakili parameter yang dimiliki oleh CT tersebut. Class menunjukkan tingkat akurasi CT, misalnya class 1.0 berarti CT tersebut mempunyai tingkat kesalahan 1%. Burden sendiri menunjukkan kemampuan CT untuk menerima sampai batas impedansi tertentu. Burden ini berhubungan dengan penentuan besar kabel dan jarak pengukuran.

2.1.3.2 Potensial Transformator (PT)

Trafo tegangan merupakan perangkat yang mengubah tegangan sistem yang lebih tinggi ke tegangan sistem yang lebih rendah untuk kebutuhan alat-alat indikator, alat ukur, & rele.

Trafo tegangan dan trafo daya mempunyai sistem kerja yang sama tetapi trafo tegangan memiliki struktur yang berbeda yaitu:

1. Kapasitasnya kecil (10 – 150 VA), karena digunakan hanya pada alat-alat ukur, rele dan peralatan indikasi yang konsumsi dayanya kecil.
2. Tingkat ketelitian yang tinggi.
3. Salah satu ujung terminal tegangan tingginya selalu ditanahkan.

2.1.4 Sistem Proteksi

Proteksi sistem energi merupakan sistem perlindungan yang dipasang dalam alat-alat kelistrikan suatu sistem energi listrik misalnya generator, trafo, jaringan & alat-alat lainnya terhadap syarat operasi abnormal menurut sistem itu sendiri [30]. Korsleting, tegangan lebih, kelebihan beban, sistem frekuensi rendah, asinkron dan banyak lagi merupakan situasi abnormal. Sistem proteksi pada bagian peralatan sangat penting karena Arus hubung singkat dapat merusak peralatan. Jika tidak, isolasi perangkat dapat rusak dan menyebabkan korsleting. Disisi lain gangguan hubung singkat bisa disebabkan karena kerusakan isolasi peralatan.

Jika terjadi gangguan pada suatu elemen sistem kelistrikan, maka peralatan otomatis harus mengisolasi bagian yang rusak tersebut sesegera mungkin agar bagian yang tidak responsif tersebut dapat berfungsi dengan baik. Jika korsleting listrik dibiarkan terlalu lama, beberapa bagian penting dari sistem kelistrikan dapat rusak [30]. Arus *short circuit* dengan busur api mengakibatkan kebakaran dan menyebar ke komponen lain, tegangan sistem dapat turun ke level rendah [31]. Pada generator, dapat kehilangan sinkronisasi dengan generator lain. Selain itu, jika gangguan ini tidak segera diperbaiki, ini dapat menyebabkan kegagalan daya total..

Mengisolasi bagian sistem yang terkena gangguan dari sistem yang tidak terkena gangguan merupakan fungsi sistem proteksi yang berupa pemutus tenaga (PMT) beserta rele proteksi. PMT memiliki fungsi sebagai pemutus bagian yang rusak atau mengalami gangguan, sedangkan rele proteksi mengidentifikasi serta menemukan kesalahan dan mengeluarkan perintah (sinyal) agar PMT memutuskan sambungan. Ketika adanya kondisi abnormal, rele proteksi dapat memberikan sinyal alarm.

Arus, tegangan, sudut fasa, dan frekuensi merupakan besaran listrik yang dapat menyebabkan rele aktif ketika dalam kondisi abnormal. Beberapa besaran listrik tersebut digunakan untuk mengidentifikasi adanya kondisi abnormal dalam sistem tenaga. Proteksi bukan hanya digunakan pada *short circuit*, tetapi juga pada kondisi seperti motor dan generator mengalami kecepatan lebih, *overvoltage*, *under frequency*, *lost excitation*, dan rotor serta stator mengalami *overheat*. Rele proteksi bekerja ketika adanya gangguan dan tidak dapat menghindari adanya gangguan.

2.1.4.1 Daerah Proteksi

Sistem ini terdiri dari beberapa generator, trafo, saluran listrik, saluran transmisi / distribusi, dan lainnya. Skema proteksi disediakan secara terpisah untuk setiap perangkat atau elemen sistem tenaga, seperti proteksi generator, proteksi transformator, proteksi transmisi/distribusi, proteksi rel daya dan banyak lagi. Proteksi ini dibagi menjadi beberapa daerah proteksi. Daerah proteksi merupakan bagian dari sistem kelistrikan yang diproteksi oleh beberapa proteksi dan biasanya melindungi satu atau dua item sistem kelistrikan. [30]. Setiap peralatan energi listrik

terproteksi secara keseluruhan tanpa ada bagian yang tersisa dengan cara disusun secara tumpang tindih (*overlap*).

Antara proteksi yang satu dengan proteksi yang lain harus saling berkoordinasi. Misalnya, jika F1 gagal, sistem proteksi yang berfungsi adalah sistem proteksi yang ada di area gangguan, dan jika terjadi kegagalan, sistem proteksi berada di dekat area tersebut.

2.1.5 Rele Jarak

Rele merupakan suatu peranti yang menggunakan elektromagnet untuk mengoperasikan kontak saklar.

Rele proteksi merupakan perangkat listrik yang secara otomatis mendeteksi kondisi abnormal pada rangkaian listrik dan mengirimkan sinyal ke pemutus untuk mengisolasi bagian yang rusak [30]. Dalam beberapa hal rele proteksi hanya cukup memberikan alarm atau nyala lampu.

Rele jarak adalah rele yang memiliki sistem operasinya didasarkan pada pengukuran impedansi suatu kawat saluran. Impedansi konduktor yang dilihat oleh rele adalah hasil bagi tegangan dengan arus dari sebuah saluran. Dengan mengukur tegangan dan arus akan menghasilkan impedansi saluran yang harus dilindungi [31]. Panjang saluran akan sebanding dengan adanya impedansi pada saluran, oleh karena itu disebut dengan rele jarak. Oleh karena itu rele jarak tidak tergantung oleh besarnya arus gangguan yang terjadi, tetapi tergantung pada jarak gangguan yang terjadi pada rele proteksi. Rele jarak sebagai proteksi utama mempunyai fungsi lain yaitu sebagai proteksi cadangan jauh (*remote backup*) untuk saluran didepan maupun belakangnya (zona 2, zona 3, zona *reverse*). Rele ini biasanya dilengkapi

dengan elemen *power swing blocking* untuk mencegah gagal nya kerja rele akibat ayunan daya (*power swing*).

2.1.5.1 Prinsip Kerja Rele Jarak

Impedansi pada saluran transmisi merupakan prinsip kerja rele jarak, dimana panjang saluran akan sebanding dengan impedansi saluran. Dengan membandingkan adanya arus gangguan yang dideteksi oleh rele terhadap tegangan dilokasi rele terpasang. Dengan membandingkan kedua besaran itu, impedansi saluran transmisi dari lokasi rele sampai titik atau lokasi gangguan dapat diukur. Perhitungan impedansi dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut [31].

$$Z_f = \frac{V_f}{I_f} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

Z_f = Impedansi gangguan (Ohm)

I_f = Arus gangguan (A)

V_f = Tegangan (V)

Rele jarak akan bekerja dengan cara membandingkan impedansi gangguan yang terukur dengan impedansi yang di *setting* dengan ketentuan :

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

2.1.5.2 Pemilihan Zona

Saat melakukan *setting* an pada rele jarak, dilakukan terlebih dahulu nilai impedansi di sistem tenaga (primer). Impedansi sekunder dihitung dengan perkalian rasio CT dan PT pada persamaan.

$$\text{Rasio CT} = \frac{CT \text{ primer}}{CT \text{ sekunder}} \dots\dots\dots(2.7)$$

$$\text{Rasio PT} = \frac{PT \text{ primer}}{PT \text{ sekunder}} \dots\dots\dots(2.8)$$

$$n = \frac{\text{Rasio CT}}{\text{Rasio PT}} \dots\dots\dots(2.9)$$

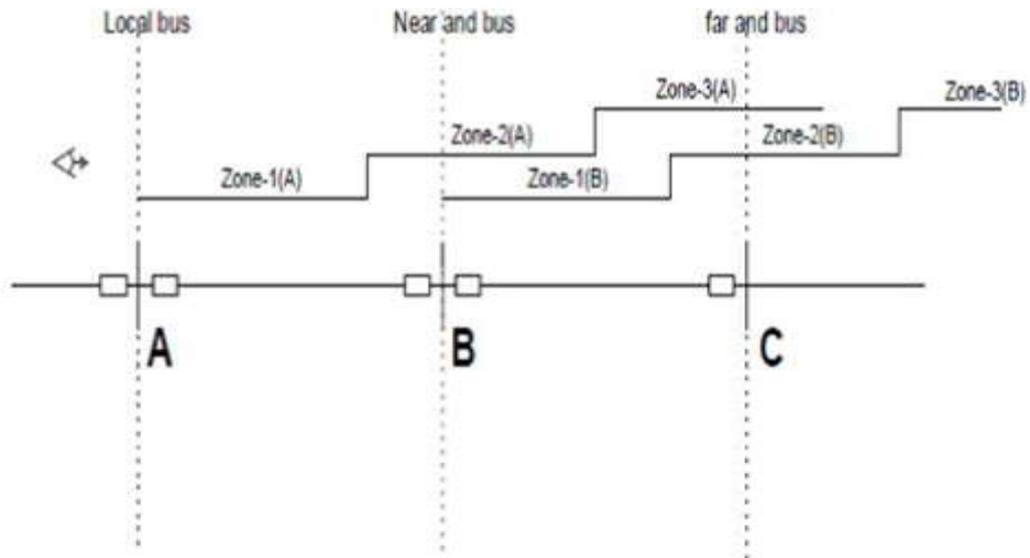
Dimana :

n = Rasio current transformator dan potensial transformator

Rasio CT = Rasio transformator arus

Rasio PT = Rasio transformator tegangan

Agar tidak terjadinya *overlapping* maka daerah kerja rele jarak umumnya dibagi menjadi 3 zona yang dikordinasikan dengan seksi berikutnya. Ditunjukkan pada gambar 2.4



Gambar 2.4. Zona Proteksi Rele Jarak

Dalam menentukan zona maka nilai impedansi panjang saluran sistem transmisi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [31]:

$$Z_L (\Omega) = \text{Panjang saluran} \times Z \text{ saluran per km} \dots\dots\dots(2.10)$$

2.1.5.3 Penentuan Zona 1

Zona 1 harus mampu melindungi seluruh saluran yang dilindungi sebagai proteksi utama. Namun dengan mempertimbangkan adanya kesalahan–kesalahan dari data konstanta saluran seperti CT, PT, dan peralatan–peralatan lainnya sebesar 20 %, maka zona 1 di set 80 % dari panjang saluran yang diamankan [31].

$$\text{Zona 1} = 0,8 \times Z_{L1} \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana :

Z_{L1} = Impedansi saluran yang diamankan (ohm)

Waktu kerja rele adalah seketika, sehingga dilakukan penyetelan waktu dengan $t_1 = 0$ detik.

2.1.5.4 Penentuan Zona 2

Area perlindungan zona 2 relai jarak mencakup 20% daerah yang tidak di proteksi oleh zona 1 di tambah 50% untuk penghantar saluran berikutnya. Sama halnya proteksi zona 1, area proteksi zona 2 juga mempunyai sifat mengenal arah dan di *setting* dengan perlambatan waktu saat pengoperasiannya, sehingga persamaan sistematikanya dapat ditulis dengan rumus sebagai berikut [31] :

$$\text{Zona 2} = 0,8 (Z_{L1} + 0,8 \times Z_{L2}) \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana :

Z_{L1} = Impedansi saluran yang diamankan (ohm)

Z_{L2} = Impedansi saluran berikutnya yang diamankan (ohm)

Waktu kerja relai jarak pada zona 2 untuk mempercepat proses perbaikan gangguan adalah $t_2 = 0,4$ detik.

2.1.5.5 Penentuan Zona 3

Jangkauan zona 3 harus mencakup dua busbar GI didepannya. Mempertimbangkan sisa penghantar yang tidak dilindungi pada zona 1 dan zona 2. Penentuan perlindungan zona 3 diukur dari sisa penghantar yang tidak terlindungi oleh zona 2 sepanjang 50% dan masih mampu melindungi 25% sampai ke seksi saluran selanjutnya dengan waktu pengoperasiannya lebih lambat (t_3) maka persamaan penulisan sistematika pada zona 3 dapat dituliskan dalam rumus sebagai berikut [31]:

$$\text{Zona 3} = 1,6 (Z_{L1} + Z_{L2}) \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana :

Z_{L1} = Impedansi saluran yang diamankan (ohm)

Z_{L2} = Impedansi saluran berikutnya yang diamankan (ohm)

Seperti halnya pada penyetelan zona 2, maka pada zona 3 harus menjadi pengaman cadangan pada seksi berikutnya secara keseluruhan, maka t_3 dinaikkan satu tingkat dengan *setting* ($t_3 = 1,4$ detik).

2.1.5.6 Menentukan Letak Gangguan

Pada saluran transmisi, pengaman utama (*main protection*) menggunakan Rele jarak. Prinsip kerja rele jarak adalah mengukur tegangan pada titik rele dan arus gangguan dilihat dari titik rele. Membandingkan tegangan dan arus, dapat menentukan impedansi pada titik gangguan. Dengan hasil perbandingan tegangan dan arus yang dideteksi rele, gangguan pada sistem transmisi diamankan oleh jarak tergantung oleh letak dan seberapa jauh gangguan dari rele jarak yang terpasang, maka letak gangguan pada sistem transmisi dapat di hitung dengan persamaan sebagai berikut [31]:

$$S_{\text{Gangguan}} = \frac{Z \text{ yang dibaca oleh rele} \times \text{Rasio } \frac{CT}{PT} \times l}{Z_{L1}} \dots\dots\dots(2.14)$$

Dimana :

S_{Gangguan} = Jarak Gangguan (km)

Rasio CT = Rasio current transformator

Rasio PT = Rasio potensial transformator

l = Panjang Saluran (Km)

Z_{L1} = Impedansi saluran (Ohm)

2.1.6 Impedansi

Impedansi adalah ukuran sejauh mana rangkaian menghambat aliran listrik. Panas merupakan energi yang hilang dan berkurangnya aliran arus disebabkan oleh hambatan listrik yang terjadi pada semua bahan [29]. Faktor yang sangat berpengaruh pada impedansi dalam arus bolak balik (AC) yaitu : reaktansi, yang merupakan ukuran dari hambatan terhadap perubahan arus yang tergantung pada frekuensi, dan pada komponen sirkuit.

Raktansi, resistansi, maupun impedansi mempunyai satuan Ohm. Dalam persamaan, impedansi memiliki simbol Z , dan X adalah reaktansi. Reaktansi induktif dan kapasitif memiliki simbol oleh X_L dan X_C . Maka, impedansi dapat dinyatakan sebagai :

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

Dimana , Z = Impedansi (ohm)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

Pada saluran transmisi, perhitungan impedansi bergantung oleh nilai impedansi per km dari penyulang yang akan dihitung, dimana jenis penghantar merupakan faktor terbesar yang menentukan nilainya yaitu dari bahan apa penghantar itu dibuat dan juga tergantung besar kecilnya penampang dan panjang saluran penghantarnya.

Impedansi saluran transmisi dalam satuan per unit adalah [31]:

$$Z = \frac{z_{\text{Saluran}}}{Z_{\text{Base}}} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana, Z = Impedansi penyulang (pu)

Z_{Base} = Impedansi dasar (ohm)

z_{Saluran} = Impedansi Saluran (ohm)

Pada perhitungan *setting* rele jarak, parameter utama dalam melakukan perhitungan ialah impedansi. Untuk menghitung impedansi (Z) saluran tranmisi, terlebih dahulu kita menghitung resistansi saluran (R) dan reaktansi saluran (X), dimana nilai dari reaktansi bisa didapat dari 2 parameter yaitu nilai kapasitansi dan induktansi. Oleh karena itu, impedansi dapat dijabarkan di persamaan berikut ini :

$$Z = R + jX \dots\dots\dots(2.3)$$

$$Z = R + j(X_L + X_C) \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

Z = Impedansi (Ohm)

R = Resistansi (Ohm)

X_L = Reaktansi Induktif (Ohm)

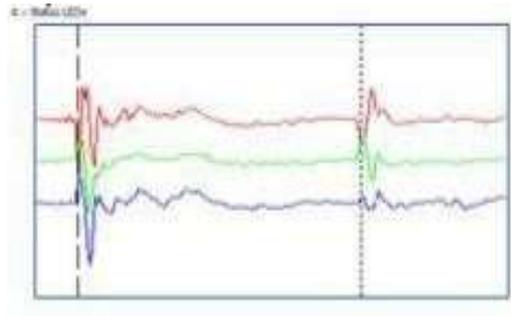
X_C = Reaktansi Kapasitif (Ohm)

2.1.7 Travelling Wave Signal (TWS)

Sistem perekam merupakan komponen yang berperan besar dalam proses evaluasi, memberikan informasi tentang keadaan sistem tenaga listrik dan pada akhirnya menjadi masukan / solusi untuk pemecahan masalah sistem jangka pendek (keadaan gangguan), bahkan kita dapat memberikan masukan/solusi Untuk rencana

jangka panjang.

Dengan menggunakan teori gelombang berjalan, *Traveling wave signal fault locator* dapat melakukan proses perekaman ataupun pengolahan input analog arus, dan mengidentifikasi lokasi titik gangguan dalam saluran transmisi 150 kV juga 500 kV. Gambar 2.5 merupakan contoh TWS yang terekam.



Gambar 2.5. Fault Locator Travelling Wave Signal

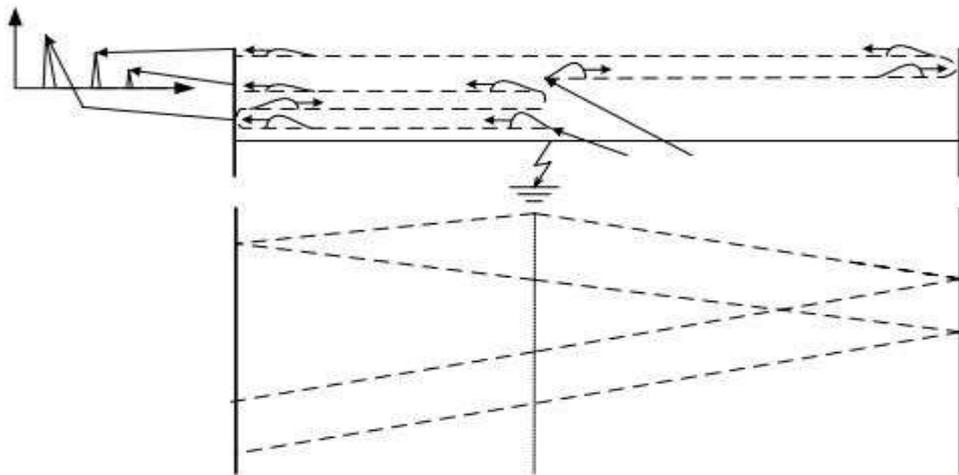
Fault locator merupakan satu kesatuan sistem peralatan yang terdiri dari komponen *powersupply* (catu daya), CPU (*Central Processing Unit*) dan sensor yang dapat melakukan proses pengamatan, perekam/record impulse input analog CT & PT, secara otomatis pada saat terjadinya gangguan, ataupun saat terjadinya perubahan impedansi sistem. Melakukan pengolahan data dan pada akhirnya memberikan adanya impulse atau denyutan pada lokasi gangguan/fault.

2.1.7.1 Metode Pengukuran Jarak Dengan Travelling Wave Signal

Metode pengukuran jarak gelombang berjalan menggunakan metode tipe A, D, dan E sesuai dengan metode pengukuran yang digunakan. Pengoperasian setiap jenis locator didasarkan pada analisis gelombang elektromagnetik yang masuk yang dihasilkan dari gangguan. Pada penelitian ini hanya metode D yang digunakan [8].

1. Metode Tipe A

Metode tipe A melakukan pengukuran pada salah satu ujung garis. Jarak ke lokasi gangguan dihitung dengan mengukur waktu antara saat gelombang yang dibangkitkan oleh gangguan akan mencapai perangkat pencari gangguan dan saat gelombang yang dipantulkan dari lokasi gangguan mencapai lokasi gangguan. Gelombang elektromagnetik dipantulkan sepenuhnya dari lokasi gangguan ketika busur di lokasi gangguan memiliki resistansi yang lebih rendah dari pada impedansi karakteristik saluran. Saluran transmisi dan perambatan gelombang ditunjukkan pada gambar 2.6.



Gambar 2.6. Metode Tipe A dan Diagram Kisi

Jarak ke lokasi gangguan dari gardu induk A dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut [8]:

$$S = \frac{t_3 - t_1}{2} v \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana,

S = Jarak lokasi gangguan (m)

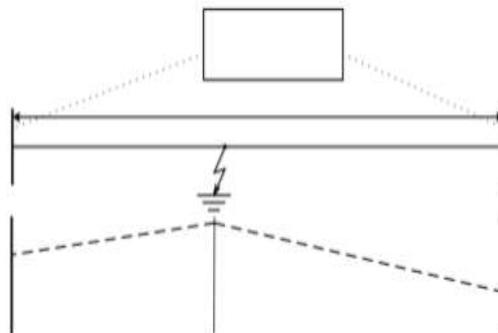
t_1 = Waktu gelombang pertama yang dibangkitkan dilokasi gangguan sampai ke gardu induk (s)

t_3 = Waktu gelombang pertama yang dipantulkan dari lokasi gangguan sampai di gardu induk (s)

v = Kecepatan gelombang (m/s)

2. Metode Tipe D

Pencari tipe D melakukan pengukuran pada kedua ujung garis. Gelombang yang dihasilkan di lokasi gangguan berjalan dalam arah yang berlawanan, ke gardu induk A dan B, dan mencapai sana dalam beberapa mikrodetik. Untuk penentuan jarak yang benar, pencari kesalahan tipe-D memerlukan penggunaan dua perangkat tersinkronisasi yang dipasang di kedua ujung saluran. Sinkronisasi antar perangkat diwujudkan dengan menggunakan sistem GPS. Pencari kesalahan menentukan perbedaan waktu, ketika gelombang mencapai gardu induk A dan B, yang kemudian digunakan untuk menghitung jarak ke gangguan. Saluran transmisi dan perambatan gelombang ditunjukkan pada gambar 2.7.



Gambar 2.7. Metode Tipe D dan Diagram Kisi

Jarak ke lokasi gangguan dari gardu induk A dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut [8]:

$$S = \frac{(l - (t_A - t_B)v)}{2} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana,

S = Jarak lokasi gangguan (m)

l = Panjang saluran (m)

t_A = Waktu ketika gelombang pertama dibangkitkan pada lokasi gangguan saat tiba di gardu induk A (s)

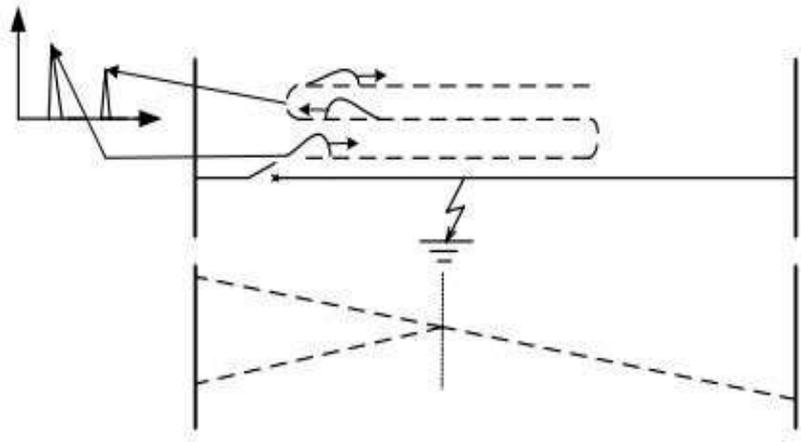
t_B = Waktu ketika gelombang pertama dibangkitkan pada lokasi gangguan saat tiba di gardu induk B (s)

v = Kecepatan gelombang (m/s)

3. Metode Tipe E

Metode tipe E melakukan pengukuran pada salah satu ujung saluran transmisi. Mereka menggunakan gelombang yang dihasilkan dengan menutup pemutus tenaga pada saluran transmisi. Dalam pengoperasiannya, metode tipe E mirip dengan metode impuls-reflektometri yang digunakan untuk mencari kesalahan pada kabel. Pemutus tenaga yang menutup pada saluran transmisi dapat diperlakukan sebagai tiga generator impuls terpisah.

Perbedaan waktu antara denyutan yang dihasilkan dengan menutup pemutus tenaga dan impuls yang dipantulkan dari gangguan digunakan untuk menentukan jarak ke gangguan. Prinsip metode tipe E dilihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.8. Metode Tipe E dan Diagram Kisi

Jarak ke lokasi gangguan dari gardu induk A dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut [8]:

$$S = \frac{t_2 - t_1}{2} v \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana,

S = Jarak ke lokasi gangguan (m)

t_2 = Waktu ketika gelombang dihasilkan dengan menutup pemutus sirkuit (s)

t_1 = Waktu ketika gelombang pantul mencapai gardu induk (s)

v = kecepatan gelombang (m/s)

Metode lokasi gangguan gelombang berjalan yang umum digunakan termasuk A, D, dan E. Metode Tipe E memanfaatkan transien yang dihasilkan ketika pemutus tenaga ditutup ke saluran yang padam dan sangat efisien dalam menemukan kesalahan konduktor rusak. Metode tipe D lebih sederhana dan dianggap memiliki akurasi dan keandalan yang sangat baik dalam operasi lapangan dan juga dilengkapi GPS yang dimana sebagai penguat dalam menentukan jarak gangguan. Metode Tipe A lebih hemat biaya, tetapi keandalannya diragukan oleh kesulitan untuk

membedakan refleksi kesalahan dari denyutan yang diperlihatkan oleh refleksi dari saluran lain dan nonlinier busur kesalahan.



Gambar 2.9. Metode Dengan *Travelling Wave Signal*

Pada *traveling wave signal* sendiri mengikuti metode tipe D dimana pencarian lokasi gangguan dengan melakukan pengukuran di kedua ujung gelombang. Gelombang yang dihasilkan di lokasi gangguan berjalan berlawanan arah menuju gardu induk A dan B dan sampai dalam beberapa mikrodetik. Untuk penentuan jarak yang benar, memerlukan penggunaan dua perangkat yang tersinkronisasi yang dipasang di kedua ujung saluran. Sinkronisasi antar perangkat dilakukan dengan menggunakan sistem GPS. GPS pada *travelling wave signal* berguna sebagai penguat dalam menentukan titik gangguan dengan cara mensinkronkan kedua gardu induk yang berhadapan saat terjadi gangguan. Penentuan lokasi gangguan menentukan perbedaan waktu ketika gelombang mencapai gardu induk A dan B, yang kemudian digunakan untuk menghitung jarak gangguan dari gardu induk A.

2.1.8 Petir

Petir adalah fenomena alam yang menyerupai raksasa ketika lempeng pertama memiliki bentuk (bisa berupa lempeng negatif atau lempeng positif) dan lempeng kedua dianggap netral. Kapasitor dikenal sebagai komponen pasif rangkaian listrik yang dapat menyimpan energi sesaat. Petir juga bisa terjadi dari *intercloud*, satu bermuatan negatif dan yang lainnya bermuatan positif.

Petir disebabkan oleh perbedaan potensial antara tanah dan awan atau awan lainnya. Proses menciptakan muatan di awan karena awan terus bergerak dan berinteraksi dengan awan lain selama pergerakannya. Dengan mengumpulkan ion negatif di satu sisi dan ion positif di sisi lain. Terjadinya muatan negatif elektro dibuang ke bumi atau sebaliknya diakibatkan oleh adanya beda potensial antara bumi dan awan [32].

Udara merupakan salah satu media pada proses pembuangan muatan ini. Suara ledakan terjadi ketika ambang batas isolasi ditembus. Dalam kondisi ini, kadar air yang tinggi menyebabkan sambaran petir lebih sering, kinerja insulasi berkurang, dan aliran arus lebih mudah. Karena adanya awan bermuatan dan awan bermuatan, petir dapat terjadi di antara muatan yang berbeda. Ada beberapa ancaman petir pada masyarakat yaitu :

1. Sambaran langsung

Sambaran petir secara langsung menyambar vessel, tower, *stack*, kabel, bangunan, *rigs* minyak, lapangan golf, manusia, dan lain - lain.

2. Sambaran tidak langsung

Sambaran petir tidak langsung mengakibatkan induksi, konduksi, elevasi tegangan. Sambaran petir tidak langsung menyambar telekomunikasi, komputer dan jaringan, instrument dan kontrol seperti DCS, CCTV, sistem *grounding* dan *bounding*.

2.1.8.1 Proses Terjadinya Petir

Dalam kondisi tertentu, dapat meningkatkan pergerakan angin yang membawa udara lembab melalui lapisan atmosfer bumi. Semakin tinggi kelembaban di permukaan bumi, semakin rendah tekanan dan suhu. Uap air mengembun menjadi tetesan air, membentuk awan. Awan tertiup angin kencang, sehingga lokasinya jauh dari permukaan. Pada ketinggian ± 5 km, awan membeku menjadi kristal es dan jatuh lagi karena gravitasi. Adanya defleksi horizontal atau vertikal pada titik air menyebabkan muatan terpisah. Tetesan air di awan bertabrakan dengan tetesan air lainnya karena aliran udara. Tabrakan ini menyebabkan titik air menangkap muatan negatif dan sekaligus melepaskan muatan positif yang dibawa oleh aliran udara ke atas puncak. sementara itu Muatan positif ada di atas awan. sedangkan ion negatif digantikan oleh tetesan yang lebih besar.

Kehadiran awan bermuatan menghasilkan muatan induksi di permukaan bumi kemudian menimbulkan medan listrik karena ukurannya. Oleh karena itu Bumi dianggap sebagai permukaan yang berlawanan dengan awan, dan oleh karena itu Awan dan Bumi dianggap sebagai dua lempeng. Jika medan listrik antara awan dan tanah, atau sebaliknya, lebih besar dari medan permeabel udara. akan melepaskan listrik Pelepasan ini disebut petir.

Kondisi ketidakmampuan atmosfer dapat timbul karena pemisahan muatan tidak terjadi secara sempurna, contoh : Muatan yang dihasilkan dipisahkan secara horizontal dan pelepasan muatan terjadi di antara dua awan, atau pemisahan muatan vertikal terjadi pada arah yang berlawanan dan pelepasan muatan atau arah kilatan juga terbalik. Proses terbentuknya awan petir yaitu :

1. Karena pemanasan permukaan atau karakteristik topografi permukaan mengakibatkan dibutuhkan udara naik ke atas (*up draft*)
2. Menghilangkan partikel aerosol (air yang diserap) higroskopis (mengembang) dari garam laut yang terangkat atau partikulat industri yang naik bersama *up-draft*.
3. Dibutuhkan udara lembab untuk naik membentuk partikel es (batuan) di awan.

Adapun tipe – tipe petir yaitu sebagai berikut :

1. Petir antar awan (*cloud to cloud discharge*)

Terjadi ketika adanya satu awan ke CB Ke awan lainnya..

2. Petir awan ke tanah (*cloud to ground flash*)

Terjadi ketika adanya awan CB ke tanah.

3. Petir pada awan yang sama (*intracloud discharge*)

Terjadi ketika dalam satu awan CB yang sama.

4. Petir awan ke udara (*cloud to air discharge*)

Petir ini terjadi antara awan CB dan udara. Kurang nya udara lembab pada daerah gurun menyebabkan terjadinya tipe petir ini.

Dari tipe – tipe petir tersebut, jika diklasifikasikan berdasarkan pelepasan muatannya, petir awan ke tanah dapat di kelompokkan menjadi :

1. *Negative cloud-to-ground (downward negative leader)*

Dengan jenis petir ini, muatan negatif dipancarkan dari awan ke tanah.

2. *Positive ground-to-cloud (upward positive leader)*

Dengan jenis petir ini, muatan positif dipancarkan dari tanah ke awan.

3. *Positive cloud-to-ground (downward positive leader)*

Dengan jenis petir ini, muatan positif dipancarkan dari awan ke tanah.

4. *Negative ground-to-cloud (upward negative leader)*

Dengan jenis petir ini, muatan negatif dipancarkan dari tanah ke awan.

Menurut cabang petir, diklasifikasikan sebagai berikut :

1. Petir yang bercabang ke atas, yaitu petir yang datang dari tanah menuju awan.
2. Petir dengan cabang ke bawah, yaitu petir yang jatuh dari awan ke tanah.

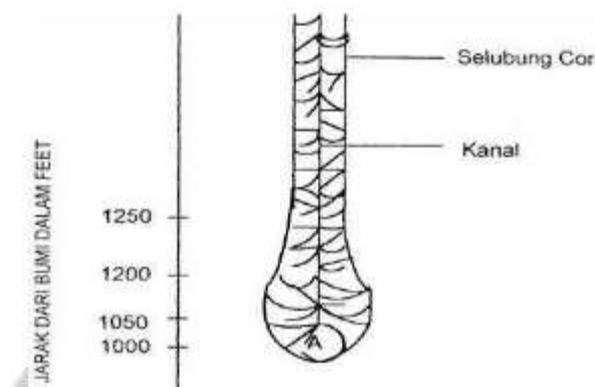
Petir bercabang karena udara bukan konduktor yang baik. Oleh karena itu, petir melihat ke arah yang berlawanan untuk menemukan area dengan kerapatan muatan tinggi. Di tanah datar, lidah petir sering turun, tetapi pada bangunan tinggi, kekuatannya begitu kuat sehingga lidah petir sering naik. Ini menciptakan petir dari tanah ke awan.

2.1.8.2 Tahapan Sambaran Petir ke Tanah

Selama sambaran petir, ketika perbedaan potensial awan melebihi nilai osmotik udara terionisasi, transfer muatan terionisasi terjadi karena pelepasan awal yang kecil. Pertama rilis ini membentuk saluran antara awan dan Bumi, yang merupakan saluran pelepasan utama. Pembentukan saluran ini melibatkan titik cahaya dan disebut aliran pemandu.

Aliran penuntun (*pilot streamer*) bergerak dengan lompatan – lompatan titik – titik cahaya (*step leader*). *Leader* membawa muatan yang akan mengawali aliran ke tanah sehingga saluran yang dibuatnya ini menjadi bermuatan dengan kuat medan (*potential gradient*) di ujung saluran yang sangat tinggi. Selama pusat muatan di awan mampu memberikan muatannya pada ujung *leader* lebih besar dari kuat medan di udara, maka *leader* akan berhenti dan tidak terjadi pelepasan muatan. Langkah *step leader* ini berubah – ubah sehingga secara keseluruhan jalannya tidak lurus melainkan patah – patah.

Menurut hipotesis Wagner dan Hileman, langkah konduksi terdiri dari dua bagian: inti yang tinggi dan tipis yang disebut kanal. dan dikelilingi oleh ion negatif di alam semesta yang dikenal sebagai korona [32].

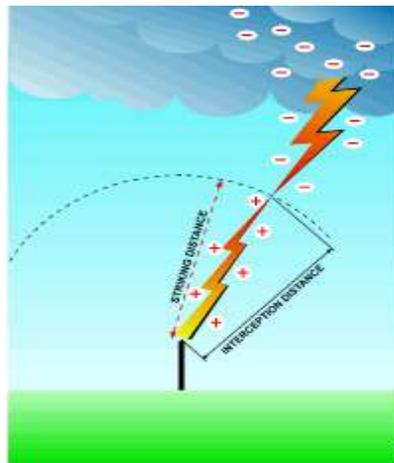


Gambar 2.10. Model Stepped Leader Wagner dan Hileman

Perbedaan tegangan pada selubung korona ini memiliki ciri-ciri pelepasan korona, temperatur rendah dan melewati banyak alur. Ketika salah satu ujung saluran yang dibentuk oleh *pilot streamer* mencapai titik maksimum perambatannya dalam bentuk lompatan, selubung korona mendahului formasi di

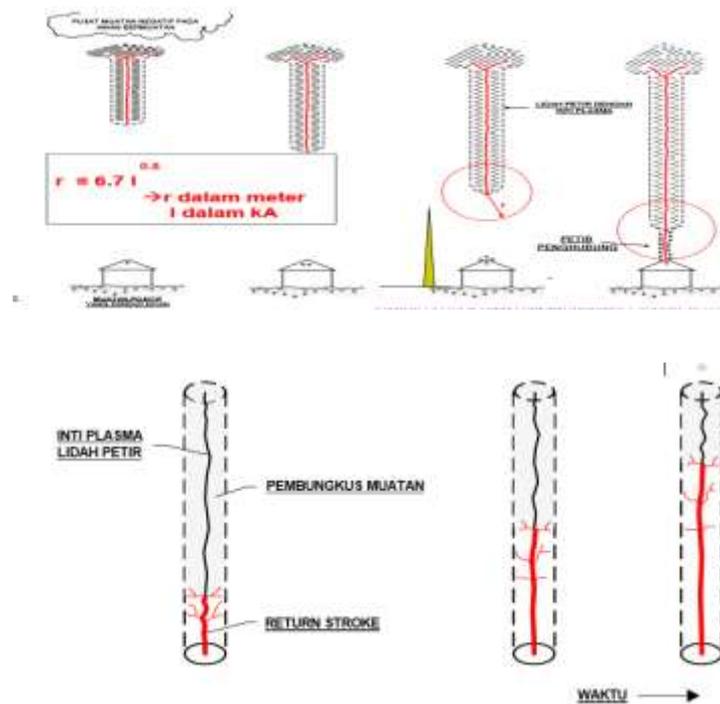
ujung depan saluran. Jika salah satu arus di alur koronal mencapai nilai kritis (sekitar 1A) selama pembentukan korona, maka saluran merambat dengan kecepatan tinggi. Kecepatan tinggi perambatan kanal ini berupa penginduksian muatan dengan cepat pada ujung kanal. Peristiwa ini berulang terus menerus pada *stepped leader* dari awan ke permukaan bumi [32].

Akhirnya, saat ujung saluran ini mendekati Bumi, awan positif terbentuk dalam proses yang sama dari permukaan Bumi ke awan bermuatan negatif. Saluran positif ini kemudian bertemu dengan ujung penuntun yang melangkah ke permukaan bumi, mundur, dan dua lidah petir bertemu pada satu titik. Titik ini disebut titik sasaran. Jarak antara titik tumbukan dan struktur disebut jarak sambar.



Gambar 2.11. Jarak sambar

Sambaran balik ini berupa aliran muatan positif dari permukaan bumi menuju pusat awan. Sambaran ini akan bercahaya sangat terang dan bergerak melalui jalan yang sama dengan yang dibentuk *stepped leader* tetapi tidak bercabang, disebut sebagai lidah panah atau *dart leader*.



Gambar 2.12. Tahapan Sambaran Petir

Secara empiris jarak sambar dapat dituliskan sebagai berikut :

1. Menurut Amstrong & Whitehead : $r_s = 6,7 \cdot I^{0,8}$ dalam kA (m)
2. Menurut standard IEC 62305/2010 : $r_s = 10 \cdot I^{0,65}$ dalam kA (m)

Selain petir memiliki efek yang sangat berbahaya, ternyata sambaran petir juga memiliki beberapa manfaat. Adapun manfaat dan fakta dari petir yaitu :

1. Setiap sambaran petir menghasilkan ozon atau O₃ yang naik ke *ionosphere* dan membentuk lapisan yang melindungi bumi dari sinar ultraviolet berbahaya dari sinar matahari.
2. Setiap sambaran petir menghasilkan zat kimia nitrat yang bermanfaat untuk kesuburan tanaman.
3. Setiap petir dapat menghasilkan tegangan hingga 100 juta volt dan arus hingga 200.000 amp.

4. Suhu saluran petir mencapai 10.000 derajat Celcius lebih panas dari permukaan matahari tetapi mengandung es.
5. Setiap detik ada 100 serangan petir di permukaan bumi. Dan sambaran ini bisa datang dari awan petir yang lebih dari 15 kilometer jauhnya.

2.1.8.3 Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Sambaran Petir

Dalam proses sambaran petir terdapat faktor – faktor yang mempengaruhi sambaran petir, yaitu :

- a. Pengaruh bentuk objek pada permukaan bumi

Petir lebih cenderung menyambar tempat – tempat yang tinggi di permukaan bumi. Ini karena kuat medan listrik lebih rapat di bagian atas gedung atau di sekitar puncak menara dan cenderung terkumpul di bagian atas atau atas bidang muatan yang runcing. Begitu pula ujung bangunan yang runcing.

Bukan tidak mungkin pula sebuah bangunan yang tinggi tidak disambar petir pada puncaknya, melainkan pada dasar atau tengah bangunan tersebut. Hal ini disebabkan oleh adanya lompatan dari petir pelopor dan petir penghubung dari objek diatas tanah.

- b. Pengaruh resistivitas udara

Arus petir dihantarkan ke tanah melalui jalur atau resistivitas yang paling konduktif, sehingga penampilan petir seperti bercabang.

- c. Efek kedekatan dengan konduktor pentanahan

Pada saat konduktor penangkal petir dilalui arus sambaran petir, orang ataupun bangunan disekitarnya akan dapat diloncati oleh arus sambaran tersebut, sering

disebut sambaran samping atau *side flash*. Peralatan berbasis elektronik dan mikroprosesor juga dapat rusak karena induksi elektromagnetik.

2.2 Tinjauan Pustaka Relevan

Penelitian ini adalah pengembangan dari penelitian – penelitian sebelumnya oleh beberapa peneliti dibidang teknik elektro, yaitu :

Setting dalam rele jarak berpengaruh terhadap kinerja pengaman saluran transmisi. *Setting* yang tidak sempurna akan mengakibatkan rele jarak lambat atau gagal bekerja. Perhitungan nilai *setting* impedansi memakai kawat penghantar yang berbeda mendapatkan nilai *setting* impedansi yang berbeda pula. Perbedaan impedansi gangguan dalam setiap penggunaan kawat penghantar, maka jarak gangguan juga akan berbeda. Semakin besar impedansi gangguan, maka akan menyebabkan jarak gangguan semakin besar atau semakin jauh dalam saluran transmisi [1].

Keakuratan lokasi gangguan merupakan bagian dari integral operasi sistem tenaga. Peningkatan kesalahan lokasi dapat mengurangi waktu perawatan, meningkatkan efisiensi, dan menghemat uang. Ketika terjadi gangguan, ia mengirimkan gangguan pada arus dan tegangan di masing – masing arah yang hampir sama dengan kecepatan cahaya. Gangguan ini disebut gelombang berjalan, dan dapat digunakan untuk menemukan kesalahan. Dalam upaya meningkatkan akurasi, digunakan teori gelombang berjalan untuk menemukan kesalahan dalam menentukan titik gangguan [2].

Operasi pada relai gelombang berjalan didasarkan pada gelombang elektromagnetik maju dan mundur yang dirambatkan yang dimulai ketika adanya

gangguan yang terjadi pada saluran transmisi. Gelombang berjalan dapat digunakan untuk menghitung impedansi saluran dan memberi sinyal ke CB bahwasanya ada gangguan. relai gelombang berjalan bekerja berdasarkan pemrosesan sinyal analog untuk mengidentifikasi dan menemukan gangguan dengan menggunakan informasi yang terkandung dalam gelombang [3].

Pemulihan gangguan saluran transmisi dilakukan dengan metode konvensional dengan melakukan pelacakan langsung di sepanjang saluran transmisi untuk menemukan lokasi gangguan dan penyebab gangguan. Ini menghabiskan banyak waktu karena banyak masalah seperti mobilisasi personel, medan yang sulit di bawah jalur saluran transmisi, dan tidak ada panduan tentang lokasi kesalahan. *Disturbance Fault Recorder (DFR)* menjadi salah satu pilihan yang tepat untuk mengatasi masalah tersebut, dengan menganalisa kanal analog dan digital pada rekaman gangguan, menghasilkan besaran gangguan arus, penyebab gangguan dan data lokasi gangguan. Ini akan membantu mengurangi waktu untuk melacak saluran transmisi yang rusak untuk pemulihan pemadaman saluran transmisi [7].

Lokasi gangguan yang akurat pada sistem transmisi daya dapat menghemat waktu dan sumber daya untuk kontinuitas sistem tenaga listrik utilitas. Mencari gangguan pada saluran transmisi dapat menghabiskan banyak biaya dan bisa tidak tepat. Informasi yang akurat perlu segera diperoleh bagi operator sistem tenaga. Untuk mencapai akurasi ini, sistem yang lengkap seperti perangkat keras, komunikasi, dan perangkat lunak teknologi lokasi gangguan dapat dirancang. Fenomena gelombang perjalanan yang dihasilkan karena gangguan di saluran

transmisi dan gelombang ini dapat digunakan untuk mendapatkan lokasi gangguan yang tepat dalam waktu yang sangat singkat [8].

Gelombang berjalan transien yang dihasilkan gangguan adalah sinyal pita lebar yang mencakup seluruh rentang frekuensi. Ketika parameter karakteristik frekuensi dipertimbangkan, komponen frekuensi yang berbeda dari gelombang berjalan akan memiliki nilai redaman dan kecepatan gelombang yang berbeda, yang didefinisikan sebagai efek dispersi dari gelombang berjalan. Efek dispersi sangat mempengaruhi akurasi dan keandalan lokasi kesalahan [9].

Sistem lokasi gangguan pada gelombang berjalan telah dipakai dan di aplikasikan dalam beberapa tahun terakhir karena ketersediaan teknik pengambilan sampel berkecepatan tinggi, teknologi komunikasi cepat dan sinkronisasi waktu GPS sehingga memudahkan mencari titik gangguan yang mengakibatkan gangguan dapat diatasi dengan cepat [10].

Sistem transmisi saluran udara mempunyai gangguan internal misalnya surja *switching* & gangguan eksternal misalnya sambaran petir. Sambaran petir yang menghantam jaringan transmisi bisa menyebabkan timbulnya gelombang berjalan yang berbentuk impuls dalam penghantar. Gelombang berjalan ini akan mengakibatkan tegangan lebih (*overvoltage*), juga bisa menyebabkan terjadinya lompatan api (*flashover*). Gangguan yang terjadi dalam saluran transmisi akan berupa gelombang berjalan. Jika suatu tower (menara) transmisi yang memiliki pentanahan yg sempurna & *arrester* yang sinkron maka gangguan akan diteruskan ketanah. apabila tidak, akan terjadi gelombang pantulan atau gelombang yang

dilepaskan lantaran gelombang tidak bisa diredam oleh alat-alat perlindungan & *grounding* [4].

Masalah utama akibat sambaran petir adalah back flashover ketika petir mengenai menara dan kabel bumi dan masalah lainnya adalah kegagalan pelindung yang akan terjadi ketika petir mengenai kabel fasa secara langsung. Karena induktansi struktur menara memainkan peran penting karena kecuraman arus petir yang tinggi untuk menghasilkan tegangan tinggi yang dapat merusak isolator, penggunaan kabel induktansi rendah sangat penting. Kegagalan pelindung dapat diminimalkan dengan pemasangan arester saluran transmisi yang tidak tepat dan pemasangan arester isolasi multi ruang yang baru [5].

Mempertimbangkan karakteristik inersia rendah dan topologi meshed, skema, berdasarkan prinsip gelombang berjalan, dibagi menjadi tiga langkah, yaitu, identifikasi lokasi gangguan, penentuan segmen gangguan dan perhitungan jarak gangguan. Dengan amplitudo, polaritas, dan waktu kedatangan yang akurat dari arus pertama gelombang berjalan yang dikumpulkan dari pengukuran tersinkronisasi waktu yang diambil hanya di gardu induk, skema yang diusulkan dapat dengan tepat menentukan lokasi gangguan, segmen gangguan, dan lokasi gangguan yang tepat [11].

Berdasarkan struktur kompleks saluran transmisi sambungan-T, sangat sulit untuk mengidentifikasi gelombang berjalan yang dipantulkan dari titik gangguan dan dari titik sambungan dengan pengukuran hanya dari satu terminal. Menurut karakteristik struktur saluran transmisi sambungan-T, pantulan gelombang berjalan di dalam saluran setelah kegagalan bagian-bagian yang berbeda pada saluran

transmisi sambungan-T dianalisis. Berdasarkan diagram kisi gelombang berjalan, urutan gelombang berjalan yang terdeteksi di terminal pengukuran bervariasi dengan jarak gangguan dan bagian yang rusak. Selain itu, urutan gelombang berjalan yang terdeteksi di satu terminal adalah unik di setiap bagian yang rusak. Menghitung waktu kedatangan gelombang berjalan titik gangguan di lokasi yang berbeda di bagian yang berbeda untuk membentuk kumpulan urutan waktu kedatangan gelombang berjalan. Kemudian urutan gelombang berjalan dari bentuk gelombang gangguan baru yang ditambahkan diekstraksi untuk dibandingkan dengan urutan dalam kumpulan untuk identifikasi bagian yang salah dan lokasi gangguan [12].

Pada saat terjadinya gangguan pada saluran transmisi, sebagian besar saluran transmisi melintasi medan yang cukup kompleks, dan bekerja di bawah kondisi cuaca yang sulit, sehingga waktu yang dibutuhkan untuk memeriksa jalur secara fisik akan menghabiskan waktu lama. Namun dengan adanya gelombang berjalan merupakan teknik lokasi gangguan untuk saluran transmisi menunjukkan bahwa metode yang akurat dan cepat sangat penting dan nilai rekayasa praktis. Lokasi gangguan yang cepat dan akurat di saluran transmisi dapat mempercepat pemulihan sistem, mengurangi waktu pemadaman, dan meningkatkan keandalan sistem [13].

Jika ada perekam gelombang berjalan yang dipasang di gardu induk, deteksi saluran yang mengalami gangguan dapat ditemukan dengan membandingkan polaritas sinyal arus dan tegangan transien yang masuk. Lokasi gangguan dapat dihitung dengan membandingkan waktu kedatangan transien awal di dua gardu induk A dan B menggunakan kecepatan rambat sinyal transien yang diketahui.

Lokasi gangguan dapat diperkirakan dengan menggunakan penundaan kedatangan transien gangguan tertentu di lokasi yang berbeda dalam sistem tenaga dengan mengetahui waktu perjalanan minimum dari sinyal-sinyal ini [6].

Lokasi gangguan yang akurat sangat membantu untuk meningkatkan ketersediaan dan kinerja sistem, serta mengurangi biaya pengoperasian. Saat ini, metode lokasi gangguan berbasis gelombang berjalan banyak digunakan dalam sistem tenaga karena memiliki keunggulan akurasi, keandalan, stabilitas yang tinggi. Metode lokasi gangguan gelombang berjalan untuk transmisi saluran umumnya dapat dikategorikan ke dalam metode ujung tunggal dan ganda sesuai dengan cara yang berbeda untuk memperoleh informasi gangguan. Metode ujung ganda tidak bergantung pada refleksi ganda dari gelombang berjalan antara pengamat dan posisi gangguan atau pada bus. Meskipun memiliki keandalan dan akurasi yang lebih tinggi, namun membutuhkan komunikasi yang sinkron dan biaya yang banyak [14].

Berdasarkan karakteristik saluran transmisi sambungan-T, metode baru untuk identifikasi gangguan saluran transmisi sambungan-T berdasarkan entropi energi transformasi-S multiskala gelombang berjalan terbalik. Transformasi-S diimplementasikan pada gelombang berjalan pada gangguan yang diukur oleh setiap unit perlindungan gelombang perjalanan dari saluran transmisi sambungan-T, entropi energi gelombang berjalan di bawah delapan frekuensi yang berbeda dihitung masing-masing, dan vektor karakteristik kesalahan saluran transmisi sambungan-T kumpulan sampel terbentuk. Hasil simulasi menunjukkan bahwa algoritma yang diusulkan dapat secara akurat dan cepat mengidentifikasi cabang di

mana kesalahan terletak pada saluran transmisi T-koneksi dalam berbagai kondisi operasi [15].

Lokasi gangguan menggunakan gelombang berjalan telah terbukti menjadi metode yang akurat dan dapat diandalkan untuk lokasi gangguan yang tepat pada saluran transmisi yang panjang. Keduanya terintegrasi ke dalam relai proteksi jalur modern dan di dalam perangkat lokasi gangguan yang terpisah, keduanya memberikan informasi yang berguna bagi operator dan teknisi. Pengujian dan verifikasi pengoperasian yang benar dari perangkat ini adalah tugas yang menantang dan sebagian besar tidak dilakukan selama *commissioning*. Meskipun mungkin dapat diterima untuk mencari gangguan murni, generasi relai proteksi baru akan menggunakan gelombang berjalan untuk menentukan gangguan dan akan men trip kan CB [16].

Ketika gangguan terjadi pada saluran transmisi, variasi tegangan dan arus yang tiba-tiba menyebabkan pulsa elektromagnetik frekuensi tinggi yang disebut "*Traveling wave*" (TW). Gelombang-gelombang ini merambat pada garis-garis, merambat dari titik kegagalan ke ujung-ujung garis yang berlawanan, dengan kecepatan yang mendekati kecepatan cahaya. Oleh karena itu merupakan fenomena sementara dengan durasi yang sangat singkat, dalam urutan mikrodetik atau paling banyak milidetik, di mana energi yang berguna hadir pada frekuensi antara 2kHz dan 10MHz [17].

Proteksi saluran pada tingkat HV/EHV/UHV diberikan proteksi jarak atau proteksi impedansi karena peralatan dituntut untuk keamanan dan keandalan yang lebih baik. Kontribusi arus dari mesin induksi akan diubah dengan slip mesin. Sifat

seperti itu berbeda dari mesin sinkron konvensional, yang mempertahankan tegangan konstan dengan bantuan eksitasi independen dan sistem *Automatic Voltage Regulator* (AVR). Jadi ada kebutuhan untuk menyelidiki pengaruh arus SCIG ini pada impedansi yang dilihat oleh relai jarak dengan angin yang terhubung ke jaringan [18].

Relai jarak bekerja menjadi proteksi primer dalam saluran transmisi dan *setting* dalam relai jeda berpengaruh terhadap kinerja pengaman saluran transmisi. *Setting* yang tidak sempurna akan mengakibatkan relai jarak bekerja dengan lambat atau gagal bekerja. Oleh karenanya perlu adanya *setting* yang baik dalam relai jarak. Zona perlindungan relai jarak terbagi sebagai tiga zona perlindungan. Agar tidak terjadi tumpang tindih antara zona perlindungan maka *setting* relai jarak perlu dikoordinasikan [19].

Diperlukan peralatan proteksi untuk melindungi saluran transmisi dari gangguan. Salah satunya adalah relai jarak. Relai jarak digunakan untuk menetralkan dan mengetahui letak gangguan. Relai jarak menghitung impedansi saluran dengan membandingkan tegangan dan arus dengan menggunakan trafo tegangan dan trafo arus pada lokasi relai [20].

Relai jarak adalah relai konduktif yang prinsip operasinya didasarkan pada pengukuran impedansi konduktor. Impedansi konduktor yang dideteksi oleh relai adalah hasil dari tegangan dan arus rangkaian. Relai ini tergantung pada ukuran SIR dan memiliki kepekaan yang terbatas terhadap gangguan tanah satu fasa. Relai ini memiliki beberapa karakteristik seperti mho, quadrilateral, reaktansi, dan adaptif mo. Sebagai unit proteksi, relai ini memiliki pola proteksi jarak jauh seperti PUTT,

POTT, blocking. Tanpa perlindungan jarak jauh, relai ini hanya sebagai *step distance* saja [21].

Sistem proteksi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik dan sangat penting untuk meningkatkan kelangsungan pelayanan kepada konsumen. Komponen dan alat yang merupakan bagian dari sistem harus memiliki sensitivitas, selektivitas, kecepatan, keamanan, dan keandalan maksimum dalam pengoperasiannya. Relai jarak diklasifikasikan sebagai bagian dari sistem proteksi yang digunakan untuk keselamatan saluran transmisi karena berhubungan dengan kinerja karena dapat dengan cepat menghilangkan kegagalan, relatif mudah dipasang, dan memiliki jangkauan proteksi yang luas. [22].

Ayunan daya yang disebabkan oleh berbagai gangguan akan mempengaruhi kinerja dari relai jarak dan dapat menyebabkan kesalahan operasi pada relai jarak. Skema pada deteksi cepat untuk gangguan simetris gangguan ayunan daya pada relai jarak, yang didasarkan pada frekuensi tinggi pada gelombang berjalan di saluran yang disebabkan oleh gangguan [23].

Permasalahan koordinasi adalah menentukan urutan operasi rele untuk masing-masing lokasi gangguan yang memungkinkan adanya koordinasi tanpa waktu *delay* yang terlalu lama. Koordinasi pada intinya adalah memilih dan menentukan waktu untuk menentukan daerah proteksi terhadap gangguan sementara pada penyulang bila terjadi manuver/pelimpahan beban. Koordinasi sistem proteksi dapat melokalisir dan mengisolasi daerah yang terganggu sehingga dapat mengurangi jumlah pemadaman pada konsumen [24].

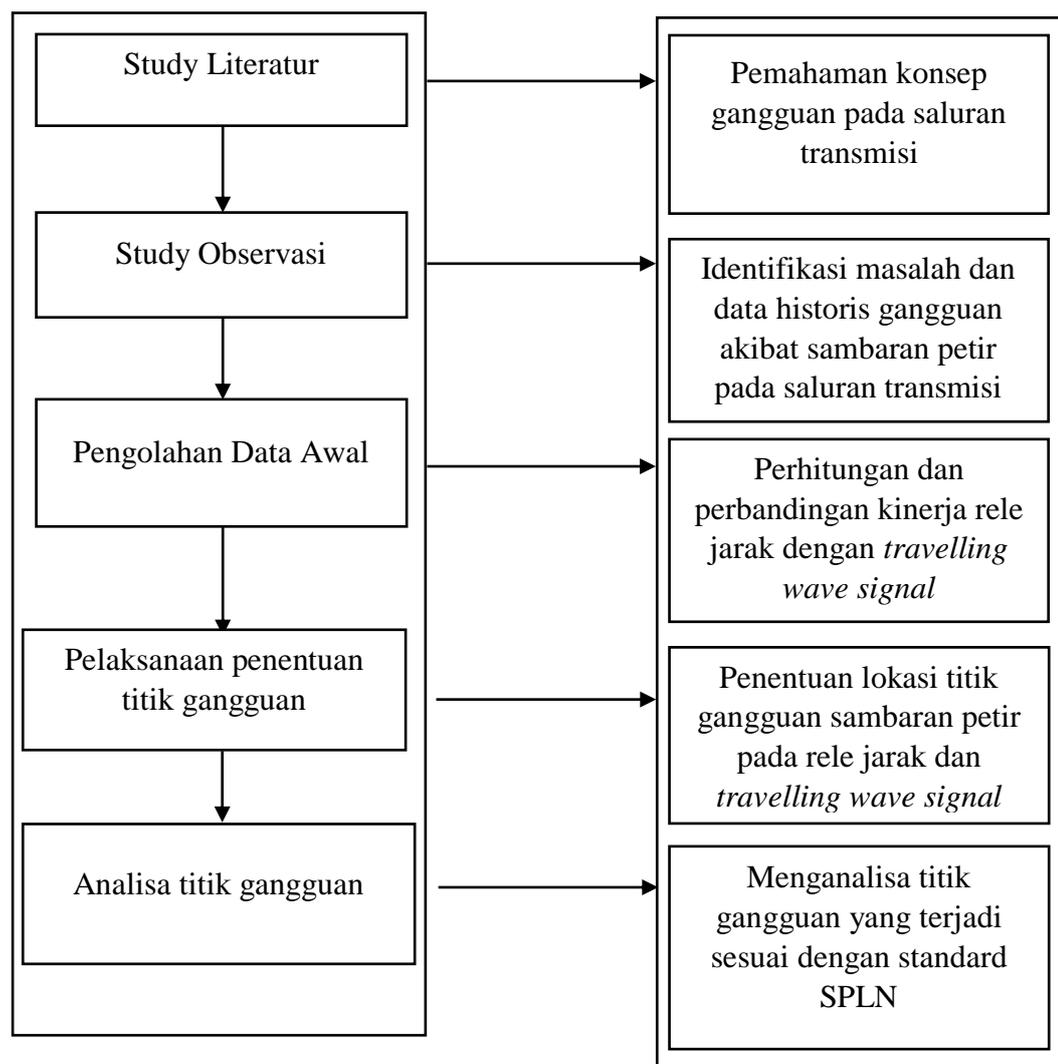
Rele jarak (*distance relay*) merupakan peralatan proteksi utama pada saluran transmisi. Rele jarak bekerja dengan mengukur tegangan pada titik rele dan arus gangguan yang terlihat dari rele, dengan membagi besaran tegangan dan arus, maka impedansi sampai titik terjadinya gangguan dapat ditentukan. Ketika arus *infeed* masuk ke sistem transmisi, arus *infeed* ini akan membuat impedansi yang dilihat oleh rele seolah-olah menjadi lebih besar atau menjadi lebih kecil. Sehingga dalam men-*setting* rele jarak harus dipertimbangkan pengaruh dari arus *infeed* ini. Hal ini akan menyebabkan pendeteksian lokasi gangguan menjadi salah [25].

Proteksi pada saluran transmisi mempunyai peran yang sangat penting dalam sistem tenaga listrik. Rele pengaman merupakan suatu peralatan pengaman yang difungsikan untuk mendeteksi suatu kondisi gangguan pada peralatan listrik. Rele jarak bekerja dengan mengukur besaran impedansi (Z) gangguan pada saluran transmisi dan membandingkannya dengan impedansi setting rele, dibagi menjadi beberapa daerah cakupan yaitu zona 1, zona 2, dan zona 3. Penggunaan rele jarak pada sistem jaringan Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV, diharapkan dapat membantu keandalan dari sistem transmisi [26].

Relai jarak dapat menentukan titik gangguan dapat, dan digunakan untuk mengontrol pemutus sirkuit dan melakukan fungsi proteksi lainnya. Relai juga membantu perbaikan untuk menemukan daerah gangguan dengan segera. Selanjutnya, dalam kasus gangguan fase tunggal ke tanah, fase gangguan dapat diidentifikasi [27].

2.3 Kerangka Berpikir

Untuk membantu dalam penyusunan penelitian ini, maka diperlukan adanya susunan kerangka berpikir yang jelas tahapannya. Kerangka ini merupakan langkah – langkah yang akan dilakukan dalam penyelesaian masalah yang akan dibahas. Adapun langkah – langkah dari kerangka berpikir dalam penelitian ini akan dijelaskan pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Kerangka Berpikir

Dari gambar 2.13 yaitu tentang kerangka berpikir yang dimulai dari study literatur yang didapat dari referensi buku, para ahli, dan jurnal – jurnal terbaru. Hal

ini diperlukan guna tercapainya seluruh tahapan yang sudah disusun oleh penulis. Terkait pada study observasi dibutuhkan guna mendapatkan gambaran mengenai permasalahan yang sering dialami oleh perusahaan dalam penentuan titik gangguan pada saluran transmisi 150 kV. Sementara itu, pada tahapan pengolahan awal dibutuhkan guna mengetahui lokasi titik gangguan yang didapat dari rele jarak dan *travelling wave signal*, untuk dibutuhkan data awal dan selanjutnya dilakukan penentuan titik gangguan guna mengetahui apakah sesuai standart yang ditetapkan atau tidak.

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Pendekatan Penelitian

Sistem proteksi saluran transmisi 150 kV menggunakan rele jarak sebagai *main protection*. Rele jarak dapat mendeteksi gangguan dan mengisolasi daerah yang tidak terkena gangguan. Rele jarak dapat menentukan titik gangguan berdasarkan dengan impedansi gangguan dikarenakan impedansi gangguan akan sebanding dengan panjang saluran. *Travelling wave signal* terintegrasi dengan dua Gardu Induk yang saling tersinkronisasi dengan menggunakan metode gelombang berjalan. *Travelling wave signal* mampu menentukan titik gangguan yang akurat sehingga dapat mengatasi gangguan dengan cepat.



Gambar 3.1 Rele Jarak dan *Travelling Wave Signal*

3.2 Tempat Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di PT PLN (PERSERO) UPT MEDAN Gardu Induk Glugur Jalan Kl.Yos Sudarso Lor.12 Medan, Sumatera Utara.

3.3 Data Penelitian

Data pendukung dalam penelitian ini didapatkan dari PT PLN (PERSERO) GI Glugur. Data yang akan di dapatkan ialah :

1. Data Sekunder

a. Rasio *current transformator* dan *potensial transformator*

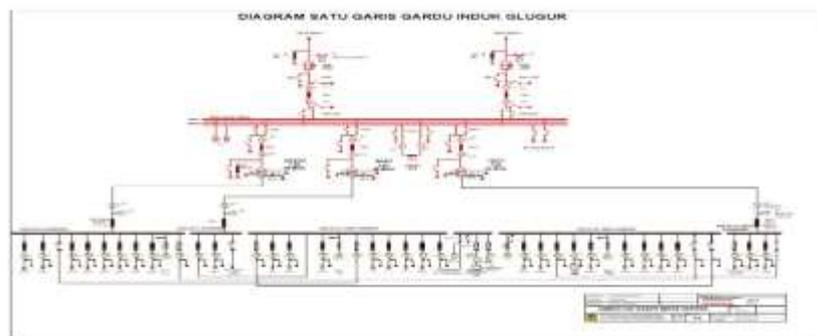
Adapun data yang didapatkan pada rasio CT dan Rasio PT diperlihatkan pada tabel 3.1

Tabel 3.1 Rasio CT dan Rasio PT

Nilai	GI Glugur 1 – GI Payageli 1	GI Glugur 2 – GI Payageli 2	GI Payageli 1 – GI Payapasir 1	GI Payageli 2 – GI Payapasir 2
Rasio CT	1000 : 1	1000 : 1	1600 : 1	2000 : 1
Rasio PT	150.000 : 100	150.000 : 100	150.000 : 100	150.000 : 100

b. One line diagram GI Glugur

Pada gambar 3.2 diperlihatkan *one line diagram* pada GI Glugur.



Gambar 3.2 Single Line Diagram

c. Data *setting* rele jarak

Untuk data *Setting* rele jarak terdapat di lampiran 3 .

d. Data spesifikasi kawat penghantar

Tabel 3.2 Data Kawat Penghantar ACSR GI Glugur 1 – GI Payageli 1

Item	Uraian	Satuan
Tipe	ACSR	-
Luas Penampang	1 X 300	mm^2
Impedansi	0,2663	Ohm/km

Tabel 3.3 Data Kawat Penghantar ACSR GI Payageli 1 – GI Payapasir 1

Item	Uraian	Satuan
Tipe	ACSR	-
Luas Penampang	1 x 300	mm^2
Impedansi	0,0575	Ohm / km

Tabel 3.4 Data Kawat Penghantar GI Glugur 2 – GI Payageli 2

Item	Uraian	Satuan
Tipe	ACSR	-
Luas Penampang	1 X 330	mm^2
Impedansi	0,2768	Ohm/km

Tabel 3.5 Data Kawat Penghantar GI Payageli 2 – GI Payapasir 2

Item	Uraian	Satuan
Tipe	ACCC	-
Luas Penampang	1 x 310	mm^2
Impedansi	0,1297	Ohm / km

e. Jarak saluran

Panjang saluran GI Glugur – GI Payageli = 11,92 km, 41 Tower

Panjang saluran GI Payageli – GI Payapasir = 21,27 km, 59 Tower

2. Data Primer

a. Data gangguan sambaran petir saluran transmisi

Data gangguan sambaran petir terdapat di lampiran 5.

- b. Data pembacaan gangguan oleh *travelling wave signal* dan rele jarak

Data pembacaan gangguan yang dideteksi oleh rele jarak dan *travelling wave signal* terdapat dilampiran 5.

3.4 Metode Penelitian

Objek penelitian ini adalah hal-hal yang berkaitan dengan masalah rele jarak pada sistem transmisi. Pengumpulan data meliputi data primer dan data sekunder. Data primer yaitu pengambilan data yang di ambil sesuai dengan kondisi di lapangan, sedangkan data sekunder didapatkan dari studi literatur baik berupa buku, jurnal – jurnal, rekap pembukuan GI Glugur, melakukan konsultasi dan diskusi dengan pembimbing akademik, pegawai HAR (*Health and Rescue*) PT PLN (PERSERO) bidang pemeliharaan transmisi dan proteksi yang bersangkutan. Untuk menyelesaikan thesis maka dilakukan beberapa metode :

1. Study Literatur

Dilakukan dengan membaca dari berbagai sumber yang mendukung dalam penyelesaian tugas akhir.

2. Pengumpulan Data

Melakukan pengambilan data pada sistem transmisi saluran GI Glugur – GI Payageli

3. Pengolahan Data

Melakukan perhitungan kinerja rele jarak dalam menentukan titik gangguan sambaran petir sesuai dengan jarak aktual dilapangan, melakukan perhitungan kinerja *travelling wave signal* dalam menentukan titik gangguan sambaran petir

sesuai dengan jarak aktual dilapangan dan melakukan perbandingan kinerja rele jarak dan *travelling wave signal* berdasarkan titik gangguan yang terjadi di lapangan.

4. Analisa Data

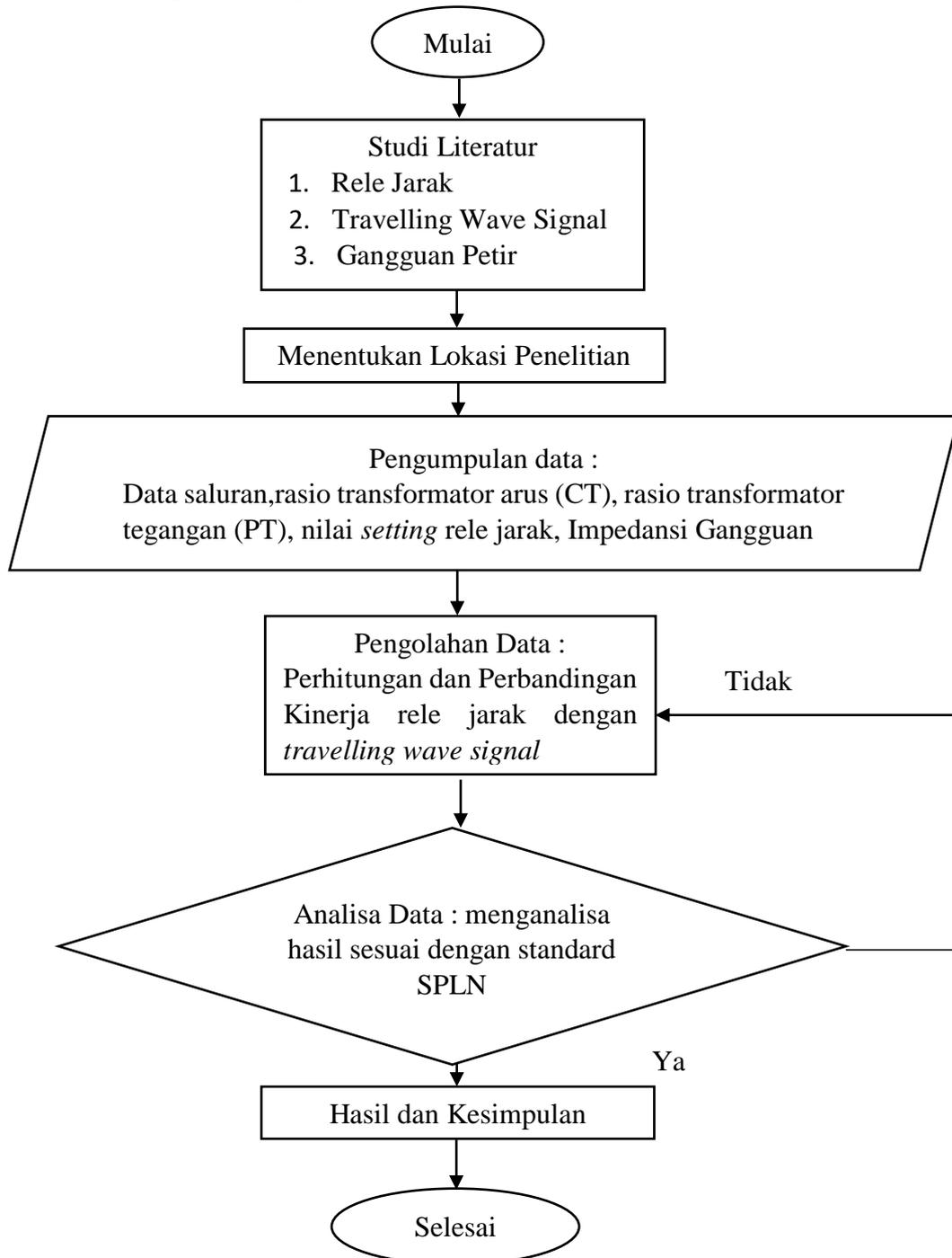
Menganalisa hasil perhitungan yang diperoleh dengan standard SPLN.

5. Kesimpulan

Membuat kesimpulan berupa kinerja rele jarak dengan *travelling wave signal* terhadap titik gangguan saluran transmisi 150 kV

3.5 Diagram Alir Penelitian

Adapun proses berlangsungnya penelitian ini akan dijelaskan dalam bentuk diagram alir penelitian pada gambar 3.2



Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian

Dari diagram alir pada gambar 3.2, dapat dideskripsikan langkah – langkah alur penelitian pada diagram alir kerja penelitian sebagai berikut :

1. Menentukan dan mencari studi literatur berupa rele jarak, *travelling wave signal*, serta gangguan sambaran petir yang berguna untuk memperoleh berbagai teori dan konsep guna mendukung penelitian.
2. Menentukan lokasi penelitian yang sesuai dengan adanya gangguan sambaran petir pada GI Glugur – GI Payageli dengan waktu penelitian yang dilakukan dimulai dari 17 Januari 2022 sampai dengan 14 April 2022.
3. Melakukan pengumpulan data di lokasi penelitian. Data yang dikumpulkan berupa data saluran, rasio transformator arus (CT), rasio transformator tegangan (PT), Impedansi gangguan, *setting* rele jarak, serta data historis gangguan.
4. Melakukan pengolahan data dengan menghitung kinerja rele jarak dalam menentukan titik gangguan sambaran petir berdasarkan jarak yang terjadi dilapangan, serta menghitung kinerja *travelling wave signal* dalam menentukan titik gangguan sambaran petir berdasarkan jarak yang terjadi dilapangan, dan membandingkan kinerja rele jarak dan *travelling wave signal* berdasarkan jarak yang terjadi dilapangan.
5. Menganalisa hasil dari pengolahan data. Hasil pengolahan data dianalisa sesuai dengan SPLN No. 0520-2.K/DIR Tahun 2014.
6. Dari hasil analisa data, jika hasil pengolahan data sesuai dengan SPLN No. 0520-2.K/DIR Tahun 2014, Maka hasil dan kesimpulan bisa didapatkan, tetapi jika tidak sesuai dengan SPLN No. 0520-2.K/DIR Tahun 2014, maka disarankan untuk melakukan pengkajian ulang

BAB 4

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Deskripsi Hasil Penelitian

Hasil dari penelitian pada sistem transmisi 150 kV GI Glugur – GI Payageli berupa nilai *setting* impedansi pada rele jarak khususnya zona 1, zona 2, zona 3, dalam menentukan titik gangguan akibat sambaran petir berdasarkan jarak yang terjadi dilapangan sehingga dapat dilihat persentase *error* yang terjadi pada pembacaan gangguan oleh rele jarak, serta melakukan perhitungan pada *travelling wave signal* dalam menentukan titik gangguan sambaran petir berdasarkan jarak yang terjadi dilapangan sehingga dapat dilihat persentase *error* yang terjadi pada pembacaan *travelling wave signal*, dan membandingkan kinerja rele jarak dan *travelling wave signal* dalam menentukan titik gangguan sambaran petir.

4.2 Kinerja Rele Jarak

Pada penelitian ini akan mendapatkan nilai titik gangguan akibat sambaran petir yang dideteksi oleh rele jarak dan pada penelitian ini dalam menentukan kinerja rele jarak mengabaikan akan adanya *power swing* yang terjadi.

4.2.1 Perhitungan Impedansi

Nilai impedansi panjang saluran sistem transmisi dapat dihitung dengan menggunakan rumus [2.10] :

$$Z_L (\Omega) = \text{Panjang saluran} \times Z \text{ saluran per km}$$

Maka,

1. Impedansi saluran GI Glugur 1 – GI Payageli 1

$$\begin{aligned} Z_{L1} (\Omega) &= \text{Panjang saluran} \times Z \text{ saluran per km} \\ &= 11,92 \times 0,2663 \\ &= 3,175 \text{ Ohm} \end{aligned}$$

2. Impedansi saluran GI Payageli 1 – GI Payapasir 1

$$\begin{aligned} Z_{L2} (\Omega) &= \text{Panjang saluran} \times Z \text{ saluran per km} \\ &= 21,27 \times 0,057 \\ &= 1,225 \text{ Ohm} \end{aligned}$$

3. Impedansi Saluran GI Glugur 2 – GI Payageli

$$\begin{aligned} Z_{L2} (\Omega) &= \text{Panjang saluran} \times Z \text{ saluran per km} \\ &= 11,92 \times 0,2768 \\ &= 3,3 \text{ Ohm} \end{aligned}$$

4. Impedansi saluran GI Payageli 2 – GI Payapasir 2

$$\begin{aligned} Z_{L2} (\Omega) &= \text{Panjang saluran} \times Z \text{ saluran per km} \\ &= 21,27 \times 0,1297 \\ &= 2,76 \end{aligned}$$

4.2.2 Penentuan Zona

Dalam melakukan *setting* rele jarak, dilakukan penentuan zona berdasarkan impedansi kawat saluran.

1. GI Glugur 1 – GI Payageli 1

a. Zona 1

Adapun zona proteksi pada zona 1 dari GI Glugur 1 – GI Payageli 1 yang mencakup 80 % panjang saluran nya.

$$\begin{aligned}
 l_{\text{saluran yang diproteksi}} &= 80 \% \times l_{\text{saluran}} \\
 &= 0,8 \times 11,29 \text{ km} \\
 &= 9,032 \text{ km}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Zona 1} &= 0,8 \times Z_{L1} \\
 &= 0,8 \times 3,175 \text{ Ohm} \\
 &= 2,540 \text{ Ohm}
 \end{aligned}$$

Dengan panjang saluran yang diproteksi pada zona 1 sepanjang 9,032 km maka *setting* rele jarak pada zona 1 ialah 2,540 Ohm. Rele jarak pada zona 1 bekerja dengan seketika atau 0 detik

b. Zona 2

Adapun zona proteksi pada zona 2 dari GI Glugur 1 – GI Payageli 1 yang mencakup 20% sisa dari zona 1 yang tidak di proteksi ditambah dengan 50% panjang saluran berikutnya. Dengan jangkauan perlindungan zona 2 :

$$\begin{aligned}
 l_{\text{saluran yang diproteksi}} &= 0,8 (l_{\text{saluran1}} + (0,8 \times l_{\text{saluran2}})) \\
 &= 0,8 (11,92 + (0,8 \times 21,27)) \\
 &= 26,552 \text{ km}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Zona 2} &= 0,8 (Z_{L1} + 0,8 \times Z_{L2}) \\
 &= 0,8 (3,175 + 0,8 \times 1,225) \\
 &= 4,4 \text{ Ohm}
 \end{aligned}$$

Dengan panjang saluran yang diproteksi zona 2 sepanjang 26,552 km maka *setting* rele jarak pada zona 2 ialah 4,4 Ohm. Rele jarak pada zona 2 bekerja lebih lama dari zona 1 yaitu 0,4 detik.

c. Zona 3

Dengan waktu *tripping* zona 2 yang lebih lambat, elemen proteksi zona 3 dapat disetel sebagai proteksi cadangan terhadap kemungkinan kegagalan elemen proteksi zona 1 dan zona 2. Maka cakupan proteksi zona 3 pada GI Glugur 1 – GI Payageli 1.

$$\begin{aligned} l_{\text{saluran yang diproteksi}} &= 1,6 (l_{\text{saluran1}} + l_{\text{saluran2}}) \\ &= 1,6 (11,92 + 21,27) \\ &= 53,104 \text{ km} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Zona 3} &= 1,6 (Z_{L1} + Z_{L2}) \\ &= 1,6 (3,175 + 1,225) \\ &= 7,04 \text{ Ohm} \end{aligned}$$

Dengan panjang saluran yang diproteksi zona 3 sepanjang 53,104 km, maka *setiing* rele jarak pada zona 3 adalah 7,04 Ohm. Rele jarak pada zona 3 bekerja lebih lama dari zona 2 yaitu 1,4 detik

2. GI Glugur 2 – GI Payageli 2

a. Zona 1

Adapun zona proteksi pada zona 1 dari GI Glugur 2 – GI Payageli 2 yang mencakup 80 % panjang saluran nya.

$$\begin{aligned} l_{\text{saluran yang diproteksi}} &= 80 \% \times l_{\text{saluran}} \\ &= 0,8 \times 11,29 \text{ km} \\ &= 9,032 \text{ km} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Zona 1} &= 0,8 \times Z_{L1} \\ &= 0,8 \times 3,3 \text{ Ohm} \end{aligned}$$

$$= 2,640 \text{ Ohm}$$

Dengan panjang saluran yang diproteksi pada zona 1 sepanjang 9,032 km maka *setting* rele jarak pada zona 1 ialah 2,640 Ohm. Rele jarak pada zona 1 bekerja dengan seketika atau 0 detik

b. Zona 2

Adapun zona proteksi pada zona 2 dari GI Glugur 2 – GI Payageli 2 yang mencakup 20% sisa dari zona 1 yang tidak di proteksi ditambah dengan 50% panjang saluran berikutnya. Dengan jangkauan perlindungan zona 2 :

$$\begin{aligned} l_{\text{saluran yang diproteksi}} &= 0,8 (l_{\text{saluran1}} + (0,8 \times l_{\text{saluran2}})) \\ &= 0,8 (11,92 + (0,8 \times 21,27)) \\ &= 26,552 \text{ km} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Zona 2} &= 0,8 (Z_{L1} + 0,8 \times Z_{L2}) \\ &= 0,8 (3,3 + (0,8 \times 2,76)) \\ &= 4,85 \text{ Ohm} \end{aligned}$$

Dengan panjang saluran yang diproteksi zona 2 sepanjang 26,552 km maka *setting* rele jarak pada zona 2 ialah 4,85 Ohm. Rele jarak pada zona 2 bekerja lebih lama dari zona 1 yaitu 0,4 detik.

c. Zona 3

Dengan waktu *tripping* zona 2 yang lebih lambat, elemen proteksi zona 3 dapat disetel sebagai proteksi cadangan terhadap kemungkinan kegagalan elemen proteksi zona 1 dan zona 2. Maka cakupan proteksi zona 3 pada GI Glugur 2 – GI Payageli 2.

$$\begin{aligned}
 l_{\text{saluran yang diproteksi}} &= 1,6 (l_{\text{saluran1}} + l_{\text{saluran2}}) \\
 &= 1,6 (11,92 + 21,27) \\
 &= 53,104 \text{ km}
 \end{aligned}$$

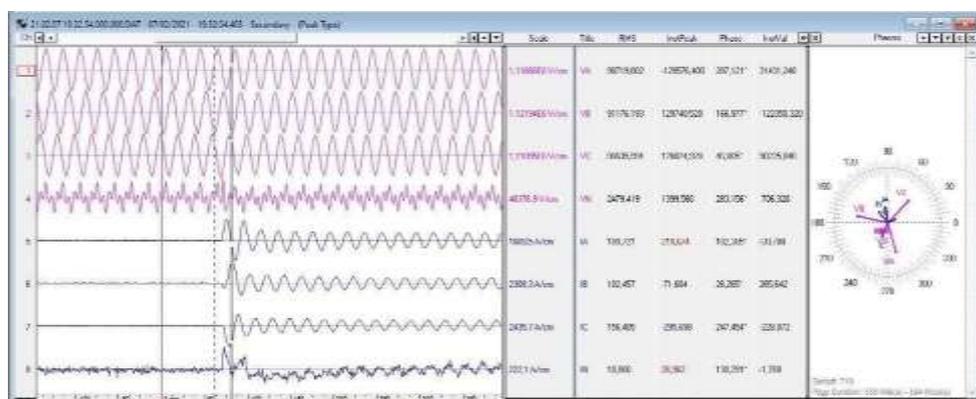
$$\begin{aligned}
 \text{Zona 3} &= 1,6 (Z_{L1} + Z_{L2}) \\
 &= 1,6 (3,3 + 2,76) \\
 &= 9,69 \text{ Ohm}
 \end{aligned}$$

Dengan panjang saluran yang diproteksi zona 3 sepanjang 53,104 km, maka *setting* rele jarak pada zona 3 adalah 9,69 Ohm. Rele jarak pada zona 3 bekerja lebih lama dari zona 2 yaitu 1,4 s

4.2.3 Jarak Gangguan Berdasarkan Rele Jarak

Adapun jarak gangguan pada saluran transmisi yang dideteksi oleh rele jarak berdasarkan impedansi gangguan ialah :

1. Gangguan ke 1



Gambar 4.1 Bentuk Gangguan Glugur 1 – Payageli 1 Pada Jarak 6,77 km

Berdasarkan gangguan yang terjadi pada saluran transmisi , gangguan terjadi pada hari sabtu, 07 Februari 2021 pada pukul 19:32:54.000, impedansi yang dibaca

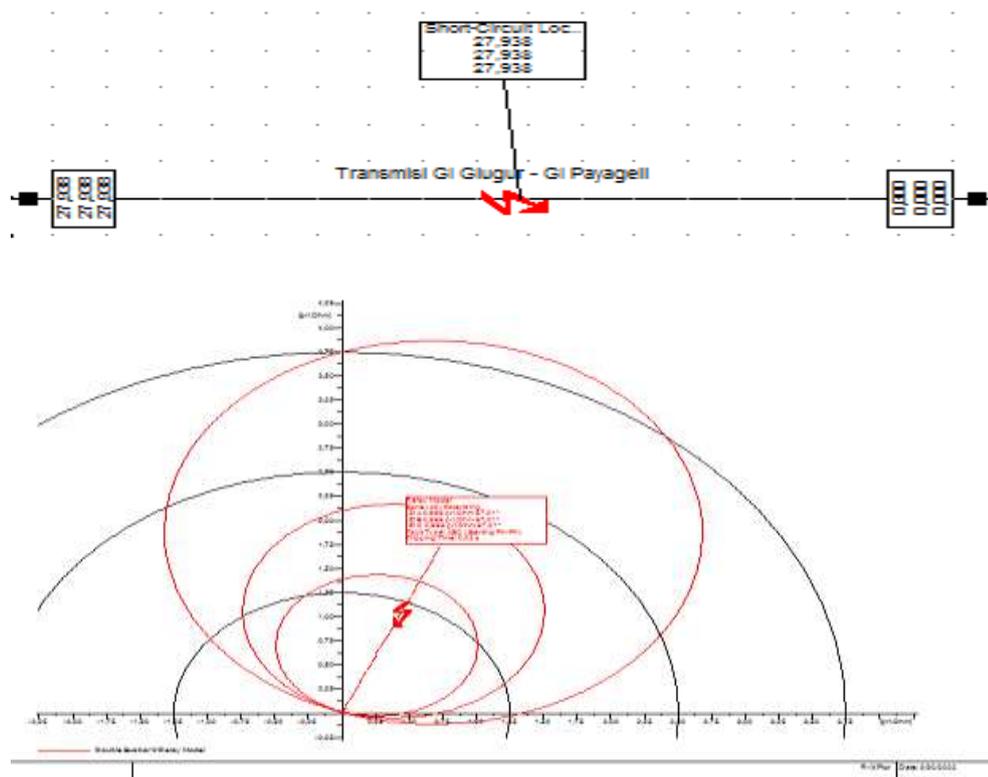
rele jarak ialah sebesar 2,43 Ohm, maka jarak gangguan yang dibaca oleh rele jarak ialah :

$$S_{\text{Gangguan}} = \frac{Z \text{ yang dibaca oleh rele } \times \text{Rasio } \frac{CT}{PT} \times l}{Z_{L1}}$$

$$= \frac{2,43 \times \text{Rasio } \frac{1000/1}{150.000/100} \times 11,92}{3,175}$$

$$= 6,1 \text{ km}$$

Dari hasil yang didapatkan bahwasanya jarak gangguan yang dibaca oleh rele jarak ialah 6,1 km pada zona 1 proteksi saluran transmisi Glugur 1 – Payageli 1.



Gambar 4.2 R – X Plot Zona Gangguan

Pada gambar 4.2 merupakan hasil dari simulasi software Power Factory DiGSilent didapatkan bahwasanya hasil analisa yang dilakukan oleh rele jarak

pada gangguan 1 didapatkan dengan jarak 6,1 Km pada panjang saluran transmisi 150 Kv dan R – X plot zona gangguan nya masuk kedalam zona 1 pada daerah proteksi.

Berdasarkan pada perhitungan yang didapat maka gangguan ke 2, gangguan ke 3, gangguan ke 4, gangguan ke 5, dan gangguan ke 6 terdapat pada lampiran 6. Berikut ialah hasil perhitungan jarak gangguan yang dideteksi oleh rele jarak terlihat pada tabel 4.1

Tabel 4.1 Jarak Gangguan Pada Rele Jarak

No	Gangguan	Jarak Gangguan Pada Rele Jarak (km)	Jangkauan Zona	Keterangan
1	Gangguan 1	6,1	Zona 1	Sesuai SPLN No. 0520-2.K/DIR Tahun 2014.
2	Gangguan 2	8,08	Zona 1	Sesuai SPLN No. 0520-2.K/DIR Tahun 2014.
3	Gangguan 3	8,18	Zona 1	Sesuai SPLN No. 0520-2.K/DIR Tahun 2014.
4	Gangguan 4	8,65	Zona 1	Sesuai SPLN No. 0520-2.K/DIR Tahun 2014.
5	Gangguan 5	9,26	Zona 1	Sesuai SPLN No. 0520-2.K/DIR Tahun 2014.
6	Gangguan 6	5,9	Zona 1	Sesuai SPLN No. 0520-2.K/DIR Tahun 2014.

Berdasarkan pada tabel 4.1 didapatkan hasil perhitungan rele jarak dalam menentukan titik gangguan sambaran petir dengan zona yang diproteksi dalam saluran transmisi GI Glugur – GI Payageli sudah sesuai dengan Sesuai SPLN No. 0520-2.K/DIR Tahun 2014.

4.2.4 Persentase *Error* Pembacaan Rele Jarak

Adapun persentase *error* pembacaan titik gangguan oleh rele jarak terhadap titik gangguan yang terjadi di lapangan (aktual).

1. Gangguan ke 1

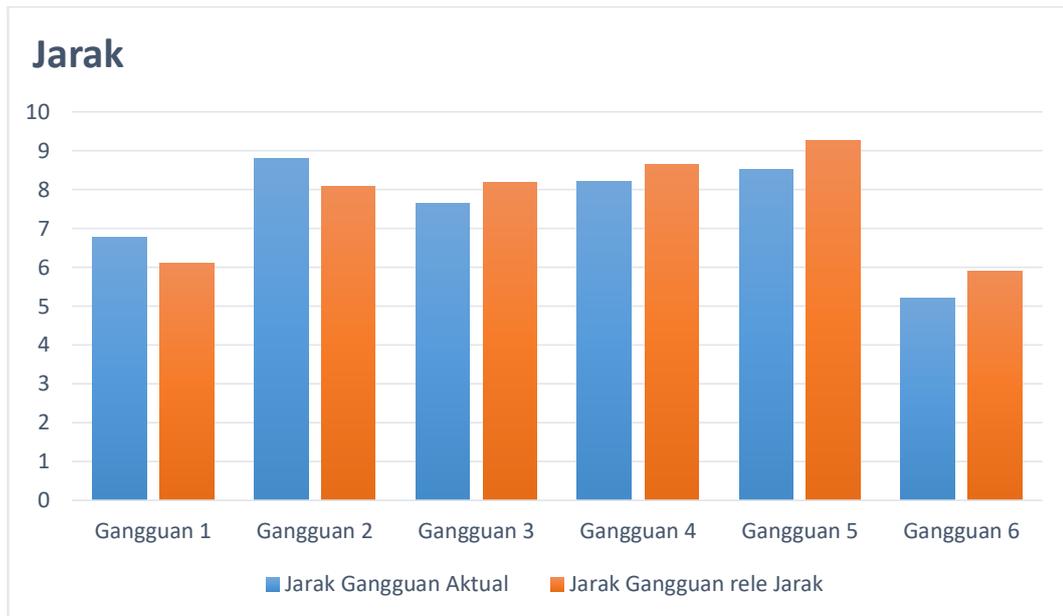
$$\begin{aligned} \text{Error} &= \frac{JARAK_{AKTUAL} - JARAK_{PREDIKSI}}{JARAK_{AKTUAL}} \times 100\% \\ &= \frac{6,77 - 6,1}{6,77} \times 100\% \\ &= 9,89\% \end{aligned}$$

Sehingga persentase *error* pembacaan rele jarak terhadap titik gangguan yang terjadi di lapangan (aktual) ialah sebesar 9,89 %.

Untuk perhitungan persentase *error* yang terjadi pada gangguan 2, gangguan 3, gangguan 4, gangguan 5, dan gangguan 6 terdapat dilampiran 6. Maka hasil dari perhitungan persentase *error* pada rele jarak dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Perbandingan Jarak Gangguan

No	Gangguan	Jarak Gangguan Aktual (km)	Jarak Gangguan Rele Jarak (km)	Persentase <i>Error</i>	Selisih Pembacaan
1	Gangguan 1	6,77	6,1	9,89 %	670 m
2	Gangguan 2	8,80	8,08	8,18 %	720 m
3	Gangguan 3	7,638	8,18	7,09 %	542 m
4	Gangguan 4	8,2	8,65	5,48 %	450 m
5	Gangguan 5	8,523	9,26	8,64 %	737 m
6	Gangguan 6	5,2	5,9	13,4 %	700 m



Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Jarak Gangguan

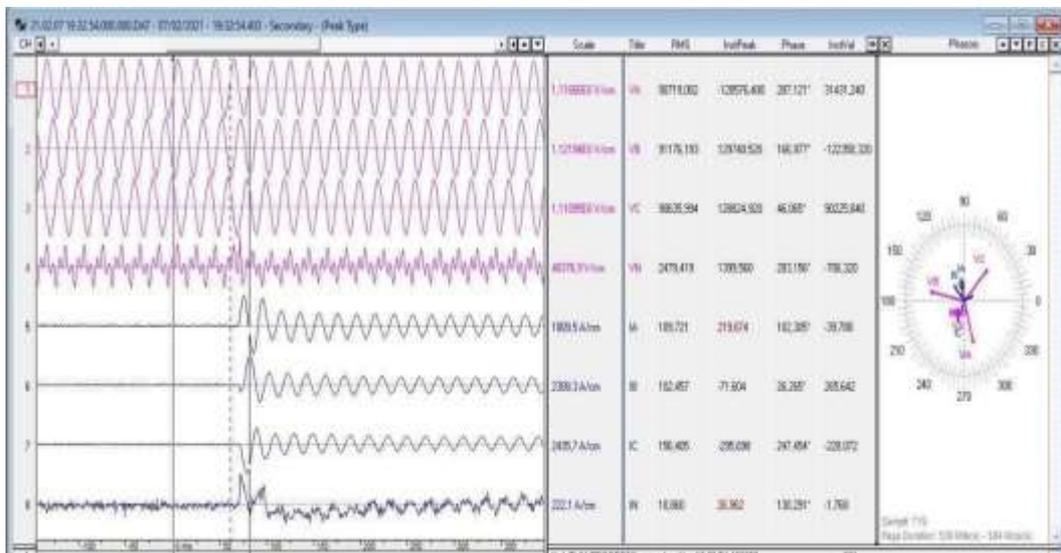
Dari grafik pada gambar 4.3 dan tabel 4.2 didapatkan bahwasanya hasil pembacaan titik gangguan yang dideteksi tidak mendekati titik gangguan yang di lapangan (aktual), tetapi berdasarkan dengan SPLN No. 0520-2.K/DIR Tahun 2014 masih dalam toleransi pembacaan gangguan yang dilakukan oleh rele jarak. Semakin tinggi nilai impedansi gangguan maka akan semakin jauh titik gangguan yang dihasilkan.

4.2.5 Jarak Gangguan Berdasarkan *Travelling Wave Signal*

Dalam menentukan jarak gangguan berdasarkan *Travelling Wave Signal* digunakan menggunakan metode D, yaitu berdasarkan kecepatan gelombang yang ada pada saluran transmisi. Dalam menentukan titik gangguan menggunakan kecepatan waktu yang sangat cepat dalam membangkitkan gelombang dari titik gangguan ke gardu induk.

1. Gangguan ke 1

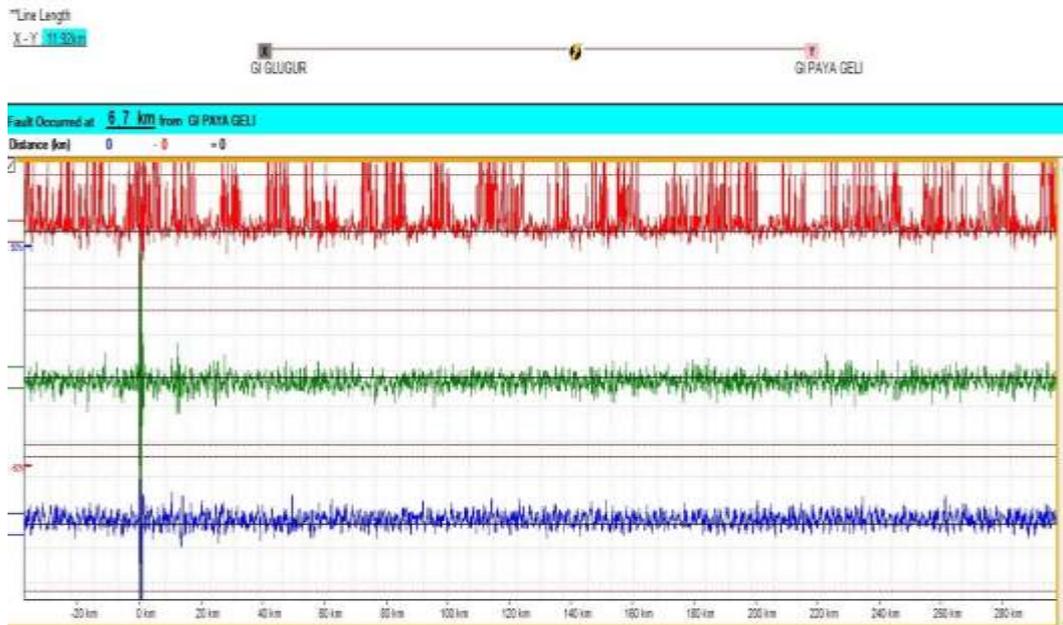
Terjadinya gangguan dideteksi adanya gangguan sambaran petir sehingga menghasilkan bentuk gangguan yang diperlihatkan seperti pada gambar 4.4.



Gambar 4.4 Bentuk Gangguan Glugur 1 – Payageli 1 Pada Jarak 6,77 km

Pada saat terjadi gangguan pada saluran transmisi GI Glugur 1 – Payageli 1 pada hari Minggu, 07 Ferbruari 2021 pada pukul t_B 19:32:54.000 dan t_A 19:32:54.403 dengan kecepatan gelombang 1,13 m/s, maka signal gelombang yang terekam seperti pada Gambar 4.4. maka jarak gangguan yang dihasilkan *Travelling Wave Signal* [2.6] ialah :

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{(l - (t_A - t_B)) v}{2} \\
 &= \frac{(11.920 - (0,403)) 1,13}{2} \\
 &= 6.734 \text{ m} \\
 &= 6,734 \text{ km}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.5 Signal Gelombang Gangguan Pada Jarak 6,7 km

Dengan menggunakan *Travelling Wave Signal* didapatkan jarak gangguan pada saluran transmisi Glugur 1 – Payageli 1 ialah 6,7 km.

Untuk perhitungan jarak gangguan berdasarkan *travelling wave signal* yang terjadi pada gangguan 2, gangguan 3, gangguan 4, gangguan 5, serta gangguan 6 dapat dilihat pada lampiran 7. Berikut merupakan hasil perhitungan jarak gangguan yang dideteksi oleh *Travelling Wave Signal* terlihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Jarak Gangguan *Travelling Wave Signal*

NO	Gangguan	Jarak Gangguan TWS (km)
1	Gangguan 1	6,734
2	Gangguan 2	8,760
3	Gangguan 3	7,526
4	Gangguan 4	8,1
5	Gangguan 5	8,498
6	Gangguan 6	5,1

4.2.6 Persentase Error Pembacaan Travelling Wave Signal

Adapun persentase error pada pembacaan titik gangguan yang dibaca oleh *Travelling Wave Signal* terhadap titik gangguan yang didapatkan di lapangan (aktual).

1. Gangguan ke 1

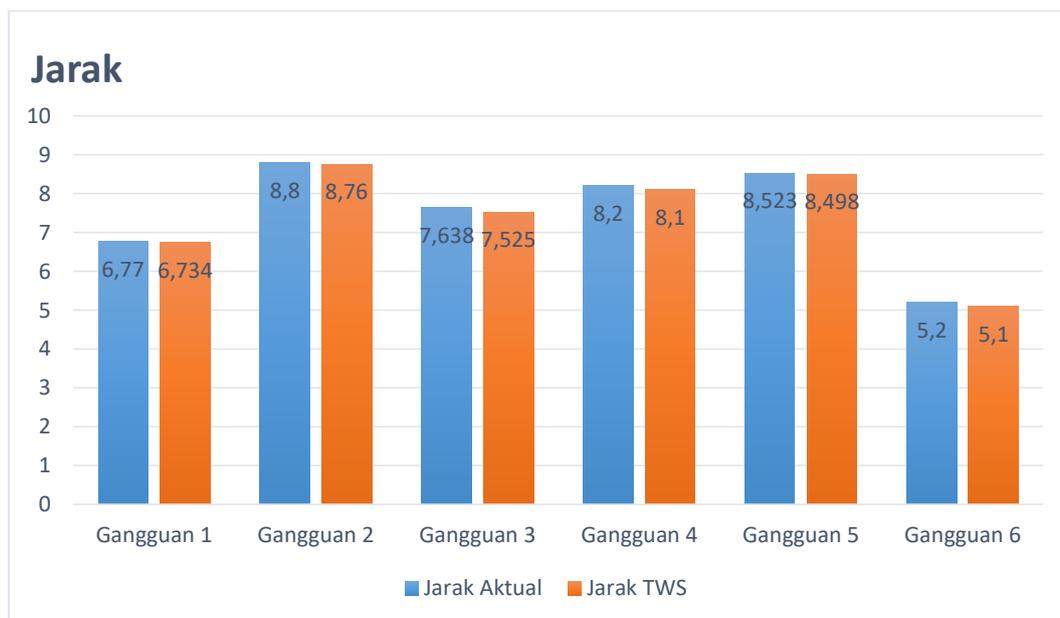
$$\begin{aligned} \text{Error} &= \frac{\text{JARAK}_{\text{AKTUAL}} - \text{JARAK}_{\text{PREDIKSI}}}{\text{JARAK}_{\text{AKTUAL}}} \times 100\% \\ &= \frac{6,77 - 6,734}{6,77} \times 100\% \\ &= 0,53\% \end{aligned}$$

Sehingga persentase *error* pembacaan *travelling wave signal* terhadap titik gangguan yang terjadi di lapangan (aktual) ialah sebesar 0,53 %.

Untuk perhitungan persentase *error* pada pembacaan *travelling wave signal* yang terjadi pada gangguan 2, gangguan 3, gangguan 4, gangguan 5, dan gangguan 6 dapat dilihat pada Lampiran 7.

Tabel 4.4 Perbandingan Jarak Gangguan

No	Gangguan	Jarak Gangguan Aktual (km)	Jarak Gangguan TWS (km)	Persentase <i>Error</i>
1	Gangguan 1	6,77	6,734	0,53 %
2	Gangguan 2	8,80	8,760	0,45 %
3	Gangguan 3	7,638	7,526	1,3 %
4	Gangguan 4	8,2	8,1	1,2 %
5	Gangguan 5	8,523	8,498	0,29 %
6	Gangguan 6	5,2	5,1	1,9 %



Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Jarak Gangguan

Dari grafik pada Gambar 4.6 dan Tabel 4.4 didapatkan bahwasanya hasil perhitungan *travelling wave signal* hampir mendekati jarak gangguan yang terjadi dilapangan (aktual) sehingga dalam mencari titik gangguan dalam memperbaiki gangguan akan lebih cepat dan lebih efisien.

4.3 Pembahasan

Berdasarkan perhitungan *setting* rele jarak dalam pembagian zona 1, zona 2, zona 3, didapatkan nilai *setting* an rele jarak sudah sesuai dilapangan dan memenuhi standard SPLN. Dalam melakukan perhitungan kinerja rele jarak pada penelitian ini mengabaikan akan adanya *power swing*.

Tabel 4.5 *Setting* Rele Jarak Berdasarkan Zona

No	Saluran	Pembagian Zona	<i>Setting</i> dilapangan (Aktual)	<i>Setting</i> Secara Teori
1		Zona 1	2,64 Ohm	2,54 Ohm

	GI Glugur 1 – GI Payageli 1	Zona 2	4,52 Ohm	4,4 Ohm
		Zona 3	7,98 Ohm	7,04 Ohm
2	GI Glugur 2 – GI Payageli 2	Zona 1	2,74 Ohm	2,64 Ohm
		Zona 2	4,93 Ohm	4,85 Ohm
		Zona 3	8,08 Ohm	9,69 Ohm

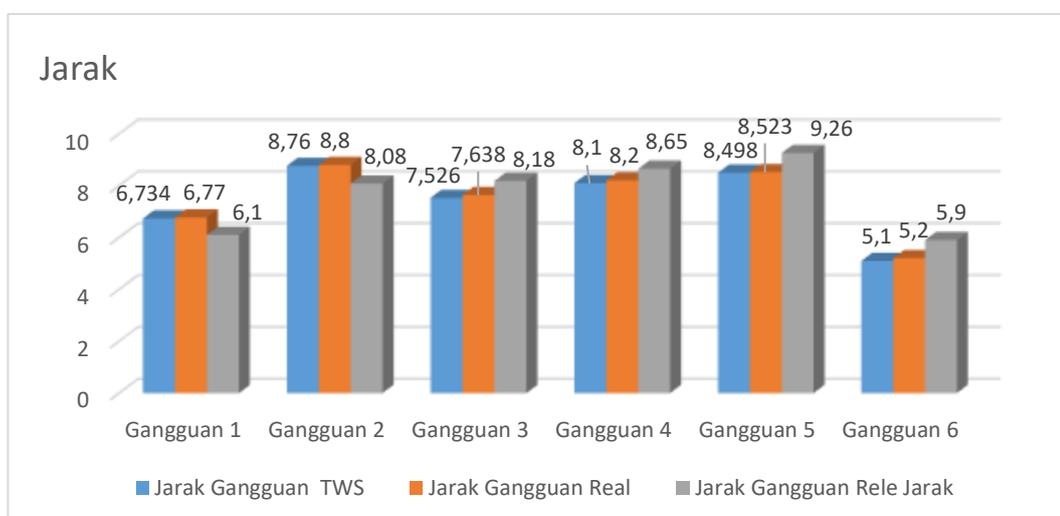
Berdasarkan Tabel 4.5 bahwasanya *setting* rele jarak yang ada dilapangan dengan *setting* secara teori didapatkan nilai nya tidak terlalu jauh dan memenuhi standard SPLN No. 0520-2.K/DIR Tahun 2014. Kinerja rele jarak yang baik pada saluran transmisi 150 kV bergantung dengan salurannya dikarenakan setiap saluran transmisi memiliki perbedaan jenis kawat saluran yang memiliki masing – masing impedansi kawat saluran. Untuk kinerja rele jarak yang baik dalam melakukan *settingan* rele jarak berdasarkan zona nya harus tepat dikarenakan gangguan harus segera terisolir. Jika dalam *pensettingannya* dilakukan tidak tepat maka akan mengakibatkan saluran yang terkena gangguan akan menyebar ke daerah atau saluran yang tidak terkena gangguan. kinerja rele jarak yang baik bekerja berdasarkan pembagian zona yang sudah ditentukan. Untuk zona 1 daerah proteksi sepanjang 80 % saluran pertama (GI Glugur – GI Payageli), untuk zona 2 daerah proteksi 20 % sisa dari proteksi zona 1 sampai 50 % panjang saluran berikutnya (GI Payageli – GI Payapasir), untuk zona 3 daerah proteksi sebesar 50 % sisa dari zona 2 sampai 25 % seksi saluran berikutnya.

Pada *travelling wave signal* memerlukan penggunaan dua perangkat yang tersinkronisasi yang dipasang pada kedua ujung saluran transmisi. Sinkronisasi

dilakukan dengan menggunakan sistem GPS. Pembacaan titik gangguan pada *travelling wave signal* menentukan perbedaan waktu, ketika gelombang mencapai gardu induk A dan B, yang kemudian digunakan untuk menghitung jarak gangguan. Adapun perbandingan kinerja *travelling wave signal* berdasarkan metode gelombang berjalan dan rele jarak berdasarkan impedansi gangguan dalam menentukan titik gangguan sambaran petir pada saluran transmisi Glugur – Payageli.

Tabel 4.6 Perbandingan TWS dan Rele Jarak

Gangguan	Jarak Gangguan Real (km)	Jarak Gangguan TWS (km)	Persentase <i>Error</i>	Jarak Gangguan Rele Jarak (km)	Persentase <i>Error</i>
Gangguan 1	6,77	6,734	0,53 %	6,1	9,89 %
Gangguan 2	8,80	8,760	0,45 %	8,08	8,18 %
Gangguan 3	7,638	7,526	1,3 %	8,18	7,09 %
Gangguan 4	8,2	8,1	1,2 %	8,65	5,48 %
Gangguan 5	8,523	8,498	0,29 %	9,26	8,64 %
Gangguan 6	5,2	5,1	1,9 %	5,9	13,4 %



Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Jarak Gangguan

Berdasarkan hasil yang didapatkan sesuai dengan gambar 4.7 dan tabel 4.6 bahwasanya titik gangguan yang di hasilkan oleh *travelling wave signal* hampir mendekati nilai titik gangguan yang terjadi dilapangan (aktual), sedangkan hasil titik gangguan berdasarkan impedansi dari rele jarak menghasilkan nilai titik gangguan yang tidak mendekati jarak gangguan yang terjadi dilapangan (aktual). Dengan menggunakan *travelling wave signal* didapatkan persentase *error* pembacaan titik gangguan tidak lebih dari 2 % sedangkan menggunakan rele jarak pada pembacaan titik gangguan didapatkan persentase *error* lebih dari 3 % sehingga mengakibatkan pemulihan gangguan memakan waktu yang cukup lama dikarenakan titik gangguan rele jarak berada jauh dari titik gangguan dilapangan (aktual).

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang dilakukan pada penelitian Thesis ini, maka penulis mengambil beberapa kesimpulan yaitu :

1. Kinerja rele jarak dalam menentukan titik gangguan sambaran petir pada saluran transmisi 150 kV berdasarkan dengan gangguan yang terjadi dilapangan bahwasanya kinerja rele jarak bergantung dengan *setting* an impedansi yang berdasarkan zona. Pada zona 1, zona 2, zona 3 dilakukan pen *setting* an berdasarkan impedansi kawat saluran yang terpasang pada GI Gugur – GI Payageli sehingga pada saat terjadi gangguan pada saluran transmisi pendeteksian gangguan sangat baik sesuai dengan zona yang terdeteksi dan sudah sesuai dengan SPLN No. 0520-2.K/DIR Tahun 2014.
2. Kinerja *travelling wave signal* dalam menentukan titik gangguan sambaran petir pada saluran transmisi 150 kV berdasarkan gangguan yang terjadi dilapangan bahwasanya *travelling wave signal* bekerja berdasarkan gelombang berjalan yang terdeteksi pada GI Glugur – GI Payageli terdapat pada salah satu gangguan jarak yang dideteksi pada *travelling wave signal* ialah 6,734 km, sedangkan jarak gangguan yang terjadi dilapangan (aktual) ialah 6,77 km, dalam hal ini menandakan kinerja *travelling wave signal* dalam menentukan titik gangguan cukup akurat.

3. Perbandingan kinerja rele jarak dan *travelling wave signal* dalam menentukan titik gangguan akibat sambaran petir ialah titik gangguan yang dihasilkan oleh *travelling wave signal* hampir mendekati titik gangguan yang terjadi dilapangan (aktual) dengan persentase *error* yang terjadi tidak melebihi dari 1 %. Sedangkan titik gangguan sambaran petir yang dihasilkan oleh rele jarak tidak mendekati titik gangguan yang terjadi dilapangan (aktual) dengan persentase *error* yang terjadi lebih dari 3 %.

5.2 Saran

Tentunya penulis menyadari bahwa terdapat banyak kekurangan dalam penelitian ini. Salah satunya adalah mengabaikan adanya *Power Swing*. Kedepan diharapkan memperhatikan adanya *power swing* untuk pengembangan dari penelitian ini. Serta penggunaan *travelling wave signal* sebagai penguat dan pembanding bagi rele jarak di seluruh GI harus dilakukan dikarenakan *travelling wave signal* memiliki tingkat pembacaan titik gangguan yang lebih akurat sehingga dalam mengatasi gangguan lebih cepat dalam proses pemulihannya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K.Hidayatullah, U. Udayana, "Analisis Penentuan *Setting Distance Relay* Penghantar SUTT 150 KV GIS Pesanggaran - GI Pemecutan Kelod," *Jurnal SPEKTRUM*, vol. 6, no. 1, pp. 134–139, 2019..
- [2] G. A. Taylor, "Louisiana Tech Digital Commons Design and Analysis of a Traveling Wave Fault Locator," *Louisiana Tech University*, 2019.
- [3] M. Adam, A. Abdalla, G. Kalcon, and A. Mohammed, "Design of Travelling Wave Relay for Protection of Transmission Lines," *IJRSEEE*, vol. 3, no. 4, pp. 29–41, 2017.
- [4] C. A. Santjiatodjaja, L. S. Patras, G. Mangindaan, and J. T. Elektro-ft, "Analisa Gelombang Berjalan Pada Saluran Transmisi 70 kV Gardu Induk Teling," *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, vol. 8, no. 1, pp. 1–8, 2019.
- [5] R. Zoro, "Tropical Lightning Current Parameters and Protection of Transmission Lines Tropical Lightning Current Parameters and Protection of Transmission Lines," *International Journal on Electrical and Informatics*, vol. 11, no. 3, December, 2019.
- [6] M. A. Baseer, R. P. Praveen, and A. G. A. Khalil, "Localisation of Fault Using Travelling Wave Theory Based on Multi-End System," *International Journal of Applied Engineering Research*, vol. 12, no. 17, pp. 6504–6513, 2017.
- [7] M. Dfr, D. App, T. B. Krisnandi, and Y. B. Praharto, "Percepatan Pemulihan Gangguan Pada Jaringan Transmisi," *ITEKS*, no. 2, pp. 73–79, 2016.
- [8] R. Kowalik, D. D. Rasolomampionona, and S. Anwar, "Traveling wave fault location in power transmission systems : An overview," *Journal of Electrical Systems*, no. January, 2011.
- [9] H. Jia, "An Improved Traveling-Wave-Based Fault Location Method with Compensating the Dispersion Effect of Traveling," *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2017, 2017.
- [10] Y. Chen, H. Su, and Y. Cai, "TravellingWave Fault Location System based on IEC61850 TravellingWave Fault Location System based on IEC61850," 2019.
- [11] M. M. D. C. Grids, "A Traveling-Wave-Based Fault Location Scheme for MMC-Based Multi-Terminal DC Grids," *MDPI*, 2018.
- [12] T. T. Line and A. Y. Power, "Fault Model and Travelling Wave Matching Based," *MDPI*, 2020.
- [13] L. De Andrade, T. P. De Leão, F. De Engenharia, and R. R. Frias, "Travelling Wave Based Transmission Lines Fault Location Analysis for," *EPJ Conference*, vol. 04005, 2012.

- [14] S. L. Z. Y. He and X. P. L. Q. Q. Qian, "Travelling wave time – frequency characteristic-based fault location method for transmission lines," *IET Generation Transmission & Distribution*, vol. 6, no. April, pp. 764–772, 2012.
- [15] H. W. Id, J. Yang, L. Chen, and Q. Wang, *A new method for identifying a fault in T- connected lines based on multiscale S- transform energy entropy and an extreme learning machine*. 2019.
- [16] A. C. Pritchard, H. Lampl, T. Hensler, and O. Gmbh, "New Possibilities for Testing Traveling Wave Fault Location Functions in the Field," *PACWorld Conferense*, pp. 1–11.
- [17] S. E. Of, T. Waves, and P. Systemsrelated, "Use Of Travelling Waves Principle In Protection Systems And Related Automations Publication : April 2021 Use Of Travelling Waves Principle In Protection System And Related Automations Table Of Contents," *ENTSOE*, April, 2021.
- [18] S. Srivastava and A. C. Biswal, "Impedance seen by Distance Relays on Lines Fed from Fixed Speed Wind Turbines," *ABB Corporate Research*, pp. 1–6.
- [19] J. B. Sepang, L. S. Patras, F. Lisi, and J. T. Elektro-ft, "Analisa Koordinasi Setting Relai Jarak Sistem Transmisi 150 KV Area Gardu Induk Otam – Gardu Induk Isimu," *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, pp. 148–158.
- [20] S. Kv, U. Krapyak, A. R. Priambodo, T. Sukmadi, and M. Facta, "ANALISIS SETTING DAN KOORDINASI RELE JARAK." *TRANSIENT*, vol. 7, no. 1, Maret 2018
- [21] A. P. Kusuma, "Evaluasi *Setting* Rele Jarak Transmisi 150 KV Senggiring - Singkawang."
- [22] P. Ilmiah *et al.*, "Studi Analisa Rele Jarak Pada Jaringan Transmisi 150 KV Gardu Induk Pedan - Gardu Induk Jajar," 2017.
- [23] C. Pang, S. Member, and M. Kezunovic, "Fast Distance Relay Scheme for Detecting Symmetrical Fault During Power Swing," *IEEE Transactions On Power Delivery*, vol. 25, no. 4, pp. 2205–2212, 2010.
- [24] A. W. Hidayat, H. Gusmedi, L. Hakim, and D. Despa, "Analisa Setting Rele Arus Lebih dan Rele Gangguan Tanah pada Penyulang Topan Gardu Induk Teluk Betung." *Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, vol. 7, no. 3, September 2013.
- [25] J. T. Elektro, F. Teknik, U. S. Kuala, and B. Aceh, "Pengaruh Arus Infeed terhadap Kinerja Rele Jarak (Studi Kasus pada Sistem Transmisi Sigli – Banda Aceh)," 2015.
- [26] Qoid Zuhdi Mu'tashim, "Analisis Penggunaan Rele Jarak Pada Sistem Transmisi Gardu Induk 150 KV Jajar ke Gardu Induk 150 KV Banyudono,"

2017.

- [27] P. E. E. Moose, "Distance Relay for Electric Power Transmission Lines" *United States Patent (19)*, no. 19, 1979.
- [28] Hutauruk, T.S., 1996. *Transmisi Daya Listrik*, Jakarta: Penerbit Erlangga.
- [29] Edminister, Joseph A., *Theory and Problems of Electric Circuits*, McGraw - Hill, 1972.
- [30] Pandjaitan, B., 2012. *Proteksi Sistem Tenaga Listrik*, Yogyakarta: Penerbit Andi.
- [31] B Ravindranath and M Chander, *Power System Protection and Switchgear*, Jhon Wiley and Sons (SEA) Pte.Ltd., Singapore,1987.
- [32] Zoro, Reynaldo., 2018. *Sistem Proteksi Petir*, Bandung: Penerbit Remaja Rosdakarya.

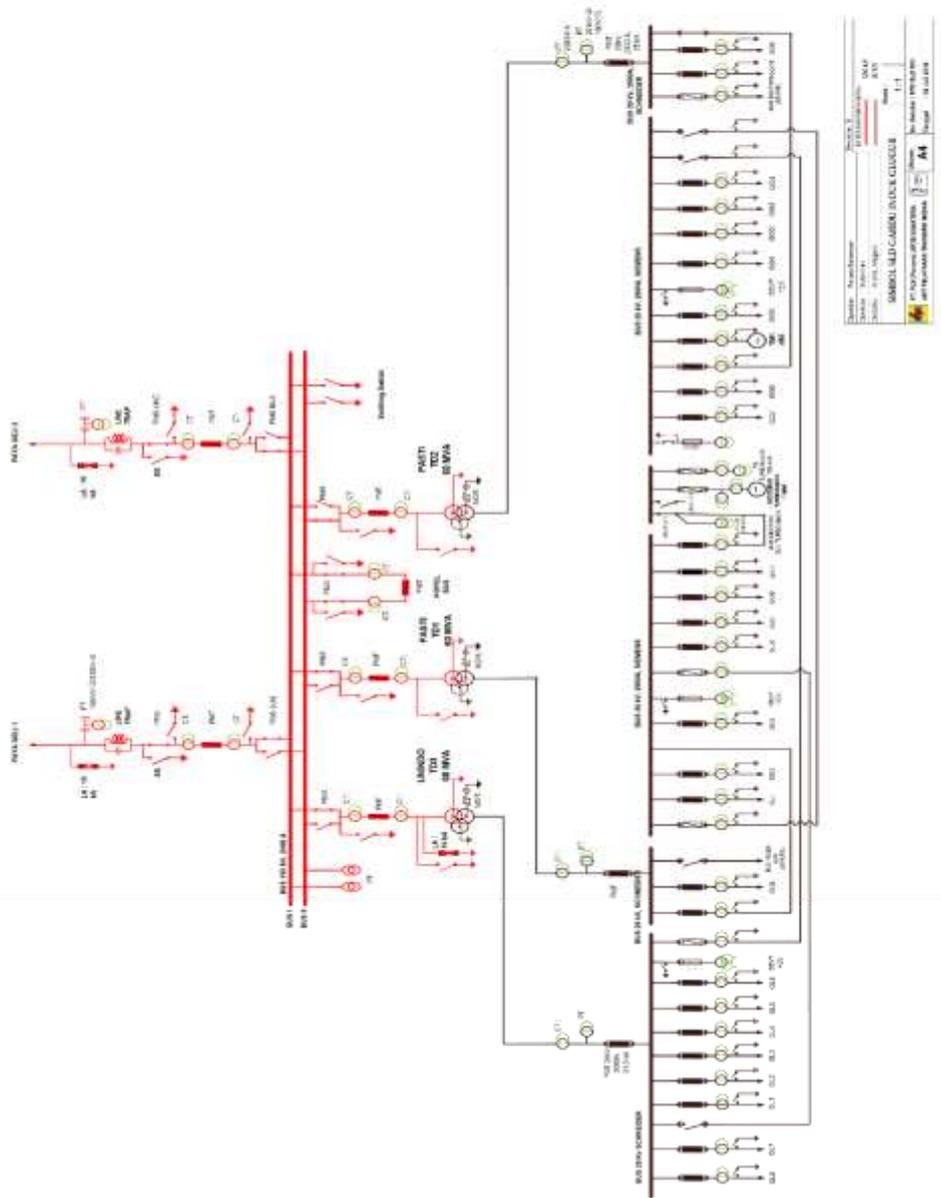
LAMPIRAN

Lampiran 1

NO	UPT	TEG	ULTG	GI	BAY	R/SIO CT		RASIO PT	
						Prim.	Sek.	Prim.	Sek.
103	MEDAN	150 KV	SE ROTAN	NEGERI DOLOK		1600 /	1	150000 /	100
104	MEDAN	150 KV	SE ROTAN	NEGERI DOLOK		1600 /	1	150000 /	100
105	MEDAN	150 KV	GLUGUR	GLUGUR	PAYA GELU	1000 /	1	150000 /	100
106	MEDAN	150 KV	GLUGUR	GLUGUR	PAYA GELU	1000 /	1	150000 /	100
107	MEDAN	150 KV	GLUGUR	MABAR	PAYA PASIR	500 /	1	150000 /	100
108	MEDAN	150 KV	GLUGUR	MABAR	PAYA PASIR	500 /	1	150000 /	100
109	MEDAN	150 KV	GLUGUR	TITI KUNING	NAMORAMBE	1000 /	1	150000 /	100
110	MEDAN	150 KV	GLUGUR	TITI KUNING	NAMORAMBE	1000 /	1	150000 /	100
111	MEDAN	150 KV	GLUGUR	TITI KUNING	SE ROTAN	2000 /	5	150000 /	100
112	MEDAN	150 KV	GLUGUR	TITI KUNING	SE ROTAN	1600 /	1	150000 /	100
113	MEDAN	150 KV	GLUGUR	TITI KUNING	BERASTAGI	800 /	5	150000 /	100
114	MEDAN	150 KV	GLUGUR	TITI KUNING	BERASTAGI	1600 /	1	150000 /	100
115	MEDAN	150 KV	GLUGUR	TITI KUNING	LSTRIK	500 /	1	150000 /	100
116	MEDAN	150 KV	GLUGUR	TITI KUNING	LSTRIK	500 /	1	150000 /	100
117	MEDAN	150 KV	GLUGUR	LSTRIK	TITI KUNING	500 /	1	150000 /	100
118	MEDAN	150 KV	GLUGUR	LSTRIK	TITI KUNING	500 /	1	150000 /	100
119	MEDAN	70 KV	NIAS	GUNUNG SITOLI	TELUK DALAM	1000 /	1	66000 /	100
120	MEDAN	70 KV	NIAS	GUNUNG SITOLI	TELUK DALAM	1000 /	1	66000 /	100
121	MEDAN	70 KV	NIAS	TELUK DALAM	GUNUNG SITOLI	1000 /	1	66000 /	100
122	MEDAN	70 KV	NIAS	TELUK DALAM	GUNUNG SITOLI	1000 /	1	66000 /	100
123	PEMATANG SIANTAR	150 KV	SIDIKALANG	BERASTAGI	SIDIKALANG	800 /	1	150000 /	100
124	PEMATANG SIANTAR	150 KV	SIDIKALANG	BERASTAGI	RENUJ	1000 /	1	150000 /	100
125	PEMATANG SIANTAR	150 KV	SIDIKALANG	BERASTAGI	TITI KUNING	800 /	1	150000 /	100

Lampiran 2

DIAGRAM SATU GARIS GARDU INDUK GLUGUR



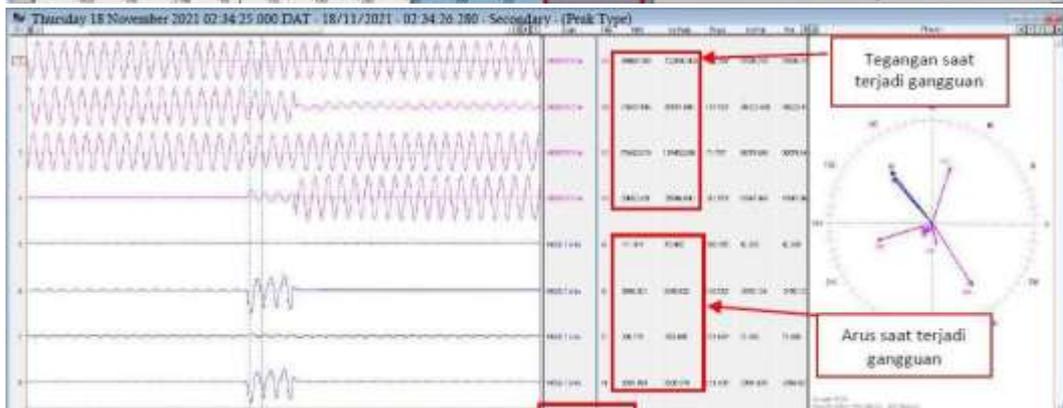
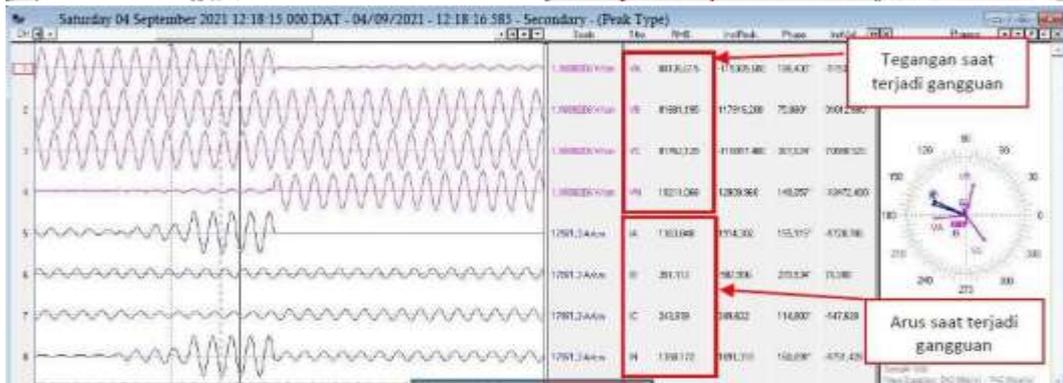
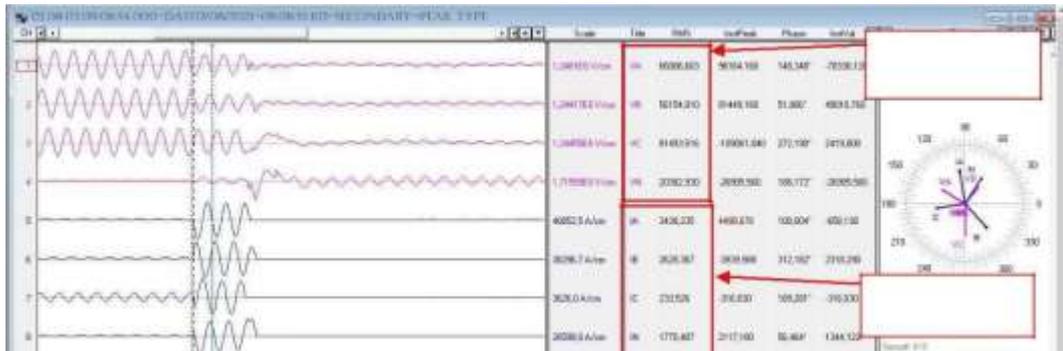
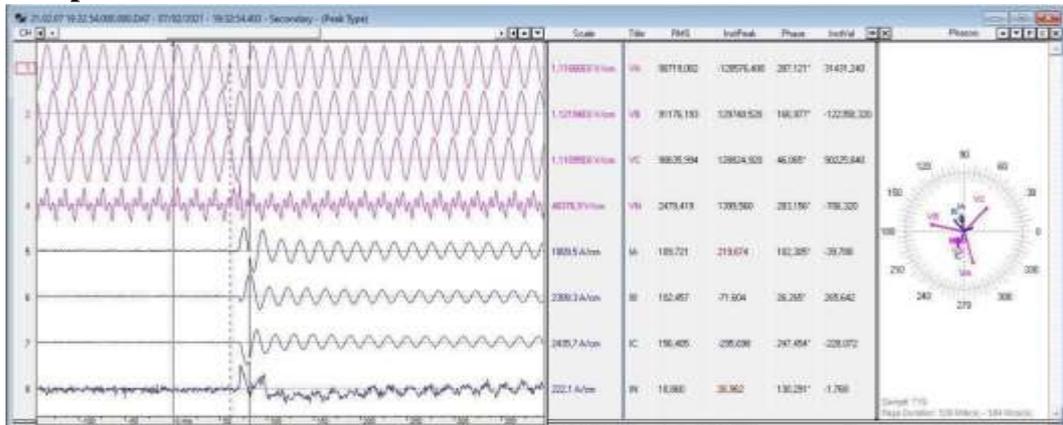
Lampiran 3

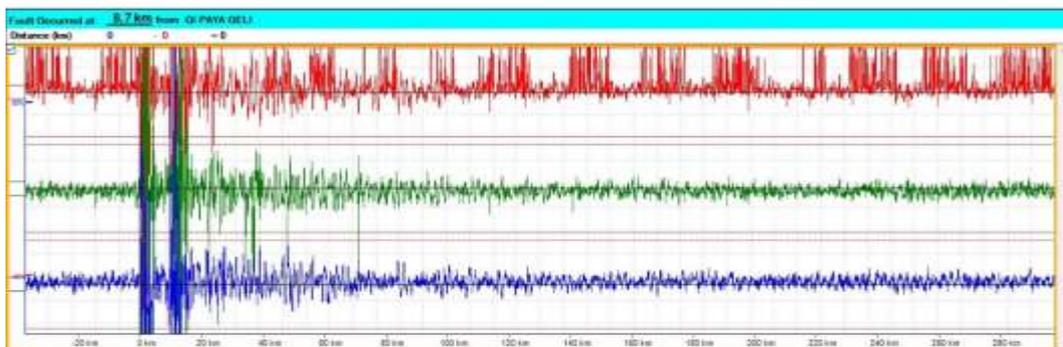
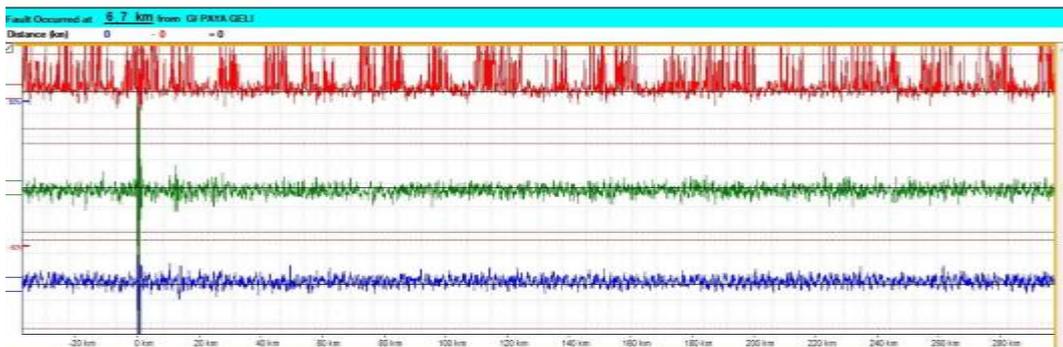
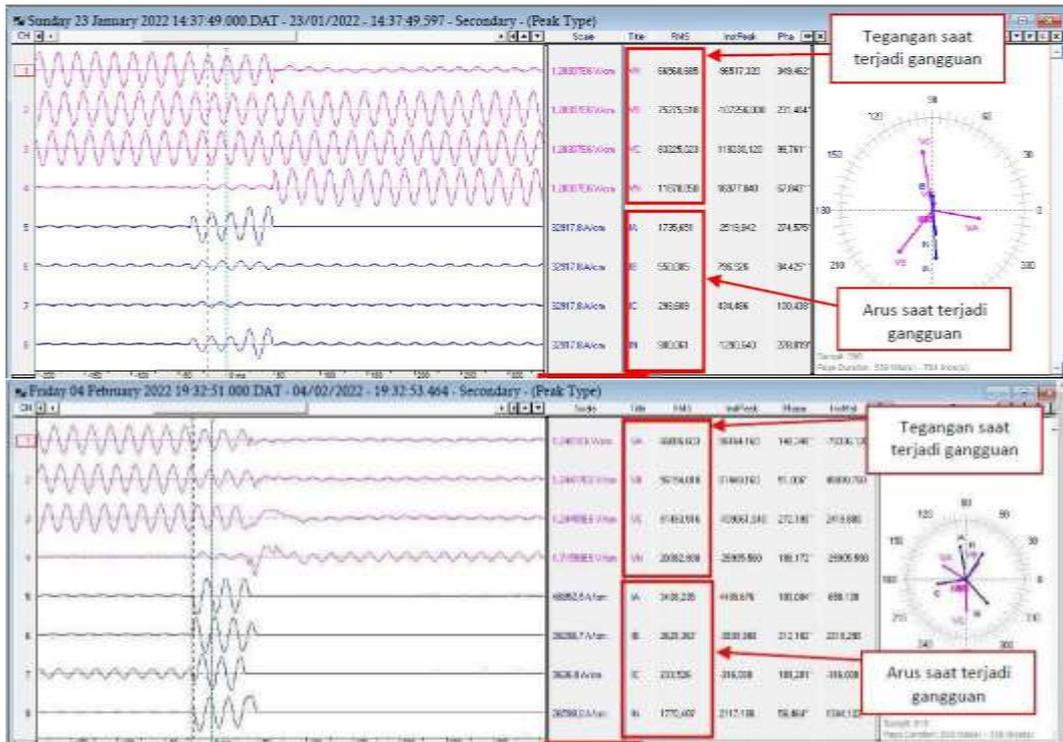
NO	UPT	TEG	ULITG	GI	BAY	SETTING IMPEDANSI DI RELAY (SEKUNDER)					
						Z1 <atau> X1 (Ohm)	tZ1 (s)	<atau>X2 (Ohm)	tZ2 (s)	<atau>X3 (Ohm)	tZ3 (s)
97	MEDAN	275 kV	SEI ROTAN	GALANG	BINJAI (MAIN 1)	10,85	0	19,53	0,4	28,99	1,2
98	MEDAN	275 kV	SEI ROTAN	GALANG	BINJAI (MAIN 2)	10,78	0	19,41	0,4	28,82	1,2
99	MEDAN	275 kV	SEI ROTAN	GALANG	SIMANGKOK (MAIN 1)	28,03	0	39,35	0,4	51,92	1,2
100	MEDAN	275 kV	SEI ROTAN	GALANG	SIMANGKOK (MAIN 2)	27,87	0	39,24	0,4	51,81	1,2
101	MEDAN	275 kV	SEI ROTAN	GALANG	SIMANGKOK (MAIN 1)	28,03	0	39,35	0,4	51,92	1,2
102	MEDAN	275 kV	SEI ROTAN	GALANG	SIMANGKOK (MAIN 2)	27,87	0	39,24	0,4	51,81	1,2
103	MEDAN	150 kV	SEI ROTAN	NEGERI DOLOK	GALANG	14,30	0	20,50	0,6	30,00	1,4
104	MEDAN	150 kV	SEI ROTAN	NEGERI DOLOK	GALANG	14,30	0	20,50	0,6	30,00	1,4
105	MEDAN	150 kV	GLUGUR	GLUGUR	PAYA GEU	2,840	0	4,52	0,4	7,98	1,4
106	MEDAN	150 kV	GLUGUR	GLUGUR	PAYA GEU	2,740	0	4,93	0,4	8,08	1,4
107	MEDAN	150 kV	GLUGUR	MABAR	PAYA PASIR	0,68	0	1,02	0,4	1,38	1,2
108	MEDAN	150 kV	GLUGUR	MABAR	PAYA PASIR	0,68	0	1,02	0,4	1,38	1,2
109	MEDAN	150 kV	GLUGUR	TITI KUNING	NAMORAMBE	2,86	0	4,28	0,4	7,46	1,2
110	MEDAN	150 kV	GLUGUR	TITI KUNING	NAMORAMBE	2,86	0	4,28	0,4	7,46	1,2
111	MEDAN	150 kV	GLUGUR	TITI KUNING	SEI ROTAN	1,68	0	2,25	0,4	3,39	1,6
112	MEDAN	150 kV	GLUGUR	TITI KUNING	SEI ROTAN	6,30	0	9,10	0,4	14,33	1,4
113	MEDAN	150 kV	GLUGUR	TITI KUNING	BERASTAGI	1,98	0	2,98	0,4	5,13	1,2
114	MEDAN	150 kV	GLUGUR	TITI KUNING	BERASTAGI	19,85	0	33,09	0,4	49,62	1,2
115	MEDAN	150 kV	GLUGUR	TITI KUNING	LSTRIK	0,44	0	0,80	0,4	1,15	1,2
116	MEDAN	150 kV	GLUGUR	TITI KUNING	LSTRIK	0,44	0	0,80	0,4	1,15	1,2
117	MEDAN	150 kV	GLUGUR	LSTRIK	TITI KUNING	0,44	0	0,80	0,4	3,00	1,4
118	MEDAN	150 kV	GLUGUR	LSTRIK	TITI KUNING	0,44	0	0,80	0,4	3,00	1,4
119	MEDAN	70 kV	NIAS	GUNUNG SITOLI	TELUK DALAM	31,20	0	44,50	0,4	49,60	1,2

Lampiran 4

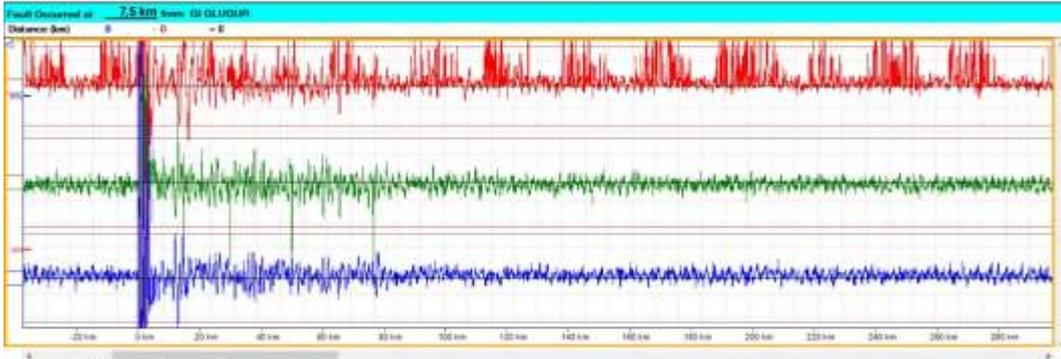
NO	JENIS KONDUKTOR	JLH SIRKIT	INDEX	IMPEDANSI + (Ω /km)		IMPEDANSI + (Ω /km)	Ω /km (abs)	ANGLE (rad)
				REAL	IMG			
1	ACSR 1x120 mm2	1	ACSR 1x120 mm21	0,32600	0,47400	0,326+0,474j	0,575284278	0,968330
2	ACSR 1x152.70 mm2	1	ACSR 1x152.70 mm21	0,27700	0,40290	0,277+0,4029j	0,488934975	0,968498
3	ACSR 1x240 mm2	1	ACSR 1x240 mm21	0,00128	0,42400	0,00128+0,424j	0,424001932	1,567777
4	ACSR 2x240 mm2	1	ACSR 2x240 mm21	0,00064	0,23400	0,00064+0,234j	0,234000875	1,568061
5	ACSR 1x281 mm2	1	ACSR 1x281 mm21	0,11203	0,40791	0,11203+0,40791j	0,423014526	1,302761
6	ACSR 2x281 mm2	1	ACSR 2x281 mm21	0,05601	0,22210	0,05601+0,2221j	0,229053553	1,323763
7	ACSR 1x300 mm2	1	ACSR 1x300 mm21	0,22884	0,13618	0,22884+0,13618j	0,266294457	0,536800
8	ACSR 2x300 mm2	1	ACSR 2x300 mm21	0,05154	0,21800	0,05154+0,218j	0,224009758	1,338637
9	ACSR 1x330 mm2	1	ACSR 1x330 mm21	0,23079	0,15281	0,23079+0,15281j	0,276794003	0,584846
10	ACSR 2x330 mm2	1	ACSR 2x330 mm21	0,04903	0,21800	0,04903+0,218j	0,223445611	1,349569
11	ACSR 1x340 mm2	1	ACSR 1x340 mm21	0,09356	0,40228	0,09356+0,40228j	0,413016552	1,342284
12	ACSR 2x340 mm2	1	ACSR 2x340 mm21	0,04678	0,22210	0,04678+0,2221j	0,226973079	1,363205
13	ACSR 1x400 mm2	1	ACSR 1x400 mm21	0,07844	0,39269	0,07844+0,39269j	0,400447587	1,373641
14	ACSR 2x400 mm2	1	ACSR 2x400 mm21	0,03922	0,21800	0,03922+0,218j	0,221499906	1,392792
15	ACSR 1x430 mm2	1	ACSR 1x430 mm21	0,07352	0,39156	0,07352+0,39156j	0,398402339	1,385196
16	ACSR 2x430 mm2	1	ACSR 2x430 mm21	0,03676	0,21800	0,03676+0,218j	0,221077583	1,403744
17	ACSR 1x435 mm2 (T-150kV)	1	ACSR 1x435 mm2 (T-150kV)	0,07260	0,39117	0,0726+0,39117j	0,397850134	1,387287
18	SR 2x435 mm2 (T-150kV) n	2	SR 2x435 mm2 (T-150kV) ne	0,03640	0,23900	0,0364+0,239j	0,241755993	1,419657
19	ACSR 1x435 mm2 (T-275kV)	1	ACSR 1x435 mm2 (T-275kV)	0,07260	0,42304	0,0726+0,42304j	0,429224419	1,400837
20	ACSR 2x435 mm2 (T-275kV)	1	ACSR 2x435 mm2 (T-275kV)	0,03630	0,24987	0,0363+0,24987j	0,252492984	1,426530
21	ACCC 1x310 mm2	1	ACCC 1x310 mm21	0,09774	0,40054	0,09774+0,40054j	0,412292856	1,331453
22	ACSR 1x240 mm2	2	ACSR 1x240 mm22	0,12800	0,42400	0,128+0,424j	0,442899537	1,277609
23	ACSR 2x240 mm2	2	ACSR 2x240 mm22	0,06400	0,23400	0,064+0,234j	0,242594312	1,303821
24	ACSR 1x281 mm2	2	ACSR 1x281 mm22	0,11203	0,42353	0,11203+0,42353j	0,438096316	1,312204
25	ACSR 2x281 mm2	2	ACSR 2x281 mm22	0,05601	0,23772	0,05601+0,23772j	0,244229234	1,339403
26	ACSR 1x300 mm2	2	ACSR 1x300 mm22	0,05040	0,02758	0,0504+0,02758j	0,057452732	0,500708
27	ACSR 2x300 mm2	2	ACSR 2x300 mm22	0,05154	0,23359	0,05154+0,23359j	0,239208402	1,353633
28	ACSR 1x330 mm2	2	ACSR 1x330 mm22	0,09805	0,41606	0,09805+0,41606j	0,427457280	1,339356
29	ACSR 2x330 mm2	2	ACSR 2x330 mm22	0,04903	0,23359	0,04903+0,23359j	0,238680181	1,363902
30	ACSR 1x340 mm2	2	ACSR 1x340 mm22	0,09356	0,41790	0,09356+0,4179j	0,428245121	1,350547
31	ACSR 2x340 mm2	2	ACSR 2x340 mm22	0,04678	0,23772	0,04678+0,23772j	0,242279109	1,376493
32	ACSR 1x400 mm2	2	ACSR 1x400 mm22	0,07844	0,40829	0,07844+0,40829j	0,415756609	1,380991
33	ACSR 2x400 mm2	2	ACSR 2x400 mm22	0,03922	0,23359	0,03922+0,23359j	0,236859656	1,404447
34	ACSR 1x430 mm2	2	ACSR 1x430 mm22	0,07352	0,40716	0,07352+0,40716j	0,413744433	1,392153
35	ACSR 2x430 mm2	2	ACSR 2x430 mm22	0,03676	0,23359	0,03676+0,23359j	0,236464766	1,414707
36	ACSR 4x430 mm2	2	ACSR 4x430 mm22	0,01838	0,20789	0,01838+0,20789j	0,208700926	1,482613
37	ACSR 1x435 mm2 (T-150kV)	2	ACSR 1x435 mm2 (T-150kV)	0,07260	0,40676	0,0726+0,40676j	0,413188162	1,394173
38	ACSR 2x435 mm2 (T-150kV)	2	ACSR 2x435 mm2 (T-150kV)	0,03630	0,23359	0,0363+0,23359j	0,236393693	1,416629
39	ACSR 1x435 mm2 (T-275kV)	2	ACSR 1x435 mm2 (T-275kV)	0,07260	0,41048	0,0726+0,41048j	0,416850801	1,395741
40	SR 2x435 mm2 (T-275kV) c	2	SR 2x435 mm2 (T-275kV) d	0,03630	0,23731	0,0363+0,23731j	0,240070252	1,419008
41	ACCC 1x310 mm2	2	ACCC 1x310 mm22	0,10672	0,07370	0,10672+0,0737j	0,129695213	0,604384
42	ACCC 1x360 mm2	2	ACCC 1x360 mm22	0,08388	0,40054	0,08388+0,40054j	0,409228721	1,364362
43	ACCC 2x310 mm2	2	ACCC 2x310 mm22	0,04887	0,23359	0,04887+0,23359j	0,238647365	1,364558
44	ACCC 2x550 mm2	2	ACCC 2x550 mm22	0,02798	0,23359	0,02798+0,23359j	0,235259789	1,451582
45	ACFR 1x315 mm2	2	ACFR 1x315 mm22	0,09635	0,42267	0,09635+0,42267j	0,433512689	1,346670
46	HVCRC 1x310 mm2	2	HVCRC 1x310 mm22	0,09645	0,40657	0,09645+0,40657j	0,417853763	1,337874
47	XLPE 1x240 mm2	2	XLPE 1x240 mm22	0,08200	0,20900	0,082+0,209j	0,224510579	1,196907
48	ACSR 1x210 mm2 (T-70kV)	2	ACSR 1x210 mm2 (T-70kV)	0,15500	0,40400	0,155+0,404j	0,432713531	1,204452
49	SR 2x435 mm2 (T-275kV) n	2	SR 2x435 mm2 (T-275kV) ne	0,03400	0,31100	0,034+0,311j	0,312853001	1,461904
50	ACSR 2x450 mm2 (T-150kV)	2	ACSR 2x450 mm2 (T-150kV)	0,03247	0,27040	0,03247+0,2704j	0,272342543	1,451287

Lampiran 5

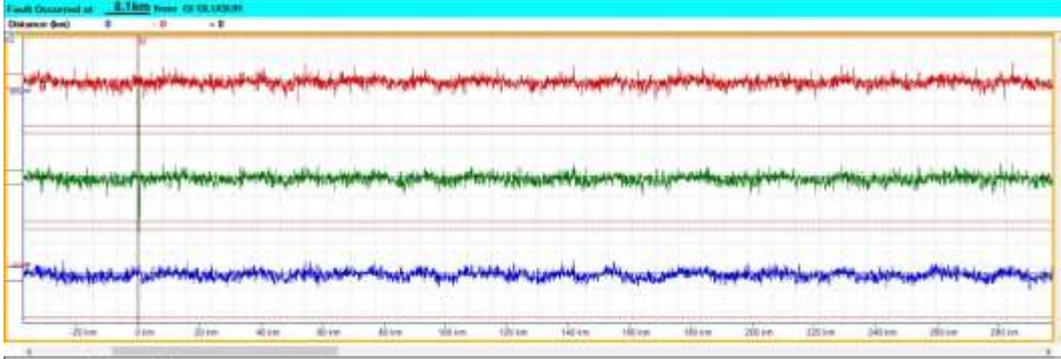




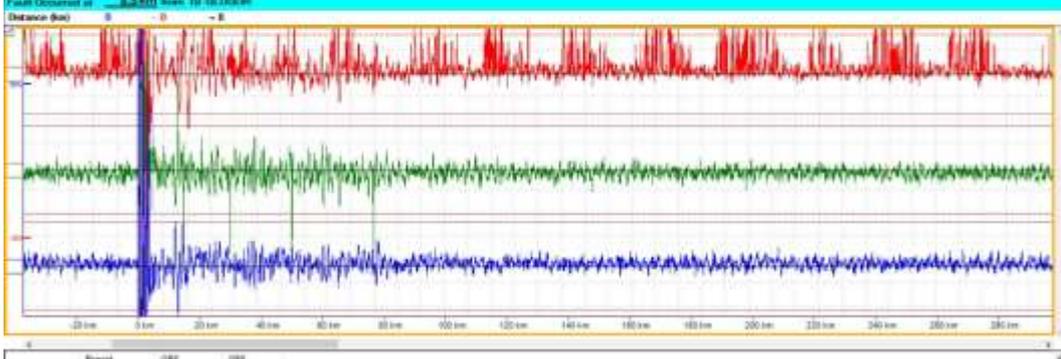
**Line Length
X..Y 013000



**Line Length
X..Y 013000



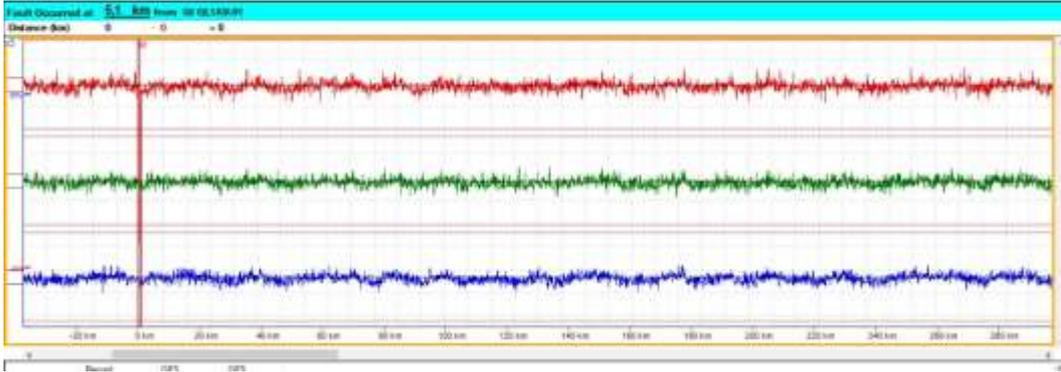
**Line Length
X..Y 013000



*Line Length
X-Y: 015200

O LUUDUR

G PANY GELI

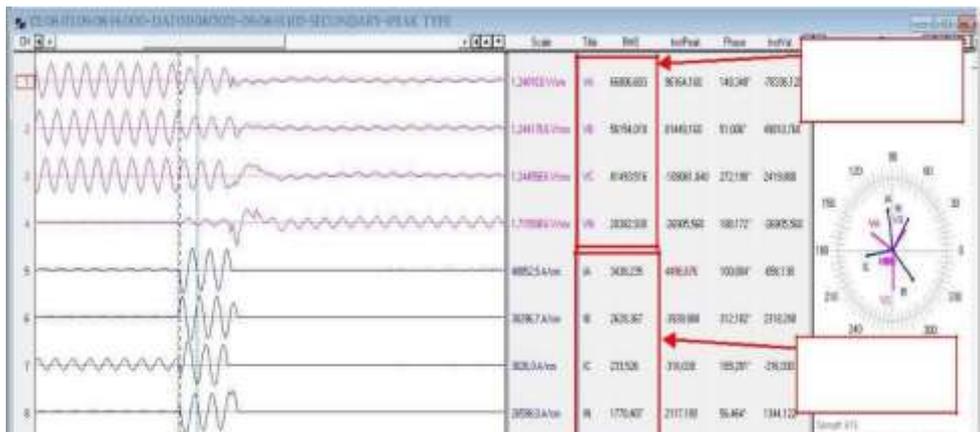


Lampiran 6

1. Jarak Gangguan Berdasarkan Rele Jarak

Adapun jarak gangguan pada saluran transmisi yang dideteksi oleh rele jarak berdasarkan impedansi gangguan ialah :

Gangguan ke 2



Gambar Gangguan Glugur 1 – Payageli 1 Pada Jarak 8,80 km

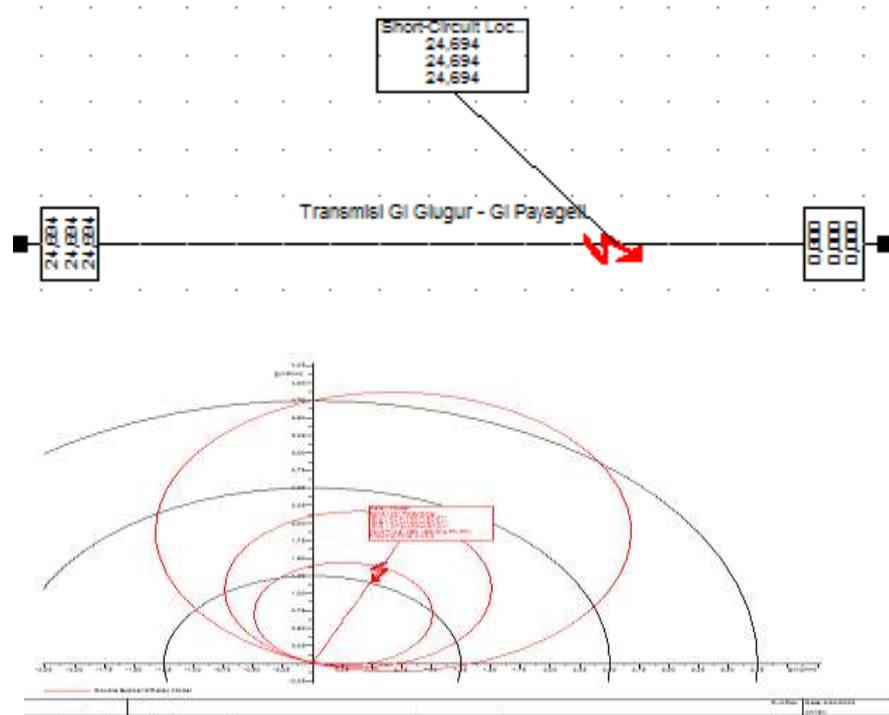
Berdasarkan gangguan yang terjadi pada saluran transmisi, gangguan terjadi pada hari sabtu, 07 Agustus 2021 pada pukul 09:08:55.102, impedansi yang dibaca rele jarak ialah sebesar 2,43 Ohm, maka jarak gangguan yang dibaca oleh rele jarak ialah :

$$S_{\text{Gangguan}} = \frac{Z \text{ yang dibaca oleh rele} \times \text{Rasio} \frac{CT}{PT} \times l}{Z_{L1}}$$

$$= \frac{3,23 \times \text{Rasio} \frac{1000/1}{150.000/100} \times 11,92}{3,175}$$

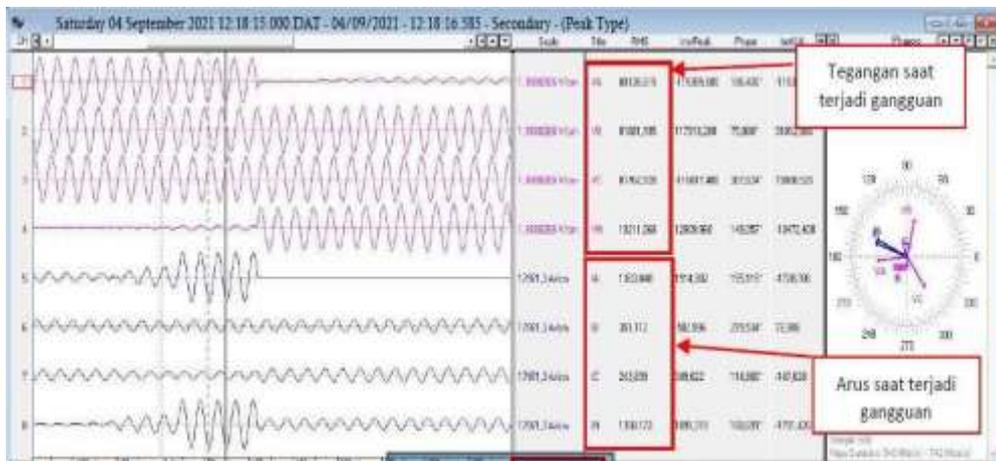
$$= 8,08 \text{ km}$$

Dari hasil yang didapatkan bahwasanya jarak gangguan yang dibaca oleh rele jarak ialah 8,08 km pada zona 1 proteksi saluran transmisi Glugur 1 – Payageli 1.



Gambar R – X Plot Zona Gangguan

Gangguan ke 3



Gambar Gangguan Glugur 1 – Payageli 1 Pada Jarak 7,638 km

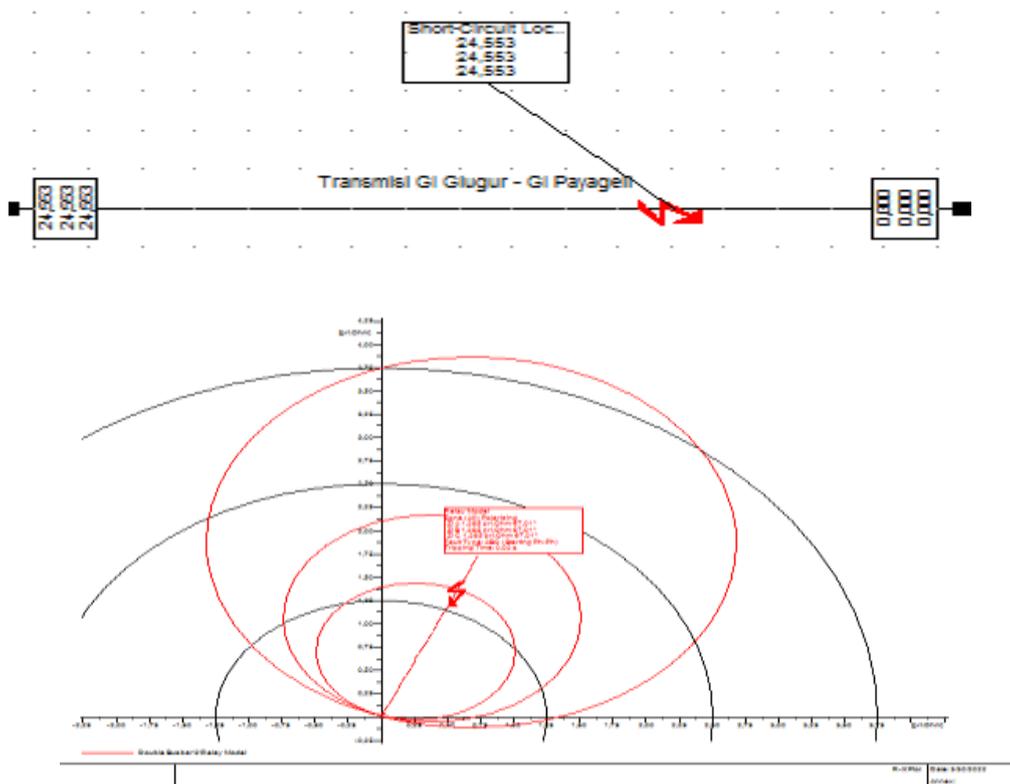
Berdasarkan gangguan yang terjadi pada saluran transmisi , gangguan terjadi pada hari sabtu, 04 September 2021 pada pukul 12:18:15.000, impedansi yang dibaca rele jarak ialah sebesar 3,27 Ohm, maka jarak gangguan yang dibaca oleh rele jarak ialah :

$$S_{\text{Gangguan}} = \frac{Z \text{ yang dibaca oleh rele} \times \text{Rasio} \frac{CT}{PT} \times l}{Z_{L1}}$$

$$= \frac{3,27 \times \text{Rasio} \frac{1000/1}{150.000/100} \times 11,92}{3,175}$$

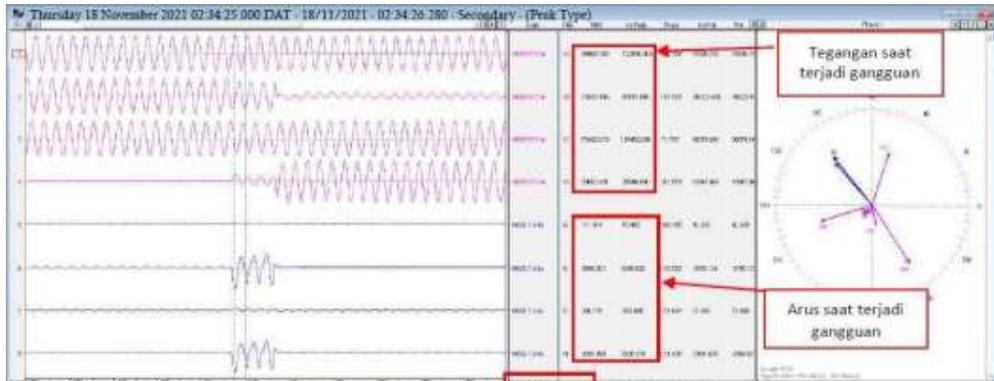
$$= 8,18 \text{ km}$$

Dari hasil yang didapatkan bahwasanya jarak gangguan yang dibaca oleh rele jarak ialah 8,18 km pada zona 1 proteksi saluran transmisi Glugur 1 – Payageli 1.



Gambar R – X Plot Zona Gangguan

Gangguan ke 4



Gambar Gangguan Glugur 1 – Payageli 1 Pada Jarak 8,2 km

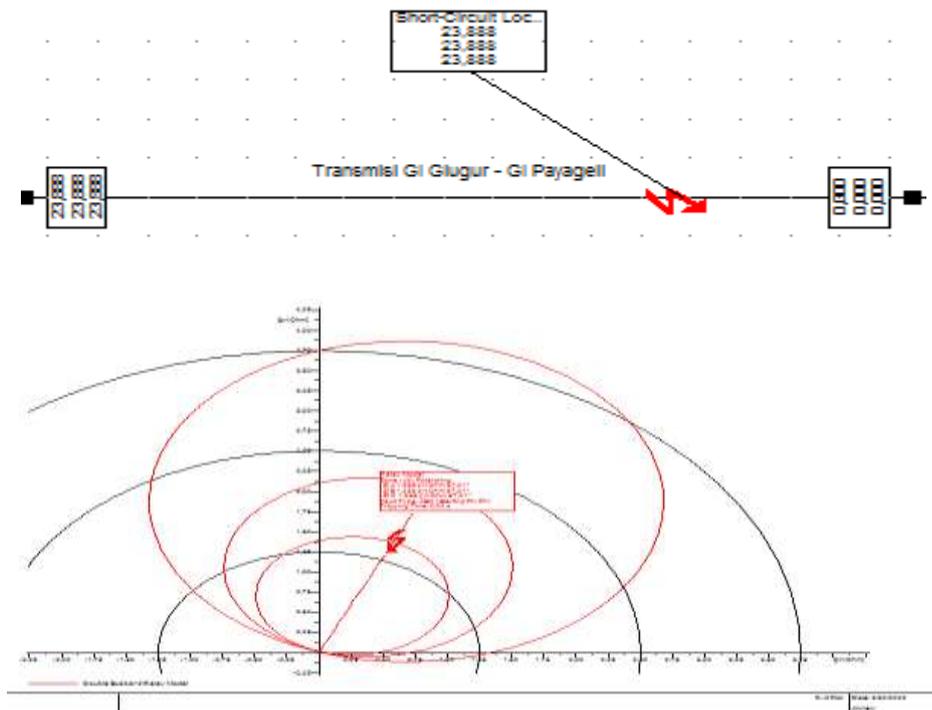
Berdasarkan gangguan yang terjadi pada saluran transmisi , gangguan terjadi pada hari Kamis, 18 November 2021 pada pukul 02:34:25.000, impedansi yang dibaca rele jarak ialah sebesar 3,46 Ohm, maka jarak gangguan yang dibaca oleh rele jarak ialah :

$$S_{\text{Gangguan}} = \frac{Z \text{ yang dibaca oleh rele} \times \text{Rasio} \frac{CT}{PT} \times l}{Z_{L1}}$$

$$= \frac{3,46 \times \text{Rasio} \frac{1000/1}{150.000/100} \times 11,92}{3,175}$$

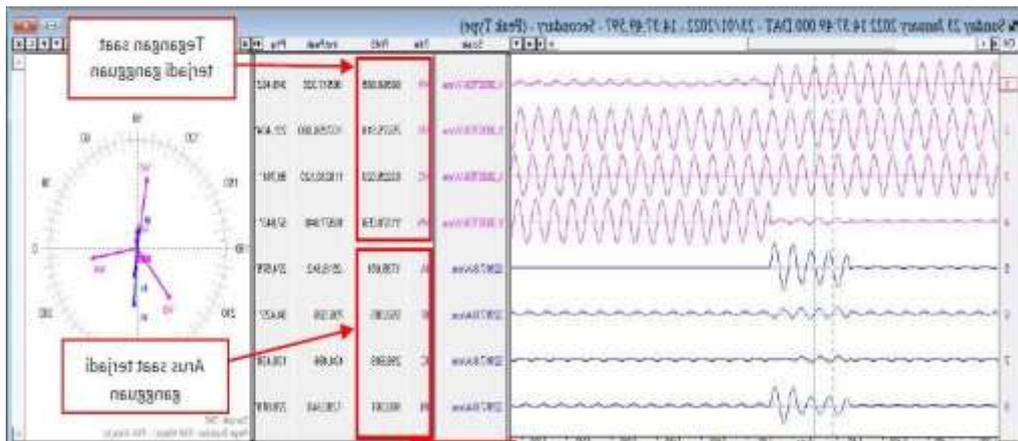
$$= 8,65 \text{ km}$$

Dari hasil yang didapatkan bahwasanya jarak gangguan yang dibaca oleh rele jarak ialah 8,65 km pada zona 1 proteksi saluran transmisi Glugur 1 – Payageli 1.



Gambar R – X Plot Zona Gangguan

Gangguan ke 5



Gambar Gangguan Glugur 1 – Payageli 1 Pada Jarak 8,523 km

Berdasarkan gangguan yang terjadi pada saluran transmisi , gangguan terjadi pada hari Minggu, 23 Januari 2022 pada pukul 14:37:49.000, impedansi yang

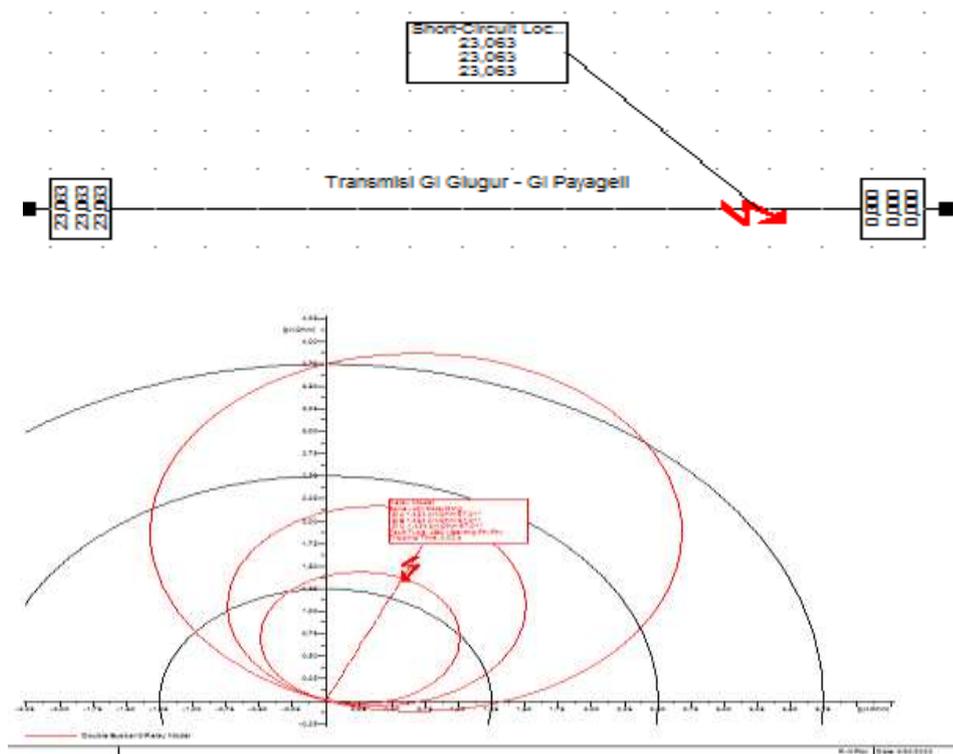
dibaca rele jarak ialah sebesar 3,7 Ohm, maka jarak gangguan yang dibaca oleh rele jarak ialah

$$S_{\text{Gangguan}} = \frac{Z \text{ yang dibaca oleh rele } \times \text{Rasio } \frac{CT}{PT} \times l}{Z_{L1}}$$

$$= \frac{3,7 \times \text{Rasio } \frac{1000/1}{150.000/100} \times 11,92}{3,175}$$

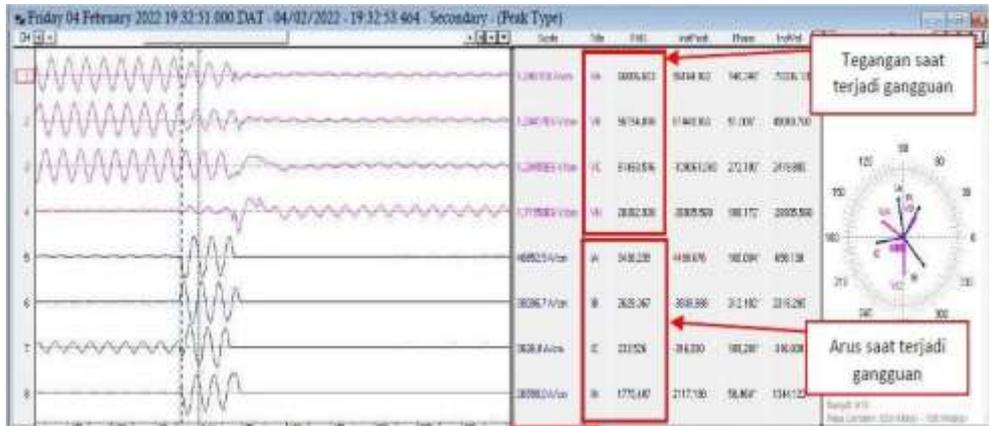
$$= 9,26 \text{ km}$$

Dari hasil yang didapatkan bahwasanya jarak gangguan yang dibaca oleh rele jarak ialah 9,26 km pada zona 1 proteksi saluran transmisi Glugur 1 – Payageli 1.



Gambar R – X Plot Zona Gangguan

Gangguan ke 6



Gambar Gangguan Glugur 2 – Payageli 2 Pada Jarak 5,2 km

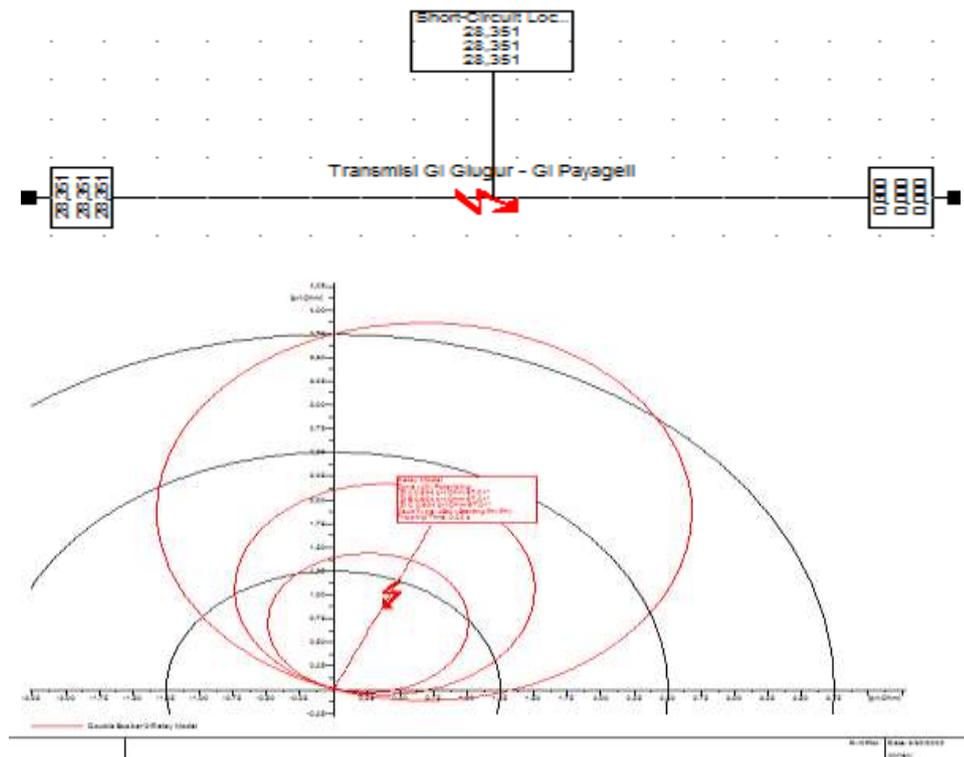
Berdasarkan gangguan yang terjadi pada saluran transmisi , gangguan terjadi pada hari Minggu, 23 Januari 2022 pada pukul 14:37:49.000, impedansi yang dibaca rele jarak ialah sebesar 2,38 Ohm, maka jarak gangguan yang dibaca oleh rele jarak ialah :

$$S_{\text{Gangguan}} = \frac{Z \text{ yang dibaca oleh rele} \times \text{Rasio} \frac{CT}{PT} \times l}{Z_{L1}}$$

$$= \frac{2,38 \times \text{Rasio} \frac{1000/1}{150.000/100} \times 11,92}{3,175}$$

$$= 5,9 \text{ km}$$

Dari hasil yang didapatkan bahwasanya jarak gangguan yang dibaca oleh rele jarak ialah 5,9 km pada zona 1 proteksi saluran transmisi Glugur 2 – Payageli 2.



Gambar R – X Plot Zona Gangguan

2. Persentase *Error* Pembacaan Rele Jarak

Adapun persentase *error* pembacaan titik gangguan oleh rele jarak terhadap titik gangguan yang terjadi di lapangan (aktual).

Gangguan ke 2

$$\begin{aligned} \text{Error} &= \frac{\text{JARAK AKTUAL} - \text{JARAK PREDIKSI}}{\text{JARAK AKTUAL}} \times 100\% \\ &= \frac{8,80 - 8,08}{8,80} \times 100\% \\ &= 8,18 \% \end{aligned}$$

Sehingga persentase *error* pembacaan rele jarak terhadap titik gangguan yang terjadi di lapangan (aktual) ialah sebesar 8,18 %.

Gangguan ke 3

$$\begin{aligned}\text{Error} &= \frac{JARAK_{AKTUAL} - JARAK_{PREDIKSI}}{JARAK_{AKTUAL}} \times 100\% \\ &= \frac{7,638 - 8,18}{7,638} \times 100\% \\ &= 7,09 \%\end{aligned}$$

Sehingga persentase *error* pembacaan rele jarak terhadap titik gangguan yang terjadi di lapangan (aktual) ialah sebesar 7,09 %.

Gangguan ke 4

$$\begin{aligned}\text{Error} &= \frac{JARAK_{AKTUAL} - JARAK_{PREDIKSI}}{JARAK_{AKTUAL}} \times 100 \\ &= \frac{8,2 - 8,65}{8,2} \times 100\% \\ &= 5,48 \%\end{aligned}$$

Sehingga persentase *error* pembacaan rele jarak terhadap titik gangguan yang terjadi di lapangan (aktual) ialah sebesar 5,48 %.

Gangguan ke 5

$$\begin{aligned}\text{Error} &= \frac{JARAK_{AKTUAL} - JARAK_{PREDIKSI}}{JARAK_{AKTUAL}} \times 100\% \\ &= \frac{8,523 - 9,26}{8,523} \times 100\% \\ &= 8,64 \%\end{aligned}$$

Sehingga persentase *error* pembacaan rele jarak terhadap titik gangguan yang terjadi di lapangan (aktual) ialah sebesar 8,64 %.

Gangguan ke 6

$$\begin{aligned}\text{Error} &= \frac{JARAK_{AKTUAL} - JARAK_{PREDIKSI}}{JARAK_{AKTUAL}} \times 100\% \\ &= \frac{5,2 - 5,9}{5,2} \times 100\%\end{aligned}$$

= 13,4 %

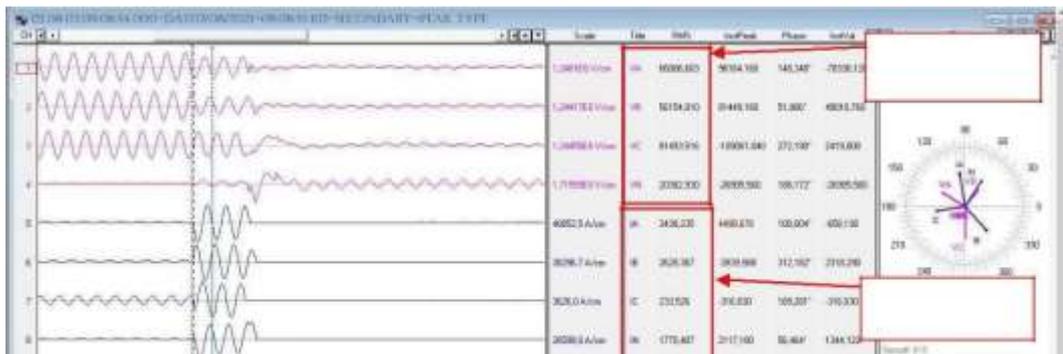
Sehingga persentase *error* pembacaan rele jarak terhadap titik gangguan yang terjadi di lapangan (aktual) ialah sebesar 13,4 %.

Lampiran 7

1. Jarak Gangguan Berdasarkan *travelling wave signal*

Gangguan ke 2

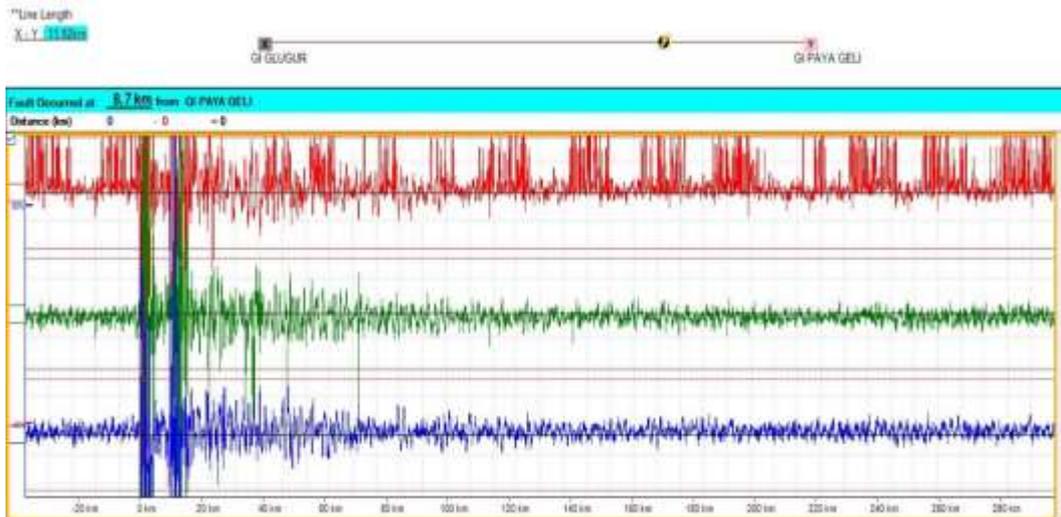
Terjadinya gangguan dideteksi adanya gangguan sambaran petir. Bentuk gangguan sambara petir dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar Bentuk Gangguan Glugur 1 – Payageli 1 Pada Jarak 8,80 km

Terjadinya gangguan pada saluran transmisi GI Glugur I – GI Payageli I pada hari Sabtu, 07 Agustus 2021 pada pukul t_B 09:08:55.102 dan t_A 09:08:54.000 dengan kecepatan gelombang berjalan 1,47 m/s, signal gelombang gangguan dapat dilihat pada gambar signal gelombang. Maka jarak gangguan yang dihasilkan *Travelling Wave Signal* [8] ialah :

$$\begin{aligned} S &= \frac{(l - (t_A - t_B)) v}{2} \\ &= \frac{(11.920 - (1,102)) 1,47}{2} \\ &= 8.760 \text{ m} \\ &= 8,760 \text{ km} \end{aligned}$$

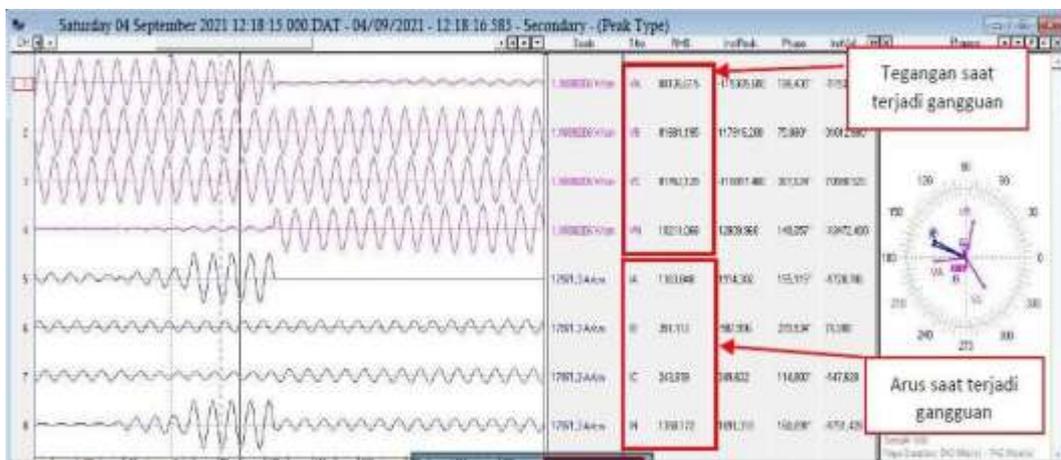


Gambar Signal Gelombang Pada Gangguan 8,7 km

Dengan menggunakan *Travelling Wave Signal* didapatkan jarak gangguan pada saluran transmisi Glugur 1 – Payageli 1 ialah 8,7 km.

Gangguan ke 3

Pada saat terjadi gangguan terdeteksi adanya gangguan sambaran petir yang menyambar saluran transmisi mengakibatkan adanya bentuk gangguan yang diperlihatkan pada gambar dibawah ini



Gambar Bentuk Gangguan Glugur 1 – Payageli 1 Pada Jarak 7,638 km

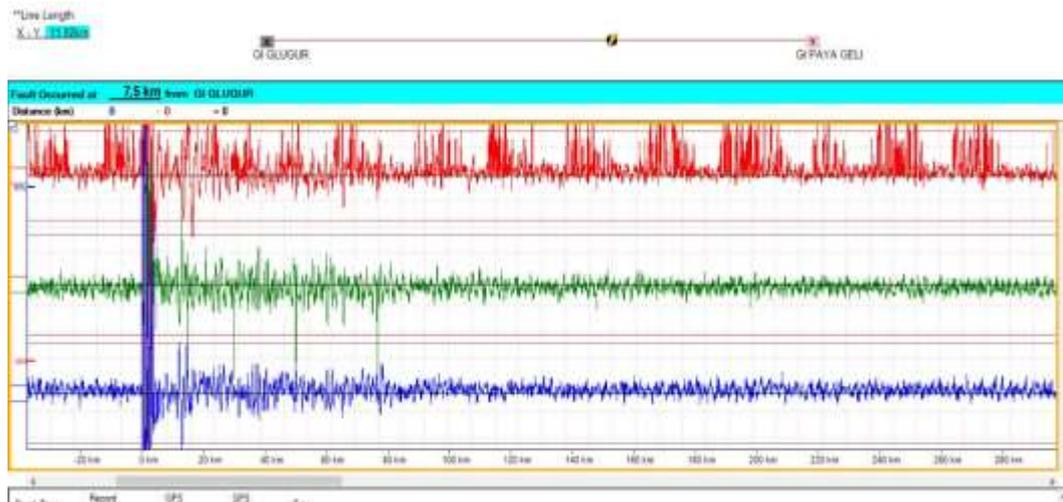
Terjadinya gangguan pada saluran transmisi GI Glugur 1 – GI Payageli 1 pada hari Sabtu, 04 September 2021 pada pukul t_B 12:18:15.000 dan t_A 12:18:16.585 dengan kecepatan gelombang berjalan 1,263 m/s, signal gelombang gangguan dapat dilihat pada gambar signal gelombang. Maka jarak gangguan yang dihasilkan *Travelling Wave Signal* [8] ialah :

$$S = \frac{(l - (t_A - t_B)) v}{2}$$

$$= \frac{(11.920 - (1,585)) 1,263}{2}$$

$$= 7.526 \text{ m}$$

$$= 7,526 \text{ km}$$

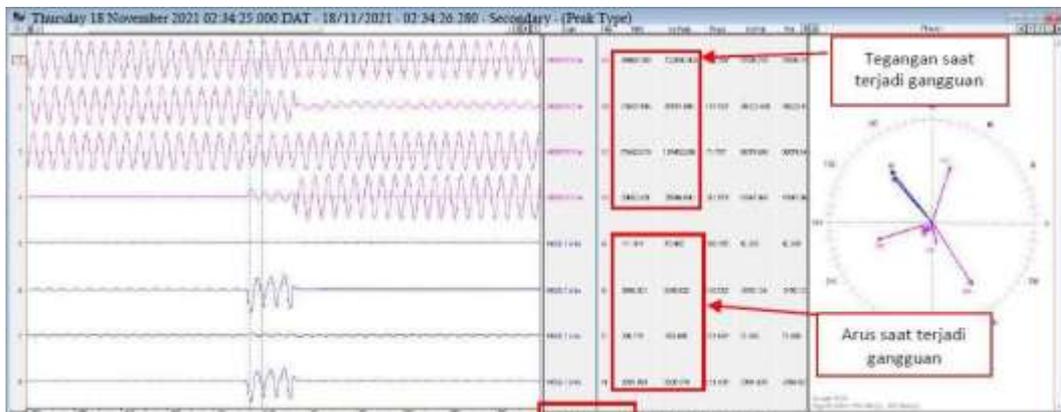


Gambar Signal Gelombang Gangguan Pada Jarak 7,5 km

Dengan menggunakan *Travelling Wave Signal* didapatkan jarak gangguan pada saluran transmisi Glugur 1 – Payageli 1 ialah 7,526 km.

Gangguan ke 4

Pada saat terjadinya gangguan terdeteksi adanya gangguan sambaran petir sehingga bentuk gangguan sambaran petir dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar Gangguan Glugur 1 – Payageli 1 Pada Jarak 8,2 km

Pada saat terjadi gangguan pada saluran transmisi GI Glugur 1 – GI Payageli 1 pada hari kamis, 18 November 2021 pada rentang waktu t_B 02:34:25.000 dan t_A 02:34:26.280 dengan kecepatan gelombang berjalan 1,353 m/s, signal gelombang gangguan dapat dilihat pada gambar signal gelombang. Maka jarak gangguan yang dihasilkan *Travelling Wave Signal* [8] ialah :

$$S = \frac{(1 - (t_A - t_B)) v}{2}$$
$$= \frac{(11.920 - (1,280)) 1,353}{2}$$
$$= 8.063 \text{ m}$$
$$= 8,1 \text{ km}$$

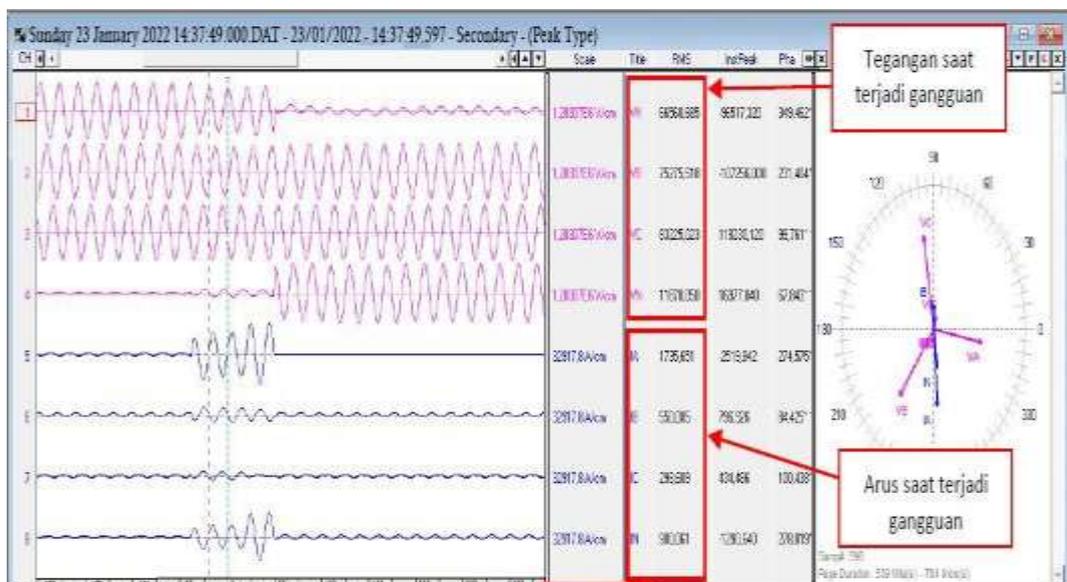


Gambar Signal Gelombang Gangguan Pada Jarak 8,1 km

Dengan menggunakan *Travelling Wave Signal* didapatkan jarak gangguan pada saluran transmisi Glugur 1 – Payageli 1 ialah 8,1 km.

Gangguan ke 5

Pada saat terjadinya gangguan terdeteksi adanya gangguan sambaran petir sehingga bentuk gangguan sambaran petir dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar Gangguan Glugur 1 – Payageli 1 Pada Jarak 8,523 km

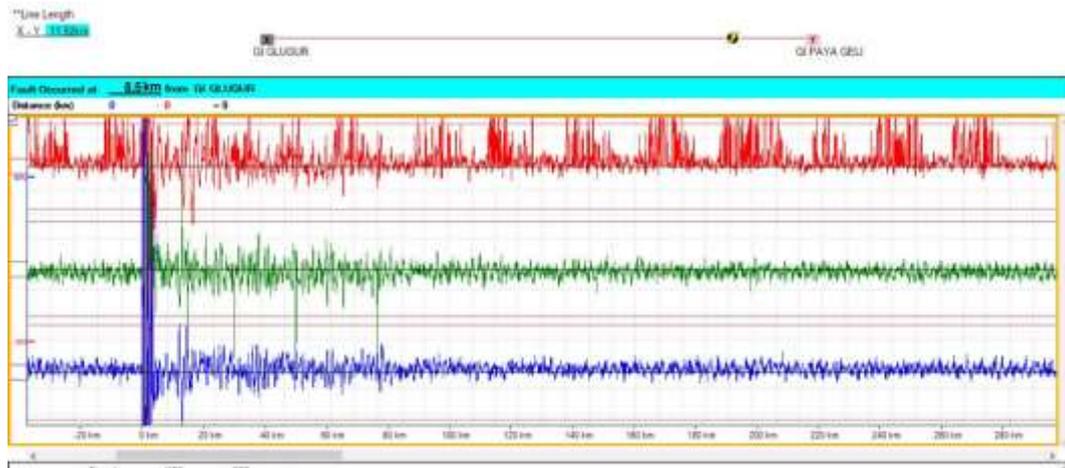
Terjadinya gangguan pada saluran transmisi GI Glugur 1 – GI Payageli 1 pada hari Minggu, 23 Januari 2022 pada rentang waktu t_B 14:37:49.000 dan t_A 14:37:49.597 dengan kecepatan gelombang berjalan 1,426 m/s, signal gelombang gangguan dapat dilihat pada gambar signal gelombang. Maka jarak gangguan yang dihasilkan *Travelling Wave Signal* [8] ialah :

$$S = \frac{(l - (t_A - t_B)) v}{2}$$

$$= \frac{(11.920 - (0,597)) 1,426}{2}$$

$$= 8.498 \text{ m}$$

$$= 8,498 \text{ km}$$

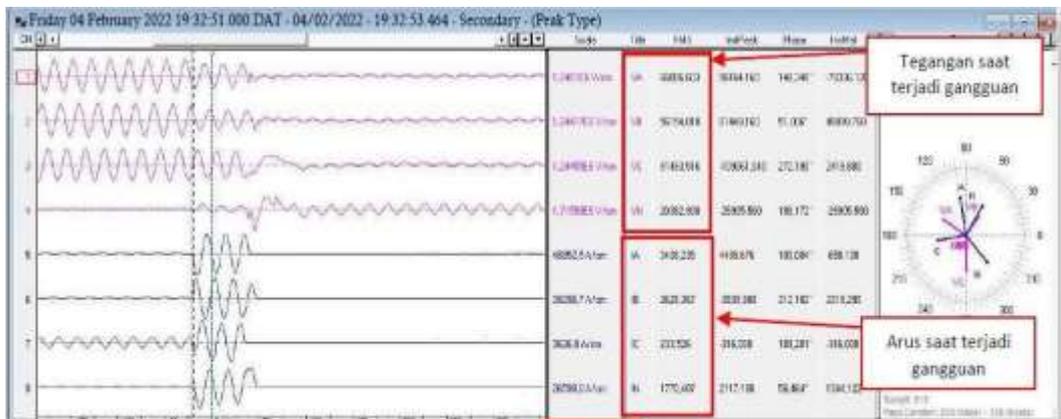


Gambar Signal Gelombang Gangguan Pada Jarak 8,5 km

Dengan menggunakan *Travelling Wave Signal* didapatkan jarak gangguan pada saluran transmisi Glugur 1 – Payageli 1 ialah 8,498 km.

Gangguan ke 6

Pada saat terjadinya gangguan terdeteksi adanya gangguan sambaran petir sehingga dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar Gangguan Glugur 2 – Payageli 2 Pada Jarak 5,2 km

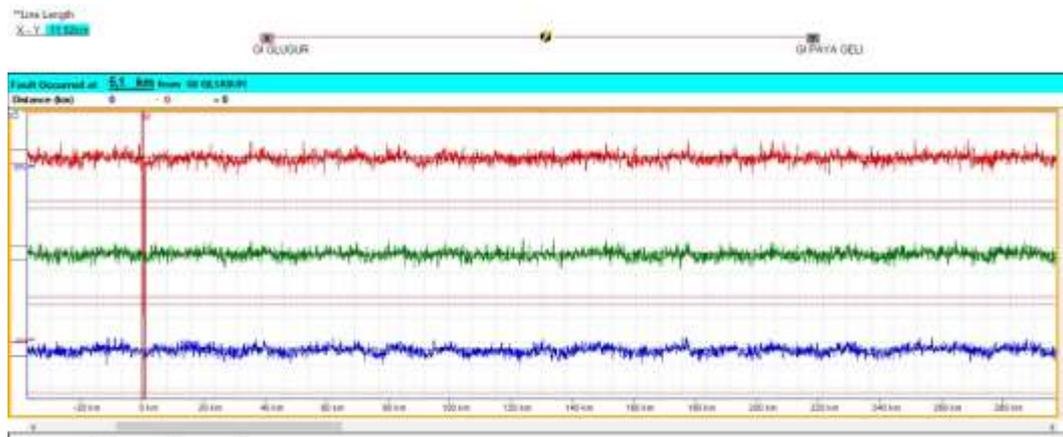
Terjadinya gangguan pada saluran transmisi GI Glugur 2 – GI Payageli 2 pada hari Jumat, 04 Februari 2022 pada rentang waktu t_B 19:32:51.000 dan t_A 19:32:53.464 dengan kecepatan gelombang berjalan 0,856 m/s, signal gelombang dapat dilihat pada gambar signal gelombang. Maka jarak gangguan yang dihasilkan *Travelling Wave Signal* [8] ialah :

$$S = \frac{(l - (t_A - t_B)) v}{2}$$

$$= \frac{(11.920 - (2,464)) 0,856}{2}$$

$$= 5.100 \text{ m}$$

$$= 5,1 \text{ km}$$



Gambar Signal Gelombang Gangguan Pada Jarak 5,1 km

Dengan menggunakan *Travelling Wave Signal* didapatkan jarak gangguan pada saluran transmisi Glugur 2 – Payageli 2 ialah 5,1 km.

2. Persentase *Error* Pembacaan *Travelling Wave Signal*

Adapun persentase error pada pembacaan titik gangguan yang dibaca oleh *Travelling Wave Signal* terhadap titik gangguan yang didapatkan dilapangan (aktual).

Gangguan ke 2

$$\begin{aligned} \text{Error} &= \frac{\text{JARAK AKTUAL} - \text{JARAK PREDIKSI}}{\text{JARAK AKTUAL}} \times 100\% \\ &= \frac{8,80 - 8,760}{8,80} \times 100\% \\ &= 0,45\% \end{aligned}$$

Sehingga persentase *error* pembacaan *travelling wave signal* terhadap titik gangguan yang terjadi di lapangan (aktual) ialah sebesar 0,45 %.

Gangguan ke 3

$$\text{Error} = \frac{\text{JARAK AKTUAL} - \text{JARAK PREDIKSI}}{\text{JARAK AKTUAL}} \times 100\%$$

$$= \frac{7,638-7,526}{7,638} \times 100\%$$

$$= 1,3 \%$$

Sehingga persentase *error* pembacaan *travelling wave signal* terhadap titik gangguan yang terjadi di lapangan (aktual) ialah sebesar 1,3 %.

Gangguan ke 4

$$\text{Error} = \frac{\text{JARAK}_{\text{AKTUAL}} - \text{JARAK}_{\text{PREDIKSI}}}{\text{JARAK}_{\text{AKTUAL}}} \times 100\%$$

$$= \frac{8,2-8,1}{8,2} \times 100\%$$

$$= 1,2 \%$$

Sehingga persentase *error* pembacaan *travelling wave signal* terhadap titik gangguan yang terjadi dilapangan (aktual) ialah sebesar 1,2 %.

Gangguan ke 5

$$\text{Error} = \frac{\text{JARAK}_{\text{AKTUAL}} - \text{JARAK}_{\text{PREDIKSI}}}{\text{JARAK}_{\text{AKTUAL}}} \times 100\%$$

$$= \frac{8,523-8,498}{8,523} \times 100\%$$

$$= 0,29 \%$$

Sehingga persentase *error* pembacaan *travelling wave signal* terhadap titik gangguan yang terjadi dilapangan (aktual) ialah sebesar 0,29 %.

Gangguan ke 6

$$\text{Error} = \frac{\text{JARAK}_{\text{AKTUAL}} - \text{JARAK}_{\text{PREDIKSI}}}{\text{JARAK}_{\text{AKTUAL}}} \times 100\%$$

$$= \frac{5,2-5,1}{5,2} \times 100\%$$

$$= 1,9 \%$$

Sehingga persentase *error* pembacaan *travelling wave signal* terhadap titik gangguan yang terjadi dilapangan (aktual) ialah sebesar 1,9 %.