

**ANALISA PENGARUH PERUBAHAN IMPEDANSI
PENGHANTAR SUTT 150 KV TERHADAP *SETTING RELAY*
JARAK SEBAGAI PENGAMAN GARDU INDUK 150 KV
KUDUS - JEKULO - PATI**

LAPORAN TUGAS AKHIR

Laporan Ini Disusun Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar S1
Prodi Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Sultan Agung Semarang



Disusun Oleh :

EDI SUTRISNO

NIM : 30601601818

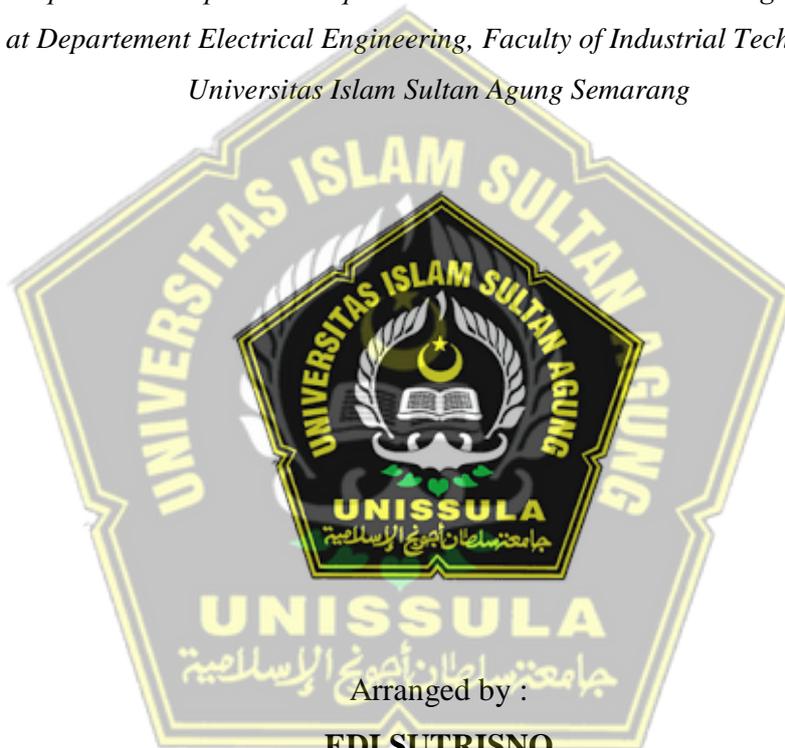
**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG**

2023

FINAL PROJECT

**ANALYSIS OF THE EFFECT OF CHANGING IMPEDANCE OF
150 KV SUTT CONDUCTOR ON DISTANCE RELAY SETTINGS
AS A 150 KV SUBSTATION SECURITY KUDUS - JEKULO -
PATI**

*Proposed to complete the requirement to obtain a bachelor's degree (S1)
at Departement Electrical Engineering, Faculty of Industrial Technology
Universitas Islam Sultan Agung Semarang*



Arranged by :

EDI SUTRISNO

NIM : 30601601818

**MAJORING OF ELECTRICAL ENGINEERING
INDUSTRIAL TECHNOLOGY FACULTY
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG**

2023

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul **“ANALISA PENGARUH PERUBAHAN IMPEDANSI PENGHANTAR SUTT 150 KV TERHADAP SETTING RELAY JARAK SEBAGAI PENGAMAN GARDU INDUK 150 KV KUDUS - JEKULO – PATI**

Ini disusun oleh :

Nama : Edi Sutrisno
NIM : 30601601818
Program Studi : Teknik Elektro

Telah disahkan oleh dosen pembimbing pada :

Hari :

Tanggal

Pembimbing I

Pembimbing II

Prof. Dr. Ir. H. Muhamad Haddin, MT.

Dr. Ir. Agus Adhi Nugroho, M.T.

NIDN. 0618066301

NIDN. 0628086501

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Elektro


010923
Jenny Putri Hapsari, S.T., M.T.

NIDN. 0607018501

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Laporan Tugas Akhir dengan judul **“ANALISA PENGARUH PERUBAHAN IMPEDANSI PENGHANTAR SUTT 150 KV TERHADAP *SETTING RELAY* JARAK SEBAGAI PENGAMAN GARDU INDUK 150 KV KUDUS-JEKULO-PATI** ini telah dipertahankan di depan dosen penguji Tugas Akhir pada :

Hari : Edi Sutrisno

Tanggal : 30601601818

Telah disahkan oleh dosen pembimbing pada :

Hari :

Tanggal :

TIM PENGUJI

Anggota I

Anggota II



Gunawan, ST., MT.

Dr. Muhammad Khosyi'in, ST., MT.

NIDN. 0607117101

NIDN. 0625077901

Ketua Penguji



Ir. Ida Widiastuti, MT.

NIDN. 0005036501

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Edi Sutrisno
NIM : 30601601818
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri
Program Studi : Teknik Elektro

Dengan ini saya menyatakan bahwa Tugas Akhir yang saya buat dalam rangka menyelesaikan Pendidikan Strata Satu (S1) Teknik Elektro di Fakultas Teknologi UNISSULA Semarang dengan judul **“ANALISA PENGARUH PERUBAHAN IMPEDANSI PENGHANTAR SUTT 150 KV TERHADAP SETTING RELAY JARAK SEBAGAI PENGAMAN GARDU INDUK 150 KV KUDUS - JEKULO - PATT”** adalah asli (orisinil) dan bukan menjiplak (plagiat) dan belum pernah diterbitkan/dipublikasikan dimanapun dalam bentuk apapun baik sebagian atau keseluruhan.

Apabila dikemudian hari ternyata terbukti bahwa judul Tugas Akhir yang saya buat pernah diangkat, ditulis ataupun dipublikasi, maka saya bersedia dikenakan sanksi akademik sesuai peraturan yang berlaku.

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

Semarang, Juli 2023
Yang menyatakan



(Edi Sutrisno)
NIM.30601601818

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Edi Sutrisno
NIM : 30601601818
Program Studi : Teknik Elektro
Fakultas : Teknologi Industri
Alamat Asal : Desa Soneyan, Dukuh Clangap 03/02 Margoyoso Pati
No. HP / Email : 08812753308 / edisutrisno@std.unissula.ac.id

Dengan ini menyatakan Karya Ilmiah berupa Tugas Akhir dengan Judul :

“ANALISA PENGARUH PERUBAHAN IMPEDANSI PENGHANTAR SUTT 150 KV TERHADAP SETTING RELAY JARAK SEBAGAI PENGAMAN GARDU INDUK 150 KV KUDUS - JEKULO – PATI”

Menyetujui menjadi hak milik Universitas Islam Sultan Agung serta memberikan Hak bebas Royalti Non_Eksklusif untuk disimpan, dialihmediakan, dikelola dan pangkalan data dan dipublikasikan diinternet dan media lain untuk kepentingan akademis selama tetap menyantumkan nama penulis sebagai pemilik hak cipta. Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari terbukti ada pelanggaran Hak Cipta/Plagiatisme dalam karya ilmiah ini, maka segala bentuk tuntutan hukum yang timbul akan saya tanggung secara pribadi tanpa melibatkan Universitas Islam Sultan Agung.

Semarang, Agustus 2023
Yang Menyatakan



Edi Sutrisno

HALAMAN PERSEMBAHAN

Persembahan :

Pertama,

Allah SWT yang telah memberikan rahmat taufik dan hidayah serta Ridlo-Nya, sehingga saya dapat menyelesaikan tugas saya dalam melewati setiap ujian dan cobaan-Nya

Kedua,

Tugas Akhir ini saya persembahkan kepada kedua Orang Tua (Bapak Mu'in dan Ibu Aminah), Kakak Perempuan (Murwati dan Nanik Rahayu), Adik (Muhammad Abdul Rozaq), Saudara dan teman-teman perjuangan saya yang tak ada henti-hentinya dalam mendoakan dan memberi semangat serta selalu menjadi motivasi saya dalam menyelesaikan studi saya.

Ketiga,

Untuk seluruh Dosen Fakultas Teknologi Industri Prodi Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung yang selalu memberikan ilmu yang bermanfaat dan motivasi dalam menyelesaikan studi.

Kempat,

Untuk teman seperjuangan Tugas Akhir dan tidak lupa teman-teman Teknik Elektro angkatan 2016 yang saling memberikan dukungan.

Motto :

يَا أَيُّهَا الَّذِينَ آمَنُوا إِذَا قِيلَ لَكُمْ تَفَسَّحُوا فِي الْمَجَالِسِ فَأَفْسَحُوا يَفْسَحِ اللَّهُ لَكُمْ ۗ وَإِذَا قِيلَ انشُرُوا فَانْشُرُوا
يَرْفَعِ اللَّهُ الَّذِينَ آمَنُوا مِنْكُمْ وَالَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ دَرَجَاتٍ ۗ وَاللَّهُ بِمَا تَعْمَلُونَ خَبِيرٌ

“Hai orang-orang beriman apabila dikatakan kepadamu : "Berlapang-lapanglah dalam majlis", maka lapangkanlah niscaya Allah akan memberi kelapangan untuKmu. Dan apabila dikatakan: "Berdirilah kamu", maka berdirilah, niscaya Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman di antaramu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat.

Dan Allah Maha Mengetahui apa yang kamu kerjakan.”

(Q.S Al-Mujadalah : 11)

“Berilmulah sebelum kamu berbicara, beramal, atau beraktivitas.”

(HR. Bukhori)

“Man Jadda Wajada.”

(Barang siapa bersungguh-sungguh, maka dia akan mendapatkan kesuksesan)

“Barangsiapa yang hendak menginginkan dunia, maka hendaklah ia menguasai ilmu. Barangsiapa menginginkan akhirat hendaklah ia menguasai ilmu, dan barangsiapa yang menginginkan keduanya (dunia dan akhirat) hendaklah ia menguasai ilmu”

(HR. Ahmad)

“Manfaatkan masa emasmu, Teruslah berjuang dan semangat menuntut ilmu,
maka raihlah kesuksesan dunia dan akhirat”

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillah puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan Rahmat dan NiKmatnya sehingga masih berkesempatan untuk menuntut ilmu dalam keadaan sehat wal'afiat. Shalawat serta salam semoga selalu tersurahkan kepada baginda Rasulullah Muhammad SAW, semoga kelak kita mendapatkan syafaatnya. Amiin Ya Robbalalamin.

Penyusunan Tugas Akhir ini adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana pada Fakultas Teknologi Industri di Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Dalam penulisan Tugas Akhir ini tentunya banyak pihak yang memberikan bantuan secara moril maupun materil. Oleh karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang tiada hingganya kepada :

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan ridhonya serta memberikan ketabahan, kesabaran dan kelapangan hati serta pikiran dalam menimba ilmu.
2. Kedua orangtua saya, bapak Mu'in dan ibu Aminah yang telah memberikan dukungan baik materil maupun non materil dan tidak pernah berhenti mendo'akan disetiap sujudnya.
3. Bapak Prof. Dr. H. Gunarto, S.H.,SE,Akt.,M.Hum. selaku Rektor Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
4. Ibu Dr. Novi Marlyana, ST., MT. sebagai Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
5. Ibu Jenny Putri Hapsari, ST., MT. selaku ketua jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Univesitas Islam Sultan Agung Semarang.
6. Bapak Dr. Muhammad Khosyi'in, ST., MT. selaku koordinator Tugas Akhir jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Univesitas Islam Sultan Agung Semarang.
7. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Muhamad Haddin, MT. dan Bapak Dr. Ir. Agus Adhi Nugroho, MT. selaku dosen pembimbing I dan dosen pembimbing II yang memberikan ilmu yang bermanfaat, memberikan banyak arahan, dan dengan

sabar membimbing kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini.

8. Seluruh dosen dan karyawan Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung Semarang atas ilmu, bimbingan, dan dukungan dalam penyusunan tugas akhir ini.
9. Kepada Siti Hanifah Fredyanti, Amd., Zainal Arifin S.HI, Arfin Yudawan, Apri Zulham, Ahmad Zunaidi Yuli Prayetno, S.H, dan semua sahabat-sahabat dan teman-teman perjuangan yang telah menjadi teman dalam membantu terselesainya Tugas Akhir ini.
10. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu atas segala dukungan, memotivasi, membantu dalam pembuatan laporan Tugas Akhir, semangat, dan ilmu dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa didalam penyusunan laporan ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu kritik dan saran sangat diharapkan untuk mencapai hasil yang lebih baik. Semoga laporan ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak pada terutama Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung Semarang dan dapat menambah wawasan.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

UNISSULA

جامعة سلطان أبو جوح الإسلامية

Semarang, 10 Agustus 2023

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI.....	iv
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	v
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xv
ABSTRAK.....	xvi
<i>ABSTRACT</i>	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Tujuan Penelitian.....	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	3
1.6. Sistematika Penulisan Laporan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	5
2.1. Tinjauan Pustaka.....	5
2.2. Dasar Teori.....	6
2.2.1. Sistem Transmisi.....	6
2.2.2. Sistem Proteksi Tenaga Listrik.....	6
2.2.3. Tujuan Sistem Proteksi.....	6
2.2.4. Persyaratan utama sistem proteksi :.....	7
2.2.5. Komponen Sistem Proteksi.....	8
2.2.6. Impedansi.....	13
2.2.7. Relay Jarak.....	15

2.2.8. Teleproteksi	21
2.3. Sistem Proteksi Bay Pengantar.....	23
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	24
3.1. Model Penelitian.....	24
3.2. Lokasi dan Obyek Penelitian.....	25
3.3. Lokasi Gardu Induk	26
3.3.1. Gardu Induk 150 KV Kudus.....	26
3.3.2. Gardu Induk Jekulo	26
3.3.3. Lokasi Gardu Induk Pati.....	26
3.4. Alat dan Peralatan.....	26
3.4.1. PC	26
3.4.2. Alat Ukur relai	26
3.4.3. Pemodelan perhitungan relai jarak existing.....	26
3.4.4. Kabel Penghantar saluran Transmisi Gardu Induk.....	26
3.5. Teknik Analisis Data	27
3.5.1. Sumber data primer	27
3.5.2. Sumber data sekunder.....	28
3.6. Tahap Pengukuran.....	29
3.7. Skenario Gangguan dengan Pengaturan Aktual.....	29
3.8. Tahap Penelitian dalam menganalisis data.....	30
3.9. Tahap Penelitian dalam Menganalisis Data	30
3.10. Tahap Perhitungan.....	31
3.11. Prosedur/ Tahap Penelitian.....	32
BAB IV HASIL DAN PERHITUNGAN	33
4.1. Hasil Penelitian.....	33
4.2. Perhitungan Nilai Impedansi Saluran.....	33
4.2.1. Gardu Induk Kudus – Gardu Induk Jekulo.....	33
4.2.2. Gardu Induk Jekulo – Gardu Induk Pati.....	34
4.2.3. Panjang Saluran GI Kudus-GI Jekulo-GI Pati.....	35
4.3. Perhitungan Pengaturan Zona Relai Jarak.....	36

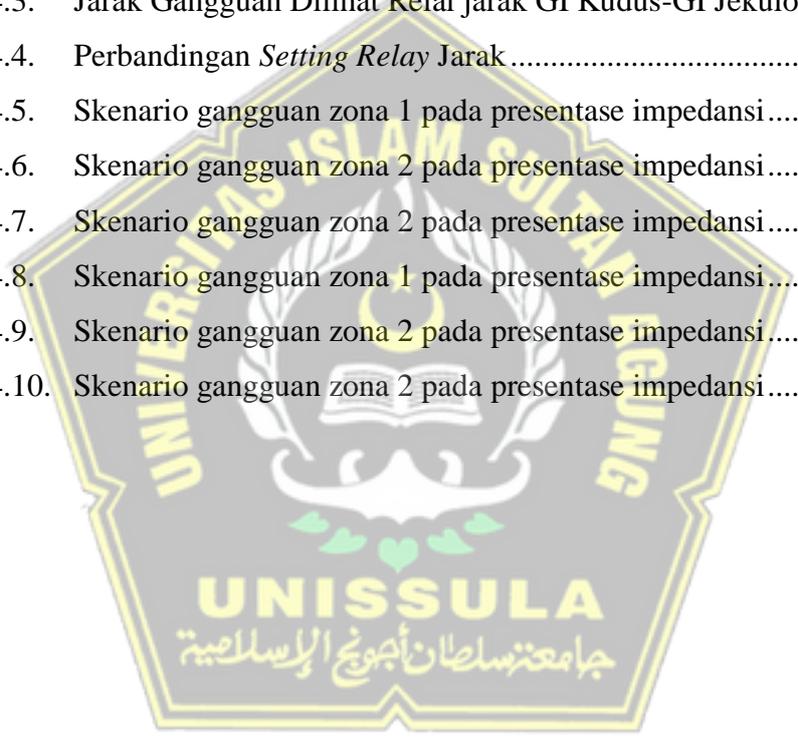
4.3.1. Gardu Induk Kudus – Gardu Induk Jekulo.....	36
4.3.2. Gardu Induk Jekulo-Gardu Induk Pati.....	38
4.4. Impedansi Yang Dilihat Relay	40
4.4.1. Impedansi GI Kudus-GI Jekulo.....	40
4.4.2. GI Jekulo-GI Pati.....	40
4.5. Menentukan Jarak Gangguan	41
4.6. Skenario Penentuan Impedansi Jarak Gangguan (Z_f)	41
4.6.1. Skenario GI Kudus-GI Jekulo	42
4.6.2. Skenario GI Jekulo-GI Pati.....	47
4.7. Hasil Data Perbandingan Perhitungan <i>relay</i> Jarak	53
4.8. Grafik Perbandingan Gardu Induk Kudus-Jekulo-Pati.....	54
4.9. Blok Relay Jarak.....	56
4.10. Grafik Pengaturan Aktual dan Perhitungan Baru GI Kudus- Jekulo-Pati	57
4.10.1. Grafik Pengaturan Aktual dan Pengaturan Baru GI Kudus-Jekulo	57
4.10.2. Grafik Pengaturan Aktual dan Perhitungan Baru GI Jekulo-Pati	58
BAB V PENUTUP.....	68
5.1. Kesimpulan.....	68
5.2. Saran.....	68
DAFTAR PUSTAKA	70

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Komponen sistem proteksi SUTT	8
Gambar 2.2.	PMT tegangan 20 KV,150 KV dan 500KV	9
Gambar 2.3.	PMT <i>Single pole</i>	10
Gambar 2.4.	PMT <i>Triple pole</i>	10
Gambar 2.5.	Komponen Trafo Arus	12
Gambar 2.6.	Vektor $r = Z < \theta$	15
Gambar 2.7.	Prinsip kerja rele jarak terhadap adanya gangguan	17
Gambar 2.8.	Pengkelompokan daerah zona relai jarak.....	18
Gambar 2.9.	Rangkaian logika skema PUTT	22
Gambar 2.10.	Rangkaian logika skema blocking	23
Gambar 2.11.	Typikal komponen sistem proteksi SUTET	23
Gambar 3.1.	Pembodelan Jarak Gardu Induk	24
Gambar 3.2.	Single line diagram Gardu Induk Pati	25
Gambar 3.3.	Daerah transmisi gardu induk 150 kV yang dianalisis.....	25
Gambar 3.4.	Prinsip pengukuran jarak/impedansi	29
Gambar 3.5.	Skenario Relai jarak	30
Gambar 3.6.	<i>Flowchart</i> /diagram Penelitian.....	32
Gambar 4.1.	Grafik Perbandingan $Z_{setting}$ Kudus-Jekulo	54
Gambar 4.2.	Grafik Perbandingan $Z_{setting}$ Jekulo – Pati.....	55
Gambar 4.3.	Blok Zona Relai Jarak.....	56
Gambar 4.4.	Grafik Aktual GI Kudus-Jekulo	57
Gambar 4.5.	Grafik Perhitungan Kudus-Jekulo.....	58
Gambar 4.6.	Grafik Perhitungan Jekulo-Pati	59
Gambar 4.7.	Grafik Perhitungan Jekulo-Pati	59
Gambar 4.8.	Grafik Presentase Impedansi Zona 1.....	61
Gambar 4.9.	Grafik Presentase Impedansi Zona 2.....	62
Gambar 4.10.	Grafik Presentase Impedansi Zona 3.....	63
Gambar 4.11.	Grafik Presentase Impedansi Zona 1.....	64
Gambar 4.12.	Grafik Presentase Impedansi Zona 2.....	65
Gambar 4.13.	Grafik Presentase Impedansi Zona 3.....	66

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1.	Setting Aktual.....	27
Tabel 3.2.	Data Trafo	27
Tabel 3.3.	Data penghantar GI Kudus Bay Jekulo	28
Tabel 3.4.	Data penghantar GI Jekulo Bay Pati	28
Tabel 4.1.	Data Transmisi Gardu Induk	33
Tabel 4.2.	Skenario Jarak yang Telah Ditentukan	41
Tabel 4.3.	Jarak Gangguan Dilihat Relai jarak GI Kudus-GI Jekulo-GI Pati... ..	52
Tabel 4.4.	Perbandingan <i>Setting Relay</i> Jarak	53
Tabel 4.5.	Skenario gangguan zona 1 pada presentase impedansi.....	61
Tabel 4.6.	Skenario gangguan zona 2 pada presentase impedansi.....	62
Tabel 4.7.	Skenario gangguan zona 2 pada presentase impedansi.....	63
Tabel 4.8.	Skenario gangguan zona 1 pada presentase impedansi.....	64
Tabel 4.9.	Skenario gangguan zona 2 pada presentase impedansi.....	65
Tabel 4.10.	Skenario gangguan zona 2 pada presentase impedansi.....	66



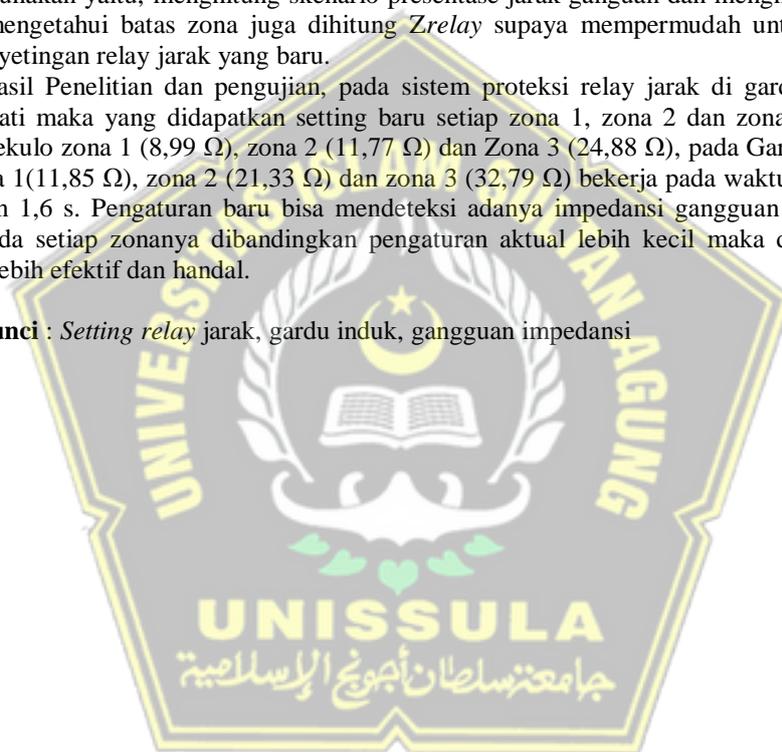
ABSTRAK

Salah satu permasalahan yang terjadi pada saluran transmisi Gardu Induk Kudus-Jekulo-Pati adalah gangguan hubung singkat atau sambaran petir yang tidak terprediksi dengan baik dari letak maupun waktu terjadinya gangguan mengakibatkan relay jarak slalu bekerja dengan maksimal. Hal ini dikarenakan kurang tepatnya pengaturan *relay* jarak pada setiap zona Gardu Induk berdampak relay jarak tidak bisa bekerja dengan maksimal bahkan relay jarak gagal fungsi maka akan mengakibatkan kerugian besar. Solusi terhadap masalah ini diperlukan evaluasi pengujian dan pengaturan ulang relay jarak sehingga dapat beroperasi dengan efektif dan handal.

Penelitian ini membahas terkait pengaruh impedansi dalam penyettingan relay jarak setiap zona Gardu Induk Kudus-Jekulo-Pati penghantar 150 KV. Parameter yang ditentukan yaitu sebuah nilai *setting relay* jarak setiap zona (Zona 1, Zona 2 dan Zona 3) dengan melalui metode yang digunakan yaitu, menghitung skenario presentase jarak gangguan dan menghitung Impedansi. Untuk mengetahui batas zona juga dihitung Z_{relay} supaya mempermudah untuk mendapatkan nilai penyettingan relay jarak yang baru.

Hasil Penelitian dan pengujian, pada sistem proteksi relay jarak di gardu induk Kudus-Jekulo-Pati maka yang didapatkan setting baru setiap zona 1, zona 2 dan zona 3. Gardu Induk Kudus-Jekulo zona 1 (8,99 Ω), zona 2 (11,77 Ω) dan Zona 3 (24,88 Ω), pada Gardu Induk Jekulo-Pati zona 1(11,85 Ω), zona 2 (21,33 Ω) dan zona 3 (32,79 Ω) bekerja pada waktu 0,4 s (seketika), 0,8 s dan 1,6 s. Pengaturan baru bisa mendeteksi adanya impedansi gangguan pada jarak yang besar pada setiap zonanya dibandingkan pengaturan aktual lebih kecil maka dapat *relay* jarak bekerja lebih efektif dan handal.

Kata Kunci : *Setting relay* jarak, gardu induk, gangguan impedansi



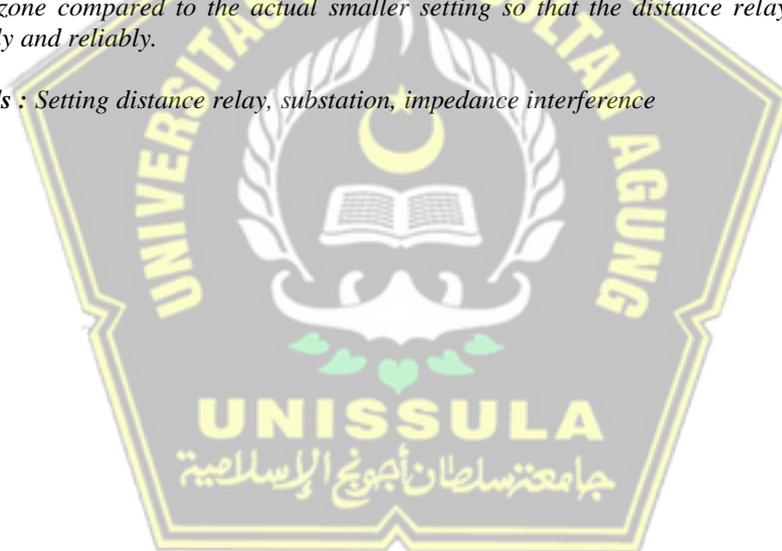
ABSTRACT

One of the problems that occur in the transmission line of the Kudus-Jekulo-Pati Substation is short-circuit interference or lightning strikes that are not well predicted from letk or the time of the disturbance resulting in distance relays always working optimally. This is because the lack of precise distance relay settings in each substation zone has the impact that distance relays cannot work optimally even the distance relay fails to function, resulting in large losses. . The solution to this problem requires evaluating the test and resetting the distance relay so that it can operate effectively and reliably.

This study discusses the effect of impedance in setting the distance relay in each zone of the Kudus-Jekulo-Pati Substation that conducts 150 KV. The specified parameter is a value of the distance relay setting for each zone (Zone 1, Zone 2 and Zone 3) through the method used, namely, calculating the percentage of interference distance and calculating Impedance. To find out the zone boundary, Zrelay also calculated to make it easier to get the new distance relay setting value.

The results of research and testing, in the distance relay protection system at the Kudus-Jekulo-Pati substation, new settings were obtained for each zone 1, zone 2 and zone 3. Substation Kudus-Jekulo zone 1 (8.99 Ω), zone 2 (11.77 Ω) and zone 3 (24.88 Ω), at Jekulo-Pati Substation zone 1 (11.85 Ω), zone 2 (21.33 Ω) and zone 3 (32.79 Ω) work at 0.4 s (instantaneous), 0.8 s and 1.6 s times. The new setting can detect the presence of interference impedance at a large distance in each zone compared to the actual smaller setting so that the distance relay can work more effectively and reliably.

Keywords : Setting distance relay, substation, impedance interference



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Saluran transmisi merupakan salah satu komponen sangat penting dalam penyaluran tenaga listrik, maka dari itu saluran harus dirancang dengan mempertimbangkan beberapa aspek supaya sistem proteksi bekerja dengan *sensitive*, selektif, cepat dan handal. Jaringan transmisi sering mengalami gangguan-gangguan seperti hubung singkat atau sambaran petir, tidak terprediksi dengan baik dari letak maupun waktu terjadinya gangguan [1].

Sistem Transmisi 150 KV pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) wilayah Kudus ke Jekulo dan Pati adalah sistem yang sering mengalami gangguan. Secara khusus pada gardu induk Kudus sampai gardu induk Jekulo kemudian Pati dalam bagian subsistem transmisi 150 KV yang terjadi gangguan dan mengakibatkan relai jarak selalu bekerja. Setting relai jarak sangat berpengaruh besar. Dengan melakukan setting yang tidak tepat dapat mengakibatkan relai jarak tidak bekerja secara maksimal dan bahkan dapat mengakibatkan relai jarak gagal berfungsi, sehingga penanganan gangguan memakan waktu lama dan kerugian yang ditaksir akan besar [2].

Permasalahan yang terjadi pada saluran transmisi Gardu Induk Kudus-Jekulo-Pati adalah gangguan hubung singkat, tegangan lebih atau sambaran petir yang tidak terprediksi dengan baik dari letak maupun waktu terjadinya gangguan mengakibatkan relay jarak selalu bekerja dengan maksimal. Hal ini dikarenakan kurang tepatnya pengaturan *relay* jarak pada setiap zona Gardu Induk berdampak relay jarak tidak bisa bekerja dengan maksimal bahkan relay jarak gagal fungsi maka akan mengakibatkan kerugian besar. Sebab lain adalah yang terjadi seperti, kelembaban, dahan patah menimpa saluran transmisi, tegangan berlebih, suhu yang ekstrim penyebab kerusakan mekanis yang menyebabkan saluran mengalami kerusakan.

Oleh karena permasalahan dan sebab yang terjadi maka dilakukan evaluasi pengujian secara detail dan efektif supaya *setting relay* jarak bekerja secara

maksimal. Untuk evaluasi yang dilakukan dengan sebuah skenario jarak gangguan dan *setting relay* dengan tepat pada saluran transmisi dititik yang telah di tentukan untuk menguji unjuk kerja dari relai pengaman pada area Saluran Penghantar Gardu Induk. Solusinya dengan Nilai *setting relay* jarak setiap zona pada Gardu Induk Kudus-Jekulo-Pati baik itu zona 1, zona 2, dan zona 1 harus diperhatikan dengan benar sehingga relai bekerja secara maksimal. Perubahan setting relai jarak, Pada kondisi seperti ini, di area tersebut harus menjamin kinerja setting relai pengaman untuk mengamankan atau mengisolir gangguan-gangguan yang ada dengan mempertinggi jarak jangkauan *Setting relay* jarak mengisolir gangguan yang terjadi.

Berdasarkan Permasalahan tersebut sehingga Penelitian mengangkat judul “Analisa Pengaruh Perubahan Impedansi Penghantar SUTT 150 Kv Terhadap *Setting Relay* Jarak Sebagai Pengaman Gardu Induk 150 Kv Kudus-Jekulo-Pati”. Relai jarak bekerja dengan mengukur besaran Impedansi (Z), dan transmisi terbagi menjadi berbagai daerah cakupan pengamanan. Metodologi yang digunakan dengan mengambil data dari setiap Gardu Induk yang diteliti kemudian melakukan perhitungan berdasarkan rumus perbandingan yang diperoleh dari hasil perhitungan dengan data yang diambil setiap Gardu Induk, langsung hasilnya akan menunjukkan lebih maksimal dari data yang didapatkan dari setiap Gardu Induk yang diteliti.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka dapat rumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Perlu dikaji pengaruh perubahan Impedansi saluran terhadap *setting relay* jarak.
2. Perlu dikaji ulang nilai dan kondisi pengaturan relai jarak pada Gardu Induk (GI) Kudus, Jekulo dan Pati terhadap perubahan jarak gangguan disetiap *relay* yang terkait.
3. Diperlukan cara melakukan *setting relay* jarak yang tepat dan handal pada zona 1, zona 2 dan zona 3 area gardu induk 150 Kv.

1.3. Batasan Masalah

Supaya penelitian ini lebih fokus dan lebih mendalam diperlukan batasan variabelnya. Oleh sebab itu, batasan masalahnya sebagai berikut :

1. Pembahasan hanya menganalisa pengkajian ulang nilai dan setting *relay* jarak Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 Kv Gardu Induk Kudus-Jekulo-Pati.
2. Pembahasan hanya menganalisa perbedaan impedansi kawat saluran terhadap *setting relay* untuk mengisolir daerah gangguan.
3. Pembahasan tidak menganalisa OCR (*Over Current Relay*) dan GFR (*Ground fault Relay*) dan Komponen proteksi yang lain.

1.4. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Menentukan hasil perubahan nilai yang dikaji dan status aman tidaknya pengaturan rilai jarak *existing*.
2. Menentukan pengaturan relai jarak dengan metode perhitungan baru yang benar dan handal.
3. Menentukan nilai perubahan impedansi terhadap setting relai jarak dengan 3 titik GI Kudus-Jekulo-Pati.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Menambah Pengetahuan pada bidang proteksi yang ada disaluran transmisi 150 kV menggunakan relai jarak pada bidang teknik elektro terkhusus sistem tenaga listrik.
2. Membantu mengevaluasi pengaturan relai jarak akibat sering terjadinya gangguan atau bertambahnya konfigurasi sistem tenaga listrik.

1.6. Sistematika Penulisan Laporan

Pada proses penulisan Tugas Akhir ini, sistematika penulisan yang digunakan adalah sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Pada bab ini membahas tentang latar belakang masalah, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, metode penelitian, manfaat tugas akhir dan sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA DASAR TEORI

Pada bab ini berisi tentang teori – teori dasar yang berhubungan dengan sistem proteksi, komponen – komponen sistem proteksi secara umum dan membahas tentang relai jarak secara rinci yang meliputi karakteristik, prinsip kerja, teleproteksi, dan koordinasi zona proteksi dari relai jarak.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Dalam bab ini berisi gambaran umum tempat penelitian, data penelitian, prosedur/tahapan penelitian serta metode penelitian yang digunakan untuk menganalisis koordinasi zona proteksi dari relai jarak.

BAB IV: ANALISA DAN PERHITUNGAN

Bab ini berisi tentang semua hasil penelitian yang dilakukan dan pembahasannya yang meliputi perhitungan – perhitungan pengaturan zona dan waktu kerja relai jarak serta koordinasi dari relai jarak yang diskenariokan pada jarak yang telah ditentukan.

BAB V : PENUTUP

Bab ini membahas kesimpulan hasil penelitian yang telah di lakukan dan saran – saran yang di berikan peneliti berdasarkan kesimpulan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Penelitian ini perkembangan dari peneliti-peneliti sebelumnya dibidang teknik elektro yang melakukan penelitian dibidang listrik, khususnya *setting relay jarak*.

1. Energi listrik dibangkitkan dari pembangkit kemudian dinaikan tegangannya di gardu induk dan alirkan melalui system transmisi untuk sampai dikonsumen, dimanfaatkan untuk kebutuhan sehari-hari. Berdasarkan hal tersebut dapat dilihat bahwa system transmisi memegang peranan penting untuk dapat menyalurkan energi listrik ke konsumen. Proses penyaluran energi listrik biasanya sering dijumpai adanya gangguan yang mengakibatkan kerugian, baik itu PLN atau konsumen. Gangguan atau permasalahan yang terjadi biasa diakibatkan sistem, maupun gangguan eksternal seperti sambaran petir, badai, dan pohon tumbang. Gangguan terdiri dari gangguan simetris dan gangguan asimetris. Gangguan simetris merupakan gangguan yang terjadi pada semua fasa sehingga terjadi nilai dan tegangannya sama, gangguan ini terdiri dari hubung singkat tiga fasa dan hubung singkat fasa ke tanah [3].
2. Relai jarak adalah pengaman utama pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT)/ Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET). Rele jarak bekerja dengan mengukur impedansi transmisi yang terbagi beberapa daerah cakupan yaitu zona 1, zona 2 , zona 3 serta dilengkapi juga dengan teleproteksi sebagai agar proteksi bekerja dengan cepat dan selektif didaerah yang diamankan [4].
3. Penyetelan relay jarak GI Ungaran – Krapyak didapat impedansi yang terukur oleh relay dan gangguan dapat terdeteksi oleh relay. Relay jarak tidak tergantung jenis gangguan yang terjadi tetapi tergantung pada jarak titik gangguan yang terjadi pada relay [5].

Pengaturan *relay jarak* adalah menentukan urutan operasi relai untuk masing-masing lokasi gangguan yang memungkinkan adanya koordinasi tanpa waktu delay yang lama. *Setting Relay* bertujuan untuk memilih dan menentukan

setting waktu pada daerah proteksi terhadap gangguan sementara penyulang bila terjadi manuver/pelimpahan beban. Koordinasi sistem proteksi dapat melokalisir dan megisolasi daerah zona yang terganggu sehingga dapat mengurangi jumlah pemadaman pada konsumen.

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Sistem Transmisi

Sistem Transmisi menyalurkan daya dengan tegangan tinggi yang digunakan untuk mengurangi adanya rugi-rugi transmisi akibat jatuh tegangan. Secara umumnya saluran transmisi dibagi menjadi dua bagian yaitu saluran udara dan saluran bawah tanah. Saluran udara menyalurkan tenaga listrik melalui kawat-kawat yang digantungkan pada menara transmisi, sedangkan saluran transmisi bawah tanah menyalurkan tenaga listrik melalui kabel-kabel yang ditanam didalam tanah dengan ketentuan kedalam standart yang sudah ditetapkan [6].

2.2.2. Sistem Proteksi Tenaga Listrik

Proteksi Tenaga listrik adalah proteksi yang dipasang pada peralatan-peralatan listrik ditransmisi tenaga listrik yang proses penyaluran tenaga listrik dari pembangkit tenaga listrik (*power plant*) sampai saluran distribusi listrik (*substation distribution*) dapat disalurkan sampai konsumen pengguna listrik dengan aman. Proteksi adalah sains, skill dan seni dalam aplikasi dan *setting relay* dan atau fuse untuk mendapatkan sensitivitas maksimum dalam mendeteksi kondisi yang tidak normal, tetapi tetap beroperasi pada kondisi normal atau kondisi yang masih dapat ditolerir.

2.2.3. Tujuan Sistem Proteksi

Sistem proteksi untuk mengidentifikasi gangguan, memisahkan bagian instalasi yang terganggu dari bagian lain yang masih normal dan sekaligus mengamankan instalasi dari kerusakan atau kerugian yang lebih besar serta memberikan informasi atau tanda bahwa terjadi gangguan pada umumnya dengan diikuti PMT terbuka.

Fungsi Proteksi pada transmisi sebagai berikut :

1. Memberikan pelayanan listrik dengan keandalan yang tinggi dan mutu yang baik bagi konsumen.
2. Melokalisir luas daerah yang mengalami gangguan menjadi sekecil mungkin.
3. Mengamankan manusia terhadap yang ditimbulkan oleh listrik bila terjadi masalah.
4. Menghindari atau mengurangi kerusakan peralatan-peralatan akibat gangguan (kondisi abnormal operasi sistem).

Semakin cepat reaksi kerja perangkat proteksi dalam mengamankan daerah yang bermasalah maka semakin sedikitlah pengaruh gangguan kepada kemungkinan kerusakan alat.

Pada sistem tenaga listrik tegangan tinggi, semua peralatan proteksi yang terpasang harus beroperasi lebih dahulu bila gangguan yang terjadi berada dalam zona operasi *relay* utama. Apabila sistem proteksi utama gagal, sistem proteksi cadangan harus bekerja untuk mengisolir gangguan yang terjadi, oleh karena itu dibutuhkan suatu sistem proteksi yang memiliki keandalan dan kepekaan yang tinggi.

2.2.4. Persyaratan utama sistem proteksi :

1. Selektivitas dan Diskriminasi

Yaitu kemampuan sistem proteksi untuk daerah/zona yang mengalamai gangguan dan memilih pemutus daya yang terdekat dalam sistem untuk trip. Sehingga gangguan di-isolir seminim mungkin. Efektivitas suatu sistem proteksi dapat dilihat dari kesanggupan sistem dalam mengisolir bagian yang mengalami gangguan saja. Sistem proteksi dibutuhkan untuk memilih dan memutuskan Pemutus Tenaga terdekat dengan titik gangguan. Sifat pemutusan yang selektif dikenal dengan sebutan diskriminasi yang dapat dicapai dengan dua metode yaitu, sistem tingkatan waktu dan sistem unit.

2. Stabilitas

Sifat yang tetap tidak operasi apabila gangguan-gangguan terjadi diluar zona yang melindungi (gangguan diluar)

3. Sensitivitas (Kepekaan)

Suatu alat akan bekerja terdeteksi besarnya gangguan/ Harga dapat dinyatakan dengan besarnya arus dalam jaringan actual (arus primer) atau sebagai prosentase dari arus sekunder (trafo arus).

4. Realiabilitas (Keandalan)

Pentingnya mempertahankan tingkat keandalan sistem tenaga listrik, bahwa antara desain dan tingkat keandala sistem dan besarnya biaya sama dibutuhkan untuk mencapai tingkat keandalan yang diinginkan.

2.2.5. Komponen Sistem Proteksi

Sistem proteksi terdapat komponen-komponen penting supaya sebuah sistem proteksi dapat bekerja dengan baik pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Komponen sistem proteksi SUTT

1. PMT/Pemutus Tenaga

PMT adalah sebuah peralatan saklar (*switching*) mekanis yang mampu menutup, mengalirkan dan memutus arus beban dalam kondisi normal serta mampu menutup, mengalirkan (dalam periode waktu tertentu) dan memutus arus beban dalam spesifik kondisi abnormal/gangguan seperti *short circuit* / hubung singkat. Fungsi utama adalah sebagai alat pembuka atau penutup suatu rangkaian listrik dalam kondisi berbeban, serta mampu membuka atau menutup

sat terjadi gangguan (hubung singkat) pada jaringan atau peralatan lain.

Berikut ini adalah klasifikasi PMT berdasarkan kelas tegangan jumlah mekanik penggerak, media isolasi.

a. Klasifikasai PMT berdasarkan kelas tenaga

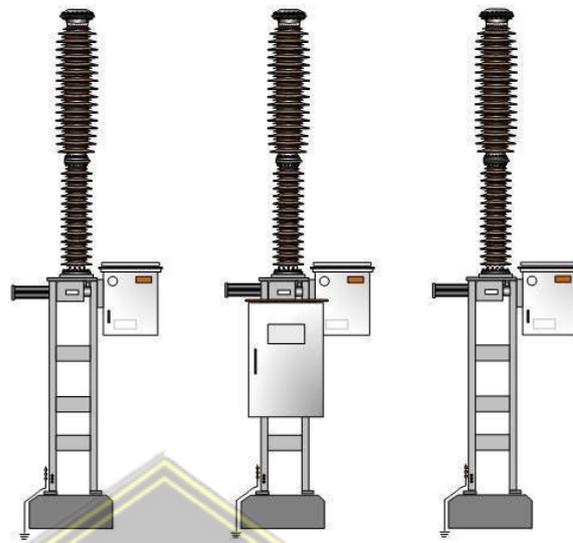
Jenis PMT kelas tegangan terbagi atas 3 kelompok, yaitu PMT tegangan 20 KV, PMT teganga 150 KV, PMT tegangan 500KV ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. PMT tegangan 20 KV,150 KV dan 500KV

b. Klasifikasi PMT Berdasarkan jumlah mekanik penggerak

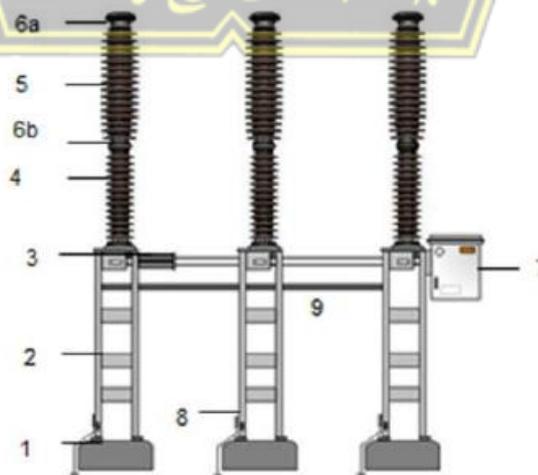
Jenis PMT berdasarkan mekanik penggerak terbagi menjadi 2, yaitu *single pole* dan *triple pole*. Komponen PMT *Single Pole* dan PMT *Triple pole* dapat dilihat pada Gambar 2.3 dan 2.4.



Gambar 2.3. PMT Single pole

Keterangan :

- 1) Pondasi
- 2) Kerangka (*Structure*)
- 3) Mekanik penggerak
- 4) Isolator suport
- 5) Ruang pemutus
- 6) Terminal utama atas
- 7) Terminal utama bawah
- 8) Lemari control lokal



Gambar 2.4. PMT Triple pole

Keterangan :

- 1) Pondasi
 - 2) Kerangka (*Structure*)
 - 3) Mekanik Penggerak
 - 4) Isolator support
 - 5) Ruang Pemutus
 - 6) 6a. Terminal Utama atas
6.b Terminal Utama bawah
 - 7) Lemari control local
 - 8) Pentanahan Grounding
 - 9) Pipa gas SF6 dan jalur kabel control
- c. Klasifikasi PMT berdasarkan media isolasi

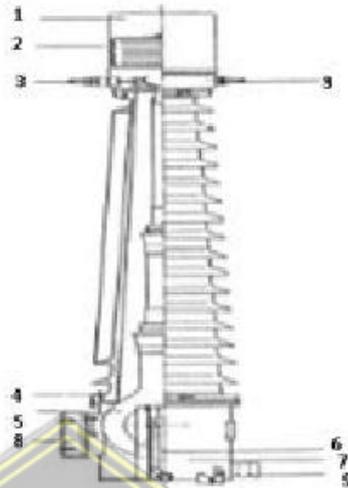
Jenis PMT media isolasi sebagai berikut :

- 1) PMT Minyak
 - 2) PMT Udara Hembus (Air Blast)
 - 3) PMT Hampa Udara (Vacuum)
 - 4) PMT Gas SF6.
2. Transformator ukur

Trafo merupakan peralatan statis dimana rangkaian magnetic dan belitan yang terdiri 2 atau lebih belitan, secara induksi elektromagnetik, mentransformasikan daya arus dan tegangan) sisitem AC ke sistem arus dan tegangan lain pada frekuensi yang sama. Transformator ukur ada 2 jenis yaitu Trafo ukur tegangan (PT) dan trafo ukur arus (CT)

a. Transformator arus (*Current Transformator*)

Merupakan peralatan yang digunakan dalam pengukuran besaran arus pada instalasi tenaga listrik disisi primer dengan mentransformasikan besaran arus tinggi tersebut ke amplitudo yang sesuai bagi peralatan proteksi ataupun pengukuran yang terhubung dengan transformator arus. Komponen pada trafo arus ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. Komponen Trafo Arus

Keterangan :

- 1) Bagian atas trafo arus (*transformator head*)
- 2) Peredam Perlawanan pemuaian minyak (*oil resisteant expansiaon bellows*)
- 3) Terminal utama (*Primary Terminal*)
- 4) Penjepit (*clamps*)
- 5) Inti kumparan dengan belitan berisolasi utama (*core and coil assembly with primary winding and main insulation*)
- 6) Inti dengan kumparan sekunder (*core with secondary windings*)
- 7) Tangki (*tanki*)
- 8) Tempat terminal (*terminal box*)
- 9) Plat untuk pentanahan (*earthing plate*) [7].

b. Transformator Tegangan

Transformator tegangan/Potensial transformator merupakan peralatan yang mentransformasi tegangan sistem yang lebih tinggi kesuatu tegangan sistem yang lebih rendah untuk peralatan indicator, meter/alat ukur dan relai, supaya peralatan proteksi dan pengukuran yang lebih aman, akurat dan teliti.

c. Baterai

Baterai merupakan salah satu sumber tegangan arus searah (DC) pada gardu induk yang memiliki peranan sangat penting maupun pusat pembangkit tenaga listrik.

Fungsi baterai :

1. Sumber tenaga alat control, pengawasasn, sinyal dan indicator.
2. Sumber tenaga untuk PMT, PMS, tap charging, dan trafo tenaga.
3. Sumber tenaga untuk penerangan darurat.
4. Sumber tenaga untuk relai proteksi.

2.2.6. Impedansi

Impedansi adalah ukuran sejauh mana rangkaian menghambat aliran listrik. Semua nbahan memiliki beberapa tingkat hambatan listrik yang menyebabkan beberapa energy akan hilang sebagai panas, dan mengurangi aliran arus, Pada arus bolak-balik (AC) ada factor yang kontribusi terhadap impedansi yakni meliputi, kapasitasi dan induktansi atau biasa dinamakan reaktansi yang merupakan ukuran dari hambatan terhadap perubahan arus yang tergantung pada frekuensi dan komponen sirkuit. Pada hambatan, reaktansi dan impedansi diukur dalam ohm. Dalam persamaan, impedansi biasanya diwakili oleh symbol Z , reaktansi oleh X . Reaktansi kapasitif dan reaktansi induktif masing-masing diwakili dengan X_C dan X_L . Demikian pula dengan hukum ohm untuk hambatan, impedansi dapat dinyatakan pada Persamaan (2.1).

$$Z=V/I \quad (2.1)$$

Dengan :

Z = Impedansi

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

Perhitungan impedansi saluran transmisi, perhitungannya tergantung dari besarnya impedansi per Km dari penyulang yang akan dihitung, besar nilainya tergantung terhadap jenis penghantarnya, yaitu dari bahan apa

penghantar itu dibuat, tergantung besar kecilnya penampang dan panjang saluran penghantarnya.

Impedansi saluran transmisi satuan per-unit pada persamaan 2.2 dan 2.3.

$$Z = P_s \times Z_{saluran} \quad (2.2)$$

Dengan :

P_s = Panjang Saluran

$Z_{saluran}$ = Impedansi per kilometer

$$Z = \frac{Z_{saluran}}{Z_{base}} \quad (2.3)$$

Dengan :

Z = Impedansi penyulang (pu)

Z_{base} = Impedansi dasar (ohm)

$Z_{saluran}$ = Impedansi Saluran (ohm)

Pada perhitungan setting relai jarak biasanya impedansi digunakan parameter pokok dalam perhitungan. Proses menghitung impedansi (Z) saluran transmisi terlebih menghitung resistansi saluran (R) dan reaktansi saluran (X). untuk nilai reaktansi bisa didapat dari 2 parameter yaitu nilai kapasitansi dan induktansi.

terdapat pada Persamaan (2.4) sampai dengan (2.6) .

$$Z = R + jX \quad (2.4)$$

$$Z = R + jXL + jXC \quad (2.5)$$

$$Z = R + jXL + jXC \quad (2.6)$$

dengan :

Z = Impedansi (Ohm)

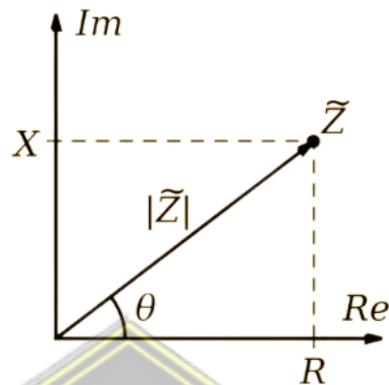
Z = Resistansi (Ohm)

Z_l = Reaktansi Induktif (Ohm)

Z_c = Reaktansi Kapasitif (Ohm) [7].

Operasi Bilangan kompleks Bentuk Polar dan Rectangular

Agar mendapatkan bilangan rectangular ke polar di tentukan dengan persamaan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6. Vektor $[Z]$

Agar sebuah vector dapat berguna, maka vector tersebut harus diekspresikan dalam bentuk aljabar. Vektor \hat{Z} pada Gambar 2.6 merupakan penjumlahan secara vektoris komponen R dan X . secara aljabar vector dituliskan pada persamaan 2.7 sampai dengan 2.8 [8].

$$\hat{Z} = R + jX \quad (2.7)$$

$$|Z_L| = \sqrt{R^2 + x^2} \quad (2.8)$$

Sudut arah diukur terhadap sumbu x positif dan sebagai argument Z

$$\text{Arg } Z = \theta = \text{Arc tan}\left(\frac{X}{R}\right) \quad (2.9)$$

$$= \text{Arc Sin}\left(\frac{R}{Z}\right) \quad (2.10)$$

$$\text{Arg } Z = \theta = \text{Arc cos}\left(\frac{X}{Z}\right) \quad (2.11)$$

2.2.7. Relay Jarak

Relai adalah sebuah alat yang bekerja membuka dan menutup secara otomatis dengan operasinya perlatan lain dibawah pengaturan elektrik.

Relay Proteksi adalah sebuah alat listrik yang bekerja secara otomatis medeteksi kadaan abnormal dalam rangkaian listrik dan memberikan sinyal ke CB untuk mengisolasi bagian yang terganggu biasanya relai cukup memberikan tanda berbentuk alarm atau nyala lampu sesuai penyetelan.

Distance Relay merupakan salah satu jenis relay relai proteksi yang digunakan sebagai pengaman pada saluran transmisi yang mampu menghilangkan gangguan (*fault clearing*) dengan cepat dan penyetelannya yang relative mudah [8].

Bagi tegangan dengan arus dari sambungan saluran dan menggunakan pengukuran tegangan dan arus untuk mendapatkan impedansi saluran yang harus diamankan. Jika impedansi yang terukur didalam batas settingnya, maka relai akan bekerja. Relai jarak bekerja tidak tergantung oleh besarnya arus gangguan yang terjadi, tetapi tergantung pada jarak gangguan yang terjadi pada relai proteksi karena impedansi pada saluran besarnya akan sebanding dengan panjang saluran. Relai jarak bekerja dengan mengukur nilai arus dan nilai tegangan pada suatu titik tertentu sehingga diperoleh nilai impedansinya ($Z=V/I$). Besaran impedansi (Z) transmisi dibagi menjadi beberapa daerah cakupan yaitu Zona-1, Zona-2, Zona-3, serta dilengkapi dengan teleproteksi (TP) sebagai upaya agar proteksi bekerja selalu cepat dan selektif didalam daerah pengaman. Karakteristik relai jarak seperti mho, quadrilateral, reaktans, adaptive mho dan lain-lain [9].

1. Prinsip Kerja Relai Jarak

Prinsip kerja relai jarak berdasarkan pada impedansi saluran transmisi, yang besarnya sebanding dengan saluran transmisi tersebut, prinsip pengukuran jaraknya dengan membandingkan arus gangguan yang dirasakan oleh relai terhadap tegangan dititik atau lokasi dimana relai terpasang, dengan membandingkan kedua besaran.

Rumus Perhitungan impedansi :

$$Z_f = \frac{V_f}{I_f} \quad (2.12)$$

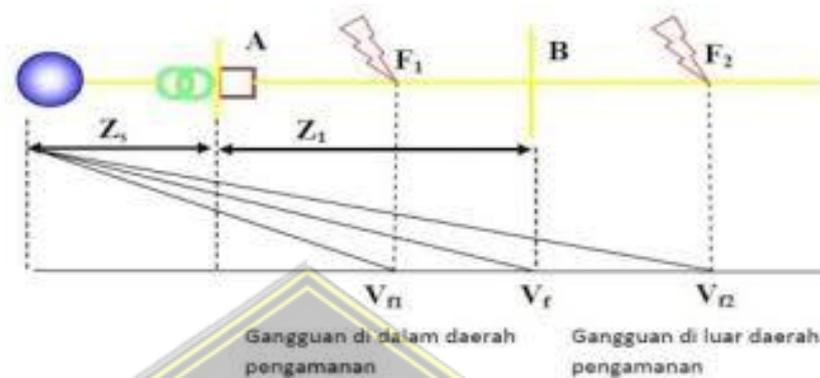
Dengan :

Z_f = Impedansi gangguan (ohm)

I_f = Arus gangguan (A)

V_f = Tegangan (V)

Rele jarak didesain bekerja jika impedansi yang dilihat oleh rele lebih kecil impedansi settingnya. Prinsip kerja jarak ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7. Prinsip kerja rele jarak terhadap adanya gangguan

Tegangan dan Arus gangguan di AB yang terukur oleh rele pada rumus (2.13) dan (2.14).

$$V_f = I_f Z_l \quad (2.13)$$

(2.7)

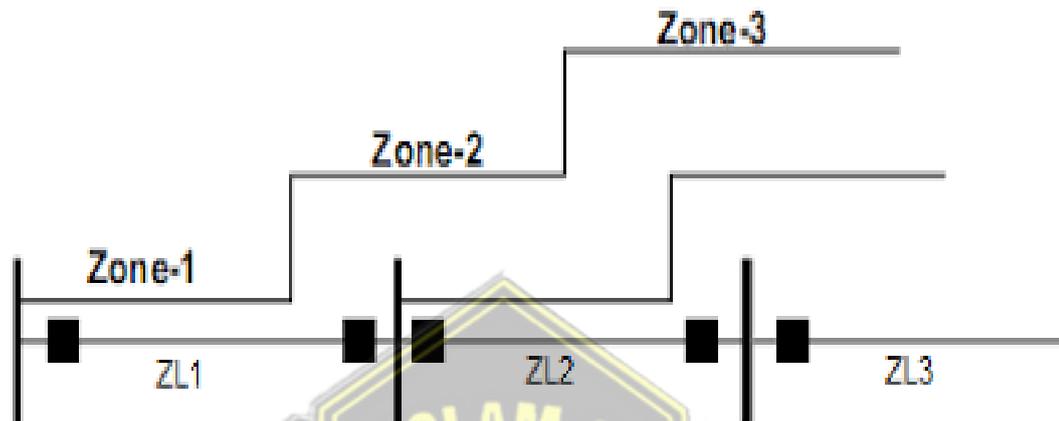
$$\frac{V_f}{I_f} = \frac{I_f Z_l}{I_f} = Z_l \quad (2.14)$$

2. Pola Relai Jarak

Daerah relai jarak dapat dikelompokkan dengan bekerja pada 3 zona dengan menunjuk pada jarak bus mulai dari local bus, bus yang dekat, dan bus bus yang jauh mendekati dengan konsumen. Penentuan zona sangat berguna untuk analisis serta pemasangan sistem proteksi terutama relai jarak. Relai jarak terdapat 4 pola yaitu dasar, PUTT (*Permissive Underreach Transfer Trip*), POTT (*Permissive Overreach transfer Trip*), dan menahan. Pola dasar tidak menggunakan PLC dan bekerja dominan pada zona 2. Pola PUTT bekerja dominan pada zona 1 dan menggunakan PLC (*Programmable Logic Controller*). Pola POTT bekerja pada zona 2 dan apabila terjadi kegagalan sistem maka

akan bekerja sebagai pola dasar. Pola menahan bekerja pada zona 3 dan membutuhkan penggunaan PLC[9].

Dapat ditunjukkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8. Pengkelompokan daerah zona relai jarak

3. Daerah Jangkauan Relai Jarak

a. Pengaturan Zona 1

Zona 1 relai jarak bekerja dengan menjangkau sekitar 80% dari panjang jaringan transmisi yang diamankan oleh relai jarak. relai pada zona 1 bekerja otomatis langsung tanpa ada perlambatan waktu. Menggunakan persamaan 2.15.

$$zona\ 1 = 0,8 \times ZL_1 \quad (2.15)$$

dimana ZL_1 yaitu impedansi pada saluran 1.

b. Pengaturan Zona 2

Zona relai jarak dengan memproteksi daerah yang tidak dijangkau zona 1 sekitar 50% ke saluran berikutnya. Waktu kerja relai pada zona 2 bekerja dengan perlambatan waktu sebesar 0,4 detik[10].

Terdapat pada persamaan (2.16) dan (2.17)

$$zona - 2\ zona = 0,8 \times ZL_1 \quad (2.16)$$

$$zona\ 2 - 2max = 0,8(ZL_1 + (0.8 ZL_2)) \quad (2.17)$$

dimana ZL_2 impedansi pada saluran 2.

c. Pengaturan Zona 3

Zona relai jarak bekerja memproteksi yang tidak terjangkau zona 2 dan dapat memproteksi 20% keseluruhan berikutnya. Waktu kerja relai pada zona 3 bekerja dengan pelambatan waktu sebesar 0,8 detik. Terdapat pada persamaan 2.18 dan 2.19.

$$\text{zona} - \text{zona3} = 1,2 \times (Zl_1 + Zl_3) \quad (2.18)$$

$$\text{zona 3} = 0,8 (Zl_1 + (Zl_2)) \quad (2.19)$$

Letak gangguan pada sistem transmisi dapat ditentukan dengan persamaan (2.20).

$$Z_{\text{relai}} = \frac{\text{jarak gangguan} \times Z_{L1}}{\frac{PT}{CT} \times L_1} \quad (2.20)$$

dengan :

Jarak gangguan = jarak antara relai dengan titik terjadinya gangguan (Km)

Zrelai = Impedansi yang dibaca relai/relai gangguan (ohm)

PT = Rasio Trafo Ukur tegangan

CT = Rasio trafo ukur arus

L_1 = Panjang saluran transmisi (Km)

Z_{L1} = Impedansi saluran transmisi (ohm) [8].

4. Penentuan zona perlindungan rele jarak

a. Perlindungan zona 1

Range proteksi dari zona 1 diatur untuk mengamankan 80% dari panjang saluran transmisi anatar titik A sampai B, pertimbangan kesalahan-kesalahan dari data saluran CT/PT dan peralatan lain sebesar 10%-20%, sehingga didapatkan persamaan (2.21) dan (2.22).

$$Z_{1p} = 0,8 \times Zl_1(\text{primer}) \quad (2.21)$$

$$Z_{1s} = Z_{1p} \times n(\text{sekunder}) \quad (2.22)$$

dengan :

Z_{L1p} = zona 1 primer(Ω)

Z_{1s} = zona 1 sekunder (Ω)

n = rasio CT/PT

Kerja rele pada zona 1, $t = 0$ detik tidak dilakukan penyetelan waktu.

b. Perlindungan zona 2

Daerah proteksi dari zona 2 melingkupi daerah diluar zona 1 dengan pertimbangan zona 2 harus menjangkau busbar didepan (bus B), mampu berfungsi sebagai rele cadangan jauh (back up) distance relay didepannya, tidak boleh over-reach dengan setelan Z2B distance relay didepannya, setelan zona 2 lebih kecil dari 50% impedansi trafo di GI didepannya, mempertimbangkan factor kesalahan Ct, PT dan rele proteksi [11].

$$Zona - 2_{min} = 1,2 \times Z_{L1} \quad (2.23)$$

$$Zona - 2_{mak} = 0,8(Z_{L1} \times 0,8Z_{L2}) \quad (2.24)$$

$$Zona - 2_{trf} = 0,8 \{Z_{L11} + (0,5 \times j X_{t1})\} \quad (2.25)$$

$$Z_{2b} = Z_{L1} \times 0,8Z_{L2} \quad (2.26)$$

Z_2 dipilih nilai terbesar

$$Z_{2P} = Z_{2maks1} \quad (2.27)$$

$$Z_{2S} = Z_{2P} \times n \quad (2.28)$$

Kemudian :

Z_{L1} = Impedansi saluran yang diamankan

Z_{L1} = impedansi saluran berikutnya yang terpendek

Z_{2P} = Zone-2 terbesar

Z_{2S} = Zone-2 untuk setting

Waktu kerja relai = 0.4 s/d 0.8 detik

c. Penyetelan zona 3

Prinsip penyetelan zona-3 adalah berdasarkan pertimbangan pada rumus (2.29) sampai dengan (2.31).

$$Zona\ 3_{min} = 1,2 (Z_{L1} + 0,8 Z_{L2}) \quad (2.29)$$

$$Zona\ 3_{maks} = 0,8 (Z_{L1} + 1,2 \cdot Z_{L2}) \quad (2.30)$$

$$Zona\ 3_{trafo} = 0,8 (Z_{L1} + 0,8 Z_{traf}) \quad (2.31)$$

Kemudian :

Z_{L1} = Impedansi saluran yang diamankan

Z_{L1} = Impedansi saluran berikutnya yang terpanjang

Waktu kerja relai $t_3 = 1.2$ s/d 1.6 detik.

Operasi Bilangan kompleks bentuk polar dan rectangular

Agar mendapatkan bilangan rectangular ke polar maka dengan persamaan (2.32) sampai dengan (2.33).

$$Z_l = R + X \quad (2.32)$$

$$[Z_L] = \sqrt{R^2 + X^2} \quad (2.33)$$

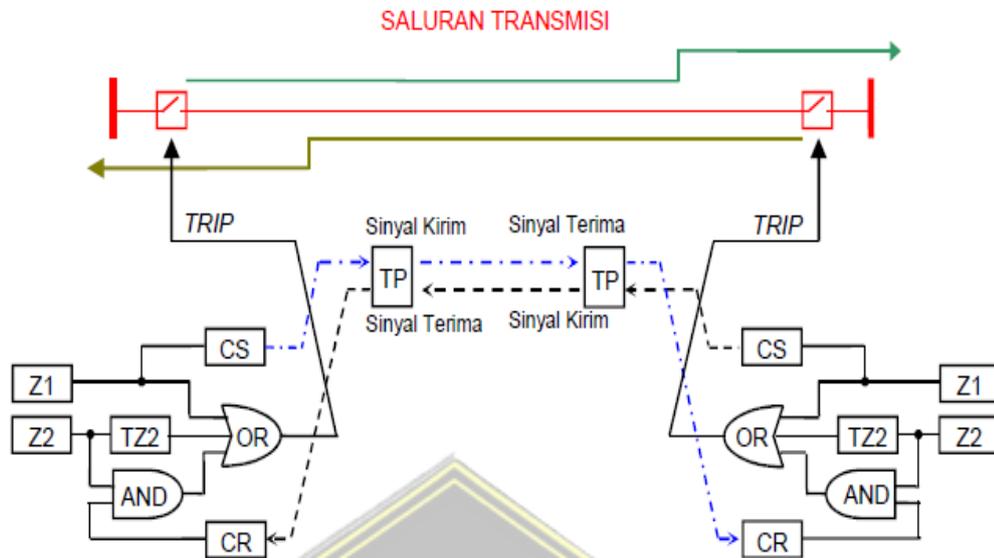
2.2.8. Teleproteksi

Teleproteksi adalah merupakan peralatan yang digunakan untuk mengirim dan menerima sinyal dari gardu induk antar satu gardu induk ke gardu induk yang lain baik itu didepannya atau setelahnya, untuk memberikan perintah trip seketika ketika mengalami gangguan. Pola teleproteksi yang umumnya digunakan sebagai berikut.

a. *Permissive Underreach Transfer Trip Scheme* (PUTT)

Pola ini peralatan akan mengirim sinyal (*carrier send*) ke peralatan TP pada gardu induk didepannya apabila distance relai mendeteksi gangguan pada zona 2 dan menerima sinyal TP, maka relai akan memberikan perintah trip waktu zona 1 [11].

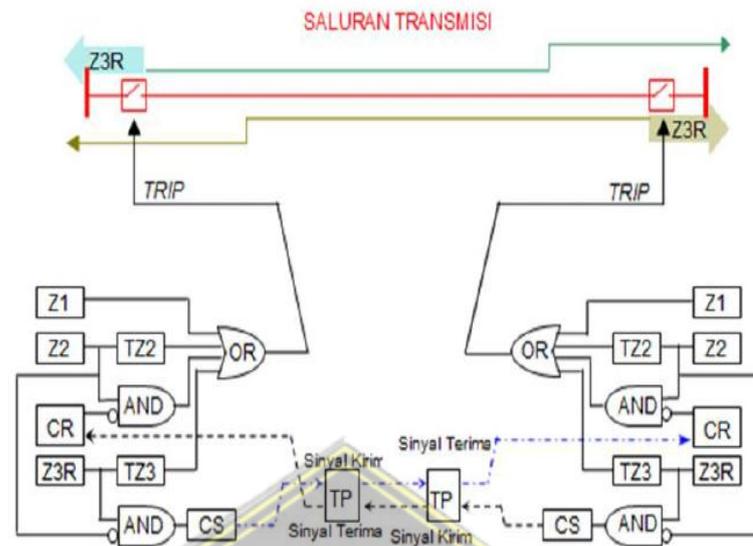
Rangkaian logika pola ini sebagaimana terlihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9. Rangkaian logika skema PUTT

b. *Block Scheme*

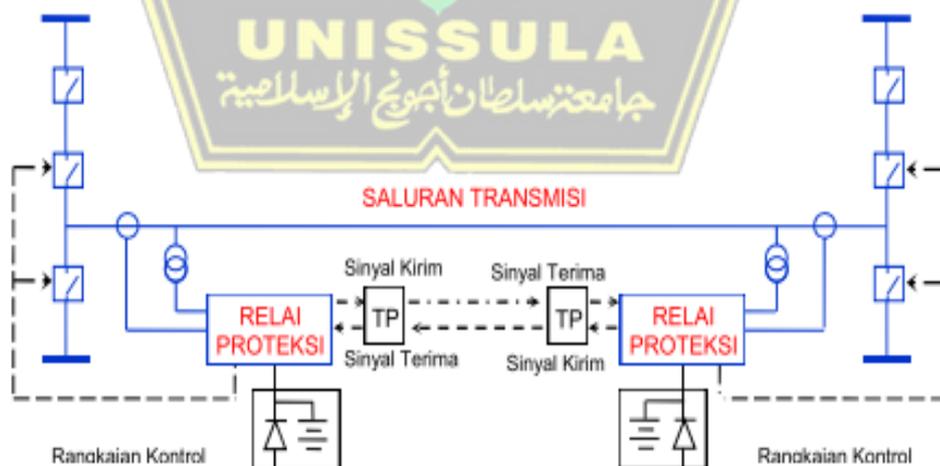
Pada pola ini peralatan TP akan mengirim sinyal ke peralatan TP pada gardu induk didepannya apabila distance relai mendeteksi gangguan pada daerah belakang (*reverse zone*). Pada gardu induk yang menerima sinyal, apabila distance relai mendeteksi gangguan pada daerah depan (*forward zone*) zona 2 maka relai akan memberikan perintah block (*blocking*). Apabila relai tidak menerima sinyal tapi terdeteksi adanya gangguan pada daerah depan (zona 2), maka akan memberikan perintah trip seketika, sebagaimana terlihat pada Gambar 2.10 [12].



Gambar 2.10. Rangkaian logika skema blocking

2.3. Sistem Proteksi Bay Pengantar

Sistem proteksi bay pengantar adalah suatu sistem yang berfungsi untuk mengamankan / mengisolir penghantar (saluran udara/saluran kabel) baik itu tegangan tinggi atau tegangan ekstra tinggi dari gangguan temporer dan gangguan permanen yang terjadi pada penghantar tersebut. Sistem proteksi penghantar dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11. TYPikal komponen sistem proteksi SUTET

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Model Penelitian

Proses penelitian tentang pengaruh perubahan impedansi terhadap setting relai jarak dengan menentukan lokasi penelitian terlebih dahulu, kemudian dilanjutkan dengan mengumpulkan data-data yang terdiri dari data primer yang langsung didapatkan dari sumber bersangkutan dengan penelitian ini yaitu Gardu Induk Tegangan Tinggi (GITT) Kudus, Jekulo dan Pati atau Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi (GITET) Ungaran 500 KV dan Data-data sekunder yang didapatkan dari jurnal, buku dan penelitian dari orang lain yang berhubungan dengan relai jarak, kemudian menentukan tahapan dan prosedur penelitian dan dilanjutkan sampai dengan analisis dan kesimpulan.

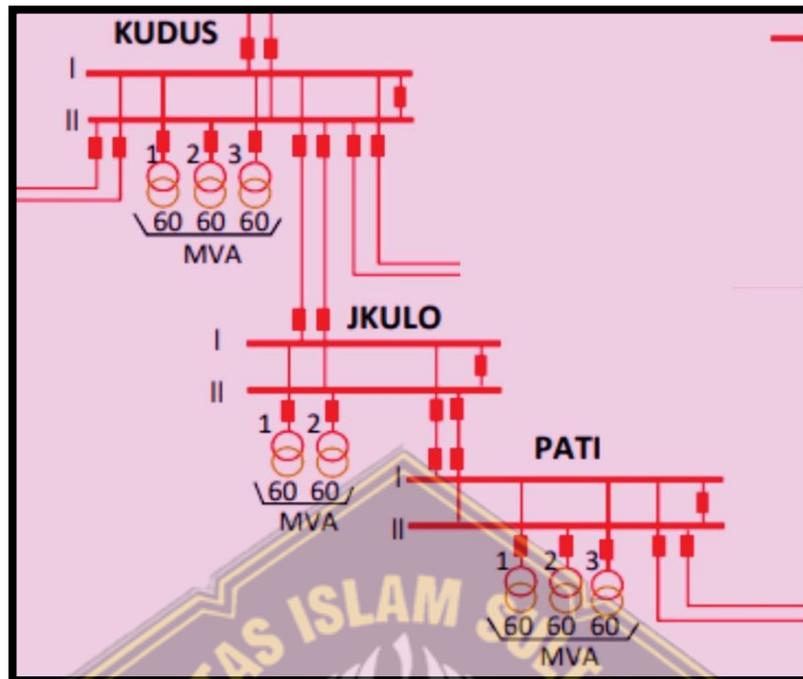
Model Penelitian merupakan gambaran skema pemodelan pada Gardu Induk Kudus, Jekulo dan Pati yang digunakan sebagai acuan dalam melakukan perhitungan maupun mencari nilai-nilai yang telah ditentukan.

Penentuan skema pemodelan ditunjukkan pada Gambar 3.1



Gambar 3.1. Pemodelan Jarak Gardu Induk

Single line diagram Gardu induk Kudus sampai dengan Pati ditunjukkan pada Gambar 3.1.

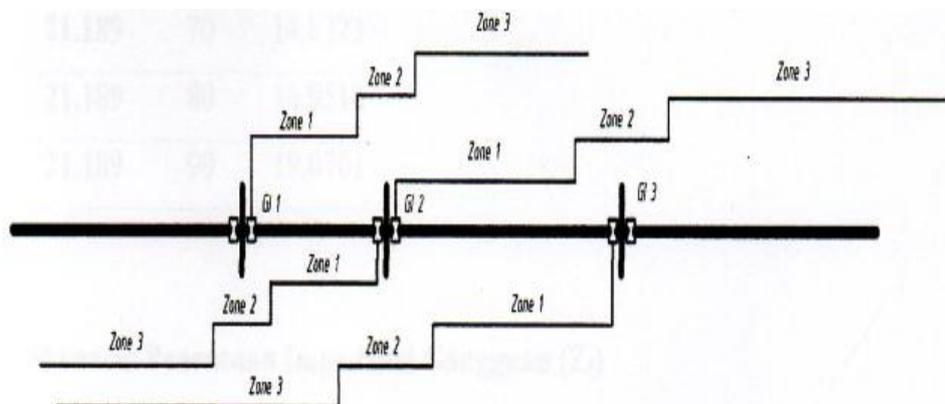


Gambar 3.2. Single line diagram Gardu Induk Pati

3.2. Lokasi dan Obyek Penelitian

Pada penelitian ini mengambil lokasi dan objek penelitian di Gardu induk Kudus, Gardu induk jekulo dan Gardu induk Pati. Lokasi tersebut dipilih karena merujuk pada data primer yang ada dan juga jarang banget langsung melakukan penelitian merujuk langsung 3 titik.

Lokasi dan objek lokasi penelitian dilakukan pada Gardu Induk untuk memastikan kondisi jalur yang berhubungan 3 titik tersebut, data-data yang bersangkutan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3. Daerah transmisi gardu induk 150 kV yang dianalisis

3.3. Lokasi Gardu Induk

Lokasi penelitian yang akan dilakukan analisa yaitu Gardu Induk Kudus, Gardu Induk Jekulo

3.3.1 Lokasi Gardu Induk 150 KV Kudus

Lokasi gardu Induk Kudus berada di Jl. Raya Demak-Kudus No.160, JatimaKmur, Jati Wetan, Kec.Jati, Kabupaten Kudus, Jawa Tengah 59346.

3.3.2 Lokasi Gardu Induk Jekulo

Lokasi Gardu Induk Jekulo berada Jl. Raya Pati-Kudus, Pikon,Tenggeles, Kec.Mejobo, Kabupaten Kudus, Jawa Tengah 59381

3.3.3 Lokasi Gardu Induk Pati

Lokasi Gardu Induk Pati berada di Jl. Raya Pati, Mustoharjo, Kec.Pati, Kabupaten Pati, Jawa Tengah 59117.

3.4. Alat dan Peralatan

3.4.1.PC

PC/Laptop digunakan sebagai media penyusunan dan perhitungan Laporan Tugas Akhir.

3.4.2.Alat Ukur relai

Alat ukur relai digunakan untuk mengukur tegangan pada titik relai dan arus gangguan yang terlihat dari relai, dengan membagi besaran tegangan dan arus, maka impedansi sampai titik terjadinya gangguan dapat ditentukan.

3.4.3.Pemodelan perhitungan relai jarak existing

Pemodelan perhitungan nilai impedansi saluran transmisi dan jarak gangguan digunakan untuk memperbaiki pengaturan relai jarak dan saluran transmisi yang diamankan pada GI Kudus, GI Jekulo dan GI Pati yang digunakan sebagai acuan dalam menghitung nilai-nilai maupun variable.

3.4.4.Kabel Penghantar saluran Transmisi Gardu Induk

Bagian ini untuk mengetahui data-data terkait jaringan transmisi yang meliputi Data Rasio CT dan PT, Panjang Saluran Transmisi dan kabel Penghantar ACSR.

3.5. Teknik Analisis Data

Teknik analisis data meliputi beberapa hal yang perlu dilakukan, seperti berikut. Data yang diperlukan dalam kebutuhan penyusunan tugas akhir ini meliputi data primer dan data sekunder.

3.5.1. Sumber data primer

Sumber data primer yaitu pengamatan secara langsung dan wawancara (Presentasi) atau Tanya jawab dengan manager engineering dan bagian teknisi GITT 150 KV dan GITET 500 KV Ungaran yang berhubungan dengan permasalahan pada obyek yang dijadikan studi kasus.

1. Rasio CT dan PT

Transmisi GI Kudus - GI Jekulo

CT (Transformator Arus) = 1000 : 1

PT (transformator Tegangan) = 1500 : 100

Transmisi GI Jekulo – GI Pati

CT (Transformator Arus) = 3000 : 1

PT (transformator Tegangan) = 1500 : 100

2. Data parameter transformator daya

Tabel 3.1. Setting Aktual

Lokasi GI	Arah>Nama Bay	Rele	Z1	Z2	Z3	T _{z1}	T _{z2}	T _{z3}
Kudus	Jekulo	Distance	3,75	9,57	17,2	0,4	1000	1800
Jekulo	Pati	Distance	9,83	19,83	29,49	0	400	1600

Tabel 3.2. Data Trafo

Lokasi GI	Arah>Nama Bay	Merk	Vektor Grop	Impedansi (%)	Tahun Operasi
Kudus	Trafo 1 150 kV/20 kV-60 MVA		Ynyn0(d)	12,5	2017
	Trafo 1 150 kV/20 kV-60 MVA		Ynyn0(d)	13,12	2017
	Trafo 1 150 kV/20 kV-60 MVA		Ynyn0(d)	13,45	2017
Jekulo	Trafo 1 150 kV/20 kV-60	ELIN	Ynyn0(d)	13,55	2017

	MVA				
	Trafo 1 150 kv/20 kv-60 MVA	B&D	Ynyn0(d)	11,85	2017
Pati	Trafo 2 150 kV/20 kV-60 MVA	UNIND O	Ynyn0(d)	12,12	2014
	Trafo 2 150 kV/20 kV-60 MVA	UNIND O	Ynyn0(d)	12,4	2017
	Trafo 3 150 kV/20 kV-60 MVA	PAUWE LS	Ynyn0(d)	11,99	2017

Tabel 3.3. Data penghantar GI Kudus Bay Jekulo

ITEM	URAIAN	SATUAN
Tipe Konduktor	TACSR	-
Luas Penampang	2x410	Mm^2
Impedansi	0,0433+j0,687	Ω/Km
Kapasitas Arus	659	A
Panjang Penghantar	16.350	Km
Tower	65	A

Tabel 3.4. Data penghantar GI Jekulo Bay Pati

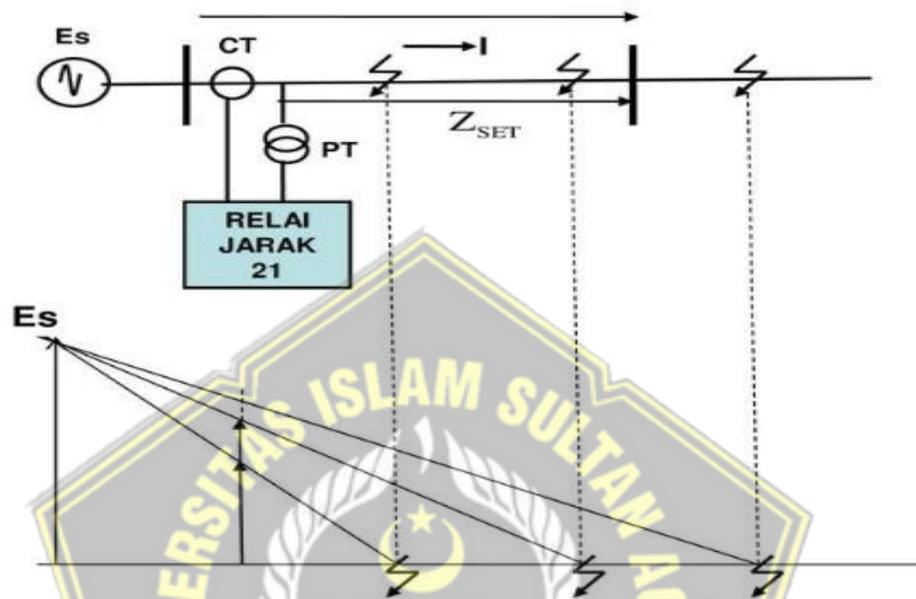
Item	Uraian	Satuan
Tipe Konduktor	TACSR	-
Luas Penampang	2x410	Mm^2
Impedansi	0,0633+j0,2581	Ω/Km
Kapasitas Arus	2750	A
Panjang Penghantar	21.550	Km
Tower	65	-

3.5.2. Sumber data sekunder

Sumber data sekunder yaitu data-data yang diperoleh dari jurnal, buku dan internet yang digunakan sebagai acuan atau frekuensi dalam menyusun laporan tugas akhir ini.

3.6. Tahap Pengukuran

Tahap ini untuk mengukur tegangan pada titik relai dan arus gangguan yang terlihat dari relai, dengan membagi besaran tegangan dan arus, maka impedansi sampai titik terjadinya gangguan dapat ditentukan dilihat pada Gambar 3.4.



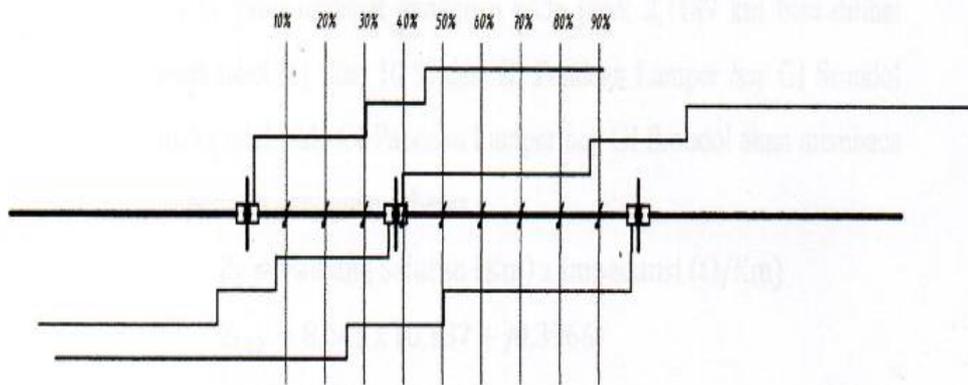
Gambar 3.4. Prinsip pengukuran jarak/impedansi

3.7. Skenario Gangguan dengan Pengaturan Aktual

Skenario gangguan dengan menggunakan data pengaturan actual yang langsung didapatkan dari GITET 500 KV ungaran, kemudian data pengaturan tersebut akan diskenariokan dengan jarak yang telah ditentukan dan selanjutnya akan dianalisis bagaimana pengaruh impedansi terhadap relai jarak dan saluran berhubungan.

Skenario gangguan yang akan dianalisis dengan presentase 10%-90% mulai dari total panjang saluran.

Skenario relai jarak terlihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5. Skenario Relai jarak

3.8. Tahap Penelitian dalam menganalisis data

Beberapa tahap dalam menganalisis data sebagai berikut :

1. Menghitung nilai impedansi saluran transmisi dalam bentuk ohm per Km.
2. Memasukan nilai pengaturan actual impedansi dan waktu kerja relai jarak.
3. Menentukan zona proteksi yang baru (zona 1, zona 2, dan zona 3) dari relai jarak berdasarkan perhitungan
4. Menghitung pengaturan baru impedansi dan waktu kerja relai jarak pada GI Kudus, GI Jekulo dan GI Pati.
5. Menganalisis Koordinasi relai jarak pada tiap-tiap gangguan
6. Menganalisis perbandingan nilai pengaturan actual dengan pengaturan yang baru.

3.9. Tahap Penelitian dalam Menganalisis Data

Proses tsahap dalam menganalisis data sebagai berikut :

1. Menghitung nilai impedansi saluran transmisi dalam bentuk ohm per Km.
2. Menghitung pengaturan baru impedansi dan waktu kerja dari relai jarak pada GI Kudus, GI Jekulo dan GI Pati.
3. Memasukan nilai pengaturan actual impedansi dan waktu kerja relai jarak.
4. Menentukan zona proteksi yang baru disetiap zona dari relai jarak bedasarkan perhitungan.
5. Menganalisis perubahan impedansi terhadap relai jarak pada setiap gangguan yang terjadi.

6. Menganalisis perbandingan nilai pengaturan actual dengan pengaturan yang baru.

3.10. Tahap Perhitungan

Tahap Perhitungan nilai setting relai jarak sebagai berikut :

1. Menghitung impedansi total saluran transmisi.
2. Menghitung rasio antara CT dan PT.
3. Menghitung nilai impedansi masing-masing zona.
4. Menghitung arus dan tegangan gangguan.
5. Menghitung jarak gangguan.



3.11. Prosedur/ Tahap Penelitian



Gambar 3.6. *Flowchart* Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PERHITUNGAN

4.1. Hasil Penelitian

Merujuk pada model penelitian sesuai gambar 3.1 dan 3.2 *single line* diagram pada daerah yang akan dilakukan penelitian maka nilai impedansi *setting* pada zona 1, zona 2, dan zona 3, kemudian melakukan perhitungan untuk melihat letak gangguan yang terjadi pada area sistem transmisi yang dilindungi.

Kebutuhan data-data yang diperlukan untuk menentukan pengaturan impedansi pada setiap Gardu Induk.

Tabel 4.1 Data Transmisi Gardu Induk

Lokasi Saluran	Gardu Induk Kudus	Gardu Induk Jekulo
Nilai Area	bay jekulo	bay Pati
Panjang Saluran	16,35 Km	21,55 Km
Impedansi	$0,0433 + j0,687 \Omega$	$0,0633 + j0,2581 \Omega$
Rasio CT	1000:1	3000 : 1
Rasio PT	1500:100	1500 : 100

4.2. Perhitungan Nilai Impedansi Saluran

Nilai impedansi panjang saluran transmisi dapat dihitung dengan cara sebagai berikut:

4.2.1. Gardu Induk Kudus – Gardu Induk Jekulo

Impedansi saluran pada Gardu Induk Kudus-Gardu Induk Jekulo bertujuan untuk mengetahui zona kerja dari relai jarak. Impedansi saluran yang didapatkan berdasarkan panjang saluran GI Kudus-GI Jekulo dan Impedansi per kilometer pada penghantar yang digunakan impedansi saluran GI Kudus-Jekulo berdasarkan persamaan 2.2, 2.8, dan 2.11.

$$Z_L = 0,0433 + j0,687$$

$$|Z_L| = \sqrt{R^2 + x^2}$$

$$|Z_L| = \sqrt{0,0433^2 + 0,687^2}$$

$$|Z_L| = 0,5153$$

$$a\cos = \frac{R}{|Z_L|}$$

$$a\cos = \frac{0,0433}{0,5153} = 85,18^0$$

$$ZL_1 = \text{Panjang saluran} \times Z \text{ Saluran per Km}$$

$$ZL_1 = 16,35 \times 0,0433 + j0,687$$

$$ZL_1 = 16,35 \times 0,5153$$

$$= 8,425 \Omega/\text{Km}$$

$$ZL_1 = 8,425 < 85,18^0$$

4.2.2. Gardu Induk Jekulo – Gardu Induk Pati

Impedansi saluran pada Gardu Induk Jekulo-Gardu Induk Pati bertujuan untuk mengetahui zona kerja dari relai jarak. Impedansi saluran yang didapatkan berdasarkan panjang saluran GI Jekulo - GI Pati dan Impedansi per kilometer pada penghantar yang digunakan impedansi saluran GI Jekulo-Pati berdasarkan persamaan.

$$Z_L = 0,0633 + j0,2581$$

$$|Z_L| = \sqrt{R^2 + x^2}$$

$$|Z_L| = \sqrt{0,0633^2 + 0,2581^2}$$

$$|Z_L| = 0,2647$$

$$a\cos = \frac{R}{|Z_L|}$$

$$a\cos = \frac{0,0633}{0,2647} = 76,16^0$$

$$ZL_2 = \text{Panjang saluran} \times Z \text{ Saluran per Km}$$

$$ZL_2 = 21,55 \times 0,0633 + j0,2581$$

$$ZL_2 = 21,55 \times 0,2647$$

$$= 5,704 \Omega/\text{Km}$$

$$ZL_2 = 5,704 < 76,16^0$$

4.2.3. Panjang Saluran GI Kudus-GI Jekulo-GI Pati

Impedansi saluran pada Gardu Induk Kudus-Gardu Induk Pati bertujuan untuk mengetahui zona kerja dari relai jarak. Impedansi saluran yang didapatkan berdasarkan panjang saluran GI Kudus-GI Pati dan Impedansi per kilometer pada penghantar yang digunakan impedansi saluran Kudus-Jekulo-Pati berdasarkan persamaan.

$$P_s = P_s (\text{Kudus bay Jekulo} + \text{Jekulo bay Pati})$$

$$P_s = (16,35 + 21,55)$$

$$P_s = 37,9 \text{ Km}$$

Perhitungan Jarak Impedansi GI Kudus-GI Jekulo-GI Pati.

$$Z_L = Z_{L1} + Z_{L2}$$

$$Z_L = (0,0433 + j0,687) + (0,0633 + j0,258)$$

$$Z_L = 0,1066 + j0,945 \Omega$$

Perhitungan Impedansi Perkilometer

$$Z_L = 0,1066 + j0,945$$

$$|Z_L| = \sqrt{R^2 + X^2}$$

$$|Z_L| = \sqrt{0,1066^2 + 0,945^2}$$

$$|Z_L| = \sqrt{0,904}$$

$$|Z_L| = 0,951$$

$$\alpha \cos = \frac{R}{|Z_L|}$$

$$\alpha \cos = \frac{0,1066}{0,951} = 83,56^0$$

$$Z_L = \text{Panjang saluran} \times Z \text{ Saluran per Km}$$

$$Z_L = 37,9 \times 0,1066 + j0,945$$

$$Z_L = 37,9 \times 0,951$$

$$= 38,851 \Omega/\text{Km}$$

$$Z_L = 38,851 < 83,56^0$$

4.3. Perhitungan Pengaturan Zona Relai Jarak

Perhitungan nilai impedansi masing-masing zona pada Gardu Induk Kudus-Jekulo-Pati dengan proses perhitungan sebagai berikut :

4.3.1. Gardu Induk Kudus – Gardu Induk Jekulo

1. Zona 1 Relai Jarak

$$Z_1 = 0,8 \times ZL_1$$

$$Z_1 = 0,8 \times (0,0433 + j0,687)$$

$$Z_1 = 0.0346 + j0.549 \Omega$$

$$|Z_L| = \sqrt{R^2 + x^2}$$

$$|Z_L| = \sqrt{0.0346^2 + 0.549^2}$$

$$|Z_L| = 0.55$$

$$\text{aCos} = \frac{R}{|Z_L|}$$

$$\text{aCos} = \frac{0,0346}{0,55}$$

$$\text{aCos} = 86,39^0$$

$$Z_1 = \text{Panjang saluran (Km)} \times \text{Impedansi } (\Omega/\text{Km})$$

$$= 16,35 \times 0,55$$

$$= 8,992 < 86,39^0 \Omega$$

Dengan jangkauan perlindungan zona 1 adalah $0,8 \times 16,35 \text{ Km} = 13,08 \text{ Km}$. zona 1 menggunakan waktu kerja yang instan karena sebagai pengaman utama $t = 0$ detik.

2. Zona 2 Relai Jarak

$$Z_2 = 0,8 (ZL_1 + (0,8 \times ZL_2))$$

$$Z_2 = 0,8 (0,0433 + j0,687) + (0,8(0,063 + j0,258))$$

$$Z_2 = 0,8 (0.0433 + j0,687 + 0,0509 + j0,206)$$

$$Z_2 = 0,8 (0.0939 + j0,893)$$

$$Z_2 = 0,0751 + j0,7168 \Omega$$

$$|Z_2| = \sqrt{R^2 + x^2}$$

$$|Z_2| = \sqrt{0,0751^2 + 0,7168^2}$$

$$|Z_2| = 0,72$$

$$a\cos = \frac{R}{|Z_L|}$$

$$a\cos = \frac{0,0751}{0,72}$$

$$a\cos = 84,01^0$$

$$Z_2 = \text{Panjang saluran (Km)} \times \text{Impedansi } (\Omega/\text{Km})$$

$$= 16,35 \times 0,72$$

$$= 11,77 < 84,01^0$$

Deangan jangkauan perlindungan zona 2 adalah $0,8 \times (16,35 \text{ Km} + (0,8 \times 21,55 \text{ Km})) = 26,872 \text{ Km}$. Zona 2 menggunakan waktu kerja lebih lama dari pada zona 1 yaitu $t = 0,4 \text{ s}$.

3. Zona 3 Relai Jarak

$$Z_3 = 1,6 (Z_{L1} + Z_{L2})$$

$$Z_3 = 1,6 (0,0433 + j0,687 + 0,0633 + j0,2581)$$

$$Z_3 = 1,6 (0,1066 + j0,9451)$$

$$Z_3 = 0,1706 + j1,512 \Omega$$

$$|Z_3| = \sqrt{0,1706^2 + 1,512^2}$$

$$|Z_3| = 1,5216$$

$$a\cos = \frac{R}{|Z_3|}$$

$$a\cos = \frac{0,1708}{1,5216}$$

$$a\cos = 83,55^0$$

$$Z_3 = \text{Panjang saluran (Km)} \times \text{Impedansi } (\Omega/\text{Km})$$

$$Z_3 = 16,35 \times 1,5216$$

$$Z_3 = 24,88 < 83,55^0$$

Dengan jangkauan perlindungan zona 3 adalah $1,6 \times (16,35 + 21,55) = 60,64 \text{ Km}$. Waktu kerja pada zona 3 dengan mempertimbangkan panjang perlindungan yang lebih dari zona 1 dan zona 2, maka setting zona 3 yaitu $= 1,6 \text{ s}$.

4.3.2. Gardu Induk Jekulo-Gardu Induk Pati

1. Zona 1 Relai Jarak

$$Z_1 = 0,8 \times ZL_2$$

$$Z_1 = 0,8 \times (0,0633 + j0,687)$$

$$Z_1 = 0.0506 + j0.549 \Omega$$

$$|Z_L| = \sqrt{R^2 + x^2}$$

$$|Z_L| = \sqrt{0.0506^2 + 0.549^2}$$

$$|Z_L| = 0.55$$

$$a\cos = \frac{R}{|Z_L|}$$

$$a\cos = \frac{0,0506}{0.55}$$

$$a\cos = 84,72^0$$

$$Z_1 = \text{Panjang saluran (Km)} \times \text{Impedansi } (\Omega/\text{Km})$$

$$= 21,55 \times 0,55$$

$$= 11,852 < 83,39^0 \Omega$$

Dengan jangkauan perlindungan zona 1 adalah $0,8 \times 21,55 \text{ Km} = 17,24 \text{ Km}$. zona 1 menggunakan waktu kerja yang instan karena sebagai pengaman utama $t = 0$ detik.

2. Zona 2 Relai Jarak

$$Z_2 = 0,8 (ZL_2 + (0,8 \times ZL_1))$$

$$Z_2 = 0,8 (0,0633 + j0,258) + (0,8(0,0433 + j0,687))$$

$$Z_2 = 0,8 (0.0433 + j0,687 + 0,0346 + j0,549)$$

$$Z_2 = 0,8 (0.0779 + j1,236)$$

$$Z_2 = 0,0623 + j0,989 \Omega$$

$$|Z_2| = \sqrt{R^2 + x^2}$$

$$|Z_2| = \sqrt{0,0623^2 + 0,989^2}$$

$$|Z_2| = 0,99$$

$$a\cos = \frac{R}{|Z_L|}$$

$$a\cos = \frac{0,0623}{0,99}$$

$$a\cos = 86,39^{\circ}$$

$$Z_2 = \text{Panjang saluran (Km)} \times \text{Impedansi } (\Omega/\text{Km})$$

$$= 21,55 \times 0,99$$

$$= 21,33 < 84,01^{\circ}\Omega$$

Deengan jangkauan perlindungan zona 2 adalah $0,8 \times (21,55 \text{ Km} + (0,8 \times 16,35 \text{ Km})) = 27,704 \text{ Km}$. Zona 2 menggunakan waktu kerja lebih lama dari pada zona 1 yaitu $t = 0,4 \text{ s}$.

3. Zona 3 Relai Jarak

$$Z_3 = 1,6 (ZL_2 + ZL_1)$$

$$Z_3 = 1,6 (+0,0633 + j0,2581 + 0,0433 + j0,687)$$

$$Z_3 = 1,6 (0,1066 + j0,9451)$$

$$Z_3 = 0,1706 + j1,512 \Omega$$

$$|Z_3| = \sqrt{0,1706^2 + 1,512}$$

$$|Z_3| = 1,5216$$

$$a\cos = \frac{R}{|Z_3|}$$

$$a\cos = \frac{0,1708}{1,5216}$$

$$a\cos = 83,55^{\circ}$$

$$Z_3 = \text{Panjang saluran (Km)} \times \text{Impedansi } (\Omega/\text{Km})$$

$$Z_3 = 21,55 \times 1,5216$$

$$Z_3 = 32,79 < 83,55^{\circ}\Omega$$

Dengan jangkauan perlindungan zona 3 adalah $1,6 \times (16,35 + 21,55) = 60,64 \text{ Km}$. Waktu kerja pada zona 3 dengan mempertimbangkan panjang perlindungan yang lebih dari zona 1 dan zona 2, maka setting zona 3 yaitu $1,6 \text{ s}$.

4.4. Impedansi Yang Dilihat Relay

4.4.1. Impedansi GI Kudus-GI Jekulo

$$\eta = \frac{CT}{PT}$$

$$\eta = \frac{1000/1}{1500/100}$$

$$\eta = 0,66$$

Maka, Nilai Perhitungan

Perlindungan zona 1 yang dilihat relai adalah

$$\begin{aligned} Z_1 \text{ sekunder} &= \eta \times Z_1 \\ &= 0,66 \times 13,08 \\ &= 8,632 \Omega \end{aligned}$$

Perlindungan zona 2 yang dilihat relai adalah

$$\begin{aligned} Z_2 \text{ sekunder} &= \eta \times Z_2 \\ &= 0,66 \times 26,87 \\ &= 17,73 \Omega \end{aligned}$$

Perlindungan zona 3 yang dilihat relai adalah

$$\begin{aligned} Z_3 \text{ sekunder} &= \eta \times Z_3 \\ &= 0,66 \times 60,64 \\ &= 40,02 \Omega \end{aligned}$$

4.4.2. GI Jekulo-GI Pati

$$\eta = \frac{CT}{PT}$$

$$\eta = \frac{3000/1}{1500/100}$$

$$\eta = 2$$

Maka, Nilai perhitungan

Perlindungan zona 1 yang dilihat relai adalah

$$\begin{aligned} Z_1 \text{ sekunder} &= \eta \times Z_1 \\ &= 2 \times 17,24 \\ &= 34,48 \end{aligned}$$

Perlindungan zona 2 yang dilihat relai adalah

$$\begin{aligned}
 Z_2 \text{ sekunder} &= \eta \times Z_2 \\
 &= 2 \times 27,9 \\
 &= 55,8
 \end{aligned}$$

Perlindungan zona 3 yang dilihat relai adalah

$$\begin{aligned}
 Z_3 \text{ sekunder} &= \eta \times Z_3 \\
 &= 2 \times 60,64 \\
 &= 121,28 \Omega
 \end{aligned}$$

4.5. Menentukan Jarak Gangguan

Berdasarkan Nilai Impedansi gangguan yang terbaca oleh relai jarak, apabila terjadi gangguan disepanjang saluran maka letak gangguan itu bias diketahui melalui *Zone Protection* yang ada pada perhitungan. Berikut ini skenario gangguan yang akan dianalisis yaitu dengan presentase jarak gangguan 10% - 90% dari total panjang saluran yang terlihat pada table 4.1.

Tabel 4.2. Skenario Jarak yang Telah Ditentukan

No.	Presentase (%)	Jarak Gangguan (Km) GI Kudus – GI Jekulo	Jarak Gangguan (KM) GI Jekulo – GI Pati
1.	10	1,635	2,155
2.	20	3,27	4,31
3.	30	4,905	6,465
4.	40	6,54	8,62
5.	50	8,175	10,775
6.	60	9,81	12,93
7.	70	11,445	15,085
8.	80	13,08	17,24

4.6. Skenario Penentuan Impedansi Jarak Gangguan (Z_f)

Pada hal ini akan dilakukan proses perhitungan scenario gangguan dengan jarak gangguan dari 10% sampai dengan 90% untuk mengetahui unjuk kerja dari relai jarak ketika terjadi gangguan pada jarak yang telah ditentukan.

Berdasarkan nilai impedansi gangguan yang terbaca oleh relai jarak, apabila terjadi gangguan disepanjang saluran maka letak gangguan itu biasa diketahui melalui *zone protection* yang ada, melalui itu juga perlunya dilakukan skenario

untuk mendapatkan hasil maksimal disetiap gangguan yang terjadi, menggunakan persamaan 2.2, 2,8 dan 2.20.

4.6.1. Skenario GI Kudus-GI Jekulo

- a. Skenario jarak gangguan 10% terdapat pada nilai jarak sebesar 1.635 Km

$$Z_L = 0,0433 + J0,687$$

$$\begin{aligned} |Z_L| &= \sqrt{R^2 + x^2} \\ &= \sqrt{0,0433^2 + 0,687^2} \end{aligned}$$

$$|Z_L| = 0,6883$$

$$\begin{aligned} \text{aCos} &= \frac{R}{|Z_L|} \\ &= \frac{0,0433}{0,6883} = 86,39^0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_L &= \text{Panjang saluran (Km)} \times \text{Impedansi } (\Omega/\text{Km}) \\ &= 16,35 \times 0,6883 \\ &= 1,125 < 86,39^0 \end{aligned}$$

$$Z_{\text{relai}} = \frac{\text{Jarak Gangguan} \times Z_{L1}}{\frac{PT}{CT} \times L_1}$$

$$Z_{\text{relai}} = \frac{1,635 \times 1,125}{\frac{1,500}{1000} \times 16,35}$$

$$Z_{\text{relai}} = 0,075 \Omega$$

- b. Skenario jarak gangguan 20% terdapat pada nilai jarak sebesar 3,27 Km

$$Z_L = 0,0433 + J0,687$$

$$\begin{aligned} |Z_L| &= \sqrt{R^2 + x^2} \\ &= \sqrt{0,0433^2 + 0,687^2} \end{aligned}$$

$$|Z_L| = 0,6883$$

$$\begin{aligned} \text{aCos} &= \frac{R}{|Z_L|} \\ &= \frac{0,0433}{0,6883} = 86,39^0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Z_L &= \text{Panjang saluran (Km)} \times \text{Impedansi } (\Omega/\text{Km}) \\
 &= 3,27 \times 0,6883 \\
 &= 2,250 < 86,39^0
 \end{aligned}$$

$$Z_{\text{relai}} = \frac{\text{Jarak Gangguan} \times Z_{L1}}{\frac{PT}{CT} \times L_1}$$

$$Z_{\text{relai}} = \frac{3,27 \times 2,250}{\frac{1,500}{1000} \times 16,35}$$

$$Z_{\text{relai}} = 0,3 \Omega$$

- c. Skenario Jarak gangguan 30 % terdapat pada nilai jarak sebesar 4,905 Km

$$Z_L = 0,0433 + j0,687$$

$$\begin{aligned}
 |Z_L| &= \sqrt{R^2 + x^2} \\
 &= \sqrt{0,0433^2 + 0,687^2}
 \end{aligned}$$

$$|Z_L| = 0,6883$$

$$\begin{aligned}
 a \cos &= \frac{R}{|Z_L|} \\
 &= \frac{0,0433}{0,6883} = 86,39^0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Z_L &= \text{Panjang saluran (Km)} \times \text{Impedansi } (\Omega/\text{Km}) \\
 &= 4,905 \times 0,6883 \\
 &= 3,3761 < 86,39^0
 \end{aligned}$$

$$Z_{\text{relai}} = \frac{\text{Jarak Gangguan} \times Z_{L1}}{\frac{PT}{CT} \times L_1}$$

$$Z_{\text{relai}} = \frac{4,905 \times 3,3761}{\frac{1,500}{1000} \times 16,35}$$

$$Z_{\text{relai}} = 0,6752 \Omega$$

- d. Skenario jarak gangguan 40% terdapat pada nilai jarak sebesar 6,54 Km

$$Z_L = 0,0433 + j0,687$$

$$\begin{aligned}
 |Z_L| &= \sqrt{R^2 + x^2} \\
 &= \sqrt{0,0433^2 + 0,687^2}
 \end{aligned}$$

$$|Z_L| = 0,6883$$

$$\begin{aligned} a\cos &= \frac{R}{|Z_L|} \\ &= \frac{0,0433}{0,6883} = 86,39^0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_L &= \text{Panjang saluran (Km)} \times \text{Impedansi } (\Omega/\text{Km}) \\ &= 6,54 \times 0,6883 \\ &= 4,501 < 86,6^0 \end{aligned}$$

$$Z_{\text{relai}} = \frac{\text{Jarak Gangguan} \times Z_{L1}}{\frac{PT}{CT} \times L_1}$$

$$Z_{\text{relai}} = \frac{6,54 \times 4,501}{\frac{1,500}{1000} \times 16,35}$$

$$Z_{\text{relai}} = 1,2003 \Omega$$

- e. Skenario jarak gangguan 50% terdapat pada nilai jarak gangguan sebesar 8,175 Km

$$Z_L = 0,0433 + j0,687$$

$$\begin{aligned} |Z_L| &= \sqrt{R^2 + x^2} \\ &= \sqrt{0,0433^2 + 0,687^2} \end{aligned}$$

$$|Z_L| = 0,6883$$

$$\begin{aligned} a\cos &= \frac{R}{|Z_L|} \\ &= \frac{0,0433}{0,6883} = 86,39^0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_L &= \text{Panjang saluran (Km)} \times \text{Impedansi } (\Omega/\text{Km}) \\ &= 8,175 \times 0,6883 \\ &= 5,6268 < 86,6^0 \end{aligned}$$

$$Z_{\text{relai}} = \frac{\text{Jarak Gangguan} \times Z_{L1}}{\frac{PT}{CT} \times L_1}$$

$$Z_{\text{relai}} = \frac{8,175 \times 5,6268}{\frac{1,500}{1000} \times 16,35}$$

$$Z_{\text{relai}} = 1,8756 \Omega$$

- f. Skenario jarak gangguan 60% terdapat pada nilai jarak gangguan sebesar 9,81 Km

$$Z_L = 0,0433 + j0,687$$

$$|Z_L| = \sqrt{R^2 + x^2}$$

$$= \sqrt{0,0433^2 + 0,687^2}$$

$$|Z_L| = 0,6883$$

$$\text{aCos} = \frac{R}{|Z_L|}$$

$$= \frac{0,0433}{0,6883} = 86,39^0$$

$$Z_L = \text{Panjang saluran (Km)} \times \text{Impedansi } (\Omega/\text{Km})$$

$$= 9,81 \times 0,6883$$

$$= 6,7522 < 86,39^0$$

$$Z_{\text{relai}} = \frac{\text{Jarak Gangguan} \times Z_{L1}}{\frac{PT}{CT} \times L_1}$$

$$Z_{\text{relai}} = \frac{9,81 \times 6,7522}{\frac{1,500}{3000} \times 16,35}$$

$$Z_{\text{relai}} = 2,7008 \Omega$$

- g. Skenario jarak gangguan 70% terdapat pada nilai jarak gangguan sebesar 11,44 Km

$$Z_L = 0,0433 + j0,687$$

$$|Z_L| = \sqrt{R^2 + x^2}$$

$$= \sqrt{0,0433^2 + 0,687^2}$$

$$|Z_L| = 0,6883$$

$$\text{aCos} = \frac{R}{|Z_L|}$$

$$= \frac{0,0433}{0,6883} = 86,39^0$$

$$Z_L = \text{Panjang saluran (Km)} \times \text{Impedansi } (\Omega/\text{Km})$$

$$= 11,45 \times 0,6883$$

$$= 7,877 < 86,6^0$$

$$Z_{\text{relai}} = \frac{\text{Jarak Gangguan} \times Z_{L1}}{\frac{PT}{CT} \times L_1}$$

$$Z_{\text{relai}} = \frac{11,45 \times 7,877}{\frac{1,500}{3000} \times 16,35}$$

$$Z_{\text{relai}} = 3,676 \Omega$$

- h. Skenario jarak gangguan 80% terdapat pada nilai jarak gangguan sebesar 13,08 Km

$$Z_L = 0,0433 + j0,687$$

$$\begin{aligned} |Z_L| &= \sqrt{R^2 + x^2} \\ &= \sqrt{0,0433^2 + 0,687^2} \end{aligned}$$

$$|Z_L| = 0,6883$$

$$\begin{aligned} \text{aCos} &= \frac{R}{|Z_L|} \\ &= \frac{0,0433}{0,6883} = 86,39^0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_L &= \text{Panjang saluran (Km)} \times \text{Impedansi } (\Omega/\text{Km}) \\ &= 13,08 \times 0,6883 \\ &= 9,002 < 86,6^0 \end{aligned}$$

$$Z_{\text{relai}} = \frac{\text{Jarak Gangguan} \times Z_{L1}}{\frac{PT}{CT} \times L_1}$$

$$Z_{\text{relai}} = \frac{13,08 \times 7,877}{\frac{1,500}{3000} \times 16,35}$$

$$Z_{\text{relai}} = 4,801 \Omega$$

- i. Skenario jarak gangguan 90% terdapat pada nilai jarak gangguan sebesar 14,71 Km

$$Z_L = 0,0433 + j0,687$$

$$\begin{aligned} |Z_L| &= \sqrt{R^2 + x^2} \\ &= \sqrt{0,0433^2 + 0,687^2} \end{aligned}$$

$$|Z_L| = 0,6883$$

$$\begin{aligned} \text{aCos} &= \frac{R}{|Z_L|} \\ &= \frac{0,0433}{0,6883} = 86,39^0 \end{aligned}$$

$$Z_L = \text{Panjang saluran (Km)} \times \text{Impedansi } (\Omega/\text{Km})$$

$$= 14,715 \times 0,6883$$

$$= 10,128 < 86,6^0$$

$$Z_{\text{relai}} = \frac{\text{Jarak Gangguan} \times Z_{L1}}{\frac{PT}{CT} \times L_1}$$

$$Z_{\text{relai}} = \frac{14,715 \times 10,128}{\frac{1,500}{3000} \times 16,35}$$

$$Z_{\text{relai}} = 6,077\Omega$$

4.6.2. Skenario GI Jekulo-GI Pati

- a. Skenario jarak gangguan 10% terdapat pada nilai jarak sebesar 2,155Km

$$Z_L = 0,0633 + j0,2581$$

$$|Z_L| = \sqrt{R^2 + x^2}$$

$$= \sqrt{0,0633^2 + 0,2581^2}$$

$$|Z_L| = 0,2657$$

$$\alpha \cos = \frac{R}{|Z_L|}$$

$$= \frac{0,0633}{0,2657} = 76,23^0$$

$$Z_L = \text{Panjang saluran (Km)} \times \text{Impedansi } (\Omega/\text{Km})$$

$$= 2,155 \times 0,2657$$

$$= 0,1,145 < 76,23^0$$

$$Z_{\text{relai}} = \frac{\text{Jarak Gangguan} \times Z_{L1}}{\frac{PT}{CT} \times L_1}$$

$$Z_{\text{relai}} = \frac{2,155 \times 1,145}{\frac{1,500}{3000} \times 21,55}$$

$$Z_{\text{relai}} = 0,229 \Omega$$

- b. Skenario jarak gangguan 20% terdapat pada nilai jarak sebesar 4,31Km

$$Z_L = 0,0633 + j0,2581$$

$$|Z_L| = \sqrt{R^2 + x^2}$$

$$= \sqrt{0,0633^2 + 0,2581^2}$$

$$|Z_L| = 0,2657$$

$$\begin{aligned} a\cos &= \frac{R}{|Z_L|} \\ &= \frac{0,0633}{0,2657} = 76,23^0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_L &= \text{Panjang saluran (Km)} \times \text{Impedansi } (\Omega/\text{Km}) \\ &= 4,31 \times 0,2657 \\ &= 2,29 < 76,23^0 \end{aligned}$$

$$Z_{\text{relai}} = \frac{\text{Jarak Gangguan} \times Z_{L1}}{\frac{PT}{CT} \times L_1}$$

$$Z_{\text{relai}} = \frac{4,31 \times 2,29}{\frac{1,500}{3000} \times 21,55}$$

$$Z_{\text{relai}} = 0,916 \Omega$$

- c. Skenario jarak gangguan 30% terdapat pada nilai jarak sebesar 6,46 Km

$$Z_L = 0,0633 + j0,2581$$

$$\begin{aligned} |Z_L| &= \sqrt{R^2 + x^2} \\ &= \sqrt{0,0633^2 + 0,2581^2} \end{aligned}$$

$$|Z_L| = 0,2657$$

$$\begin{aligned} a\cos &= \frac{R}{|Z_L|} \\ &= \frac{0,0633}{0,2657} = 76,23^0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_L &= \text{Panjang saluran (Km)} \times \text{Impedansi } (\Omega/\text{Km}) \\ &= 6,46 \times 0,2657 \\ &= 3,435 < 76,23^0 \end{aligned}$$

$$Z_{\text{relai}} = \frac{\text{Jarak Gangguan} \times Z_{L1}}{\frac{PT}{CT} \times L_1}$$

$$Z_{\text{relai}} = \frac{6,46 \times 3,435}{\frac{1,500}{3000} \times 21,55}$$

$$Z_{\text{relai}} = 2,06 \Omega$$

- d. Skenario jarak gangguan 40% terdapat pada nilai jarak sebesar 8,62 Km

$$Z_L = 0,0633 + j0,2581$$

$$|Z_L| = \sqrt{R^2 + x^2}$$

$$= \sqrt{0,0633^2 + 0,2581^2}$$

$$|Z_L| = 0,2657$$

$$a \cos = \frac{R}{|Z_L|}$$

$$= \frac{0,0633}{0,2657} = 76,23^\circ$$

$$Z_L = \text{Panjang saluran (Km)} \times \text{Impedansi } (\Omega/\text{Km})$$

$$= 8,62 \times 0,2657$$

$$= 4,58 < 76,23^\circ$$

$$Z_{\text{relai}} = \frac{\text{Jarak Gangguan} \times Z_{L1}}{\frac{PT}{CT} \times L_1}$$

$$Z_{\text{relai}} = \frac{8,62 \times 4,58}{\frac{1,500}{3000} \times 21,55}$$

$$Z_{\text{relai}} = 1,83 \Omega$$

- e. Skenario jarak gangguan 50% terdapat pada nilai jarak sebesar 10,77 Km

$$Z_L = 0,0633 + j0,2581$$

$$|Z_L| = \sqrt{R^2 + x^2}$$

$$= \sqrt{0,0633^2 + 0,2581^2}$$

$$|Z_L| = 0,2657$$

$$a \cos = \frac{R}{|Z_L|}$$

$$= \frac{0,0633}{0,2657} = 76,23^\circ$$

$$Z_L = \text{Panjang saluran (Km)} \times \text{Impedansi } (\Omega/\text{Km})$$

$$= 10,77 \times 0,2657$$

$$= 5,725 < 76,23^\circ$$

$$Z_{\text{relai}} = \frac{\text{Jarak Gangguan} \times Z_{L1}}{\frac{PT}{CT} \times L_1}$$

$$Z_{\text{relai}} = \frac{10,77 \times 5,725}{\frac{1,500}{3000} \times 21,55}$$

$$Z_{\text{relai}} = 5,725 \Omega$$

- f. Skenario jarak gangguan 60% terdapat pada nilai jarak sebesar 12,93 Km

$$Z_L = 0,0633 + j0,2581$$

$$|Z_L| = \sqrt{R^2 + x^2}$$

$$= \sqrt{0,0633^2 + 0,2581^2}$$

$$|Z_L| = 0,2657$$

$$\text{aCos} = \frac{R}{|Z_L|}$$

$$= \frac{0,0633}{0,2657} = 76,23^\circ$$

$$Z_L = \text{Panjang saluran (Km)} \times \text{Impedansi } (\Omega/\text{Km})$$

$$= 12,93 \times 0,2657$$

$$= 6,871 < 76,23^\circ$$

$$Z_{\text{relai}} = \frac{\text{Jarak Gangguan} \times Z_{L1}}{\frac{PT}{CT} \times L_1}$$

$$Z_{\text{relai}} = \frac{12,93 \times 6,871}{\frac{1,500}{1000} \times 21,55}$$

$$Z_{\text{relai}} = 8,245 \Omega$$

- g. Skenario jarak gangguan 70% terdapat pada nilai jarak sebesar 15,08 Km

$$Z_L = 0,0633 + j0,2581$$

$$|Z_L| = \sqrt{R^2 + x^2}$$

$$= \sqrt{0,0633^2 + 0,2581^2}$$

$$|Z_L| = 0,2657$$

$$\text{aCos} = \frac{R}{|Z_L|}$$

$$= \frac{0,0633}{0,2657} = 76,23^0$$

$Z_L =$ Panjang saluran (Km) x Impedansi (Ω /Km)

$$= 15,08 \times 0,2657$$

$$= 8,016 < 76,23^0$$

$$Z_{\text{relai}} = \frac{\text{Jarak Gangguan} \times Z_{L1}}{\frac{PT}{CT} \times L_1}$$

$$Z_{\text{relai}} = \frac{15,08 \times 8,016}{\frac{1,500}{3000} \times 21,55}$$

$$Z_{\text{relai}} = 11,222 \Omega$$

- h. Skenario jarak gangguan 80% terdapat pada nilai jarak sebesar 17,24 Km

$$Z_L = 0,0633 + j0,2581$$

$$|Z_L| = \sqrt{R^2 + x^2}$$

$$= \sqrt{0,0633^2 + 0,2581^2}$$

$$|Z_L| = 0,2657$$

$$\text{aCos} = \frac{R}{|Z_L|}$$

$$= \frac{0,0633}{0,2657} = 76,23^0$$

$Z_L =$ Panjang saluran (Km) x Impedansi (Ω /Km)

$$= 17,24 \times 0,2657$$

$$= 9,161 < 76,23^0$$

$$Z_{\text{relai}} = \frac{\text{Jarak Gangguan} \times Z_{L1}}{\frac{PT}{CT} \times L_1}$$

$$Z_{\text{relai}} = \frac{17,24 \times 9,161}{\frac{1,500}{3000} \times 21,55}$$

$$Z_{\text{relai}} = 14,658 \Omega$$

- i. Skenario jarak gangguan 90% terdapat pada nilai jarak sebesar 19,39 Km

$$Z_L = 0,0633 + j0,2581$$

$$|Z_L| = \sqrt{R^2 + x^2}$$

$$= \sqrt{0,0633^2 + 0,2581^2}$$

$$|Z_L| = 0,2657$$

$$a\cos = \frac{R}{|Z_L|}$$

$$= \frac{0,0633}{0,2657} = 76,23^0$$

$$Z_L = \text{Panjang saluran (Km)} \times \text{Impedansi } (\Omega/\text{Km})$$

$$= 19,39 \times 0,2657$$

$$= 10,3 < 76,23^0$$

$$Z_{\text{relai}} = \frac{\text{Jarak Gangguan} \times Z_{L1}}{\frac{PT}{CT} \times L_1}$$

$$Z_{\text{relai}} = \frac{19,39 \times 10,3}{\frac{1,500}{3000} \times 21,55}$$

$$Z_{\text{relai}} = 18,551 \Omega$$

Tabel 4.3. Jarak Gangguan Dilihat Relai jarak GI Kudus-GI Jekulo-GI Pati

No.	Skenario %	GI Kudus bay Jekulo			GI Jekulo bay Pati		
		Jarak gangguan (Km)	ZL	Zrelai	Jarak gangguan (Km)	ZL	Zrelai
1.	10	1,635	1,125	0,075	2,155	1,145	0,229
2.	20	3,27	2,250	0,300	4,31	2,290	0,916
3.	30	4,905	3,376	0,675	6,465	3,435	2,061
4.	40	6,54	4,501	1,200	8,62	4,580	3,664
5.	50	8,175	5,626	1,875	10,775	5,725	5,725
6.	60	9,81	6,752	2,700	12,93	6,871	8,245
7.	70	11,445	7,877	3,676	15,085	8,016	11,222
8.	80	13,08	9,002	4,801	17,24	9,161	14,658
9.	90	14,715	10,128	6,077	19,395	10,306	18,551

Tabel 4.3 Menunjukkan hasil untuk setiap gardu induk Kudus - Jekulo -Pati setiap skenario 10% -90% menunjukkan nilai yang berbeda pada setiap jarak gangguan dan impedansinya. Pada saat terjadi gangguan diskenario 10% dengan nilai jarak gangguan sebesar 1,635 Km maka relay yang melihat gangguan adalah relai jarak pada GI Kudus bay Jekulo

dengan nilai impedansi gangguan sebesar $1,125 \Omega$ pada zona 1 maka nilai Z_{relay} sebesar $0,075 \Omega$ dan sedangkan untuk Gardu Induk Jekulo – Pati di presentase 10% dengan jarak gangguan 2,115 Km dengan nilai impedansi sebesar $1,145 \Omega$ maka Z_{relay} akan menunjukkan nilai sebesar $0,229 \Omega$.

Skenario 10% -90% pada gardu induk Kudus-Jekulo dan Gardu induk Jekulo –Pati jika semakin meningkatnya nilai jarak gangguan maka akan mengalami perubahan nilai impedansi maka relai akan mendeteksi gangguan semakin besar dengan waktu 0 detik sampai dengan 1,6 detik.

4.7. Hasil Data Perbandingan Perhitungan *relay* Jarak

Berdasarkan hasil perhitungan analisa dan *setting relay* jarak maka didapatkan selisih perbandingan nilai impedansi terhadap *setting relay* jarak GI Kudus bayJekulo dan GI Jekulo bay Pati dengan menunjukkan hasil perhitungan analisa teori yang telah diproses terdapat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.4. Perbandingan *Setting Relay* Jarak

No.	Saluran Penghantar	Pembagian Zona	Setting Lapangan	Setting Perhitungan
1.	GI Kudus bay Jekulo	Zona 1	3,75	8,99
		Zona 2	9,57	11,77
		Zona 3	17,2	24,88
2.	GI Jekulo bay Pati	Zona 1	9,83	11,85
		Zona 2	19,83	21,33
		Zona 3	29,49	32,79

Pada tabel 4.4 dapat dilihat perbedaan jika setting lapangan pada Gardu Induk Kudus bay Jekulo area zona 1 menunjukkan 3,75 sedangkan zona 1 pada setting teori dan perhitungan yaitu 8,99 saat waktu 0 detik (seketika), selanjutnya Zona 2 *setting* lapangan sebesar 9,57 dengan hasil teori dan perhitungan yaitu 11,77 pada saat waktu 0,8 detik, langsung untuk zona 3 pada *setting* lapangan yaitu 17,2 sedangkan setting perhitungan sebesar 24,88 saat waktu 1,6 detik. Gardu Induk Jekulo bay Pati area zona 1 menunjukkan 9,83 sedangkan zona 1 pada setting teori dan perhitungan yaitu 11,85 saat waktu 0 detik (seketika), selanjutnya Zona 2 *setting* lapangan sebesar 19,83 dengan hasil teori dan perhitungan yaitu

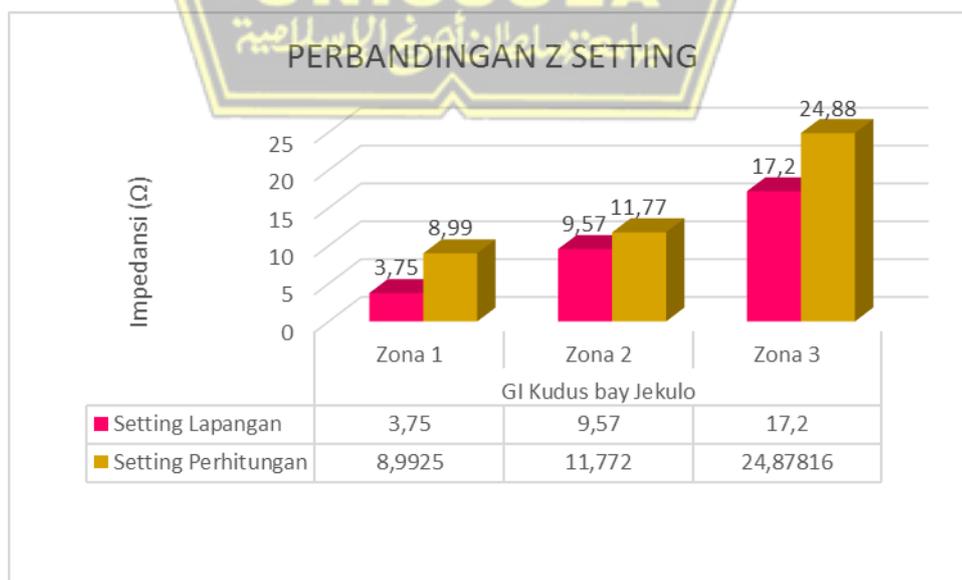
21,33 pada saat waktu 0,8 detik, langsung untuk zona 3 pada *setting* lapangan yaitu 29,49 sedangkan *setting* perhitungan sebesar 32,79 saat waktu 1,6 detik.

Berdasarkan hasil didapatkan bahwa terdapat perbedaan antara persettingan relay jarak dengan hasil analisa perhitungan secara teori yang berdasarkan beberapa faktor yang mampu mempengaruhi perubahan suatu impedansi pada relay itu sendiri seperti, Kondisi di lapangan, *Human Error* dan faktor infeed.

Kinerja relay jarak yang baik dan efektif pada saluran pengahantar 150 KV sampai dengan 500 KV tergantung pada masing-masing saluran penghantar karena terdapat perbedaan jarak impedansi dan gangguan dilapangan. Supaya mendapatkan kinerja relay jarak yang baik dan efektif juga harus tepat melakukan pembagian zona karena dalam pembagian zona akan terdapat masing-masing waktu dalam mengisolir gangguan yang terjadi. Jika salah dalam melakukan pembagian penentuan zona maka akan berakibat fatal terhadap saluran penghantar sebab gangguan akan menyebar luas ke daerah tidak terkena gangguan.

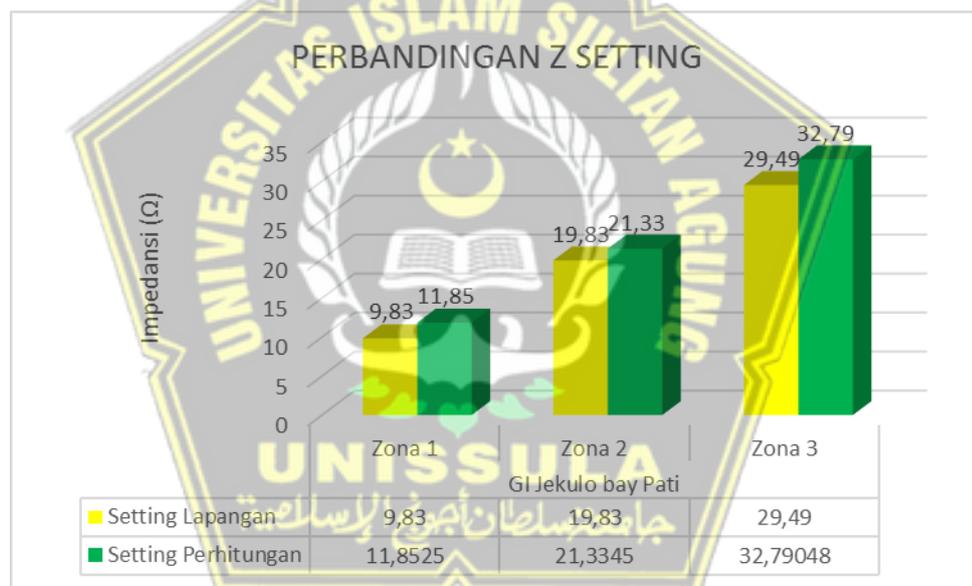
4.8. Grafik Perbandingan Gardu Induk Kudus-Jekulo-Pati

Grafik Perbandingan Perhitungan antara Zona 1, Zona 2 dan Zona 3 yang dihasilkan berdasarkan perhitungan *setting* lapangan dengan *setting* perhitungan. Grafik dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2.



Gambar 4.1. Grafik Perbandingan *Zsetting* Kudus-Jekulo

Berdasarkan Gambar grafik 4.1 menunjukkan bahwa nilai perbandingan impedansi pengaturan aktual dengan pengaturan perhitungn baru yang tidak terlalu jauh ,zona 1 untuk perhitungan aktual sebesar 3,75 Ω pada batang grafik menunjukkan warna merah muda sedangkan pengaturan perhitungan baru sebesar 8,99 Ω grafik batang ditunjukkan warna kuning tua nilainya lebih besar dari pengaturan aktual. Begitu pula untuk zona 2 untuk aktual sebesar 9,57 dan perhitungan baru sebesar 11,77 Ω dan zona 3 untuk aktual sebesar 17,2 Ω sedangkan perhitungan baru sebesar 2,87 Ω maka pengaturan baru nilainya juga lebih besar dari nilai pengaturan aktual. Peningkatan nilai pengaturan impedansi ini dilakukan supaya relai jarak pada GI Kudus bay GI Pati menjadi lebih handal dan efektif dari sebelumnya.



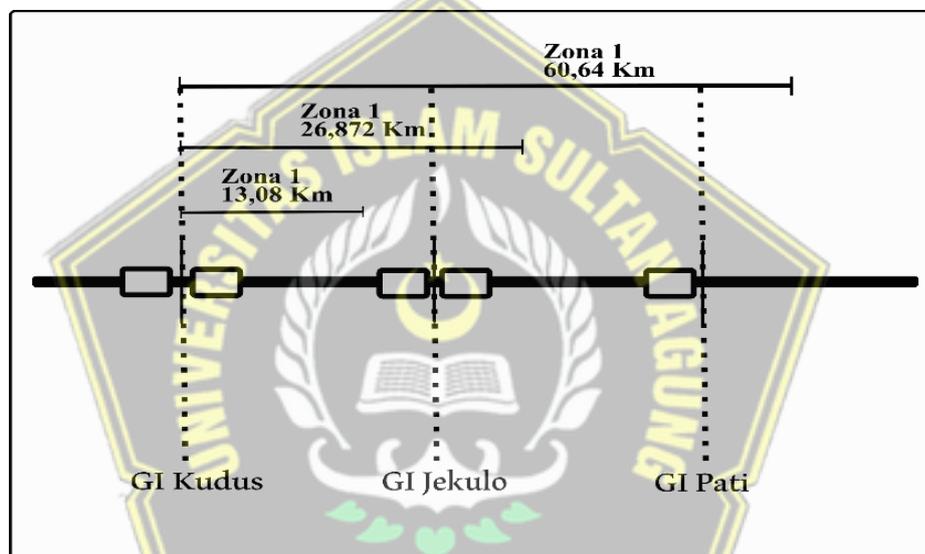
Gambar 4.2. Grafik Perbandingan Zsetting Jekulo – Pati

Berdasarkan Gambar grafik 4.2 menunjukkan bahwa nilai perbandingan impedansi pengaturan aktual dengan pengaturan perhitungn baru yang baru tidak terlalu jauh ,zona 1 untuk perhitungan aktual sebesar 9,83 Ω pada batang grafik menunjukkan warna kuning muda sedangkan pengaturan perhitungan baru sebesar 11,85 Ω pada grafik batang ditunjukkan warna hijau tua nilainya lebih besar dari pengaturan aktual. Begitu pula dengan zona 2 untuk pengaturan aktual sebesar 19,83 Ω dan perhitungan baru sebesar 21,3 Ω dan zona 3 untuk aktual sebesar 29,49 Ω sedangkan perhitungan baru sebesar 32,79 Ω maka pengaturan baru

nilainya juga lebih besar dari nilai pengaturan aktual. Peningkatan nilai pengaturan impedansi ini dilakukan supaya relai jarak pada GI Kudus bay GI Pati menjadi lebih handal dan efektif dari sebelumnya.

4.9. Blok Relay Jarak

Blok relai jarak dibuat tujuan mengetahui jarak jangkauan relai jarak saluran pada setiap zona relai jarak Kudus -Pati. Maka Z dibaca *Relay* $Z_1 = 6,74 \Omega$ ($P_{S1} = 13,08 \text{ KM}$), $Z_2 = 8,533 \Omega$ ($P_{S2} = 26,872 \text{ KM}$), dan $Z_3 = 17,96 \Omega$ ($P_{S3} = 60,64 \text{ KM}$). Blok Jangkauan Relay Jarak ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3. Blok Zona Relai Jarak

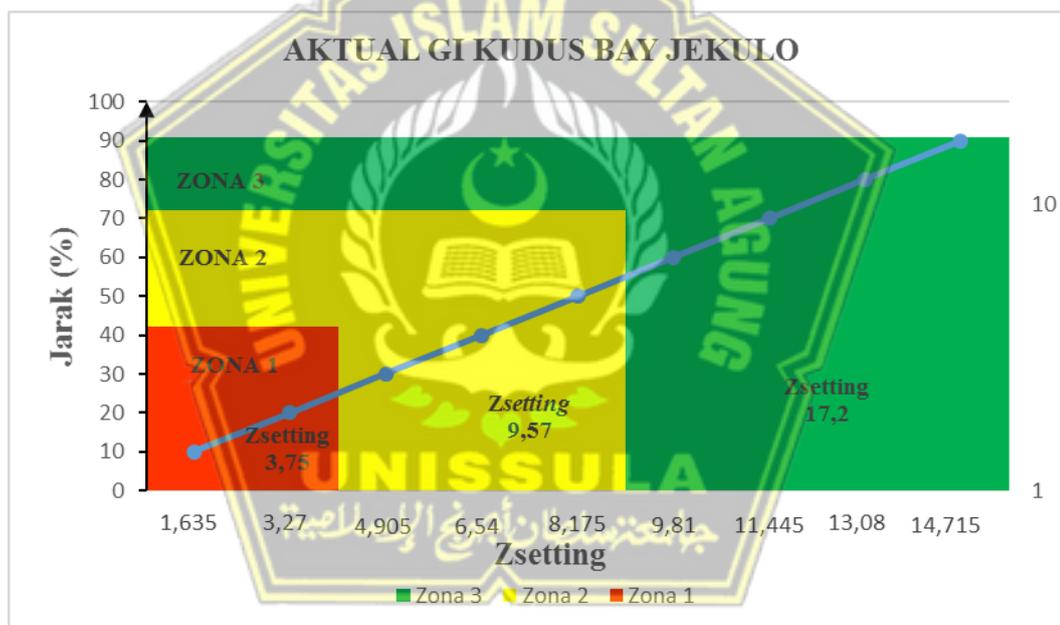
Pada Gambar 4.3 Blok Relai Jarak menjelaskan bahwa untuk perzona yang diamankan berbeda pada jarak dan Impedansinya, untuk zona $Z_{setting}$ yang bernilai $6,74 \Omega$ mulai dari jarak Jangkauan $13,08 \text{ KM}$. Pada saat pengamanan untuk zona 2 yang diamankan pada $Z_{setting}$ yang bernilai $27,9 \Omega$ yang diamankan mulai dari jarak antara $26,872 \Omega$. Pada saat pengamanan untuk Zona 3 yang diamankan pada $Z_{setting}$ yang bernilai $56,85 \Omega$ kelihatan yang diamankan adalah jarak $60,64 \text{ KM}$.

4.10. Grafik Pengaturan Aktual dan Perhitungan Baru GI Kudus-Jekulo-Pati

Berdasarkan perhitungan tentang skenario gangguan dengan menggunakan presentase impedansi mulai dari gangguan 10 % sampai dengan 90% pada tabel 4.2 dan tabel 4.3 maka dihasilkan setting relay jarak pada setiap zona yaitu zona 1, zona 2, dan zona 3 pada GI Kudus sampai dengan Pati untuk mengetahui unjuk kerja dari presentase impedansi yang telah ditentukan maka didapatkan grafik skenario pada setiap zona ditunjukkan dengan Gambar 4.4 dan Gambar 4.5.

4.10.1. Grafik Pengaturan Aktual dan Pengaturan Baru GI Kudus-Jekulo

Grafik hasil skenario aktual Gardu Induk Kudus bay Jekulo maka ditunjukkan grafik pada Gambar 4.4.

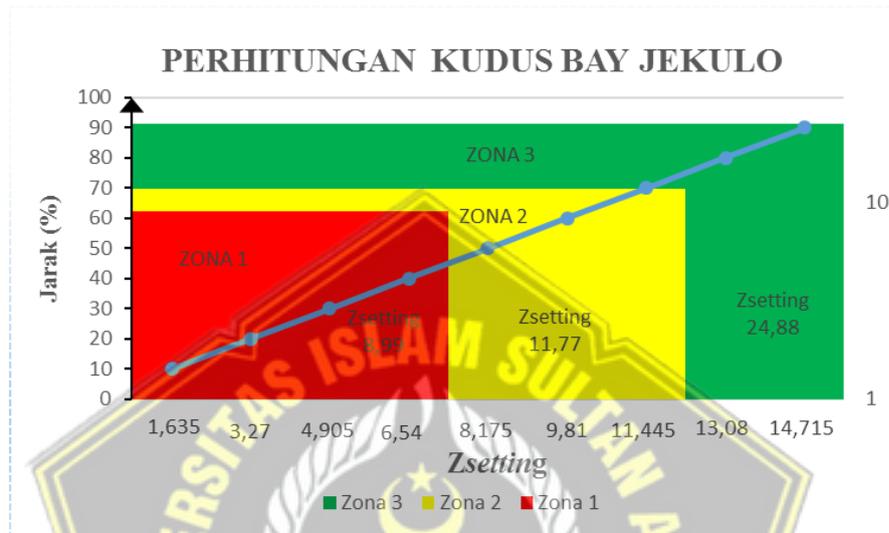


Gambar 4.4. Grafik Aktual GI Kudus-Jekulo

Grafik 4.4 menjelaskan bahwa untuk perzona yang diamankan berbeda pada jarak dan Impedansinya, untuk zona 1 yang berwarna merah kelihatan bahwa yang diamankan pada Zsetting yang bernilai mulai dari jarak antara 10% - 40% dan untuk Zrelai nya yang diamankan untuk Zona 1 untuk Zsetting yaitu 3,75 Ω. Pada saat pengamanan untuk zona 2 yang di tandai warna kuning kelihatan bahwa yang diamankan pada Zsetting yang bernilai 9,57 yang diamankan mulai dari jarak antara 40% - 70 %. Pada saat pengamanan untuk Zona 3 yang di tandai

warna hijau kelihatan bahwa yang diamankan pada $Z_{setting}$ yang bernilai $17,2 \Omega$ kelihatan yang diamankan adalah jarak 90% dan untuk Z_{relai} nya yang diamankan yaitu $8,175-14,715\Omega$.

Grafik hasil skenario perhitungan baru Gardu Induk Kudus bay Jekulo maka ditunjukkan grafik pada Gambar 4.5.

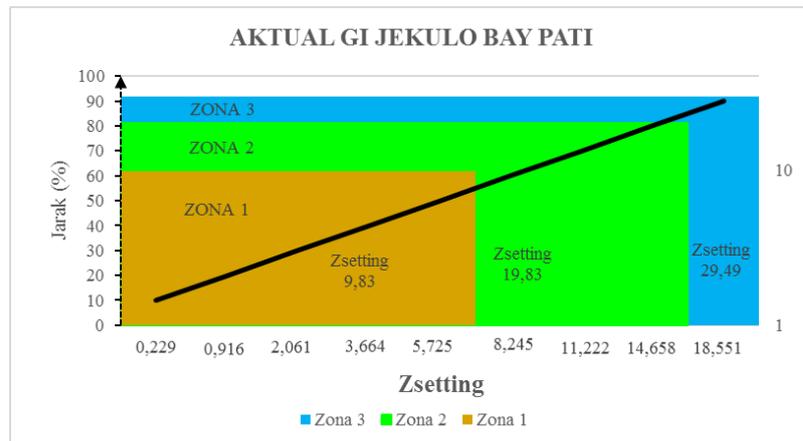


Gambar 4.5. Grafik Perhitungan Kudus-Jekulo

Grafik 4.5 menjelaskan bahwa untuk perzona yang diamankan berbeda pada jarak dan Impedansinya, untuk zona 1 yang berwarna kuning kelihatan bahwa yang diamankan pada $Z_{setting}$ sebesar $8,99 \Omega$ dari jarak antara 10% - 60% dan untuk Z_{relai} nya yang diamankan untuk Zona 1 yaitu mulai dari $1,635\Omega - 6,54 \Omega$. Pada saat pengamanan untuk zona 2 yang di tandai warna merah kelihatan bahwa yang diamankan pada $Z_{setting}$ yang bernilai $11,77 \Omega$ yang diamankan mulai dari jarak antara 60% -70%. Pada saat pengamanan untuk Zona 3 yang di tandai warna hijau kelihatan bahwa yang diamankan pada $Z_{setting}$ yang bernilai $24,88 \Omega$.

4.10.2. Grafik Pengaturan Aktual dan Perhitungan Baru GI Jekulo-Pati

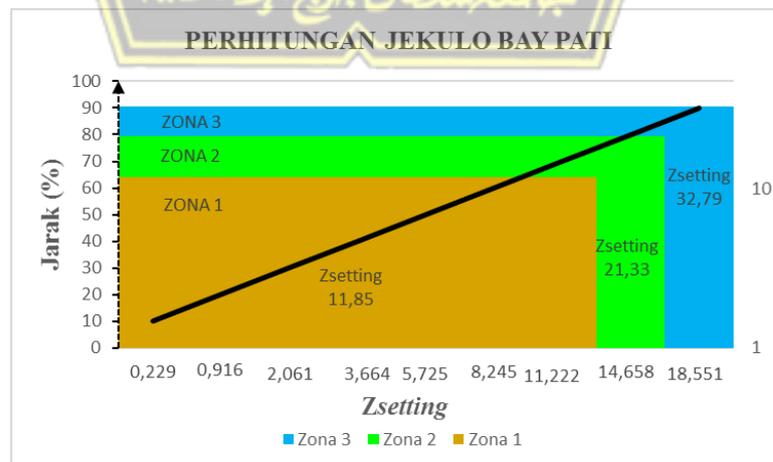
Grafik hasil skenario aktual Gardu Induk Jekulo bay Pati maka ditunjukkan grafik pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6. Grafik Perhitungan Jekulo-Pati

Grafik 4.6 menjelaskan bahwa untuk perzona yang diamankan berbeda pada jarak dan Impedansinya, untuk zona 1 yang berwarna abu-abu kelihatan bahwa yang diamankan pada Zsetting sebesar 9,83 Ω dari jarak antara 10% - 30% dan untuk Zrelai nya yang diamankan untuk Zona 1 yaitu mulai dari 0,229 Ω - 5,725 Ω . Pada saat pengamanan untuk zona 2 yang di tandai warna hijau muda kelihatan bahwa yang diamankan pada Zsetting yang bernilai 19,83 Ω yang diamankan mulai dari jarak antara 40%-60%. Pada saat pengamanan untuk Zona 3 yang di tandai warna biru muda kelihatan bahwa yang diamankan pada Zsetting yang bernilai 29,49 Ω .

Grafik hasil skenario perhitungan baru Gardu Induk Jekulo bay Pati maka ditunjukkan grafik pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7. Grafik Perhitungan Jekulo-Pati

Grafik 4.7 menjelaskan bahwa untuk perzona yang diamankan berbeda pada jarak dan Impedansinya, untuk zona 1 yang berwarna abu-abu kelihatan bahwa yang diamankan pada Zsetting sebesar 11,85 Ω dari jarak antara 10% - 30% dan untuk Zrelai nya yang diamankan untuk Zona 1 yaitu mulai dari 0,229 Ω - 11,222 Ω . Pada saat pengamanan untuk zona 2 yang di tandai warna hijau muda kelihatan bahwa yang diamankan pada Zsetting yang bernilai 21,33 Ω yang diamankan mulai dari jarak antara 40%-60%. Pada saat pengamanan untuk Zona 3 yang di tandai warna biru muda kelihatan bahwa yang diamankan pada pada jarak 70%-90% dengan Zsetting yang sebesar 32.79 Ω .

4.11. Skenario Gangguan Pada Presentase Impedansi

4.11.1. Jarak Gangguan Kudus-Jekulo

Skenario gangguan pada Gardu Induk Kudus-Jekulo dengan menggunakan presentase impedansi mulai dari gangguan 10 % sampai dengan 90%, untuk mengetahui unjuk kerja dari presentase impedansi setiap zona.

- a. Zona 1 diberi gangguan pada presentase impedansi mulai dari 10% dari GI Kudus bay Jekulo akan membaca impedansi gangguan sebesar 0,899 Ω .

$$Z_{\text{relai}} = \frac{\text{Jarak Gangguan} \times Z_{L1}}{\frac{PT}{CT} \times L_1}$$

$$\text{Jarak Gangguan} = \sqrt{\frac{Z_{\text{setting}} \times \frac{PT}{CT} \times L_1}{Z_{L1}}}$$

$$= \sqrt{\frac{0,899 \times \frac{1.500}{1000} \times 16,35}{0,515}}$$

$$= 5,495 \text{ Km}$$

Skenario selanjutnya dengan menggunakan cara yang sama, pada jarak 10% sampai dengan 90% didapatkan nilai impedansi gangguan pada tabel 4.5.

Tabel 4.5. Skenario gangguan zona 1 pada presentase impedansi

No	Skenario Zsetting	Zrelai (Ω)	Jarak Gangguan (Km)	% jarak
1	10%	0,899	5,495	25%
2	20%	1,798	7,770	36%
3	30%	2,697	9,517	44%
4	40%	3,596	10,989	51%
5	50%	4,495	12,286	57%
6	60%	5,394	13,459	62%
7	70%	6,293	14,537	67%
8	80%	7,192	15,541	72%
9	90%	8,091	16,484	76%

Grafik hasil skenario gangguan perhitungan baru Gardu Induk Jekulo bay Pati Zona 1 ditunjukkan pada Gambar 4.8

**Gambar 4.8.** Grafik Presentase Impedansi Zona 1

- b. Zona 2 diberi gangguan pada presentase impedansi mulai dari 10% dari GI Kudus bay Jekulo akan membaca impedansi gangguan sebesar 1,117 Ω .

$$Z_{relai} = \frac{Jarak\ Gangguan \times Z_{L1}}{\frac{PT}{CT} \times L_1}$$

$$Jarak\ Gangguan = \sqrt{\frac{Z_{setting} \times \frac{PT}{CT} \times L_1}{Z_{L1}}}$$

$$= \sqrt{\frac{1,117 \times \frac{1.500}{1000} \times 16,35}{0,515}}$$

$$= 6,287\text{ Km}$$

Skenario selanjutnya dengan menggunakan cara yang sama, pada jarak 10% sampai dengan 90% didapatkan nilai impedansi gangguan pada tabel 4.6.

Tabel 4.6. Skenario gangguan zona 2 pada presentase impedansi

No	Skenario Zsetting	Zrelai (Ω)	jarak gangguan (km)	% jarak
1	10%	1,177	6,287	29%
2	20%	2,354	8,891	41%
3	30%	3,531	10,889	51%
4	40%	4,708	12,574	58%
5	50%	5,885	14,058	65%
6	60%	7,062	15,400	71%
7	70%	8,239	16,634	77%
8	80%	9,416	17,782	83%
9	90%	10,593	18,861	88%

Grafik hasil gangguan skenario perhitungan baru Gardu Induk Kudus bay Jekulo Zona 2 ditunjukkan pada Gambar 4.9



Gambar 4.9. Grafik Presentase Impedansi Zona 2

- c. Zona 3 diberi gangguan pada presentase impedansi mulai dari 10% dari GI Kudus bay Jekulo akan membaca impedansi gangguan sebesar 2,488 Ω .

$$Z_{\text{relai}} = \frac{\text{Jarak Gangguan} \times Z_{L1}}{\frac{PT}{CT} \times L_1}$$

$$\text{Jarak Gangguan} = \sqrt{\frac{Z_{\text{setting}} \times \frac{PT}{CT} \times L_1}{Z_{L1}}}$$

$$= \sqrt{\frac{2,488 \times \frac{1.500}{1000} \times 16,35}{0,515}}$$

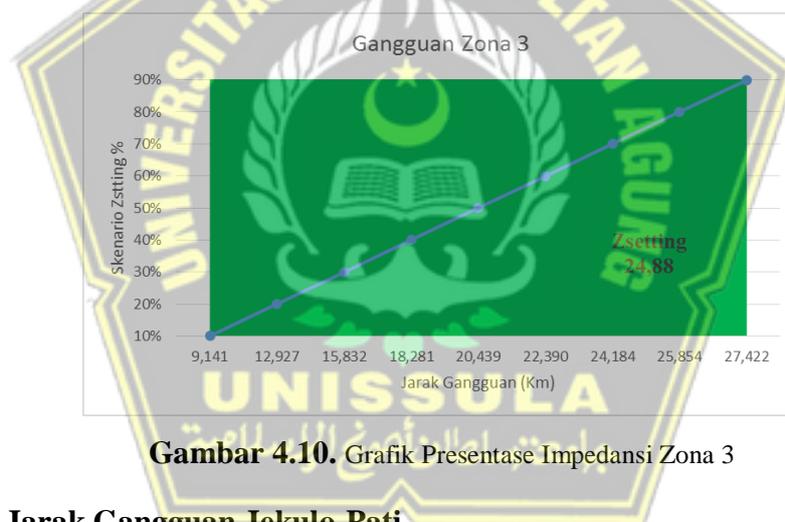
$$= 9,141 \text{ Km}$$

Skenario selanjutnya dengan menggunakan cara yang sama, pada jarak 10% sampai dengan 90% didapatkan nilai impedansi gangguan pada tabel 4.7.

Tabel 4.7. Skenario gangguan zona 2 pada presentase impedansi

No	Skenario Zsetting	Zrelai (Ω)	jarak gangguan (km)	% jarak
1	10%	2,488	9,141	42%
2	20%	4,976	12,927	60%
3	30%	7,464	15,832	73%
4	40%	9,952	18,281	85%
5	50%	12,44	20,439	95%
6	60%	14,928	22,390	104%
7	70%	17,416	24,184	112%
8	80%	19,904	25,854	120%
9	90%	22,392	27,422	127%

Grafik hasil gangguan skenario perhitungan baru Gardu Induk Kudus bay Jekulo Zona 3 ditunjukkan pada Gambar 4.10



Gambar 4.10. Grafik Presentase Impedansi Zona 3

4.11.2. Jarak Gangguan Jekulo-Pati

Skenario gangguan pada Gardu Induk Jekulo - Pati dengan menggunakan presentase impedansi mulai dari gangguan 10 % sampai dengan 90%, untuk mengetahui unjuk kerja dari presentase impedansi setiap zona.

- Zona 1 diberi gangguan pada presentase impedansi mulai dari 10% dari GI Jekulo bay Pati akan membaca impedansi gangguan sebesar 1,185 Ω .

$$Z_{relai} = \frac{Jarak\ Gangguan \times Z_{L1}}{\frac{PT}{CT} \times L_1}$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak Gangguan} &= \sqrt{\frac{Z_{\text{setting}} \times \frac{PT}{CT} \times L_1}{Z_{L1}}} \\ &= \sqrt{\frac{1,185 \times \frac{1.500}{3000} \times 21,55}{0,265}} \\ &= 6,303 \text{ Km} \end{aligned}$$

Skenario selanjutnya dengan menggunakan cara yang sama, pada jarak 10% sampai dengan 90% didapatkan nilai impedansi gangguan pada tabel 4.8.

Tabel 4.8. Skenario gangguan zona 1 pada presentase impedansi

No	Skenario Zsetting	Zrelai (Ω)	Jarak Gangguan (km)	% jarak
1	10%	1,185	6,303	29%
2	20%	2,37	8,914	41%
3	30%	3,555	10,917	51%
4	40%	4,74	12,606	58%
5	50%	5,925	14,094	65%
6	60%	7,11	15,439	72%
7	70%	8,295	16,676	77%
8	80%	9,48	17,827	83%
9	90%	10,665	18,909	88%

Grafik hasil gangguan skenario perhitungan baru Gardu Induk Jekulo bay Pati Zona 1 ditunjukkan pada Gambar 4.11



Gambar 4.11. Grafik Presentase Impedansi Zona 1

- b. Zona 2 diberi gangguan pada presentase impedansi mulai dari 10% dari GI Jekulo bay Pati akan membaca impedansi gangguan sebesar 1,117 Ω.

$$Z_{\text{relai}} = \frac{\text{Jarak Gangguan} \times Z_{L1}}{\frac{PT}{CT} \times L_1}$$

$$\text{Jarak Gangguan} = \sqrt{\frac{Z_{\text{setting}} \times \frac{PT}{CT} \times L_1}{Z_{L1}}}$$

$$= \sqrt{\frac{2,133 \times \frac{1.500}{1000} \times 16,35}{0,265}}$$

$$= 8,456 \text{ Km}$$

Skenario selanjutnya dengan menggunakan cara yang sama, pada jarak 10% sampai dengan 90% didapatkan nilai impedansi gangguan pada tabel 4.9.

Tabel 4.9. Skenario gangguan zona 2 pada presentase impedansi

No	Skenario Zsetting	Zrelai (Ω)	Jarak Gangguan (km)	% jarak
1	10%	2,133	8,456	39%
2	20%	4,266	11,959	55%
3	30%	6,399	14,647	68%
4	40%	8,532	16,913	78%
5	50%	10,665	18,909	88%
6	60%	12,798	20,714	96%
7	70%	14,931	22,373	104%
8	80%	17,064	23,918	111%
9	90%	19,197	25,369	118%

Grafik hasil gangguan skenario perhitungan baru Gardu Induk Jekulo bay Pati Zona 2 ditunjukkan pada Gambar 4.12



Gambar 4.12. Grafik Presentase Impedansi Zona 2

- c. Zona 3 diberi gangguan pada presentase impedansi mulai dari 10% dari GI Jekulo bay Pati akan membaca impedansi gangguan sebesar 3,279 Ω .

$$Z_{\text{relai}} = \frac{\text{Jarak Gangguan} \times Z_{L1}}{\frac{PT}{CT} \times L_1}$$

$$\text{Jarak Gangguan} = \sqrt{\frac{Z_{\text{setting}} \times \frac{PT}{CT} \times L_1}{Z_{L1}}}$$

$$= \sqrt{\frac{3,279 \times \frac{1.500}{1000} \times 16,35}{0,265}}$$

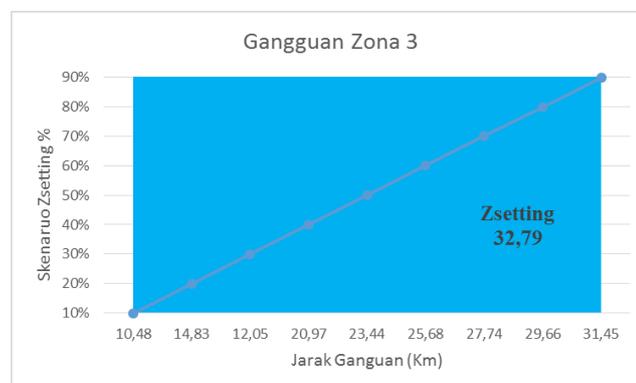
$$= 10,48 \text{ Km}$$

Skenario selanjutnya dengan menggunakan cara yang sama, pada jarak 10% sampai dengan 90% didapatkan nilai impedansi gangguan pada tabel 4.10.

Tabel 4.10. Skenario gangguan zona 2 pada presentase impedansi

No	Skenario Zsetting	Zrelai (Ω)	Jarak Gangguan (km)	% jarak
1	10%	3,279	10,48	49%
2	20%	6,558	14,83	69%
3	30%	9,837	12,05	56%
4	40%	13,116	20,97	97%
5	50%	16,395	23,44	109%
6	60%	19,674	25,68	119%
7	70%	22,953	27,74	129%
8	80%	26,232	29,66	138%
9	90%	29,511	31,45	146%

Grafik hasil gangguan skenario perhitungan baru Gardu Induk Jekulo bay Pati Zona 3 ditunjukkan pada Gambar 4.13



Gambar 4.13. Grafik Presentase Impedansi Zona 3

4.11.3. Analisa Skenario Gangguan Pada Gardu Induk Kudus-Pati

Gardu Induk Kudus-Jekulo saat terjadi gangguan di zona 1 di skenario Zsetting ke 1 (10%) maka Zsetting yang melihat adanya gangguan adalah presentase impedansi nilai jarak gangguan (km) sebesar 5.495 dengan nilai jarak sebesar 25% , sedangkan untuk zona 1 pengaturanya Zsetting yaitu 8,99. Selanjutnya analisis skenario gangguan pada presentase impedansi mulai skenario 10 % sampai dengan 90% dapat dilihat pada tabel diatas 4.8. Zona 2 untuk Zsetting 11,77 Ω ditunjukkan grafik pada Gambar 4.9 dan Zona 3 untuk Zsetting 24,88 Ω ditunjukkan grafik pada gambar 4.10.

Sehingga dalam kondisi ini, pada zona 1, zona 2 dan zona maka presentase impedansi pada GI Kudus *bay* Jekulo akan bisa terkonversi melihat wilayah mana yang terjadi gangguan impedansi tertentu dan melihat berapa presentase jarak yang terjadi gangguanya.

Gardu Induk Jekulo-Pati gangguan di zona 1 di skenario Zsetting ke 1 (10%) maka Zsetting yang melihat adanya gangguan adalah presentase impedansi pada GI Pati *bay* Jekulo dengan nilai jarak gangguan (Km) sebesar 1,185 dengan nilai jarak sebesar 29% , sedangkan untuk zona 2 pengaturanya Zsetting yaitu 6,303. Selanjutnya analisis skenario gangguan pada presentase impedansi mulai skenario 10 % sampai dengan 90% dapat dilihat pada tabel 4.11. Zona 2 untuk Zsetting 21,33 Ω ditunjukkan grafik pada Gambar 4.12 dan Zona 3 untuk Zsetting 32,79 Ω ditunjukkan grafik pada gambar 4.13.

Sehingga dalam kondisi ini, pada zona 1, zona 2 dan zona 3 maka presentase impedansi pada GI Jekulo *bay* Pati akan bisa terkonversi melihat wilayah mana yang terjadi gangguan impedansi tertentu dan melihat berapa presentase jarak yang terjadi gangguanya.

Faktor yang mempengaruhi perubahan suatu impedansi pada relai itu sendiri, yaitu Faktor *infeed* (Penambahan dan pengurangan arus yang ditinjau) ,*mutual impedance*, *power swing*, pengaruh impedansi sumber, pengaruh tahanan gangguan, kondisi dilapangan dan serta *human errors*.

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan analisis penelitian yang telah dilakukan terkait pengaruh impedansi pada *setting relay* jarak pada Gardu Induk Kudus-Jekulo-Pati maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Perbedaan perubahan nilai impedansi yang disebabkan jarak gangguan karena semakin jauh jarak gangguan yang terjadi maka semakin tinggi nilai *setting relay* jarak.
2. Pengaturan relay jarak *existing* jarak gangguan pada skenario presentase 10%-90% dengan nilai jarak pada Gardu Induk Kudus-Jekulo sebesar 1,635-14,715 Km besar Impedansi 1,125-10,128 Ω dan Gardu Induk Jekulo-Pati sebesar 2,155-19,395 Km dengan besar impedansi 1,145-10,306 Ω , nilai saluran kurang dari nilai impedansi pengaturan aktual dan nilai perhitungan baru, sehingga menyebabkan gangguan. Tetapi dengan menggunakan *setting relay* yang baru jangkauan gangguan yang lebih baik.
3. Impedansi zona relai jarak yang perhitungan didapatkan pada Gardu Induk Kudus-Jekulo Zona 1 (8,99 Ω), Zona 2 (11,77 Ω) dan Zona 3 (29,49 Ω) sedangkan Gardu Induk Jekulo-Pati Zona 1 (11,85 Ω), Zona 2 (21,33 Ω) dan Zona 3 (32,79 Ω).

5.2. Saran

Berdasarkan Penelitian yang telah dilakukan dapat dikembangkan serta diperbaiki, ada beberapa saran-saran penulis sebagai berikut:

1. Penulis menyadari bahwa terdapat kekurangan dalam penelitian ini. Salah satunya tidak menggunakan software *DIGSILENT Power Factory (Digital Simulation and Electrical Network Calculation Program)* dan software pendukung lain. Kedepan diharapkan ada lagi penelitian terkait hal ini sehingga terdapat pengembangan penelitian secara mendetail.
2. Perlu dilakukan penjadwalan ulang pada bagian Devisi teknis dan perawatan Gardu Induk terkhusus bagian proteksi dimohon mengevaluasi kembali

pengaturan dari relai jarak, supaya umjuk kerja menjadi lebih handal dan aman.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Yudawan, "ANALISA KOORDINASI ZONA PROTEKSI SEBAGAI PENGAMAN SALURAN TRANSMISI 150 kV MENGGUNAKAN RELAI JARAK ANTARA," vol. 11, pp. 1–11, 2020.
- [2] T. R. et. al. Aljufri, "SCANNING DAN RESETTING DISTANCE RELAY PADA PENGHANTAR 150 kV KUDUS ARAH JEKULO," vol. 4, no. 2, pp. 1–13, 2011.
- [3] N. R. Dodi, "ANALISIS PROTEKSI RELE JARAK PADA SALURAN UDARA TEGANGAN TINGGI 150 kV DI GARDU INDUK PEDAN - WONOSARI," 2019.
- [4] A. et. al. Goeritno, "Kinerja Pemutus Tenaga Tegangan Tinggi Bermedia Gas SF 6 Berdasarkan Sejumlah Parameter Diri," vol. 12, no. 2, pp. 104–111, 2018.
- [5] D. at. al. Adityawarman, "Rancang Bangun Alat Ukur Arus Menggunakan Transformator Arus Berbasis Mikrokontroler Atmega32," p. 12, 2018.
- [6] R. Ariyanto, "STUDI ANALISA RELE JARAK PADA JARINGAN TRANSMISI 150 KV GARDU INDUK PEDAN – GARDU INDUK JAJAR," p. 19, 2017.
- [7] B. at. al. Sugiyantoro, "Pengaruh Resistans Busur Pada Unjuk Kerja Rele Jarak pada Transmisi 150 kV," vol. 6, pp. 57–62, 2017.
- [8] Drs. F.J. Tasiem, "Proteksi Sistem Tenaga Listrik," *Teknosian*, pp. 1–236, 2017.
- [9] H. Marta yudha, "Rele proteksi prinsip dan aplikasi," p. 234, 2008.
- [10] A. Jamaah, "EVALUASI SETTING RELE JARAK GARDU INDUK UNGARAN JARINGAN 150kV ARAH KRAPYAK-2," *Orbith*, vol. 10, no. 1, pp. 82–89, 2014.
- [11] Q. Z. Mu'tashim, "Analisis Penggunaan Rele Jarak Pada Sistem Transmisi Gardu Induk 150 kV Jajar Ke Gardu Induk 150 kV Banyudono," *E-Jurnal Univ. Muhammadiyah Surakarta*, 2017.
- [12] J. Harry Furqan, Bonar Sirait, "Unjuk Kerja Sistem Proteksi Arus Lebih Gardu Induk 150 kv SEI. Raya Pontianak," *Tek. Elektro*, vol. 1, no. 1, pp. 1–8, 2014.