

**ANALISIS *RESETTING* RELAI JARAK SALURAN KABEL
TEGANGAN TINGGI (SKTT) 150 KV PLUMPANG -
KANDANG SAPI #2 PADA GARDU INDUK 150 KV
PLUMPANG**

LAPORAN TUGAS AKHIR

LAPORAN INI DISUSUN UNTUK MEMENUHI SALAH SATU SYARAT
MEMPEROLEH GELAR SARJANA (S1)
PADA PRODI TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG



DISUSUN OLEH :

**AFRIZAL FAWAID FASIHFAUZI AHMAD
NIM 30602200066**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG
AGUSTUS 2024**

FINAL PROJECT

***ANALYSIS OF RESETTING RELAY DISTANCE OF HIGH
VOLTAGE CABLE LINES PLUMPANG – KANDANG SAPI #2 AT
PLUMPANG SUBSTATION***

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



Arranged By :

**AFRIZAL FAWAID FASIHFAUZI AHMAD
NIM 30602200066**

**ELECTRICAL ENGINEERING
INDUSTRIAL TECHNOLOGY FACULTY
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG
AGUSTUS 2024**

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul “ANALISIS *RESETTING* RELAI JARAK SALURAN KABEL TEGANGAN TINGGI (SKTT) 150 KV PLUMPANG - KANDANG SAPI #2 PADA GARDU INDUK 150 KV PLUMPANG” ini disusun oleh :

Nama : Afrizal Fawaid Fasihfauzi Ahmad

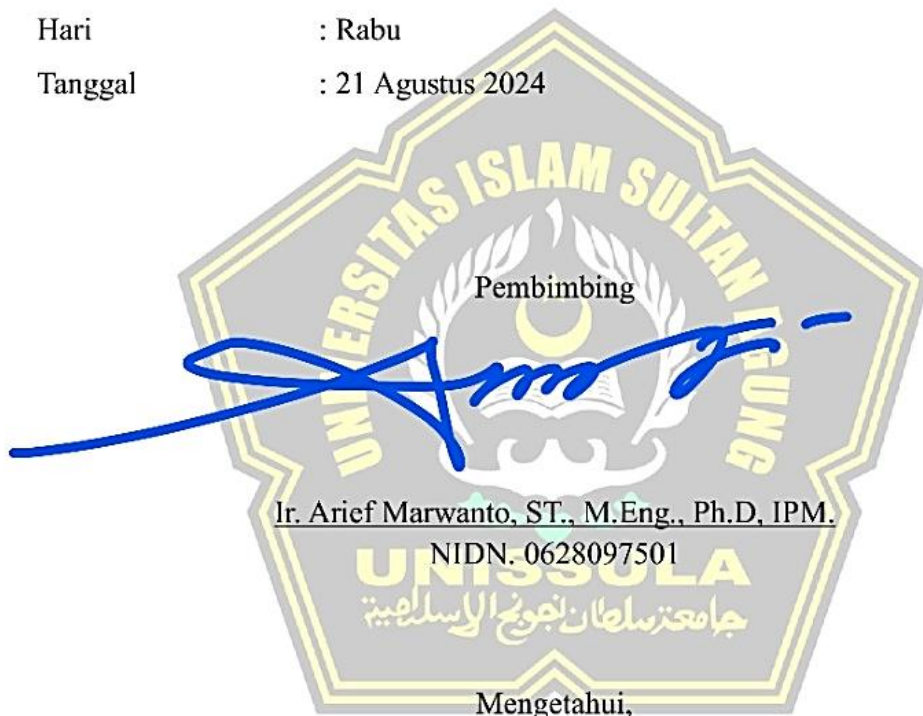
NIM : 30602200066

Program Studi : Teknik Elektro

Telah disahkan oleh dosen pembimbing pada :

Hari : Rabu

Tanggal : 21 Agustus 2024



Ir. Arief Marwanto, ST., M.Eng., Ph.D, IPM.

NIDN. 0628097501

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Elektro



Jemly Putri Hapsari, ST., M.T.

NIDN. 0607018501

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Laporan Tugas Akhir dengan judul “ANALISIS *RESETTING* RELAI JARAK SALURAN KABEL TEGANGAN TINGGI (SKTT) 150 KV PLUMPANG - KANDANG SAPI #2 PADA GARDU INDUK 150 KV PLUMPANG” ini telah dipertahankan di depan dosen penguji Tugas Akhir pada :

Hari : Rabu
Tanggal : 21 Agustus 2024

TIM PENGUJI

Anggota I



Ir. Suryani Alifah, MT., Ph.D.
NIDN. 0615036901

Anggota II



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

Ketua Penguji



Dr. Gurawan, ST., MT.
NIDN. 0607117101

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Afrizal Fawaid Fasihfauzi Ahmad
NIM : 30602200066
Judul Tugas Akhir : ANALISIS *RESETTING* RELAI JARAK
SALURAN KABEL TEGANGAN TINGGI
(SKTT) 150 KV PLUMPANG - KANDANG
SAPI #2 PADA GARDU INDUK 150 KV
PLUMPANG

Dengan bahwa ini saya menyatakan bahwa judul da isi Tugas Akhir yang saya buat dalam rangka menyelesaikan Pendidikan Strata Satu (S1) Teknik Elektro tersebut adalah asli dan belum pernah diangkat, ditulis ataupun dipublikasikan oleh siapapun baik keseluruhan maupun sebagian, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka, dan apabila dikemudian hari ternyata terbukti bahwa judul Tugas Akhir tersebut pernah diangkat, ditulis ataupun dipublikasikan, maka saya bersedia dikenakan sanksi akademis. Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sadar dan penuh tanggung jawab.

Semarang, 21 Agustus 2024

Yang Menyatakan



Afrizal Fawaid Fasihfauzi Ahmad

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Afrizal Fawaid Fasihfauzi Ahmad
NIM : 30602200066
Program Studi : Teknik Elektro
Fakultas : Teknologi Industri

Dengan ini menyatakan Karya Ilmiah berupa Tugas akhir dengan Judul :
**ANALISIS *RESETTING* RELAI JARAK SALURAN KABEL TEGANGAN
TINGGI (SKTT) 150 KV PLUMPANG - KANDANG SAPI #2 PADA
GARDU INDUK 150 KV PLUMPANG**

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, 21 Agustus 2024

Yang Menyatakan



Afrizal Fawaid Fasihfauzi Ahmad

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum wr. wb.

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan anugerah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul ANALISIS *RESETTING* RELAI JARAK SALURAN KABEL TEGANGAN TINGGI (SKTT) 150 KV PLUMPANG - KANDANG SAPI #2 PADA GARDU INDUK 150 KV PLUMPANG tepat pada waktunya.

Tugas Akhir ini diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Sarjana I Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung. Dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, penulis mendapatkan bantuan dari berbagai pihak. Oleh sebab itu pada penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada :

1. Bapak Prof Dr Gunarto S.H., M.H., selaku Rektor Universitas Islam Sultan Agung.
2. Ibu Dr. Novi Marlyana S.T., M.T., IPU., ASEAN.Eng., selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri
3. Ibu Jenny Putri Hapsari, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung sekaligus.
4. Bapak Ir. Arief Marwanto, ST., M.Eng., Ph.D, IPM., selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Bapak Rizal Pahlevi, selaku Manajer UPT Pulogadung PT. PLN (Persero).
6. Bapak Ahmad Ade Syuhada, selaku Manajer ULTG Ancol PT. PLN (Persero).
7. Bapak Hambali Raka, selaku Team Leader Pemeliharaan Otomasi, Proteksi dan Meter ULTG Ancol PT. PLN (Persero).
8. Bapak Imran, selaku Team Leadar GI 150 kV Plumpang.
9. Bapak Devis Sarigi, selaku Team Leader GIS 150 kV Kandang Sapi.
10. Bapak Ahmad Kaelani dan Ibu Sri Asmini, selaku orang tua penulis.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan tugas akhir ini masih banyak kekurangan. Oleh sebab itu, penulis mengharapkan kritik dan saran demi sempurnanya tugas akhir ini. Besar harapan semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis, khususnya pembaca.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Semarang, 21 Agustus 2024

Penulis

Afrizal Fawaid Fasihfauzi Ahmad



DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	i
DAFTAR TABEL.....	iii
DAFTAR GAMBAR.....	iv
DAFTAR LAMPIRAN.....	vi
ABSTRAK.....	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Pembatasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Manfaat	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....	6
2.1 Tinjauan Pustaka.....	6
2.2 Landasan Teori.....	6
2.2.1 Sistem Tenaga Listrik.....	6
2.2.2 Saluran Transmisi.....	8
2.2.3 Gangguan pada Sistem Penyaluran.....	12
2.2.4 Transformator Pengukur.....	13
2.2.5 Pemutus Tenaga (PMT).....	19
2.2.6 Relai Proteksi	20
2.2.7 Relai Jarak (<i>Distance Relay</i>).....	27
2.2.8 Teleproteksi.....	38

2.2.9 Gangguan Hubung Singkat.....	40
BAB III METODE PENELITIAN.....	41
3.1 Topologi Sistem Transmisi GI Plumpang – GI Kandang Sapi #2	41
3.3 Alat dan Bahan	42
3.5 Investigasi Terjadinya Anomali	44
3.6 <i>Ressetting</i> Relai	46
3.7 Skenario Pengujian Individu Relai Jarak	48
3.8 Data Penghantar.....	52
3.9 Data Transformator Daya.....	54
3.10 Data Peralatan Pengukuran	54
BAB IV PERHITUNGAN DAN ANALISIS	56
4.1 Data <i>Setting</i> Eksisting Relai Proteksi Transmisi	56
4.2 Data Gangguan	57
4.3 Investigasi Gangguan.....	58
4.4 Perhitungan <i>Resetting</i> Relai Jarak	60
4.5 Hasil Pengujian Individu Relai Jarak.....	67
4.6 Perbandingan Gangguan Setelah <i>Resetting</i>	68
BAB V PENUTUP.....	73
5.1 Kesimpulan.....	73
5.2 Saran	73
DAFTAR PUSTAKA	74
LAMPIRAN.....	76

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Data Teknik Penghantar	53
Tabel 3.2	Data Impedansi Penghantar.....	53
Tabel 3.3	Data Peralatan Pengukuran	55
Tabel 4.1	Tap Setting Relai Jarak	56
Tabel 4.2	Check List Investigasi.....	59
Tabel 4.3	Lanjutan	60
Tabel 4.4	Setting Baru Relai Jarak.....	64
Tabel 4.5	Setting Pembanding Relai Jarak.....	65
Tabel 4.6	Perbandingan Semua Setting.....	66
Tabel 4.7	Hasil Keakuratan Setting Impedansi Relai Jarak	67
Tabel 4.8	Hasil Keakuratan Setting Waktu Relai Jarak.....	68
Tabel 4.9	Perbandingan Respon Gangguan.....	70



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	<i>Single Line Diagram</i> Sistem Tenaga Listrik	6
Gambar 2.2	Konstruksi Konduktor ACSR.....	10
Gambar 2.3	Konstruksi Konduktor TACSR.....	11
Gambar 2.4	Konstruksi Konduktor ACCC.....	11
Gambar 2.5	Konstruksi <i>Current Transformer</i>	15
Gambar 2.6	Belitan Transformator Arus Rasio Tunggal 150-300 / 5-5 A	15
Gambar 2.7	Belitan Transformator Arus Rasio Ganda 800-1600 / 5-5-5 A dan 1000-2000 / 5 A	16
Gambar 2.8	Belitan Transformator Tegangan Magnetik	17
Gambar 2.9	Konstruksi Transformator Tegangan Kapasitif.....	18
Gambar 2.10	Konstruksi Pemutus Tenaga	19
Gambar 2.11	Perangkat Sistem Proteksi	21
Gambar 2.12	Blok Diagram Utama Relai Proteksi	22
Gambar 2.13	Daerah Pengaman Relai Jarak.....	28
Gambar 2.14	Karakteristik Impedansi	29
Gambar 2.15	Karakteristik <i>Mho</i>	30
Gambar 2.16	Karakteristik <i>Mho</i> Z_1 , Z_2 Parsial Cross-polarise <i>Mho</i> , Z_3 Lensa Geser.....	30
Gambar 2.17	Karakteristik <i>Reactance</i> dengan <i>Starting Mho</i>	31
Gambar 2.18	Karakteristik <i>Quadrilateral</i>	31
Gambar 2.19	Zona Proteksi Relai Jarak.....	32
Gambar 2.20	Jangkauan Setelan Zona-1.....	33
Gambar 2.21	Jangkauan Setelan Zona-2.....	35
Gambar 2.22	Rangkaian Logika Skema PUTT.....	38
Gambar 2.23	Rangkaian Logika Skema POTT.....	39
Gambar 2.24	Rangkaian Logika Skema <i>Blocking</i>	40
Gambar 3.1	<i>Single Line</i> Saluran Transmisi GI 150 kV Plumpang – GIS 150 kV Kandang Sapi.....	41
Gambar 3.2	<i>Single Line Diagram</i> GI 150 kV Plumpang	42
Gambar 3.3	<i>Single Line Diagram</i> GIS 150 kV Kandang Sapi.....	42
Gambar 3.4	Relai <i>Siemens Siprotec 7SL87</i>	43

Gambar 3.5	<i>Omicron CMC 356</i>	43
Gambar 3.6	<i>Test Block</i>	43
Gambar 3.7	Kabel <i>Jack</i>	43
Gambar 3.8	Kabel <i>USB Type A to Type B</i>	44
Gambar 3.9	Laptop	44
Gambar 3.10	Name Plate CT dan VT	44
Gambar 3.11	Diagram Alir Investigasi	45
Gambar 3.12	Diagram Alir <i>Resetting</i> Relai	47
Gambar 3.13	Tampilan Awal Digsi 5	48
Gambar 3.14	Setting pada Folder <i>Meas poin I-3 ph1</i>	49
Gambar 3.15	Setting pada Folder <i>21 Distance Prot. 1</i>	49
Gambar 3.16	Pemasangan <i>Test Block</i> pada <i>Test Plug</i> Relai.....	50
Gambar 3.17	Pasang Kabel <i>Jack</i> pada Alat Uji <i>Omicron CMC 356</i>	50
Gambar 3.18	Tampilan Awal Aplikasi <i>Test Universe 4.31</i>	50
Gambar 3.19	Memasukkan Parameter Impedansi Penghantar.....	51
Gambar 3.20	<i>Import Setting</i> Relai	51
Gambar 3.21	Menentukan Garis untuk Titik Uji Gangguan	52
Gambar 4.1	Lampu Indikasi pada Relai Proteksi	57
Gambar 4.2	Rekaman DFR	57
Gambar 4.3	Rekaman Event pada Rele Proteksi	58
Gambar 4.4	Diagram Quardrilateral Setting Eksisting	71
Gambar 4.5	Diagram Quardrilateral Setting Baru	71

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	77
Lampiran 2	84
Lampiran 3	85
Lampiran 4	86
Lampiran 5	87
Lampiran 6	89
Lampiran 7	93



ABSTRAK

Afrizal Fawaid Fasihfauzi Ahmad, “Analisis *Resetting* Relai Jarak Saluran Kabel Tegangan Tinggi (SKTT) 150 kV Plumpang - Kandang Sapi #2 Pada Gardu Induk 150 kV Plumpang” Tugas Akhir Sarjana I Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung di bawah bimbingan Ir. Arief Marwanto, ST., M.Eng., Ph.D, IPM., Agustus 2024, 70 halaman.

Saluran Kabel Tegangan Tinggi 150 kV merupakan salah satu bagian dari sistem transmisi tenaga listrik yang memiliki peran dalam penyaluran tenaga listrik. Penghantar berjenis kabel memiliki potensi yang lebih sedikit dari pada penghantar udara. Diperlukan skema sistem proteksi yang sendiri dengan menerapkan relai *diferensial* sebagai proteksi utama dan relai jarak sebagai proteksi cadangan apabila relai *diferensial* mengalami gangguan. Tugas akhir ini membahas perhitungan *resetting* relai jarak SKTT 150 kV Plumpang – Kandang Sapi #2 akibat ketidakselektifan relai jarak dalam merespon gangguan yang terjadi akibat *breakdown sealing end* bay bekas pada GIS 150 kV Kandang Sapi yang membaca gangguan pada zona 1 relai jarak. Ketidakselektifan relai jarak diakibatkan kesalahan setting rasio CT yang tidak sesuai. Setelah dilakukan *resetting* didapatkan hasil yang sudah sesuai dengan yang diinginkan. Daerah proteksi zona 1, zona 2, dan zona 3 dilakukan pengujian terhadap simulasi gangguan dan didapatkan ketepatan respon relai jarak bekerja pada zona 2 setelah dilakukan simulasi gangguan yang sama. Setting baru dan setting eksisting memiliki perbedaan pada impedansi zona proteksi dimana setting eksisting memiliki jangkauan zona proteksi lebih jauh dari pada setting baru, hal tersebut terjadi pada tiap-tiap zonanya baik impedansi untuk gangguan antar fasa maupun gangguan ketanah.

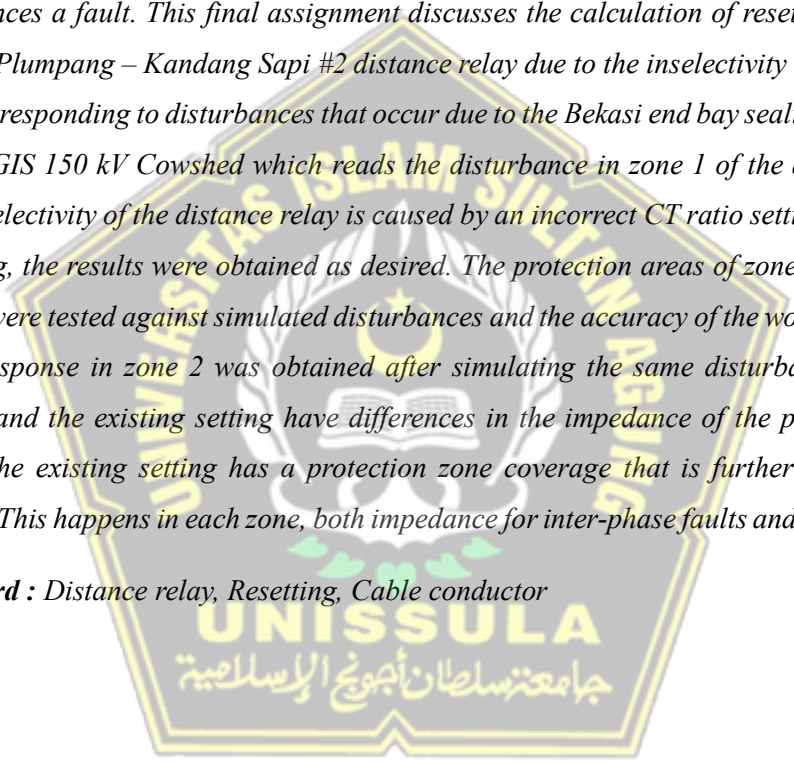
Kata kunci : Relai Jarak, *Resetting*, Saluran Kabel

ABSTRACT

Afrizal Fawaid Fasihfauzi Ahmad, “Analysis of Resetting Relay Distance of High Voltage Cable Lines Plumpang – Kandang Sapi #2 at Plumpang Substation” Final Project bachelor degree Industrial Technology Faculty of Universitas Islam Sultan Agung under guidance of Ir. Arief Marwanto, ST., M.Eng., Ph.D, IPM., August 2024, 70 pages.

The 150 kV High Voltage Cable Line is one part of the electric power transmission system which has a role in distributing electric power. Cable type conductors have less potential than air conductors. A protection system scheme is required that uses a differential relay as main protection and a distance relay as backup protection if the differential relay experiences a fault. This final assignment discusses the calculation of resetting the SKTT 150 kV Plumpang – Kandang Sapi #2 distance relay due to the inselectivity of the distance relay in responding to disturbances that occur due to the Bekasi end bay sealing breakdown on the GIS 150 kV Cowshed which reads the disturbance in zone 1 of the distance relay. The inselectivity of the distance relay is caused by an incorrect CT ratio setting error. After resetting, the results were obtained as desired. The protection areas of zone 1, zone 2 and zone 3 were tested against simulated disturbances and the accuracy of the working distance relay response in zone 2 was obtained after simulating the same disturbance. The new setting and the existing setting have differences in the impedance of the protection zone where the existing setting has a protection zone coverage that is further than the new setting. This happens in each zone, both impedance for inter-phase faults and ground faults.

Key word : *Distance relay, Resetting, Cable conductor*



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem proteksi menjadi hal wajib dalam sistem tenaga listrik guna mengamankan peralatan dan memisahkan daerah yang terganggu. Komponen yang sangat vital dalam sistem proteksi adalah relai. Relai proteksi merupakan salah satu dari komponen utama pada sistem tenaga listrik yang dapat memberikan dampak yang besar pada sistem tenaga listrik. Relai proteksi akan mengidentifikasi adanya gangguan pada sistem dengan mengukur besaran listrik yang dibaca oleh alat ukur yang selalu terbaca dalam kondisi normal maupun gangguan. Relai akan memerintahkan PMT untuk trip guna memutus aliran listrik apabila mendeteksi adanya kondisi gangguan. Salah satu relai proteksi yang sering digunakan adalah relai jarak yang melindungi transmisi dari gangguan hubung singkat.

Sistem proteksi pada saluran transmisi berjenis kabel menggunakan *line current differential relay* (LCD) sebagai proteksi utamanya. Namun apabila relai utamanya terjadi masalah maka akan di-*back up* oleh relai lain seperti relai jarak dan *over current relay* (OCR). Relai-relai tersebut harus memiliki setting dan koordinasi yang tepat supaya sistem proteksi pada area proteksinya berjalan dengan benar.

Beberapa kondisi dapat menyebabkan relai utama yaitu relai *line current differential* (LCD) tidak bekerja, seperti rusaknya relai LCD dan gagalnya komunikasi antar kedua relai LCD. Dengan kondisi tersebut maka relai back up yang akan bekerja. Pada saluran transmisi berjenis kabel, relai *back up* pertama kali yang akan bekerja adalah relai jarak. Tentunya relai pengaman cadangan diharapkan selalu siap bekerja apabila relai utamanya gagal bekerja.

Saluran Kabel Tegangan Tinggi (SKTT) 150 kV Plumpang – Kandang Sapi #2 menyalurkan antara GI 150 kV Plumpang dengan GIS 150 kV Kandang Sapi. Pada hari Sabtu 1 Juli 2023 terjadi *breakdown* pada *sealing end bay* Bekasi #2 di GIS 150 kV Kandang Sapi yang mengakibatkan trip

PMT dikedua sisi. Pada saat yang bersamaan PMT bay Kandang Sapi #2 di GI 150 kV Plumpang mengalami trip dengan indikasi relai jarak bekerja, sedangkan gangguan sudah terisolir dengan tripnya PMT dikedua sisi saluran yang terganggu.

Melihat kejadian tersebut maka dibutuhkan analisis sistem proteksi pada SKTT 150 kV Plumpang – Kandang Sapi #2 di GI 150 kV Plumpang. Berdasarkan uraian diatas maka peneliti akan membuat penelitian yang disusun dalam sebuah Tugas Akhir yang berjudul “ANALISIS RESETTING RELAI JARAK SALURAN KABEL TEGANGAN TINGGI (SKTT) 150 KV PLUMPANG - KANDANG SAPI #2 PADA GARDU INDUK 150 KV PLUMPANG”

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian dengan judul Analisis Sistem Proteksi Saluran Kabel Tegangan Tinggi (SKTT) 150 kV Plumpang - Kandang Sapi #2 pada GI 150 kV Plumpang sebagai berikut :

1. Apa penyebab relai jarak pada bay Kandang Sapi #2 GI 150 Plumpang bekerja?
2. Bagaimana setting relai jarak pada bay Kandang Sapi #2 GI 150 Plumpang?
3. Bagaimana resetting relai jarak pada Saluran Kabel Tegangan Tinggi (SKTT) 150 kV Plumpang – Kandang Sapi #2?

1.3 Pembatasan Masalah

Untuk membatasi ruang permasalahan dengan memberikan batasan ruang lingkup dan masalah yang akan diuraikan sebagai berikut :

1. Hanya menganalisis sistem proteksi pada Saluran Kabel Tegangan Tinggi (SKTT) 150 kV Plumpang – Kandang Sapi #2 pada sisi GI 150 kV Plumpang.
2. Hanya mengidentifikasi setting relai jarak pada SKTT 150 kV Plumpang – Kandang Sapi #2.

1.4 Tujuan

Tujuan penelitian merupakan hasil yang diharapkan dari penyelidikan yang dilakukan. Dalam konteks analisis sistem proteksi SKTT 150 kV Plumpang – Kandang Sapi #2, tujuan penelitian ini mencakup :

1. Mengetahui penyebab relai jarak pada bay Kandang Sapi #2 GI 150 Plumpang bekarja.
2. Menganalisis setting relai jarak pada bay Kandang Sapi #2 GI 150 Plumpang
3. Melakukan resetting relai jarak pada Saluran Kabel Tegangan Tinggi (SKTT) 150 kV Plumpang – Kandang Sapi #2.

1.5 Manfaat

Manfaat penelitian menjelaskan dampak positif yang diharapkan dari hasil penelitian ini, baik secara praktis maupun teoritis. Beberapa manfaat yang dihasilkan dari penelitian ini antara lain :

1. Dapat mengetahui penyebab relai jarak pada bay Kandang Sapi #2 GI 150 Plumpang bekarja.
2. Dapat menganalisis setting relai jarak pada bay Kandang Sapi #2 GI 150 Plumpang.
3. Dapat mengevaluasi kinerja sistem proteksi dengan resetting relai jarak pada Saluran Kabel Tegangan Tinggi (SKTT) 150 kV Plumpang – Kandang Sapi #2 sehingga menghasilkan rekomendasi terhadap sistem proteksi kedepannya.

1.6 Sistematika Penulisan

Tugas akhir ini dibagi menjadi 5 bab yang saling berhubungan satu sama lainnya. Adapun sistematika penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bab I Pendahuluan

Memaparkan suatu latar belakang penelitian, perumusan masalah, pembatasan masalah, tujuan, manfaat dan sistematika

penulisan untuk menggambarkan secara awal bagaimana penelitian dan laporan tugas akhir ini dibuat.

2. Bab II Tinjauan Pustaka dan Landasan Teori

Menjelaskan tentang konsep dan prinsip dasar yang diperlukan untuk memecahkan masalah Tugas Akhir dan untuk merumuskan hipotesis yang diperlukan dari berbagai referensi yang dijadikan landasan pada kegiatan penelitian yang dilakukan. Uraikan hal-hal yang relevan dengan subyek/topik penelitian yang diusulkan yang merupakan rangkuman singkat materi-materi terkait yang terdapat pada berbagai referensi.

Terdiri dari tinjauan pustaka yang memuat beberapa pustaka yang dijadikan acuan untuk menetapkan hipotesis penelitian dan terdapat landasan teori yang menjadi dasar atau landasan yang digunakan dalam membangun atau melakukan penelitian.

3. Bab III Metode Penelitian

Dalam bab ini berisi uraian rinci tentang desain atau pendekatan yang digunakan untuk menjawab permasalahan penelitian untuk mencapai tujuan penelitian. Uraian berisi desain tentang persiapan penelitian, tahap investigasi gangguan serta tahap resetting pada relai jarak. Data-data primer dicantumkan pada bab ini untuk dasar pembahasan dan perhitungan pada bab selanjutnya

4. Bab IV Perhitungan dan Analisis

Dalam bab ini berisi data yang himpun baik data sebelum gangguan, saat gangguan dan setelah gangguan yang diperlukan untuk menjawab permasalahan penelitian. Berdasarkan investigasi, perhitungan secara teoritis dan pengujian relai dibuat dalam bentuk laporan yang memudahkan untuk dianalisis.

5. Bab V Penutup

Dalam bab ini dipaparkan kesimpulan dari hasil analisis di bab sebelumnya dan pernyataan singkat, jelas dan tepat tentang apa yang diperoleh, serta memuat berbagai usulan atau pendapat yang dibuat berdasarkan pengalaman, kesulitan, kesalahan, temuan baru yang belum diteliti dan berbagai kemungkinan ke arah penelitian berikutnya.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

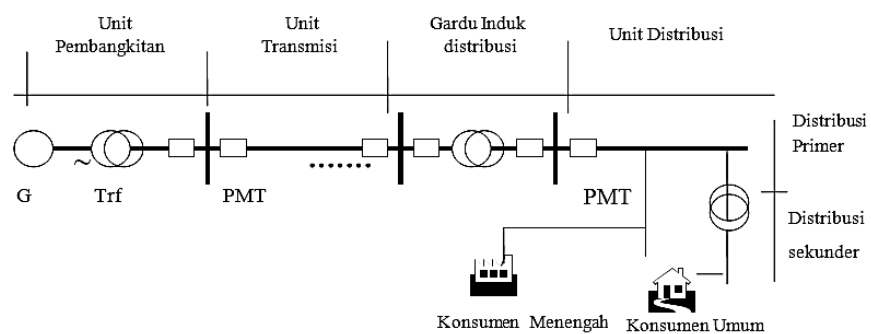
Pada tugas akhir sebelumnya oleh Bayu Seno Adi Nugroho, telah dilakukan analisa setting dan koordinasi sistem proteksi Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) menggunakan relai jarak serta dilakukan perhitungan manual dan perbandingan dengan setting eksisting PLN. Dilakukan juga simulasi koordinasi relai menggunakan *software DigSilent Power Factory*. [1]

Pada penelitian yang dilakukan oleh Adam Pangestu, dilakukan analisa pengaruh perubahan impedansi konduktor akibat penggantian konduktor terhadap setting relai jarak. Melalui penelitian tersebut terdapat perubahan setting relai akibat perubahan impedansi konduktor yang terpasang. [2]

Henry Haskarya, dengan judul “Koordinasi Proteksi Saluran Udata Tegangan Tinggi pada Gardu Induk Mliwang – Tuban Akibat Penambahan Penghantar PLTU Tanjung Awar-awar”. Penelitian tersebut mendapat hasil akibat penambahan penghantar PLTU Tanjung Awar-awar mengakibatkan perubahan koordinasi relai proteksi sehingga dibutuhkan reseting terhadap relai jarak pada SUTT Mliwang – Tuban. [3]

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Sistem Tenaga Listrik



Gambar 2.1 *Single Line Diagram* Sistem Tenaga Listrik [4]

Adapun penjelasan dari ketiga bagian tersebut adalah sebagai berikut :

A. Pembangkit (*Power Plant*)

Pada sistem pembangkit tenaga listrik, tegangan yang dikeluarkan akan mengikuti jenis dan spesifikasi generator yang terpasang, biasanya berkisar antara 11 s/d 24 kV. Pembangkit berkapasitas besar akan dipilih kapasitas yang lebih besar untuk mengendalikan arus agar tidak terlalu besar pula. Dikarenakan tegangan level yang lebih kecil akan mengalirkan arus yang lebih besar dari pada tegangan level yang lebih tinggi dengan perbandingan daya yang sama. Namun tegangan level yang tinggi biasanya berbanding lurus dengan banyaknya belitan generator yang digunakan. Dengan lilitan yang lebih banyak mengakibatkan generator menjadi lebih besar dan lebih berat sehingga dinilai tidak efisien.[5]

B. Sistem Transmisi (*Transmission System*)

Sistem transmisi menggunakan level tegangan yang lebih tinggi dari pada pembangkit. Dikarenakan fungsi sistem transmisi untuk menyalurkan listrik dengan jarak yang cukup jauh dengan media penghantar, maka arus yang besar berdampak pada besar luas penampang penghantar dan rugi-rugi yang muncul. Sehingga dipilih nilai tegangan yang tinggi agar arus yang mengalir lebih kecil. Tegangan saluran transmisi di Indonesia adalah antara 70 s/d 500 kV. Level tegangan yang lebih tinggi ini dinaikkan oleh transformator *step up*. [5]

C. Sistem Distribusi (*Distribution System*)

Sistem distribusi adalah bagian sistem tenaga listrik yang paling dekat dengan pusat beban atau konsumen listrik. Maka level tegangan yang digunakan lebih kecil dibanding sistem transmisi. Hal ini dikarenakan daya yang mengalir pada sistem distribusi cenderung kecil dikarenakan sudah terbaginya daya ke

konsumen. Tegangan sistem distribusi yang digunakan adalah tegangan 20 kV dan 380 V atau 220 V. Di setiap level tegangan tersebut digunakan transformator *step down* untuk menurunkan tegangan.[5]

2.2.2 Saluran Transmisi

Saluran transmisi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang berupa sejumlah konduktor yang dipasang membentang sepanjang jarak antara pusat pembangkit sampai pusat beban atau antar gardu induk. Mengirimkan energi listrik dari pusat pembangkit ke pusat beban atau mengirimkan energi listrik dari satu gardu induk ke gardu induk yang lain merupakan fungsi dari saluran transmisi. Saluran transmisi biasanya digunakan untuk mengirimkan daya listrik yang cukup besar untuk jarak yang relatif jauh.[6]

Jenis penghantar pada saluran transmisi disesuaikan dengan topologi dan energi yang akan disalurkan. Pada prinsipnya saluran transmisi menyalurkan daya listrik dengan jumlah tertentu. Tegangan yang disalurkan akan berbanding terbalik dengan arus yang disalurkan. Ada beberapa macam saluran transmisi yang masing-masing mempunyai kekurangan dan kelebihan. Penggunaan masing-masing jenis disesuaikan dengan keadaan agar diperoleh pengiriman daya yang paling ekonomis dan aman bagi lingkungan sekitarnya.[6]

A. Saluran Udara

Saluran udara adalah jenis sistem transmisi yang menggunakan kawat penghantar tanpa media isolasi tambahan kecuali udara, dan menggunakan isolator gantung untuk memisahkan konduktor dari tower yang menyangganya. Dikarenakan investasi asetnya yang murah saluran udara banyak digunakan untuk menyalurkan energi listrik. Selain biaya pembangunan saluran udara relatif lebih murah, pemeliharaan dan pengawasannya juga lebih sederhana. Namun saluran udara memiliki potensi gangguan yang lebih tinggi, seperti gangguan

karena cuaca, objek yang ada disekitarnya seperti pohon dan bangunan maupun aktifitas manusia yang bersinggungan dengan saluran udara ini.[6]

Kawat penghantar adalah media konduktor yang berfungsi untuk menyalurkan energi listrik dari satu titik ke titik yang lain. Sebagai media pembawa arus pada SUTT/ SUTET dengan kapasitas arus sesuai spesifikasi atau ratingnya yang direntangkan lewat tiang-tiang SUTT/ SUTET melalui insulator-insulator sebagai penyekat konduktor dengan tiang.[6]

Bahan konduktor yang dipergunakan untuk saluran energi listrik perlu memiliki sifat-sifat sebagai berikut:

1. Konduktivitas tinggi
2. Kekuatan tarik mekanik tinggi
3. Berat jenis yang rendah
4. Ekonomis
5. Lentur/ tidak mudah patah

Biasanya konduktor pada SUTT/ SUTET merupakan serabut yang dipilin atau konduktor berkas (*stranded*), supaya mempunyai kapasitas yang lebih besar daripada konduktor pejal dan mempermudah dalam penanganannya.[6]

Jenis-jenis konduktor berdasarkan bahannya:

1. Konduktor Jenis Tembaga (*Bare copper*)

Konduktor jenis ini merupakan penghantar yang memiliki konduktivitas tinggi dan kekuatan mekanik yang cukup baik, sehingga jenis ini merupakan penghantar listrik yang baik.[6]

2. Konduktor jenis aluminium

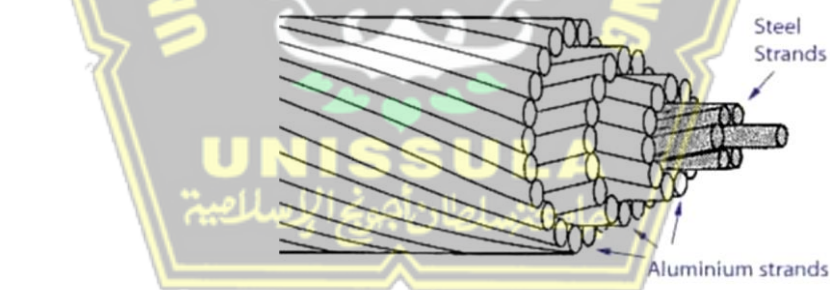
Konduktor dengan bahan aluminium memiliki kelebihan yang lebih ringan daripada konduktor jenis

tembaga dengan konduktivitas dan kekuatan mekaniknya lebih rendah.[6]

Kawat penghantar aluminium, terdiri dari berbagai jenis, berikut jenis-jenis kawat aluminium yang sering digunakan :

1. Konduktor ACSR (*Aluminium Conductor Steel Reinforced*)

Konduktor jenis ini, bagian dalamnya berupa steel yang mempunyai kuat mekanik tinggi dikarenakan bahannya yang terbuat dari campuran besi, sedangkan bagian luarnya berupa aluminium yang mempunyai konduktivitas tinggi. Sebagian besar SUTT maupun SUTET menggunakan konduktor jenis ACSR dikarenakan sifat elektron lebih menyukai bagian luar konduktor daripada bagian sebelah dalam konduktor. Untuk daerah yang udaranya mengandung kadar belerang dan udara yang bersifat korosif tinggi dipakai jenis ACSR/AS, yaitu konduktor jenis ACSR yang konduktor steelnya dilapisi dengan aluminium.[6]



Gambar 2.2 Konstruksi Konduktor ACSR[6]

2. Konduktor jenis TACSR (*Thermal Aluminium Conductor Steel Reinforced*)

Pada saluran transmisi yang membutuhkan kapasitas penyaluran beban sistem tinggi maka digunakan konduktor jenis TACSR. Konduktor jenis ini mempunyai kapasitas penyaluran yang lebih besar tetapi berat konduktor tidak

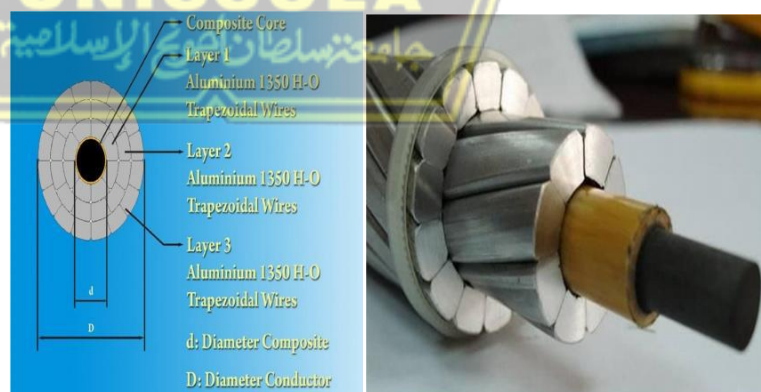
mengalami perubahan yang banyak, tapi berpengaruh terhadap sagging atau andongan.[6]



Gambar 2.3 Konstruksi Konduktor TACS[6]

3. Konduktor jenis ACCC (*Aluminium Carbon Composite Core*)

Konduktor jenis ini memiliki bagian dalam dari bahan *composite* yang memiliki kuat mekanik tinggi, dikarenakan tidak dari bahan konduktif, maka bahan ini tidak mengalami pemuaiian saat mengalir arus maupun tegangan yang tinggi. Konduktor jenis ini cocok untuk daerah pesisir pantai karena konduktor ini tidak mengalami korosi, sedangkan bagian luarnya berupa aluminium yang mempunyai konduktivitas tinggi. Pemilihan konduktor jenis ini dikarena mempunyai karakteristik *high conductivity & low sag conductor*.[6]



Gambar 2.4 Konstruksi Konduktor ACCC[6]

B. Saluran Kabel Bawah Tanah

Saluran kabel bawah tanah berupa konduktor berisolasi yang diletakkan dalam tanah dengan kedalaman tertentu. Investasi pembangunan saluran kabel bawah tanah memerlukan biaya yang lebih tinggi daripada saluran udara dikarenakan harga kabel berisolasi memiliki harga yang jauh lebih tinggi dibanding kawat telanjang yang digunakan pada saluran udara. Pemasangan dan perbaikan lebih rumit jika saluran terjadi gangguan. Saluran jenis ini mempunyai kelebihan lebih aman terhadap gangguan cuaca dan tidak mengganggu pemandangan sehingga menjadikan potensi gangguan jauh lebih kecil dibanding saluran udara. Saluran ini biasanya digunakan di perkotaan ketika pembangunan saluran udara sulit dilakukan.[14]

2.2.3 Gangguan pada Sistem Penyaluran

Jaringan penyaluran listrik yang terganggu harus dapat segera diketahui dan dipisahkan atau diisolir dari bagian jaringan yang tidak mengalami gangguan secepat mungkin dengan maksud agar kerugian yang lebih besar dapat dihindarkan.[7]

Gangguan pada jaringan tenaga listrik dapat terjadi pada beberapa sektor seperti pembangkit, saluran transmisi atau pada jaringan distribusi. Penyebab gangguan pada sistem tenaga listrik dapat diakibatkan oleh gangguan sistem (*System Fault*) dan gangguan non sistem (*Non System Fault*).[7]

A. Gangguan Sistem (*System Fault*)

Gangguan sistem merupakan gangguan yang terjadi pada instalasi sistem tenaga listrik seperti pada generator, transformator, Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT), Saluran Kabel Tegangan Tinggi (SKTT), Busbar dan lain sebagainya. Gangguan sistem dapat dikelompokkan sebagai gangguan permanen dan gangguan sesaat (*temporer*).[7]

1. Gangguan permanen

Gangguan yang tidak hilang dengan sendirinya, sedangkan untuk pemulihan diperlukan perbaikan, misal kawat SUTT putus.[7]

2. Gangguan sesaat (temporer)

Gangguan yang hilang dengan sendirinya bila PMT terbuka, misal sambaran petir yang menyebabkan flash over pada isolator SUTT. Pada keadaan ini PMT dapat segera dimasukkan kembali, secara manual atau otomatis dengan *Auto Recloser Relay*. [7]

B. Gangguan Non Sistem (*Non System Fault*)

PMT mendapat sinyal trip tidak selalu disebabkan oleh terjadinya gangguan pada sistem tersebut, bisa saja PMT terbuka dikarenakan relai yang bekerja sendiri atau kabel kontrol yang terluka atau oleh sebab interferensi dan lain sebagainya. Gangguan seperti hal ini disebut gangguan bukan pada sistem atau disebut gangguan non sistem. [7]

Jenis gangguan non sistem antara lain :

1. Kerusakan komponen relai
2. Kabel kontrol terhubung singkat
3. Interferensi / induksi pada kabel kontrol
4. Kesalahan manusia (*human error*)
5. Gangguan alam (gempa bumi, banjir, kebakaran dsb).[7]

2.2.4 Transformator Pengukur

Transformator pengukuran adalah suatu peralatan yang digunakan untuk membaca besaran listrik pada sisi primer sesuai nilai besaran sesungguhnya dan diturunkan nilainya dengan rasio tertentu pada sisi sekunder.[8] Pada sistem tenaga listrik transformator pengukuran terdiri dari :

A. Transformator Arus (*Current Transformer*)

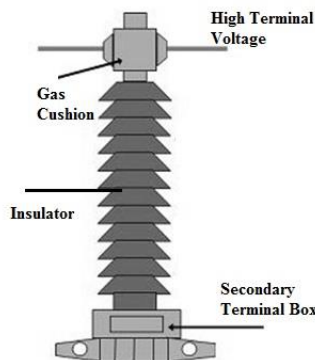
Trafo arus digunakan untuk pengukur arus yang besar hingga ribuan ampere yang mengalir pada jaringan tegangan tinggi. Untuk dapat dilakukan pembacaan dari arus yang besar tadi ke peralatan yang hanya memiliki kemampuan penyaluran arus yang kecil dibawah 5 ampere. Maka diperlukan penurunan arus dari arus yang besar tadi ke arus yang lebih kecil secara tidak langsung dengan menggunakan traformator arus sebutan trafo pengukuran arus yang besar dengan prinsip induksi arus.[15] Ada beberapa type konstruksi transformator arus antara lain adalah sebagai berikut :

1. Tipe cincin (*Ring / Widow type*)
2. Tipe cor-coran *cast resin (Mounded cast resin type)*
3. Tipe tangki minyak (*Oil tank type*)
4. Tipe transformator arus *bushing*

Transformator arus mempunyai beberapa fungsi yaitu :

1. Memperkecil besaran arus listrik (ampere) pada sistem tenaga listrik menjadi besaran arus untuk sistem pengukuran dan proteksi
2. Mengisolasi rangkaian sekunder terhadap rangkaian primer, yaitu memisahkan instalasi pengukuran dan proteksi dari sistem tegangan tinggi.[8]

Dalam sistem transmisi, transformator arus sisi primernya terhubung seri dengan saluran bertegangan tinggi seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini.

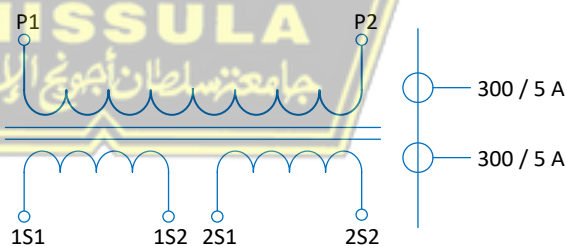


Gambar 2.5 Konstruksi *Current Transformer*[8]

Rating dari transformator arus ditentukan berdasarkan rasio arus primer dengan arus sekunder. Beberapa relai proteksi menggunakan arus sekunder CT sebagai input masukan seperti relai jarak, relai arus lebih, relai differensial dan lain-lain.[8] Berdasarkan rasionya, transformator arus dibagi menjadi :

1. Rasio Tunggal (*Single rasio*)

Hubungan ini terdiri dari sebuah lilitan primer dan dua buah lilitan sekunder yang bekerja masing-masing lilitan dengan inti ganda (*double Core*). Satu lilitan sekundernya untuk relai proteksi dan satu lagi untuk alat pengukuran.[8]

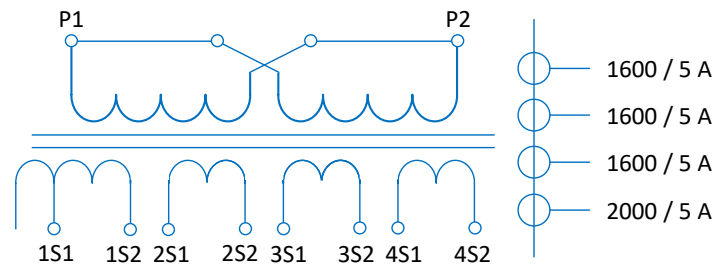


Gambar 2.6 Belitan Transformator Arus Rasio Tunggal 150-300 / 5-5 A[8]

2. Rasio Ganda (*Double rasio*)

Hubungan ini terdiri dari dua buah belitan primer yang sama dan dapat dihubungkan seri atau parallel, sedangkan masing-masing lilitan sekunder terpisah. Sistem

ini lebih menguntungkan karena jika diadakan perluasan elektrifikasi, maka tidak perlu mengganti transformator arus lagi.[8]



Gambar 2.7 Belitan Transformator Arus Rasio Ganda 800-1600 / 5-5-5 A dan 1000-2000 / 5 A[8]

B. Transformator Tegangan (*Voltage Transformer*)

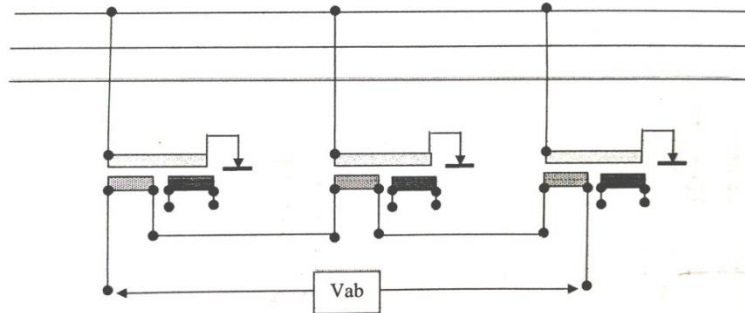
Transformator tegangan adalah transformator satu fasa yang menurunkan tegangan tinggi menjadi tegangan rendah yang dapat diukur dengan voltmeter yang berguna untuk indikator, relai dan alat sinkronisasi.[8] Ada dua macam transformator tegangan yaitu :

1. Transformator Tegangan Magnetik

Prinsip kerjanya seperti transformator daya. Meskipun demikian rancangannya berbeda didalam beberapa hal seperti:

- a. Kapasitasnya kecil (10 — 150 VA).
- b. Faktor rasio dan sudut fasa transformator tegangan sisi primer dan tegangan sekunder dirancang sedemikian rupa supaya faktor kesalahan menjadi kecil.
- c. Salah satu ujung kumparan tegangan tinggi selalu ditanahkan.
- d. Transformator tegangan kutub tunggal yang dipasang pada jaringan tiga fasa disamping belitan pengukuran, biasanya dilengkapi lagi dengan belitan tambahan yang digunakan untuk mendeteksi arus gangguan tanah.[8]

Belitan tambahan dari ketiga transformator tegangan dihubungkan secara seri seperti pada gambar :

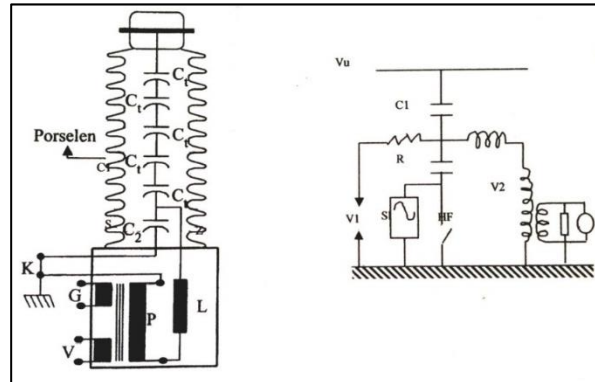


Gambar 2.8 Belitan Transformator Tegangan Magnetik[8]

Pada keadaan normal tidak muncul tegangan pada terminal Vab, tetapi jika terdapat gangguan tanah pada salah satu fasanya, maka tegangan yang tidak terganggu naik sebesar $\sqrt{3}$ dari tegangan sebelumnya sehingga pada terminal Vab akan muncul tegangan sebesar $3 V_n$. Tegangan tersebut akan menguatkan gangguan fasa ke tanah pada relai. Tegangan pengenal belitan gangguan tanah biasanya dipilih sedemikian rupa sehingga saat gangguan tanah Vab mencapai harga yang sama dengan tegangan sekunder fasa-fasa.[16]

2. Transformator Tegangan Kapasitif

Karena alasan ekonomis maka transformator tegangan menggunakan pembagi tegangan dengan menggunakan kapasitor sebagai pengganti transformator tegangan induktif,[8] Pembagi tegangan kapasitif dapat digambarkan seperti gambar di bawah ini.



Gambar 2.9 Konstruksi Transformator Tegangan Kapasitif[8]

Dari pembagi kapasitor, tegangan pada C_2 atau tegangan primer transformator penengah V_1 didapatkan dalam orde puluhan kV umumnya 5kV, 10kV, 15kV dan 20kV. Kemudian oleh transformator magnetik tegangan primer diturunkan menjadi tegangan sekunder standar 100 atau $100\sqrt{3}$ Volt. Apabila terbaca tegangan lebih di jaringan transmisi, tegangan pada kapasitor C_2 akan terbaca naik dan akan menimbulkan kerusakan pada kapasitor tersebut. Untuk menghindari kerusakan tersebut dipasang sela pelindung (SP). Sela pelindung ini dinubung seri dengan resistor R untuk membatasi arus saat sela pelindung bekerja untuk menghindari efek *feroresonansi*. [8]

Konstruksi transformator tegangan kapasitor adalah gulungan kertas yang dibatasi oleh lembaran aluminium berupa bentuk kapasitor (dua plat paralel) sehingga bentuknya ramping dan dapat dimasukan kedalam tabung poselin. Belitan resonansi dan belitan transformator magnetik intermediasi ditempatkan di dalam bejana logam. Terminal K dapat dikebumikan langsung atau dihubungkan dengan alat komunikasi yang signyainya menumpang pada jaringan sistem. Agar efektif sebagai kopling kapasitor, maka

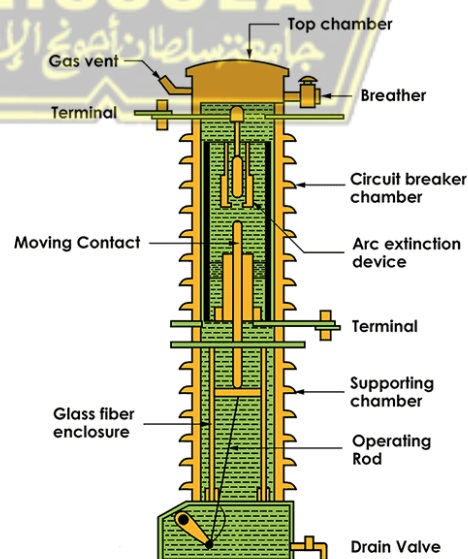
besarnya kapasitansi C1 dan C2 secara perhitungan harus memiliki nilai minimum 4400 pF.[8]

Kerusakan transformator tegangan kapasitor terjadi terutama karena terdapat induktansi pada transformator magnetik yang berupa non linier, sehingga mengakibatkan osilasi resonansinya yang timbul mengakibatkan tegangan tinggi yang cukup besar dan menghasilkan panas yang tidak diinginkan pada inti magnetik dan belitan sehingga mengakibatkan panas yang dapat mempengaruhi hasil penunjukan tegangan. Dibutuhkan elemen peredam yang dapat menghasilkan tidak ada efek terhadap hasil pengukuran.[8]

2.2.5 Pemutus Tenaga (PMT)

Pemutus tenaga (PMT) ialah sekunder yang dapat digunakan menghubungkan atau memutuskan arus / daya listrik sesuai dengan ratingnya.[8] Berdasarkan media pemadaman busur api listrik tersebut, PMT dapat dibagi menjadi

- PMT dengan media minyak
- PMT dengan media udara
- PMT dengan media gas SF₆



Gambar 2.10 Konstruksi Pemutus Tenaga[8]

PMT dengan media gas SF₆ sedang digunakan pada gardu induk. Sifat gas SF₆ murni tidak berwarna, tidak berbau, tidak beracun, dan tidak mudah terbakar. Gas SF₆ mempunyai kekuatan dielektrik yang tinggi (2,35 kali udara) sehingga sifat isolasi listriknya lebih baik daripada udara. Dan kekuatan dielektrik ini bertambah dengan gas yang bertekanan. Sifat lain dari gas SF₆ adalah mampu memulihkan kekuatan dielektrik dengan cepat, setelah arus bunga api listrik melalui titik nol, PMT SF₆ ada 2 tipe, yaitu :

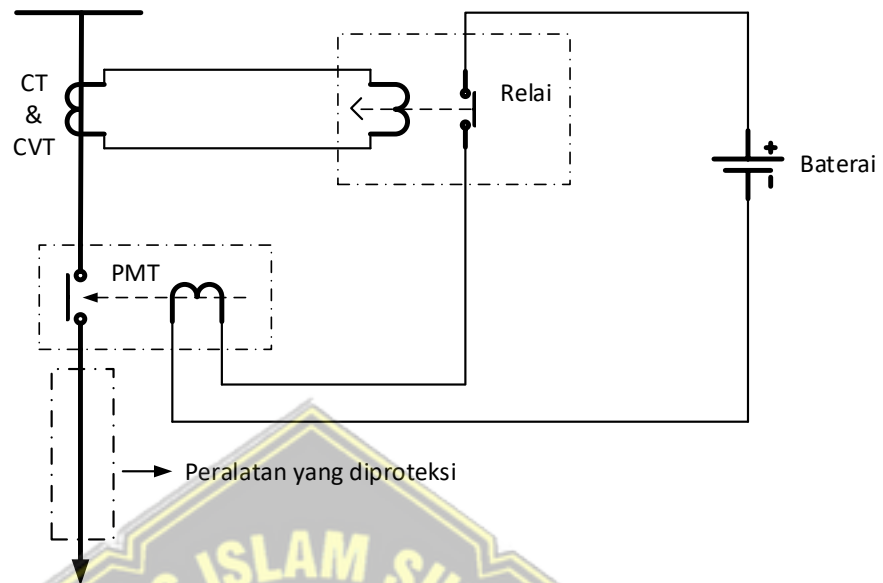
- a. Tipe tekanan tunggal (*single pressure type*)
- b. Tipe tekanan ganda (*double pressure type*)[8]

Selama pengisian, gas SF₆ akan menjadi dingin jika keluar dari tangki penyimpanan dan akan panas kembali jika dipompakan untuk pengisian kedalam bagian / ruang pemutus tenaga. Oleh karena itu gas SF₆ perlu diadakan pengaturan tekanannya beberapa jam setelah pengisian, pada saat gas SF₆ suhu lingkungan. Batas tekanan absolut gas SF₆ yang diisikan pada bagian / ruang pemutus tenaga gas SF₆ yang terpasang pada suhu kerja 20 C dan tekanan atmosfer 760 mm Hg°. [8]

2.2.6 Relai Proteksi

Relai proteksi adalah suatu alat yang bekerja secara otomatis untuk mengatur atau memberi perintah untuk membuka atau memasukkan suatu rangkaian listrik (rangkai trip atau alarm) akibat adanya perubahan lain. [7]

Proteksi terdiri dari seperangkat peralatan yang merupakan sistem yang terdiri dari komponen-komponen berikut :



Gambar 2.11 Perangkat Sistem Proteksi[7]

1. Transformator arus dan transformator tegangan

Sebagai peralatan perasa (*sensing element*) yang mengubah besaran listrik primer dari sistem yang diukur ke besaran listrik sekunder (relai).

2. Relai

Sebagai alat pembanding, pengindera dan pengukur untuk mendeteksi dan membandingkan suatu nilai perubahan besaran listrik dengan besaran yang telah ditetapkan (*setting*) yang kemudian memberi perintah kepada pemutus tenaga (PMT).

3. Pemutus tenaga (PMT)

Pemutus tenaga atau PMT ini berfungsi untuk memisahkan bagian sistem yang terganggu dengan bagian yang tidak mengalami gangguan.

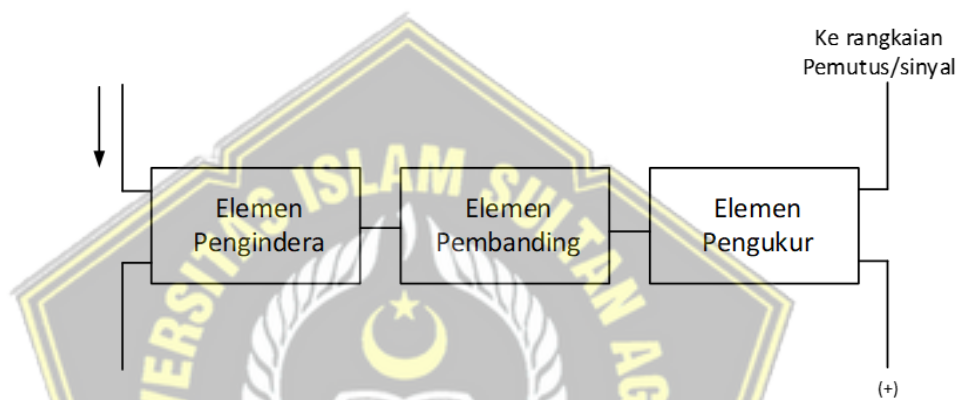
4. Suplai tegangan DC

Suplai DC berguna sebagai sumber listrik untuk bekerjanya relai dan peralatan bantu/PMT (*tripping*).

5. Pengawatan (*wiring*)

Rangkaian sekunder (arus dan/atau tegangan), sirkit tripping dan sirkit peralatan bantu merupakan bagian dari pengawatan.[7]

Secara sederhana bagian dari relai proteksi terdiri dari tiga bagian utama, seperti pada gambar 2.12 :



Gambar 2.12 Blok Diagram Utama Relai Proteksi[7]

Tiap-tiap elemen atau bagian mempunyai fungsi sebagai berikut :

1. Elemen pengindera

Elemen ini memiliki prinsip kerja untuk merasakan besaran-besaran listrik, seperti halnya arus, tegangan, frekuensi dan lain-lain kebutuhan suatu relai proteksi. Pada elemen ini besaran yang masuk akan dirasakan kondisinya, apakah bagian yang diproteksi itu mendapatkan gangguan atau dalam keadaan normal, untuk kemudian besaran tersebut dikirimkan ke elemen pembanding.[7]

2. Elemen pembanding

Elemen ini memiliki prinsip kerja untuk menerima besaran listrik setelah sebelumnya besaran listrik itu diterima oleh elemen

pengindera untuk selanjutnya membandingkan besaran listrik pada saat keadaan normal dengan besaran arus kerja relai.[7]

3. Elemen pengukur atau penentu

Elemen ini memiliki prinsip kerja untuk mendeteksi perubahan secara cepat pada besaran ukurnya dan segera mungkin memberikan isyarat untuk PMT trip atau membuka atau memberikan sinyal lainnya.[7]

A. Fungsi Relai Proteksi

Pemasangan relai proteksi bertujuan untuk mengidentifikasi adanya gangguan atau bukan dan mengisolir atau memisahkan bagian jaringan yang mengalami gangguan dari bagian lain yang tidak mengalami gangguan serta sekaligus mengamankan bagian yang masih sehat dari kerusakan atau kerugian yang lebih besar dengan cara :

1. Mendeteksi adanya gangguan atau kondisi tidaknormal lainnya yang dapat merusak peralatan atau mengganggu sistem.
2. Memisahkan atau melepaskan bagian sistem yang mengalami gangguan atau yang mengalami kondisi abnormal lainnya secepat mungkin sehingga kerusakan pada instalasi yang mengalami gangguan atau yang dilalui arus gangguan dapat terhindar atau dibatasi seminimum mungkin dari bagian sistem yang sehat sehingga tidak berdampak pada sistem yang sehat dapat beroperasi.
3. Sebagai pengamanan cadangan bagi instalasi lainnya.
4. Memberikan pelayanan keandalan dan mutu listrik yang baik kepada konsumen.
5. Mengamankan manusia terhadap bahaya yang ditimbulkan oleh listrik.[7]

B. Syarat-syarat Relai Proteksi

Sistem proteksi merupakan salah satu bagian terpenting dalam penyaluran tenaga listrik. Sebagai pengaman terhadap gangguan tentu diperlukan sistem proteksi yang dapat diandalkan. Maka untuk mendapatkan suatu sistem proteksi yang baik diperlukan persyaratan sebagai berikut :

1. Sensitif

Relai proteksi bertugas untuk mengamankan suatu peralatan atau suatu bagian tertentu dari suatu sistem tenaga listrik, alat atau bagian sistem yang termasuk dalam daerah pengamanannya. Dalam mengamankan daerah proteksinya relai proteksi harus cukup sensitif untuk mendeteksi gangguan tersebut dengan pengukuran gangguan minimum dan bila perlu untuk mengamankan daerah pengamanannya relai proteksi hanya mentriapkan pemutus tenaga (PMT) untuk memisahkan bagian sistem yang terganggu dengan yang tidak terganggu, sedangkan bagian sistem yang sehat dalam hal ini tidak boleh terbuka.[7]

2. Selektif

Selektifitas dari relai proteksi merupakan suatu ketepatan dan kecermatan pemilihan daerah pengamanannya. Daerah yang terpisah dari suatu sistem oleh karena terjadinya gangguan harus sekecil mungkin, sehingga daerah yang terputus hanyalah daerah yang mengalami gangguan saja. Relai proteksi hanya akan bekerja selama kondisi tidak normal atau gangguan yang terjadi di daerah pengamanannya dan tidak akan bekerja pada kondisi normal atau pada keadaan gangguan yang terjadi di luar daerah pengamanannya.[7]

3. Cepat

Kecepatan merespon suatu gangguan sesuai waktu kerjanya merupakan suatu kualitas pada relai proteksi itu sendiri. Semakin cepat relai proteksi bekerja sesuai setelan waktu kerja, tidak hanya dapat memperkecil kemungkinan akibat gangguan, tetapi dapat memperkecil kemungkinan meluasnya akibat yang ditimbulkan oleh gangguan.[7]

4. Andal

Relai proteksi harus siap kapanpun relai itu dibutuhkan. Ketika keadaan normal atau sistem yang tidak mengalami gangguan, relai proteksi bisa tidak bekerja selama berbulan-bulan mungkin bertahun-tahun. Namun relai proteksi bila diperlukan kapanpun harus dapat bekerja. Apabila relai gagal bekerja dapat mengakibatkan kerusakan yang lebih parah pada peralatan yang diamankan atau mengakibatkan bekerjanya relai lain sehingga meluasnya daerah yang dipadamkan. Untuk tetap menjaga keandalannya, maka relai proteksi harus dilakukan pengujian secara periodik.[7]

5. Ekonomis

Dalam efisiensi pembiayaan, tentu akan dipilih peralatan dengan fungsinya dengan biaya yang sekecil-kecilnya diharapkan relai proteksi mempunyai kemampuan pengamanan yang baik.[7]

6. Sederhana

Diharapkan pengaplikasian suatu relai proteksi pada peralatan dan lokasinya dengan mudah dioperasikan dan menyesuaikan peralatan yang sudah ada. Perangkat Relai proteksi disyaratkan mempunyai bentuk yang sederhana dan fleksibel.[7]

C. Penyebab Kegagalan Proteksi

Apabila sistem proteksi bekerja sebagaimana mestinya maka kerusakan akibat gangguan dapat dihindar atau dicegah. Apabila gangguan itu disebabkan karena sudah adanya kerusakan (*insulation break down* di dalam peralatan), maka kerusakan tersebut dapat diminimalisasi.[7]

Sistem proteksi yang benar harus dapat bekerja cukup cepat, selektif dan andal sehingga kerusakan peralatan yang mungkin timbul akibat adanya gangguan atau pada bagian sistem atau peralatan yang dilalui arus gangguan dapat terhindarkan dan kestabilan sistem dapat terjaga.[7]

Sebaliknya jika proteksi gagal bekerja atau terlalu lambat bekerja, maka arus gangguan ini berlangsung lebih lama. Arus gangguan yang terlalu lama mengakibatkan panas yang ditimbulkan dapat mengakibatkan kebakaran yang hebat, kerusakan yang parah pada peralatan instalasi dan ketidakstabilan sistem.[7]

Tangki transformator daya yang menggelembung atau jebol akibat gangguan biasanya karena kegagalan kerja atau kelambatan kerja proteksi, hal ini diakibatkan bertambahnya suhu pada ruangan transformator yang berakibat bertambahnya tekanan dalam tangki transformator.

Kegagalan atau kelambatan kerja proteksi juga akan mengakibatkan bekerjanya proteksi lain yang menjadi cadangannya (sebagai *remote back up*) sehingga dapat mengakibatkan pemadaman yang lebih luas atau bahkan runtuhnya sistem (*collapse*). [7]

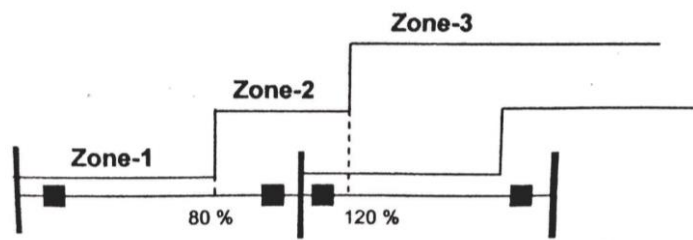
Kegagalan (mala-kerja) atau kelambatan kerja sistem proteksi dapat disebabkan antara lain oleh :

1. Relai proteksi yang telah rusak atau tidak konsisten bekerjanya.
2. Setelan (*setting*) relainya tidak benar (tidak selektif atau kurang cepat).
3. Batereinya lemah akibat kegagalan sistem DC suplai sehingga tidak dapat mengetripping PMT-nya.
4. Hubungan kontak pada rangkaian *tripping* kurang baik atau terputus.
5. Kemacetan mekanisme *tripping* pada PMT karena kotor, karat, patah atau meleset.
6. Kegagalan PMT dalam memutuskan arus gangguan yang bisa disebabkan oleh arus gangguannya terlalu besar melampaui kemampuan pemutusan (*interrupting capability*), atau kemampuan pemutusannya telah menurun, atau karena ada kerusakan.
7. Kurang sempumaan rangkaian sistem proteksi antara lain adanya hubungan kontak yang renggang atau kurang baik.
8. Kegagalan saluran komunikasi tele proteksi.
9. Transformator arus mengalami kejenuhan, kegagalan isolasi dan rangkaian sekunder terbuka.
10. Transformator tegangan hubung singkat dan rangkaian sekunder terbuka (MCB PT trip, *loss* kontak dsb.).
11. Terjadi kesalahan arah (*polaritas*) pada relai-relai yang mempunyai perangkat arah (*Directional relay*).[7]

2.2.7 Relai Jarak (*Distance Relay*)

Relai jarak digunakan sebagai pengaman utama (*main protection*) pada SUTT/SUTET dan sebagai pengaman cadangan (*remote back-up*) untuk saluran di depan. Relai jarak bekerja dengan mengukur besaran impedansi (Z) transmisi dibagi menjadi beberapa daerah cakupan yaitu Zona-1, Zona-2, Zona-3, serta dilengkapi juga

dengan teleproteksi (TP) sebagai upaya agar proteksi bekerja selalu cepat dan selektif di dalam daerah pengamanannya.[9]



Gambar 2.13 Daerah Pengaman Relai Jarak[9]

A. Prinsip Kerja Relai Jarak (*Distance Relay*)

Relai jarak mengukur tegangan pada titik relai dan arus gangguan yang terlihat dari relai, dengan membagi besaran tegangan dan arus, maka impedansi sampai titik terjadinya gangguan dapat ditentukan.[13] Perhitungan impedansi dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

$$z_f = \frac{V_f}{I_f} [9] \quad (1)$$

keterangan :

Z_f = Impedansi di titik gangguan (ohm)

V_f = Tegangan gangguan (Volt)

I_f = Arus gangguan (Ampere)

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

1. Bila harga impedansi gangguan lebih kecil dari pada impedansi seting maka relai akan bekerja.
2. Bila harga impedansi gangguan lebih besar dari pada impedansi seting maka relai tidak akan bekerja.

Menurut jenis gangguan pada sistem tenaga listrik, terdiri dari gangguan hubung singkat tiga fasa, dua fasa, dua fasa ke tanah dan satu fasa ke tanah. Relai jarak sebagai pengaman utama

harus dapat mendeteksi semua jenis gangguan dan kemudian memisahkan sistem yang terganggu dengan sistem yang tidak terganggu.[9]

B. Karakteristik Relai Jarak

Karakteristik Relai Jarak merupakan penerapan langsung dari prinsip dasar relai jarak, karakteristik ini biasa digambarkan didalam diagram R-X. Ada 4 (empat) macam karakteristik relai jarak, antara lain :

1. Karakteristik impedansi

Ciri-cirinya :

- Merupakan lingkaran dengan titik pusatnya ditengah-tengah, sehingga mempunyai sifat non directional. Untuk diaplikasikan sebagai pengaman SUTT perlu ditambahkan relai *directional*.
- Mempunyai keterbatasan mengantisipasi gangguan tanah *high resistance*.
- Karakteristik *impedance* sensitif oleh perubahan beban, terutama untuk SUTT yang panjang sehingga jangkauan lingkaran impedansi dekat dengan daerah beban.[9]

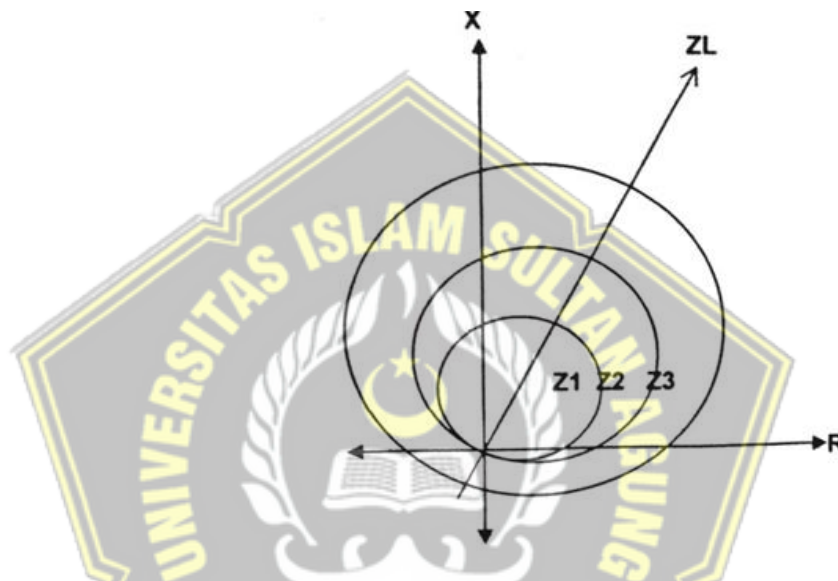


Gambar 2.14 Karakteristik Impedansi[9]

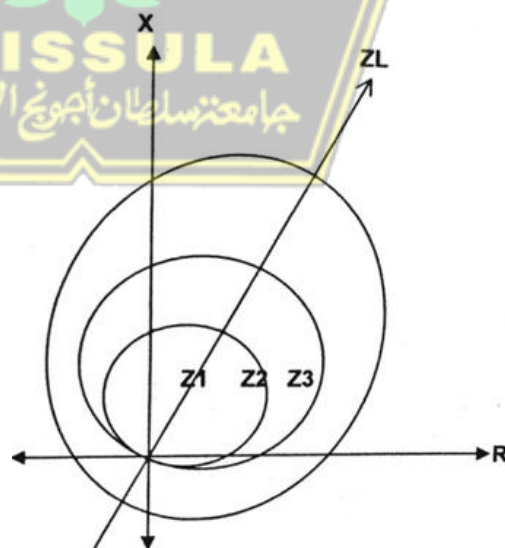
2. Karakteristik *Mho*

Ciri-cirinya :

- Titik pusatnya bergeser sehingga mempunyai sifat *directional*.
- Mempunyai keterbatasan untuk mengantisipasi gangguan tanah *high resistance*.
- Untuk SUTT yang panjang dipilih zona-3 dengan karakteristik *Mho* lensa geser.[9]



Gambar 2.15 Karakteristik *Mho*[9]

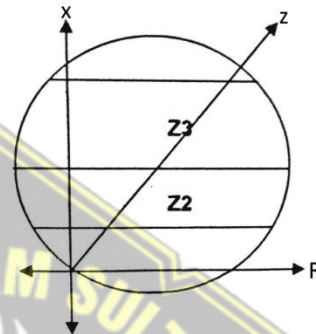


Gambar 2.16 Karakteristik *Mho* Z1, Z2 *Parsial Cross-polarise Mho*, Z3 *Lensa Geser*[9]

3. Karakteristik *reactance*

Ciri-cirinya :

- Karakteristik *reactance* mempunyai sifat non directional. Untuk aplikasi di SUTT perlu ditambah relai directional.
- Dengan setting jangkauan resistif cukup besar maka relai *reactance* dapat mengantisipasi gangguan tanah dengan tahanan tinggi,[9]

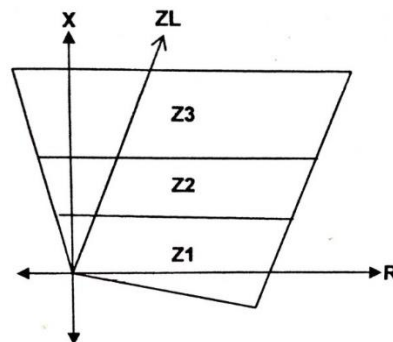


Gambar 2.17 Karakteristik *Reactance* dengan *Starting Mho*[9]

4. Karakteristik *quardrilateral*

Ciri-cirinya :

- Karakteristik *quardrilateral* merupakan kombinasi dari 3 macam komponen yaitu *reactance*, berarah dan resistif.
- Dengan setting jangkauan resistif cukup besar maka karakteristik relai *quardrilateral* dapat mengantisipasi gangguan tanah dengan tahanan tinggi.
- Umumnya kecepatan relai lebih lambat dari jenis *Mho*. [9]



Gambar 2.18 Karakteristik *Quardrilateral*[9]

C. Pemilihan Zona Proteksi

Dalam membuat setting, pertama-tama ditetapkan dahulu nilai impedansi di sistem tenaga (primer). Impedansi sekunder dihitung dengan perkalian rasio CT dan PT pada persamaan.

$$CT = \frac{CT \text{ primer}}{CT \text{ sekunder}} \quad (2)$$

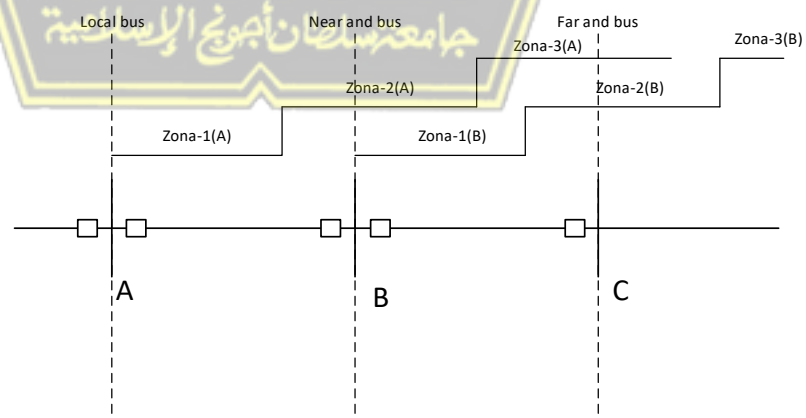
$$PT = \frac{PT \text{ primer}}{PT \text{ sekunder}} \quad (3)$$

$$n = \frac{CT}{PT} \quad [9] \quad (4)$$

keterangan :

- CT primer = Arus nominal sisi primer (Ampere)
- CT sekunder = Arus nominal sisi sekunder (Ampere)
- PT primer = Tegangan nominal sisi primer (Volt)
- PT sekunder = Tegangan nominal sisi sekunder (Volt)
- CT = Rasio transformator arus
- PT = Rasio transformator tegangan
- n = Rasio CT dan PT

Daerah kerja relai jarak umumnya dibagi menjadi 3 zona yang dikordinasikan dengan seksi berikutnya agar tidak terjadi *overlapping*



Gambar 2.19 Zona Proteksi Relai Jarak[9]

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

$$ZL = \text{Panjang saluran} \times Z1 \text{ saluran per km} \quad [9] \quad (5)$$

1. Jangkauan Zona 1

Setting jangkauan zona-1 harus mengcover seluruh segmen penghantar yang diamankan, dan memperhitungkan kesalahan-kesalahan relai, CT dan PT , sehingga diharapkan tidak melampaui batas segmen yang diamankan. Oleh karena itu jangkauan Zona-1 disetting antara 80% - 85% dari impedansi Line (ZL1).[9]

Untuk relai jenis elektromekanik / statis dipilih 80 %, sedangkan untuk relai jenis numerik dapat dipilih 85%. Jika konfigurasi penghantar hanya 1 (satu) sirkit radial langsung memasok transformator tenaga (GI ujung), maka jangkauan zona-1 disetting sampai dengan $95\% \times ZL1$. [9]

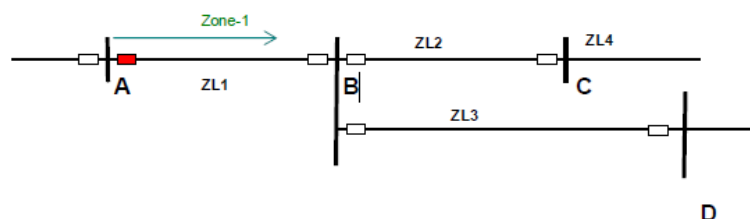
$$\text{Zona-1} = 0.8 \times ZL_{11} \quad [9] \quad (6)$$

keterangan :

Zona 1 = Impedansi zona-1 (ohm)

ZL_{11} = Impedansi urutan positif saluran utama (ohm)

Nilai jangkauan impedansi atau reaktansi ini dihitung dalam nilai primer dan dikonversi ke nilai sekunder, kemudian dimasukkan dalam tap value setting sesuai dengan merek dan type relai.[9]



Gambar 2.20 Jangkauan Setelan Zona-1[9]

2. Jangkauan Zona 2

Jangkauan Zona-2 harus mencakup melebihi busbar di GI-B, maka Zona-2 minimum adalah 120% dari ZL1. Jangkauan zona-2 juga harus mencakup penghantar di depannya dan berfungsi sebagai pengamanan cadangan jauh relai jarak di GI-B. Zona-2 maksimum harus menjangkau 80% jaringan di depan yang paling pendek Z2 maks = 80% (ZL1 + 80% ZL2). Tetapi jangkauan zona-2 tidak boleh melebihi 50% impedansi Transformator tenaga yang ada di gardu induk depan (GI B).[9] Seperti pada gambar 2.21

$$\text{Zona-2 min} = 1,2 \cdot ZL_{11} \quad (7)$$

$$\text{Zona-2 mak1} = 0,8 (ZL_{11} + 0,8 \cdot ZL_{21}), \quad (8)$$

dipilih nilai terbesar

$$\text{Zona-2 mak2} = ZL_{11} + 0,5 \cdot X_t [9] \quad (9)$$

$$X_t = \frac{Z\% \times V^2}{S} \quad (10)$$

keterangan :

$$\text{Zona-2 min} = \text{Impedansi Zona-2 minimum (ohm)}$$

$$\text{Zona-2 mak1} = \text{Impedansi Zona-2 maksimum (ohm)}$$

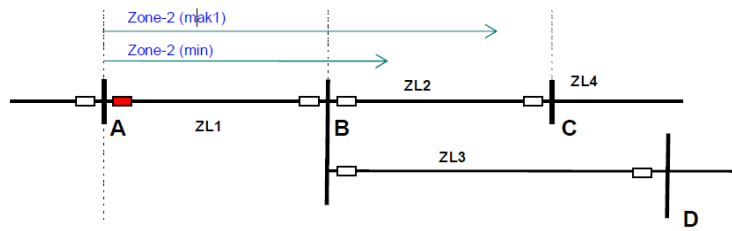
$$\text{Zona-2 mak2} = \text{Impedansi Zona-2 maksimum 50 \% impedansi transformator (ohm)}$$

$$ZL_{11} = \text{Impedansi urutan positif saluran utama (ohm)}$$

$$ZL_{21} = \text{Impedansi urutan positif saluran terpendek GI depannya (ohm)}$$

$$X_t = \text{Impedansi transformator (ohm)}$$

Jangkauan zona-2 dipilih nilai yang terbesar antara Zona-2 min dan Zona-2 mak1, tetapi tidak boleh melebihi impedansi Zona-2 mak2.[9]



Gambar 2.21 Jangkauan Setelan Zona-2[9]

Jika jangkauan Zona-2 minimum lebih besar dari Zona-2 maksimum, maka setelan impedansi Zona-2 diprioritaskan menggunakan nilai Z2 minimum, tetapi waktu kerja Zona-2 (t_{2A}) dinaikkan, dimana waktu tunda Zona-2 (t_{2A}) lebih besar dari waktu Zona-2 di depan (t_{2B}). Hal ini untuk memberi kesempatan kepada zona-2 relai jarak di depan bekerja lebih dulu.[9]

3. Jangkauan Zona 3

Zona 3 disetel dengan jangkauan mencapai impedansi saluran sampai dengan 2 (dua) gardu induk terjauh di depannya. Sehingga Zona-3 berfungsi juga sebagai pengaman cadangan Zona-2, baik didaerah pengamanannya maupun pada jaringan di depannya.[9]

$$\text{Zona-3 min} = 1,2 (ZL_{11} + ZL_{31}) \quad (11)$$

$$\text{Zona-3 mak} = 0,8 (ZL_{11} + 0,5 \cdot X_t) \quad [9] \quad (12)$$

keterangan :

Zona-3 min	= Impedansi Zona-3 minimum (ohm)
Zona-3 mak	= Impedansi Zona-3 maksimum mempertimbangkan impedansi transformator (ohm)
ZL_{11}	= Impedansi urutan positif saluran utama (ohm)
ZL_{31}	= Impedansi urutan positif saluran terpanjang GI di depannya (ohm)
X_t	= Impedansi transformator (ohm)

4. Jangkauan Resistive

Pengaman gangguan fasa tanah yang lebih sensitif sebaiknya menggunakan karakteristik *quadrilateral*. Dalam perhitungan setting, untuk kondisi jaringan yang banyak pohon, tahanan gangguan diasumsi sekitar 40 ohm (primer). Akan tetapi tidak boleh melebihi nilai *ground fault resistance comparator*. [10]

Tahanan *loop* pada gangguan tanah

$$R_{mL_{11}} = \frac{0,8(RL_{10} + 2 \times RL_{11})}{3} \times n \quad [10] \quad (13)$$

Keterangan :

$R_{mL_{11}}$ = Tahanan *loop* gangguan tanah

RL_{10} = Tahanan urutan nol

RL_{11} = Tahanan urutan positif

n = Rasio VT/CT

Tahanan *loop* total adalah

$$R_1 = R_{mL_{11}} + R_f \times n \quad (14)$$

$$R_1' = R_{mL_{11}} + (R_f \times n) \quad (15)$$

$$R_1'' = (2 \times R_{mL_{11}}) + (R_f \times n) \quad [10] \quad (16)$$

Keterangan :

R_1 = Tahanan *loop* total

$R_{mL_{11}}$ = Tahanan *loop* gangguan tanah

R_f = Tahanan gangguan

n = Rasio VT/CT

Kompensasi gangguan urutan nol

$$K_0 = \frac{(ZL_{10} - ZL_{11})}{3 \times ZL_{11}} \quad [10] \quad (17)$$

$$K_r = \frac{1}{3} \times \left(\frac{R_{10}}{R_{11}} - 1 \right) \quad (18)$$

$$K_x = \frac{1}{3} \times \left(\frac{X_{10}}{X_{11}} - 1 \right) \quad [11] \quad (19)$$

Keterangan :

K_0 = Kompensasi gangguan urutan nol

K_r = Kompensasi resistif urutan nol

K_x = Kompensasi reaktif urutan nol

Z_{L10} = Impedansi urutan nol

Z_{L11} = Impedansi urutan positif

R_{10} = Resistif urutan nol penghantar

R_{11} = Resistif urutan Positif penghantar

X_{10} = Reaktif urutan nol penghantar

X_{11} = Reaktif urutan positif penghantar

Ground fault resistance comparator

$$R_2 = \frac{V_{pp}}{\sqrt{3} \times (2 + K_0) \times CCC} \quad [10] \quad (20)$$

Keterangan :

R_2 = Resistansi komparator

K_0 = Kompensasi gangguan urutan nol

V_{pp} = Tegangan *phasa – phasa*

CCC = Kapasitas arus maksimum penghantar

Jangkauan resistif yang dipilih :

$$R_1 < R < R_2 \quad (21)$$

Untuk gangguan fasa-fasa dapat menggunakan karakteristik *mho* atau *quadrilateral*. Setting jangkauan resistif (R_b) *distance relay* yang menggunakan karakteristik *Quadrilateral* harus memperhitungkan impedansi busur api atau tahanan gangguan antar fasa antara 5 s.d. 10 ohm primer, akan tetapi tidak melebihi 10% dari impedansi beban-maksimum (10% Z_{load} -maksimum). Z_{load} maksimum dihitung berdasarkan tegangan operasi terendah yang pernah dicapai.[10]

D. Setelan Waktu Kerja

Zona-1	= <i>Instantaneous</i>
Zona-2	= 0,3 – 0,8 detik (sesuai kebutuhan)
Zona-3	= 0,8 – 1,6 detik (sesuai kebutuhan)[9]

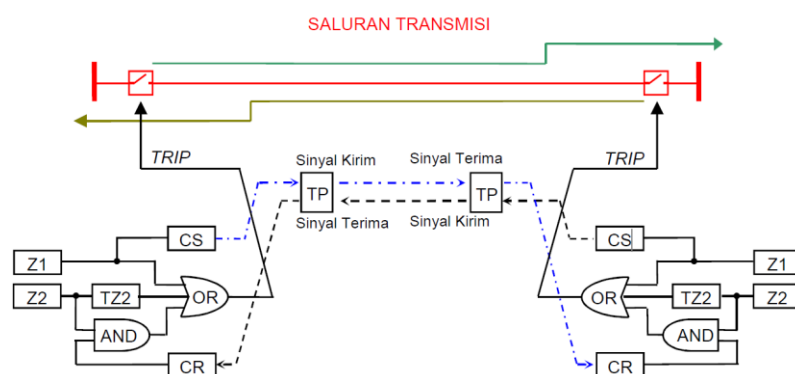
2.2.8 Teleproteksi

Agar dapat bekerja selektif dan seketika pada daerah unit proteksi, relai jarak dilengkapi dengan teleproteksi. Teleproteksi merupakan rangkaian peralatan yang berfungsi untuk mengirim dan menerima sinyal dari gardu induk yang satu ke gardu induk lain di depannya atau yang berhadapan, untuk dapat memberikan perintah trip seketika. Pola teleproteksi yang umumnya digunakan adalah sebagai berikut.[9]

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

Pada pola ini peralatan TP akan mengirim sinyal (*carrier send*) ke peralatan TP pada gardu induk di depannya apabila relai jarak mendeteksi gangguan pada zona-1.[9]

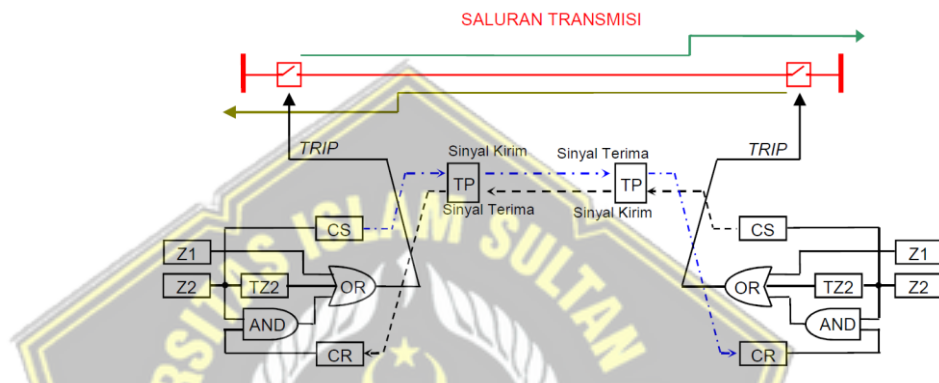
Pada gardu induk yang menerima sinyal (*carrier receive*), apabila relai jarak mendeteksi gangguan pada zona-2 dan menerima sinyal TP, maka relai akan memberikan perintah trip waktu zona-1. Rangkaian logika pola ini sebagaimana terlihat pada gambar 2.22.[9]



Gambar 2.22 Rangkaian Logika Skema PUTT[9]

B. *Permissive Overreach Transfer Trip (POTT)*

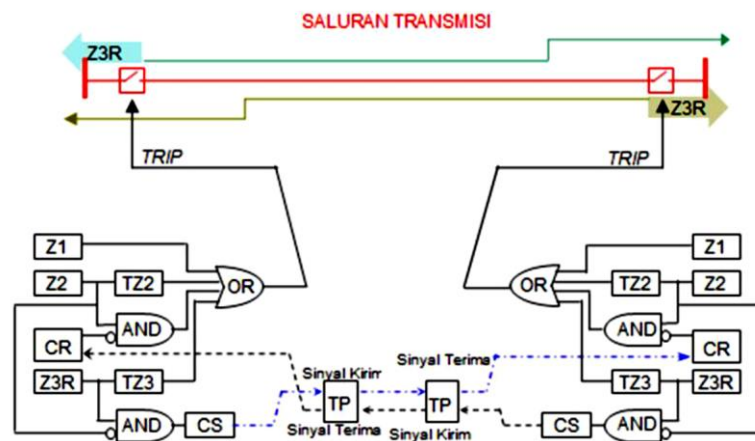
Pada pola ini peralatan TP akan mengirim sinyal (carrier send) ke peralatan TP pada gardu induk di depannya apabila mendeteksi gangguan zona-2. Pada gardu induk yang menerima sinyal (carrier receive), apabila relai jarak mendeteksi gangguan pada zona-2, maka memberikan perintah trip pada waktu zona-1. Rangkaian logika skema ini sebagaimana digambarkan pada Gambar 2.23.[17]



Gambar 2.23 Rangkaian Logika Skema POTT[17]

C. *Blocking Scheme*

Pada pola ini peralatan TP akan mengirim sinyal ke peralatan TP pada gardu induk di depannya apabila relai jarak mendeteksi gangguan pada daerah belakang (*reverse zone*). Pada gardu induk yang menerima sinyal, apabila relai jarak mendeteksi gangguan pada daerah depan (*forward zone*) Zona-2 maka relai akan memberikan perintah blok (*blocking*). Apabila relai tidak menerima sinyal namun mendeteksi gangguan pada daerah depan (zona-2), maka relai akan memberikan perintah trip seketika, sebagaimana terlihat pada Gambar 2.24.[9]



Gambar 2.24 Rangkaian Logika Skema *Blocking*[9]

2.2.9 Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat yang terjadi pada sistem tenaga listrik dapat diakibatkan oleh dua macam gangguan hubung singkat, yaitu gangguan hubung singkat simetri dan gangguan hubung singkat tidak simetri.[12]

Gangguan hubung singkat simetri terjadi karena akibat yang dirasakan fasa sama, baik gangguan hubung singkat 3 fasa (L-L-L) maupun gangguan hubung singkat 3 fasa ke tanah (L-L-L-G), disebut gangguan simetri karena apabila terjadi gangguan ini sistem tenaga listrik tetap seimbang.[12]

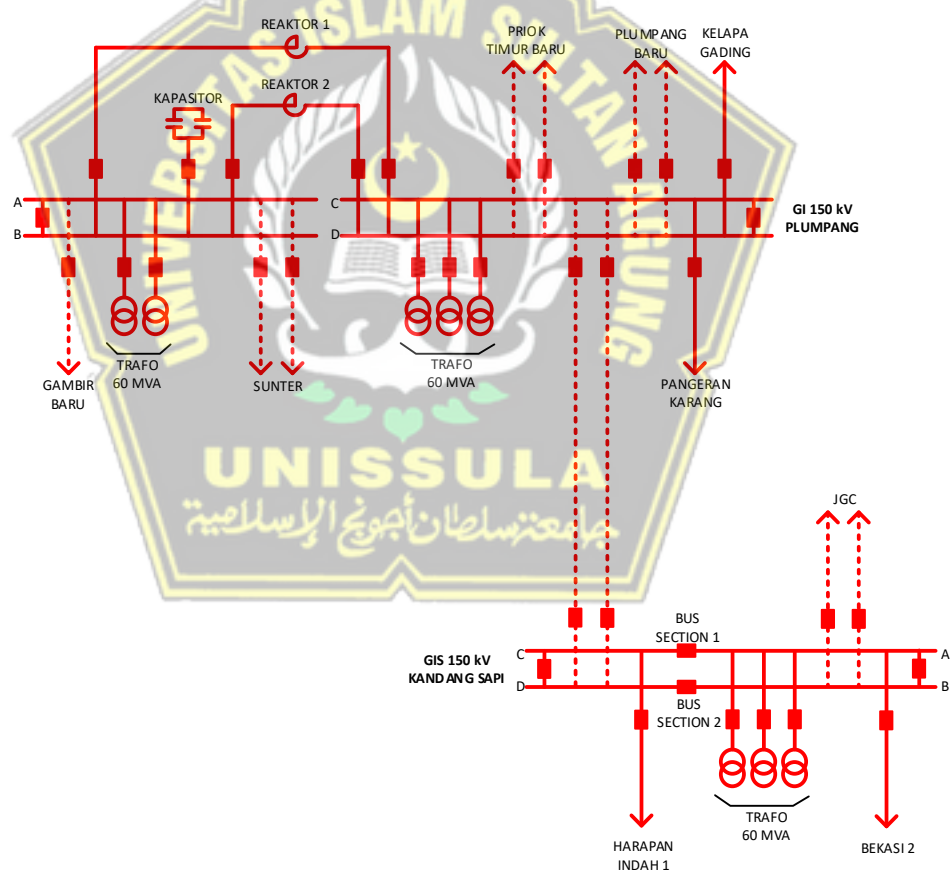
Sedangkan gangguan hubung singkat tidak simetri antara lain diakibatkan oleh gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah (L-G), hubung singkat antar fasa (L-L), maupun hubung singkat antar fasa ke tanah (L-L-G). Gangguan tidak simetri menyebabkan sistem tenaga listrik menjadi tidak seimbang.[12]

BAB III METODE PENELITIAN

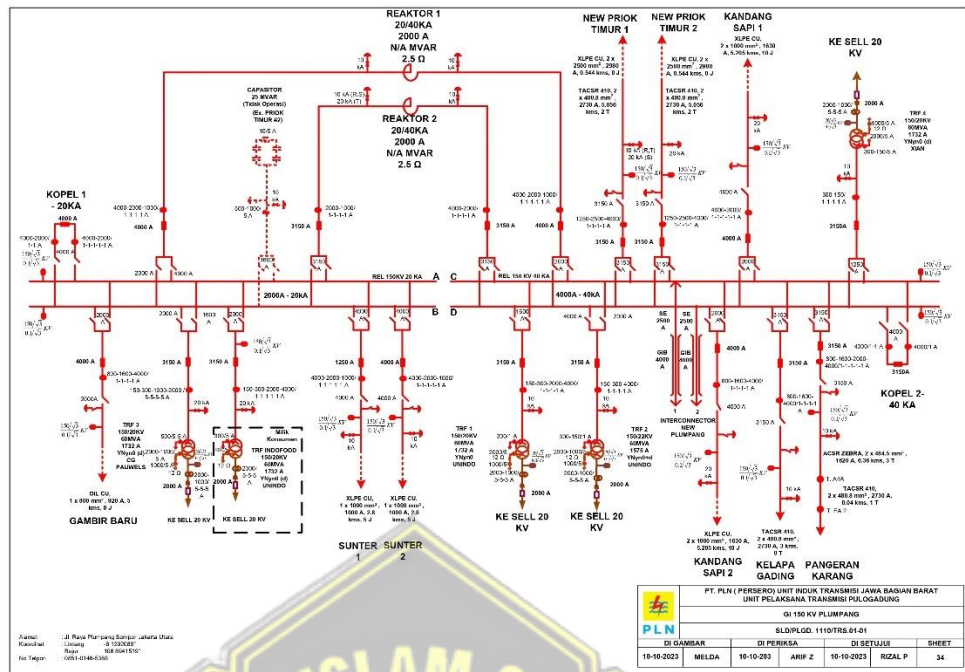
3.1 Topologi Sistem Transmisi GI Plumpang – GI Kandang Sapi #2

Penelitian ini akan dilaksanakan di PT. PLN (Persero) GI 150 kV Plumpang yang berada di wilayah Jakarta Utara, DKI Jakarta dengan Alamat Jl. Plumpang Semper No.5, RT.15/RW.4, Rawabadak Sel., Kec. Koja, Jkt Utara, Daerah Khusus Ibukota Jakarta.

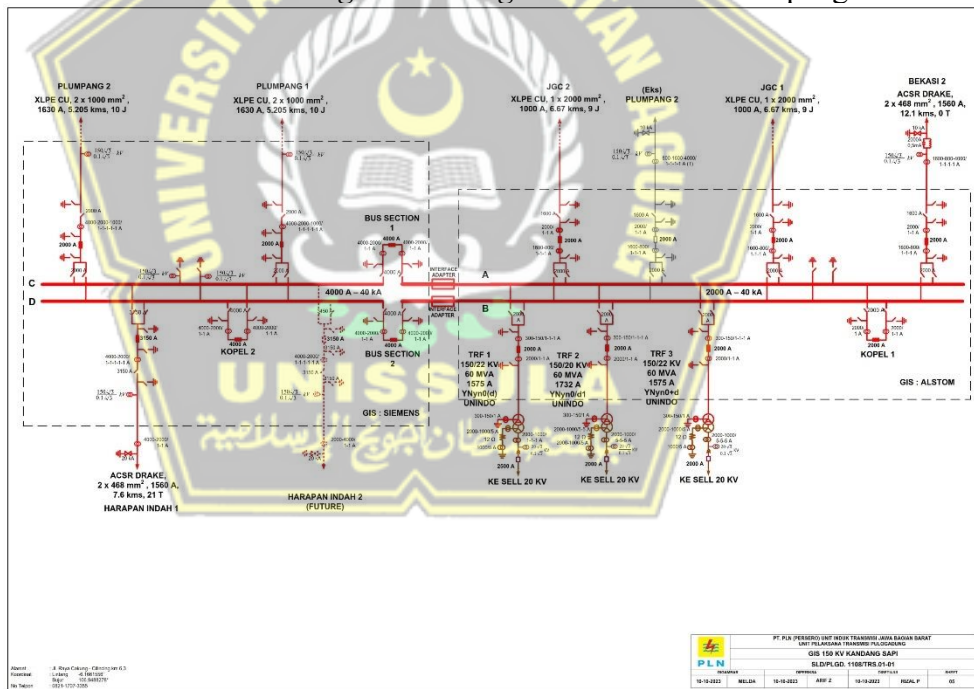
GI 150 kV Plumpang merupakan salah satu gardu induk yang masuk pada ULTG Ancol UPT Pulogadung. GI 150 kV Plumpang terhubung dengan GIS 150 kV Kandang Sapi melalui 2 SKTT yaitu SKTT Plumpang – Kandang Sapi #1 dan SKTT Plumpang – Kandang Sapi #2.



Gambar 3.1 *Single Line* Saluran Transmisi GI 150 kV Plumpang – GIS 150 kV Kandang Sapi



Gambar 3.2 Single Line Diagram GI 150 kV Plumpang



Gambar 3.3 Single Line Diagram GIS 150 kV Kandang Sapi

3.3 Alat dan Bahan

Terdapat beberapa alat dan bahan yang dapat dijadikan sebagai penunjang pada saat melakukan penelitian yakni :

1. Relai *Siemens Siprotec 7SL87* yang terpasang



Gambar 3.4 Relai *Siemens Siprotec 7SL87*

2. Alat Uji *Universal Relay Omicron CMC 356*



Gambar 3.5 *Omicron CMC 356*

3. *Test Block*



Gambar 3.6 *Test Block*

4. *Kabel Jack*



Gambar 3.7 *Kabel Jack*

5. *Kabel USB Type A to Type B*



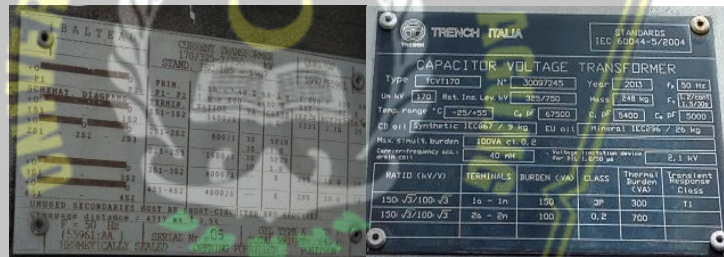
Gambar 3.8 Kabel *USB Type A to Type B*

6. Laptop



Gambar 3.9 Laptop

7. Data *name plate* Material Transmisi Utama (MTU) Bay Kandang Sapi #2



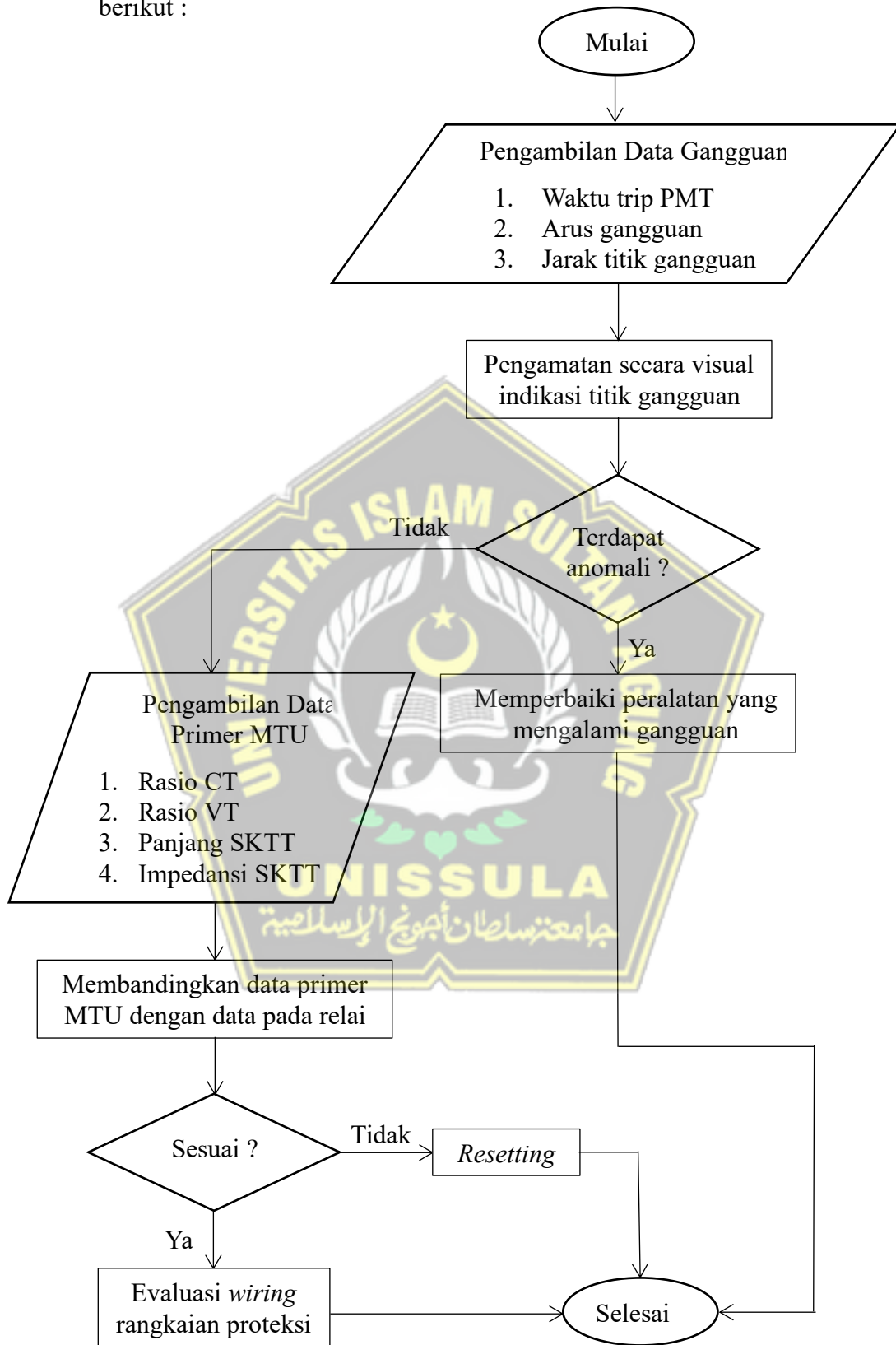
Gambar 3.10 *Name Plate* CT dan VT

3.5 Investigasi Terjadinya Anomali

Investigasi dilakukan setelah terjadinya ketidaknormalan sistem proteksi SKTT 150 kV Plumpang – Kandang Sapi #2 setelah terjadinya gangguan pada basy Bekasi #2 di GIS 150 kV Kandang Sapi.

Dilihat pada relai jarak pada GI 150 kV Plumpang arah GIS 150 kV Kandang Sapi, letak gangguan berada pada zona 2. Namun pada kejadian tersebut relai jarak pada GI 150 kV Plumpang arah GIS 150 kV Kandang Sapi bekerja secara instan dan mengindikasikan gangguan pada zona 1 sedangkan gangguan sudah terisolir dengan tripnya PMT di kedua sisi yang mengalami gangguan.

Dengan kronologi tersebut maka akan dilakukan investigasi sebagai berikut :



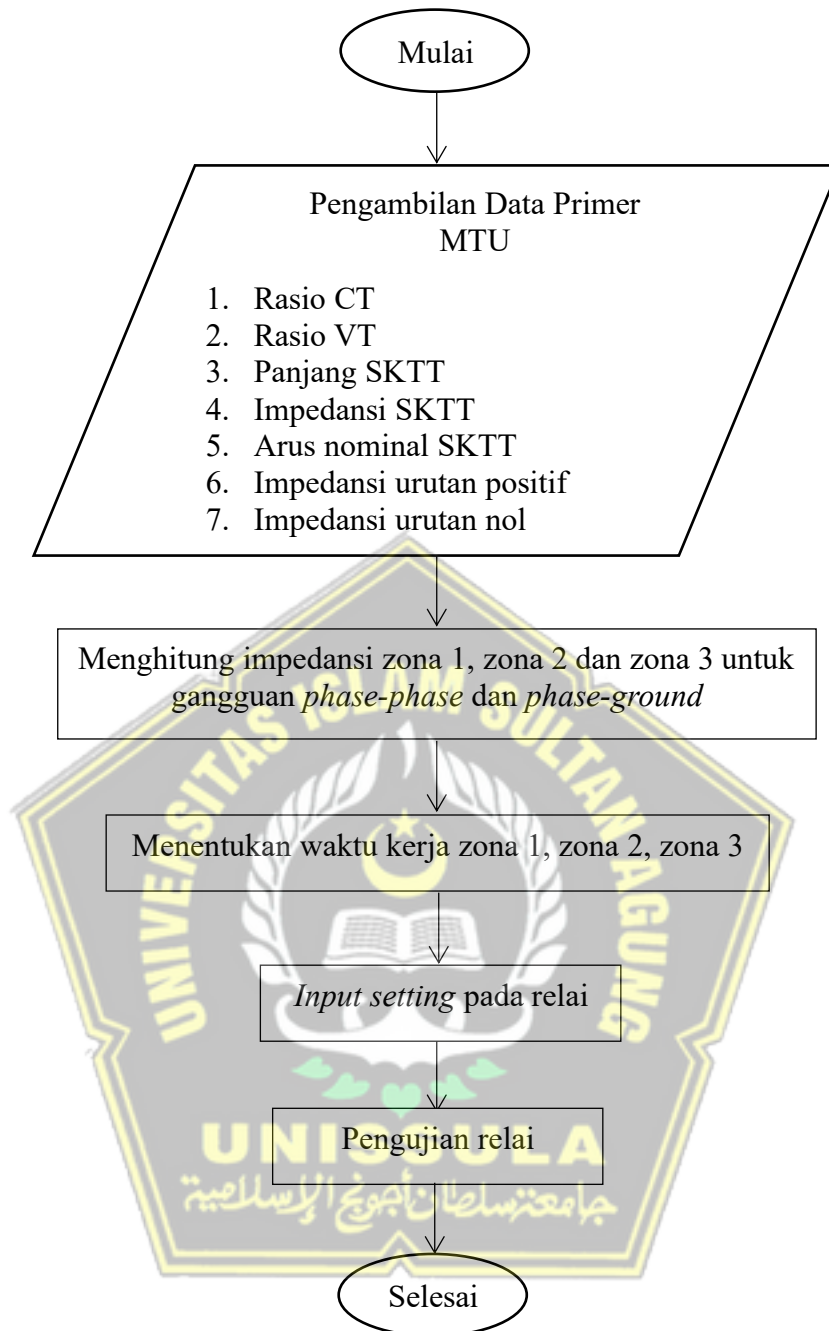
Gambar 3.11 Diagram Alir Investigasi

Dapat dilihat pada Gambar 3.11 Diagram alir investigasi dimulai setelah terjadi trip PMT bay Kandang Sapi #2 GI 150 kV Plumpang bersamaan dengan gangguan *breakdown sealing end* bay Bekasi #2 di GIS 150 kV Kandang Sapi #2. Dengan mengumpulkan data gangguan dari DFR (*Disturbance Fault Recorder*) dan relay proteksi selanjutnya dilakukan pengamatan secara visual pada MTU. Apabila terdapat anomali pada MTU sesuai titik lokasi rekaman gangguan dari DFR maka akan dilakukan perbaikan MTU dan selanjutnya akan dilakukan penormalan sistem kembali. Apabila tidak terdapat anomali pada MTU maka dilakukan scanning relai dan membandingkan data relai dengan data primer MTU seperti rasio CT, rasio CVT, panjang SKTT dan impedansi SKTT.

Perbandingan data primer MTU dengan data relai penting dilakukan untuk memastikan relai bekerja sebagaimana yang diinginkan. Apabila terdapat kesesuaian data antara data primer MTU dengan data pada relai maka dilakukan investigasi pada *wiring* proteksi. Apabila terdapat ketidaksesuaian maka akan dilakukan evaluasi dan resetting relai kembali.

3.6 **Resetting Relai**

Resetting relai diperlukan karena telah terjadi perubahan nilai parameter informasi yang dibutuhkan relai dikarenakan penggantian MTU atau untuk keperluan keandalan sistem proteksi itu sendiri. Resetting relai diperlukan dengan tujuan keandalan sistem proteksi itu sendiri.



Gambar 3.12 Diagram Alir Resetting Relai

Dapat dilihat Gambar 3.12 Diagram alir *resetting* relai dimulai dengan mengumpulkan data primer MTU selanjutnya melakukan perhitungan setting impedansi zona 1, zona 2, dan zona 3 untuk gangguan *phase-phase* dan *phase-ground*, perhitungan ini sangat penting untuk menentukan kerja relai sesuai yang diinginkan, hal serta menentukan waktu kerja untuk setiap zonanya.

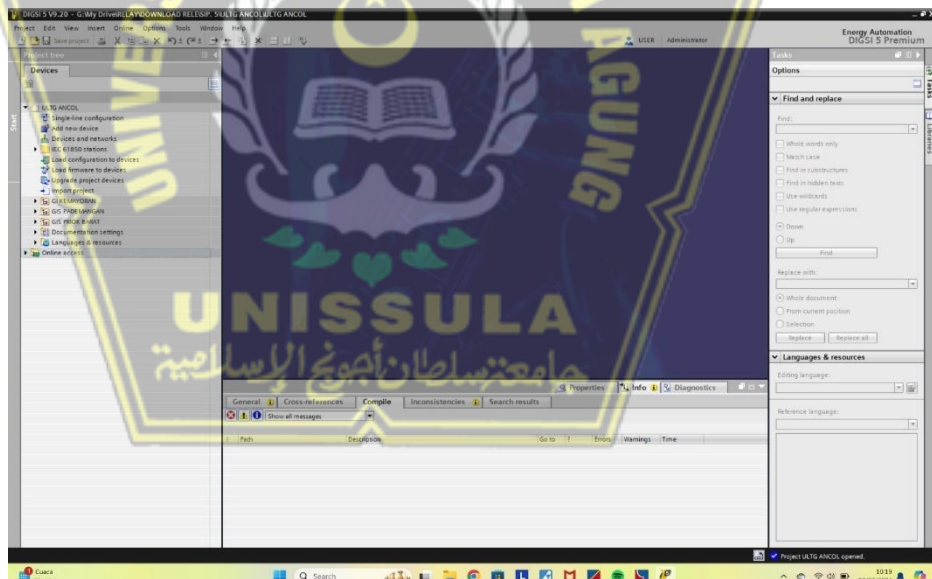
3.7 Skenario Pengujian Individu Relai Jarak

Hasil perhitungan setting baru selanjutnya akan diuji pada relai jarak *Siemens Siprotec 7SL87*. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat selektifan, kecepatan dan optimalnya relai jarak itu sendiri, sehingga diperlukan pemisahan antara relai dan rangkaian *wiring* ke PMT.

Setelah didapat nilai settingan yang baru, maka diperlukan penginputan settingan kedalam relai jarak merk *Siemens Siprotec 7SL87* serta selanjutnya dilakukan pengujian.

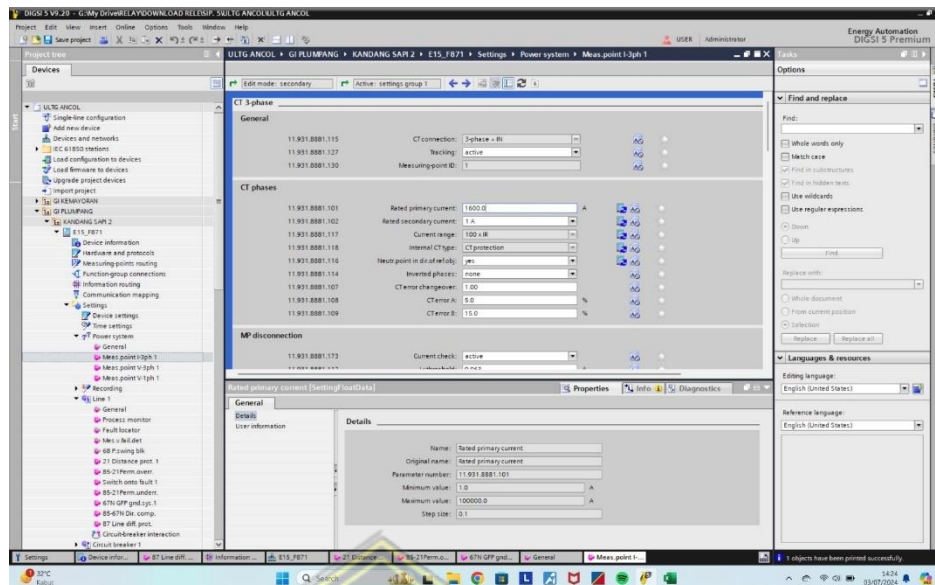
Tahap *input setting* :

1. Menyiapkan peralatan yang dibutuhkan yaitu, laptop, kabel *USB type A to type B*, dan relai jarak itu sendiri.
2. Merangkai kabel *USB Type A to Type B* dari laptop ke relai.
3. Membuka aplikasi *Digsi 5* lalu koneksikan komunikasi antara laptop dengan relai.



Gambar 3.13 Tampilan Awal *Digsi 5*

4. Selanjutnya untuk mendapatkan settingan eksisting diperlukan untuk mengekspor settingan dari relai ke laptop.
5. Setelah settingan eksisting sudah tersedia di laptop, lalu mengubah settingan eksisting dengan settingan baru pada *folder 21 Distance Prot. 1* dan *Meas poin I-3 ph1*



Gambar 3.14 Setting pada Folder Meas poin I-3 phl



Gambar 3.15 Setting pada Folder 21 Distance Prot. 1

6. Setelah semua settingan baru dimasukkan, lalu mengimportkan kembali settingan tersebut pada relai.

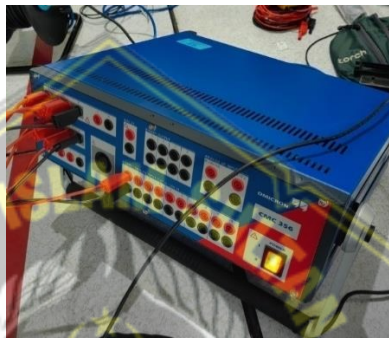
Tahap pengujian

1. Menyiapkan peralatan yang dibutuhkan untuk melakukan pengujian yaitu, laptop, alat uji *Omicron CMC 356*, kabel *power supply*, kabel *USB type A to type B*, kabel *jack*, kabel *grounding* peralatan, dan *test plug*.
2. Merangkai kabel *USB Type A to Type B* dari laptop ke relai.
3. Memasang *test plug* pada *test block* relai.



Gambar 3.16 Pemasangan *Test Plug* pada *Test Block* Relai

4. Merangkai kabel *jack* dari alat uji *omicron* CMC 356 ke *test block*.



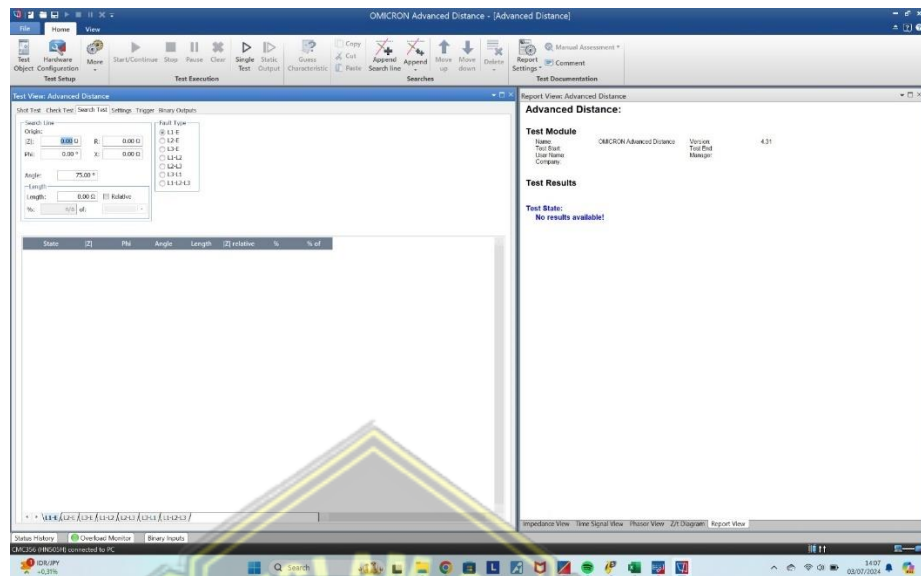
Gambar 3.17 Pasang Kabel *Jack* pada Alat Uji *Omicron* CMC 356

5. Memasang kabel *power supply* dan kabel *grounding* alat uji *omicron* CMC 356.
6. Buka aplikasi *Test Universe* 4.31 pada laptop, lalu pilih menu *Advanced Distance*.



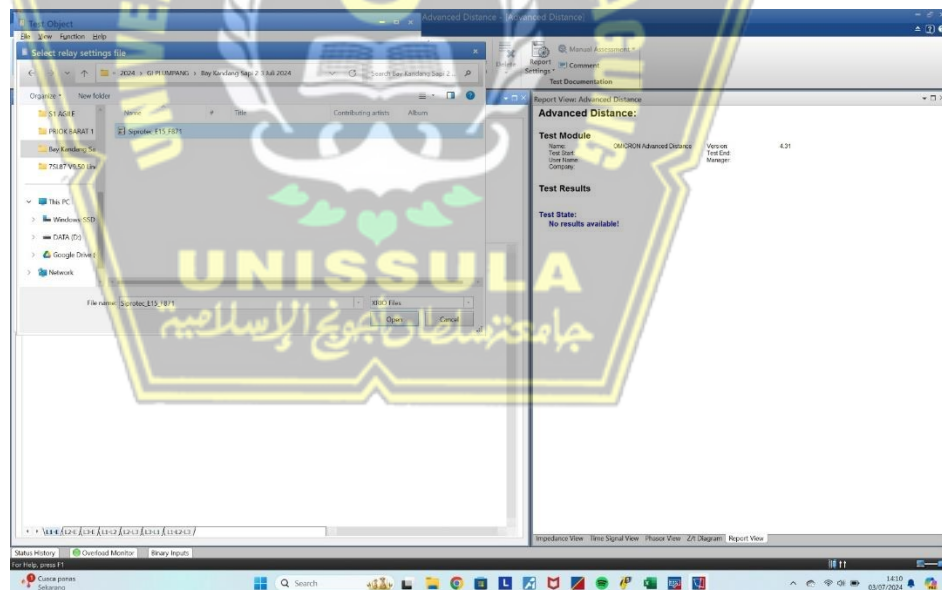
Gambar 3.18 Tampilan Awal Aplikasi *Test Universe* 4.31

7. Masukkan data penghantar pada kolom *Search Line* seperti impedansi penghantar dan sudut impedansi.



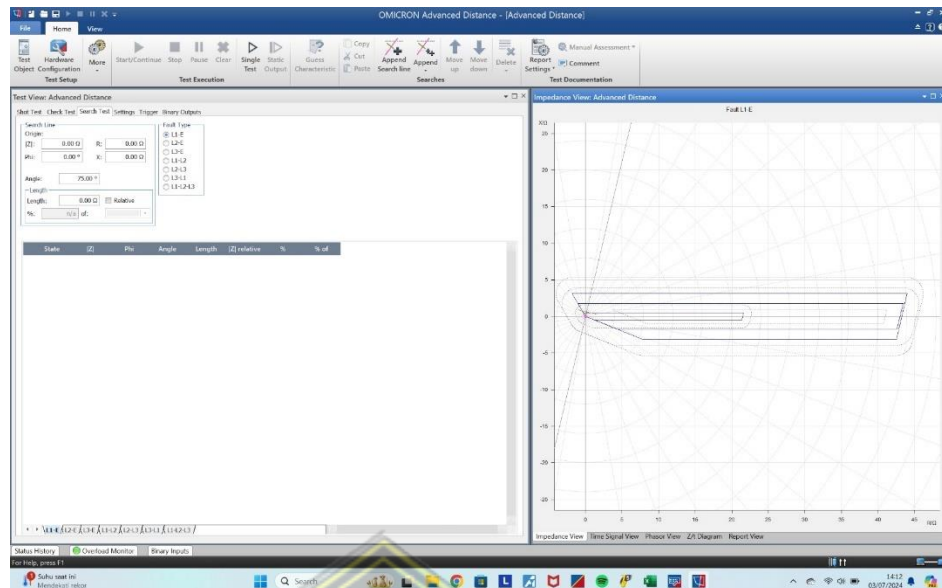
Gambar 3.19 Memasukkan Parameter Impedansi Penghantar

8. Masukkan *setting* relai dengan membuka menu *Test Object*, pilih *Import*, lalu cari dimana *setting* relai tadi disimpan, lalu *Open*.



Gambar 3.20 Import Setting Relai

9. Pilih menu *Append*, lalu pilih *Multiple Search Lines*.
10. Tarik garis area uji gangguan mulai dari daerah diluar zona proteksi dan di dalam zona proteksi.



Gambar 3.21 Menentukan Garis untuk Titik Uji Gangguan

11. Lalu klik start untuk memulai pengujian.
12. Tunggu hingga selesai pengujian.
13. Setelah pengujian selesai, simpan *report* hasil pengujian.

Dengan dilakukan pengujian ini, dapat dilihat apakah settingan baru bekerja sesuai daerah proteksinya atau tidak. Pada dasarnya pengujian ini diberikan sampel beberapa titik gangguan di dalam zona 1, zona 2, zona 3, dan diluar zona proteksinya. Dari hasil pengujian dapat dilihat apakah relay jarak dengan settingan baru ini dapat selektif dalam melihat suatu gangguan.

3.8 Data Penghantar

Dibutuhkan data tehnik pada penghantar yang terpasang untuk dapat menganalisa dan mengetahui skema proteksi yang akan diterapkan pada sistem kelistrikan tegangan tinggi. Berikut data penghantar yang dibutuhkan untuk dapat menganalisa dan mengetahui skema proteksi yang akan diterapkan pada proteksi sistem transmisi Plumpang – Kandang Sapi.

Tabel 3.1 Data Teknik Penghantar

Saluran Transmisi	Tipe Konduktor	Kapasitas Arus (CCC)	Panjang Saluran	Jenis Saluran
Plumpang - Kandang Sapi	XLPE CU 2×1000 mm ²	1630 A	5,205 kms	SKTT
Kandang Sapi - JGC	XLPE CU 1×1000 mm ²	1000 A	6,67 kms	SKTT

Pada Tabel 3.1 di atas terdapat 3 saluran yang mempengaruhi dalam perhitungan sistem proteksi penghantar Plumpang – Kandang Sapi #2 yaitu saluran Plumpang – Kandang Sapi #2 itu sendiri yang merupakan saluran berjenis SKTT dengan isolasi XLPE, saluran Kandang Sapi – JGC yang merupakan saluran terpendek pada GIS 150 kV Kandang Sapi yang jenis salurannya SKTT dengan isolasi XLPE.

Tabel 3.2 Data Impedansi Penghantar

Saluran Transmisi	Impedansi Urutan Positif/Negatif (Ω/km)	Impedansi Urutan Nol (Ω/km)
Plumpang - Kandang Sapi	0,026 + j 0,11	0.176 + j 0,33
Kandang Sapi - JGC	0,042 + j 0,33	0,284 + j 0,99

Data impedansi penghantar dapat menunjukkan kualitas dan jenis penghantar itu sendiri. Nilai impedansi dipengaruhi oleh bahan konduktor dan kualitas pembuatan pada konduktor itu sendiri. Impedansi penghantar yang baik adalah yang mempunyai impedansi yang kecil sehingga rugi daya pada kabel tidak terlalu besar. Namun pada saluran berjenis SKTT umumnya memiliki impedansi yang lebih tinggi dibanding saluran berjenis SUTT dikarenakan bahan konstruksi penghantar itu sendiri yang kebanyakan menggunakan bahan tembaga yang memiliki nilai impedansi lebih tinggi dibandingkan bahan aluminium.

3.9 Data Transformator Daya

Transformator daya tidaklah masuk dalam daerah proteksi relai jarak, sehingga data transformator daya diperlukan untuk perhitungan penentuan nilai zona proteksi relai jarak. Berikut data transformator daya pada GIS 150 kV Kandang Sapi

1. Transformator 1
 - Merk : UNINDO
 - Kapasitas : 60 MVA
 - Tegangan Nominal : 150 / 22 kV
 - Hubungan belitan : NYyn0(d)
 - Impedansi : 12,18 %
2. Transformator 2
 - Merk : UNINDO
 - Kapasitas : 60 MVA
 - Tegangan Nominal : 150 / 20 kV
 - Hubungan belitan : NYyn0/d1
 - Impedansi : 11,87 %
3. Transformator 3
 - Merk : UNINDO
 - Kapasitas : 60 MVA
 - Tegangan Nominal : 150 / 22 kV
 - Hubungan belitan : NYyn0+d
 - Impedansi : 12,10 %

3.10 Data Peralatan Pengukuran

Relai jarak akan membaca parameter tegangan dan arus dari peralatan pengukuran yang memiliki rasio tertentu. Peralatan pengukuran ini harus dipastikan benar rasionya untuk dijadikan input pembacaan pada relay. Peralatan pengukuran pada penelitian ini yaitu CT (*Current Transformer*) dan VT (*Voltage Transformer*) yang terpasang pada GI 150 kV Plumpang.

Tabel 3.3 Data Peralatan Pengukuran

Arah Penghantar	Peralatan Ukur	Merk	Rasio	
			Primer	Sekunder
Kandang Sapi #2	CT	Belteau QDR170P	1600 A	1 A
	VT	Trench TCVT170	150 kV	100 V



BAB IV PERHITUNGAN DAN ANALISIS

4.1 Data Setting Eksisting Relai Proteksi Transmisi

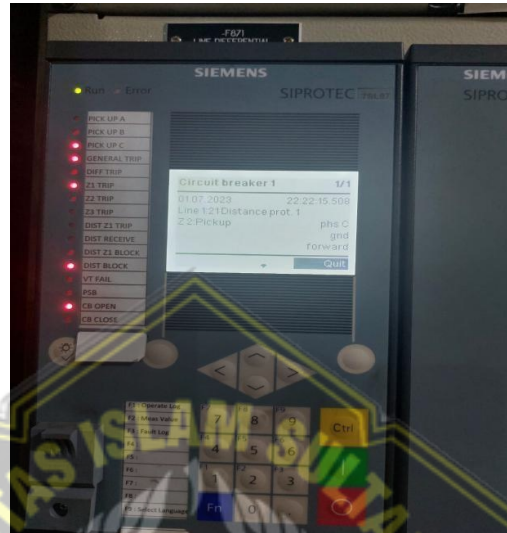
Data setting ini diambil dari *download setting relay* yang terpasang dimana settingan tersebut diinput oleh PT. PLN (Persero) UPT Pulogadung sejak 28 Agustus 2020. Data setting eksisting yang akan dievaluasi selanjutnya dapat dilihat pada tabel 3.2

Tabel 4.1 *Tap Setting* Relai Jarak

SETELAN RELAI PROTEKSI GI 150 KV PLUMPANG			
Bay Kandang Sapi #2			
Parameter	Setting	Parameter	Setting
<i>GENERAL & MEASURE</i>			
<i>Rated Current</i>	1630 A	<i>Rete Primery Current</i>	2000 A
<i>Reted Voltage</i>	150 kV	<i>Rate Secondary Current</i>	1 A
<i>Line Length</i>	5,2 km	<i>Rate Primery Voltage</i>	150 kV
<i>Line Angle</i>	76,701 °	<i>Rate Secondary Voltage</i>	100 kV
<i>K0</i>	0,785 Ω	<i>Kr</i>	1,923
<i>Angle (K0)</i>	-20,988 °	<i>Kx</i>	0,667
<i>DISTANCE ZONA 1</i>			
<i>R (ph-G)</i>	26,858 Ω	<i>X Reach</i>	0,61 Ω
<i>R (ph-ph)</i>	0,168 Ω	<i>Operate Delay</i>	0 s
0,63 Ω ∠ 74,6°			
<i>DISTANCE ZONA 2</i>			
<i>R (ph-G)</i>	53,764 Ω	<i>X Reach</i>	2,205 Ω
<i>R (ph-ph)</i>	0,407 Ω	<i>Operate Delay</i>	0,4 s
2,24 Ω ∠ 79,5°			
<i>DISTANCE ZONA 3</i>			
<i>R (ph-G)</i>	54,045 Ω	<i>X Reach</i>	3,905 Ω
<i>R (ph-ph)</i>	0,689 Ω	<i>Operate Delay</i>	1,6 s
3,97 Ω ∠ 80°			

4.2 Data Gangguan

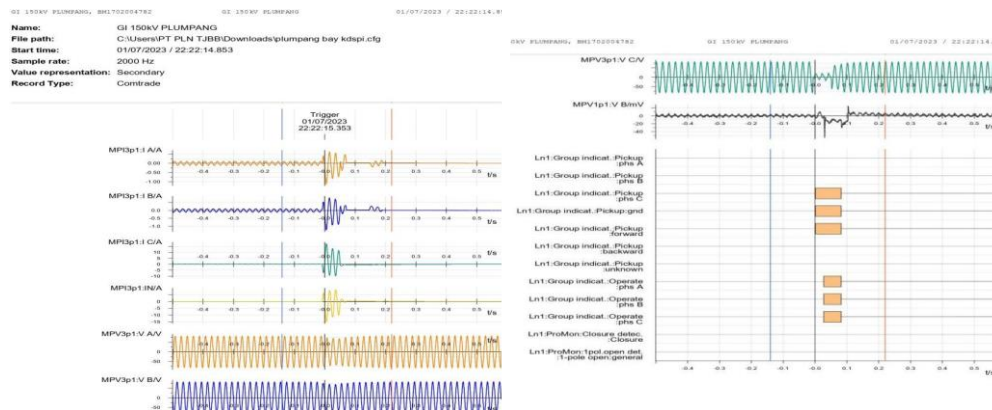
Setelah terjadi gangguan, maka segera dilakukan download event gangguan dan data gangguan dari DFR (*Disturbance Fault Recorder*) dan relai proteksi sehingga didapat dokumen seperti pada gambar berikut



Gambar 4.1 Lampu Indikasi pada Relai Proteksi

Terdapat beberapa indikasi yang muncul pada relai proteksi yang dapat dijadikan pembacaan awal gangguan tersebut terjadi seperti apa. Berikut indikasi yang muncul pada relai proteksi :

1. *General Trip*
2. *Pick up C*
3. *Z1 Trip*
4. *Dist. Block*
5. *CB Open*



Gambar 4.2 Rekaman DFR

Time stamp	Relative time	Fault number	Functions structure	Name	Value	Quality	Cause	Number
01.07.2023 22:22:15.353 (24)		168	Fault log					
01.07.2023 22:22:15.910	00:00:00:00.557	24	Circuit breaker 1:Circuit break.	Definitive trip	off	good (process)	Data change	3.014.261.303
01.07.2023 22:22:15.485	00:00:00:00.132	23	Line 1:85-21Perm.ouvr.:85-21Perm.ouvr	Send	off	good (process)	Data change	2.112.915.701.305
01.07.2023 22:22:15.465	00:00:00:00.112	22	Line 1:Fault locator	Fault loop	CG	good (process)	Data update	218.671.306
01.07.2023 22:22:15.465	00:00:00:00.112	21	Line 1:Fault locator	Fault distance in %	77.3 %	good (process)	Data update	218.671.305
01.07.2023 22:22:15.465	00:00:00:00.112	20	Line 1:Fault locator	Fault distance	4.0 km	good (process)	Data update	218.671.304
01.07.2023 22:22:15.465	00:00:00:00.112	19	Line 1:Fault locator	Fault reactance sec.	0.527 Ω	good (process)	Data update	218.671.309
01.07.2023 22:22:15.465	00:00:00:00.112	18	Line 1:Fault locator	Fault resistance sec.	0.301 Ω	good (process)	Data update	218.671.308
01.07.2023 22:22:15.465	00:00:00:00.112	17	Line 1:Fault locator	Fault reactance prim.	0.395 Ω	good (process)	Data update	218.671.303
01.07.2023 22:22:15.465	00:00:00:00.112	16	Line 1:Fault locator	Fault resistance prim.	0.225 Ω	good (process)	Data update	218.671.302
01.07.2023 22:22:15.455	00:00:00:00.102	15	Circuit breaker 1:Circuit break.	Trip/lopen cmd. 3-pole	off	good (process)	Data change	3.014.261.300
01.07.2023 22:22:15.435	00:00:00:00.082	14	Line 1:21 Distance prot. 1:Group indicat.	Selected loop CG	off	good (process)	Data change	219.014.501.303
01.07.2023 22:22:15.435	00:00:00:00.082	13	Line 1:21 Distance prot. 1:Group indicat.	Pickup	off	good (process)	Data change	21.901.4501.55
01.07.2023 22:22:15.433	00:00:00:00.080	12	Line 1:21 Distance prot. 1:Z.1	Operate	off	good (process)	Data change	21.901.3571.57
01.07.2023 22:22:15.410	00:00:00:00.057	11	Circuit breaker 1:Circuit break.	Definitive trip	on	good (process)	Data change	3.014.261.303
01.07.2023 22:22:15.391	00:00:00:00.038	10	Circuit breaker 1:Circuit break.	Break-current 3I0IN	14487 A	good (process)	Data update	3.014.261.317
01.07.2023 22:22:15.391	00:00:00:00.038	9	Circuit breaker 1:Circuit break.	Break-current phs C	16600 A	good (process)	Data update	3.014.261.313
01.07.2023 22:22:15.391	00:00:00:00.038	8	Circuit breaker 1:Circuit break.	Break-current phs B	1174 A	good (process)	Data update	3.014.261.312
01.07.2023 22:22:15.391	00:00:00:00.038	7	Circuit breaker 1:Circuit break.	Break-current phs A	982 A	good (process)	Data update	3.014.261.311
01.07.2023 22:22:15.380	00:00:00:00.027	6	Circuit breaker 1:Circuit break.	Trip/lopen cmd. 3-pole	on	good (process)	Data change	3.014.261.300
01.07.2023 22:22:15.380	00:00:00:00.027	5	Line 1:21 Distance prot. 1:Z.1	Operate	phs A phs B phs C	good (process)	Data change	21.901.3571.57
01.07.2023 22:22:15.355	00:00:00:00.002	4	Line 1:85-21Perm.ouvr.:85-21Perm.ouvr	Send	phs C	good (process)	Data change	2.112.915.701.305
01.07.2023 22:22:15.355	00:00:00:00.002	3	Line 1:21 Distance prot. 1:Group indicat.	Selected loop CG	on forward	good (process)	Data change	219.014.501.303
01.07.2023 22:22:15.355	00:00:00:00.002	2	Line 1:21 Distance prot. 1:Group indicat.	Pickup	phs C gnd forward	good (process)	Data change	21.901.4501.55
01.07.2023 22:22:15.353	00:00:00:00.000	1	Recording:Fault recorder:Control	Fault number	168	good (process)	Data change	817.912.761.310

Gambar 4.3 Rekaman Event pada Rele Proteksi







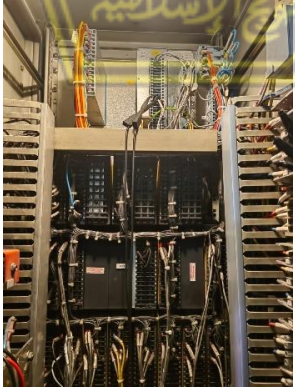

Data DFR dan *event* pada relai dapat menunjukkan informasi gangguan yang lebih detail. Dari gangguan tersebut dapat diambil beberapa informasi penting antara lain :

1. Terdapat arus gangguan yang cukup besar pada kabel fasa S dengan nilai arus 16.6 kA.
2. Tegangan turun akibat gangguan dengan nilai tegangan 7,55 kV
3. Impedansi gangguan sisi primer adalah 0,225 Ω resistansi dan 0,395 Ω reaktansi.
4. Impedansi gangguan sisi sekunder adalah 0,301 Ω resistansi dan 0,527 Ω reaktansi.
5. Titik gangguan berada 4 km dari GI 150 kV Plumpang atau 77,3 % panjang saluran SKTT Plumpang – Kandang Sapi #2.
6. PMT bay Kandang Sapi #2 trip 3 fasa, zona 1 bekerja dengan waktu trip instan.

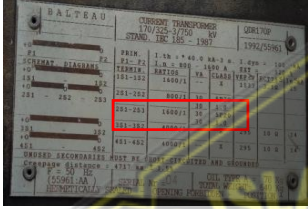
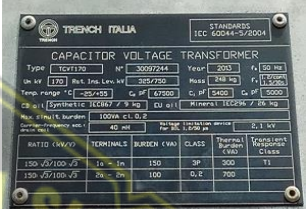
4.3 Investigasi Gangguan

Dilakukan pengecekan secara visual peralatan yang berpotensi terdapat gangguan serta pengecekan kembali setting proteksi pada relai dan data teknik setiap peralatan.

Tabel 4.2 *Check List* Investigasi

No	Tahap Investigasi	Keterangan
1	<p data-bbox="459 353 1136 387">Melakukan pengecekan secara visual fisik peralatan</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p data-bbox="600 651 667 685">PMT</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p data-bbox="986 651 1031 685">CT</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;">  <p data-bbox="600 947 667 981">PMS</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p data-bbox="986 947 1031 981">VT</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;">  <p data-bbox="520 1243 746 1276"><i>Lighting Arrester</i></p> </div> <div style="text-align: center;">  <p data-bbox="927 1243 1090 1276"><i>Sealing End</i></p> </div> </div>	<p data-bbox="1225 768 1353 857">Tidak ada anomali</p>
2	<p data-bbox="459 1305 1114 1395">Melakukan pengecekan secara <i>visual wiring</i> panel proteksi</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>	<p data-bbox="1225 1507 1353 1597">Tidak ada anomali</p>

Tabel 4.3 Lanjutan

3	<p>Melakukan pemeriksaan <i>setting</i> relai LCD dan relai jarak dan rasio peralatan ukur</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">CT 3-phase VCT phases</th> </tr> <tr> <th>Number</th> <th>Settings</th> <th>Value</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>11.931.8881.101</td> <td>Rated primary current</td> <td>All: 2000 A</td> </tr> <tr> <td>11.931.8881.102</td> <td>Rated secondary current</td> <td>All: 1 A</td> </tr> <tr> <td>11.931.8881.117</td> <td>Current range</td> <td>All: 100 x IR</td> </tr> <tr> <td>11.931.8881.118</td> <td>Internal CT type</td> <td>All: CT protection</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">VT 3-phase</th> </tr> <tr> <th>Number</th> <th>Settings</th> <th>Value</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>11.941.8911.101</td> <td>Rated primary voltage</td> <td>All: 150 kV</td> </tr> <tr> <td>11.941.8911.102</td> <td>Rated secondary voltage</td> <td>All: 100 V</td> </tr> <tr> <td>11.941.8911.104</td> <td>VT connection</td> <td>All: 3 ph-to-gnd voltages</td> </tr> <tr> <td>11.941.8911.106</td> <td>Inverted phases</td> <td>All: none</td> </tr> <tr> <td>11.941.8911.111</td> <td>Tracking</td> <td>All: active</td> </tr> <tr> <td>11.941.8911.130</td> <td>Measuring-point ID</td> <td>All: 2</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">Setting Rasio CT dan VT pada Relai</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>Name Plate CT</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Name Plate VT</p> </div> </div>	CT 3-phase VCT phases			Number	Settings	Value	11.931.8881.101	Rated primary current	All: 2000 A	11.931.8881.102	Rated secondary current	All: 1 A	11.931.8881.117	Current range	All: 100 x IR	11.931.8881.118	Internal CT type	All: CT protection	VT 3-phase			Number	Settings	Value	11.941.8911.101	Rated primary voltage	All: 150 kV	11.941.8911.102	Rated secondary voltage	All: 100 V	11.941.8911.104	VT connection	All: 3 ph-to-gnd voltages	11.941.8911.106	Inverted phases	All: none	11.941.8911.111	Tracking	All: active	11.941.8911.130	Measuring-point ID	All: 2	<p>Rasio VT sesuai</p> <p>Rasio CT tidak sesuai</p>
CT 3-phase VCT phases																																												
Number	Settings	Value																																										
11.931.8881.101	Rated primary current	All: 2000 A																																										
11.931.8881.102	Rated secondary current	All: 1 A																																										
11.931.8881.117	Current range	All: 100 x IR																																										
11.931.8881.118	Internal CT type	All: CT protection																																										
VT 3-phase																																												
Number	Settings	Value																																										
11.941.8911.101	Rated primary voltage	All: 150 kV																																										
11.941.8911.102	Rated secondary voltage	All: 100 V																																										
11.941.8911.104	VT connection	All: 3 ph-to-gnd voltages																																										
11.941.8911.106	Inverted phases	All: none																																										
11.941.8911.111	Tracking	All: active																																										
11.941.8911.130	Measuring-point ID	All: 2																																										

Dari hasil investigasi dapat diketahui gangguan terjadi dikarenakan perbedaan *setting* rasio CT pada relai jarak dengan rasio CT yang terpasang. Sehingga arus yang terbaca pada relai jarak tidak sama dengan arus sebenarnya sehingga memungkinkan kesalahan respon relai jarak dalam penentuan zona proteksinya.

4.4 Perhitungan *Resetting* Relai Jarak

Pemilihan zona proteksi berdasarkan hitungan dan pertimbangan kondisi dari sistem penyaluran listrik itu sendiri. Rumus-rumus yang digunakan berdasarkan Buku Pedoman dan Petunjuk Sistem Proteksi Transmisi dan Gardu Induk PT. PLN (Persero).

1. Rasio transformator ukur

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{CT}{VT} & (4) \\
 &= \frac{1600/1}{150.000/100} \\
 &= 1,067
 \end{aligned}$$

2. Impedansi trafo terkecil pada GIS 150 kV Kandang Sapi

$$\begin{aligned}
 X_t &= \frac{Z\% \times V^2}{S} & (10) \\
 &= \frac{11,87\% \times 150.000^2}{60.000} \\
 &= 44,51 \Omega
 \end{aligned}$$

3. Impedansi penghantar

$$\begin{aligned}
 Z_{L11} &= \text{Panjang saluran} \times \text{Impedansi urutan positif} & (5) \\
 &= 5,205 \times (0,026 + j 0,28) \\
 &= 0,135 + j 0,573 \Omega
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Z_{L10} &= \text{Panjang saluran} \times \text{Impedansi urutan nol} & (5) \\
 &= 5,205 \times (0,176 + j 0,33) \\
 &= 0,916 + j 1,718 \Omega
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Z_{L21} &= \text{Panjang saluran} \times \text{Impedansi urutan positif} & (5) \\
 &= 6,67 \times (0,042 + j 0,28) \\
 &= 0,28 + j 1,868 \Omega
 \end{aligned}$$

$$Z_{L31} = Z_{L21}$$

4. Faktor kompensasi urutan nol

$$\begin{aligned}
 K_0 &= \frac{Z_{L10} - Z_{L11}}{3 Z_{L11}} & (17) \\
 &= \frac{0,915 + j 1,716 - (0,135 + j 0,572)}{3 \times (0,135 + j 0,572)} \\
 &= 0,73 - j 0,28 \Omega \\
 &= 0,782 \angle -20,984^\circ \Omega
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 K_r &= \frac{1}{3} \left(\frac{R_{10}}{R_{11}} - 1 \right) & (18) \\
 &= \frac{1}{3} \left(\frac{0,915}{0,135} - 1 \right) \\
 &= 1,923
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 K_x &= \frac{1}{3} \left(\frac{X_{10}}{X_{11}} - 1 \right) & (19) \\
 &= \frac{1}{3} \left(\frac{1,716}{0,572} - 1 \right) \\
 &= 0,667
 \end{aligned}$$

5. Impedansi zona proteksi gangguan antar fasa

$$\begin{aligned}
 \text{Zona-1} &= 0,8 \times Z_{L11} \times n & (6) \\
 &= 0,8 \times (0,135 + j 0,573) \times 1,067 \\
 &= 0,115 + j 0,489 \Omega \quad (\text{sekunder}) \\
 &= 0,502 \angle 76,7^\circ \Omega \quad (\text{sekunder})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Zona-2}_{\min} &= 1,2 \times Z_{L11} \times n & (7) \\
 &= 1,2 \times (0,135 + j 0,573) \times 1,067 \\
 &= 0,173 + j 0,733 \Omega \quad (\text{sekunder}) \\
 &= 0,753 \angle 76,7^\circ \Omega \quad (\text{sekunder})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Zona-2}_{\max 1} &= 0,8 (Z_{L11} + 0,8 \times Z_{L21}) \times n & (8) \\
 &= 0,8 ((0,135 + j 0,573) + 0,8 \times (0,28 + j 1,868)) \times 1,067 \\
 &= 0,307 + j 1,764 \Omega \quad (\text{sekunder}) \\
 &= 1,79 \angle 80,13^\circ \Omega \quad (\text{sekunder}) \rightarrow \text{zona-2 yang dipilih}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Zona-2}_{\max 2} &= (Z_{L11} + 0,5 X_t) \times n & (9) \\
 &= (0,135 + j 0,573 + 0,5 \times 44,51) \times 1,067 \\
 &= 0,115 + j 19,48 \Omega \quad (\text{sekunder}) \\
 &= 19,48 \angle 89,66^\circ \Omega \quad (\text{sekunder})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Zona-3}_{\min} &= 1,2 \times (Z_{L11} + Z_{L31}) \times n & (11) \\
 &= 1,2 \times (0,135 + j 0,573 + 0,28 + j 1,868) \times 1,067 \\
 &= 0,532 + j 3,123 \Omega \quad (\text{sekunder}) \\
 &= 3,168 \angle 80,34^\circ \Omega \quad (\text{sekunder}) \rightarrow \text{zona-3 yang dipilih}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Zona-3}_{\max} &= 0,8 \times (Z_{L11} + 0,5 X_t) \times n & (12) \\
 &= 0,8 \times (0,135 + j 0,572 + 0,5 \times 44,51) \times 1,067 \\
 &= 0,115 + j 19,48 \Omega \quad (\text{sekunder}) \\
 &= 19,48 \angle 89,66^\circ \Omega \quad (\text{sekunder})
 \end{aligned}$$

6. Jangkauan resistif gangguan tanah

$$\begin{aligned}
 R_{mL11} &= \frac{0,8(RL10 + (2 \times RL11))}{3} \times n & (13) \\
 &= \frac{0,8(0,916 + (2 \times 0,135))}{3} \times 1,067 \\
 &= 0,337 \Omega
 \end{aligned}$$

Asumsi tahanan gangguan $R_F = 40 \Omega$

$$\begin{aligned} R1 &= R_{mL11} + \left(\frac{R_F}{2} \times n\right) & (14) \\ &= 0,337 + \left(\frac{40}{2} \times 1,067\right) \\ &= 21,670 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R1' &= R_{mL11} + (R_F \times n) & (15) \\ &= 0,337 + (40 \times 1,067) \\ &= 43,004 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R1'' &= (2 \times R_{mL11}) + (R_F \times n) & (16) \\ &= (2 \times 0,337) + (40 \times 1,067) \\ &= 43,342 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R2 &= \frac{V_{pp}}{\sqrt{3} \times CCC} & (20) \\ &= \frac{150000}{\sqrt{3} \times 1630} \\ &= 56,67 \Omega \end{aligned}$$

Pemilihan jangkauan resistif = $R1 < Rb < R2$

$$\text{Zona-1 R (Ph-G)} = 21,670 \Omega$$

$$\text{Zona-2 R (Ph-G)} = 43,004 \Omega$$

$$\text{Zona-3 R (Ph-G)} = 43,342 \Omega$$

7. Pemilihan *setting delay* tiap zona

$$\text{Zona-1} = 0 \text{ s}$$

$$\text{Zona-2} = 0,4 \text{ s}$$

$$\text{Zona-3} = 1,6 \text{ s}$$

Pemilihan *setting delay* tiap zona proteksi ditentukan berdasarkan peraturan pada Buku Pedoman Proteksi PT.PLN (Persero) dan melihat koordinasi sistem proteksi penghantar pada sub sistem yang sama yang terhubung pada GI Plumpang. Sehingga diperoleh pemilihan waktu zona 1 selama 0 detik, zona 2 selama 0,4 detik, dan zona 3 selama 1,6 detik.

Dari perhitungan diatas didapatkan nilai *setting* relai jarak dengan *settingan* ditampilkan pada tabel 4.4

Tabel 4.4 *Setting* Baru Relai Jarak

SETELAN RELAI PROTEKSI GI 150 KV PLUMPANG			
Bay Kandang Sapi #2			
Parameter	Setting	Parameter	Setting
<i>GENERAL & MEASURE</i>			
<i>Rated Current</i>	1630 A	<i>Rete Primery Current</i>	1600 A
<i>Reted Voltage</i>	150 kV	<i>Rate Secondary Current</i>	1 A
<i>Line Length</i>	5,2 kms	<i>Rate Primery Voltage</i>	150 kV
<i>Line Angle</i>	76,701 °	<i>Rate Secondary Voltage</i>	100 kV
K0	0,781 Ω	Kr	1,923
<i>Angle (K0)</i>	-20,984 °	Kx	0,667
<i>DISTANCE ZONA 1</i>			
<i>R (ph-G)</i>	21,67 Ω	<i>X Reach</i>	0,489 Ω
<i>R (ph-ph)</i>	0,115 Ω	<i>Operate Delay</i>	0 s
0,502 Ω ∠ 76,7°			
<i>DISTANCE ZONA 2</i>			
<i>R (ph-G)</i>	43,004 Ω	<i>X Reach</i>	1,764 Ω
<i>R (ph-ph)</i>	0,307 Ω	<i>Operate Delay</i>	0,4 s
1,79 Ω ∠ 80,1°			
<i>DISTANCE ZONA 3</i>			
<i>R (ph-G)</i>	43,342 Ω	<i>X Reach</i>	3,123 Ω
<i>R (ph-ph)</i>	0,532 Ω	<i>Operate Delay</i>	1,6 s
3,168 Ω ∠ 80,3°			

Untuk dapat mengetahui kerja relai jarak yang mempertimbangkan juga panjang penghantar. Maka dilakukan perhitungan pembandingan dimana diubah nilai jarak pada penghantar menjadi 10 kms namun parameter lainnya memiliki kesamaan dengan penghantar SKTT Plumpang – Kandang Sapi #2 yang telah dilakukan perhitungan sebelumnya dengan hasil perhitungan pada tabel 4.5

Tabel 4.5 *Setting* Pembanding Relai Jarak

Parameter	Setting	Parameter	Setting
<i>GENERAL & MEASURE</i>			
<i>Rated Current</i>	1630 A	<i>Rete Primery Current</i>	1600 A
<i>Reted Voltage</i>	150 kV	<i>Rate Secondary Current</i>	1 A
<i>Line Length</i>	10 kms	<i>Rate Primery Voltage</i>	150 kV
<i>Line Angle</i>	76,701 °	<i>Rate Secondary Voltage</i>	100 kV
K0	0,781 Ω	Kr	1,923
<i>Angle (K0)</i>	-20,984 °	Kx	0,667
<i>DISTANCE ZONA 1</i>			
<i>R (ph-G)</i>	21,98 Ω	<i>X Reach</i>	0,939 Ω
<i>R (ph-ph)</i>	0,222 Ω	<i>Operate Delay</i>	0 s
0,66 Ω ∠ 76,7°			
<i>DISTANCE ZONA 2</i>			
<i>R (ph-G)</i>	43,315 Ω	<i>X Reach</i>	2,214 Ω
<i>R (ph-ph)</i>	0,413 Ω	<i>Operate Delay</i>	0,4 s
2,25 Ω ∠ 79,4°			
<i>DISTANCE ZONA 3</i>			
<i>R (ph-G)</i>	43,964 Ω	<i>X Reach</i>	3,799 Ω
<i>R (ph-ph)</i>	0,691 Ω	<i>Operate Delay</i>	1,6 s
3.86 Ω ∠ 79,7°			

Dari perhitungan baru kedua *setting* dapat diketahui perbedaan-perbedaan, serta setting baru untuk penghantar SKTT Plumpang – Kandang Sapi #2 dibanding dengan setting eksisting juga memiliki beberapa perbedaan yang dapat dilihat pada tabel 4.6

Tabel 4.6 Perbandingan Semua *Setting*

Parameter	<i>Setting</i> Eksisting	<i>Setting</i> Baru	<i>Setting</i> dengan Beda Panjang Penghantar
Arus Nominal	1630 A	1630 A	1630 A
Tegangan Nominal	150 kV	150 kV	150 kV
Panjang Penghantar	5,502 kms	5,502 kms	10 kms
Rasio CT	2000/1 A	1600/1 A	1600/1 A
Rasio VT	150kV/100V	150kV/100V	150kV/100V
Sudut Impedansi Penghantar	76,701 °	76,701 °	76,701 °
K0	0,781 Ω	0,781 Ω	0,781 Ω
<i>Angle</i> (K0)	-20,984 °	-20,984 °	-20,984 °
Kr	1,923	1,923	1,923
Kx	0,667	0,667	0,667
Zona 1 : R (<i>ph-G</i>)	26,858 Ω	21,67 Ω	21,98 Ω
Zona 1 : R (<i>ph-ph</i>)	0,168 Ω	0,115 Ω	0,222 Ω
Zona 1 : <i>X Reach</i>	0,61 Ω	0,489 Ω	0,939 Ω
Zona 1 (polar)	0,63 Ω	0,502 Ω	0,66 Ω
Zona 2 : R (<i>ph-G</i>)	53,764 Ω	43,004 Ω	43,315 Ω
Zona 2 : R (<i>ph-ph</i>)	0,407 Ω	0,307 Ω	0,413 Ω
Zona 2 : <i>X Reach</i>	2,205 Ω	1,764 Ω	2,214 Ω
Zona 2 (polar)	2,24 Ω	1,79 Ω	2,25 Ω
Zona 3 : R (<i>ph-G</i>)	54,045 Ω	43,342 Ω	43,964 Ω
Zona 3 : R (<i>ph-ph</i>)	0,689 Ω	0,532 Ω	0,691 Ω
Zona 3 : <i>X Reach</i>	3,905 Ω	3,123 Ω	3,799 Ω
Zona 3 (polar)	3,97 Ω	3,168 Ω	3.86 Ω
<i>Time Delay</i> Zona 1	0 s	0 s	0 s
<i>Time Delay</i> Zona 2	0,4 s	0,4 s	0,4 s
<i>Time Delay</i> Zona 3	1,6 s	1,6 s	1,6 s

Dari tabel di atas dapat diketahui perbandingan ketiga setting relai jarak dengan beberapa parameter yang diberi nilai berbeda. Dari

perbandingan tersebut terdapat perbedaan pada impedansi zona 1, zona 2, dan zona 3 diketiga setting. Hal tersebut dikarenakan perbedaan parameter primer peralatan seperti penerapan rasio CT yang berbeda serta panjang penghantar yang berbeda.

4.5 Hasil Pengujian Individu Relai Jarak

Setelah dilakukan pengujian pada relai jarak *Siemens Siprotec 7SL87* dengan langkah-langkah pengujian pada sub bab 3.7, didapatkan hasil pengujian terhadap keakuratan *setting* impedansi seperti pada tabel 4.7 dan tabel 4.8

Tabel 4.7 Hasil Keakuratan *Setting* Impedansi Relai Jarak

Zona	$Z_{setting}$	Z_{actual}	Deviasi
Z1 L-E	$0 \Omega \angle 76,7^\circ$	$0,014 \Omega \angle 76,7^\circ$	0,014 Ω
Z1 L-L	$0 \Omega \angle 76,7^\circ$	$0,012 \Omega \angle 76,7^\circ$	0,012 Ω
Z1 L-E	$0,502 \Omega \angle 76,7^\circ$	$0,514 \Omega \angle 76,7^\circ$	2,5 %
Z1 L-L	$0,502 \Omega \angle 76,7^\circ$	$0,527 \Omega \angle 76,7^\circ$	4,9 %
Z2 L-E	$1,790 \Omega \angle 80,1^\circ$	$1,836 \Omega \angle 76,7^\circ$	1,2 %
Z2 L-L	$1,790 \Omega \angle 80,1^\circ$	$1,812 \Omega \angle 76,7^\circ$	1,2 %
Z3 L-E	$3,168 \Omega \angle 80,3^\circ$	$3,231 \Omega \angle 76,7^\circ$	0,6 %
Z3 L-L	$3,168 \Omega \angle 80,3^\circ$	$3,153 \Omega \angle 76,7^\circ$	0,6 %

Berdasarkan tabel 4.7 dapat diketahui terdapat perbedaan *setting* impedansi dengan impedansi sebenarnya pada tiap-tiap zona. Selisih ini dapat dipengaruhi oleh arus dan tegangan yang muncul akibat induksi dan kapasitansi komponen-komponen rangkaian di bawah CT dan VT. Peristiwa tersebut merupakan hal yang wajar dikarenakan berdekatan dan banyaknya kabel atau *wiring* pada satu panel. Selisih nilai impedansi tersebut dapat dikatakan masih dalam kondisi ditoleransi apabila presentase selisih dibawah 10 %. Sehingga dapat dikatakan relai jarak *Siemens Siprotec 7SL87* ini masih dalam keadaan baik.

Tabel 4.8 Hasil Keakuratan *Setting* Waktu Relai Jarak

Jenis Gangguan	Zona 1		Zona 2		Zona 3	
	Zf	Time	Zf	Time	Zf	Time
Fasa – Tanah	0,485 Ω	0,02 s	1,635 Ω	0,419 s	3 Ω	1,624 s
Fasa – Fasa	0,271 Ω	0,02 s	1,285 Ω	0,418 s	2,46 Ω	1,627 s

Berdasarkan tabel hasil keakuratan *setting* waktu relai jarak diatas dapat diketahui selisih waktu kerja relai dengan *setting* waktu pada gangguan tanah mempunyai selisih/*error* pada zona 1 sebesar 0,02 s, zona 2 sebesar 0,019 s atau 4,7 %, dan zona 3 sebesar 0,024 s atau 1,4 %. Sedangkan untuk gangguan antar fasa mempunyai selisih/*error* pada zona 1 sebesar 0,021 s, zona 2 sebesar 0,018 s atau 4,7 %, dan zona 3 sebesar 0,027 s atau 1,6 %.

Selisih waktu kerja *actual* dengan waktu kerja *setting* memiliki perbedaan dikarenakan faktor waktu kerja kontak dan pengiriman sinyal pada suatu media (kabel) sehingga membuat waktu kerja *actual* relai jarak dapat mempunyai waktu yang lebih lama dari pada waktu kerja *setting*nya. Hal tersebut merupakan peristiwa yang umum terjadi, namun memiliki batas toleransi selisih maksimal adalah 5 %. Sehingga dapat dikatakan relai jarak *Siemens Siprotec 7SL87* ini masih dalam keadaan baik.

4.6 Perbandingan Gangguan Setelah *Resetting*

Pada *setting* eksisting relai terdapat rasio CT yang dimasukkan salah, dimana rasio CT sebenarnya adalah 1600 A/1 A sedangkan rasio CT yang dimasukkan 2000 A/1 A, sehingga arus yang dikonversi oleh relai dari sekunder ke primer akan lebih besar dari pada arus sebenarnya.

Setelah dilakukan perhitungan *resetting*, terdapat beberapa parameter yang berubah, hal ini dikarenakan perubahan rasio yang dimasukkan. Respons terhadap suatu gangguan diharapkan akan lebih tepat dengan menggunakan *setting* yang baru. Maka dapat dibandingkan respon relai jarak terhadap gangguan sebelumnya dengan dilakukan perhitungan.

1. Sebelum dilakukan *resetting*

$$I_{f_{\text{primer}}} = 16,6 \text{ kA}$$

$$\begin{aligned} I_{f_{\text{sekunder}}} &= I_{f_{\text{primer}}} \times \frac{1}{CT} \\ &= 16,6 \text{ kA} \times \frac{1}{2000} \\ &= 8,3 \text{ A} \end{aligned}$$

$$V_{f_{\text{primer}}} = 7,55 \text{ kV}$$

$$\begin{aligned} V_{f_{\text{sekunder}}} &= V_{f_{\text{primer}}} \times \frac{1}{VT} \\ &= 7,55 \text{ kV} \times \frac{100}{150000} \\ &= 5,03 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_{f_{\text{primer}}} &= 0,225 + j 395 \Omega \\ &= 0,455 \angle 60,3^\circ \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_{f_{\text{sekunder}}} &= 0,301 + j 527 \Omega \\ &= 0,607 \angle 60,3^\circ \Omega \end{aligned}$$

$$L_f = 4 \text{ km}, 77,3 \%, \text{ Zona 1}$$

2. Setelah dilakukan *resetting*

$$I_{f_{\text{sekunder}}} = 8,3 \text{ A}$$

$$\begin{aligned} I_{f_{\text{primer}}} &= I_{f_{\text{sekunder}}} \times CT \\ &= 8,3 \text{ A} \times \frac{1600}{1} \\ &= 13,2 \text{ kA} \end{aligned}$$

$$V_{f_{\text{sekunder}}} = 5,03 \text{ V}$$

$$V_{f_{\text{primer}}} = 7,55 \text{ kV}$$

$$\begin{aligned} Z_{f_{\text{sekunder}}} &= \frac{V_{f_{\text{sekunder}}}}{I_{f_{\text{sekunder}}}} \\ &= \frac{5,03}{8,3} \\ &= 0,606 \angle 60,3^\circ \Omega \\ &= 0,300 + j 0,527 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_{f_{\text{primer}}} &= \frac{V_{f_{\text{primer}}}}{I_{f_{\text{primer}}}} \\ &= \frac{7550}{13280} \\ &= 0,569 \angle 60,3^\circ \Omega \\ &= 0,282 + j 0,494 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Lf \% &= \frac{Zf \text{ primer}}{ZL \text{ primer}} \times 100 \\
 &= \frac{0,569}{0,588} \times 100 \\
 &= 96,7 \% \text{ (Zona 2)} \\
 Lf &= Lf \% \times L \text{ km} \\
 &= 96,7 \% \times 5,205 \text{ km} \\
 &= 5,03 \text{ km}
 \end{aligned}$$

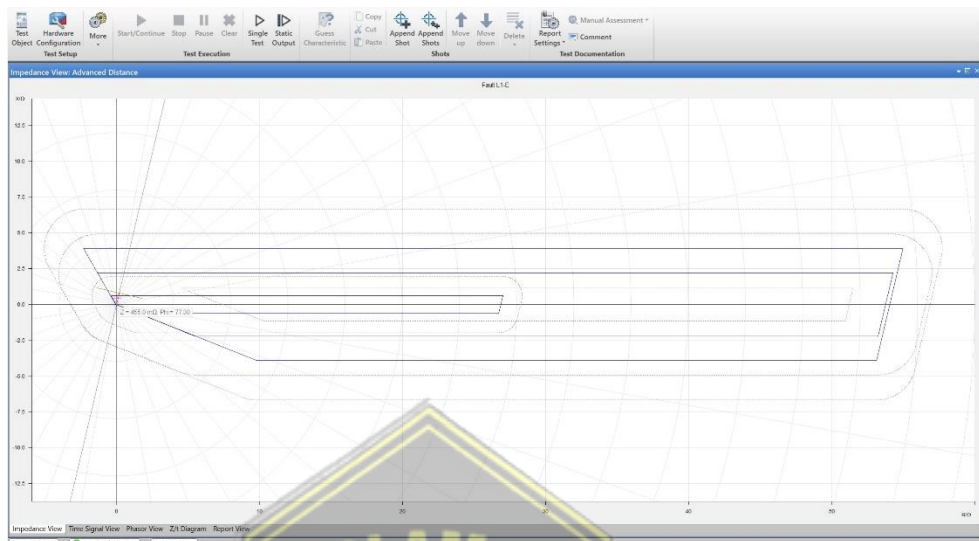
Tabel 4.9 Perbandingan Respon Gangguan

Parameter	Setting Eksisting		Setting Baru	
CT	2000 / 1	A	1600 / 1	A
VT	150.000 / 100	V	150.000 / 100	V
ZL	0,588	Ω	0,588	Ω
If	16,6	kA	13,2	kA
Vf	7.550	kV	7.550	kV
Zf	0,455	Ω	0,569	Ω
Lf	77,3	%	96,7	%
	4	km	5,03	Km
Zona kerja	Zona 1		Zona 2	
Waktu kerja	0	s	0,4	S

Dari tabel perbandingan diatas dapat diketahui perbedaan respon relai sebelum dan setelah dilakukan *resetting*. Pengaruh penerapan rasio CT yang berbeda dapat mempengaruhi respon relai terhadap arus yang terbaca dan daerah proteksinya. Pada rasio CT 2000 / 1 A, arus gangguan yang terbaca sebesar 16,6 kA dengan daerah kerja relai jarak pada zona 1 dan waktu kerja instan. Sedangkan pada rasio CT 1600 / 1 A, arus gangguan yang terbaca sebesar 13,2 kA dengan daerah kerja relai jarak pada zona 2 dan waktu kerja delay 0,4 s.

Perbedaan setting rasio CT yang dimasukkan pada relai jarak akan sangat berpengaruh pada kerja relai jarak itu sendiri. Dimana relai jarak sendiri mendapatkan data sistem yang sedang beroperasi seperti arus dan

tegangan beracuan dari rasio CT dan VT yang kemudian diolah dalam bentuk impedansi.



Gambar 4.4 Diagram *Quadrilateral Setting* Eksisting



Gambar 4.5 Diagram *Quadrilateral Setting* Baru

Ketika *setting* menggunakan rasio CT 2000 / 1 A, impedansi gangguan yang terbaca oleh relai sebesar 0,455 Ω dimana impedansi gangguan tersebut menunjukkan titik gangguan terletak 4 km dari GI 150 kV Plumpang atau masih masuk zona 1 relai jarak. Sedangkan ketika *setting* menggunakan rasio CT 1600 / 1 A, impedansi gangguan yang terbaca oleh relai sebesar 0,569 Ω dengan menunjukkan titik gangguan sejauh 5,03 km

dari GI 150 kV Plumpang atau masuk zona 2 relai jarak. Dengan perbedaan rasio CT yang dimasukkan dalam relai jarak memiliki selisih jarak gangguan sejauh 1,03 km. Serta respon waktu trip pada relai jarak juga berbeda. Dimana seharusnya relai jarak merespon trip delay 0,4 s, dengan rasio CT yang salah mengakibatkan relai jarak merespon trip 0 s atau instan.



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan kajian penelitian yang sudah dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Penyebab gangguan adalah terjadinya *breakdown Sealing End* pada GIS Kandang Sapi yang mengakibatkan relai jarak SKTT Plumpang – Kandang Sapi #2 di GI 150 kV Plumpang bekerja dengan waktu kerja instan zona 1, sedangkan titik gangguan terjadi pada zona 2.
2. Relai jarak bekerja zona 1 ketika gangguan diakibatkan perbedaan rasio CT pada relai jarak SKTT Plumpang – Kandang Sapi #2 yaitu 2000 / 1 A, dimana rasio CT sebenarnya adalah 1600 / 1 A.
3. Setelah dilakukan perhitungan *resetting* didapatkan hasil jangkauan zona resistif maupun zona proteksi antar fasa yang berbeda dengan nilai yang lebih rendah dari setting sebelumnya, zona yang diharapkan untuk sistem proteksi penghantar Plumpang-Kandang Sapi#2 sudah diterapkan pada *setting* yang baru.
4. Setelah dilakukan simulasi gangguan yang sama pada *setting* baru relai jarak, didapatkan respon relai jarak bekerja pada zona 2 daerah proteksi.
5. Setting relai jarak memiliki aspek penting yang mempengaruhi perbedaan nilai *settingnya* antara lain rasio CT dan VT, panjang penghantar dan impedansi penghantar.

5.2 Saran

Berikut saran yang dapat disampaikan antara lain.

1. Penentuan *setting* relai jarak harus diperhatikan data primer peralatan yang terpasang sehingga relai jarak dapat bekerja dengan tepat.
2. Dilakukan inspeksi dan pengujian kelayakan kembali peralatan-peralatan transmisi setelah terjadi gangguan.
3. Perhitungan jangkauan resistif disesuaikan dengan kondisi lingkungan dimana saluran listrik itu berada.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. S. A. Nugroho, “Analisis Setting dan Koordinasi Rele Jarak pada GI 150 kV Pandean Lamper Arah Sron dol,” Semarang, Mar. 2017.
- [2] A. Pangestu, “Analisa Pengaruh Perubahan Impedansi Kawat Saluran Terhadap Setting Relai Jarak pada Saluran Transmisi 150 kV (GI Paya Pasir),” Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Medan, 2019.
- [3] H. Haskarya, “Koordinasi Proteksi Saluran Udara Tegangan Tinggi pada Gardu Induk Mliwang – Tuban Akibat Penambahan Penghantar PLTU Tanjung Awar-Awar,” Surabaya, Jun. 2016.
- [4] R. Aldi, “Sistem Distribusi Tenaga Listrik.”
- [5] Slamet Suropto, *Sistem Tenaga Listrik*. Bantul: LP3M UMY, 2017.
- [6] PT. PLN (Persero), “Buku Pedoman Pemeliharaan SUTET/SUTTI,” in *SK Direksi PT. PLN (Persero) No. 520-1.K/DIR/2014*, Jakarta: PT. PLN (Persero), 2014.
- [7] PT. PLN (Persero), “Sistem Proteksi Gardu Induk,” in *Program Pendidikan D1 Bidang Operasi dan Pemeliharaan Gardu Induk Undip – Udiklat PLN*, 2010.
- [8] PT. PLN (Persero), “Peralatan Gardu Induk,” in *Program Pendidikan D1 Bidang Operasi dan Pemeliharaan Gardu Induk Undip – Udiklat PLN*, 2010.
- [9] PT. PLN (Persero) P3B Jawa – Bali, *Pedoman dan Petunjuk Sistem Proteksi Transmisi dan Gardu Induk Jawa Bali*. Jakarta, 2013.
- [10] Pusdiklat, *Perhitungan Setting Relai Proteksi Penghantar*. Jakarta: PT. PLN (Persero), 2009.
- [11] Siemens, *Manual Book Siemens Siprotec 5 Distance Protection, Line Differential Protection, and Breaker Management for 1-Pole and 3-Pole Tripping 7SA87, 7SD87, 7SL87, 7VK87*. Jerman: Siemens, 2024.
- [12] Akhmad Jamaah, *Proteksi Sistem Tenaga Listrik*. Semarang, 2020.

- [13] PT. PLN (Persero). 2014, Buku Pedoman Pemeliharaan Pemeliharaan Proteksi dan Kontrol Penghantar SK Direksi PT. PLN (Persero) No. 520-1.K/DIR/2014, PT. PLN (Persero), Jakarta.
- [14] PT. PLN (Persero). 2014, Buku Pedoman Pemeliharaan Saluran Kabel Tegangan Tinggi (SKTT/SKTL) SK Direksi PT. PLN (Persero) No. 520-1.K/DIR/2014, PT. PLN (Persero), Jakarta.
- [15] Rusdjaja, Tatang. Yani, Christi. Tjaja, Indra. 2014, Buku Pedoman Pemeliharaan Trafo Arus (CT) SK Direksi PT. PLN (Persero) No. 520-1.K/DIR/2014, PT. PLN (Persero), Jakarta.
- [16] Rusdjaja, Tatang. Yani, Christi. Tjaja, Indra. 2014, Buku Pedoman Pemeliharaan Trafo Tegangan (CVT) SK Direksi PT. PLN (Persero) No. 520-1.K/DIR/2014, PT. PLN (Persero), Jakarta.
- [17] Rusdjaja, Tatang. Yani, Christi. Tjaja, Indra. 2014, Buku Pedoman Pemeliharaan Telekomunikasi SK Direksi PT. PLN (Persero) No. 520-1.K/DIR/2014, PT. PLN (Persero), Jakarta.

