

SKRIPSI

***RESETTING PROTEKSI AKIBAT PERUBAHAN KONFIGURASI PADA
SUTT 150 KV SISTEM GORONTALO TERHADAP SETTING DISTANCE
RELAY, OVER CURRENT RELAY DAN GROUND FAULT RELAY***

Oleh

**RUDI YANTO
T2118015**

*Diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar
Sarjana Teknik Elektro di Fakultas Teknik
Universitas Ichsan Gorontalo*



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ICHSAN GORONTALO
2022**

HALAMAN PENGESAHAN

***RESETING PROTEKSI AKIBAT PERUBAHAN KONFIGURASI PADA
SUTT 150 KV SISTEM GORONTALO TERHADAP SETTING DISTANCE
RELAY, OVER CURRENT RELAY DAN GROUND FAULT RELAY***

Oleh:

RUDI YANTO

T21 18 015

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar Sarjana Program Studi Teknik Elektro di Fakultas Teknik, Skripsi ini telah disetujui oleh Tim pembimbing pada tanggal seperti yang tertera dibawah ini
Gorontalo, 30 April 2022

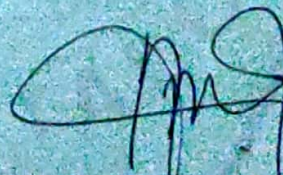
Pembimbing I



Muammar Zainuddin, ST, MT

NIDN: 0906018701

Pembimbing II



Amelia Indah Pratiwi, ST, MT

NIDN: 0907028701

HALAMAN PERSETUJUAN

**RESETING PROTEKSI AKIBAT PERUBAHAN KONFIGURASI PADA
SUTT 150 KV SISTEM GORONTALO TERHADAP SETTING DISTANCE
RELAY, OVER CURRENT RELAY DAN GROUND FAULT RELAY**

Oleh :

RUDI YANTO

T2118015

Diperiksa Oleh Panitia Ujian Strata Satu (S1)

Universitas Ichsan Gorontalo

- | | | |
|--|-----------------|---|
| 1. Frengki Eka Putra Surusa, ST., MT | (Penguji I) |  |
| 2. Muh. Asri, ST., MT | (Penguji II) |  |
| 3. Ir. Stephan A. Hulukati, ST., MT, M.Kom | (Penguji III) |  |
| 4. Muammar Zainuddin, ST., MT | (Pembimbing I) |  |
| 5. Amelya Indah Pratiwi, ST., MT | (Pembimbing II) |  |

Gorontalo, 30 April 2022

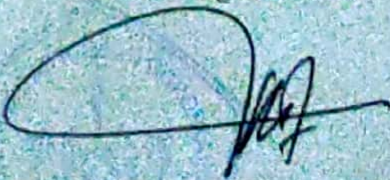
Mengetahui


Dekan Fakultas Teknik

Amru Siola, ST., MT

NIDN. 0922027502

Ketua Program Studi



Frengki Eka Putra Surusa, ST., MT

NIDN. 0906018504

LEMBAR PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Rudi Yanto
NIM : T218015
Kelas : Reguler Sore
Program studi : Teknik Elektro

Dengan ini saya menyatakan bahwa

1. Karya tulis saya (skripsi) ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana) baik di Universitas Ichsan Gorontalo maupun di Perguruan Tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan dari pihak lain kecuali arahan dari tim pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dicantumkan sebagai acuan dalam naskah disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar akademik yang telah diperoleh karena karya tulis ini, serta sanksi lainnya sesuai norma yang berlaku di Universitas Ichsan Gorontalo.

Gorontalo, 30 April 2022




RUDI YANTO

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan rahmat-Nyalah sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi penelitian yang berjudul “*RESETTING PROTEKSI AKIBAT PERUBAHAN KONFIGURASI SUTT 150 KV SISTEM GORONTALO TERHADAP SETTING DISTANCE RELAY, OVER CURRENT RELAY DAN GROUND FAULT RELAY*”

Proposal ini ditulis dalam rangka penyusunan Skripsi guna mendapatkan gelar Sarjana Teknik di Universitas Ichsan Gorontalo. Pada kesempatan ini, penulis hendak menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan moril maupun materil sehingga skripsi penelitian ini dapat selesai. Ucapan terima kasih ini penulis tujukan kepada :

1. Ibu Dr. Dra. Hj. Djuriko Abdussamad, M.Si , selaku Ketua Yayasan Pengembangan Ilmu Pengetahuan Teknologi (YPIPT) Ichsan Gorontalo.
2. Bapak Dr. Abd.Gaffar Latjokke, M.Si, selaku Rektor Universitas Ichsan Gorontalo.
3. Bapak Amru Siola, ST., MT, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Ichsan Gorontalo
4. Bapak Frengki Eka Putra Surusa, ST., MT, selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Ichsan Gorontalo.
5. Bapak Muammar Zainuddin, ST., MT, selaku Pembimbing Akademik penulis dari semester I sampai dengan saat ini dan Pembimbing I.
6. Ibu Amelya Indah Pratiwi, ST., MT, selaku Pembimbing II.
7. Bapak Ibu Dosen Fakultas Teknik Elektro dilingkungan Universitas Ichsan Gorontalo.
8. Kedua Orang Tua dan Keluarga yang senantiasa memberikan dorongan, motivasi dan bantuan materil selama proses perkuliahan sampai saat sekarang
9. Bapak Fendy Tenda selaku Manajer ULTG Gorontalo
10. Bapak Dzul Fikar Mubarak selaku Spv. Pemeliharaan Jaringan dan Gardu Induk ULTG Gorontalo
11. Bapak Arista Wicaksono selaku Spv. Proteksi, Catu daya dan dan Kontrol ULTG Gorontalo

12. Kak Tri, Mas Yoga, Mas aris, Azhari, Agung, Anas, Fahri Rekan – rekan kerja PT PLN (Persero) UPT Manado ULTG Gorontalo yang senantiasa membantu memberikan motivasi
13. Teman-Teman Fakultas Teknik Elektro Angkatan 2018 Universitas Ichsan Gorontalo.
14. Teman – Teman KKLP Technopreneur Desa Ayumolingo
15. Seluruh mahasiswa Fakultas Teknik Elektro.

Penulis menyadari skripsi ini tidak luput dari berbagai kekurangan. Penulis mengharapkan saran dan kritik demi kempurnaan dan perbaikannya sehingga akhirnya laporan skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi bidang pendidikan dan penerapan di lapangan serta bisa dikembangkan lagi lebih lanjut. Amin.

Gorontalo, 30 April 2022

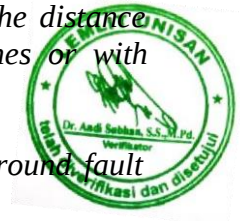
Penulis

ABSTRACT

RUDI YANTO. T2118015. THE PROTECTION RESETTING DUE TO THE CONFIGURATION CHANGES IN THE GORONTALO SUTT 150 KV SYSTEM TO SETTING DISTANCE RELAY, OVER CURRENT RELAY, AND GROUND FAULT RELAY

The configuration changes the 150 kV transmission system in Gorontalo due to the 150 kV Anggrek - Tilamuta T/L reroute, causing the transmission line between Anggrek Substation and Tilamuta Substation to change. It brings about the Distance Relay and Over Current Relay (OCR) and Ground Fault Relay (GFR) settings on the lines (channels) to be reset following the standard so that the reliability and sensitivity of a relay as one of the protections of the electric power system is always maintained. The setting value is calculated based on the standard set to get optimal results and analyzed using the DigSILENT PowerFactory 15.1 application. Based on the calculation results for the distance relay settings at the substations of Isimu, Anggrek, and Tilamuta, there is a change in the impedance setting value for zone 1, zone 2, and zone 3 before and after the change in transmission line configuration between Anggrek Substation and Tilamuta Substation. It is the distance from the conductor on the transmission line that changes the distance. The OCR and GFR settings at the substation of Tilamuta, Isimu is 765.6 A, 127.6 A, and Anggrek is 720 A, 120 A with the desired delay time of 1 second. Based on the simulation results, there are overlapping protection zones. It means that the coordination of working time and security zones is appropriate. It is because each security zone does not overlap anymore after resetting. The distance relay works following the rules and does not overlap with other zones or with overcurrent relays and ground faults as a backup.

Keywords: configuration changes, distance relay, over current relay, ground fault relay, fault simulation



ABSTRAK

RUDI YANTO. T2118015. *RESETTING* PROTEKSI AKIBAT PERUBAHAN KONFIGURASI PADA SUTT 150 KV SISTEM GORONTALO TERHADAP *SETTING DISTANCE RELAY, OVER CURRENT RELAY* DAN *GROUND FAULT RELAY*

Perubahan konfigurasi pada sistem transmisi 150 kV di Gorontalo akibat reroute T/L 150 kV Anggrek - Tilamuta menyebabkan saluran transmisi antara GI Anggrek dan GI Tilamuta berubah. hal ini menyebabkan setelan *Distance Relay* dan *Over Current Relay (OCR)* serta *Ground Fault Relay (GFR)* pada saluran tersebut harus dilakukan *resetting* sesuai dengan standar. agar kehandalan dan sensitivitas dari suatu rele sebagaisalah satu proteksi sistem ketenaga listrikan selalu terjaga. Nilai setelan akan dihitung berdasarkan standar yang telah ditetapkan sehingga mendapatkan hasil yang optimal kemudian dianalisa menggunakan aplikasi *DigSILENT PowerFactory 15.1*. Berdasarkan hasil perhitungan untuk setelan rele jarak pada GI Isimu, GI Anggrek dan GI Tilamuta, maka dapat disimpulkan bahwa terjadi perubahan pada nilai setelan impedansi untuk zona 1, zona 2 dan zona 3 sebelum dan sesudah perubahan konfigurasi saluran transmisi antara GI Anggrek dan GI Tilamuta dikarenakan jarak dari penghantar pada saluran transmisi tersebut berubah jaraknya, setelan *OCR* dan *GFR* pada GI Tilamuta, Isimu adalah sebesar 765.6 A, 127.6 A dan GI Anggrek 720 A, 120 A dengan waktu tunda yang di inginkan 1 detik. Dari hasil simulasi terdapat terdapat zona peroteksi yang tumpang tindih. disimpulkan bahwa koordinasi waktu kerja dan zona pengamanan sudah tepat. hal ini dikarenakan setiap zona pengamanan tidak tumpang tindih lagi, setelah dilakukan *resetting* kembali. pada rele jarak bekerja sesuai dengan aturan dan tidak saling tumpang tindih dengan zona lainnya maupun dengan rele arus lebih dan gangguan tanah sebagai *back-up*.



Kata kunci : Perubahan konfigurasi, *distance relay*, *over current relay*, *ground fault relay*, simulasi gangguan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
LEMBAR PERNYATAAN	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRACT	vii
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Peneletian.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUN PUSTAKA	
2.1 <i>Literature Review</i>	6
2.2 Teori Dasar.....	9
2.2.1 Sistem Tenaga Listrik	9
2.2.2 Fungsi Komponen Sistem Tenaga Listrik.....	10
2.2.3 Level Tegangan Pada Sistem Tenaga Listrik.....	11

2.2.4 Sistem Pembangkit.....	12
2.2.5 Saluran Transmisi.....	13
2.2.5.1 Impedansi Saluran Transmisi.....	14
2.2.6 Sistem Saluran Distribusi.....	16
2.2.7 Sistem Proteksi.....	16
2.2.7.1 Fungsi Sistem Proteksi.....	17
2.2.7.2 Persyaratan Sistem Proteksi	18
2.2.7.3 Daerah Pengaman Sistem Preteksi.....	20
2.2.7.4 Rele Proteksi	21
2.2.7.5 <i>Over Current Relay</i> (Karakteristik dan Setting)	22
2.2.7.6 <i>Ground Fault Relay</i> (Karakteristik dan Setting).....	27
2.2.7.7 <i>Distance Relay</i> (Karakteristik dan setting)	28
2.2.8 Jenis Gangguan dan Arus Hubung Singkat.....	37
2.2.8.1 Arus Hubung Singkat Tiga Fasa	37
2.2.8.2 Hubung Singkat Satu Fasa Ke Tanah	38
2.2.8.3 Hubung Singkat Dua Fasa.....	39
2.2.8.4 Hubung Singkat Dua Fasa Ke Tanah.....	40
2.2.8.5 Hubung Singkat Tiga Fasa Ke Tanah	41

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Kerangka Konsep Penelitian	42
3.1.1 Kerangka Pikir	42
3.2 Objek Penelitian.....	47
3.3 Lokasi Penelitian.....	48

3.4 Tahapan Alur Penelitian.....	48
3.4.1 Studi Literatur / Tinjauan Pustaka.....	48
3.4.2 Mengumpulkan Data Teknis Saluran Transmisi.....	48
3.4.3 Analisa Data.....	48
3.4.4 Analisa Hasil.....	51
3.5 Flowchart Penelitian.....	51
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Data Teknis	52
4.2 Perhitungan Rele Jarak.....	56
4.2.1 Impedansi Penghantar	56
4.2.2 Setelan Zona Pengaman	62
4.3 Perhitungan Rele Arus Lebi Dan Rele Gangguan Tanah.....	93
4.4 Perbandingan Seting Sebelum Dan Setelah Perubahan Konfigurasi	104
4.5 Simulasi Gangguan	105
BAB V PENUTUP	
Kesimpulan	109
Saran.....	110
Daftar Pustaka.....	111
Lampiran	112

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema Sistem Tenaga Listrik.....	10
Gambar 2.2 Daerah Pengaman Sistem Tenaga Listrik	21
Gambar 2.3 Kurva Karakteristik <i>Instaneous Relay</i>	24
Gambar 2.4 Kurva Karakteristik <i>Definite</i>	24
Gambar 2.5 Kurva Karakteristik <i>Inverse Time</i>	25
Gambar 2.6 Kurva Karakteristik <i>Inverse Time</i>	26
Gambar 2.7 Kurva Karakteristik <i>Inverse Definite Time</i>	27
Gambar 2.8 Kurva Karakteristik <i>MHO</i>	30
Gambar 2.9 Kurva Karakteristik <i>Quadrilateral</i>	31
Gambar 2.10 Kurva Karakteristik <i>Reaktansi</i>	32
Gambar 2.11 Kurva Karakteristik Impedansi	32
Gambar 2.12 Zona Proteksi Relai Jarak.....	33
Gambar 2.13 Saluran Dengan Seksi Banyak Cabang	35
Gambar 2.14 Saluran Seksi Dengan kondisi $Z_{max} > Z_{min}$	35
Gambar 2.15 Saluran Seksi Berikutnya Dengan Kondisi $Z_{max} < Z_{min}$	36
Gambar 2.16 Gangguan Hubung singkat 3 fasa.....	37
Gambar 2.17 Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa Ke Tanah	35
Gambar 2.18 Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa	38
Gambar 2.19 Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa Ke Tanah	40
Gambar 2.20 Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa Ke Tanah	40
Gambar 3.1 Peta Sistem Kelistrikan Sulawesi Utara	41
Gambar 3.2 Peta Sistem Kelistrikan Gorontalo	42

Gambar 3.3 Konfigurasi Sistem Kelistrikan Gorontalo Sebelum <i>Reroute</i>	42
Gambar 3.4 Konfigurasi Sistem Kelistrikan Gorontalo Sesudah <i>Reroute</i>	44
Gambar 3.5 Kerangka Konsep Penelitian	46
Gambar 3.6 Flowchart Penelitian.....	51
Gambar 4.1 Zona Pengamanan GI Anggrek Ke Gi Tilamuta	53
Gambar 4.2 Zona Pengamanan GI Tilamuta ke GI Anggrek.....	55
Gambar 4.3 Konfigurasi Sistem Kelistrikan Gorontalo Sebelum <i>Reroute</i>	56
Gambar 4.4 Konfigurasi Sistem Kelistrikan Gorontalo Sesudah <i>Reroute</i>	62
Gambar 4.5 Zona Proteksi GI Anggrek Ke GI Isimu	69
Gambar 4.6 Zona Proteksi GI Isimu Ke Gi Anggrek.....	64
Gambar 4.7 Zona Proteksi Gi Isimu Ke GI Tilamuta	75
Gambar 4.8 Zona Proteksi GI Tilamuta Ke GI Tilamuta	82
Gambar 4.9 <i>Time Distance Relay</i>	90
Gambar 4.10 <i>Time Distance Relay</i>	91
Gambar 4.11 Kurva <i>Mho</i>	92
Gambar 4.12 <i>Time Over Current Relay dan Ground Fault Relay</i>	103
Gambar 4.13 Kurva <i>Mho</i> Anggrek Ke Isimu.....	106
Gambar 4.14 Kurva <i>Mho</i> Isimu Ke Tilamuta	107

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kurava Karakteristik <i>Inverse Time</i>	26
Tabel 3.1 Waktu Penelitian	47
Tabel 4.1 Data Saluran.....	54
Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Rele Jarak	88
Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Setelan <i>OCR – GFR</i>	102
Tabel 4.4 Setelan Rele Sebelum Perubahan Konfigurasi.....	104
Tabel 4.5 Setelan Rele Setelah Perubahan Konfigurasi.....	104

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Zaman modern ini masyarakat ketergantungan terhadap teknologi yang semakin berkembang pesat, dengan berkembangnya teknologi saat ini maka sumber daya energy yang di butuhkan sangatlah besar. dimana sumber daya yang dimaksud adalah sumber daya yang dapat memberikan suplai untuk peralatan teknologi masa kini. Pada dasarnya semua peralatan teknologi sangat membutuhkan energy listrik. Beberapa macam tipe energi listrik yang dibutuhkan, yaitu tipe energi listrik tegangan rendah, tegangan menengah hingga tegangan tinggi.

Sistem penyaluran energi listrik sendiri yaitu dari pembangkit disalurkan melalui Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) ke Gardu Induk (GI) sebagai pusat beban, kemudian dari pusat beban disalurkan melalui Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) dan disalurkan kembali ke konsumen tegangan rendah melalui Saluran Udara Tegangan Rendah (SUTR), Saluran Udara Tegangan Tinggi disebut sistem transmisi, Saluran Udara Tegangan Menengah dan rendah disebut sistem distribusi.

Sistem transmisi sendiri adalah hal penting dalam penyaluran sistem tenaga listrik adalah sistem dinamis yang parameter – parameter dan keadaan sistemnya berubah secara terus menerus. Dasarnya pada semua komponen ataupun sistem peralatan tenaga listrik merupakan komponen yang

penting, tetapi sistem transmisi sendiri sangatlah rentan memiliki masalah baik yang disebabkan oleh alam maupun anomali pada peralatan. Untuk mengatasi gangguan – gangguan yang terjadi pada sistem transmisi, pada sistem ini dilengkapi dengan pengaman atau proteksi.

Pada setiap seksi jaringan transmisi dilengkapi dengan sistem proteksi main dan back up untuk mengantisipasi terjadinya kegagalan operasi. Back up proteksi sendiri akan bekerja hanya (dengan *time delay*) ketika main proteksi gagal bekerja. Time delay dimaksud untuk memberikan kesempatan bekerja lebih dahulu pada main proteksi untuk mengantisipasi terlepasnya dua seksi sekaligus, main relay proteksi pada SUTT 150 KV berupa *Distance relay* sedangkan untuk back up rele proteksi berupa *Overcurrent Relay*.

Sistem transmisi 150 kv gardu induk anggrek (*bay line* anggrek arah tilamuta), menjadi gardu induk anggrek (*bay line* anggrek arah isimu) dan gardu induk tilamuta (*bay line* arah anggrek), menjadi gardu induk tilamuta (*bay line* arah isimu). Perubahan konfigurasi tersebut mengakibatkan adanya perubahan setting relay distance maupun relay overcurrent. Untuk mengetahui letak gangguan itu sendiri maka perlu adanya kordinasi ulang pada rele tersebut. Diharapkan dengan melakukan perhitungan ulang pada setting relay distance dan overcurrent relay, maka koordisnasi proteksi dapat berfungsi secara optimal.

Sistem proteksi tenaga listrik dapat mengalami kegagalan operasi atau karena berbagai macam faktor. Untuk mengantisipasi hal ini memerlukan penggunaan proteksi cadangan atau *back - up* proteksi yang akan mengamankan ketika proteksi utama mengalami kegagalan. SUTT menggunakan *distance relay* sebagai pengaman utama dengan dilengkapi pengaman cadangan lokal serta proteksi cadangan jauh, sistem pengaman cadangan lokal menggunakan *overcurrent relay* dan *ground fault relay* , sedangkan pengaman cadangan jauh memanfaatkan zone 2 *distance relay* melalui gardu induk yang lain. Pengaman utama dan cadangan harus dikordinasikan terutama pada jalur utama (*backbone*) agar dapat bekerja secara selektif [1].

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Berapa nilai setting *Distance Relay*, *Over Current Relay*, dan *Ground Fault Relay* yang sesuai setelah adanya perubahan konfigurasi pada saluran transmisi antara Gardu Induk Anggrek dan Gardu Induk Isimu, Gardu Induk Isimu dan Gardu Induk Talamuta.
2. Bagaimana koordinasi rele proteksi yang optimal dan tepat agar gangguan yang terjadi pada saluran transmisi tersebut tidak mempengaruhi saluran transmisi lainnya.

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menghitung setting *Distance Relay*, *Over Current Relay* dan *Ground Fault Relay* pada saluran transmisi antara Gardu Induk Anggrek dan Gardu Induk Isimu, Gardu Induk Isimu dan Gardu Induk Tilamuta setelah adanya konfigurasi saluran transmisi
2. Menghitung setting koordinasi rele proteksi yang optimal dan tepat agar gangguan yang terjadi pada saluran transmisi tersebut tidak mempengaruhi saluran transmisi lainnya
3. Melakukan perbandingan terhadap setting sebelum dan sesudah dilakukanya perubahan konfigurasi saluran udara tegangan tinggi GI Anggrek – Isimu – Tilamuta

1.4 Batasan Masalah

1. Pembahasan mencakup rele untuk saluran transmisi (***Distance Relay***, ***Over Current Relay***, ***Ground Fault Relay***)
2. Penentuan nilai setting nilai setting ***Distance relay*** pada saluran transmisi antara GI Anggrek dan GI Isimu serta saluran transmisi anantara GI Isimu dan GI Tilamuta
3. Penentuan nilai ***setting Over Current Relay*** dan ***Ground Fault Relay*** dengan karakteristik ***Inverse*** pada saluran transmisi antara GI Anggrek dan GI Isimu serta antara saluran transmisi antara GI Isimu dan GI Tilamuta

4. Menginput hasil perhitungan setelan *Distance Relay*, *Over Current Relay* dan *Ground Fault Relay* di aplikasi *DigSilent PowerFactory*

15.1

1.5 Manfaat Penelitian

1. Sebagai acuan dalam menentukan setting rele proteksi setelah dilakukan perubahan konfigurasi saluran udara tegangan tinggi GI Anggrek – GI Isimu – GI Tilamuta
2. Mengoptimalkan kinerja sisitem proteksi yang digunakan pada saluran udara tegangan tinggi GI anggrek – GI Isimu – GI Tilamuta

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Literatur Review

Berbagai penelitian tentang perhitungan *setting distance relay*, *overcurrent relay* dan *ground fault relay* telah dilakukan, maka sebagai pedoman untuk melakukan penelitian ini, dibutuhkan lebih dari satu referensi agar hasil perhitungan dengan beberapa pertimbangan sesuai konfigurasi saluran transmisi dapat ditentukan dengan tepat.

Penelitian sebelumnya, dilakukan oleh Rizal Akbar Fauzany tentang analisis resetting relay jarak akibat *uprating* konduktor GIS pesanggran – GI sanur pada tahun 2019. Perubahan akibat *uprating* konduktor GIS pesanggran – GI sanur mempengaruhi jangkauan zona proteksi rele jarak sehingga saling tumpang tindih dengan proteksi rele jarak GI sanur – GI ganyar. Oleh karena itu, peneliti melakukan Resetting dengan menghitung ulang nilai impedansi sesuai kaidah pengaturan rele jarak dan hasilnya diuji dengan gangguan hubung singkat pada jarak 86 % saluran pesanggran – sanur. Ketika dilakukan simulasi gangguan hubung singkat pada 86 % saluran pesanggran sanur kinerja *distance relay* micom p443 pesanggran – sanur memanfaatkan nilai impedansi sesudah resetting beroperasi sesuai standar sesuai dan standar *IEEE* std C37. 113 – 2015 posisi gangguan setelah terdeteksi di zona 2 dengan memerlukan waktu 0,4 detik akan mengisolir gangguan [2].

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Deni Almanda, dkk tentang analisis pengaruh kompensasi impedansi urutan Nol (KZN) terhadap kehandalan sistem proteksi relay jarak (*distance relay*) pada penghantar harapan indah di gardu induk plumpung. Pada penelitian ini telah dilakukan simulasi terhadap setting relay jarak yang didapatkan dari PT. PLN (Persero) dari upt pulogadung menggunakan alat uji omicron berdasarkan hasil simulasi untuk gangguan hubung singkat satu phasa, dua phasa dan tiga phasa memerlukan Setting lama $Z_1 = 2,58 \Omega$, $Z_2 = 3,87 \Omega$, $Z_3 = 7,30 \Omega$, $KZ_n = 0,93 \Omega < -0,4^\circ$ *distance relay* tak bekerja selektif, akan dilaksanakan resetting. Dampak dari resetting *distance relay* ialah $Z_1 = 2,58 \Omega$, $Z_2 = 3,87 \Omega$, dan $Z_3 = 7,30 \Omega$, $KZ_n = 0,68 \Omega < -0,6^\circ$. sesudah dilakukan resetting dan disimulasikan rele jarak bekerja dengan handal. Kesimpulanya KZN dapat mempengaruhi kehandalan sistem proteksi rele jarak pada harapan indah di GI plumpung [3].

Penelitian berikut dilakukan oleh Risca Ary Wahyuningsih, dkk membahas tentang rele jarak (*distance relay*) pada saluran udara tegangan tinggi (SUTT) 150 kv sistem kelistrikan Lombok dengan cara menghitung setting impedansi rele jarak pada Zone 1, Zone 2, Zone 3 kemudian menguji dengan melakukan simulasi hubung singkat menggunakan *software ETAP* 7.5. berdasarkan data teknis dari PT PLN APDP Mataram, didapatkan hasil setting rele jarak pada saluran ampenan – jranjang dan impedansi saluran $3,25 \Omega$ (7,543 km) bisa di setting menggunakan $z_1 = 2,6057 \Omega$ (6,0345 km),

$t_1 = 0$ detik ; $Z_2 = 13,7056 \Omega$ (31,7406 km), $t_2 = 0,4$; $z_3 = 24,7209 \Omega$ (57,2508 km), $t_3 = 1,2$ detik sehingga kordinasi diantara relay pengaman telah sesuai yang diinginkan sebab tiada terjadi tupang tindih diantara relay pengaman [4].

Selanjutnya adalah penelitian yang dilakukan oleh Yehezkiel Rondonuw, dkk tentang analisa setting rele arus lebih jaringan transmisi 150 kv pada sistem minahasa. Berebeda dari penelitian sebelumnya, pada penelitian ini membahas tentang setting rele arus lebih dimulai dari menghitung impedansi pembangkit operasi minimum dan maximum, impedansi jaringan serta perhitungan setting arus dan waktu pada jaringan transmisi GI lopana – GI tanjung merah. Dari analisa yang diperoleh, agar kordinasi setting rele arus lebih bisa bekerja secara tepat didapat setting waktu pada GI tanjung merah sebesar 0,89 detik dengan settingan arus 1,5 Ampere serta untuk proteksi cadangannya disetting dengan waktu 1,089 detik, 1.489 detik untuk proteksi cadangan kedua serta 1.889 detik untuk proteksi cadangan ke tiga dengan settingan arus masing – masing adalah sebesar 2 Ampere dan 19,3 Ampere [5].

Terakhir adalah penelitian dari Zulkarnaini yang membahas tentang studi kordainasi rele proteksi pada sluran udara tegangan tinggi 150 kv GI payakumbuh – GI koto panjang. Kordinasi rele proteksi pada penelitian ini dilakukan dengan menghitung settingan rele jarak sebagai proteksi utama sekaligus proteksi cadangan jauh dan rele arus lebih serta rele gangguan

tanah sebagai proteksi cadangan lokal menggunakan *software digsilent power factori 15.1*. dengan memperhitungkan faktor kesalahan pada proteksi rele jarak sebagai pengaman utama sekaligus pengaman cadangan jauh pada penghantar yang memiliki panjang saluran sebesar 85,11 km maka kordinasi setelan yang didapat adalah untuk gangguan fasa pada $Z1 = 68,08$ km, $Z2 = 101,02$ km serta $Z3 = 173,68$ km dengan waktu tunda masing – masing adalah sebesar 0 detik, 0,4 detik dan 1,2 detik. Kemudian untuk gangguan tanah pada $Z1 = 2,57 + j 5,18 \Omega$, $Z2 = 4,00 + j 7,77 \Omega$ serta $Z3 = 5,48 + j 13,27 \Omega$ dengan waktu tunda masing – masing adalah sebesar 0 detik, 0,4 detik dan 1,2 detik. Selanjutnya kordinasi setting rele arus lebih dan gangguan tanah adalah 0,45 dan 0,63 untuk nilai tmsnya [1].

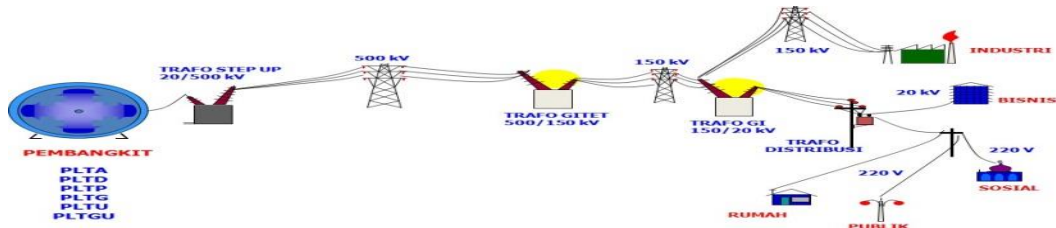
2.2 Teori Dasar

2.2.1 Sistem Tenaga Listrik

Secara umum, sistem didefinisikan sebagai kumpulan elemen ataupun komponen yang bekerja sama agar memfasilitasi gelombang informasi, bahan maupun energi yang mendapatkan tujuan tertentu. Suatu sistem terdiri dari berbagai bagian untuk dibuat secara bentuk, yang memungkinkan bekerja di lingkungan sesuai peran masing – masing agar tercapai tujuan tersebut. Jika tenaga listrik dikaitkan dengan suatu sistem, maka tenaga listrik akan hadir dalam sistem tersebut[6].

Sistem tenaga listrik adalah suatu sistem yang terdiri dari sejumlah komponen berbeda, antara lain unit pembangkitan, saluran transmisi, gardu

induk dan jaringan distribusi yang bekerja sama dengan demikian rupa agar membantu keperluan tenaga listrik untuk konsumen sesuai keperluan. sistem tenaga listrik secara garis besar dapat digambarkan dengan skema gambar 1.1



Gambar 2.1 Skema Sistem Tenaga Listrik

2.2.2 Fungsi Komponen Sistem Tenaga Listrik

Secara garis besar tugas setiap bagian sistem tenaga listrik ialah sebagai berikut:

- a. Unit pembangkitan adalah sistem komponen tenaga listrik yang terdiri dari generator pembangkit tenaga listrik yang digerakkan oleh turbin. Unit pembangkitan berfungsi untuk mengubah energi primer yang berasal dari sumber energi lain akan menghidupkan tenaga listrik dengan cara mengkonversi energi primer berasal dari sumber energi lain, seumpama: minyak bumi, batu bara, panas bumi, air, batu bara, menjadi energi listrik.
- b. Saluran transmisi adalah sistem komponen tenaga listrik yang berwujud konduktor membentang diantara pembangkit dengan gardu induk pusat beban ataupun diantara gardu induk pusat beban. Untuk

menyalurkan energi listrik ataupun daya mulai pusat pembangkit ke GI pusat beban ataupun diantara GI pusat beban itulah fungsi saluran transmisi.

- c. Gardu induk ialah sistem komponen tenaga listrik yang mencakup penghubung-pemutus tenaga listrik dengan trafo *step down* yang ditengah saluran transmisi dan saluran distribusi. Untuk mengkalisifikasikan aliran tenaga listrik dengan menyamakan sistem tingkatan tegangan itulah fungsi gardu induk.
- d. Saluran distribusi ialah sistem komponen tenaga listrik yang mencakup penghantar yang membentang mulai GI hingga tempat konsumen. Saluran distribusi untuk menyalurkan energi listrik mulai GI pusat beban kelokasi konsumen energi listrik itulah fungsi saluran distribusi.

Sistem tenaga listrik mempunyai maksud primer yakni mencukupi keperluan tenaga listrik yang mendukung dan aman untuk pemakai sinkron dengan keperluan, baik tingkat tegangan, ataupun daya yang besar jumlah energinya.

2.2.3 Level Tegangan Pada Sistem Tenaga Listrik

Pada sebuah sistem energi listrik, tegangan yang dipakai dalam tiap - tiap bagian bisa beralainan sinkron bersama kepentingannya. pada istilah lain, masing – masing bagian dalam skema energi listrik beroperasi menggunakan tingkatl tegangan yang berlainan. Kondisi ini dilakukan

supaya membuat sistem lebih ekonomis [6].

2.2.4 Sistem Pembangkit

Pada sistem pembangkitan, tingkat tegangan diadaptasi menggunakan perincian & kemampuan generator pembangkit yang dipakai, umumnya berotasi kira - kira 4,5 s/d 20 kv. bagi pembangkit yang daya mendominasi umumnya memakai tingkat tegangan yang beranjak tinggi. Kondisi ini dilakukan supaya arus yang keluar tidak berlebihan. sebab untuk kemampuan daya generator spesifik, jumlah arus yang keluar kontradiktif dengan tegangannya. pengertiannya bertambah tinggi tegangan, maka arus yang keluar bertambah kecil. Jika arus yang keluar dalam generator bertambah kecil, maka lebar penampang kawat lilitan yang diperlukan bertambah kecil, akibatnya skala generator bisa bertambah kecil & bisa bertambah murah. Jika arus yang keluar bertambah kecil, dan rugi daya dalam lilitan bertambah kecil, sebagai akibatnya bertambah ekonomis [6].

Tingkat tegangan pada pembangkit tidak terlalu tinggi, karena semakin tinggi tingkat tegangan generator, total belitan generator meski bertambah jumlahnya. Ketika jumlah belitan meningkat, generator menjadi bertambah besar kurang efisien. Selain ukuran generator yang besar dan berat, menambah sulitnya mengangkut dan memasang hal yang sama. Di sisi lain, untuk mengurangi output generator, level tegangan yang relatif rendah biasanya digunakan untuk meningkatkan efisiensi ekonomi [6].

Jika unit pembangkit disambungkan ke saluran transmisi dengan level

tegangan yang lebih tinggi, maka diperlukan peralatan penaik tegangan yang berupa transformator penaik tegangan atau *step up transformer* [6].

2.2.5 Saluran Transmisi:

Sistem saluran transmisi umumnya menggunakan tingkat tegangan yang bertambah tinggi dari pada tegangan pada unit pembangkit. lantaran tugas utama saluran transmisi ialah mengalirkan energi listrik, akibatnya yang diperlukan ialah sistem dapat mengalirkan daya beserta efisiensi yang tinggi / rugi-rugi daya kecil. cara yang digunakan ialah menaikkan tingkat tegangan supaya arus yang dialirkan pada saluran transmisi bertambah kecil. apabila arus yang dalirkan pada penghantar saluran transmisi bertamab kecil, dan rugi daya yang ada pada jaringan akan bertambah kecil, akibatnya saluran transmisi membuat bertambah efisien. begutupun dan bertambah kecil arus, dan turun tegangan yang ada pada saluran juga bertamabah kecil, akibatnya tegangan pada penghujung penerima tidak terlalu rendah [6].

Karena saluran transmisi semakin intens, maka diperlukan penggunaan peralatan dengan tingkat isolasi yang semakin tinggi sehingga akibatnya harganya bertambah mahal. Selain itu, buat meningkatkan kenyamanan dan keamanan lingkungan, diperlukan penopang menara dengan tingkat yang bertamabah tinggi. Biasanya tegangan transmisi antara 70 kV s/d 1000 KV. Saluran transmisi dengan tegangan 500 KV atau bertambah ekonomis apabila dijual buat dialirkan daya yang patut besar dan jarak transfer yang cukup jauh. Sebaliknya jika jarak dekat dengan daya

yang tidak besar biasanya menggunakan tegangan yang bertamabah rendah akibatnya anggaran konstruksi bisa ditekan serendah mungkin [6].

2.2.5.1 Impedansi Pada Saluran Transmisi

Impedansi ialah parameter sepanjang mana rangkaian aliran listrik. Seluruh bahan mempunyai sebagian tingkah hambatan listrik, yang mengakibatkan sebagian energi bisa lenyap bagai panas, dengan menurunkan aliran arus. pada arus bolak – balik, adapun variable berpartisipasi untuk impedansi yaitu: induktansi dengan kapasitansi biasanya dimengerti seumpama reaktansi, ialah parameter dari tahanan atas perubahan arus yang terkait pada frekuensi, dengan komponen sirkuit.

Ibarat tahanan, impedansi serta reaktansi pun dihitung pada ohm. Pada persamaannya, simbol Z digunakan untuk impedansi, simbol X digunakan untuk reaktansi, sedangkan simbol XC dengan XL untuk reaktansi kapasitif dan reaktansi induktif, begitu juga dengan hukum ohm buat tahanan, impedansi dinyatakan sebagai :

$$Z = V/I.2.1$$

Keterangan Z : impedansi (ohm)

V : Tegangan (volt)

I : Arus (Ampere)

Untuk menghitung impedansi penghantar transmisi, yaitu tergantung pada besarnya impedansi per km pada penyulang tersebut, untuk besaran nilainya tergantung pada jenisnya penghantar, yakni terbuat dari bahan apa

penghantar tersebut dan luas penampang serta panjang penghantarnya.

Dalam satuan per unit impedansi pengahntar transmisi ialah :

$$Z = \frac{Z_{saluan}}{Z_{base}} \dots\dots\dots 2.2$$

Keterangan

ZI : Impedansi penyulang (pu)

Z base : Impedansi dasar (ohm)

Z saluran : Impedansi saluran (ohm)

Yang digunakan sebagai parameter utama pada perhitungan seting *distance relay* ialah impedansi. buat menghitung impedansi (Z) saluran transmisi, sebelumnya kita menghitung resistansi pengahantar (R) dengan reaktansi penghantar (X), 2 parameter yang dapat menemukan nilai reaktansi yakni nilai kapasitansi dan induktansi, berikut diuraikan persamaan impedansi :

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

$$Z = R + jXl + jXc \dots\dots\dots 2.4$$

$$Z = R + j (Xl + Xc) \dots\dots\dots 2.5$$

Keterangan:

Z : Impedansi (ohm)

Z : Impedansi (ohm)

R : Resistansi (ohm)

XI : Reaktansi induktif (ohm)

Xc : Reaktansi Kapasitif (ohm)

2.2.6 Sistem Saluran Distribusi

Saluran distribusi biasanya, tingkat tegangan yang digunakan bertambah rendah dari tegangan saluran transmisi. Kondisi ini disebabkan lantaran daya yang didistribusikan seringkali kali kecil, dan letak saluran distribusi umumnya di sekitar pemukiman pelanggan, oleh karena itu, sangat penting untuk memikirkan faktor keamanan. saluran distribusi adalah sistem komponen tenaga listrik yang selalu berurusan dengan pelanggan. akibatnya, tingkat tegangannya sesuai dengan kebutuhan klien atau pengguna energi listrik[6].

Ada dua jenis level tegangan jaringan distribusi yang umum digunakan , yaitu jaringan tegangan menengah (JTM) 20 kV dan jaringan tegangan rendah (JTR) 220 V. Dalam hal ini diperlukan trafo penyalur pada saluran distribusi buat mengoperasikan tegangan dari JTM 20 KV sampai JTR 220V sesuai dengan kebutuhan konsumen. Untuk mempertemukana antara gardu induk ke beban yang memerlukan daya relatif besar, seperti industri, rumah sakit, mall ataupun kampus yang biasanya berlangganan tegangan menengah yang digunakan ialah Jaringan tegangan menengah (JTM). jaringan tegangan rendah 220 V sendiri digunakan untuk beban rumah tangga yang tegangannya relatif kecil [6].

2.2.7 Sistem Proteksi

Sistem proteksi ialah pengamanan listrik pada sistem tenaga listrik yang terpasang pada : sistem distribusi tenaga listrik, trafo tenaga, transmisi

tenaga listrik dan generator listrik yang dipergunakan untuk mengamankan sistem tenaga listrik dari gangguan listrik atau beban lebih, dengan cara memisahkan bagian sistem tenaga listrik yang terganggu. Sehingga sistem kelistrikan yang tidak terganggu dapat terus bekerja (mengalirkan arus ke beban atau konsumen). Jadi pada hakekatnya pengamanan pada sistem tenaga listrik yaitu mengamankan seluruh sistem tenaga listrik supaya kehandalan tetap terjaga.

Proteksi sistem tenaga listrik memiliki peran penting terbentang pada jarak yang jauh melalui berbagai daerah dengan bermacam kondisi cuaca dan tanah. Untuk mengatasi berbagai gangguan yang mungkin terjadi maka sistem proteksi seperti ini direkomendasikan, andal, cepat selektif, gangguan yang terjadi pada sistem tenaga adalah pada saluran transmisi, saluran penghubung antara pembangkit dan pusat beban yang sensitive merupakan sasaran utama dari sebagian besar.

2.2.7.1 Fungsi Sistem Proteksi

Fungsi sistem tenaga listrik, antara lain untuk ;

- a) Mencegah kerusakan peralatan – peralatan pada sistem tenaga listrik akibat terjadinya gangguan atau kondisi operasi sistem yang tidak normal.
- b) Mengurangi kerusakan peralatan – peralatan pada sistem tenaga listrik akibat terjadinya gangguan atau kondisi operasi sistem yang tidak normal

- c) Memersempit daerah yang terganggu sehingga gangguan tidak melebar pada sistem yang lebih luas
- d) Memberikan pelayanan tenaga listrik dengan dengan keandalan dan mutu tinggi kepada konsumen
- e) Mengamankan manusia dari bahaya yang ditimbulkan oleh tenaga listrik

2.2.7.2 Persyaratan Sistem Proteksi

Beberapa persyaratan yang harus dipenuhi untuk mengamankan peralatan – peralatan listrik yang ada di sistem proteksi tenaga listrik. ada beberapa persyaratan yang harus dipenuhi oleh sebuah sistem keamanan, seperti yang tercantum dibawah ini :

a) Selektivitas

Selektivitas adalah kemampuan rele proteksi untuk melakukan tripping secara tepat sesuai rencana yang telah ditentukan pada saat mendesain sistem proteksi tersebut. Dengan kata lain, selektivitas berarti rele harus memiliki daya beda, yang memungkinkan dengan cepat mengidentifikasi hal – hal yang berhubungan dengan gangguan. selanjutnya rele ditugaskan memproteksi peralatan dengan cara mendeteksi adanya gangguan dan memberikan perintah kepada pemutus tenaga (PMT) supaya pemutus tenaga membuka kontaknya, sehingga pemutus hanya memutuskan pada daerah yang terganggu.

b) Stabilitas

Stabilitas sistem pengamanan berhubungan dengan unit proteksi, yang menggambarkan kemampuan skema kapasitas sistem pengamanan tertentu agar tetap bertahan hingga karakteristik kerjanya dan tidak terpengaruh faktor eksternal di luar daerah pengamanannya, umumnya pada arus beban lebih dan arus gangguan lebih.

dan kata lain, diartikan menjadi metrik untuk dapat mempertahankan tingkat kinerja yang konsisten saat hanya bekerja di lingkungan yang aman di mana tidak terpengaruh oleh berbagai faktor eksternal yang tidak perlu dipertimbangkan.

c) Kecepatan

Peran sistem proteksi ialah berfungsi untuk menangani gangguan secepat mungkin. Tujuan pokoknya ialah menyelamatkan kontinuitas pasokan daya dan menghapus masing - masing gangguan sebelum gangguan tersebut berkembang atau meluas ke arah yang membahayakan stabilitas dan hilangnya sinkronisasi sistem pada akhirnya dapat merusak sistem tenaga tersebut seperti isolasi bocor akibat adanya gangguan tegangan lebih terlalu lama sehingga peralatan listrik yang diamankan dapat mengalami kerusakan. Namun sistem proteksi atau yang biasa disebut dengan rele proteksi tidak boleh beroperasi terlalu cepat (kurang dari 10ms). Sebaliknya, waktu kerja relai tidak boleh melampaui penyetelan kritis. Kecepatan pada rele proteksi sangat diperlukan pada sistem yang besar, karena untuk menjaga kestabilan sistem agar tidak terganggu

d) Sensivitas

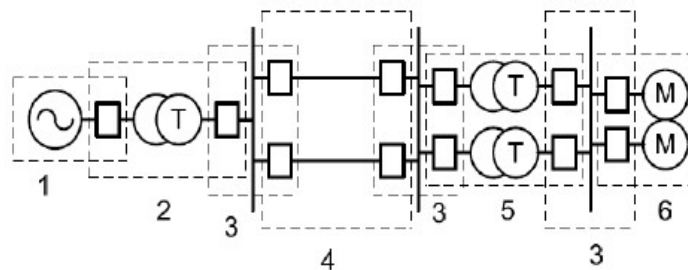
Sensivitas adalah istilah yang sering dikaitkan dengan harga besaran penggerak minimum, tegangan, daya, dan kondisi lain dimana rele atau skema proteksi dapat efektif. sensitive bila parameter operasi utamanya rendah, artinya, parameter rendah besaran semakin rendah parameter penggerak maka dapat dikatakan semakin sensitive sehingga rele harus dapat bekerja pada awal terjadi gangguan.

2.2.7.3 Daerah Pengaman Sistem Proteksi

Dalam sistem pengaman tenaga listrik, setiap komponen harus diidentifikasi dengan fokus pada selektivitas kerja peralatan / rele pengaman, sistem tenaga listrik dibagi menjadi daerah – daerah (Zona) pengaman seperti yang ditunjukkan di bawah ini:

- 1) Proteksi pada generator
- 2) Proteksi pada transformator
- 3) Proteksi pada transmisi
- 4) Proteksi pada distribusi

Sistem tenaga listrik dibagi menjadi daerah – daerah (zona) pengaman seperti terlihat pada gambar 2.1 berikut ini



Gambar 2.2 Daerah proteksi dalam sistem tenaga listrik

Pada sistem pengaman dibagi tugas bisa diuraikan menjadi ialah sebagai berikut

- Proteksi utama, sebagai mempertinggi kecepatankrja, kehandalan, dengan fleksibilitas sistem pengaman untuk sistem tenaga
- Proteksi pengganti, sebagai bila proteksi utama menghadapi kerusakan buat mengatsi gangguan yang ada.
- Proteksi tambahan, sebagai untuk pemakain pada waktu terkait apabila pembantu pengaman utama pada wilayah terkait yang diperlukan.

2.2.7.4 Rele Proteksi

Rele proteksi adalah peralatan pengaman yang disusun dapat mengukur atau mersakan adanya ketidak satabilan pada sistem atau gangguan, kemudian dapat merespon berupa sinyal untuk menggerakkan sistem penggerak memberikanpemutus tenaga untuk memisahkan bagian yang mengganggu secara otomatis. Biasanya rele proteksi digunakan untuk mendeteksi adanya gangguan pada sistem kelistrikan. Rele proteksi dapat mengukur atau membandingkan besaran – besaran yang diterimanya adanya gangguan pada peralatan yang ada, misalnya impedansi, arus tegangan, susdut fasa, frekuensi, daya, dll. Dengan besaran yang ditentukan, mengambil keputusan dengan pilihan waktu untuk membuka pemutus tenaga.

2.2.7.5 *Over Current Relay* / Rele arus Lebih (Setting dan Karakteristik)

Proteksi *back – up* atau proteksi cadangan pada saluran transmisi adalah pengaman yang berfungsi sebagai pengaman peralatan proteksi utama yang tidak bekerja. Peralatan proteksi cadangan dan utama harus dipisah secara *hardware*[7].

OCR merupakan rele beroperasi dengan input arus analog akan merasakan gangguan diatas pengaturanya, khususnya untuk gangguan antar fasa. OCR disetting bertambah besar dari kapasitas arus nominal peralatan terkecil (110% - 120 %) dan harus bekerja pada arus hubung singkat 2 fasa minimum. Waktu kerja OCR penghantar diset +/- 1 (satu) detik pada arus hubung singkat 2 fasa maksimum di lokal bus [7].

karakteristik *inverse* mengacu pada standar *IEC* atau *ANSI/IEEE*, karena tidak mampu mendeteksi titik gangguan secara akurat, maka rele ini digunakan sebagai cdangan pelindung. dan juga ditunjukkan buat keselamatan peralatann ketika pengaman utama gagal bekerja. Supaya bisa berkordinasi secara efektif dan rele arus lebih yang lain (bukan arus lebih yang terpasang di penghantar), maka karakteristik untuk pengaman penghantar yang di pilih yang kurva yang sama yakni standar *inverse (IEC)* / normal *inverse (ANSI/IEEE)*. Untuk selektifitas dengan pengaman utama fungsi high set tidak diakatifkan [7].

Berikut adalah rumus perhitungan setting OCR Standar Inverse.

1. Seting Arus OCR

$$I_s = (110 \% - 120 \%) * I_n / CCC.2.6$$

Keterangan

I_s : Seting Arus OCR (Ampere)

I_n : Arus Nominal CT (Ampere)

CCC : *Current Carrying Capacity* atau Kemampuan hantar arus kawat penghantar (Ampere).

Dipilih nilai terkecil antara CCC atau I_n .

2. Seting Waktu OCR

$$T (SI) = \frac{0.14}{(I_{hsph} / I_s)^{0.02} - 1}.2.7$$

Karena setting yang diterapkan pada rele tersebut ialah setting TMS apabila terjadi gangguan fasa – fasa di bus, jumlah waktu yang diinginkan harus diperhatikan (umumnya waktu kerja relai proteksi *back – up* penghantar adalah 1 detik pada saat terjadinya gangguan fasa – fasa di bus) [7].

$$TMS = \frac{(I_{hsph} / I_s)^{0.02} - 1}{0.14} * T (SI).2.8$$

Keterangan :

TMS : *Time Multiple Seting*

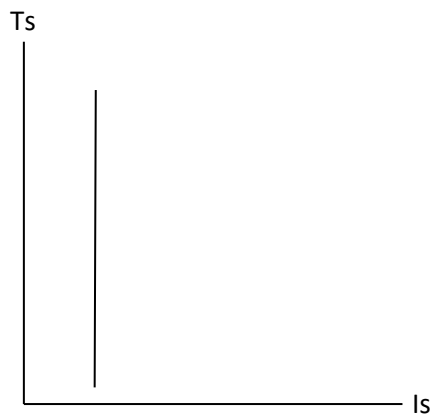
I : Arus Hubung singkat fasa – fasa di lokal Bus (A)

I_s : Seting Arus OCR (A)

$T(SI)$: Waktu kerja yang diinginkan pada gangguan hubung singkat fasa – fasa di lokal bus. (s)

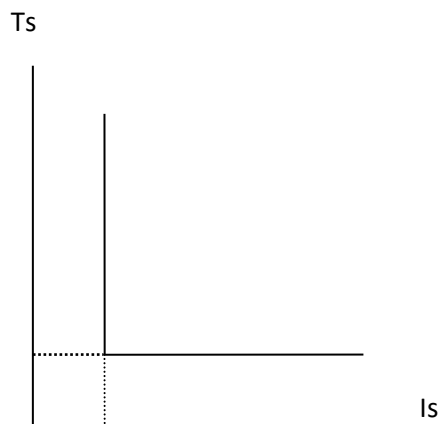
Memiliki beberapa karakteristik kerja yaitu:

1. *Instantaneous*, ialah rele yang bekerja secara langsung atau tanpa waktu tunda berdasarkan perbedaan tingkat arus gangguan pada lokasi yang berbeda.



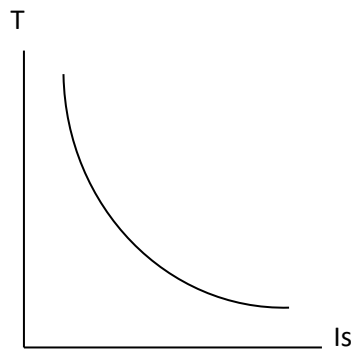
Gambar 2.3 Kurva Karakteristik *Instantaneous Relay*

2. *Definite time relay*, ialah rele yang bekerja berdasarkan waktu tunda yang sudah ditetapkan sebelumnya dengan tidak terkait pada perbedaan besarnya arus gangguan.



Gamabar 2.4 Karakteristik *definite time relay*

3. *Inverse time relay*, ialah rele yang bekerja dengan waktu operasi berbanding terbalik terhadap besarnya arus yang terukur oleh rele



Gambar 2.5 Kurva karakteristik *inverse time*

$$T_{ms} = \frac{\left(\frac{I_f}{I_s}\right)^\alpha - 1}{\beta} \times t \dots\dots\dots 2.9$$

Keterangan :

T_{ms} : *Time multiple setting*

t : Waktu tunda

I_f : Arus gangguan

I_s : Arus setelan

α : Ketetapan karakteristik *Inverse*

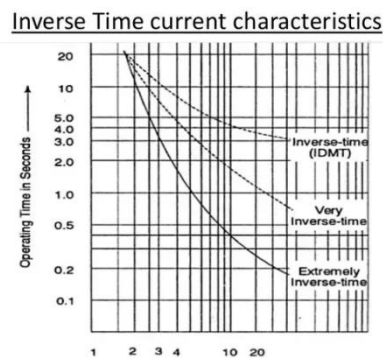
β : Ketetapan karakteristik *Inverse*

Karakteristik *Inverse Time* terbagi menjadi 4 jenis dengan nilai ketetapan, yaitu:

Tabel 2.1 Kurva Karakteristik *Inverse Time*

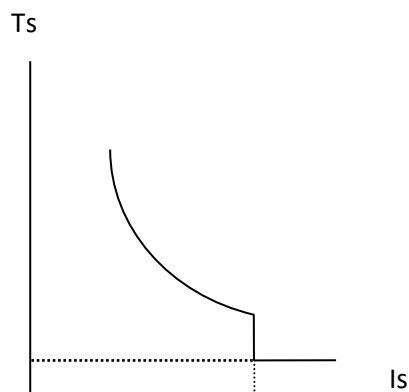
Kurva Karakteristik	α	β
Standar Inverse	0.02	0.14
Very Inverse	1.00	13.5
Extremly Inverse	1.00	120
Long Time Inverse	2.00	80

Dengan ketetapan nilai α dan β yang berbeda-beda, maka kurva untuk karakteristik ini menjadi :



Gambar 2.6 Kurva Karakteristik *Inverse Time*

4. *Inverse definite time relay*, rele ini memiliki karakteristik operasi berlandaskan gabungan antara inverse dengan rele definite, rele ini mau beroperasi apabila secara definite bila arus gangguanya besar dan bekerja secara inverse jika arus gangguanya kecil.



Gambar 2.7 Kurva karakteristik *inverse definite time*

2.2.7.6 *Ground Fault Relay / Rele Gangguan Tanah (Setting dan Karakteristik)*

GFR ialah rele yang beroperasi dengan input arus analog, ketika suatu rele mengalami arus gangguan 1 fasa ke tanah di atas nilai settingnya, relai akan bekerja. Untuk selektifitas dan pengaman utama fungsi *high set* tak diaktifkan. Rele arus gangguan tanah di set 10 – 30 % dari kapasitas arus nominal peralatan yang terkecil, tetapi perlu dipastikan bahwa seting arus rele masih pasti beroperasi saat arus hubung singkat 1 fasa tanah minimum. Waktu operasi rele arus gangguan tanah diset +/- 1 (satu) detik pada arus hubung singkat fasa – tanah maksimum di lokal bus [7].

1. Setting arus

$$I_s = (20 \% - 30 \%) * I_n / CCC \dots\dots\dots 2.9$$

Keterangan

I_s : Seting Arus GFR (Ampere)

I_n : Arus Nominal CT (Ampere)

CCC : Current Carrying Capacity atau Kemampuan hantar arus kawat penghantar (Ampere).

Dipilih nilai terkecil antara CCC atau I_n .

2. Seting Waktu

$$T(SI) = \frac{0.14}{(I_{hsph}/I_s)^{0.02}-1} \dots\dots\dots 2.10$$

Karena Seting yang diterapkan pada rele ialah setting TMS apabila terjadi gangguan fasa – fasa di bus, jumlah waktu yang diinginkan harus diperhatikan (umumnya waktu kerja relai proteksi *back – up* penghantar adalah 1 detik pada saat terjadinya gangguan fasa – fasa di bus)[7].

$$TMS = \frac{(I_{hsph}/I_s)^{0.02}-1}{0.14} * T(SI). \dots\dots\dots 2.11$$

Keterangan :

TMS : Time Multiple Seting

I : Arus Hubung singkat 1 fasa ke tanah di lokal Bus (A)

I_s : Seting Arus GFR (A)

$T(SI)$: Waktu kerja yang diinginkan pada gangguan hubung singkat fasa – fasa di lokal bus. (s)

Karakteristik *ground fault relay* sama halnya karakteristik *overcurrent relay*

2.2.7.7 Distance Relay / Rele Jarak (Setting Dan Karakteristik)

Prinsip dasar dari *distance relay* ialah berlandaskan pada impedansi saluran transmisi, yang besarnya sepadan dengan panjang saluran transmisi

terkandung. kaidah pengukuran jaraknya dan mencocokkan arus gangguan yang dirasakan oleh relai terhadap tegangan dititik / tempat dimana relai terpasang. Dan mencocokkan kedua besaran itu, impedansi saluran transmisi dari tempat rele sampai titik / tempat gangguan bias diukur. Perhitungan impedansi bisa dihitung dengan rumus sebagai berikut[8] :

$$Z_f = \frac{V_f}{I_f} \dots\dots\dots 2.12$$

Keterangan :

Z_f : Impedansi (Ohm)

V_f : Tegangan (Volt)

I_f : Arus Gangguan (Volt)

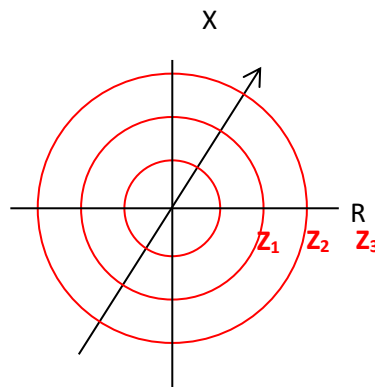
Distance relay akan beroperasi dengan cara mencocokkan impedansi gangguan yang terukur dengan impedansi setting, dengan ketentuan[7] :

- a. jika nilai imepdansi gangguan bertamabah kecil dari pada impedansi setting relai maka relai akan trip.
- b. jika nilai impedansi gangguan bertamabah besar dari pada impedansi setting relai maka relai tidak akan trip

1. Karakteristik Mho

Karakteristik mho saat digambarkan dalam diagram impedansi R – X ialah lingkaran dimana diameter lingkaran tersebut memotong titik pusat mulai sistem kordinat dengan besarnya diameter tersebut menggambarkan sesudah jangkauan dan sudut fasa dari karakteristik mho. sesudah capaian dan sudut fasa karakteristik mho bisa diatur sebanding dan impedansi

saluran transmisi yang diamankan. *Distance relay* dan karakteristik mho akan beroperasi jika impedansi yang terukur berkedudukan dalam lingkaran [8].



Gambar 2.8 Kurva karakteristik MHO

2. Karakteristik Quadrilateral

Karakteristik kerja quadrilateral dapat dibentuk dengan menentukan setelan forward reach dan resistive reach yang masing – masing dapat distel independen. Setelah penyekat atau cakupan karakteristik operasi quadrilateral yaitu penyekat paling atas membuktikan cakupan reaktansi, selanjutnya cakupan kiri dan kanan ialah cakupan resistansi positif dan resistansi negative beserta batasan bawah elemen *directional* [8].

Keterangan :

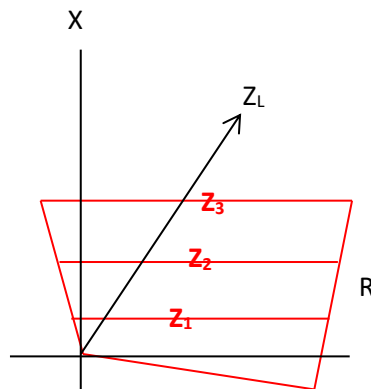
Z_L : impedansi saluran transmisi

Z_r : setelan jangkauan reaktansi rele jarak

R_F : setelan jangkauan resistansi rele jarak

32Q= elemen arah (directional)

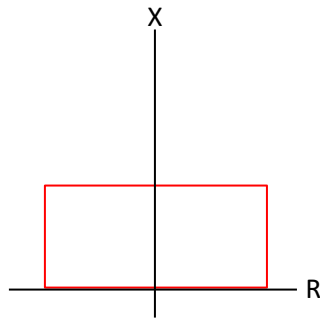
Rele dan karakteristik quadriterial akan bekerja jika impedansi yang terukur oleh rele berada didalam bidang yang tertentu oleh 4 garis yang sudah disebutkan diatas. Quadrilateral memiliki cakupan yang bertambah luas dari pada karakteristik mho. Karakteristik operasi quadrilateral memiliki kelebihan dalam hal pengukuran impedansi agar gangguan ketanah atau ground fault. Gangguan ketanah, memiliki resitansi yang cukup tinggi disebabkan oleh busur api (resitive arc) dan impedansi ketanah itu sendiri maka memicu resistansi gangguan ketanah memiliki nilai yang cukup signifikan[8].



Gambar 2.9 Kurva karakteristik quadrilateral

3. Karakteristik Reaktansi

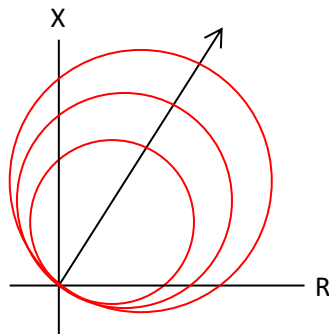
Karakteristik reaktansi ialah memiliki sifat *non directional*. agar aplikasi di SUTT (saluarn udara tegangan tinggi) dapat di tambah rele *directional*. Rele ini hanya mengukur komponen reaktif dari impedansi jaringan[8].



Gambar 2.10 Kurva karakteristik reaktansi

4. Karakteristik Impedansi

Rele jarak jenis ini impedansi merupakan lingkaran dengan titik pusatnya di tengah – tengah. Sehingga mempunyai sifat tidak berarah (non directional)[8].



Gambar 2.11 Kurva karakteristik impedansi

Rele jarak (*distance relay*) membagi daerah operasinya menjadi beberapa daerah (*zone*), dimana disetiap area atau zona memiliki reaksi rele jarak yang berbeda, dalam membuat setting, pertama di tetapkan dahulu nilai impedansi di sistem tenaga (primer). Impedansi sekunder dihitung dengan perkalian rasio CT dan PT pada persamaan berikut.

$$CT = \frac{CT \text{ Primer}}{CT \text{ Sekunder}}$$

$$PT = \frac{PT \text{ primer}}{PT \text{ sekunder}}$$

$$n1 = \frac{CT}{PT}$$

Keterangan :

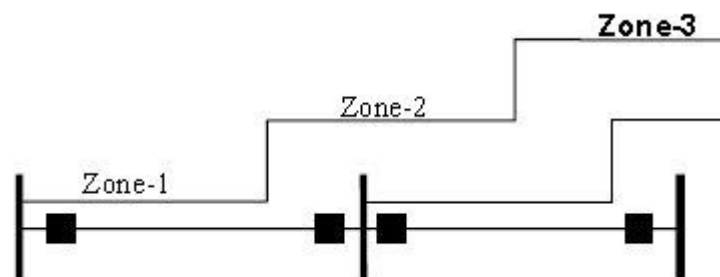
n1 : Rasio CT dan PT

CT : Rasio transformator arus

PT : Rasio transformator tegangan

Selain karakteristik dari relai jarak, setelan relai jarak artinya mengatur seberapa jauh panjang penghantar yang akan diamankan

Daerah *distance relay* terbagi menjadi tiga zona yang dikordinasikan dengan seksi lainya supaya tidak meyebabkan tumpang tindih.



Gambar 2.12 Zona Proteksi Relai Jarak

saat menetapkan zona, nilai impedansi saluran transmisi bisa dihitung dengan memakai rumus berikut [9]:

ZL : Panjang saluran x Z saluran per km.2.13

Berikut ini penjelsan area cakupan (*zone*) pada relai jarak (*distance relay*)

1. Zona 1

Sebagai proteksi utama, jngkauna zona 1 harus mencangkup semua saluran saluran yang diamankan, tetapi dengan memperhatikan adanya kesalahan – kesalahn dari data kostanta seluruh seperti CT, PT, dan peralatan – peralatan lainya sebesar 20 % maka Zona 1 si set 80 % dari panjang saluran yang diamankan [7].

$$\text{Zona 1} = 0,8 \times Z_{L1} \dots\dots\dots 2.14$$

Keterangan

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

Waktu kerja relai adalah seketika, sehingga dilakukan peneyetelan waktu dengan $T1 = 0$ detik

2. Zona 2

daerah yang diamankan zona 2 harus mencapai sampai busbar di depannya (near end bus) tetapi tidak boleh tumpang tindih dengan zone -2 relai jarak di seksi berikutnya. Dengan mengasumsikan kesalahan – kesalahan seperti pada penyetingan zone -1 sekitar 20 %, maka diperoleh penyetingan minimum dan maksimum untuk zone- 2 sebagai berikut [7]:

$$Z_{2\min} = 1.2 \times Z_{L1} \dots\dots\dots 2.15$$

$$Z_{2\max} = 0.8 (Z_{L1} + (0.8 Z_{L2})K) \dots\dots\dots 2.16$$

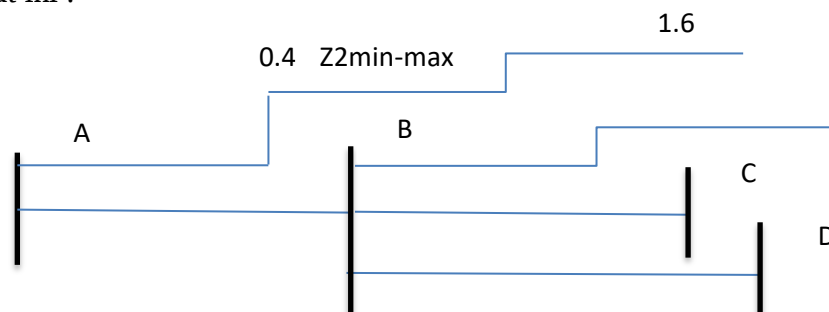
Keterangan :

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

Z_{L2} : Impedansi saluran berikutnya yang terpendek (ohm)

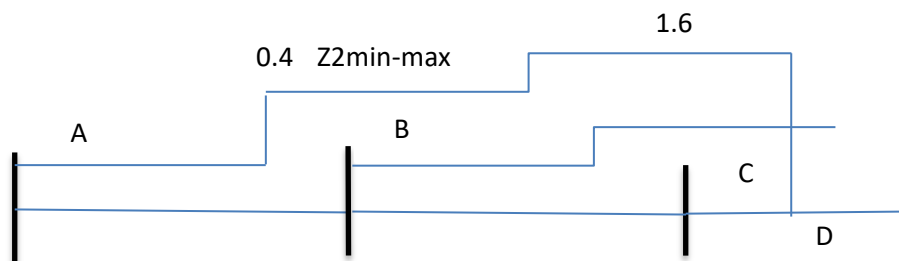
K : Infeed faktor ($K = 1 \text{ s.d } 2$)

Apabila penghantar setelahnya terdapat banyak cabang, untuk memperoleh selektifitas yang baik maka setting $Z_{2\max}$ diambil nilai impedansi penghantar (ohm) yang terkecil seperti terlihat pada gambar berikut ini :



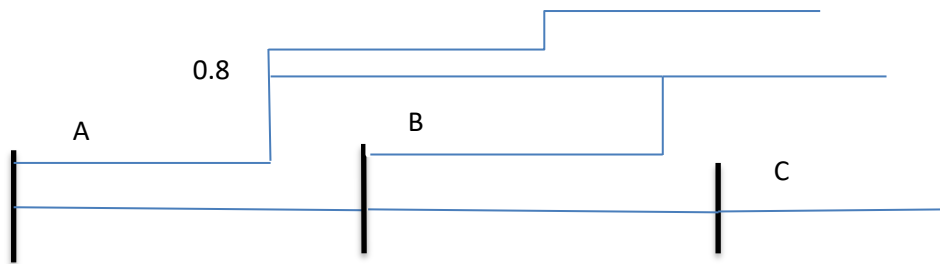
Gambar 2.13 Saluran dengan seksi banyak cabang

- Apabila $Z_{\max} > Z_{\min}$ maka setting Zone -2 diambil = $Z_{\max}$ dengan $t_2 = 0.4$ detik.



Gambar 2.14 Saluran Seksi dengan kondisi $Z_{\max} > Z_{\min}$

- Apabila penghantar yang diamankan lebih panjang dari penghantar setelahnya yang terjadi adalah $Z_{\max} < Z_{\min}$. Untuk menghasilkan selektifitas yang sesuai, oleh sebab itu zone-2 = $Z_{2\min}$ serta setting waktunya ditambahkan satu tahap ($t_2 = 0,8$ detik),



Gambar 2.15 Saluran Seksi berikutnya dengan kondisi $Z_{max} < Z_{min}$

- Apabila di gardu induk setelahnya terdapat transformator daya, untuk jangkauan zona- 2 tidak melampaui transformator $Z_{tr} = 0.8 (Z_{L1} + K \cdot X_t)$, dan K = Segmen transformator yang di amankan nilai K dianjurkan = 0.5. agar ketika terjadi gangguan di sisi LV transformator, *Distance relay* tidak bekerja.

3. Zona 3

Jangkauan zona 3 harus mencakup 2 busbar GI di depannya. Yang terjauh (far end bus) sehingga didapatkan penyetingan antara lain [7] :

$$Z_{3min} = 1.2 (Z_{L1} + K \times Z_{L3}) \dots\dots\dots 2.17$$

$$Z_{3max1} = 0.8 (Z_{L1} + ((1.2 \times Z_{L3}) K)) \dots\dots\dots 2.18$$

$$Z_{3Max2} = 0.8 (Z_{L1} + (0.8((Z_{L3} + 0.8 \times Z_{L4}) K))) \dots\dots\dots 2.20$$

$$Z_{TR} = 0.8 (Z_{L1} + (0.8 \times X_t)) \dots\dots\dots 2.21$$

Keterangan :

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

Z_{L3} : Impedansi saluaran berikutnya yang terpanjang (ohm)

Z_{L4} : Impedansi penghantar dari far end bus yang terpendek (ohm)

K : Infeed factor jika terdapat pembangkit di busbar GI di depannya
(K= 1 s.d 2)

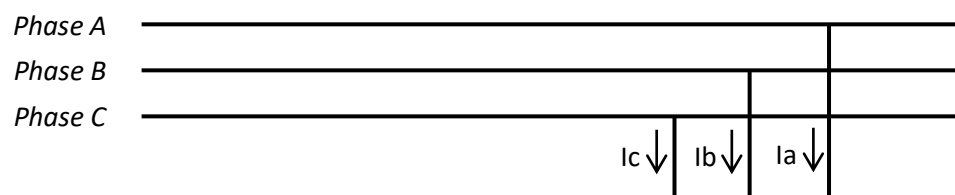
Nilai yang diambil untuk Zone -3 ialah yang terbesar dari ZL1, ZL2, dan ZL3 tetapi tidak melampaui nilai Ztr. Pemilihan 1.6 detik supaya melampaui waktu pole discrepancy, 1.5 detik dan *DEF backup*.

Seting waktu Zone -3 adalah 1.6 detik, apabila penghantar dilindungi ialah saluran radial, untuk seting zone-3 tidak melebihi 80% impedansi transformator setelahnya.

2.2.8 Jenis Gangguan Dan Arus Hubung Singkat

2.2.8.1 Hubung Singkat Tiga fasa

Gangguan hubung singkat tiga fasa tertera pada peneglompokan gangguan simetris, meskipun saat arus tegangan per fasanya benar - benar sebanding sesudah gangguan terjadi. Akibatnya, sistem ibarat hanya bisa dianalisa dengan memanfaatkan urutan positif. Seperti terlihat pada gambar di bawah ini, dapat dilihat gangguan hubung singkat 3 fasa.



Gambar 2.16 Gangguan hubung singkat 3 fasa

Untuk mencari nilai arus hubung singkat pada gangguan hubung singkat tiga fasa dapat dicari dengan menggunakan rumus:

$$I_{3fasa} = \frac{V_f}{Z_1} \dots\dots\dots 2.22$$

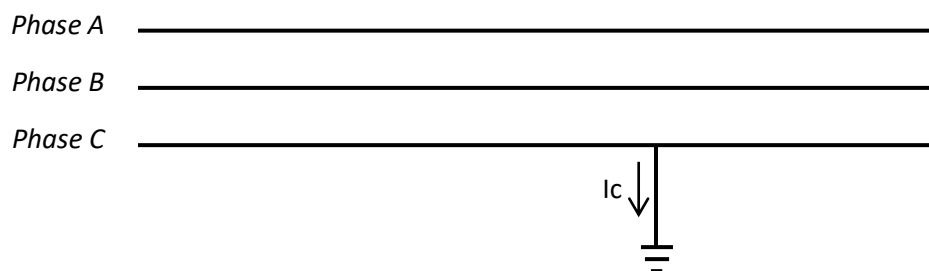
Keterangan :

V_f : Tegangan di titik gangguan sesaat sebelum terjadinya gangguan
(V)

z_1 : Impedansi urutan positif dilihat dari titik gangguan (Ω)

2.2.8.2 Hubung Singkat Satu Fasa Ke Tanah

Gangguan yang ada dalam sistem tenaga listrik adalah gangguan asimetris oleh karena itu, diperlukan cara bagian simetris buat menguraikan data arus dan tegangan ketika saat gangguan. Analisa gangguan yang ada dalam sistem dengan tersambung singkatkan semua sumber tegangan yang ada dan mengganti pada titik (*node*) gangguan di titik gangguan dengan sebuah sumber tegangan yang besarnya sama dengan tegangan sebelum terjadinya gangguan. Sistem tiga fasa tidak seimbang dapat dipresentasikan dengan menggunakan teori komponen simetris dengan menggunakan metode ialah berdasarkan komponen urutan positif , komponen urutan negatif, dan komponen urutan nol. Gambar Gangguan hubung singkat satu fasa ketanah dapat dilihat seperti pada gambar di bawah ini:



Gambar 2.17 Gangguan hubung singkat 1 fasa ketanah

Dasar rumus yang dipakai memperkirakan besarnya arus gangguan hubung singkat satu fasa ketanah

$$I = \frac{v}{z} \dots\dots\dots 2.23$$

Akibatnya, arus hubung singkat satu fasa ke tanah bisa dideteksi menggunakan rumus :

$$I_{1 fasa ke tanah} = \frac{3 \times V_{ph}}{Z_{1eq} + Z_{2eq} + Z_{0eq}} \dots\dots\dots 2.24$$

Karena $Z_{1eq} = Z_{2eq}$ maka :

$$I_{1 fasa ke tanah} = \frac{3 \times V_{ph}}{2 \times Z_{1eq} + Z_{0eq}} \dots\dots\dots 2.25$$

Keterangan :

$I_{1 fasa}$: arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah (A)

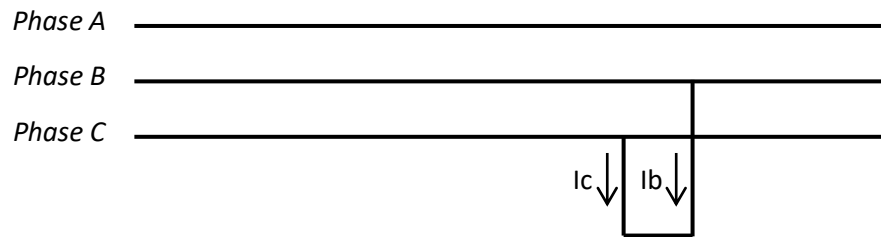
V_{ph} : Tegangan fasa – netral sistem (V)

Z_{1eq} : impedansi urutan positif (ohm)

Z_{0eq} : impedansi urutan nol (ohm)

2.2.8.3 Hubung Singkat Dua Fasa

Hubung singkat 2 fasa ataupun yang sering dikenal hubung singkat antar fasa ialah keadaan saat antar fasa saling tersambung singkat. selama gangguan hubng singkat antara fasa, karena tiada gangguan terhubung ketanah, arus saluran tidak mengandung komponen urutan nol. Gangguan hubung singkat dua fasa ini dapat ditunjukan pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.18 Gangguan hubung singkat 2 fasa

Rumus yang digunakan dalam menghitung arus hubung singkat dua fasa yaitu:

$$I_{2\text{ fasa}} = \frac{v_f}{z_1 + z_2} \dots\dots\dots 2.26$$

Keterangan :

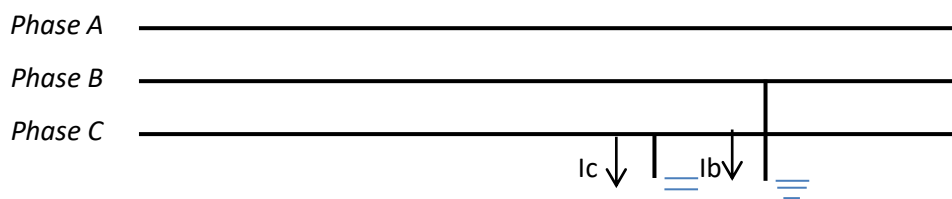
v_f : Tegangan di titik gangguan sesaat sebelum terjadinya gangguan (V)

z_1 : Impedansi urutan positif dilihat dari titik gangguan (Ω)

z_2 : Impedansi urutan positif negative dilihat dari titik gangguan (Ω)

2.2.8.4 Hubung Singkat Dua Fasa Ke Tanah

Gangguan 2 fasa ketanah ini timbul saat 2 buah fasa pada sistem tenaga listrik tersambung singkat ke tanah. Gangguan dua fasa ke tanah bisa diperhatikan dari gambar di bawah ini.



Gambar 2.19 Gangguan hubung singkat 2 fasa ke tanah

Untuk mencari nilai dari arus hubung singkat dua fasa ke tanah dapat menggunakan rumus di bawah ini :

$$I_{2fasa\ ke\ tanah} = \frac{v_f}{z_1 + \frac{z_2 \cdot z_0}{z_2 + z_0}} \dots\dots\dots 2.27$$

Keterangan :

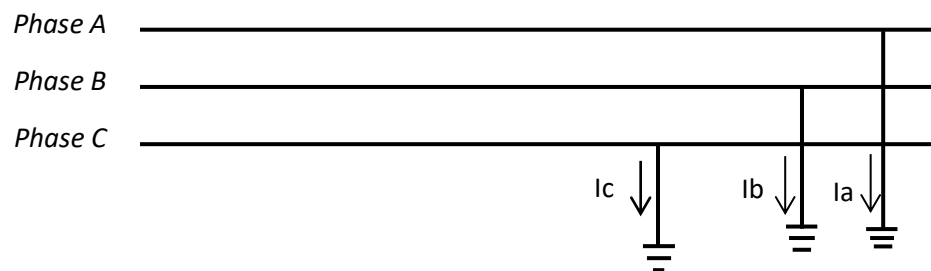
V_f : Tegangan di titik gangguan sesaat sebelum terjadinya gangguan (V)

z_0 : Impedansi urutan nol dilihat dari titik gangguan (Ω)

Z_1 : Impedansi urutan positif dilihat dari titik gangguan (Ω)

2.2.8.5 Hubung Singkat Tiga Fasa Ke Tanah

Gangguan tiga fasa ke tanah ini timbul saat 3 buah fasa pada sistem tenaga listrik tersambung secara singkat ke tanah. Gambar di bawah ini menunjukkan gangguan tiga fasa.



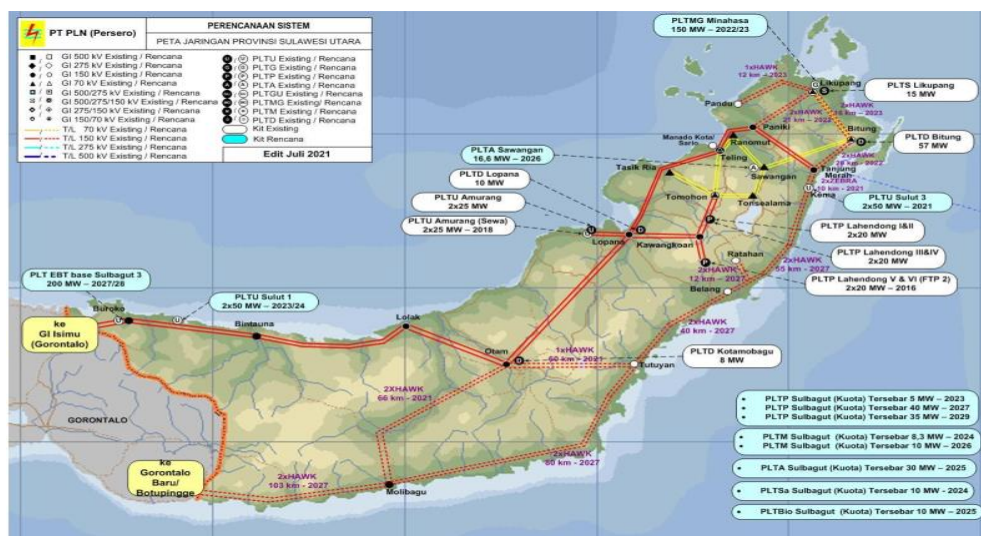
Gambar 2.20 Gangguan hubung singkat 3 fasa ke tanah

BAB III

3.1 Kerangka Konsep Penelitian

3.1.1 Kerangka Pikir

Sistem kelistrikan Sulawesi Utara dan Gorontalo (Sulutgo) terdiri dari 3 sub-sistem yang ter-interkoneksi satu sama lain yaitu sub-sistem Minahasa, Kotamobagu dan Gorontalo, seperti pada Gambar 3.1 dan 3.2.



Gambar 3.1 Peta sistem kelistrikan Sulawesi Utara



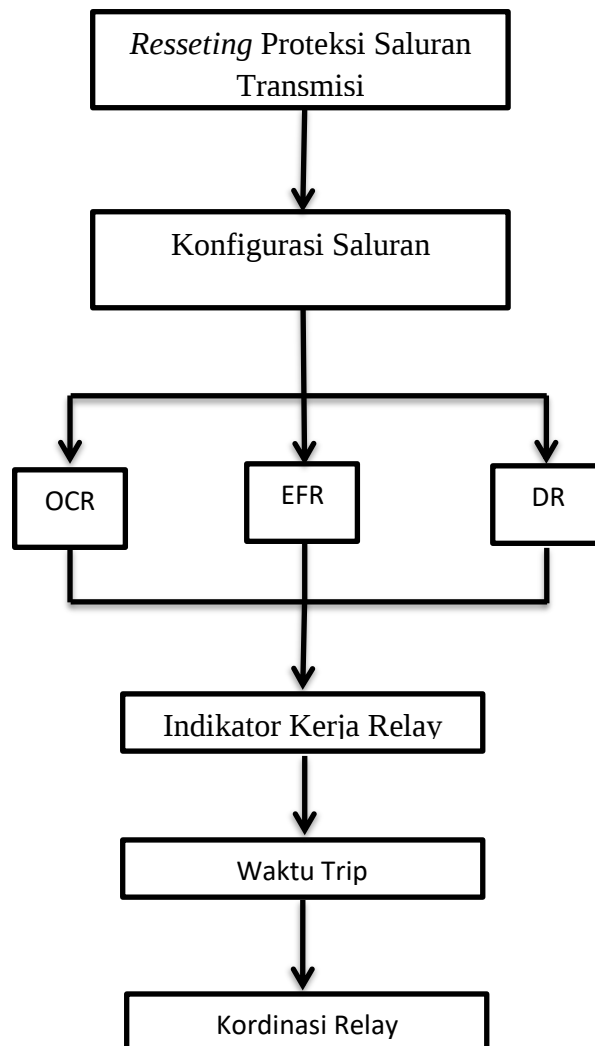
Gambar 3.2 Peta sistem kelistrikan Gorontalo

Pada sub-sistem transmisi Gorontalo, terdiri dari 7 Gardu Induk sebagai titik pengatur beban pada setiap daerah di Provinsi Gorontalo yaitu Gardu Induk Boroko, Anggrek, Isimu, Botupingge, Gorontalo Baru, Tilamuta, Marisa. Gardu Induk Isimu pada sub-sistem Gorontalo merupakan titik simpul, dimana penyaluran energi listrik disalurkan dari sub-sistem Minahasa melalui GI Boroko menggunakan *Double Circuit (2 Line)* masuk ke PLTU Sulbagut 1 (sesuai dengan kondisi sistem). Setelah itu, energi listrik diteruskan ke GI Isimu dan GI Anggrek menggunakan *single Circuit (1 Line)*. Kemudian dari GI Isimu dihubungkan ke GI Gorontalo Baru menggunakan *Doble Cicuit (2 Line)*, GI Gorontalo Baru ke GI Botupingge dan PLTU Molotabu masing-masing menggunakan *Single Circuit (1 Line)*. GI Botupingge dihubungkan *Single Circuit (1 Line)* ke PLTU Molotabu. Untuk GI Isimu dan GI Anggrek masuk ke GI Tilamuta masing – masing menggunakan *Single Circuit (1 Line)* dan dihubungkan ke GI Marisa *Double Circuit (2 Line)* kemudian masuk ke PLTG Maleo menggunakan *Double Circuit (2 Line)*.

Pada tahun 2021, dilakukan reroute di jaringan T/L 150 kV GI Anggerk – GI Tilamuta – GI Isimu. Sehingga konfigurasinya menjadi GI Isimu masuk ke GI Tilamuta menggunakan *Double Circuit (2 Line)* dan GI Isimu ke GI Anggrek *Single Circuit (1 Line)*. Perubahan konfigurasi tersebut dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

Berdasarkan penjelasan sebelumnya, terjadi perubahan konfigurasi pada T/L 150 kv Anggrek – Tilamuta menjadi Isimu – Tilamuta dan Anggrek – Isimu. Salah satu faktor yang dipengaruhi oleh perubahan konfigurasi ini adalah sistem proteksi pada saluran transmisi tersebut. Hal ini menyebabkan setelan rele perlu perhitungan kembali terhadap jaringan atau saluran transmisi antara Gardu Induk Anggrek dan Gardu Induk Isimu ke Gardu Induk Tilamuta. Untuk sistem transmisi 150 kV di Gorontalo, umumnya menggunakan rele jarak sebagai pengaman utama serta rele arus lebih dan rele gangguan tanah sebagai pengaman cadangan.

Maka pada penelitian ini, *Distance Relay* akan digunakan sebagai pengaman utama dengan zona penyetelan dari Zona 1, Zona 2 sampai Zona 3 serta *Over Current Relay* dan *Ground Fault Relay* yang akan digunakan sebagai pengaman cadangan pada saluran transmisi di Gardu Induk Anggrek, Gardu Induk Isimu dan Gardu Induk Tilamuta. Oleh karenanya, dibutuhkan perhitungan impedansi dari saluran untuk mendapatkan impedansi dasar yang akan digunakan pada penyetelan rele jarak serta perhitungan nilai TMS untuk menentukan batasan-batasan dan koordinasi setelan pada rele arus lebih dan rele gangguan tanah.



Gambar 3.5 Diagram Kerangka Konsep Pemikiran Dan Dasar Pikir Dari Penelitian Diangkat

3.2 Objek Penelitian

Objek penelitian yang digunakan ini adalah rele proteksi *Distance relay* merk Nari RCS -902_ID, Areva Micom P442, Simens SIPROTEC 7SA87, Nari RCS -902_ID, *Over Current Relay* dan *Ground Fault Relay* merk Areva MICOM P127 dan MICOM P123, Simens SIPROTEC 7SJ82. Adapun data – data yang diperlukan saat penelitian sebagai berikut :

a. Data Penghantar Transmisi :

- Jenis penghantar transmisi
- Jarak penghantar transmisi
- Impedansi penghantar transmisi

b. Nameplate peralatan :

- Trafo arus (CT)
- Trafo tegangan (PT)

c. Data Rele

- Relay jarak (*Distance Relay*)
- Rele arus lebih (*Over Current Relay*) dan Rele gangguan tanah (*Ground Fault Relay*)

d. Data hubung singkat pada bus gardu induk anggrek, gardu induk isimu, dan gardu induk tilamuta

3.3 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian akan dilakukan pada sistem Transmisi 150 KV di Gorontalo, pada saluran transmisi antara gardu induk anggrek, gardu induk isimu, gardu induk tilamuta.

Adapun waktu penelitian dilakukan dengan rincian sebagai berikut :

Tabel 3.1 Waktu Penelitian

No	Uraian Penelitian	Periode (Per-minggu setiap bulan)																Keterangan
		Januari				Februari				Maret				April				
1	Studi Literatur																	
2	Mengumpulkan data-data yang																	

	diperlukan																		
3	Proses perhitungan setelan untuk rele																		
4	Analisa hasil perhitungan dan simulasi																		
5	Pembuatan laporan																		

3.4 Tahapan Alur Penelitian

Adapun tahapan – tahapan dari penelitian adalah sebagai berikut

3.4.1 Studi Literatur / Tinjauan Pustaka

Pada tahap ini, penulis melakukan tinjauan atau pembelajaran terhadap referensi dari jurnal-jurnal yang membahas tentang rele proteksi (*Distance Relay*, *Over Current Relay* dan *Ground Fault Relay*) diantaranya terkait prinsip kerja dan perhitungan serta teori-teori dasar untuk penyetelan. Selain itu, pada tahap ini penulis juga memperdalam pemahaman tentang objek yang akan diteliti sebagai latar belakang dari penelitian ini.

3.4.2 Mengumpulkan Data Teknis Saluran Transmisi

Tahap kedua adalah mengumpulkan data-data yang diperoleh dari PT. PLN (Persero) UIKL Sulawesi UPT Manado ULTG Gorontalo sebagai bahan dasar analisa dan perhitungan untuk setelan rele rele jarak, setelan rele arus lebih dan rele gangguan tanah.

3.4.3 Analisa Data

Tahap selanjutnya yaitu menganalisa atau mengolah data yang telah dikumpulkan diantaranya adalah melakukan perhitungan impedansi

penghantar, arus gangguan hubung singkat, setelan rele jarak, setelan rele arus lebih dan rele gangguan tanah. Adapun tahapan-tahapan perhitungan adalah sebagai berikut :

a. Perhitungan Rele Jarak

Berikut tahapan perhitungan setting pada rele jarak :

- Menghitung nilai impedansi penghantar dengan menggunakan rumus Z_L : Panjang saluran x Z saluran per km seperti pada persamaan 2.13

- Menentukan nilai setelan rele jarak Zona 1 dengan menggunakan rumus

$$Z_1 = 0,8 \times Z_{L1} \text{ seperti pada persamaan 2.14}$$

- Menentukan nilai setelan rele jarak Zona 2 dengan menggunakan rumus

$$Z_2 = 1,2 (Z_{L1} + 0,8 \times Z_{L2}) \text{ seperti pada persamaan 2.15}$$

$$Z_{2\max} = 0,8 (Z_{L1} + (0,8 \times Z_{L2})K) \text{ seperti pada persamaan 2.16}$$

- Menentukan nilai setelan rele jarak zona 3 dengan menggunakan rumus

$$Z_{3\min} = 1,2 (Z_{L1} + Z_{L2}) \text{ seperti pada persamaan 2.17}$$

$$Z_{3\max1} = 0,8 (Z_{L1} + ((1,2 \times Z_{L3})K)) \text{ seperti pada persamaan 2.18}$$

$$Z_{3\max2} = 0,8 (Z_{L1} + (Z_{L3} + 0,8 \times Z_{L4}) K) \text{ seperti pada persamaan 2.19}$$

b. Perhitungan Rele Arus Lebih

- Menentukan nilai I_{set} OCR dengan menggunakan rumus $IS = (110 \%$

- 120 %) * I_n / CCC seperti pada persamaan 2.6

- Penentuan nilai TMS untuk setelan waktu pada rele menggunakan

$$\text{rumus TMS} = \frac{(I_{hsph}/I_s)^{0.02}-1}{0.14} * T (SI) \text{ seperti pada persamaan 2.8}$$

c. Rele Gangguan Tanah

- Menentukan nilai I_{set} GFR dengan Menggunakan rumus $I_s = (20 \% - 30 \%) * I_n$ / CCC seperti pada persamaan 2.9

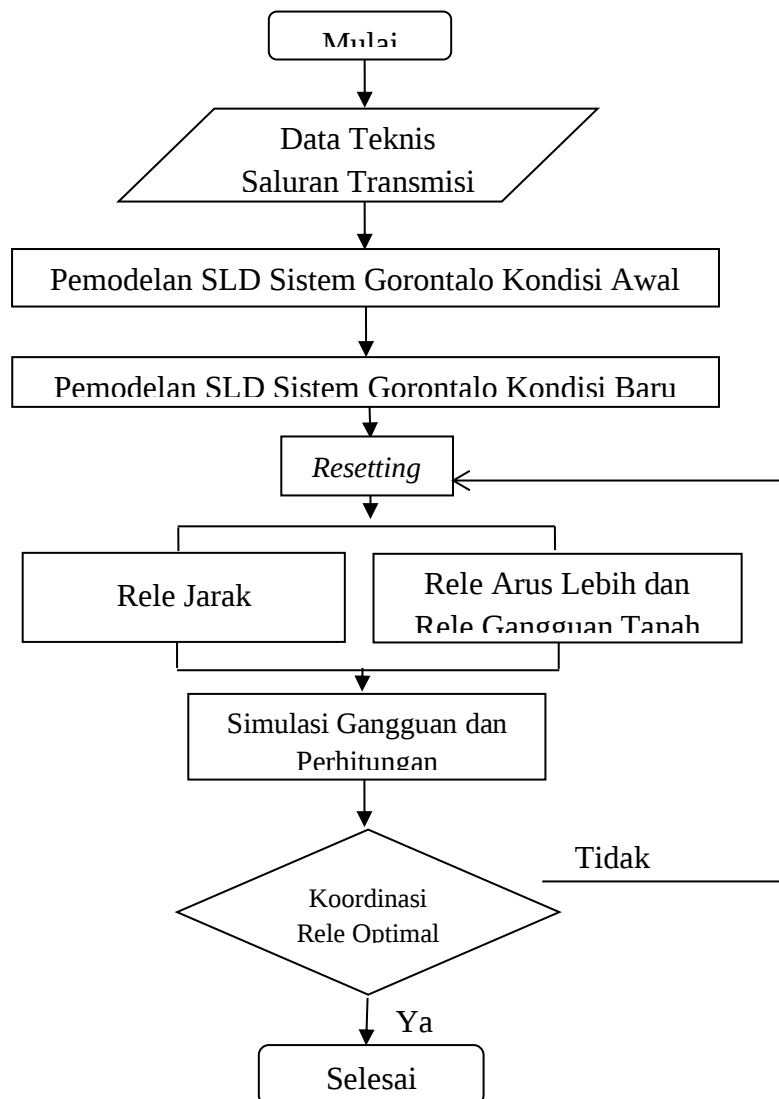
- Penentuan nilai TMS untuk setelan waktu pada rele menggunakan

$$\text{rumus TMS} = \frac{(I_{hsph}/I_s)^{0.02}-1}{0.14} * T (SI) \text{ seperti pada persamaan 2.11}$$

3.4.4 Analisa Hasil

Tahap terakhir adalah melakukan analisa terhadap perhitungan yang telah dilakukan apakah sudah sesuai dengan syarat-syarat atau standar yang berlaku untuk koordinasi setelan rele.

3.5 Flowchart



Gambar 3.6 Flowchart Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Teknis

Perubahan yang terjadi pada konfigurasi sistem transmisi di Gorontalo menyebabkan salah satu saluran transmisi antara Gardu Induk Anggrek – Gardu Induk Tilamuta (AG 3.2 – TA 3.2) berubah arah ke Gardu Induk Isimu. Sehingga menyebabkan perubahan pada saluran transmisi antara GI Anggrek, GI Isimu dan GI Tilamuta, menjadi antara GI Anggrek ke GI Isimu single circuit sedangkan GI Isimu ke GI Tilamuta double circuit. Perubahan pada konfigurasi sistem transmisi Gorontalo akan berpengaruh pada nilai *setting* rele yang terpasang di saluran transmisi tersebut. Hal ini dibutuhkan perhitungan kembali dikarenakan parameter untuk perhitungan setelan rele akan berubah. Adapun data-data yang diperlukan untuk melakukan perhitungan setelan yang baru adalah sebagai berikut:

a. Data Setting Rele

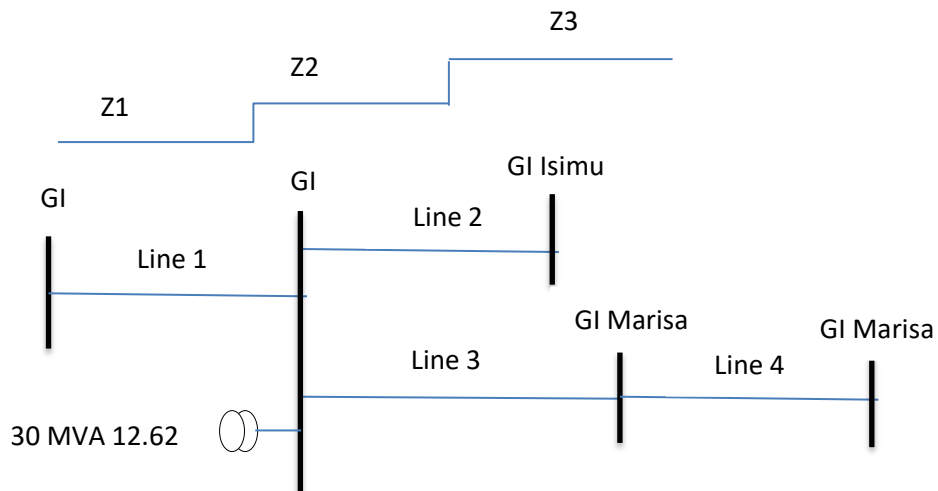
- Gardu Induk Anggrek ke Gardu Induk Tilamuta Line II – TA 3.2
(Konfigurasi lama) :

Data sebelumnya (sumber data PT. PLN (Persero) ULTG Gorontalo) :

$$Z_1 = 11,50 \, \Omega \, 73^0 \quad , \text{ dengan waktu } (t) = 0 \text{ Detik}$$

$$Z_2 = 17,29 \, \Omega \, 73^0 \quad , \text{ dengan waktu } (t) = 0,4 \text{ Detik}$$

$$Z_3 = 28.12 \, \Omega \, 73^0 \quad , \text{ dengan waktu } (t) = 1.2 \text{ Detik}$$



Gambar 4.1 Zona Pengamanan GI Anggrek ke GI Isimu

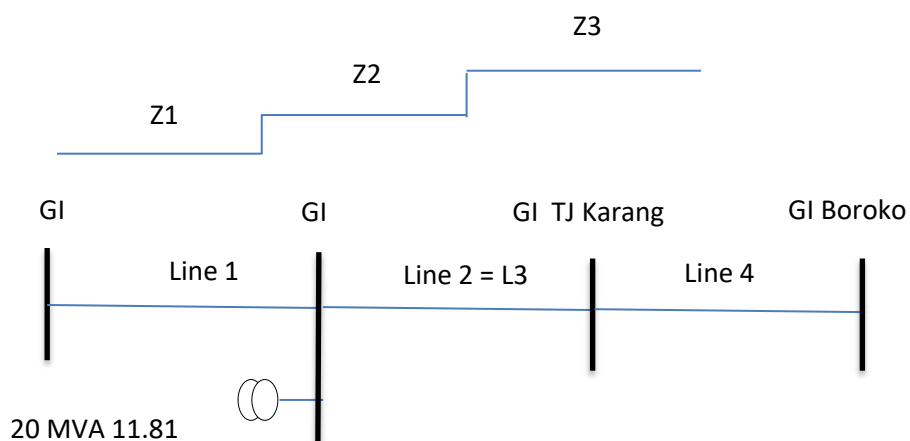
- Gardu Induk Tilamuta – Gardu Induk Anggrek II – TA 3.2 (Konfigurasi lama) :

Data Sebelumnya (sumber data PT. PLN (Persero) ULTG Gorontalo) :

Z1 = $8.62 \Omega \ 73^0$, dengan waktu (t) = 0 Detik

Z2 = $15.52 \Omega \ 73^0$, dengan waktu (t) = 0,4 Detik

Z3 = $25.87 \Omega \ 73^0$, dengan waktu (t) = 1.2 Detik



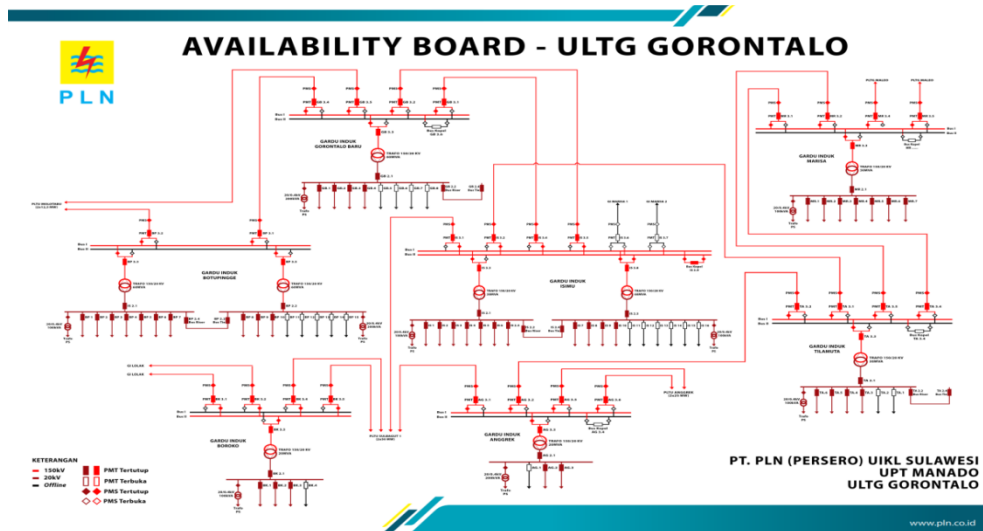
Gambar 4.2 Zona Pengamanan GI Tilamuta ke GI Anggrek

b. Data Penghantar

Tabel 4.1 Data Saluran
(sumber data PT. PLN (Persero) Tragi Gorontalo)

No	Transmisi / Jurusan	Penghantar		Impedansi Saluran			
		Panjang (kms)	Jenis	Z_{1-2}		Z_0	
				R	jX	R	jX
1	Isimu- Gobar	23.99	ACSR 240/40 mm ²	0.1183	0.3877	0.3100	0.7173
2	Isimu-Tj. Karang	42.95	ACSR 240/40 mm ²	0.1183	0.3877	0.3100	0.7173
3	Boroko - Tj.Karang	33.50	ACSR 240/40 mm ²	0.1183	0.3877	0.3100	0.7173
4	Anggrek-Tj.Karang	41.9	ACSR 240/40 mm ²	0.1183	0.3877	0.3100	0.7173
5	Anggrek - Isimu	31.16	ACSR 240/40 mm ²	0.1183	0.3877	0.3100	0.7173
6	Isimu - Tilamuta	49.66	ACSR 240/40 mm ²	0.1183	0.3877	0.3100	0.7173
7	Tilamuta- Marisa	66.48	ACSR 240/40 mm ²	0.1183	0.3877	0.3100	0.7173

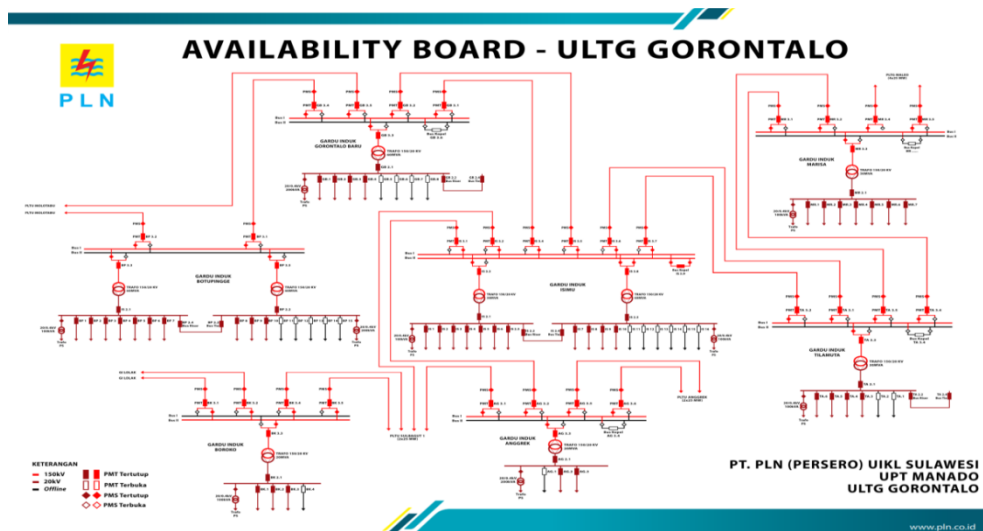
- c. Singgel Line Diagram Sebelum perubahan konfigurasi sistem kelistrikan gorontalo



Gambar 4.3 Konfigurasi Sistem Kelistrikan Gorontalo Sebelum

Reroute

- d. Singgel Line Diagram Sesudah perubahan konfigurasi sistem kelistrikan gorontalo



Gambar 4.4 Konfigurasi Sistem Kelistrikan Gorontalo Setelah

Reroute

4.2 Perhitungan Rele Jarak

Parameter yang digunakan untuk menentukan nilai setelan pada rele jarak adalah impedansi. Rele akan membaca tegangan dan arus apabila terjadi gangguan di penghantar dan membandingkannya untuk mendapatkan nilai impedansi gangguan. Pada penelitian ini, setelan rele jarak terdiri dari 3 zona pengamanan yaitu Zona 1, Zona 2 dan Zona 3.

4.2.1 Impedansi Penghantar

Sebelum menentukan nilai setelan, maka perlu dilakukan perhitungan impedansi penghantar untuk mendapatkan impedansi urutan positif dan negatif di setiap penghantar yang akan dilakukan penyetelan seperti pada persamaan berikut:

a. GI Isimu ke GI Gobar

Tipe Konduktor = ACSR

Luas Penampang = 240 mm²

Kuat Hantar Arus = 638 A

Jarak Penghantar = 23.99 km

Resistansi dan Reaktansi Urutan Pos. & Neg. = 0.1183 + j 0.3877 Ω/km

Resistansi dan Reaktansi Urutan Nol = 0.3100 + j 0.7173 Ω/km

Total Impedansi:

- Urutan Pos. & Neg.

= Z x Jarak Penghantar (sesuai Persamaan 2.8)

$$= (0.1183 + j 0.3877) \times 23.99$$

$$= 2.838017 + j 9.300923 \, \Omega \text{ (persamaan Rectangular)}$$

$$= 9.72 \, \Omega \angle 73.03^\circ \text{ (persamaan Polar)}$$

- Urutan Nol

$$= Z \times \text{Jarak Penghantar} \text{ (sesuai Persamaan 2.8)}$$

$$= (0.3100 + j 0.7173) \times 23.99$$

$$= 7.4369 + j 17.208027 \, \Omega \text{ (persamaan Rectangular)}$$

$$= 18.75 \, \Omega \angle 66.63^\circ \text{ (persamaan Polar)}$$

b. GI Isimu ke GIS Tanjung Karang

Tipe Konduktor = ACSR

Luas Penampang = 240 mm²

Kuat Hantar Arus = 638 A

Jarak Penghantar = 42.95 km

Resistansi dan Reaktansi Urutan Pos. & Neg. = 0.1183 + j 0.3877 Ω /km

Resistansi dan Reaktansi Urutan Nol = 0.3100 + j 0.7173 Ω /km

Total Impedansi:

- Urutan Pos. & Neg.

$$= Z \times \text{Jarak Penghantar} \text{ (sesuai Persamaan 2.8)}$$

$$= (0.1183 + j 0.3877) \times 42.95$$

$$= 5.080985 + j 16.651715 \, \Omega \text{ (persamaan Rectangular)}$$

$$= 17.41 \, \Omega \angle 73.03^\circ \text{ (persamaan Polar)}$$

- Urutan Nol

$$= Z \times \text{Jarak Penghantar} \quad (\text{sesuai Persamaan 2.8})$$

$$= (0.3100 + j 0.7173) \times 42.95$$

$$= \mathbf{13.3145 + 30.808035 \, \Omega \text{ (persamaan Rectangular)}}$$

$$= \mathbf{33.56 \, \Omega \angle 66.63^\circ \text{ (persamaan Polar)}}$$

c. GI Boroko ke GIS Tanjung Karang

Tipe Konduktor = ACSR

Luas Penampang = 240 mm²

Kuat Hantar Arus = 638 A

Jarak Penghantar = 33.50 km

Resistansi dan Reaktansi Urutan Pos. & Neg. = 0.1183 + j 0.3877 Ω/km

Resistansi dan Reaktansi Urutan Nol = 0.3100 + j 0.7173 Ω/km

Total Impedansi:

- Urutan Pos. & Neg.

$$= Z \times \text{Jarak Penghantar} \quad (\text{sesuai Persamaan 2.8})$$

$$= (0.1183 + j 0.3877) \times 33.50$$

$$= \mathbf{3.96305 + j 12.98795 \, \Omega \text{ (persamaan Rectangular)}}$$

$$= \mathbf{13.85 \, \Omega \angle 73.03^\circ \text{ (persamaan Polar)}}$$
- Urutan Nol

$$= Z \times \text{Jarak Penghantar} \quad (\text{sesuai Persamaan 2.8})$$

$$= (0.3100 + j 0.7173) \times 33.50$$

$$= \mathbf{10.385 + j 24.02955 \, \Omega \text{ (persamaan Rectangular)}}$$

$$= 26.18 \, \Omega \angle 66.63^0 \text{ (persamaan Polar)}$$

d. GI Anggrek ke GIS Tanjung Karang

Tipe Konduktor = ACSR

Luas Penampang = 240 mm²

Kuat Hantar Arus = 638 A

Jarak Penghantar = 41.9 km

Resistansi dan Reaktansi Urutan Pos. & Neg. = 0.1183 + j 0.3877 Ω /km

Resistansi dan Reaktansi Urutan Nol = 0.3100 + j 0.7173 Ω /km

Total Impedansi:

- Urutan Pos. & Neg.

$$= Z \times \text{Jarak Penghantar (sesuai Persamaan 2.8)}$$

$$= (0.1183 + j 0.3877) \times 41.9$$

$$= 4.95677 + j 16.24463 \, \Omega \text{ (persamaan Rectangular)}$$

$$= 15.85 \, \Omega \angle 73.03^0 \text{ (persamaan Polar)}$$

- Urutan Nol

$$= Z \times \text{Jarak Penghantar (sesuai Persamaan 2.8)}$$

$$= (0.3100 + j 0.7173) \times 41.9$$

$$= 12.989 + 30.05487 \, \Omega \text{ (persamaan Rectangular)}$$

$$= 32.74 \, \Omega \angle 66.63^0 \text{ (persamaan Polar)}$$

e. GI Anggrek ke GI Isimu

Tipe Konduktor = ACSR

Luas Penampang = 240 mm²

$$\text{Kuat Hantar Arus} = 638 \text{ A}$$

$$\text{Jarak Penghantar} = 31.16 \text{ km}$$

$$\text{Resistansi dan Reaktansi Urutan Pos. \& Neg.} = 0.1183 + j 0.3877 \text{ } \Omega/\text{km}$$

$$\text{Resistansi dan Reaktansi Urutan Nol} = 0.3100 + j 0.7173 \text{ } \Omega/\text{km}$$

Total Impedansi:

- Urutan Pos. \& Neg.

$$= Z \times \text{Jarak Penghantar (sesuai Persamaan 2.8)}$$

$$= (0.1183 + j 0.3877) \times 31.16$$

$$= \mathbf{3.686228 + j 12.080732 \text{ } \Omega \text{ (persamaan Rectangular)}}$$

$$= \mathbf{12.63 \text{ } \Omega \angle 73.03^0 \text{ (persamaan Polar)}}$$

- Urutan Nol

$$= Z \times \text{Jarak Penghantar (sesuai Persamaan 2.8)}$$

$$= (0.3100 + j 0.7173) \times 31.16$$

$$= \mathbf{9.6596 + j 22.351068 \text{ } \Omega \text{ (persamaan Rectangular)}}$$

$$= \mathbf{24.35 \text{ } \Omega \angle 66,63^0 \text{ (Permsamaan Polar)}}$$

f. GI Isimu ke GI Tilamuta

$$\text{Tipe Konduktor} = \text{ACSR}$$

$$\text{Luas Penampang} = 240 \text{ mm}^2$$

$$\text{Kuat Hantar Arus} = 638 \text{ A}$$

$$\text{Jarak Penghantar} = 49.66 \text{ km}$$

$$\text{Resistansi dan Reaktansi Urutan Pos. \& Neg.} = 0.1183 + j 0.3877 \text{ } \Omega/\text{km}$$

$$\text{Resistansi dan Reaktansi Urutan Nol} = 0.3100 + j 0.7173 \text{ } \Omega/\text{km}$$

Total Impedansi:

- Urutan Pos. & Neg.
 - = $Z \times \text{Jarak Penghantar}$ (sesuai Persamaan 2.8)
 - = $(0.1183 + j 0.3877) \times 49.66$
 - = **$5.874778 + j 19.253182 \Omega$ (persamaan *Rectangular*)**
 - = **$20.13 \Omega \angle 73.03^\circ$ (persamaan *Polar*)**

- Urutan Nol
 - = $Z \times \text{Jarak Penghantar}$ (sesuai Persamaan 2.8)
 - = $0.3100 + j 0.7173) \times 49.66$
 - = **$15.3946 + j 35.621118 \Omega$ (persamaan *Rectangular*)**
 - = **$38.81 \Omega \angle 66.63^\circ$ (persamaan *Polar*)**

g. GI Tilamuta ke GI Marisa

Tipe Konduktor = ACSR

Luas Penampang = 240 mm^2

Kuat Hantar Arus = 638 A

Jarak Penghantar = 66.48 km

Resistansi dan Reaktansi Urutan Pos. & Neg. = $0.1183 + j 0.3877 \Omega/\text{km}$

Resistansi dan Reaktansi Urutan Nol = $0.3100 + j 0.7173 \Omega/\text{km}$

Total Impedansi:

- Urutan Pos. & Neg.
 - = $Z \times \text{Jarak Penghantar}$ (sesuai Persamaan 2.8)
 - = $(0.1183 + j 0.3877) \times 66.48$

$$= 7.864584 + j 25,774296 \, \Omega \text{ (persamaan Rectangular)}$$

$$= 26.95 \, \Omega \angle 73.03^\circ \text{ (persamaan Polar)}$$

- Urutan Nol

$$= Z \times \text{Jarak Penghantar} \text{ (sesuai Persamaan 2.8)}$$

$$= (0.3100 + j 0.7173) \times 66.48$$

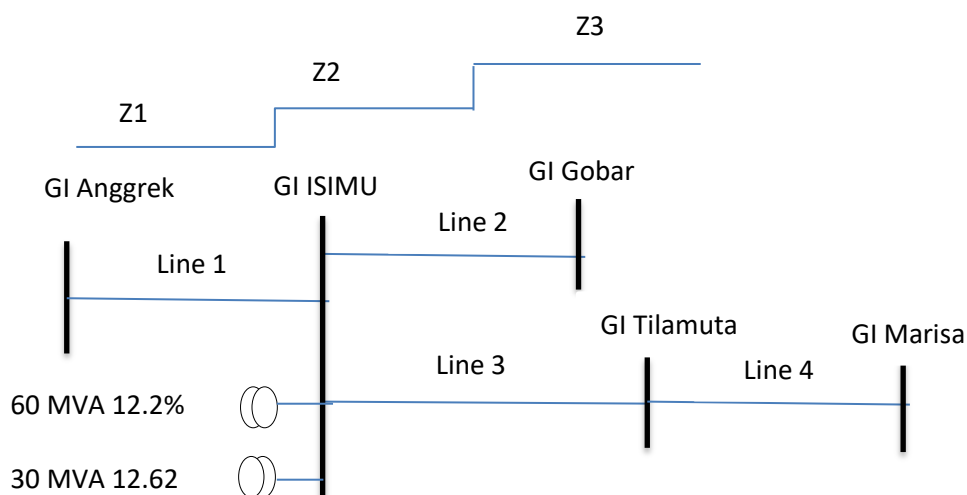
$$= 20.6088 + j 47.686104 \, \Omega \text{ (persamaan Rectangular)}$$

$$= 51.95 \, \Omega \angle 66.63^\circ \text{ (persamaan Polar)}$$

4.2.2 Setelan Zona Pengamanan

Untuk perhitungan zona pengamanan, akan didapatkan nilai impedansi sisi primer. Sedangkan untuk penyetelan pada rele, nilai tersebut harus dikonversi ke sisi sekunder menggunakan rasio PT dan rasio CT menggunakan.

a. GI Anggrek ke GI Isimu



Gambar 4.5 Zona Proteksi GI Anggrek ke GI Isimu

L1 = Penghantar yang diproteksi

L2 = Penghantar di depan L1 dengan impedansi terkecil (penghantar yang terpendek jika jenis yang sama)

L3 = Penghantar di depan L2 dengan impedansi terbesar (penghantar terpanjang jika jenis yang sama)

L4 = Penghantar di depan L3 dengan impedansi terkecil (penghantar yang terpendek jika jenis yang sama)

$$\text{- Rasio PT} = \frac{E_{\text{Primer}}}{E_{\text{Sekunder}}} = \frac{150 \text{ kV}}{0.1 \text{ kV}} = 1.5 \text{ kV} = 1500 \text{ V}$$

$$\text{- Rasio CT} = \frac{I_{\text{Primer}}}{I_{\text{Sekunder}}} = \frac{600 \text{ A}}{1 \text{ A}} = 600 \text{ A} = 600 \text{ A}$$

- Zona 1

Urutan Positif - Negatif

Zona 1 (Primer)

$$= 0.8 \times (3.686228 + j 12.080732 \Omega)$$

$$= 2.9489824 + j 9.6645856 \Omega$$

Zona 1 (Sekunder)

$$= (2.9489824 + j 9.6645856 \Omega) \times \frac{600 \text{ A}}{1500 \text{ V}}$$

$$= 1.17959296 + j 3.86583424 \Omega \text{ (Rectangular)}$$

$$= 4.04 \Omega \angle 73.03^\circ \text{ (Polar)}$$

Urutan Nol

Zona 1 (Primer)

$$= 0.8 \times (9.6596 + j 22.351068 \Omega)$$

$$= 7.72768 + j 17.8808544 \Omega$$

Zona 1 (Sekunder)

$$= (7.72768 + j 17.8808544 \Omega) \times \frac{600 \text{ A}}{1500 \text{ V}}$$

$$= \mathbf{3.091072 + j 7.15234176 \Omega \text{ (Rectangular)}}$$

$$= \mathbf{7.79 \Omega \angle 66.63^\circ \text{ (Polar)}}$$

Waktu kerja (T_1) = **0 detik**

- **Zona 2_{min}**

Urutan Positif - Negatif

Zona 2 (Primer)

$$= 1.2 (\mathbf{3.686228 + j 12.080732 \Omega})$$

$$= 4.4234736 + j 14.4968784 \Omega$$

Zona 2 (Sekunder)

$$= (7.8305136 + j 25.6626384 \Omega) \times \frac{600 \text{ A}}{1500 \text{ V}}$$

$$= \mathbf{1.76938944 + j 5.79875136 \Omega \text{ (Rectangular)}}$$

$$= \mathbf{6.06 \Omega \angle 73.03^\circ \text{ (Polar)}}$$

Urutan Nol

Zona 2 (Primer)

$$= 1.2 (9.6596 + j 22.351068 \Omega)$$

$$= 11.59152 + j 26.8212816 \Omega$$

Zona 2 (Sekunder)

$$= (11.59152 + j 26.8212816 \Omega) \times \frac{600 \text{ A}}{1500 \text{ V}}$$

$$= 4.636608 + j 10.72851264 \Omega \text{ (Rectangular)}$$

$$= 11.69 \Omega \angle 66.63^\circ \text{ (Polar)}$$

Waktu kerja (T_{2min}) = **0.8 detik**

- **Zona 2_{max}**

Urutan Positif - Negatif

Zona 2 (Primer)

$$= 0.8 (3.68623 + j 12.0807 \Omega + 0.8 \times 2.83802 + j 9.300923 \Omega) 1)$$

$$= 4.76531328 + j 15.6196576 \Omega$$

Zona 2 (Sekunder)

$$= (4.76531328 + j 15.6196576 \Omega) \times \frac{600 \text{ A}}{1500 \text{ V}}$$

$$= 1.906125 + j 6.246870528 \Omega \text{ (Rectangular)}$$

$$= 6.53 \Omega \angle 73.03^\circ \text{ (Polar)}$$

Urutan Nol

Zona 2 (Primer)

$$= 0.8 (9.6596 + j 22.351068 \Omega + 0.8 \times 7.4369 + j 17.208027 \Omega) 1)$$

$$= 12.487296 + j 28.89399168 \Omega$$

Zona 2 (Sekunder)

$$= (12.487296 + j 28.89399168 \Omega) \times \frac{600 \text{ A}}{1500 \text{ V}}$$

$$= 4.9949184 + j 11.557596672 \Omega \text{ (Rectangular)}$$

$$= 20.69 \Omega \angle 66.63^\circ \text{ (Polar)}$$

Waktu kerja (T_{2max}) = **0.4 detik**

- **Zona 3_{min}**

Urutan Positif - Negatif

Zona 3 (Primer)

$$= 1.2(3.686228 + j12.080732\Omega + 1 \times 5.874778 + j 19.253182 \Omega)$$

$$= 11,4732072 + j 37,6006968 \Omega$$

Zona 3 (Sekunder)

$$= (11.4732072 + j 37.6006968 \Omega) \times \frac{600 \text{ A}}{1500 \text{ V}}$$

$$= 4.58928 + j 15.0403 \Omega \text{ (Rectangular)}$$

$$= 15.57 \Omega \angle 73.03^\circ \text{ (Polar)}$$

Urutan Nol

Zona 3 (Primer)

$$= 1.2 (9.6596 + j 22.351068 \Omega + 1 \times 15.3946 + j 35.621118 \Omega)$$

$$= 30.06504 + j 69.5666232 \Omega$$

Zona 3 (Sekunder)

$$= (30.06504 + j 69.5666232 \Omega) \times \frac{600 \text{ A}}{1500 \text{ V}}$$

$$= 12.026016 + j 27.82664928 \Omega \text{ (Rectangular)}$$

$$= 30.31 \Omega \angle 66.63^\circ \text{ (Polar)}$$

$$\text{Waktu kerja (T}_{3\text{min}}) = 1.6 \text{ detik}$$

- **Zona 3_{max1}**

Urutan Positif - Negatif

Zona 3 (Primer)

$$= 0.8 (3.686228 + j 12.080732 \Omega + ((1.2 \times 5.874778 + j19.253182 \Omega) 1))$$

$$= 8.58876928 + j 28.14764032 \Omega$$

Zona 3 (Sekunder)

$$= (8.58876928 + j 28.14764032 \Omega) \times \frac{600 \text{ A}}{1500 \text{ V}}$$

$$= 3.435507712 + j 11.259056128 \Omega \text{ (Rectangular)}$$

$$= 11.77 \Omega \angle 73.03^\circ \text{ (Polar)}$$

Urutan Nol

Zona 3 (Primer)

$$= 0.8 (9.6596 + j 22.351068 \Omega + ((1.2 \times 15.3946 + j 35.621118 \Omega) 1))$$

$$= 22.506496 + j 52.07712768 \Omega$$

Zona 3 (Sekunder)

$$= (22.506496 + j 52.07712768 \Omega) \times \frac{600 \text{ A}}{1500 \text{ V}}$$

$$= 9.00259846 + j 20.830851072 \Omega \text{ (Rectangular)}$$

$$= 22.69 \Omega \angle 66.63^\circ \text{ (Polar)}$$

$$\text{Waktu kerja (T}_{3\text{max1}}) = 1.6 \text{ detik}$$

- **Zona 3_{max2}**

Urutan Positif - Negatif

Zona 3 (Primer)

$$\begin{aligned}
&= 0.8 (3.686228 + j 12.080732 \Omega + (0.8((5.874778 + j19.253182+ \\
&\quad 0.8 \times 7.864584 + 25.774296)) \\
&= 10.735507328 + j 36.181415465984 \Omega
\end{aligned}$$

Zona 3 (Sekunder)

$$\begin{aligned}
&= (10.735507328 + j36.181415465984 \Omega) \times \frac{600 \text{ A}}{1500 \text{ V}} \\
&= \mathbf{4.2942 + j 14.0726 \Omega \text{ (Rectangular)}} \\
&= \mathbf{14.71 \Omega \angle 73.03^\circ \text{ (Polar)}}
\end{aligned}$$

Urutan Nol

Zona 3 (Primer)

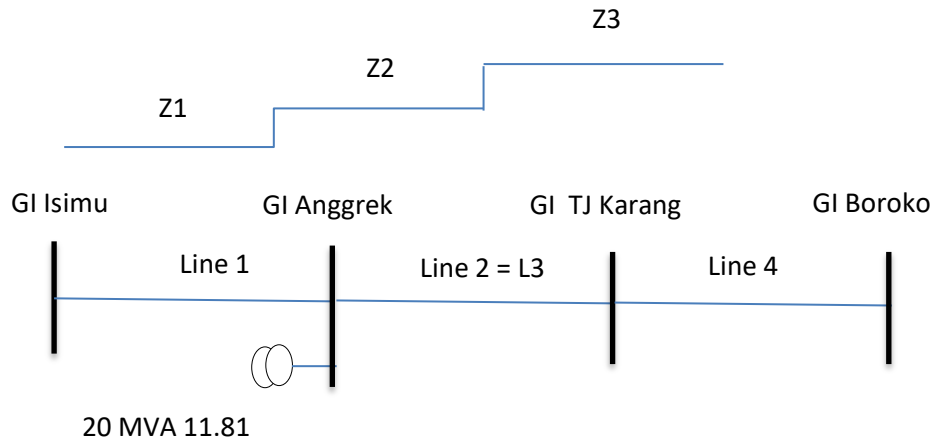
$$\begin{aligned}
&= 0.8 (9.6596 + j 22.351068 \Omega + (0.8((15.3946 + j 35.621118 \Omega + 0.8 \\
&\quad \times 20.6088 + j 47.686104))K)) \\
&= 28.1319296 + j 65.093655168 \Omega
\end{aligned}$$

Zona 3 (Sekunder)

$$\begin{aligned}
&= (24.411136 + j 56.48421888 \Omega) \times \frac{600 \text{ A}}{1500 \text{ V}} \\
&= \mathbf{28.1319296 + j 65.093655168 \Omega \text{ (Rectangular)}} \\
&= \mathbf{28.37 \Omega \angle 66.63^\circ \text{ (Polar)}}
\end{aligned}$$

Waktu kerja ($T_{3\max 2}$) = **1.6 detik**

b. GI Isimu – GI Anggrek



Gambar 4.6 Zona Proteksi GI Isimu ke GI Anggrek

L1 = Penghantar yang diproteksi

L2 = Penghantar di depan laine 1 dengan impedansi terkecil (penghantar yang terpendek jika jenis yang sma

L3 = Penghantar di depan L1 dengan impedansi terbesar (penghantar terpanjang jika jenis yang sama L2 = L3karena didepan L1 hanya terdapat 1 ruas)

L4 = Penhantar di depan L3 dengan impedansi terkecil (penghantar yang terpendek jika jenis yang sama)

$$\text{- Rasio PT} = \frac{E \text{ Primer}}{E \text{ Sekunder}} = \frac{150 \text{ kV}}{0.1 \text{ kV}} = 1.5 \text{ kV} = 1500 \text{ V}$$

$$\text{- Rasio CT} = \frac{I \text{ Primer}}{I \text{ Sekunder}} = \frac{800 \text{ A}}{1 \text{ A}} = 800 \text{ A} = 800 \text{ A}$$

- **Zona 1**

Urutan Positif - Negatif

Zona 1 (Primer)

$$= 0.8 \times (3.686228 + j 12.080732 \Omega)$$

$$= 2.9489824 + j 9,6645856 \Omega$$

Zona 1 (Sekunder)

$$= (2.9489824 + j 9,6645856\Omega) \times \frac{800 \text{ A}}{1500 \text{ V}}$$

$$= \mathbf{1.5727906133333 + j5.154445653333 \Omega \text{ (Rectangular)}}$$

$$= \mathbf{5.39 \Omega \angle 73.03^\circ \text{ (Polar)}}$$

Urutan Nol

Zona 1 (Primer)

$$= 0.8 \times (9.6596 + j 22.351068 \Omega)$$

$$= 7.72768 + j 17.8808544 \Omega$$

Zona 1 (Sekunder)

$$= (7.72768 + j 17.8808544 \Omega) \times \frac{800 \text{ A}}{1500 \text{ V}}$$

$$= \mathbf{4.1214293333333 + j 9.53645568 \Omega \text{ (Rectangular)}}$$

$$= \mathbf{10.39 \Omega \angle 66.63^\circ \text{ (Polar)}}$$

Waktu kerja (T_1) = **0 detik (*instantenous*)**

- **Zona 2_{min}**

Urutan Positif - Negatif

Zona 2 (Primer)

$$= 1.2 \times (3.686228 + j 12.080732 \Omega)$$

$$= 4.4234736 + j 14.4968784 \Omega$$

Zona 2 (Sekunder)

$$= (4.4234736 + j 14.4968784 \Omega) \times \frac{800 \text{ A}}{1500 \text{ V}}$$

$$= \mathbf{2.35918592 + j 7.73166848 \Omega \text{ (Rectangular)}}$$

$$= \mathbf{8.08 \Omega \angle 73.03^\circ \text{ (Polar)}}$$

Urutan Nol

Zona 2 (Primer)

$$= 1.2 \times (9.6596 + j 22.351068 \Omega)$$

$$= 11.59152 + j 26.8212816 \Omega$$

Zona 2 (Sekunder)

$$= (11.59152 + j 26.8212816 \Omega) \times \frac{800 \text{ A}}{1500 \text{ V}}$$

$$= 6.182144 + j 14.30468352 \Omega$$

$$= 15.58 \Omega \angle 66.63^\circ \text{ (Polar)}$$

Waktu kerja ($T_{2\min}$) = 0.8 detik (*instantenous*)

- Zona 2_{max}

Urutan Positif - Negatif

Zona 2 (Primer)

$$= 0.8(3.686228 + j 12.080732 \Omega + (0.8 \times 4.95677 + 16.24463\Omega) 1)$$

$$= 6,1213152 + j 20,0611488 \Omega$$

Zona 2 (Sekunder)

$$= (6,1213152 + j 20,0611488\Omega) \times \frac{800 \text{ A}}{1500 \text{ V}}$$

$$= 3,26470144 + j 10,69927936 \Omega \text{ (Rectangular)}$$

$$= 11.19 \Omega \angle 73.03^\circ \text{ (Polar)}$$

Urutan Nol

Zona 2 (Primer)

$$= 0.8 (9.6596 + j 22.351068 \Omega + 0.8 \times 12.989 + j 30.05487)$$

$$= 16,04064 + j 37,1159712 \Omega$$

Zona 2 (Sekunder)

$$= (16,04064 + j 37,1159712\Omega) \times \frac{800 \text{ A}}{1500 \text{ V}}$$

$$= 8,555008 + j 19,79518464 \Omega \text{ (Rectangular)}$$

$$= 21.56 \Omega \angle 66.63^\circ \text{ (Polar)}$$

Waktu kerja (T_1) = **0.4 detik**

- Zona 3_{min}

Urutan Positif - Negatif

Zona 3 (Primer)

$$= 1.2 (3.686228 + j 12.080732 \Omega + 1 \times 4.95677 + 16.24463 \Omega)$$

$$= 10,3715976 + j 33,9904344 \Omega$$

Zona 3 (Sekunder)

$$= (10,3715976 + j 33,9904344 \Omega) \times \frac{800 \text{ A}}{1500 \text{ V}}$$

$$= 5,53151872 + j 18,12823168 \Omega \text{ (Rectangular)}$$

$$= 18.95 \, \Omega \angle 73.03^\circ \text{ (Polar)}$$

Urutan Nol

Zona 3 (Primer)

$$= 1.2 (9.6596 + j 22.351068 \, \Omega + 1 \times 12.989 + j 30.05487)$$

$$= 27,17832 + j 62,8871256 \, \Omega$$

Zona 3 (Sekunder)

$$= (27,17832 + j 62,8871256 \, \Omega) \times \frac{800 \, \text{A}}{1500 \, \text{V}}$$

$$= 14,495104 + j 33,53980032 \, \Omega$$

$$= 36.54 \, \Omega \angle 66.63^\circ \text{ (Polar)}$$

Waktu kerja (T_3) = **1.6 detik**

- Zona 3_{max1}

Urutan Positif - Negatif

Zona 3 (Primer)

$$= 0.8 (3.686228 + j 12.08073 \, \Omega + ((1.2 \times 4.95677 + 16.24463 \, \Omega)1))$$

$$= 7,7074816 + j 25,2594304 \, \Omega$$

Zona 3 (Sekunder)

$$= (7,7074816 + j 25,2594304 \, \Omega) \times \frac{800 \, \text{A}}{1500 \, \text{V}}$$

$$= 4,110656853333333 + j 13,47169621333333 \, \Omega \text{ (Rectangular)}$$

$$= 14.08 \, \Omega \angle 73.03^\circ \text{ (Polar)}$$

Urutan Nol

Zona 3 (Primer)

$$\begin{aligned} &= 0.8 (9.6596 + j 22.351068 \Omega + ((1.2 \times 12.989 + j 30.05487) 1)) \\ &= 20,19712 + j 46,7335296 \Omega \end{aligned}$$

Zona 3 (Sekunder)

$$\begin{aligned} &= (20,19712 + j 46,7335296 \Omega) \times \frac{800 \text{ A}}{1500 \text{ V}} \\ &= 10,77179733333333 + j 24,92454912 \Omega \text{ (Rectangular)} \\ &= 27.15 \Omega \angle 66.63^\circ \text{ (Polar)} \end{aligned}$$

Waktu kerja ($T_{3\max}$) = **1.6 detik**

- Zona 3_{max2}

Urutan Positif - Negatif

Zona 3 (Primer)

$$\begin{aligned} &= 0.8 (3.686228 + j 12.080732 \Omega + 0.8((4.95677 + 16.24463 \Omega + \\ &\quad 0.8 \times 4.03403 + j 13.22057) 1)) \\ &= 8,18673856 + j 26,83008064 \Omega \end{aligned}$$

Zona 3 (Sekunder)

$$\begin{aligned} &= (8,18673856 + j 26,83008064 \Omega) \times \frac{800 \text{ A}}{1500 \text{ V}} \\ &= 4,366260565333333 + j 14,30937634133333 \Omega \text{ (Rectangular)} \\ &= 14.96 \Omega \angle 73.03^\circ \text{ (Polar)} \end{aligned}$$

Urutan Nol

Zona 3 (Primer)

$$= 0.8 (9.6596 + j 22.351068 \Omega + 0.8((12.989 + j 30.05487 \Omega + 0.8 \times 10.571 + j 24.45993 \Omega)1))$$

$$= 21,452992 + j 49,63945536 \Omega$$

Zona 3 (Sekunder)

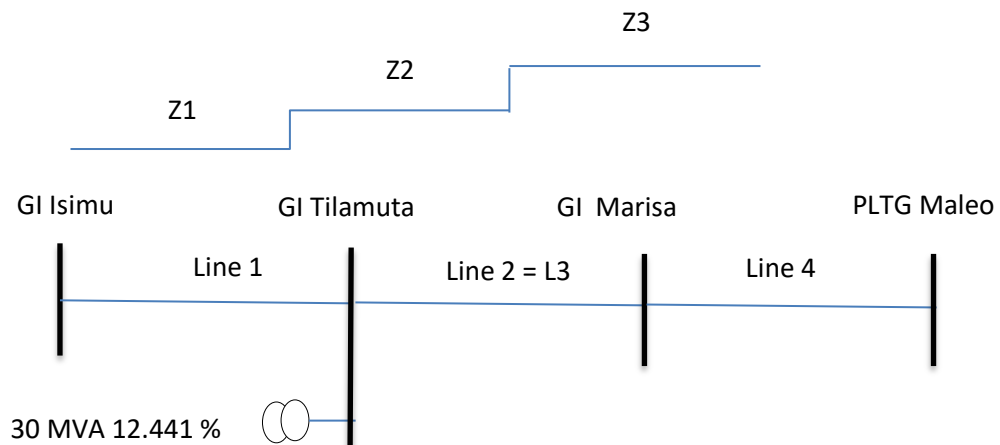
$$= (21,452992 + j 49,63945536 \Omega) \times \frac{800 \text{ A}}{1500 \text{ V}}$$

$$= 11,44159573333333 + j 26,474376192 \Omega \text{ (Rectangular)}$$

$$= 28.84 \Omega \angle 66.63^\circ \text{ (Polar)}$$

Waktu kerja ($T_{3\max 2}$) = **1.6 detik**

c. Gi Isimu – GI Tilamuta



Gambar 4.7 Zona Proteksi GI Isimu ke GI Tilamuta

L1 = Pengahantar yang diproteksi

L2 = Penghantar di depan laine 1 dengan impedansi terkecil (penghantar yang terpendek jika jenis yang sma

L3 = Penghantar di depan L1 dengan impedansi terbesar (penghantar terpanjang jika jenis yang sama L2 = L3karena didepan L1 hanya terdapat 1 ruas)

L4 = Penhantar di depan L3 dengan impedansi terkecil (penghantar yang

$$\text{- Rasio PT} = \frac{E \text{ Primer}}{E \text{ Sekunder}} = \frac{150 \text{ kV}}{0.1 \text{ kV}} = 1.5 \text{ kV} = 1500 \text{ V}$$

$$\text{- Rasio CT} = \frac{I \text{ Primer}}{I \text{ Sekunder}} = \frac{800 \text{ A}}{1 \text{ A}} = 800 \text{ A} = 800 \text{ A}$$

- **Zona 1**

Urutan Positif - Negatif

Zona 1 (Primer)

$$= 0.8 \times (5.874778 + j 19.253182 \Omega)$$

$$= 4.6998224 + j 15.4025456 \Omega$$

Zona 1 (Sekunder)

$$= (5.3055184 + j 17.3875696 \Omega) \times \frac{800 \text{ A}}{1500 \text{ V}}$$

$$= 2.5065719466666 + j 8.2146909866666 \Omega \text{ (Rectangular)}$$

$$= 8.59 \Omega \angle 73.03^\circ \text{ (Polar)}$$

Urutan Nol

Zona 1 (Primer)

$$= 0.8 \times (15.3946 + j 35.621118 \Omega)$$

$$= 12.31568 + j 28.4968944 \Omega$$

Zona 1 (Sekunder)

$$\begin{aligned} &= (12.31568 + j 28.4968944 \Omega) \times \frac{800 \text{ A}}{1500 \text{ V}} \\ &= \mathbf{6.5683626666666 + j 15.19834368 \Omega \text{ (Rectangular)}} \\ &= \mathbf{16.56 \Omega \angle 66.63^\circ \text{ (Polar)}} \end{aligned}$$

Waktu kerja (T_1) = **0 detik (*instantenous*)**

- **Zona 2_{min}**

Urutan Positif - Negatif

Zona 2 (Primer)

$$\begin{aligned} &= 1.2 \times (5.874778 + j 19.253182 \Omega) \\ &= 7.0497336 + j 23.1038184 \Omega \end{aligned}$$

Zona 2 (Sekunder)

$$\begin{aligned} &= (7.9582776 + j 260813544 \Omega) \times \frac{800 \text{ A}}{1500 \text{ V}} \\ &= \mathbf{3.75985792 + j 12.32203648 \Omega \text{ (Rectangular)}} \\ &= \mathbf{12.88 \Omega \angle 73.03^\circ \text{ (Polar)}} \end{aligned}$$

Urutan Nol

Zona 2 (Primer)

$$\begin{aligned} &= 1.2 \times (15.3946 + j 35.621118 \Omega) \\ &= 20.85432 + j 40.2542056 \Omega \end{aligned}$$

Zona 2 (Sekunder)

$$\begin{aligned} &= (20.85432 + j 40.2542056 \Omega) \times \frac{800 \text{ A}}{1500 \text{ V}} \\ &= \mathbf{11.122304 + j 25.73557632 \Omega \text{ (Rectangular)}} \end{aligned}$$

$$= 28.04 \, \Omega \angle 66.63^\circ \text{ (Polar)}$$

$$\text{Waktu kerja (T}_{2\min}) = 0.8 \text{ detik (instantenous)}$$

- **Zona 2_{max}**

Urutan Positif - Negatif

Zona 2 (Primer)

$$= 0.8 (5.874778 + j19.253182\Omega + (0.8 \times 7.864584 + j 25.774296 \, \Omega)$$

1)

$$= 9,73315616 + j 31,89809504 \, \Omega$$

Zona 2 (Sekunder)

$$= (9,73315616 + j 31,89809504 \, \Omega) \times \frac{800 \, \text{A}}{1500 \, \text{V}}$$

$$= 5,191016618666667 + j 17,01231735466667 \, \Omega \text{ (Rectangular)}$$

$$= 17.79 \, \Omega \angle 73.03^\circ \text{ (Polar)}$$

Urutan Nol

Zona 2 (Primer)

$$= 0.8 (15.3946 + j 35.621118 \, \Omega + 0.8 \times 20.6088 + j 47.686104) 1)$$

$$= 25,505312 + j 59,01600096 \, \Omega$$

Zona 2 (Sekunder)

$$= (25,505312 + j 59,01600096 \, \Omega) \times \frac{800 \, \text{A}}{1500 \, \text{V}}$$

$$= 13,60283306666667 + j 31,475200512 \, \Omega \text{ (Rectangular)}$$

$$= 34.29 \, \Omega \angle 66.63^\circ \text{ (Polar)}$$

$$\text{Waktu kerja (T}_{2\max}) = 0.4 \text{ detik (instantenous)}$$

- **Zona 3min**

Urutan Positif - Negatif

Zona 3 (Primer)

$$= 1.2 (5.874778 + j 19.253182 \Omega + 1 \times 7.864584 + 25.774296)$$

$$= 16,4872344 + j 54,0329736 \Omega$$

Zona 3 (Sekunder)

$$= (16,4872344 + j 54,0329736 \Omega) \times \frac{800 \text{ A}}{1500 \text{ V}}$$

$$= \mathbf{8,79319168 + j 30.40560512 \Omega \text{ (Rectangular)}}$$

$$= \mathbf{30.13 \Omega \angle 73.03^\circ \text{ (Polar)}}$$

Urutan Nol

Zona 3 (Primer)

$$= 1.2 (15.3946 + j 35.621118 \Omega + 1 \times 20.6088 + 47.686104)$$

$$= 43,20408 + j 99,9686664 \Omega$$

Zona 3 (Sekunder)

$$= (45.58488 + j 105.4775304 \Omega) \times \frac{800 \text{ A}}{1500 \text{ V}}$$

$$= \mathbf{23,042176 + j 53,31662208 \Omega \text{ (Rectangular)}}$$

$$= \mathbf{58.08 \Omega \angle 66.63^\circ \text{ (Polar)}}$$

$$\text{Waktu kerja (T}_{3\text{min}}) = \mathbf{1.6 \text{ detik (instantenous)}}$$

- **Zona 3_{max1}**

Urutan Positif - Negatif

Zona 3 (Primer)

$$= 0.8 (5.874778 + j 19.253182 \Omega + ((1.2 \times 7.864584 + 25.774296) 1))$$

$$= 12,24982304 + j 40,14586976 \Omega$$

Zona 3 (Sekunder)

$$= (12,24982304 + j 40,14586976 \Omega) \times \frac{800 \text{ A}}{1500 \text{ V}}$$

$$= 6,533238954666667 + j 21,41113053866667 \Omega \text{ (Rectangular)}$$

$$= 22.39 \Omega \angle 73.03^\circ \text{ (Polar)}$$

Urutan Nol

Zona 3 (Primer)

$$= 0.8 (15.3946 + j 35.621118 \Omega + ((1.2 \times 20.6088 + 47.686104) 1))$$

$$= 32,100128 + j 74,27555424 \Omega$$

Zona 3 (Sekunder)

$$= (32,100128 + j 74,27555424 \Omega) \times \frac{800 \text{ A}}{1500 \text{ V}}$$

$$= 17.12006826666667 + j 39.613628928 \Omega \text{ (Rectangular)}$$

$$= 43.15 \Omega \angle 66.63^\circ \text{ (Polar)}$$

Waktu kerja ($T_{3\text{max1}}$) = **1.6 detik** (*instantenous*)

- **Zona 3_{max2}**

Urutan Positif - Negatif

Zona 3 (Primer)

$$\begin{aligned} &= 0.8 (5.874778 + j 19.253182 \Omega + (0.8 ((7.864584 + 25.774296 + \\ &\quad 0.8 \times 0.16562 + 0.54278) 1)) \\ &= 9.8179536 + j 32.17600336 \Omega \end{aligned}$$

Zona 3 (Sekunder)

$$\begin{aligned} &= (10.468471104 + j 34.307914176 \Omega) \times \frac{800 \text{ A}}{1500 \text{ V}} \\ &= 5.23624192 + j 17.16053512533333 \Omega \text{ (Rectangular)} \\ &= 17.94 \Omega \angle 73.03^\circ \text{ (Polar)} \end{aligned}$$

Urutan Nol

Zona 3 (Primer)

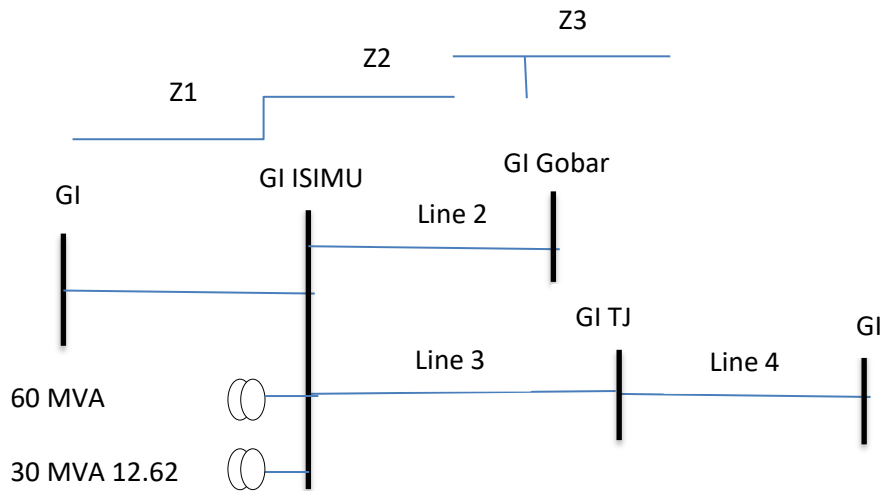
$$\begin{aligned} &= 0.8 (15.3946 + j 35.621118 \Omega + (0.8 ((20.6088 + 47.686104 + 0.8 \\ &\quad \times 0.434 + 1.00422) 1)) \\ &= 25.72752 + j 59.5301616 \Omega \end{aligned}$$

Zona 3 (Sekunder)

$$\begin{aligned} &= (25.72752 + j 59.5301616 \Omega) \times \frac{800 \text{ A}}{1500 \text{ V}} \\ &= 13.721344 + j 31.74941952 \Omega \text{ (Rectangular)} \\ &= 34.59 \Omega \angle 66.63^\circ \text{ (Polar)} \end{aligned}$$

Waktu kerja ($T_{\max 3}$) = 1.6 detik (*instantenous*)

d. GI Tilamuta – GI Isimu



Gambar 4.8 Zona Proteksi GI Tilamuta ke GI Isimu

L1 = Penghantar yang diproteksi

L2 = Penghantar di depan line 1 dengan impedansi terkecil (penghantar yang terpendek jika jenis yang sama)

L3 = Penghantar di depan L1 dengan impedansi terbesar (penghantar terpanjang jika jenis yang sama)

L4 = Penghantar di depan L3 dengan impedansi terkecil (penghantar yang

$$\text{Rasio PT} = \frac{E_{\text{Primer}}}{E_{\text{Sekunder}}} = \frac{150 \text{ kV}}{0.1 \text{ kV}} = 1.5 \text{ kV} = 1500 \text{ V}$$

$$\text{Rasio CT} = \frac{I_{\text{Primer}}}{I_{\text{Sekunder}}} = \frac{800 \text{ A}}{1 \text{ A}} = 800 \text{ A} = 800 \text{ A}$$

- Zona 1

Urutan Positif - Negatif

Zona 1 (Primer)

$$= 0.8 \times (5.874778 + j 19.253182 \Omega)$$

$$= 4.6998224 + j 15.4025456 \Omega$$

Zona 1 (Sekunder)

$$= (5.3055184 + j 17.3875696 \Omega) \times \frac{800 \text{ A}}{1500 \text{ V}}$$

$$= 2,506571946666667 + j 8,214690986666667 \Omega \text{ (Rectangular)}$$

$$= 8.59 \Omega \angle 73.03^\circ \text{ (Polar)}$$

Urutan Nol

Zona 1 (Primer)

$$= 0.8 \times (15.3946 + j 35.621118 \Omega)$$

$$= 12,31568 + j 28,4968944 \Omega$$

Zona 1 (Sekunder)

$$= (12,31568 + j 28,4968944 \Omega) \times \frac{800 \text{ A}}{1500 \text{ V}}$$

$$= 6,568362666666667 + j 15,19834368 \Omega \text{ (Rectangular)}$$

$$= 16.56 \Omega \angle 66.63^\circ \text{ (Polar)}$$

Waktu kerja (T₁) = 0 detik (*instantenous*)

- **Zona 2_{Min}**

Urutan Positif - Negatif

Zona 2 (Primer)

$$= 1.2 \times (5.874778 + j 19.253182 \Omega)$$

$$= 7,0497336 + j 23,1038184 \Omega$$

Zona 2 (Sekunder)

$$= (7,0497336 + j 23,1038184 \Omega) \times \frac{800 \text{ A}}{1500 \text{ V}}$$

$$= 3,75985792 + j 12,32203648 \Omega \text{ (Rectangular)}$$

$$= 12.28 \Omega \angle 73.03^\circ \text{ (Polar)}$$

Urutan Nol

Zona 2 (Primer)

$$= 1.2 \times (15.3946 + j 35.621118 \Omega)$$

$$= 18,47352 + j 42,7453416 \Omega$$

Zona 2 (Sekunder)

$$= (20.85432 + j 40.254196\Omega) \times \frac{800 \text{ A}}{1500 \text{ V}}$$

$$= 9,852544 + j 22,79751552 \Omega \text{ (Rectangular)}$$

$$= 24.84 \Omega \angle 66.63^\circ \text{ (Polar)}$$

Waktu kerja ($T_{2\min}$) = **0.8 detik** (*instantenous*)

- Zona 2_{Max}

Urutan Positif - Negatif

Zona 2 (Primer)

$$= 0.8 (5.874778 + j 19.253182\Omega + 0.8 \times 2.838017 + j 9.300923 \Omega) 1)$$

$$= 6,51615328 + j 21,35513632 \Omega$$

Zona 2 (Sekunder)

$$= (6.51615328 + j 21.35513632 \Omega) \times \frac{800 \text{ A}}{1500 \text{ V}}$$

$$= 3.475281749333333 + j 11.38940603733333 \Omega \text{ (Rectangular)}$$

$$= 11.91 \Omega \angle 73.03^\circ \text{ (Polar)}$$

Urutan Nol

Zona 2 (Primer)

$$\begin{aligned} &= 0.8 (15.3946 + j 35.621118 \Omega + 0.8 \times 7.4369 + j 17.208027 \Omega) 1) \\ &= 17.075296 + j 39.51003168 \Omega \end{aligned}$$

Zona 2 (Sekunder)

$$\begin{aligned} &= (17.075296 + j 39.51003168 \Omega) \times \frac{800 \text{ A}}{1500 \text{ V}} \\ &= \mathbf{9.10682453333333 + j 21.072016896 \Omega \text{ (Rectangular)}} \\ &= \mathbf{22.96 \Omega \angle 66.63^\circ \text{ (Polar)}} \end{aligned}$$

Waktu kerja ($T_{2\max}$) = **0.4 detik (*instantenous*)**

- **Zona 3_{Min}**

Urutan Positif - Negatif

Zona 3 (Primer)

$$\begin{aligned} &= 1.2 (5.874778 + j 19.253182 \Omega + 1 \times 5.080985 + j 16.651715 \Omega) \\ &= 13.1469156 + j 43.0858764 \Omega \end{aligned}$$

Zona 3 (Sekunder)

$$\begin{aligned} &= (13.1469156 + j 43.0858764 \Omega) \times \frac{800 \text{ A}}{1500 \text{ V}} \\ &= \mathbf{7.01168832 + 22.97913408 \Omega \text{ (Rectangular)}} \\ &= \mathbf{24.03 \Omega \angle 73.03^\circ \text{ (Polar)}} \end{aligned}$$

Urutan Nol

Zona 3 (Primer)

$$\begin{aligned} &= 1.2 (15.3946 + j 35.621118 \Omega + 1 \times 13.3145 + j 30.808035 \Omega) \\ &= 34.45092 + j 79.7149836 \Omega \end{aligned}$$

Zona 3 (Sekunder)

$$= (34.45092 + j 79.7149836 \Omega) \times \frac{800 \text{ A}}{1500 \text{ V}}$$

$$= 18.373824 + j 42.51465792 \Omega \text{ (Rectangular)}$$

$$= 46.32 \Omega \angle 66.63^\circ \text{ (Polar)}$$

Waktu kerja ($T_{3\min}$) = 1.6 detik (*instantenous*)

- **Zona 3_{Max1}**

Urutan Positif - Negatif

Zona 3 (Primer)

$$= 0.8 (5.874778 + j 19.253182 \Omega + ((1.2 \times 5.080985 + j 16.651715 \Omega) 1))$$

$$= 9.577568 + j 31.388192 \Omega$$

Zona 3 (Sekunder)

$$= (9.577568 + j 31.388192 \Omega) \times \frac{800 \text{ A}}{1500 \text{ V}}$$

$$= 5.108036266666667 + j 16.740369066666667 \Omega \text{ (Rectangular)}$$

$$= 17.50 \Omega \angle 73.03^\circ \text{ (Polar)}$$

Urutan Nol

Zona 3 (Primer)

$$= 0.8 (15.3946 + j 35.621118 \Omega + ((1.2 \times 13.3145 + j 30.808035 \Omega) 1))$$

$$= 25.0976 + j 58.072608 \Omega$$

Zona 3 (Sekunder)

$$= (36.83172 + j 85.223838\Omega) \times \frac{800 \text{ A}}{1500 \text{ V}}$$

$$= 13.38538666666667 + j 30.9720576 \Omega \text{ (Rectangular)}$$

$$= 35.74 \Omega \angle 66.63^\circ \text{ (Polar)}$$

Waktu kerja ($T_{3\max1}$) = 1.6 detik (*instantenous*)

- **Zona 3_{Max2}**

Urutan Positif - Negatif

Zona 3 (Primer)

$$= 0.8 (5.874778 + j 19.253182 \Omega + (0.8 ((5.080985 + j 16.651715 \Omega + 0.8 \times 3.96305 + j 12.98795 \Omega) \cdot 1)))$$

$$= 9.9807344 + j 32.7094736 \Omega$$

Zona 3 (Sekunder)

$$= (14.0554596 + j 46.0634124 \Omega) \times \frac{800 \text{ A}}{1500 \text{ V}}$$

$$= 5.323058346666667 + j 17.44505258666667 \Omega \text{ (Rectangular)}$$

$$= 18.24 \Omega \angle 73.03^\circ \text{ (Polar)}$$

Urutan Nol

Zona 3 (Primer)

$$= 0.8 (15.3946 + j 35.621118 \Omega + (0.8 ((13.3145 + j 30.808035 \Omega + 0.8 \times 10.385 + j 24.02955 \Omega) \cdot 1)))$$

$$= 26.15408 + j 60.5171664 \Omega$$

Zona 3 (Sekunder)

$$= (36.83172 + j 85.223838\Omega) \times \frac{800 \text{ A}}{1500 \text{ V}}$$

$$= 13.94884266666667 + j 32.27582208 \Omega$$

$$= 35.16 \Omega \angle 66.63^\circ \text{ (Polar)}$$

Waktu kerja ($T_{3\max 2}$) = **1.6 detik (instantenous)**

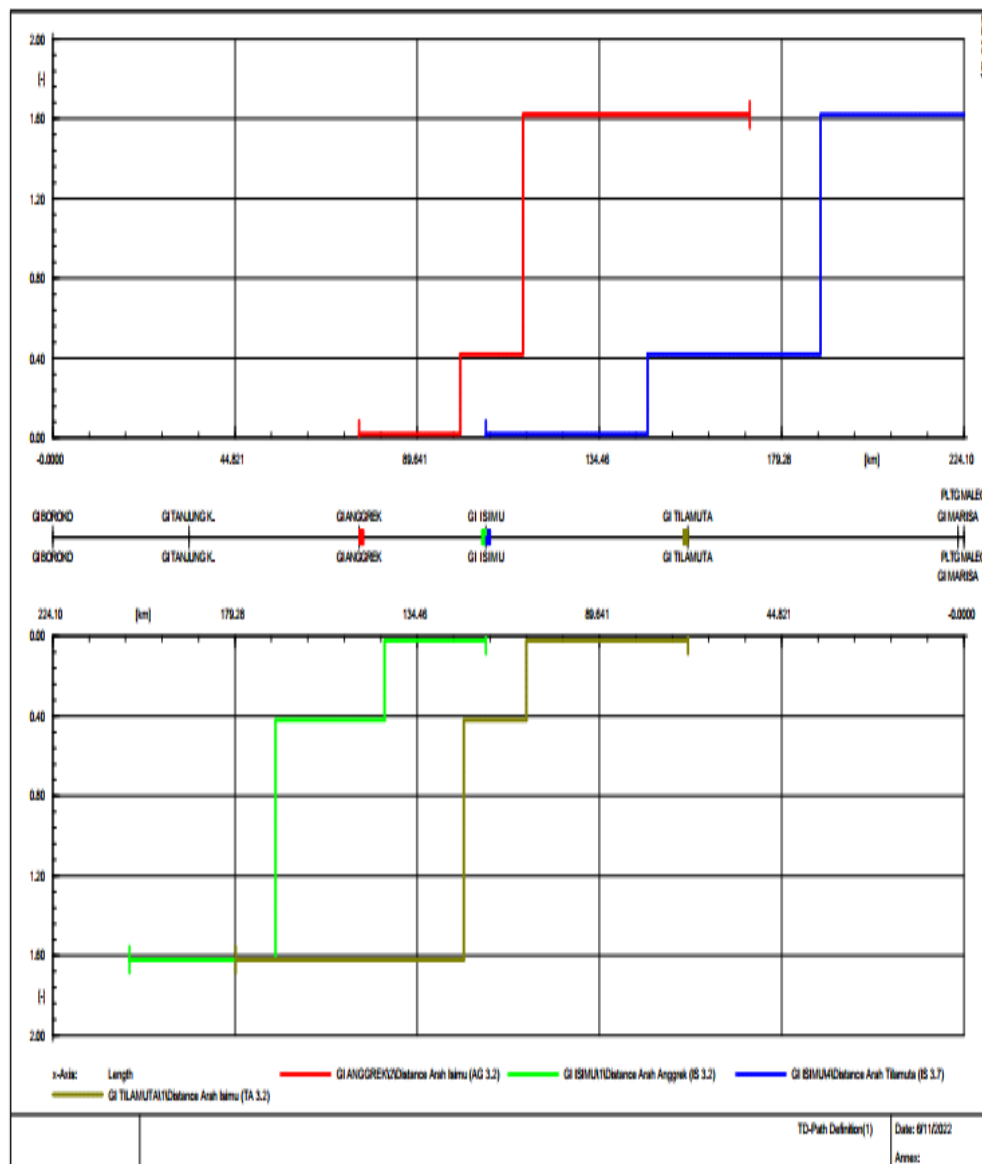
Berdasarkan hasil perhitungan diatas, maka didapat tabel setelan rele jarak di GI Isimu, GI Anggrek dan GI Tilmuta seperti pada tabel berikut

Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Setelan Rele Jarak

No.	Gardu Induk	Z	Setelan Rele			
			Urutan Positif-Negatif		Urutan Nol	
			Rectangular	Polar	Rectangular	Polar
1	GI Anggrek	Z1	1.17959296 + j 3.86583424	4.04 Ohm $\angle 73.03^\circ$	3.091072 + j 7.15234176	7.79 Ohm $\angle 66.63^\circ$
		Z2	1.906125312 + j 6.246870528	6.53 Ohm $\angle 73.03^\circ$	4.99449184 + j 11.557596672	20.69 Ohm $\angle 66.63^\circ$
		Z3	4.58928288 + j 15.04027872	15.57 Ohm $\angle 73.043^\circ$	12.026016 + j 27.82664928	30.31 Ohm $\angle 66.63^\circ$
2	GI Isimu	Z1	1.5727906133333 + j 5.154445653333	5.39 Ohm $\angle 73.03^\circ$	4.121423333333 + j 9.53645568	10.39 Ohm $\angle 66.63^\circ$
		Z2	3.26470144 + j 10.69927936	11.19 Ohm $\angle 73.03^\circ$	8.55508 + j 19.79518464	15.58 Ohm $\angle 66.63^\circ$
		Z3	5.53151872 + j 18.12823168	18.95 Ohm $\angle 73.03^\circ$	14.495104 + j 33.53980032	36.54 Ohm $\angle 66.63^\circ$
3	GI Isimu	Z1	2.506571946666 + j 8.214690986666	8.59 Ohm $\angle 73.03^\circ$	6.568362666666 + j 15.19834368	16.56 Ohm $\angle 66.63^\circ$
		Z2	5.191016618	17.79 Ohm	13.60283306	34.29 Ohm

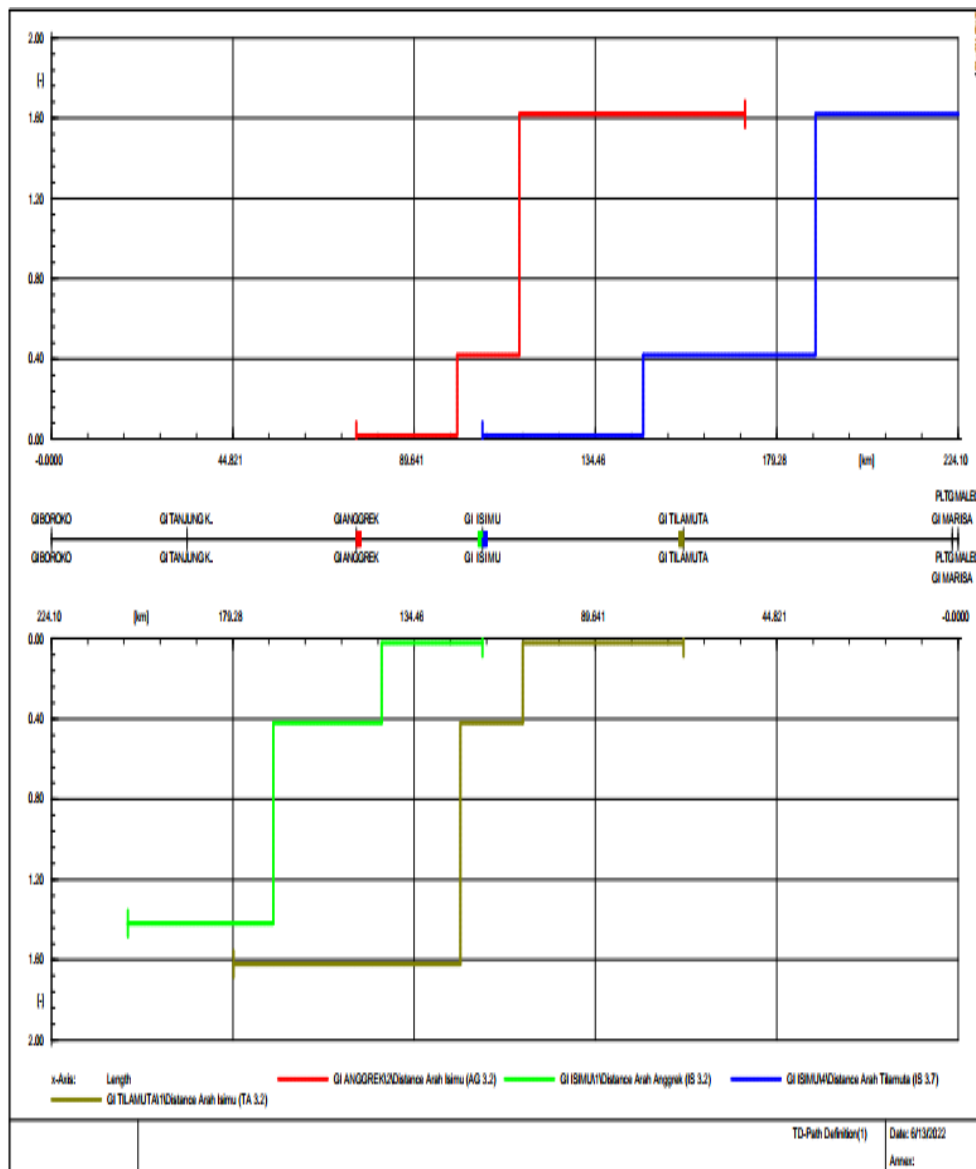
			6666667 + j 17.01231735 466667	$\angle 73.03^\circ$	66666 + j 31.47520051 2	$\angle 66.63^\circ$
		Z3	8.79319168 + j 30.40560512	30.13 Ohm $\angle 73.03^\circ$	23.042176 + j 53.31662208	58.08 Ohm $\angle 66.63^\circ$
4	GI Tilamuta	Z1	2506571946 666667 + j 8.214690986 666667	8.59 Ohm $\angle 3.03^\circ$	6.568362666 66666 + j 15.19834368	16.56 Ohm $\angle 66.63^\circ$
		Z2	3.475281749 333333 + j 11.38940603 733333	11.91 Ohm $\angle 73.03^\circ$	9.106824533 333333 + j 21.07201689 6	24.84 Ohm $\angle 66.63^\circ$
		Z3	7.01168832 + j 22.97913408	24.03 Ohm $\angle 73.03^\circ$	18.373824 + j 42.52465792	46.32 Ohm $\angle 66.63^\circ$

Dari tabel dapat dilihat bahwa impedansi pada Zona 1 lebih kecil dari Zona 2, begitupun dengan nilai impedansi pada Zona 2 yang nilainya lebih kecil dari Zona 3. Hal ini disebabkan oleh jarak penghantar yang mempengaruhi besar kecilnya nilai impedansi. Sesuai dengan teori sebelumnya bahwa Zona 1 disetel pada titik 80% dari panjang penghantar dan seterusnya untuk zona lain. Berikut adalah diagram zona pengamanan rele jarak seperti pada gambar.



Gambar 4.9 Time Distance Relay

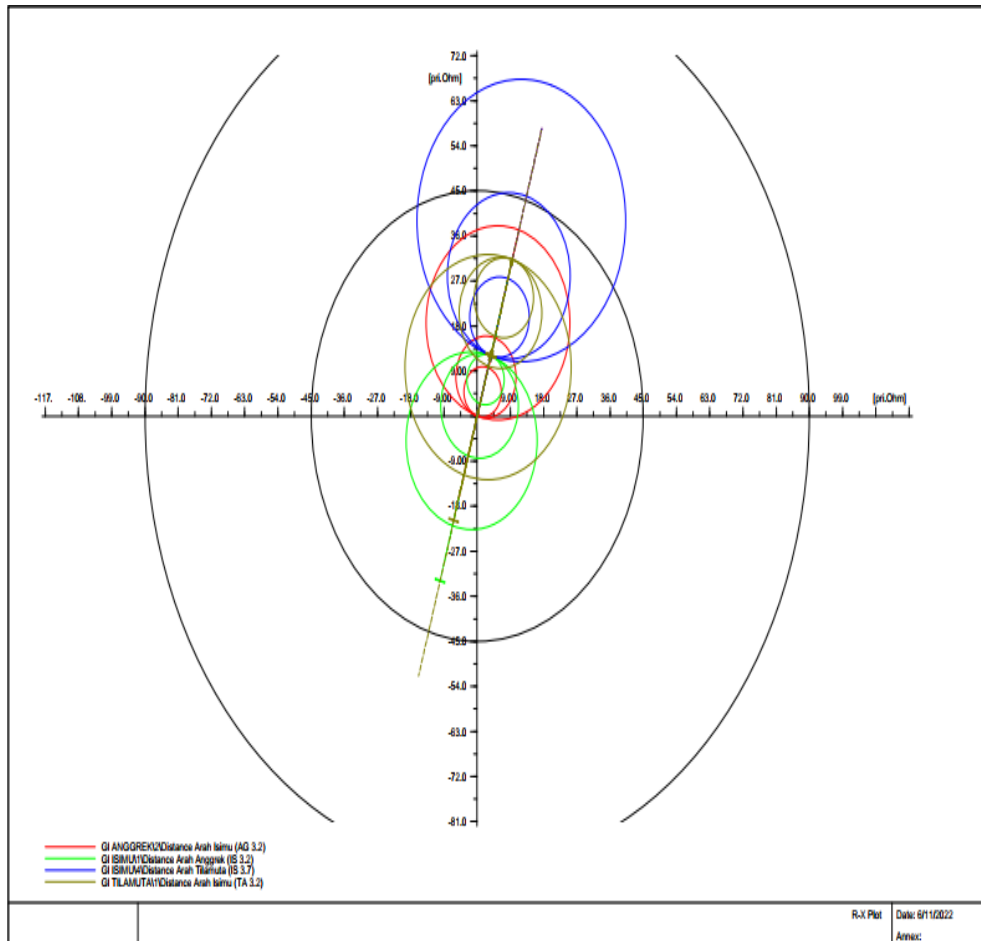
Setelah dilakukan perhitungan sesuai dengan syarat dan kaidah penyetingan proteksi rele *Distance* setelan Zona 1, Zona 2 dan Zona 3 pada masing – masing gardu induk terdapat setelan yang tumpang tindih yaitu setelan Zona 3 pada rele Distance Isimu arah anggrek (IS 3.2) dan Tilmuta Arah Isimu (TA 3.2).



Gambar 4.10 Time Distance Relay

Agar tidak terjadi tumpang tindih ataupun (*overlapping*) pada zona proteksi tersebut maka dilakukan perubahan setting waktu pada Zon 3 rele Distance Isimu arah Anggrek (IS 3.2) dari 1.6 detik menjadi 1.4 detik sedangkan untuk setting waktu pada Zona 3 rele Distance Tilmuta Arah

Isimu (TA 3.2) tetap 1.6 detik, setelah dilakukan perubahan stting waktu pada salah satu rele tersebut sudah tidak terjadi lagi tumpang tindih.



Gambar 4.11 Kurva *MHO*

Berdasarkan Gambar 4.7 tentang kurva mho diatas, dapat dilihat bahwa koordinasi rele jarak di setiap Gardu Induk sudah tepat. Karakteristik rele jarak yang digunakan bersifat *directional* karena diameter kurva mengikuti impedansi penghantar. Hal ini juga dibuktikan dengan kurva di setiap zona pada setiap GI tidak melewati belakang busbar GI tersebut. Selain itu, dari gambar juga dapat disimpulkan bahwa rele jarak dengan karakteristik mho

tidak terlalu berpengaruh terhadap perubahan beban yang semakin lama semakin bertambah sehingga dapat digunakan dalam waktu yang lama.

4.3 Perhitungan Rele Arus Lebih dan Rele Gangguan Tanah

Untuk mendapatkan koordinasi rele yang baik, maka harus memperhatikan setelan arus dan waktu kerja untuk setiap rele yang terpasang pada sistem yang akan dikoordinasikan. Khususnya rele yang digunakan sebagai proteksi cadangan dimana waktu kerja rele tersebut pada umumnya diberikan waktu tunda yang lebih besar dari proteksi utama. Hal ini dikarenakan prinsip dari zona pengamanan untuk sistem tenaga listrik dimana pengaman utama harus bekerja terlebih dahulu dibandingkan pengaman cadangan.

Rele arus lebih dan gangguan tanah pada penelitian ini menggunakan karakteristik *Standar Invers* dengan setelan arus sebesar 1.2 kali dari kapasitas hantar arus peralatan terkecil yang terpasang untuk OCR, dan 0.2 kali untuk EFR sesuai dengan persamaan 2.16 serta untuk setelan waktu tunda yang diinginkan sebesar 1 detik. Berdasarkan data yang ada, diambil arus nominal pada penghantar ACSR 240/40 638 A sebagai arus nominal. Penggunaan karakteristik *Standar Invers* ini berdasarkan prinsip kerjanya yaitu bekerja sesuai dengan waktu tunda yang telah ditentukan tanpa dipengaruhi oleh besarnya arus gangguan.

a. GI Anggrek ke GI Isimu

- Setelan Rele Arus Lebih (*Overcurrent Relay*)

$$\text{Ratio CT} = 600/1 \text{ A} \quad \text{CCC} = 638 \text{ A}$$

$$I_{\text{Set Primer}} = 1.2 \times CT \text{ (sesuai persamaan 2.16)}$$

$$= 1.2 \times 600 \text{ A}$$

$$= 720 \text{ A}$$

$$I_{\text{Set Sekunder}} = I_{\text{Set Primer}} \times \frac{1}{\text{Ratio CT}}$$

$$= 720 \text{ A} \times \frac{1}{600}$$

$$= 1.2 \text{ A}$$

➤ **Setingan Waktu**

Waktu kerja yang diinginkan : 1 detik

Karakteristik yang dipilih : Standar Invers (SI)

Arus hubung singkat 2 fasa di bus = 3470 A

$$T_{ms} = \frac{\frac{I_{hs2B}^{0.02}}{I_{set}} - 1}{0.14} \times t$$

$$T_{ms} = \frac{\frac{3470^{0.02}}{720} - 1}{0.14} \times 1$$

$$= 0.23$$

Pilihan $T_{ms} = 0.23$

Waktu kerja aktual

$$T_{ms} = \frac{0.14}{\frac{I_{hs2B}^{0.02}}{I_{set}} - 1} \times T_{ms}$$

$$T_{ms} = \frac{0.14}{\frac{3470^{0.02}}{720} - 1} \times 0.23$$

$$= 1.007$$

- Setelan Rele Gangguan Tanah (*Ground Fault Relay*)

$$\text{Ratio CT} = 600/1 \text{ A} \quad \text{CCC} = 638 \text{ A}$$

$$\begin{aligned} I_{\text{Set Primer}} &= 0.2 \times CT \\ &= 0.2 \times 600 \text{ A} \\ &= 120 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{\text{Set Sekunder}} &= I_{\text{SETPrimer}} \times \frac{1}{\text{Ratio CT}} \\ &= 120 \text{ A} \times \frac{1}{600} \\ &= \mathbf{0.2 \text{ A}} \end{aligned}$$

➤ **Setingan Waktu**

Waktu kerja yang diinginkan : 1 detik

Karakteristik yang dipilih : Standar Invers (SI)

Arus hubung singkat 1 fasa di bus : 4470 A

$$T_{ms} = \frac{\frac{I_{hs1\phi B}^{0.02}}{I_{set}} - 1}{0.14} \times t$$

$$T_{ms} = \frac{\frac{4470^{0.02}}{120} - 1}{0.14} \times 1$$

$$= 0.54$$

$$\text{Pilihan } T_{ms} = 0.54$$

Waktu kerja aktual

$$T_{ms} = \frac{0.14}{\frac{I_{hs1\phi B}^{0.02}}{I_{set}} - 1} \times T_{ms}$$

$$T_{ms} = \frac{0.14}{\frac{4470^{0.02}}{120} - 1} \times 0.54$$

$$= 1.007$$

b. GI Isimu ke GI Anggrek

- Setelan Rele Arus Lebih (*Overcurrent Relay*)

$$\text{Ratio CT} = 800/1 \text{ A} \quad \text{CCC} = 638 \text{ A}$$

$$I_{\text{Set Primer}} = 1,2 \times \text{CCC} \text{ (sesuai persamaan)}$$

$$= 1.2 \times 638 \text{ A}$$

$$= 765.6 \text{ A}$$

$$I_{\text{Set Sekunder}} = I_{\text{Set Primer}} \times \frac{1}{\text{Ratio CT}}$$

$$= 765,6 \text{ A} \times \frac{1}{800}$$

$$= \mathbf{0.957 \text{ A}}$$

➤ **Setingan Waktu**

Waktu kerja yang diinginkan : 1 detik

Karakteristik yang dipilih : Standar Invers (SI)

Arus hubung singkat 2 fasa di bus = 3770 A

$$T_{ms} = \frac{\frac{I_{hs}^2 \phi B^{0.02}}{I_{set}} - 1}{0,14} \times t$$

$$T_{ms} = \frac{\frac{3770^{0.02}}{765.6} - 1}{0,14} \times 1$$

$$= 0.23$$

Pilihan $T_{ms} = 0.23$

Waktu kerja aktual

$$T_{ms} = \frac{0.14}{\frac{I_{hs}^2 \phi B^{0.02}}{I_{set}} - 1} \times T_{ms}$$

$$T_{ms} = \frac{0.14}{\frac{3770^{0.02}}{765.6} - 1} \times 0.23$$

$$= 1.007$$

- Setelan Rele Gangguan Tanah (*Ground Fault Relay*)

$$\text{Ratio CT} = 800/1 \text{ A} \quad \text{CCC} = 638 \text{ A}$$

$$\begin{aligned} I_{\text{Set Primer}} &= 0.2 \times \text{CCC} \\ &= 0.2 \times 638 \text{ A} \\ &= 127.6 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{\text{Set Sekunder}} &= I_{\text{SET Primer}} \times \frac{1}{\text{Ratio CT}} \\ &= 127.6 \text{ A} \times \frac{1}{800} \\ &= \mathbf{0.1595 \text{ A}} \end{aligned}$$

➤ **Setingan Waktu**

Waktu kerja yang diinginkan : 1 detik

Karakteristik yang dipilih : Standar Invers (SI)

Arus hubung singkat 1 fasa di bus : 4840 A

$$T_{ms} = \frac{\frac{I_{hs1} \phi B^{0.02}}{I_{set}} - 1}{0.14} \times t$$

$$T_{ms} = \frac{\frac{4840^{0.02}}{127.6} - 1}{0.14} \times 1$$

$$= 0.54$$

$$\text{Pilihan } T_{ms} = 0.54$$

Waktu kerja aktual

$$T_{ms} = \frac{0.14}{\frac{I_{hs1} \phi B^{0.02}}{I_{set}} - 1} \times T_{ms}$$

$$T_{ms} = \frac{0.14}{\frac{4840^{0.02}}{127.6} - 1} \times 0.54$$

$$= 1.007$$

c. GI Isimu ke GI Tilamuta

- Setelan Rele Arus Lebih (*Overcurrent Relay*)

$$\text{Ratio CT} = 800/1 \text{ A} \quad \text{CCC} = 638 \text{ A}$$

$$I_{\text{Set Primer}} = 1,2 \times \text{CCC} \text{ (sesuai persamaan)}$$

$$= 1.2 \times 638 \text{ A}$$

$$= 765.6 \text{ A}$$

$$I_{\text{Set Sekunder}} = I_{\text{Set Primer}} \times \frac{1}{\text{Ratio CT}}$$

$$= 765,6 \text{ A} \times \frac{1}{800}$$

$$= \mathbf{0.957 \text{ A}}$$

➤ **Setingan Waktu**

Waktu kerja yang diinginkan : 1 detik

Karakteristik yang dipilih : Standar Invers (SI)

Arus hubung singkat 2 fasa di bus = 3770 A

$$T_{ms} = \frac{\frac{I_{hs2\phi B}^{0.02}}{I_{set}} - 1}{0,14} \times t$$

$$T_{ms} = \frac{\frac{3770^{0.02}}{765.6} - 1}{0,14} \times 1$$

$$= 0.23$$

Pilihan $T_{ms} = 0.23$

Waktu kerja aktual

$$T_{ms} = \frac{0.14}{\frac{I_{hs2\phi B}^{0.02}}{I_{set}} - 1} \times T_{ms}$$

$$T_{ms} = \frac{0.14}{\frac{3770^{0.02}}{765.6} - 1} \times 0.23$$

$$= 1.007 \text{ detik}$$

- Setelan Rele Gangguan Tanah (*Ground Fault Relay*)

$$\text{Ratio CT} = 800/1 \text{ A} \quad \text{CCC} = 638 \text{ A}$$

$$I_{\text{Set Primer}} = 0.2 \times \text{CCC}$$

$$= 0.2 \times 638 \text{ A}$$

$$= 127.6 \text{ A}$$

$$I_{\text{Set Sekunder}} = I_{\text{SETPrimer}} \times \frac{1}{\text{Ratio CT}}$$

$$= 127.6 \text{ A} \times \frac{1}{800}$$

$$= 0.1595 \text{ A}$$

➤ **Setingan Waktu**

Waktu kerja yang diinginkan : 1 detik

Karakteristik yang dipilih : Standar Invers (SI)

Arus hubung singkat 1 fasa di bus : 4840 A

$$T_{ms} = \frac{\frac{I_{hs1\phi B}^{0.02}}{I_{set}} - 1}{0.14} \times t$$

$$T_{ms} = \frac{\frac{4840^{0.02}}{127.6} - 1}{0.14} \times 1$$

$$= 0.54$$

$$\text{Pilihan } T_{ms} = 0.54$$

Waktu kerja aktual

$$T_{ms} = \frac{0.14}{\frac{I_{hs1} \phi B^{0.02}}{I_{set}} - 1} \times T_{ms}$$

$$T_{ms} = \frac{0.14}{\frac{4840^{0.02}}{127.6} - 1} \times 0.54$$

$$= 1.007 \text{ detik}$$

d. GI Tilamuta ke GI Isimu

- Setelan Rele Arus Lebih (*Overcurrent Relay*)

$$\text{Ratio CT} = 800/1 \text{ A} \quad \text{CCC} = 638 \text{ A}$$

$$I_{Set \text{ Primer}} = 1,2 \times \text{CCC} \text{ (sesuai persamaan)}$$

$$= 1.2 \times 638 \text{ A}$$

$$= 765.6 \text{ A}$$

$$I_{Set \text{ Sekunder}} = I_{Set \text{ Primer}} \times \frac{1}{\text{Ratio CT}}$$

$$= 765,6 \text{ A} \times \frac{1}{800}$$

$$= \mathbf{0.957 \text{ A}}$$

➤ **Setingan Waktu**

Waktu kerja yang diinginkan : 1 detik

Karakteristik yang dipilih : Standar Invers (SI)

Arus hubung singkat 2 fasa di bus = 3160 A

$$T_{ms} = \frac{\frac{I_{hs2} \phi B^{0.02}}{I_{set}} - 1}{0,14} \times t$$

$$T_{ms} = \frac{\frac{3160^{0.02}}{765.6} - 1}{0,14} \times 1$$

$$= 0.21$$

Pilihan $T_{ms} = 0.21$

Waktu kerja aktual

$$T_{ms} = \frac{0.14}{\frac{I_{hs2} \phi B^{0.02}}{I_{set}} - 1} \times T_{ms}$$

$$T_{ms} = \frac{0.14}{\frac{3160^{0.02}}{765.6} - 1} \times 0.21$$

$$= 1.022$$

- Setelan Rele Gangguan Tanah (*Ground Fault Relay*)

$$\text{Ratio CT} = 800/1 \text{ A} \quad \text{CCC} = 638 \text{ A}$$

$$I_{Set \text{ Primer}} = 0.2 \times \text{CCC}$$

$$= 0.2 \times 638 \text{ A}$$

$$= 127.6 \text{ A}$$

$$I_{Set \text{ Sekunder}} = I_{SET \text{ Primer}} \times \frac{1}{\text{Ratio CT}}$$

$$= 127.6 \text{ A} \times \frac{1}{800}$$

$$= \mathbf{0.1595 \text{ A}}$$

➤ Setingan Waktu

Waktu kerja yang diinginkan : 1 detik

Karakteristik yang dipilih : Standar Invers (SI)

Arus hubung singkat 1 fasa di bus : 4060 A

$$T_{ms} = \frac{\frac{I_{hs1} \phi B^{0.02}}{I_{set}} - 1}{0.14} \times t$$

$$T_{ms} = \frac{\frac{4060^{0.02}}{127.6} - 1}{0.14} \times 1$$

$$= 0.51$$

Pilihan Tms = 0.51

Waktu kerja aktual

$$Tms = \frac{0.14}{\frac{I_{hs1} \phi B^{0.02}}{I_{set}} - 1} \times Tms$$

$$Tms = \frac{0.14}{\frac{4060^{0.02}}{127.6} - 1} \times 0.51$$

= 0.996

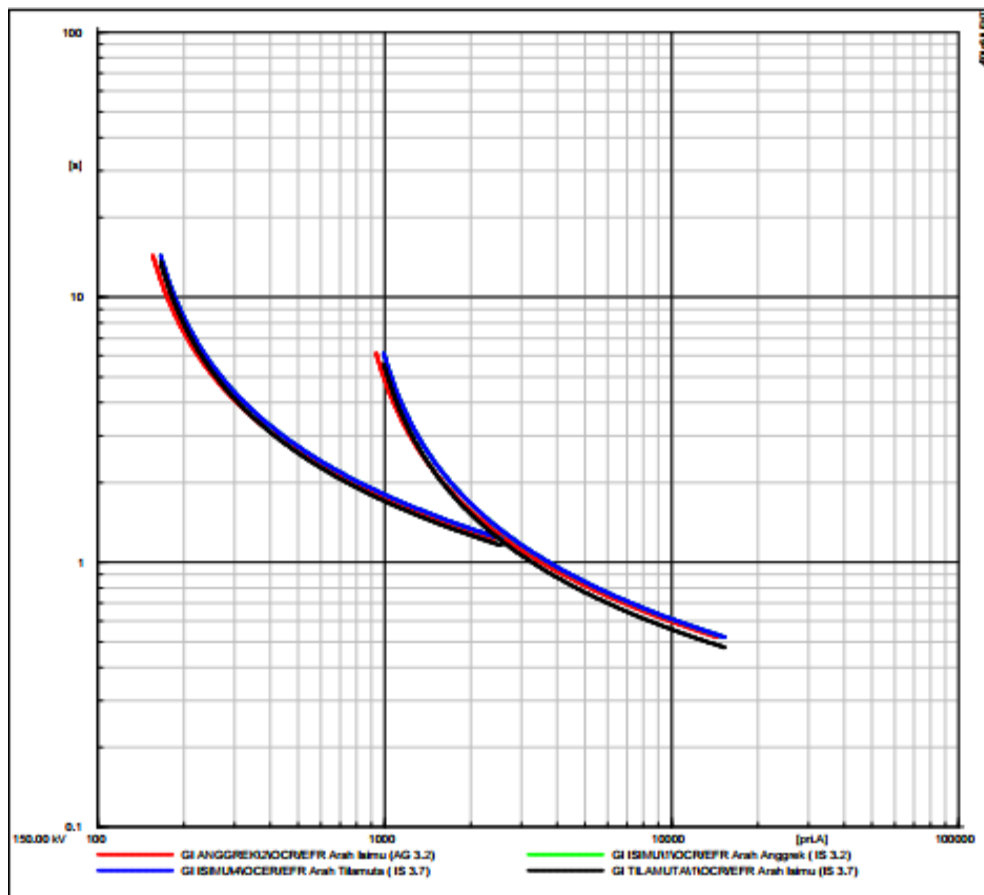
Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Setelan OCR-EFR

No	Gardu Induk	Setting OCR		Setting GFR	
1	GI Anggrek	Is : 1.2A Ts: 0.23 Tms Curve : Is	720 A	Is : 0.2A Ts: 0.54 Tms Curve : Is	120 A
2	GI Isimu	Is : 0.957 A Ts: 0.23 Tms Curve : Is	765.6 A	Is : 0.1595 A Ts: 0.54 Tms Curve : Is	127.6 A
3	GI Isimu	Is : 0.957 A Ts: 0.23 Tms Curve : Is	765.6 A	Is : 0.1595 A Ts: 0.54 Tms Curve : Is	127.6 A
4	GI Tilamuta	Is : 0.957 A Ts: 0.21 Tms Curve : Is	765.6 A	Is : 0.1595 A Ts: 0.51 Tms Curve : Is	127.6 A

Dari tabel 4.3 diatas, dapat disimpulkan bahwa koordinasi rele arus lebih dan gangguan tanah sebagai cadangan lokal sudah tepat, karena tidak saling tumpang tindih..

Karakteristik untuk rele ini adalah *Standar Invers* atau *SI*. Seperti prinsipnya, rele arus lebih maupun gangguan tanah dengan karaktersitk ini akan bekerja dan mengirimkan sinyal untuk *tripping* apabila nilai arus seting sudah melebihi setelan serta tidak tergantung pada besar kecilnya waktu tunda seperti pada Gambar 4.12.

Berikut adalah kurva rele arus lebih dan gangguan tanah pada setiap Gardu Induk yang telah disimulasikan pada aplikasi *DigSilent Power Factory 15.1* dengan menggunakan setelan rele yang sudah dihitung.



Gambar 4.12 *Time Over Current Relay & Earth Fault Relay*

4.4 Perbandingan Setting Sebelum dan Setelah Perubahan Konfigurasi

Tabel 4.4 Setelan Rele Sebelum Perubahan Konfigurasi

No.	Gardu Induk	Z	Setelan Rele		
			Setelan Impedansi		Setelan Waktu
			Urutan Positif-Negatif	Urutan Nol	
1	GI Anggrek (AG 3.2)	Z1	8.62 Ohm $\angle 73.03^\circ$	Ohm	0 detik
		Z2	15.52 Ohm $\angle 73.03^\circ$	Ohm	0.4 detik
		Z3	25.87 Ohm $\angle 73.03^\circ$	Ohm	1.2 detik
4	GI Tilamuta (TA 3.2)	Z1	11.50 Ohm $\angle 73.03^\circ$	Ohm	0 detik
		Z2	17.29 Ohm $\angle 73.03^\circ$	Ohm	0.4 detik
		Z3	28.12 Ohm $\angle 73.03^\circ$	Ohm	1.2 detik

Tabel 4.5 Setelan Rele Setelah Perubahan Konfigurasi

No.	Gardu Induk	Z	Setelan Rele		
			Setelan Impedansi		Setelan Waktu
			Urutan Positif-Negatif	Urutan Nol	
1	GI Anggrek (AG 3.2)	Z1	4.04 Ohm $\angle 73.03^\circ$	11.63 Ohm $\angle 66.63^\circ$	0 detik
		Z2	6.53 Ohm $\angle 73.03^\circ$	25.4 Ohm $\angle 66.63^\circ$	0.4 detik
		Z3	15.57 Ohm $\angle 73.03^\circ$	47.59 Ohm $\angle 66.63^\circ$	1.4 detik
4	GI Tilamuta (TA 3.2)	Z1	8.59 Ohm $\angle 73.03^\circ$	22.48 Ohm $\angle 66.63^\circ$	0 detik
		Z2	11.91 Ohm $\angle 73.03^\circ$	31.43 Ohm $\angle 66.63^\circ$	0.4 detik
		Z3	24.03 Ohm $\angle 73.03^\circ$	49.38 Ohm $\angle 66.63^\circ$	1.6 detik

Dilihat dari tabel 4.4 dan 4.5, maka bisa disimpulkan bahwa perbandingan nilai impedansi maupun derajat yang akan di setel pada rele dengan kondisi setelah perubahan konfigurasi khususnya pada GI Anggrek dan GI Tilamuta yang mengarah ke GI Isimu mengalami perbedaan dengan nilai setelan sebelum terjadinya perubahan pada konfigurasinya tersebut. Hal ini dikarenakan jarak penghantar pada saluran transmisi antara GI Anggrek dan GI Tilamuta berubah sehingga mempengaruhi besar kecilnya setelan impedansi pada rele jarak.

Pada setelan waktu, perbedaan bisa dilihat pada Seting zona 3 yaitu 1.2 detik saat sebelum *Reroute* masuk ke sistem, dan 1.4 dan 1.6 detik setelah GI Anggrek masuk ke sistem dan merubah konfigurasi saluran. Perbedaan ini dikarenakan waktu yang digunakan pada setelan yang baru merupakan penyesuaian dari standar yaitu waktu tunda sebesar 1.4 dan 1.6 detik untuk seting zona 3 .

4.5 Simulasi Gangguan

Berikut adalah simulasi gangguan dengan menggunakan aplikasi *DigSILENT Power Factory versi 15.1* seperti pada gambar 4.13 dan 4.14. Simulasi gangguan in dilakukan untuk melihat koordinasi waktu kerja rele jarak dan rele arus lebih dan gangguan tanah pada GI Isimu (IS 3.2) ke arah GI Anggrek (AG 3.2) Serta GI Isimu Keparah GI Tilamuta (TA 3.2).

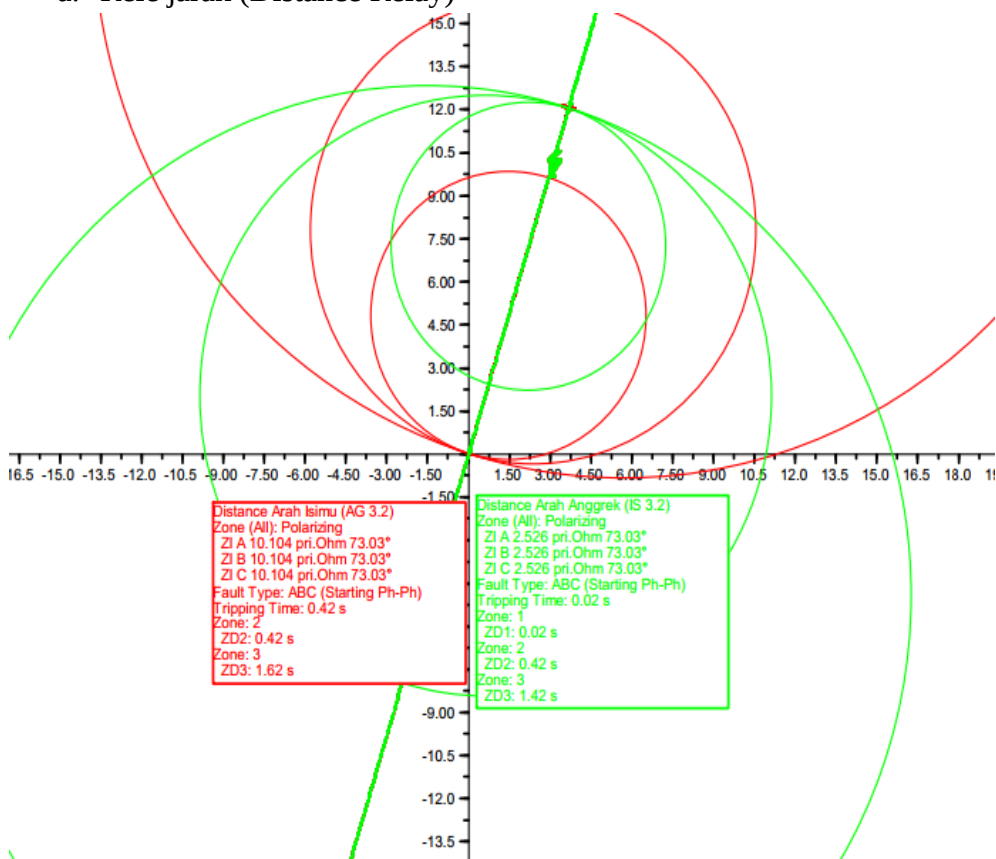
Pada simulasi ini, diharapkan bahwa rele jarak (*Distance Relay*) sebagai *main protection* harus bekerja terlebih dahulu daripada rele arus lebih (*Over Current Relay*) dan gangguan tanah (*Ground Fault Relay*)

sebagai *back-up protection*. Apabila kondisi ini tercapai, maka koordinasi setelan waktu dari ketiga rele tersebut sudah benar.

Simulasi gangguan pertama yang dilakukan pada aplikasi *DigSILENT Power Factory 15.1* yaitu pada titik 20 % dari panjang penghantar antara GI Isimu dan GI Anggrek. Kemudian untuk simulasi kedua, yaitu gangguan dititik 15% dari panjang penghantar antara GI Ismu dan GI Anggrek.

Berikut adalah hasil simulasi gangguan dari aplikasi *DigSILENT Power Factory 15.1*. Dengan panjang penghantar dari PLTG Maelo sampai ke GI Boroko.

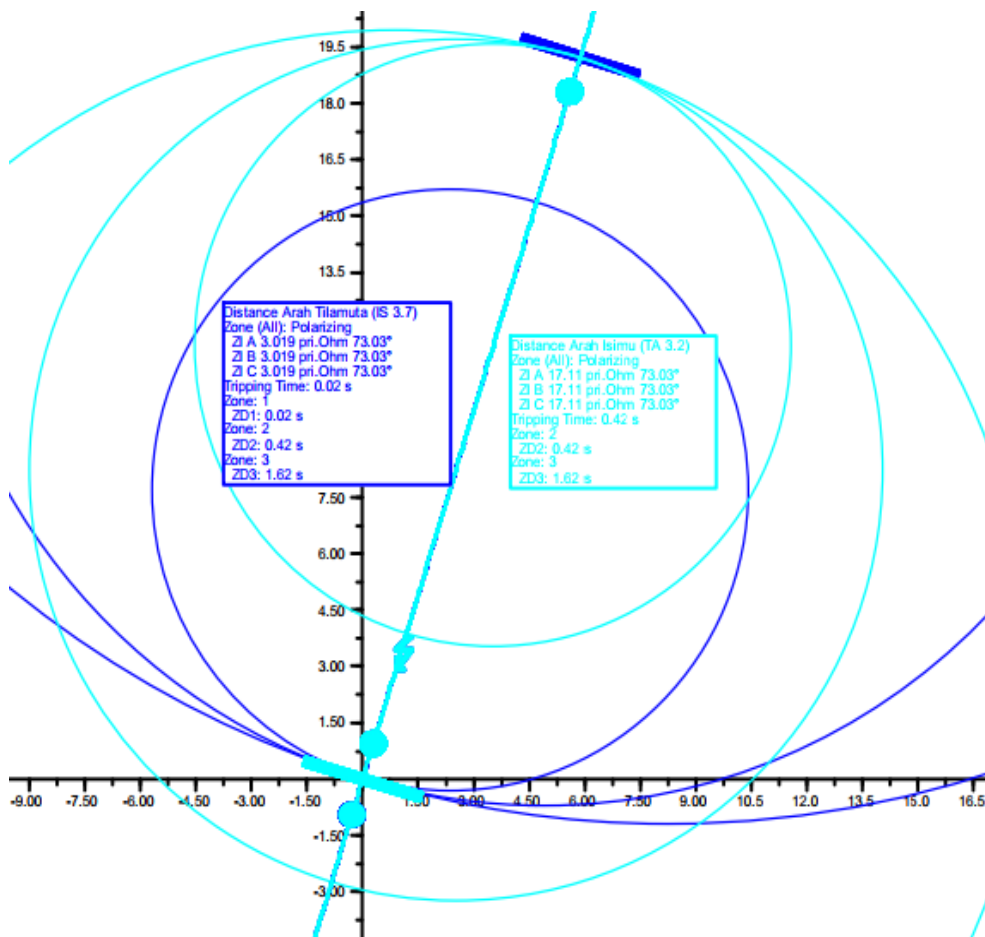
a. Rele jarak (Distance Relay)



Gambar 4.13 Kurva *Mho* Anggrek - Isimu

Berdasarkan simulasi gangguan diatas, maka:

- Gangguan disimulasikan di titik 20% pada penghantar GI Isimu – GI Anggrek. Pada titik gangguan ini, rele yang akan bekerja adalah rele jarak di GI Isimu (*green line*) dengan Zona 1 tanpa waktu tunda dan rele jarak di GI Anggrek (*red line*) dengan Zona waktu tunda 0.4 detik. Selain itu, rele arus lebih dan gangguan tanah akan berperan sebagai *back-up protection* (lihat Gambar 4.7).



Gambar 4.14 Kurva *Mho* Isimu – Tilmuta

Berdasarkan simulasi gangguan diatas, maka:

- Gangguan disimulasikan di titik 15% pada penghantar GI Isimu – GI Tilamuta. Pada titik gangguan ini, rele yang akan bekerja adalah rele jarak di GI Isimu (*blue line*) dengan Zona 1 tanpa waktu tunda dan rele jarak di GI Anggrek (*light green line*) dengan Zona 2 waktu tunda 0.4 detik. Selain itu, rele arus lebih dan gangguan tanah akan berperan sebagai *back-up protection* (lihat Gambar 4.12).

BAB V

PENUTUP

Kesimpulan

1. Berdasarkan hasil perhitungan untuk setelan rele jarak pada GI Isimu (IS 3.2 dan IS 3.7), GI Anggrek (AG 3.2) dan GI Tilamuta (TA 3.2), maka dapat disimpulkan bahwa terjadi perubahan pada nilai setelan impedansi untuk zona 1, zona 2 dan zona 3 sebelum dan sesudah perubahan konfigurasi saluran transmisi antara GI Anggrek dan GI Gi Tilamuta dikarenakan jarak dari penghantar pada saluran transmisi tersebut berubah jaraknya.
2. Nilai impedansi pada zona 1 lebih kecil dari zona 2, begitupun dengan nilai impedansi pada zona 2 lebih kecil dari zona 3. Artinya, impedansi pada zona 3 merupakan nilai setelan impedansi yang paling besar. Hal ini dikarenakan panjang dari penghantar yang akan diproteksi oleh masing-masing zona berbeda-beda dengan urutan jarak penghantar yang akan diproteksi dari yang paling pendek sampai yang paling jauh .
3. Hasil perhitungan terkait setelan *Over Current Relay* dan *Ground Fault Relay* pada Gardu Induk Tilamuta, Isimu adalah sebesar 765.6 A, 127.6 A dan GI Anggrek 720 A, 120 A berdasarkan kapasitas Kuat Hantar Arus Konduktor yang dipilih pada GI Isimu dan GI Tilamuta sedangkan untuk GI Anggrek Inominal CT dengan waktu tunda yang di inginkan 1 detik.

4. Dari hasil perhitungan Rele Jarak dan Rele Arus Lebih serta Gangguan Tanah pada penelitian ini, terdapat zona peroteksi yang tumpang tindih yaitu zona 3 Tilamuta arah Isimu dan Zona 3 Isimu arah Anggrek, setelah dilakukan perubahanp seting waktu Zona 3 Isimu Arah Anggrek dari 1.6 detik menjadi 1.4 detik tidak terjadi tumpang tindih. disimpulkan bahwa koordinasi waktu kerja dan zona pengamanan sudah tepat. Hal ini dikarenakan setiap zona pengamanan tidak tumpang tindih lagi. pada rele jarak bekerja sesuai dengan aturan dan tidak saling tumpang tindih dengan zona lainnya maupun dengan rele arus lebih dan gangguan tanah sebagai *back-up*.

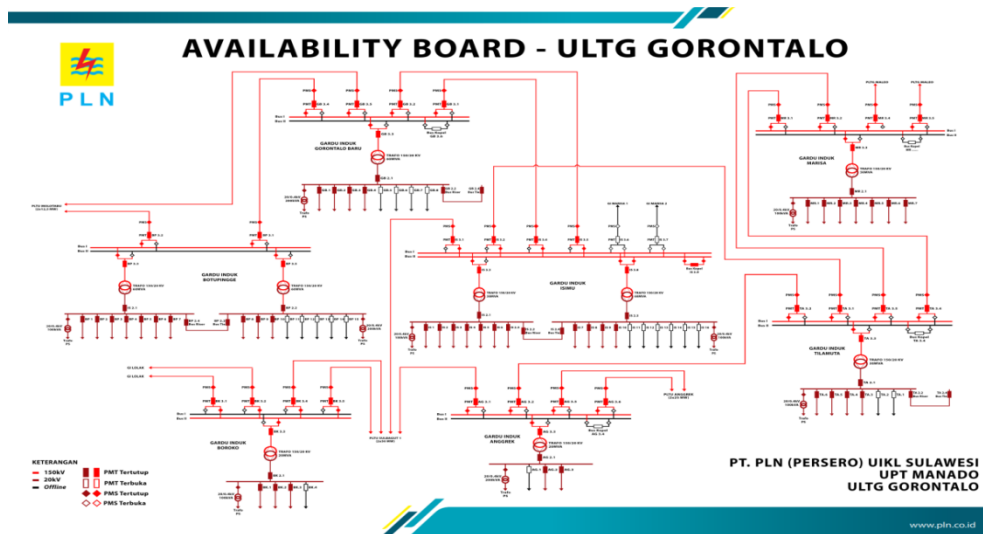
Saran

1. Perlu memperhatikan kehandalan dan sensitivitas dari suatu rele sebagai salah satu sistem proteksi ketenagalistrikan agar tidak terjadi kesalahan dalam bekerja yang dapat menyebabkan kerugian yang besar.
2. Penyetingan proteksi harus mengacu pada filosofi proteksi dan Perlu dilakukan penelitian yang lebih lanjut terhadap setting proteksi yang ada.

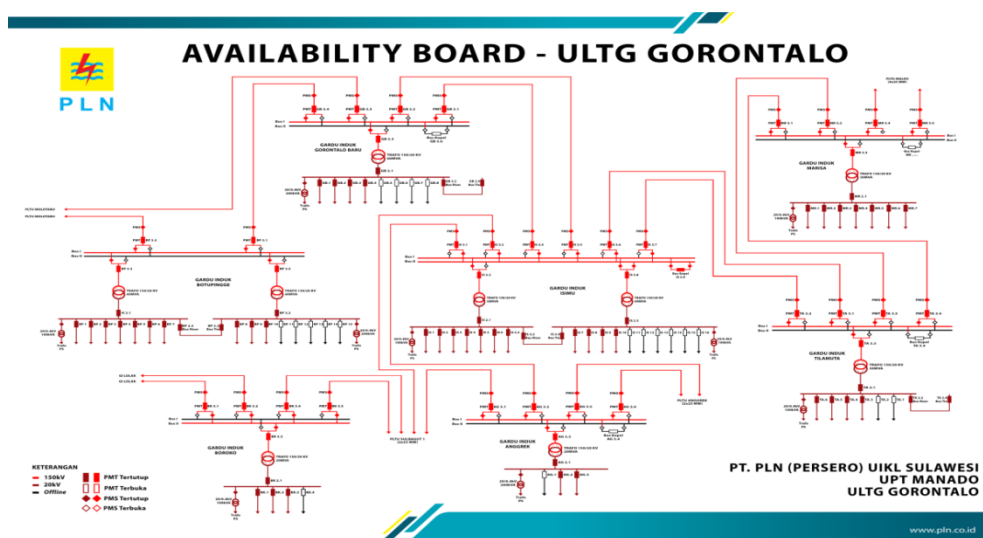
DAFTAR PUSTAKA

- [1] Z. Zulkarnaini and M. Rizki, “Studi Koordinasi Rele Proteksi Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 kV GI. Payakumbuh – GI. Koto Panjang,” pp. 217–225, 2017, doi: 10.21063/pimimd4.2017.217-225.
- [2] R. Akbar Fauzany, I. G. Dyana Arjana, and C. G. Indra Partha, “Analisis Resetting Rele Jarak Akibat Uprating Konduktor Gis Pesanggaran - Gi Sanur,” *J. SPEKTRUM*, vol. 6, no. 2, p. 16, 2019, doi: 10.24843/spektrum.2019.v06.i02.p03.
- [3] D. Almanda and J. Juniyanto, “Analisis Pengaruh Kompensasi Impedansi Urutan Nol (Kzn) terhadap Kehandalan Sistem Proteksi Rele Jarak (Distance Relay) pada Penghantar Harapan Indah di Gardu Induk Plumpang,” *Resist. (Elektronika Kendali Telekomun. Tenaga List. Komputer)*, vol. 4, no. 1, p. 1, 2021, doi: 10.24853/resistor.4.1.1-6.
- [4] R. A. Wahyuningsih, A. B. Muljono, and S. Supriyatna, “Proteksi Rele Jarak (Distance Relay) Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (Sutt) 150 Kv Sistem Kelistrikan Lombok,” *Dielektrika*, vol. 7, no. 1, pp. 15–24, 2020, [Online]. Available: <http://dielektrika.unram.ac.id/index.php/dielektrika/article/view/230>.
- [5] Y. Rondonuwu *et al.*, “Analisa Setting Relai Arus Lebih Jaringan Transmisi 150kV Pada Sistem Minahasa,” *J. Tek. Elektro dan Komput.*, vol. 7, no. 2, pp. 103–112, 2018.
- [6] M. E. Ir. Slamet Suripto, “Sistem Tenaga Listrik,” *ELTEK, Vol 11 Nomor 01*, pp. 1–293, 2017.
- [7] Karyana, *Pedoman dan Petunjuk Sistem Proteksi Transmisi dan Gardu Induk Jawa Bali Edisi Pertama : September 2013*, no. September. Jakarta, 2013.
- [8] A. Navis, “Makalah Relai Jarak (Distance Relay) Mata Kuliah Proteksi Sistem Tenaga Listrik Dosen Pemmbimbing Dr . Liliana ST , M . Eng,” no. May, 2020.
- [9] P. Ilmiah *et al.*, “Studi Analisa Rele Jarak Pada Jaringan Transmisi 150 KV Gardu Induk Pedan – Gardu Induk Jajar,” 2017.

Lampiran



SLD Sistem Gorontalo Sebelum Sistem Perubahan konfigurasi



SLD Sistem Gorontalo Setelah Perubahan konfigurasi

Distance Mho - SISTEM GORONTALO\GI ANGGREK\4\Cub_1\Distance Arah Isimu (AG 3.2)\ZD1.RelDismho

Basic Data	IEC Symbol: Z>>	ANSI Symbol: 21	OK												
Arc compensation	Zone: 1	Unit: Phase-Phase	Cancel												
Description	Characteristic: Mho		Relay												
	Name: ZD1		Timer												
	Type: ... ed\GEC Alstom\Mho/Lens/Tomato\Z Ph 1														
	☐ Out of Service														
	Tripping Direction: Forward														
	Replica Impedance: 4.04 sec.Ohm	10.1 pri.Ohm													
	Reach Multiplier: 100. %														
	Relay Angle: 73.03 deg	Character. Angle: 90. deg													
Impedances <table border="1"> <tr> <td>Line/Branch</td> <td>5.052245 sec.Ohm</td> <td>73.03133 deg</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Reach at Branch Angle</td> <td>4.04 sec.Ohm</td> <td>10.1 pri.Ohm</td> <td>79.96445 %</td> </tr> <tr> <td>Reach at Relay Angle</td> <td>4.04 sec.Ohm</td> <td>10.1 pri.Ohm</td> <td></td> </tr> </table>				Line/Branch	5.052245 sec.Ohm	73.03133 deg		Reach at Branch Angle	4.04 sec.Ohm	10.1 pri.Ohm	79.96445 %	Reach at Relay Angle	4.04 sec.Ohm	10.1 pri.Ohm	
Line/Branch	5.052245 sec.Ohm	73.03133 deg													
Reach at Branch Angle	4.04 sec.Ohm	10.1 pri.Ohm	79.96445 %												
Reach at Relay Angle	4.04 sec.Ohm	10.1 pri.Ohm													

Tampilan Setting *Distance Relay Zone 1* Arah Isimu AG (3.2)

Distance Mho - SISTEM GORONTALO\GI ANGGREK\4\Cub_1\Distance Arah Isimu (AG 3.2)\ZD2.RelDismho

Basic Data	IEC Symbol: Z>>	ANSI Symbol: 21	OK												
Arc compensation	Zone: 2	Unit: Phase-Phase	Cancel												
Description	Characteristic: Mho		Relay												
	Name: ZD2		Timer												
	Type: ... ed\GEC Alstom\Mho/Lens/Tomato\Z Ph 2														
	☐ Out of Service														
	Tripping Direction: Forward														
	Replica Impedance: 6.53 sec.Ohm	16.325 pri.Ohm													
	Reach Multiplier: 100. %														
	Relay Angle: 73.03 deg	Character. Angle: 90. deg													
Impedances <table border="1"> <tr> <td>Line/Branch</td> <td>5.052245 sec.Ohm</td> <td>73.03133 deg</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Reach at Branch Angle</td> <td>6.53 sec.Ohm</td> <td>16.325 pri.Ohm</td> <td>129.2495 %</td> </tr> <tr> <td>Reach at Relay Angle</td> <td>6.53 sec.Ohm</td> <td>16.325 pri.Ohm</td> <td></td> </tr> </table>				Line/Branch	5.052245 sec.Ohm	73.03133 deg		Reach at Branch Angle	6.53 sec.Ohm	16.325 pri.Ohm	129.2495 %	Reach at Relay Angle	6.53 sec.Ohm	16.325 pri.Ohm	
Line/Branch	5.052245 sec.Ohm	73.03133 deg													
Reach at Branch Angle	6.53 sec.Ohm	16.325 pri.Ohm	129.2495 %												
Reach at Relay Angle	6.53 sec.Ohm	16.325 pri.Ohm													

Tampilan Setting *Distance Relay Zone 2* Arah Isimu AG (3.2)

Distance Mho - SISTEM GORONTALO\GI ANGGREK\4\Cub_1\Distance Arah Isimu (AG 3.2)\ZD3.RelDismho

Basic Data	IEC Symbol: Z>>	ANSI Symbol: 21	OK												
Arc compensation	Zone: 3	Unit: Phase-Phase	Cancel												
Description	Characteristic: Mho Offset Mta		Relay												
	Name: ZD3		Timer												
	Type: ... ed\GEC Alstom\Mho/Lens/Tomato\Z Ph 3														
	☐ Out of Service														
	Tripping Direction: Forward														
	Replica Impedance: 15.57 sec.Ohm	38.925 pri.Ohm													
	Reach Multiplier: 100. %														
	Relay Angle: 73.03 deg	Character. Angle: 90. deg													
	Offset Factor (Zoff/Zmax): 0.														
Impedances <table border="1"> <tr> <td>Line/Branch</td> <td>5.052245 sec.Ohm</td> <td>73.03133 deg</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Reach at Branch Angle</td> <td>15.57 sec.Ohm</td> <td>38.925 pri.Ohm</td> <td>308.1798 %</td> </tr> <tr> <td>Reach at Relay Angle</td> <td>15.57 sec.Ohm</td> <td>38.925 pri.Ohm</td> <td></td> </tr> </table>				Line/Branch	5.052245 sec.Ohm	73.03133 deg		Reach at Branch Angle	15.57 sec.Ohm	38.925 pri.Ohm	308.1798 %	Reach at Relay Angle	15.57 sec.Ohm	38.925 pri.Ohm	
Line/Branch	5.052245 sec.Ohm	73.03133 deg													
Reach at Branch Angle	15.57 sec.Ohm	38.925 pri.Ohm	308.1798 %												
Reach at Relay Angle	15.57 sec.Ohm	38.925 pri.Ohm													

Tampilan Setting *Distance Relay Zone 3* Arah Isimu AG (3.2)

Distance Mho - SISTEM GORONTALO\GI ISIMU\2\Cub_1\Distance Arah Anggrek (IS 3.2)\ZD1.RelDismho

Basic Data	IEC Symbol: Z>>	ANSI Symbol: 21	OK
Arc compensation	Zone: 1	Unit: Phase-Phase	Cancel
Description	Characteristic: Mho		Relay
	Name: ZD1		Timer
	Type: ...ed\GEC Alsthom\Mho/Lens/Tomato\Z Ph 1		
	☐ Out of Service		
	Tripping Direction: Forward		
	Replica Impedance: 5.39 sec.Ohm	10.10625 pri.Ohm	
	Reach Multiplier: 100. %		
	Relay Angle: 73.03 deg	Character. Angle: 90. deg	
Impedances Line/Branch 6.736326 sec.Ohm 73.03133 deg Reach at Branch Angle 5.39 sec.Ohm 10.10625 pri.Ohm 80.01394 % Reach at Relay Angle 5.39 sec.Ohm 10.10625 pri.Ohm			

Tampilan Setting Distance Relay Zone 2 Arah Anggrek (IS 3.2)

Distance Mho - SISTEM GORONTALO\GI ISIMU\2\Cub_1\Distance Arah Anggrek (IS 3.2)\ZD2.RelDismho

Basic Data	IEC Symbol: Z>>	ANSI Symbol: 21	OK
Arc compensation	Zone: 2	Unit: Phase-Phase	Cancel
Description	Characteristic: Mho		Relay
	Name: ZD2		Timer
	Type: ...ed\GEC Alsthom\Mho/Lens/Tomato\Z Ph 2		
	☐ Out of Service		
	Tripping Direction: Forward		
	Replica Impedance: 11.19 sec.Ohm	20.98125 pri.Ohm	
	Reach Multiplier: 100. %		
	Relay Angle: 73.03 deg	Character. Angle: 90. deg	
Impedances Line/Branch 6.736326 sec.Ohm 73.03133 deg Reach at Branch Angle 11.19 sec.Ohm 20.98125 pri.Ohm 166.1143 % Reach at Relay Angle 11.19 sec.Ohm 20.98125 pri.Ohm			

Tampilan Setting Distance Relay Zone 2 Arah Anggrek (IS 3.2)

Distance Mho - SISTEM GORONTALO\GI ISIMU\2\Cub_1\Distance Arah Anggrek (IS 3.2)\ZD3.RelDismho

Basic Data	IEC Symbol: Z>>	ANSI Symbol: 21	OK
Arc compensation	Zone: 3	Unit: Phase-Phase	Cancel
Description	Characteristic: Mho Offset Mta		Relay
	Name: ZD3		Timer
	Type: ...ed\GEC Alsthom\Mho/Lens/Tomato\Z Ph 3		
	☐ Out of Service		
	Tripping Direction: Forward		
	Replica Impedance: 18.95 sec.Ohm	35.53125 pri.Ohm	
	Reach Multiplier: 100. %		
	Relay Angle: 73. deg	Character. Angle: 90. deg	
	Offset Factor (Zoff/Zmax): 0.		
Impedances Line/Branch 6.736326 sec.Ohm 73.03133 deg Reach at Branch Angle 18.95 sec.Ohm 35.53125 pri.Ohm 281.3106 % Reach at Relay Angle 18.95 sec.Ohm 35.53125 pri.Ohm			

Tampilan Setting Distance Relay Zone 2 Arah Anggrek (IS 3.2)

Distance Mho - SISTEM GORONTALO\GI ISIMU\6\Cub_1\Distance Arah Tilamuta (IS 3.7)\ZD1.RelDismho

Basic Data	IEC Symbol: Z>>	ANSI Symbol: 21	OK
Arc compensation	Zone: 1	Unit: Phase-Phase	Cancel
Description	Characteristic: Mho		Relay
	Name: ZD1		Timer
	Type: ...ed\GEC Alstom\Mho/Lens/Tomato\Z Ph 1		
	☐ Out of Service		
	Tripping Direction: Forward		
	Replica Impedance: 8.59 sec.Ohm	16.10625 pri.Ohm	
	Reach Multiplier: 100. %		
	Relay Angle: 73. deg	Character. Angle: 90. deg	
Impedances Line/Branch 10.73575 sec.Ohm 73.03133 deg Reach at Branch Angle 8.589999 sec.Ohm 16.10625 pri.Ohm 80.01303 % Reach at Relay Angle 8.59 sec.Ohm 16.10625 pri.Ohm			

Tampilan Setting *Distance Relay* Zona 1 Arah Tilamuta (IS 3.7)

Distance Mho - SISTEM GORONTALO\GI ISIMU\6\Cub_1\Distance Arah Tilamuta (IS 3.7)\ZD2.RelDismho

Basic Data	IEC Symbol: Z>>	ANSI Symbol: 21	OK
Arc compensation	Zone: 2	Unit: Phase-Phase	Cancel
Description	Characteristic: Mho		Relay
	Name: ZD2		Timer
	Type: ...ed\GEC Alstom\Mho/Lens/Tomato\Z Ph 2		
	☐ Out of Service		
	Tripping Direction: Forward		
	Replica Impedance: 17.79 sec.Ohm	33.35625 pri.Ohm	
	Reach Multiplier: 100. %		
	Relay Angle: 73. deg	Character. Angle: 90. deg	
Impedances Line/Branch 10.73575 sec.Ohm 73.03133 deg Reach at Branch Angle 17.79 sec.Ohm 33.35625 pri.Ohm 165.708 % Reach at Relay Angle 17.79 sec.Ohm 33.35625 pri.Ohm			

Tampilan Setting *Distance Relay* Zona 2 Arah Tilamuta (IS 3.7)

Distance Mho - SISTEM GORONTALO\GI ISIMU\6\Cub_1\Distance Arah Tilamuta (IS 3.7)\ZD3.RelDismho

Basic Data	IEC Symbol: Z>>	ANSI Symbol: 21	OK
Arc compensation	Zone: 3	Unit: Phase-Phase	Cancel
Description	Characteristic: Mho Offset Mta		Relay
	Name: ZD3		Timer
	Type: ...ed\GEC Alstom\Mho/Lens/Tomato\Z Ph 3		
	☐ Out of Service		
	Tripping Direction: Forward		
	Replica Impedance: 30.13 sec.Ohm	56.49375 pri.Ohm	
	Reach Multiplier: 100. %		
	Relay Angle: 73.03 deg	Character. Angle: 90. deg	
	Offset Factor (Zoff/Zmax): 0.		
Impedances Line/Branch 10.73575 sec.Ohm 73.03133 deg Reach at Branch Angle 30.13 sec.Ohm 56.49375 pri.Ohm 280.6511 % Reach at Relay Angle 30.13 sec.Ohm 56.49375 pri.Ohm			

Tampilan Setting *Distance Relay* Zona 3 Arah Tilamuta (IS 3.7)

Distance Mho - SISTEM GORONTALO\GI TILAMUTA\4\Cub_1\Distance Arah Isimu (TA 3.2)\ZD1.RelDismho

Basic Data	IEC Symbol: Z>>	ANSI Symbol: 21	OK
Arc compensation	Zone: 1	Unit: Phase-Phase	Cancel
Description	Characteristic: Mho		Relay
	Name: ZD1		Timer
	Type: ... ed\GEC Alsthom\Mho/Lens/Tomato\Z Ph 1		
	☐ Out of Service		
	Tripping Direction: Forward		
	Replica Impedance: 8.59 sec.Ohm	16.10625 pri.Ohm	
	Reach Multiplier: 100. %		
	Relay Angle: 73.03 deg	Character. Angle: 90. deg	
	Impedances Line/Branch 10.73575 sec.Ohm 73.03133 deg Reach at Branch Angle 8.59 sec.Ohm 16.10625 pri.Ohm 80.01304 % Reach at Relay Angle 8.59 sec.Ohm 16.10625 pri.Ohm		

Tampilan Setting Distance Relay Zone 1 Arah Isimu (TA 3.2)

Distance Mho - SISTEM GORONTALO\GI TILAMUTA\4\Cub_1\Distance Arah Isimu (TA 3.2)\ZD2.RelDismho

Basic Data	IEC Symbol: Z>>	ANSI Symbol: 21	OK
Arc compensation	Zone: 2	Unit: Phase-Phase	Cancel
Description	Characteristic: Mho		Relay
	Name: ZD2		Timer
	Type: ... ed\GEC Alsthom\Mho/Lens/Tomato\Z Ph 2		
	☐ Out of Service		
	Tripping Direction: Forward		
	Replica Impedance: 11.91 sec.Ohm	22.33125 pri.Ohm	
	Reach Multiplier: 100. %		
	Relay Angle: 73.03 deg	Character. Angle: 90. deg	
	Impedances Line/Branch 10.73575 sec.Ohm 73.03133 deg Reach at Branch Angle 11.91 sec.Ohm 22.33125 pri.Ohm 110.9378 % Reach at Relay Angle 11.91 sec.Ohm 22.33125 pri.Ohm		

Tampilan Setting Distance Relay Zone 2 Arah Isimu (TA 3.2)

Distance Mho - SISTEM GORONTALO\GI TILAMUTA\4\Cub_1\Distance Arah Isimu (TA 3.2)\ZD3.RelDismho

Basic Data	IEC Symbol: Z>>	ANSI Symbol: 21	OK
Arc compensation	Zone: 3	Unit: Phase-Phase	Cancel
Description	Characteristic: Mho Offset Mla		Relay
	Name: ZD3		Timer
	Type: ... ed\GEC Alsthom\Mho/Lens/Tomato\Z Ph 3		
	☐ Out of Service		
	Tripping Direction: Forward		
	Replica Impedance: 24.03 sec.Ohm	45.05625 pri.Ohm	
	Reach Multiplier: 100. %		
	Relay Angle: 73.03 deg	Character. Angle: 90. deg	
	Offset Factor (Zoff/Zmax) 0.		
	Impedances Line/Branch 10.73575 sec.Ohm 73.03133 deg Reach at Branch Angle 24.03 sec.Ohm 45.05625 pri.Ohm 223.8316 % Reach at Relay Angle 24.03 sec.Ohm 45.05625 pri.Ohm		

Tampilan Setting Distance Relay Zone 3 Arah Isimu (TA 3.2)

Timer - SISTEM GORONTALO\GI ANGGREK\4\Cub_1\Distance Arah Isimu (AG 3.2)\ZDT2.RelTimer

Basic Data	Name	ZDT2	OK
Description	Type	... GEC Alsthom\Mho/Lens/Tomato\Timer Z2	Cancel
	☐ Out of Service		Relay
	Time Setting	0.4 s	

TampilanSetting Waktu *Distance Relay* Zona 2Arah Isimu (AG 3.2)

Timer - SISTEM GORONTALO\GI ANGGREK\4\Cub_1\Distance Arah Isimu (AG 3.2)\ZDT3.RelTimer

Basic Data	Name	ZDT3	OK
Description	Type	... GEC Alsthom\Mho/Lens/Tomato\Timer Z3	Cancel
	☐ Out of Service		Relay
	Time Setting	1.6 s	

Tampilan Setting Waktu *Distance Relay* Zona 3 Arah Isimu (AG 3.2)

Timer - SISTEM GORONTALO\GI ISIMU\2\Cub_1\Distance Arah Anggrek (IS 3.2)\ZDT2.RelTimer

Basic Data	Name	ZDT2	OK
Description	Type	... GEC Alsthom\Mho/Lens/Tomato\Timer Z2	Cancel
	☐ Out of Service		Relay
	Time Setting	0.4 s	

Tampilan Setting Waktu *Distance Relay* Zona Arah Anggrek (IS 3.2)

Timer - SISTEM GORONTALO\GI ISIMU\2\Cub_1\Distance Arah Anggrek (IS 3.2)\ZDT3.RelTimer ? X

Basic Data	Name	ZDT3	OK
Description	Type	... GEC Alsthom\Mho/Lens/Tomato\Timer Z3	Cancel
	☐ Out of Service		Relay
	Time Setting	1.6 s	

Tampilan Setting Waktu *Distance Relay* Zona 3 Arah Anggrek (IS 3.2)

Timer - SISTEM GORONTALO\GI ISIMU\6\Cub_1\Distance Arah Tilamuta (IS 3.7)\ZDT2.RelTimer ? X

Basic Data	Name	ZDT2	OK
Description	Type	... GEC Alsthom\Mho/Lens/Tomato\Timer Z2	Cancel
	☐ Out of Service		Relay
	Time Setting	0.4 s	

Tampilan Setting Waktu *Distance Relay* Zona 2 Arah Tilamuta (IS 3.7)

Timer - SISTEM GORONTALO\GI ISIMU\6\Cub_1\Distance Arah Tilamuta (IS 3.7)\ZDT3.RelTimer ? X

Basic Data	Name	ZDT3	OK
Description	Type	... GEC Alsthom\Mho/Lens/Tomato\Timer Z3	Cancel
	☐ Out of Service		Relay
	Time Setting	1.6 s	

Tampilan Setting Waktu *Distance Relay* Arah Tilamuta (IS 3.7)

Timer - SISTEM GORONTALO\GI TILAMUTA\4\Cub_1\Distance Arah Isimu (TA 3.2)\ZDT2.RelTimer

Basic Data	Name	ZDT2	OK
Description	Type	... GEC Alsthom\Mho/Lens/Tomato\Timer Z2	Cancel
	☐ Out of Service		Relay
	Time Setting	0.4 s	

Tampilan Setting Waktu *Distance Relay* Zona 2 Arah Isimu (TA 3.2)

Timer - SISTEM GORONTALO\GI TILAMUTA\4\Cub_1\Distance Arah Isimu (TA 3.2)\ZDT3.RelTimer

Basic Data	Name	ZDT3	OK
Description	Type	... GEC Alsthom\Mho/Lens/Tomato\Timer Z3	Cancel
	☐ Out of Service		Relay
	Time Setting	1.6 s	

Tampilan Setting Waktu *Distance Relay* Zona 3 Arah Isimu (TA 3.2)

Time Overcurrent - SISTEM GORONTALO\GI ANGGREK\4\Cub_1\OCR/EFR Arah Isimu (AG 3.2)\Io>.RelToc

Basic Data	IEC Symbol:	IE>t	ANSI Symbol:	51N	OK
Tripping Times	Measure Type:	Earth Current (3*I0)			Cancel
Blocking	Name	Io>	Relay		
Description	Type	... ABB\Westinghouse\SPA\SPAJ 142C\Io>			Calculate
	☐ Out of Service				
	Tripping Direction	None			
	Characteristic	Normal Inverse			
	Current Setting	0.2 p.u.	0.2 sec.A	120. pri.A	
	Time Dial	0.54			

Tampilan Setting *OCR* Arah Isimu (AG 3.2)

Time Overcurrent - SISTEM GORONTALO\GI ANGGREK\4\Cub_1\OCR/EFR Arah Isimu (AG 3.2)\>.RelToc

Basic Data	IEC Symbol: I>t	ANSI Symbol: 51	OK
Tripping Times	Measure Type: Phase Current (1ph)		Cancel
Blocking	Name		Relay
Description	Type	...ys\ABB\Westinghouse\SPAJ\SPAJ 142C\I>	Calculate
	☐ Out of Service		
	Tripping Direction	None	
	Characteristic	Normal Inverse	
	Current Setting	1.2 p.u. 1.2 sec.A 720. pri.A	
	Time Dial	0.23	

Tampilan Setting *GFR* Arah Isimu (AG 3.2)

Time Overcurrent - SISTEM GORONTALO\GI ISIMU\2\Cub_1\OCR/EFR Arah Anggrek (IS 3.2)\>.RelToc

Basic Data	IEC Symbol: I>t	ANSI Symbol: 51	OK
Tripping Times	Measure Type: Phase Current (1ph)		Cancel
Blocking	Name		Relay
Description	Type	...ys\ABB\Westinghouse\SPAJ\SPAJ 142C\I>	Calculate
	☐ Out of Service		
	Tripping Direction	None	
	Characteristic	Normal Inverse	
	Current Setting	0.957 p.u. 0.957 sec.A 765.6 pri.A	
	Time Dial	0.23	

Tampilan Setting *OCR* Arah Anggrek (IS 3.2)

Time Overcurrent - SISTEM GORONTALO\GI ISIMU\2\Cub_1\OCR/EFR Arah Anggrek (IS 3.2)\Io>.RelToc

Basic Data	IEC Symbol: IE>t	ANSI Symbol: 51N	OK
Tripping Times	Measure Type: Earth Current (3*I0)		Cancel
Blocking	Name		Relay
Description	Type	...ABB\Westinghouse\SPAJ\SPAJ 142C\Io>	Calculate
	☐ Out of Service		
	Tripping Direction	None	
	Characteristic	Normal Inverse	
	Current Setting	0.1595 p.u. 0.1595 sec.A 127.6 pri.A	
	Time Dial	0.54	

Tampilan Setting *GFR* Arah Anggrek (IS 3.2)

Time Overcurrent - SISTEM GORONTALO\GI ISIMU\6\Cub_1\OCR/EFR Arah Tilamuta (IS 3.7)\I>.RelToc

Basic Data	IEC Symbol: I>t	ANSI Symbol: 51	OK
Tripping Times	Measure Type: Phase Current (1ph)		Cancel
Blocking	Name		Relay
Description	Type	...ys\ABB\Westinghouse\SPAJ\SPAJ 142C\I>	Calculate
	☐ Out of Service		
	Tripping Direction	None	
	Characteristic	Normal Inverse	
	Current Setting	0.957 p.u. 0.957 sec.A 765.6 pri.A	
	Time Dial	0.23	

Tampilan Setting OCR Arah Tilamuta (IS 3.7)

Time Overcurrent - SISTEM GORONTALO\GI ISIMU\6\Cub_1\OCR/EFR Arah Tilamuta (IS 3.7)\Io>.RelToc

Basic Data	IEC Symbol: IE>t	ANSI Symbol: 51N	OK
Tripping Times	Measure Type: Earth Current (3*I0)		Cancel
Blocking	Name	Io>	Relay
Description	Type	... ABB\Westinghouse\SPAJ\SPAJ 142C\Io>	Calculate
	☐ Out of Service		
	Tripping Direction	None	
	Characteristic	Normal Inverse	
	Current Setting	0.1595 p.u. 0.1595 sec.#127.6 pri.A	
	Time Dial	0.54	

Tampilan Setting GFR Arah Tilamuta (IS 3.7)

Time Overcurrent - SISTEM GORONTALO\GI TILAMUTA\4\Cub_1\OCR/EFR Arah Isimu (TA 3.2)\I>.RelToc

Basic Data	IEC Symbol: I>t	ANSI Symbol: 51	OK
Tripping Times	Measure Type: Phase Current (1ph)		Cancel
Blocking	Name		Relay
Description	Type	...ys\ABB\Westinghouse\SPAJ\SPAJ 142C\I>	Calculate
	☐ Out of Service		
	Tripping Direction	None	
	Characteristic	Normal Inverse	
	Current Setting	0.957 p.u. 0.957 sec.A 765.6 pri.A	
	Time Dial	0.21	

Tampilan Setting OCR Arah Isimu (TA 3.2)

Time Overcurrent - SISTEM GORONTALO\GI TILAMUTA\4\Cub_1\OCR\EFR Arah Isimu (TA 3.2)\lo>.RelToc

Basic Data	IEC Symbol: IE> ANSI Symbol: 51N	OK
Tripping Times	Measure Type: Earth Current (3*I0)	Cancel
Blocking	Name: lo>	Relay
Description	Type: ... ABB\Westinghouse\SPAJ\SPAJ 142C\lo>	Calculate
	☐ Out of Service	
	Tripping Direction: None	
	Characteristic: Normal Inverse	
	Current Setting: 0.1595 p.u. 0.1595 sec./127.6 pri.A	
	Time Dial: 0.51	

Tampilan Setting *GFR* Arah Isimu (TA 3.2)

PLN
UIKL SULAWESI
UPT MANADO
ULTG GORONTALO

Nomor : 07/330/ULTGTQ/2022
Sifat :
Lampiran :
Perihal : Surat Balasan Permohonan Izin Penelitian

31 Maret 2022
Kepada Yth
Dekan Fakultas Teknik
Universitas Ihsan Gorontalo

Menjawab surat permohonan Saudara No. 3908/PIPI/LEMLIT-UNISAN/GTO/II/2022 dan 3905/PIPI/LEMLIT-UNISAN/GTO/IV/2022 perihal Permohonan Izin Penelitian a.n. Abdul Rahmat Pakaya dan Rudi Yanto, dengan ini kami sampaikan bahwa pada prinsipnya kami menyetujui dengan persyaratan :

3. Data yang diberikan hanya diperuntukkan sebagai data pendukung pada Proposal/Skripsi mahasiswa tersebut
4. Data yang tersedia hanya pada lingkup Gardu induk terkait, yaitu :
 - a. Data Beban Penyulang Gardu Induk terkait
 - b. Data Teknis Peralatan :
 - i. PMT (Circuit Breaker)
 - ii. Transformator
 - c. Data setelah rele
 - d. Data Rasio CT

Demikian kami sampaikan atas perhatian dan kerjasamanya diucapkan terima kasih.


M. FAHRI HANTUE
 MANAJER ULTG

Tembusan :

3. Manajer UPT Manado
4. Manajer Bagian K S A

Paraf 

Surat Balasan Permohonan Izin Penelitian