

**TUGAS AKHIR**

**ANALISIS KOORDINASI SISTEM PROTEKSI PADA  
TRANSFORMATOR 60 MVA GARDU INDUK  
GLUGUR PT. PLN (PERSERO)**

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik Elektro Pada Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

*Disusun Oleh:*

**M. IHSAN ARIPPIN**

**1707220092**



**UMSU**

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2022**

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh :

Nama : M. Ihsan Arippin  
NPM : 1707220092  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul Skripsi : Analisis Koordinasi Sistem Proteksi Pada  
Transformator 60 MVA Pada Gardu Induk Glugur PT. PLN  
(Persero)  
Bidang Ilmu : Analisa Sistem Tenaga

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 30 Maret 2022

**Mengetahui dan Menyetujui**  
**Dosen Pembimbing**

(Noorly Evalina.,ST.,MT)

**Dosen Pembanding I**



(Rimbawati.,ST.,MT)

**Dosen Pembanding II**



(Partaon Harahap.,ST.,MT)



## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Lengkap : M. IHSAN ARIIPPIN  
Tempat /Tangal Lahir : MEDAN/ 21 SEPTEMBER 1999  
NPM : 1707220092  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul :

**“ANALISIS KOORDINASI SISTEM PROTEKSI PADA TRANSFORMATOR GARDU INDUK GLUGUR PT. PLN (PERSERO)”**

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinil dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Elektro/Mesin/Sipil, Fakultas Teknik,

Medan, 30 Maret 2022

Saya Yang Menyatakan

  
M. Ihsan Arippin

## ABSTRAK

*Dalam penyaluran energi listrik, diperlukan kontinuitas pelayanan yang baik kepada konsumen, oleh karena itu diperlukan koordinasi sistem proteksi yang baik agar kontinuitas pelayanan distribusi tenaga listrik dapat terjaga, biasanya pemadaman disebabkan oleh gangguan hubung singkat, jika penyetelan Over Current Relay (OCR) di sisi incoming atau outgoing kurang baik dapat menyebabkan pemadaman total (black out) salah satu upaya yang dilakukan adalah dengan mengevaluasi setting relay proteksi pada Gardu Induk (GI) Glugur sehingga saling terkoordinasi dengan baik dan diharapkan jika terjadi gangguan pada salah satu penyulang maka tidak akan membawa black out pada penyulang yang lain.*

*Berdasarkan analisis arus hubung singkat yang terjadi pada transformator gardu induk glugur yaitu pada gangguan 1 fasa ke tanah, fasa ke fasa, dan gangguan 3 fasa terbesar yaitu pada lokasi gangguan 1% yaitu sebesar 288,432 A pada gangguan 1 fasa ke tanah, 11402,50 A pada gangguan fasa ke fasa, dan 13196,57 A pada gangguan 3 fasa dan waktu kerja relay berdasarkan setting waktu yang telah ditentukan tidak kurang  $< 0,3$  detik bahwa hasil perhitungan dengan syarat waktu masih dalam kondisi yang sesuai sehingga kinerja sistem proteksi juga dikatakan baik karena over current relay dan ground fault relay saling berkaitan satu sama lain dalam hal kinerjanya.*

***Kata Kunci : Over Current Relay, Ground Fault Relay, Arus Hubung Singkat, Transformator***

## **ABSTRACT**

*In the distribution of electrical energy, good continuity of service is needed to consumers, therefore a good coordination of protection systems is needed so that the continuity of electricity distribution services can be maintained, usually blackouts are caused by short circuit disturbances, if the Over Current Relay (OCR) setting is on the incoming side. or bad outgoings can cause a total blackout. One of the efforts made is to evaluate the protection relay settings at the Glugur Substation so that they are well coordinated with each other and it is hoped that if there is a disturbance in one of the feeders, it will not bring black out. on other feeders.*

*Based on the analysis of the short circuit current that occurs in the glugur substation transformer, namely the 1 phase to ground fault, phase to phase, and the largest 3 phase fault, namely at the 1% fault location, which is 288.432 A in 1 phase to ground fault, 11402.50 A on phase-to-phase faults, and 13196.57 A on 3-phase faults and the relay working time based on a predetermined time setting of not less than <0.3 seconds that the calculation results with time requirements are still in appropriate conditions so that the performance of the protection system is also said to be good because over current relay and ground fault relay are related to each other in terms of their performance.*

***Keywords: Over Current Relay, Ground Fault Relay, Short Circuit Current, Transformer***

## KATA PENGANTAR

Dengan menyebut nama yang Maha Pengasih Maha Penyayang. Tidak ada kata yang lebih indah selain puji dan syukur kepada Allah SWT, yang telah menetapkan segala sesuatu, sehingga tiada sehelai daun pun yang jatuh tanpa izin-Nya. Alhamdulillah atas izin-Nya, penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini yang berjudul **“Analisis Koordinasi Sistem Proteksi Pada Transformator 60 MVA Gardu Induk Glugur PT. PLN (PERSERO)”** sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan beribu terima kasih kepada orang-orang yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi ini baik yang secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu, penulis menyampaikan banyak terima kasih kepada :

1. Orang tua penulis : Bapak Suwanto dan Ibu Ida Dariani, yang tak hentinya mendo'akan dan memberikan dukungan serta nasehat setiap harinya.
2. Bapak Dr. Agussani, M.A.P, selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Dr. Ade Faisal, M.sc, P.hd, selaku Wakil Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Affandi, S.T, M.T, selaku Wakil Dekan III Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak Faisal Irsan Pasaribu, S.T, M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Elvy Sahnur Nasution, S.T, M.Pd., selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
8. Ibu Noorly Evalina, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing yang telah membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
9. Seluruh Bapak/ibu Dosen di Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah memberikan ilmu keteknik listrikan kepada penulis.

10. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini, hal itu penulis sadari karena keterbatasan kemampuan dan pengetahuan yang dimiliki penulis. Oleh karena itu, saran dan masukan yang membangun sangat diharapkan untuk menyempurnakan skripsi ini. Besar harapan penulis, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan bagi orang lain pada umumnya.

Medan, 05 Februari 2022

Penulis

M. Ihsan Arippin

## DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	i
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR .....	ii
ABSTRAK .....	iii
ABSTRACT .....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Ruang Lingkup Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
1.6 Sistematika Penulisan .....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Tinjauan Pustaka Relevan.....	5
2.2 Gardu Induk (GI) .....	7
2.2.1 Fungsi Gardu Induk .....	7
2.2.2 Jenis-Jenis Gardu Induk.....	7
2.3 Transformator Daya .....	10
2.3.1 Bagian-Bagian Transformator .....	11
2.4 Sistem Proteksi .....	16
2.4.1 Tujuan Sistem Proteksi .....	16
2.5 Pemutus Tenaga.....	16
2.6 <i>Over Current Relay</i> .....	17
2.6.1 Prinsip Kerja <i>Over Current Relay</i> .....	19
2.7 <i>Ground Fault Relay</i> .....	20
2.7.1 Prinsip Kerja <i>Ground Fault Relay</i> .....	20



2.8	Gangguan Sistem Tenaga Listrik.....	21
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN .....		22
3.1	Waktu dan Tempat.....	22
3.1.1	Tempat Penelitian .....	22
3.1.2	Waktu Penelitian.....	22
3.2	Metode Penelitian .....	22
3.3	Teknik Analisa Data .....	23
3.4	Metode Analisis Data .....	24
3.4.1	Gangguan Hubung Singkat.....	24
3.4.2	Menghitung Impedansi .....	24
3.4.3	Karakteristik <i>Inverse Time</i> .....	26
3.4.4	Penyettingan <i>Over Current Relay</i> .....	27
3.4.5	Penyettingan <i>Ground Fault Relay</i> .....	27
3.4.6	Perhitungan <i>Incoming Feeder</i> .....	28
3.5	Bagan Alir Penelitian .....	28
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....		30
4.1	Tinjauan Umum .....	30
4.2	Perhitungan dan Analisis Data .....	31
4.2.1	Perhitungan Arus Hubung Singkat .....	32
4.2.2	Menghitung Impedansi Sumber .....	32
4.2.3	Menghitung Reaktansi Transformator .....	32
4.2.4	Menghitung Impedansi Penyulang.....	33
4.2.5	Menghitung Impedansi Ekuivalen Penyulang .....	34
4.2.6	Menghitung Arus Gangguan Hubung Singkat.....	35
4.2.6.1	Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa Ke Tanah.....	35
4.2.6.2	Gangguan Hubung Singkat Fasa ke Fasa .....	37
4.2.6.3	Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa .....	39
4.3	Analisis Perhitungan Setting <i>Relay</i> .....	42
4.3.1	<i>Over current relay</i> .....	42
4.3.2	<i>Ground Fault Relay</i> .....	44

4.3.3 Pemeriksaan Selektifitas Kerja <i>Relay</i> .....	45
4.3.3.1 Lokasi Gangguan <i>Relay</i> OCR Sisi <i>Outgoing</i> .....	46
4.3.3.2 Lokasi Gangguan <i>Relay</i> OCR Sisi <i>Incoming</i> .....	47
4.3.3.3 Lokasi Gangguan <i>Relay</i> GFR Sisi <i>Outgoing</i> .....	48
4.3.3.4 Lokasi Gangguan <i>Relay</i> GFR Sisi <i>Incoming</i> .....	49
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	53
5.1 Kesimpulan .....	53
5.2 Saran.....	53
DAFTAR PUSTAKA .....	54
LAMPIRAN	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar.2.1. Gardu Induk Pasangan Luar .....	8
Gambar.2.2. Gardu Induk Pasangan Dalam .....	9
Gambar.2.3. Elektromagnetik Pada Transformator .....	11
Gambar.2.4. Inti Besi Transformator .....	12
Gambar.2.5. Kumparan Transformator .....	12
Gambar.2.6. Bushing Transformator .....	13
Gambar.2.7. Konservator Oil Preservation and Expansion .....	14
Gambar.2.8. Diagram Pemutus Tenaga .....	17
Gambar.2.9. Karakteristik OCR Tipe Sesaat .....	18
Gambar.2.10. Karakteristik OCR Tipe Waktu Tertentu .....	18
Gambar.2.11. Karakteristik OCR Tipe Berbanding Terbalik .....	19
Gambar.2.12. Rangkaian Pengkawatan <i>Over current relay</i> .....	19
Gambar.2.13. Rangkaian Pengkawatan <i>Relay</i> Gangguan Tanah .....	20
Gambar.3.1. Bagan Alir Penelitian .....	29
Gambar.4.1. <i>Single Line Diagram</i> Gardu Induk Glugur Medan .....	31
Gambar.4.2. Asumsi Gangguan Berdasarkan Panjang Penyulang .....	32
Gambar.4.3. Grafik Gangguan 1 Fasa Ke Tanah .....	41
Gambar.4.3. Grafik Gangguan Fasa Ke Fasa .....	41
Gambar.4.5. Grafik Gangguan 3 Fasa .....	41
Gambar.4.6. Grafik Perbandingan Waktu Kerja <i>Over Current Relay</i> .....	50
Gambar.4.7. Grafik Perbandingan Waktu Kerja <i>Ground Fault Relay</i> .....	51

## DAFTAR TABEL

Tabel.3.1. Daftar Konstanta Inverse Time .....	26
Tabel.4.1. Impedansi Penyulang urutan Positif dan Negatif.....	33
Tabel.4.2. Impedansi Penyulang Urutan Nol .....	34
Tabel.4.3. Arus Gangguan Pada Panjang Penyulang .....	40
Tabel.4.4. Hasil Pemeriksaan Waktu Kinerja <i>Relay</i> .....	50

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Transformator tenaga adalah suatu peralatan tenaga listrik yang berfungsi mentransformasikan daya listrik dari tegangan rendah atau sebaliknya dengan menggunakan prinsip induksi, untuk menjaga transformator daya dapat berfungsi dengan lancar di butuhkan sistem proteksi (pengaman) yang baik, sistem pengaman diharapkan juga bisa menjaga agar transformator tidak mengalami gangguan hubung singkat antar fasa maupun fasa ketanah, sistem kerja peralatan proteksi ini diharapkan dapat bekerja dengan cepat, sensitif, handal, dan selektif dalam menangani berbagai gangguan yang terjadi. (Adinata, I. Putu Chandra, AA Gede Maharta Pamayun, and Antonius Ibi Weking.2020)

Koordinasi sistem pengaman diperlukan untuk mengamankan transformator dari gangguan hubung singkat, sistem proteksi yang digunakan untuk melindungi transformator adalah OCR (*Over Current Relay*), GFR (*Ground Fault Relay*), dan *Recloser*, *relay-relay* ini akan berkoordinasi apabila terjadi gangguan hubung singkat, lonjakan arus terlampaui besar bisa merusak transformator itu sendiri, *relay* OCR adalah suatu *relay* yang bekerja hanya berdasarkan adanya kenaikan arus yang melebihi suatu nilai tertentu yang melewatinya, *relay* ini harus dapat bekerja pada jangka waktu yang telah ditentukan sehingga pengaturan waktu dapat dikaitkan dengan koordinasi pengaman. (Adinata, I. Putu Chandra, AA Gede Maharta Pamayun, and Antonius Ibi Weking.2020)

Pada operasi sistem tenaga listrik sering terjadi gangguan-gangguan yang dapat mengakibatkan terganggunya penyaluran tenaga listrik ke konsumen, gangguan adalah penghalang dari suatu sistem yang sedang beroperasi atau suatu keadaan dari sistem penyaluran tenaga listrik yang menyimpang dari kondisi normal, suatu gangguan didalam peralatan listrik didefinisikan sebagai terjadinya suatu kerusakan didalam jaringan listrik yang menyebabkan aliran arus listrik keluar dari saluran yang seharusnya. (Syarifuddin, Rohmat, Zainal Abidin, and Affan Bachri,2020)

Gangguan hampir selalu ditimbulkan oleh hubung singkat antar fasa atau hubung singkat fasa ke tanah, suatu gangguan distribusi hampir selalu berupa hubung langsung atau melalui impedansi, istilah gangguan identik dengan hubung singkat, sesuai standart ANSI/IEEE Std. 100- 1992, hubung singkat merupakan suatu hubung abnormal (termasuk busur api) pada implementasi yang relatif rendah terjadi secara kebetulan atau disengaja antara dua titik yang mempunyai potensi yang berbeda, istilah gangguan atau gangguan hubung singkat digunakan untuk menjelaskan suatu hubungan singkat. (Syarifuddin, Rohmat, Zainal Abidin, and Affan Bachri,2020)

Sistem proteksi memegang peranan penting dalam kelangsungan dan keamanan terhadap penyaluran daya listrik, pengaman pada jaringan transmisi perlu mendapat perhatian yang serius dalam setiap perencanaannya, sistem transmisi memiliki parameter-parameter dan keadaan sistem yang berubah secara terus-menerus, sehingga strategi pengamanannya harus disesuaikan dengan perubahan dinamis dalam hal desain dan pengaturan peralatannya, sistem proteksi berfungsi untuk mengamankan peralatan listrik dari kemungkinan kerusakan yang diakibatkan oleh gangguan, misalnya gangguan dari alam atau akibat rusaknya peralatan secara tiba-tiba, melokalisir daerah-daerah sistem yang mengalami gangguan sekecil mungkin, dan mengusahakan secepat mungkin untuk mengatasi gangguan yang terjadi di daerah tersebut, sehingga stabilitas sistemnya dapat terpelihara, dan juga untuk mengamankan manusia dari bahaya yang ditimbulkan oleh listrik. (Syarifuddin, Rohmat, Zainal Abidin, and Affan Bachri,2020)

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas maka dapat dirumuskan suatu permasalahan yaitu:

1. Bagaimana perhitungan nilai *setting* proteksi *incoming*, *outgoing* pada transformator gardu induk glugur PT.PLN (PERSERO)?
2. Bagaimana hasil koordinasi sistem proteksi antara sisi *incoming* dan *outgoing* pada transformator gardu induk glugur PT.PLN (PERSERO)?
3. Karakteristik apakah yang digunakan oleh sistem proteksi pada transformator berdasarkan data yang diperoleh?

### 1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah diatas, dapat disimpulkan beberapa tujuan yaitu sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui nilai *setting* sistem proteksi *incoming* dan *outgoing* pada transformator gardu induk glugur PT.PLN (PERSERO).
2. Untuk mengetahui hasil koordinasi sistem proteksi antara sisi *incoming* dan *outgoing* pada transformator gardu induk glugur PT.PLN (PERSERO).
3. Untuk mengetahui karakteristik apa yang digunakan pada sistem proteksi pada transformator berdasarkan data yang diperoleh.

### 1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Dalam hal ruang lingkup penelitian, dapat dilihat sebagai berikut :

1. Penelitian ini hanya untuk mengetahui nilai *setting* sistem proteksi *incoming* dan *outgoing* pada transformator gardu induk glugur PT.PLN (PERSERO).
2. Penelitian ini hanya untuk mengetahui hasil koordinasi sistem proteksi antara sisi *incoming* dan *outgoing* pada transformator gardu induk glugur PT.PLN (PERSERO).
3. Penelitian ini hanya untuk mengetahui karakteristik yang digunakan pada sistem proteksi pada transformator gardu induk glugur.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Dapat mengetahui nilai *setting* sistem proteksi *incoming* dan *outgoing* pada transformator gardu induk glugur.
2. Untuk mendapatkan nilai hasil koordinasi sistem proteksi antara sisi *incoming* dan *outgoing* pada transformator gardu induk glugur.
3. Untuk mengetahui karakteristik yang digunakan pada sistem proteksi pada transformator gardu induk glugur.

### 1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

## BAB 1 PENDAHULUAN

Membahas mengenai latar belakang, permasalahan, tujuan, metode penelitian dan sistematika dari penulisan Tugas Akhir ini.

## BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Membahas tentang koordinasi sistem proteksi pada transformator, mengetahui hasil koordinasi sistem proteksi, dan mengetahui hasil perbandingan koordinasi sistem proteksi pada transformator gardu induk glugur.

## BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Melakukan riset yang berkaitan dengan data mengenai analisis koordinasi sistem proteksi pada transformator, dengan cara pengambilan data dan wawancara mengenai koordinasi sistem proteksi pada transformator.

## BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Berisikan tentang analisis koordinasi sistem proteksi pada transformator gardu induk glugur medan.

## BAB 5 PENUTUP

Berisikan tentang kesimpulan dan saran tentang hasil analisis koordinasi sistem proteksi pada transformator gardu induk glugur medan.

## DAFTAR PUSTAKA

## LAMPIRAN



## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka *Relay***

Penelitian ini adalah pengembangan dari penelitian-penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh beberapa peneliti di bidang teknik elektro, yaitu:

Salah satu cara paling ekonomis, mudah dan aman untuk mengirimkan energi listrik adalah melalui bentuk energi listrik, energi listrik dapat secara kontinyu dikirimkan dari satu tempat ke tempat lain yang jaraknya berjauhan dalam satu sistem tenaga listrik, sistem tenaga listrik merupakan kumpulan dari komponen-komponen atau alat-alat listrik seperti generator, transformator, saluran transmisi, saluran distribusi dan beban, yang saling berhubungan dan membentuk suatu sistem yang disebut sistem tenaga listrik. (Syahputra,2017).

Secara umum, definisi sistem tenaga listrik meliputi sistem pembangkitan, penyaluran (transmisi), dan distribusi, energi listrik dibangkitkan dari pembangkit, yang kemudian dinaikkan tegangannya dan dialirkan melalui sistem transmisi untuk kemudian sampai di tangan masyarakat dan digunakan untuk kebutuhan sehari-hari, berdasarkan hal tersebut dapat dilihat bahwa sistem transmisi memegang peranan penting untuk dapat menyalurkan energi listrik ke konsumen, proses penyaluran energi listrik tersebut sering dijumpai adanya gangguan yang mengakibatkan kerugian, baik dari pihak penyuplai maupun konsumen, gangguan tersebut bisa berasal dari sisi internal maupun eksternal, gangguan dari sisi internal bisa terjadi karena kegagalan dari peralatan itu sendiri dan beberapa gangguan eksternal bisa disebabkan oleh petir, pohon tumbang dan badai (Pangestu,2019).

Gangguan hampir selalu ditimbulkan oleh hubung singkat antar fasa atau hubung singkat fasa ke tanah, suatu gangguan distribusi hampir selalu berupa hubung langsung atau melalui impedansi, istilah gangguan identik dengan hubung singkat, sesuai standar ANSI/IEEE Std. 100- 1992, hubung singkat merupakan suatu hubung abnormal (termasuk busur api) pada implementasi yang relatif rendah terjadi secara kebetulan atau disengaja antara dua titik yang mempunyai potensi yang berbeda, istilah gangguan atau gangguan hubung singkat digunakan untuk

menjelaskan suatu hubungan singkat. (Syarifuddin, Rohmat, Zainal Abidin, and Affan Bachri, 2020)

Deteksi lokasi gangguan secara otomatis dapat meningkatkan keandalan sistem karena dapat mempercepat proses perbaikan atau pemulihan dan juga dapat meminimalisir kerugian materi yang dapat terjadi, jika lokasi gangguan dicari secara manual akan membuat durasi waktu pemulihan semakin lama, khususnya untuk saluran distribusi bawah tanah yang sukar dilihat lokasi gangguannya dengan cara pengamatan, semakin lama lokasi gangguan ditemukan, maka akan semakin lama proses pemulihan, jadi semakin lama penemuan lokasi gangguan maka akan semakin besar kerugian yang diterima oleh perusahaan, gangguan-gangguan ini tidak dapat sepenuhnya dihindari karena sebagian dari gangguan ini juga terjadi karena alasan alami di luar kendali manusia, oleh karena itu, sangat penting untuk memiliki sistem proteksi yang terkoordinasi dengan sangat baik untuk mengetahui posisi terjadinya gangguan dalam sistem tenaga listrik dan dapat diandalkan. (Ihsan, 2017).

Saluran transmisi adalah komponen yang sangat penting dalam sistem tenaga listrik. Saluran transmisi merupakan penghubung antara pusat pembangkit dan beban, maka dari itu saluran transmisi harus mampu menjamin ketersediaan energi listrik secara kontiniu pada setiap beban yang terhubung dengan sistem, sebagian besar gangguan dalam sistem tenaga listrik terjadi pada saluran transmisi, salah satu gangguan yang paling sering terjadi adalah gangguan hubung singkat, pada saluran transmisi dapat menghambat kontinuitas penyaluran energi listrik, oleh karena itu dalam proteksi saluran transmisi deteksi gangguan dan klasifikasi gangguan adalah dua hal penting yang perlu ditangani dengan andal dan akurat. (Oton, 2017).

Gangguan pada sistem tenaga listrik merupakan segala macam kejadian yang menyebabkan kondisi pada sistem tenaga listrik menjadi abnormal, jika ditinjau dari sifat dan penyebabnya jenis gangguan pada sistem tenaga listrik dapat dikelompokkan menjadi empat bagian, yaitu : tegangan lebih (*over voltage*), hubungan singkat, daya balik (*Reverse Power*), dan beban lebih (*over load*), salah satu yang menyebabkan kondisi gangguan pada sistem tenaga listrik yang banyak terjadi ialah gangguan hubung singkat, dimana gangguan hubungan singkat ini

dapat dibagi menjadi dua bagian, yaitu : gangguan simetris dan asimetris. (Sofyan, 2017).

## **2.2 Gardu Induk (GI)**

Gardu Induk merupakan sub sistem dari sistem penyaluran (transmisi) tenaga listrik, atau merupakan satu kesatuan dari sistem penyaluran (transmisi), penyaluran (transmisi) merupakan sub sistem dari sistem tenaga listrik, berarti gardu induk merupakan sub-sistem dari sistem tenaga listrik, sebagai sub sistem dari sistem penyaluran (transmisi), gardu induk mempunyai peranan penting, dalam pengoperasiannya tidak dapat dipisahkan dari sistem penyaluran (transmisi) secara keseluruhan. (M. MP, 2015).

### **2.2.1 Fungsi Gardu Induk**

Fungsi utama dari gardu induk yaitu untuk mentransformasikan daya listrik, contohnya seperti :

1. Dari tegangan ekstra tinggi ke tegangan tinggi (500 kV/150 kV).
2. Dari tegangan tinggi ke tegangan yang lebih rendah (150 kV/70 kV).
3. Dari tegangan tinggi ke tegangan menengah (150 kV/20 kV, 70 kV/20 kV).

Untuk pengukuran, pengawasan operasi serta pengaman dari sistem tenaga listrik, pengaturan pelayanan beban ke gardu induk-gardu induk lain melalui tegangan tinggi dan ke gardu distribusi, setelah melalui proses penurunan tegangan melalui penyulang (*feeder*) tegangan menengah yang ada di gardu induk.

### **2.2.2 Jenis-Jenis Gardu Induk**

Ada beberapa jenis gardu induk yang dapat dijumpai, dan dapat dibedakan menjadi beberapa bagian yaitu :

#### **1. Berdasarkan Besaran Tegangan**

Berdasarkan dari besaran tegangannya, gardu induk dapat dibedakan menjadi 2 jenis yaitu Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi (GITET) dengan besaran tegangan 500 kV, 275 kV dan Gardu Induk Tegangan Tinggi (GI) dengan besaran tegangan 150 kV dan 70 kV, dari kedua gardu induk tersebut apabila dilihat dari jenis komponen yang digunakan, secara umum GITET dan GI hampir sama secara keseluruhan, perbedaannya dasar yang membedakannya adalah :

- a. Pada GITET transformator daya yang digunakan berupa 3 buah transformator daya masing-masing 1 fasa (Bank Transformer) dan dilengkapi peralatan reaktor yang berfungsi mengkompensasikan daya reaktif pada jaringan.
- b. Pada GI menggunakan transformator daya 3 fasa dan tidak dilengkapi dengan peralatan reaktor.

## 2. Berdasarkan Pemasangan Peralatan

Berdasarkan dari pemasangan peralatannya gardu induk dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu :

### a. Gardu Induk Pasangan Luar

Gardu induk yang sebagian besar komponennya ditempatkan diluar gedung, kecuali komponen kontrol, sistem proteksi, sistem kendali dan komponen bantu lainnya yang dipasang di dalam gedung, biasanya gardu induk ini sering disebut dengan gardu induk konvensional, dan sebagian besar gardu induk yang ada di indonesia adalah gardu induk yang seperti ini.



Gambar.2.1 Gardu Induk Pasangan Luar

### b. Gardu Induk Pasangan Dalam

Gardu induk yang hampir semua komponennya (*Switchgear*, *busbar*, *isolator*, komponen kontrol, komponen proteksi, *cubicle*, dan lainnya) dipasang di gedung, kecuali transformator daya yang umumnya dipasang di luar gedung, gardu induk ini sering disebut dengan *Gas Insulated Substation (GIS)*, GIS sendiri merupakan bentuk pengembangan gardu induk yang pada umumnya dibangun di daerah perkotaan atau padat pemukiman yang sulit untuk mendapatkan lahan, seperti di kota-kota besar di Pulau Jawa, adapun beberapa keunggulan GIS jika dibandingkan dengan GI Konvensional yaitu :

- a. Hanya membutuhkan lahan dengan luas  $\pm 3000$  meter persegi atau  $\pm 6\%$  dari luas lahan untuk GI Konvensional,
- b. Bisa dipasang di tengah kota yang padat pemukiman,
- c. Keunggulan dari segi estetika dan arsitektural, karena bangunan bisa di desain sesuai dengan kondisi sekitar.



Gambar.2.2 Gardu Induk Pasangan Dalam

**c. Gardu Induk Kombinasi Pasangan Luar dan Pasangan Dalam**

Gardu induk jenis ini menempatkan komponen *switchgear* nya di dalam dan di luar gedung, seperti tie line dan saluran udara tegangan tinggi (SUTT) sebelum masuk ke dalam switchgear, sama seperti jenis gardu induk yang lain, transformator daya ditempatkan di luar gedung.

**d. Berdasarkan Fungsinya**

Berdasarkan dari fungsinya gardu induk dibedakan menjadi beberapa bagian yaitu:

1. Gardu Induk Penaik Tegangan

Gardu induk yang berfungsi untuk menaikkan tegangan, yaitu tegangan pembangkit (generator) dinaikkan menjadi tegangan sistem, gardu induk ini berada di lokasi pembangkit tenaga listrik karena output voltage yang dihasilkan pembangkit listrik kecil dan harus disalurkan pada jarak yang jauh, maka dengan pertimbangan efisiensi tegangannya dinaikkan.

## 2. Gardu Induk Penurun Tegangan

Gardu induk yang berfungsi untuk menurunkan tegangan, dan tegangan ekstra tinggi menjadi tegangan tinggi, dan dari tegangan tinggi menjadi tegangan menengah atau tegangan distribusi.

## 3. Gardu Induk Pengatur Tegangan

Gardu induk ini terletak jauh dari pembangkit tenaga listrik karena tegangan listrik yang disalurkan sangat jauh, maka terjadi jatuh tegangan (*Voltage Drop*) transmisi yang cukup besar, oleh karena itu dibutuhkan alat penaik tegangan seperti Capacitor Bank sehingga tegangan kembali dalam keadaan normal.

## 4. Gardu Induk Pengatur Beban

Gardu induk yang berfungsi untuk mengatur beban, pada gardu induk ini terpasang beban motor yang pada saat tertentu menjadi pembangkit tenaga listrik, motor berubah menjadi generator dan suatu saat generator menjadi motor atau menjadi beban, dengan generator berubah menjadi motor yang memompakan air ke kolam utama.

## 2.3 Transformator Daya

Transformator adalah suatu peralatan listrik elektromagnetik statis yang berfungsi untuk memindahkan dan mengubah tegangan dan arus listrik dari suatu rangkaian listrik ke rangkaian listrik lainnya pada frekuensi dan daya yang sama yang bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik, dalam bidang tenaga listrik pemakaian transformator dikelompokkan menjadi:

1. Transformator daya (Tenaga)
2. Transformator distribusi
3. Transformator Pengukuran

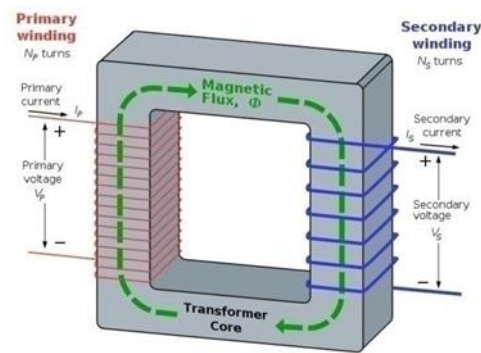
Kumparan primer adalah kumparan yang menerima daya dan dinyatakan sebagai terminal masukan dan kumparan sekunder adalah kumparan yang melepas daya dan dinyatakan sebagai terminal keluaran, kedua kumparan dibelit pada suatu inti yang terdiri atas material magnetik berlaminasi, secara sederhana transformator dapat dibagi menjadi tiga bagian yaitu lilitan primer, lilitan sekunder dan inti besi.

Lilitan sekunder merupakan bagian transformator yang terhubung dengan rangkaian beban, sedangkan inti besi merupakan bagian transformator yang

bertujuan untuk mengarahkan keseluruhan fluks magnet yang dihasilkan oleh lilitan primer agar masuk ke lilitan sekunder.

Landasan fisik transformator adalah induktansi mutual (timbang balik) antara kedua rangkaian yang dibutuhkan oleh suatu fluks magnetik bersama yang melewati suatu jalur dengan reluktansi rendah, kedua kumparan memiliki induktansi mutual yang tinggi, jika suatu kumparan disambungkan pada suatu sumber tegangan bolak balik, suatu fluks bolak balik terjadi di dalam inti berlaminasi, yang sebagian besar akan mengait pada kumparan lainnya, dan di dalamnya akan terinduksi suatu gaya gerak listrik (ggl).

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.3



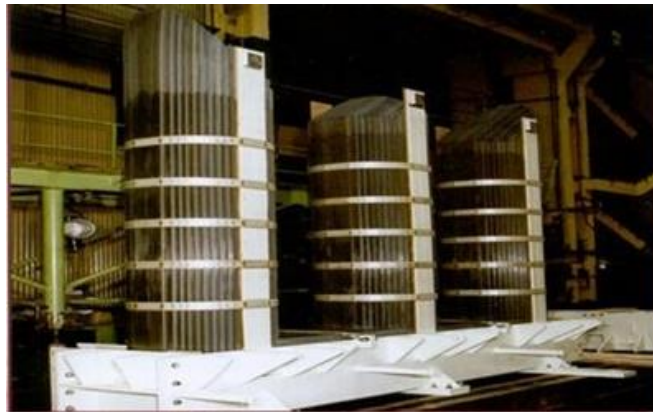
Gambar 2.3 Elektromagnetik Pada Transformator

### 2.3.1 Bagian-Bagian Transformator Daya

Transformator mempunyai beberapa bagian yaitu :

#### 1. Inti Besi

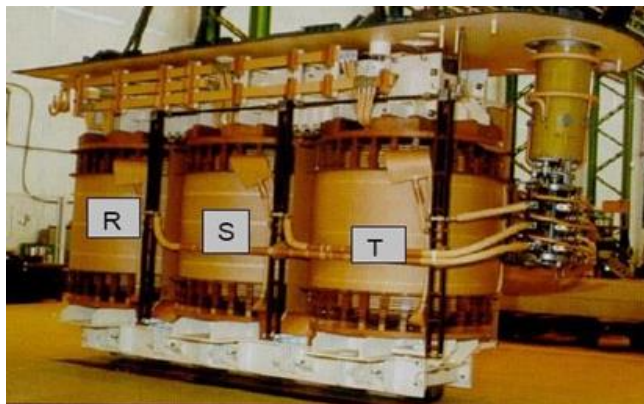
Inti besi berfungsi untuk mempermudah jalan fluksi yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melalui kumparan, inti besi dibuat dari lempengan – lempengan besi tipis yang berisolasi untuk mengurangi panas (sebagai rugi – rugi besi) yang ditimbulkan oleh *Eddy Current*.



Gambar 2.4 Inti Besi Transformator

## 2. Kumparan Transformator

Kumparan trafo adalah beberapa lilitan kawat berisolasi yang membentuk suatu kumparan atau gulungan, kumparan tersebut terdiri dari kumparan primer dan kumparan sekunder yang diisolasi baik terhadap inti besi maupun terhadap antar kumparan dengan isolasi padat seperti karton, pertina, dan lain – lain yang dapat dilihat pada gambar 2.5



Gambar 2.5 Kumparan Transformator

## 3. Bushing

*Bushing* merupakan sarana penghubung antara belitan dengan jaringan luar, bushing terdiri dari sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator, isolator tersebut berfungsi sebagai penyekat antara konduktor bushing dengan *body main tank* transformator.





Gambar 2.6 Bushing Transformator

#### 4. Pendingin

Suhu pada trafo yang sedang beroperasi akan dipengaruhi oleh kualitas tegangan jaringan, rugi-rugi pada trafo itu sendiri dan suhu lingkungan, suhu operasi yang tinggi akan mengakibatkan rusaknya isolasi kertas pada trafo, oleh karena itu pendinginan yang efektif sangat diperlukan, minyak isolasi trafo selain merupakan media isolasi juga berfungsi sebagai pendingin, pada saat minyak bersirkulasi panas yang berasal dari belitan akan dibawa oleh minyak sesuai jalur sirkulasinya dan akan didinginkan pada sirip – sirip radiator, adapun proses pendinginan ini dapat dibantu oleh adanya kipas dan pompa sirkulasi guna meningkatkan efisiensi pendinginan.

#### 5. *Oil Preservation And Expansion* (Konservator)

Saat terjadi kenaikan suhu operasi pada trafo, minyak isolasi akan memuai sehingga volumenya bertambah, sebaliknya saat terjadi penurunan suhu operasi, maka minyak akan menyusut dan volume minyak akan turun, konservator digunakan untuk menampung minyak pada saat trafo mengalami kenaikan suhu.



Gambar 2.7 Konservator Oil Preservation and Expansion

Seiring dengan naik turunnya volume minyak di konservator akibat pemuaian dan penyusutan minyak, volume udara di dalam konservator pun akan bertambah dan berkurang, penambahan atau pembuangan udara di dalam konservator akan berhubungan dengan udara luar agar minyak isolasi trafo tidak terkontaminasi oleh kelembaban dan oksigen dari luar (untuk tipe konservator tanpa *rubber bag*) maka udara yang akan masuk ke dalam konservator akan difilter melalui *silica gel* sehingga kandungan uap air dapat diminimalkan untuk menghindari agar minyak trafo tidak berhubungan langsung dengan udara luar, maka saat ini konservator dirancang dengan menggunakan *breather bag/ rubber bag* yaitu sejenis balon karet yang dipasang di dalam tangki konservator.

#### 6. Minyak Isolasi Transformator

Minyak isolasi pada transformator berfungsi sebagai media isolasi, pendingin dan pelindung belitan dari oksidasi, minyak isolasi trafo merupakan minyak mineral yang secara umum terbagi menjadi tiga jenis yaitu *parafinik, naphthanik dan aromatic*, antara ketiga jenis minyak dasar tersebut tidak boleh dilakukan pencampuran karena memiliki sifat fisik maupun kimia yang berbeda.

#### 7. Tap Changer

Kestabilan tegangan dalam suatu jaringan merupakan salah satu hal yang dinilai sebagai kualitas tegangan, transformator dituntut memiliki nilai tegangan keluaran yang stabil sedangkan besarnya tegangan masukan tidak selalu sama, dengan mengubah banyaknya belitan pada sisi primer diharapkan dapat merubah rasio antara belitan primer dan sekunder dan dengan demikian tegangan keluaran/sekunder pun dapat disesuaikan dengan kebutuhan sistem berapapun

tegangan masukan/ primernya, penyesuaian rasio belitan ini disebut Tap changer, proses perubahan rasio belitan ini dapat dilakukan pada saat trafo sedang berbeban (*On load tap changer*) atau saat trafo tidak berbeban (*Off load tap changer*), *tap changer* terdiri dari :

- *Selector Switch*
- *Diverter Switch*
- Tahanan transisi

Dikarenakan aktifitas *tap changer* lebih dinamis dibanding dengan belitan utama dan inti besi, maka kompartemen antara belitan utama dengan *tap changer* dipisah, *selector switch* merupakan rangkaian mekanis yang terdiri dari terminal-terminal untuk menentukan posisi *tap* atau rasio belitan primer, *diverter switch* merupakan rangkaian mekanis yang dirancang untuk melakukan kontak atau melepaskan kontak dengan kecepatan yang tinggi, tahanan transisi merupakan tahanan sementara yang akan dilewati arus primer pada saat perubahan tap untuk mengisolasi dari bodi trafo (tanah) dan meredam panas pada saat proses perpindahan tap, maka OLTC direndam di dalam minyak isolasi yang biasanya terpisah dengan minyak isolasi utama trafo (ada beberapa trafo yang kompartemennya menjadi satu dengan main tank) karena pada proses perpindahan hubungan tap di dalam minyak terjadi fenomena elektris, mekanis, kimia dan panas, maka minyak isolasi OLTC kualitasnya akan cepat menurun tergantung dari jumlah kerjanya dan adanya kelainan di dalam OLTC.

#### 8. *Neutral Grounding Resistor (NGR)*

Salah satu metoda pentanahan adalah dengan menggunakan NGR, NGR adalah sebuah tahanan yang dipasang serial dengan netral sekunder pada trafo sebelum terhubung ke ground / tanah, tujuan dipasangnya NGR adalah untuk mengontrol besarnya arus gangguan yang mengalir dari sisi netral ke tanah, ada dua jenis NGR *Liquid* dan *Solid*.

##### a. *Liquid*

Berarti resistornya menggunakan larutan air murni yang ditampung di dalam bejana dan ditambahkan garam (NaCl) untuk mendapatkan nilai resistansi yang diinginkan.

*b. Solid*

Sedangkan NGR jenis padat terbuat dari *Stainless Steel*, *FeCrAl*, *Cast Iron*, *Copper Nickel* atau *Nichrome* yang diatur sesuai nilai tahanannya.

## **2.4 Sistem Proteksi**

Sistem proteksi merupakan suatu cara yang digunkan untuk mencegah terjadinya kerusakan peralatan listrik akibat adanya suatu gangguan, sehingga penyaluran pasokan tenaga listrik dapat tetap dipertahankan.

### **2.4.1 Tujuan Sistem Proteksi**

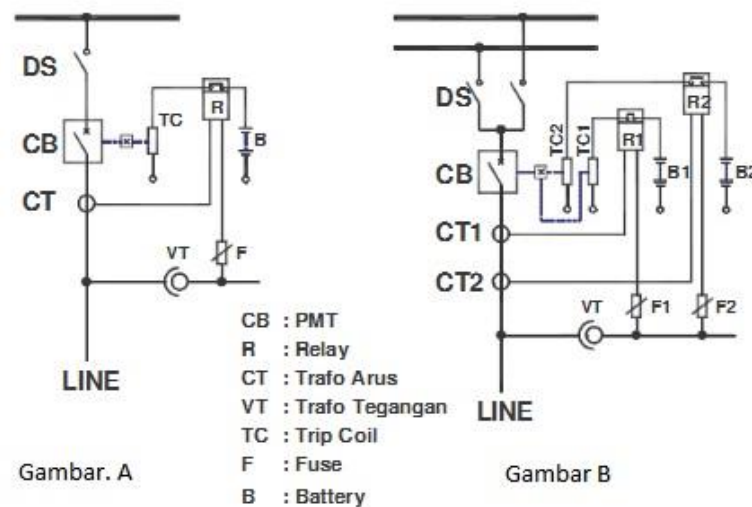
Mayoritas gangguan yang terjadi pada sistem distribusi tenaga listrik adalah gangguan hubung singkat, dimana gangguan ini menimbulkan arus yang cukup besar, semakin besar sistem jaringan distribusi tenaga listrik maka semakin besar pula gangguan yang terjadi, dengan arus gangguan yang besar maka akan merusak peralatan listrik yang dilalui aliran arus tersebut, maka dari itu untuk mencegah meluasnya daerah yang terdampak gangguan harus dilakukan penanganan dengan melepaskan daerah terdampak gangguan dari jaringan distribusi dengan sistem proteksi yang tersedia, sejatinya sistem proteksi merupakan alat pengaman yang bertujuan melepaskan atau membuka sistem yang terganggu sehingga dapat menghilangkan arus gangguan, berikut beberapa tujuan dan fungsi sistem proteksi antara lain:

- Mendeteksi kondisi yang tidak normal pada sistem jaringan distribusi tenaga listrik, untuk mengurangi kerusakan yang terjadi pada peralatan listrik yang dilalui arus gangguan.
- Untuk mengisolir daerah terdampak gangguan menjadi sekecil mungkin.
- Memberikan pelayanan listrik dengan keandalan yang tinggi kepada konsumen.
- Mengamankan manusia terhadap bahaya yang ditimbulkan oleh listrik.

## **2.5 Pemutus Tenaga**

Pemutus tenaga (PMT) atau *circuit breaker* (CB) merupakan peralatan yang dapat di gunakan untuk menghubungkan atau memutuskan arus listrik sesuai

dengan kapasitas ratingnya, *circuit breaker* mempunyai kemampuan untuk memutuskan arus beban dan arus gangguan hubung singkat pada tegangan tinggi dalam waktu yang relatif sangat cepat, energi mekanik yang diperlukan untuk membuka kontak utama diperoleh dari gaya pegas, tekanan hidrolik, tekanan *pneumatik* atau dari beberapa kombinasi diantaranya, pada saat CB memutuskan atau menghubungkan arus listrik akan timbul busur api dan untuk memadamkan busur api tersebut digunakan beberapa bahan pada CB antara lain : minyak, udara, dan gas.



Gambar 2.8 Diagram Pemutus Tenaga

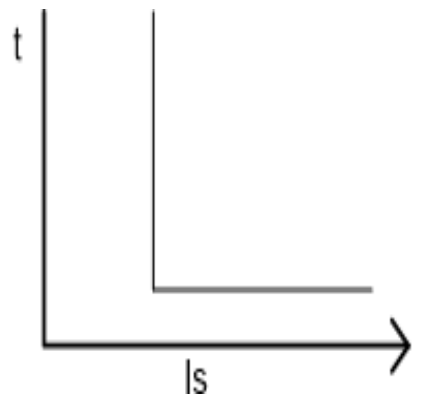
## 2.6 Over Current Relay (OCR)

*Relay* arus lebih adalah suatu *relay* dimana bekerjanya berdasarkan adanya kenaikan arus yang melewatinya, disamping terhadap kenaikan arusnya *relay* tersebut juga harus dapat bekerja pada jangka waktu yang telah ditentukan, pengaturan waktu ini selain untuk keamanan peralatan juga sering dikaitkan dengan masalah koordinasi pengamanan, berdasarkan prinsip kerja dan konstruksinya *relay* ini termasuk *relay* yang paling sederhana, murah dan mudah dalam penyediaan *relay* ini digunakan untuk mengamankan peralatan terhadap gangguan hubung singkat antar fasa, hubung singkat satu fasa ketanah, dan juga dapat digunakan sebagai pengaman beban lebih, digunakan sebagai pengaman utama pada jaringan distribusi dan sub-transmisi *system radial*, sebagai pengaman cadangan untuk generator, transformator daya dan saluran transmisi.

Berdasarkan karakteristik waktu, *over current relay* dikategorikan menjadi 3 antara lain :

1. *Over current relay* sesaat (*instantaneous*)

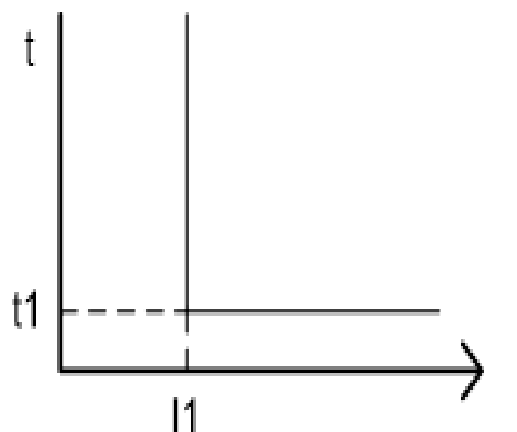
Relay ini tidak mempunyai waktu tunda, titik kerja *relay* ini di lokasi terdekat pemasangan *relay*, perbedaan level gangguan didasarkan dari lokasi sistem.



Gambar 2.9 Karakteristik OCR Tipe Sesaat

2. *Over current relay* waktu tertentu (*definite time*)

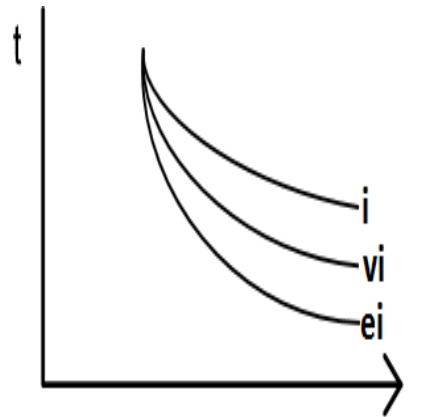
*Relay* ini memiliki waktu tunda yang tetap, tanpa tergantung pada nilai arus *short circuit*, jika arus *short circuit* telah melewati batas yang diterapkan dalam arus *settingnya*, maka *relay* akan bekerja dengan waktu yang tetap tanpa mempedulikan nilai arus *short circuit*.



Gambar 2.10 Karakteristik OCR Tipe Waktu Tertentu

### 3. *Over current relay* berbanding terbalik (*inverse time*)

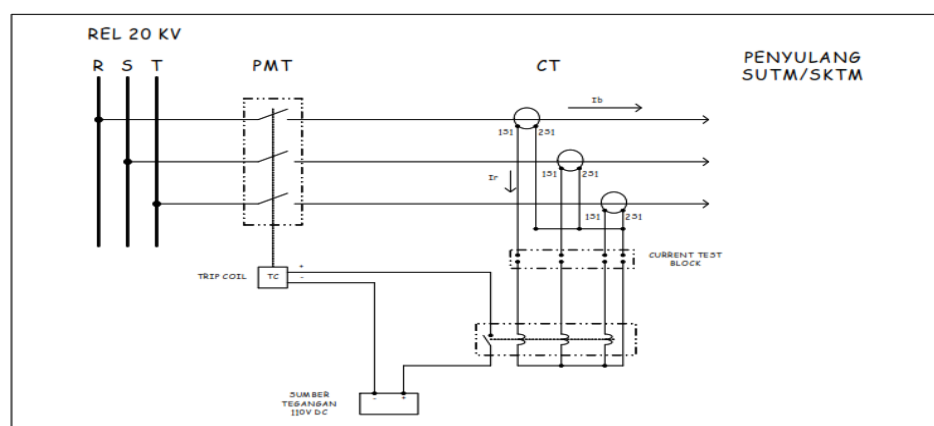
*Relay* ini merupakan *relay* yang waktu tundanya mempunyai karakteristik tergantung pada besarnya arus gangguan, jadi semakin besar arus gangguan maka waktu keja *relay* akan semakin cepat, arus gangguan berbanding terbalik dengan waktu kerja *relay*.



Gambar 2.11 Karakteristik OCR Tipe Berbanding Terbalik

#### 2.6.1 Prinsip Kerja *Over Current Relay*

Pada prinsipnya *relay* ini bekerja atas dasar keberadaan arus lebih yang dideteksi *relay*, baik dikarenakan gangguan *short circuit* maupun *overload* yang kemudian memberikan perintah *trip* terhadap pemutus tenaga berdasarkan karakteristik waktu.



Gambar 2.12 Rangkaian Pengkawatan *Relay* Arus Lebih

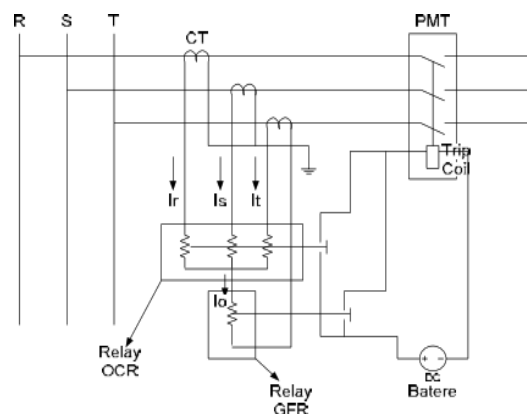
Cara kerjanya dapat diuraikan sebagai berikut :

- Di kondisi normal maka SUTM/SKTM akan dialiri arus beban dan oleh trafo arus nilai arus beban ini di transformasikan ke nilai arus beban sekunder ( $I_r$ ), arus ( $I_r$ ) mengalir pada kumparan relai namun jika nilai arus ini memiliki nilai dibawah dari nilai arus setting *relay* maka *relay* tak akan bekerja.
- Namun apabila arus beban ( $I_b$ ) akan naik dikarenakan gangguan maka nilai arus sekunder ( $I_r$ ) naik juga, apabila arus sekunder ( $I_r$ ) ini naik melewati batas yang ditentukan dalam penyettingan arus setting *relay* maka *relay* akan bekerja dan memberi perintah terhadap pemutus tenaga untuk trip sehingga SUTM/SKTM yang terdampak gangguan terpisah dari jaringan utama.

## 2.7 Ground Fault Relay (GFR)

*Relay* gangguan tanah atau yang lebih dikenal dengan GFR (*Ground Fault Relay*) pada dasarnya mempunyai prinsip kerja yang sama dengan *over current relay* namun memiliki perbedaan dalam kegunaannya, bila *over current relay* mendeteksi adanya hubungan singkat antara fasa maka *relay* gangguan tanah mendeteksi adanya hubungan singkat ke tanah.

Berikut merupakan gambar rangkaian pengawatan *relay* gangguan tanah:



Gambar 2.13 Rangkaian Pengkawatan Relay Gangguan Tanah

### 2.7.1 Prinsip Kerja *Ground Fault Relay*

Pada saat kondisi normal beban seimbang ( $I_r$ ,  $I_s$ ,  $I_t$  sama besar) pada kawat netral tidak timbul arus dan *relay* gangguan tanah tidak dialiri arus



listrik, jadi *relay* ini akan bekerja pada saat terjadi ketidak seimbangan arus atau terjadi gangguan hubung singkat ke tanah yang menyebabkan timbulnya arus urutan nol pada kawat netral.

## **2.8 Gangguan Sistem Tenaga Listrik**

Gangguan merupakan keadaan menyimpang atau ketidaknormalan dari suatu sistem, gangguan dalam sistem tenaga listrik merupakan kejadian yang menyebabkan *relay* dan pemutus tenaga *trip* diluar kehendak operator sehingga mengakibatkan putusnya aliran daya yang melalui pemutus tersebut, untuk bagian sistem yang diamankan dengan sekring, gangguan terjadi akibat putusnya sekring, gangguan dapat mengakibatkan kerusakan pada sistem tenaga listrik.

## **BAB 3**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Tempat dan Waktu**

##### **3.1.1 Tempat Penelitian**

Dalam pelaksanaan penelitian dan penulisan tugas akhir ini dilakukan dengan pengambilan data langsung di PT. PLN (Persero) UPT Medan Gardu Induk 150 kV Glugur Jalan KL. Yos Sudarso Lor. 12 Medan.

##### **3.1.2 Waktu Penelitian**

Waktu pelaksanaan dilakukan dalam waktu 5 bulan terhitung dari tanggal terhitung dari tanggal 14 Juni 2021 sampai 14 November 2021. Dimulai dengan persetujuan proposal ini sampai selesai penelitian. Penelitian ini diawali dengan kajian awal (tinjauan pustaka), pengumpulan data koordinasi sistem proteksi pada transformator gardu induk

#### **3.2 Metode Penelitian**

Penelitian dan pengambilan data dilaksanakan pada tanggal 14 Juni 2021 sampai dengan 14 Agustus 2021 bertempat di GI glugur. Objek penelitian ini adalah hal –hal yang berkaitan dengan analisis koordinasi system proteksi pada transformator gardu induk glugur. Pengumpulan data meliputi data primer dan data sekunder. Data primer yaitu pengambilan data yang diambil sesuai dengan kondisi di lapangan, sedangkan data sekunder didapatkan dari studi literatur baik berupa buku, jurnal-jurnal, rekap pembukuan gardu induk glugur, melakukan konsultasi dan diskusi dengan pembimbing akademik, pegawai PT PLN (PERSERO) bagian HAR (pemeliharaan proteksi), dan HAR transmisi yang bersangkutan sehingga data yang diperoleh pada penelitian ini berupa data kualitatif dan kuantitatif. Untuk menyelesaikan tugas akhir maka dilakukan beberapa metode :

1. Study literatur

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

2. Pengumpulan data

Melakukan pengambilan data pada sistem proteksi gardu induk glugur.

### 3. Analisa Data

Menghitung dan memahami data yang diperoleh sehingga dapat meyakinkan sistem berjalan dengan baik.

### 4. Kesimpulan

Membuat kesimpulan berupa hasil setting yang dibutuhkan pada sistem transmisi.

## 3.3 Teknik Analisa Data

Adapun teknik analisa data yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini adalah :

### 1. Melakukan pengumpulan data

Data pendukung untuk penulisan tugas akhir ini didapatkan di PT PLN (PERSERO) Gardu Induk Glugur, data yang diambil merupakan data sekunder yang sudah ada di arsip PT PLN (PERSERO) Gardu Induk Glugur, data yang diambil yaitu :

1. Data Transformator,
2. Data Arus Hubung Singkat,
3. Data *Over Current Relay*,
4. Data *Ground Fault Relay*,
5. Data Gangguan yang terjadi pada transformator.

### 2. Pengolahan data

Data yang sudah didapat akan diolah untuk mendapatkan hasil koordinasi sistem proteksi transformator pada gardu induk glugur agar dapat bekerja sesuai dengan ketentuannya, dalam pengolahan data akan mencari impedansi, *setting over current relay*, dan *setting ground fault relay*.

### 3. Analisa hasil perhitungan

Hasil dari pengolahan data akan di analisa untuk mendapatkan nilai yang tepat, dalam hasil perhitungan akan dibandingkan dengan kondisi yang terdapat dilapangan.

### 4. Pembuatan laporan

Hasil dari keseluruhan akan dituliskan pada tugas akhir.

### 3.5 Metode Analisis Data

#### 3.5.1 Gangguan Hubung Singkat (*Short Circuit Fault*)

Hubung singkat merupakan salah satu gangguan sistem tenaga listrik yang mempunyai karakteristik *transient* yang harus dapat diatasi oleh peralatan pengaman, hubung singkat terjadi akibat hubungan penghantar bertegangan atau penghantar tidak bertegangan secara langsung tidak melalui media (resistor/beban) yang semestinya sehingga terjadi aliran arus yang tidak normal (sangat besar), dalam mencapai keadaan gangguan ini tidak jarang di berbagai titik pada jaringan sengaja dibuat gangguan, besarnya arus gangguan ini dapat digunakan sebagai acuan dalam menentukan berapa setting arus yang sebaiknya digunakan untuk proteksi serta *rating-rating* CB yang diperlukan.

Analisis dan perhitungan arus hubung singkat (*short circuit*) dilakukan untuk menentukan besarnya arus hubung singkat yang timbul pada suatu jaringan sehingga dapat menentukan rating ketahanan peralatan yang terpasang pada sistem, selain itu analisis hubung singkat dilakukan untuk mengidentifikasi potensi masalah pada suatu sistem sehingga membantu dalam perencanaan serta pengaturan koordinasi proteksi, metode yang digunakan dalam perhitungan arus hubung singkat salah satunya dengan menggunakan metode impedansi.

#### 3.5.2 Menghitung Impedansi

1. Menghitung impedansi sumber ( $X_s$ ) pada bus 150kv menggunakan persamaan 1 sebagai berikut:

$$X_s = \frac{KV^2}{MVA} \quad (1)$$

Untuk mengkonversi impedansi yang terletak pada sisi 150kv ke sisi 20kv menggunakan persamaan 2.

$$X_s (\text{sisi } 20kv) = \frac{KV^2}{MVA^2} \times X_s (\text{sisi } 150kv) \quad (2)$$

2. Menghitung impedansi transformator yaitu dengan menggunakan persamaan 3.

$$X_t \text{ (pada 100\%)} = \frac{KV^2}{MVA} \quad (3)$$

Setelah itu mencari nilai reaktansi positif dan negatif ( $X_{t1} = X_{t2}$ ) menggunakan persamaan 4.

$$X_t = \% \text{ yang diketahui} \times X_t \text{ (pada 100\%)} \quad (4)$$

3. Menghitung impedansi penyulang dengan menggunakan persamaan 5 untuk urutan positif dan negatif serta persamaan 6 untuk impedansi urutan nol.

$$Z_1 = Z_2 = \% \text{ panjang} \times \text{panjang penyulang (km)} \times Z_1/Z_2 \quad (5)$$

$$Z_0 = \% \text{ panjang} \times \text{panjang penyulang (km)} \times Z_0 \quad (6)$$

Menghitung arus gangguan hubung singkat (*short circuit*), untuk mencari gangguan satu fasa ke tanah dapat menggunakan persamaan 7.

$$I_1 \text{ fasa} = \frac{3.V_{ph}}{Z_{0eq} + Z_{1eq} + Z_{2eq}} \quad (7)$$

Dimana :  $I_1$  fasa = Arus gangguan hubung singkat satu fasa (A)

$V_{ph}$  = Tegangan fasa-fasa sistem 20kv

$Z_{1eq}$  = Impedansi ekivalen urutan positif (ohm)

$Z_{0eq}$  = Impedansi ekivalen urutan nol.

Untuk mencari gangguan hubung singkat dua fasa dapat menggunakan persamaan 8.

$$I_2 \text{ fasa} = \frac{V_{ph-ph}}{2Z_{1eq}} \quad (8)$$

Dimana :  $I_2$  fasa = Arus gangguan hubung singkat 2 fasa (A)

$V_{ph-ph}$  = Tegangan fasa-fasa sistem 20kv

$Z_{1eq}$  = Impedansi ekivalen urutan positif (ohm).

Untuk mencari gangguan hubung singkat tiga fasa dapat menggunakan persamaan 9.

$$I_3 \text{ fasa} = \frac{V_{ph}}{Z_{1eq}} \quad (9)$$

Dimana :  $I_3$  fasa = Arus gangguan hubung singkat 3 fasa (A)

$V_{ph}$  = Tegangan fasa-netral sistem 20kv

$Z_{1eq}$  = Impedansi ekivalen urutan positif (ohm).

### 3.5.3 Karakteristik *Inverse Time*

Berikut daftar konstanta khusus untuk tiap kategori karakteristik *inverse time* :

NAMA KURVA	A	B
<i>STANDAR INVERSE</i>	0,14	0,02
<i>VERY INVERSE</i>	13.5	1
<i>EXTREMELY INVERSE</i>	80	2
<i>LONG TIME INVERSE</i>	120	1

Tabel.3.1 Daftar Konstanta *Inverse Time*

Untuk perhitungan waktu kerja OCR berdasarkan bentuk kurangnya dapat dilihat pada persamaan 10 sampai persamaan 13.

#### 1. *Standard Inverse*

$$t = \left[ \frac{0,14}{Ir^{0,02}-1} \right] \text{TMS} \quad (10)$$

#### 2. *Very Inverse*

$$t = \left[ \frac{13,5}{Ir-1} \right] \text{TMS} \quad (11)$$

#### 3. *Extremely Inverse*

$$t = \left[ \frac{80}{Ir^2-1} \right] \text{TMS} \quad (12)$$

#### 4. *Long Time Inverse*

$$t = \left[ \frac{120}{Ir-1} \right] \text{TMS} \quad (13)$$

Dimana : t = Waktu kerja *relay*

TMS = *Time Multiple Setting*

A = Konstanta Inverse 1

B = Konstanta Inverse 2

### 3.5.4 Penetapan *Over Current Relay*

#### 1. *Over Current Relay*

*Setting relay* dimulai dari sisi hilir (sisi *outgoing feeder*) selanjutnya ke sisi hulu (sisi *incoming feeder*), *setting standart inverse*.

$$I_{set \text{ primer}} = 1,1 \times \text{Arus Beban (Amp)} \quad (14)$$

$$I_{set \text{ sekunder}} = \frac{I_{set \text{ primer}}}{\text{Rasio CT}} \text{ Amp} \quad (15)$$

#### 2. *Setting Instan Over Current Relay*

*Setting* ini didasarkan *setting* arus besar, penentuan titik gangguan setelah nilai arus dari high set trafo tenaga terpasang diperoleh:

$$I_{set \text{ primer}} = 4 \times I_n \text{ trafo} \quad (16)$$

$$I_{set \text{ sekunder}} = \frac{I_{set \text{ primer}}}{\text{Rasio CT}} \text{ Amp} \quad (17)$$

### 3.5.5 Penetapan *Ground Fault Relay*

#### 1. *Setting Ground Fault Relay*

*Setting* menggunakan karakteristik standar *invers* dengan diambil arus gangguan satu fasa ketanah terjauh/terkecil.

$$I_{set \text{ primer}} = 10\% \times I_{f \text{ 1 fasa}} \text{ Amp} \quad (18)$$

$$I_{set \text{ sekunder}} = \frac{I_{set \text{ primer}}}{\text{Rasio CT}} \text{ Amp} \quad (19)$$

#### 2. *Setting Instan Ground fault relay*

*Setting* instan didasarkan *setting* arus besar dari gangguan hubung singkat satu fasa ketanah. Dalam hal pemilihan arus gangguan tidak ada standar tetapi dipilih nilai maksimum gangguan dititik 50%.

$$I_{set \text{ Primer}} = 50\% \times I_{f \text{ 1 fasa}} \text{ Amp} \quad (20)$$

$$I_{set \text{ sekunder}} = \frac{I_{set \text{ primer}}}{\text{Rasio CT}} \text{ Amp} \quad (21)$$

### 3.5.6 Perhitungan *Incoming Feeder*

#### 1. *Over current relay*

*Setting* menggunakan karakteristik *standar invers*.

$$I_{\text{set primer}} = 1,1 \times \text{Arus Beban (Amp)} \quad (22)$$

$$I_{\text{set sekunder}} = \frac{I_{\text{set primer}}}{\text{Rasio CT}} \text{ Amp} \quad (23)$$

Pada *setting incoming*, terdapat tunda waktu antara *incoming* dan *outgoing* diambil waktu 0,4 detik dan *t out going* 0,3 detik.

#### 2. *Setting High Set*

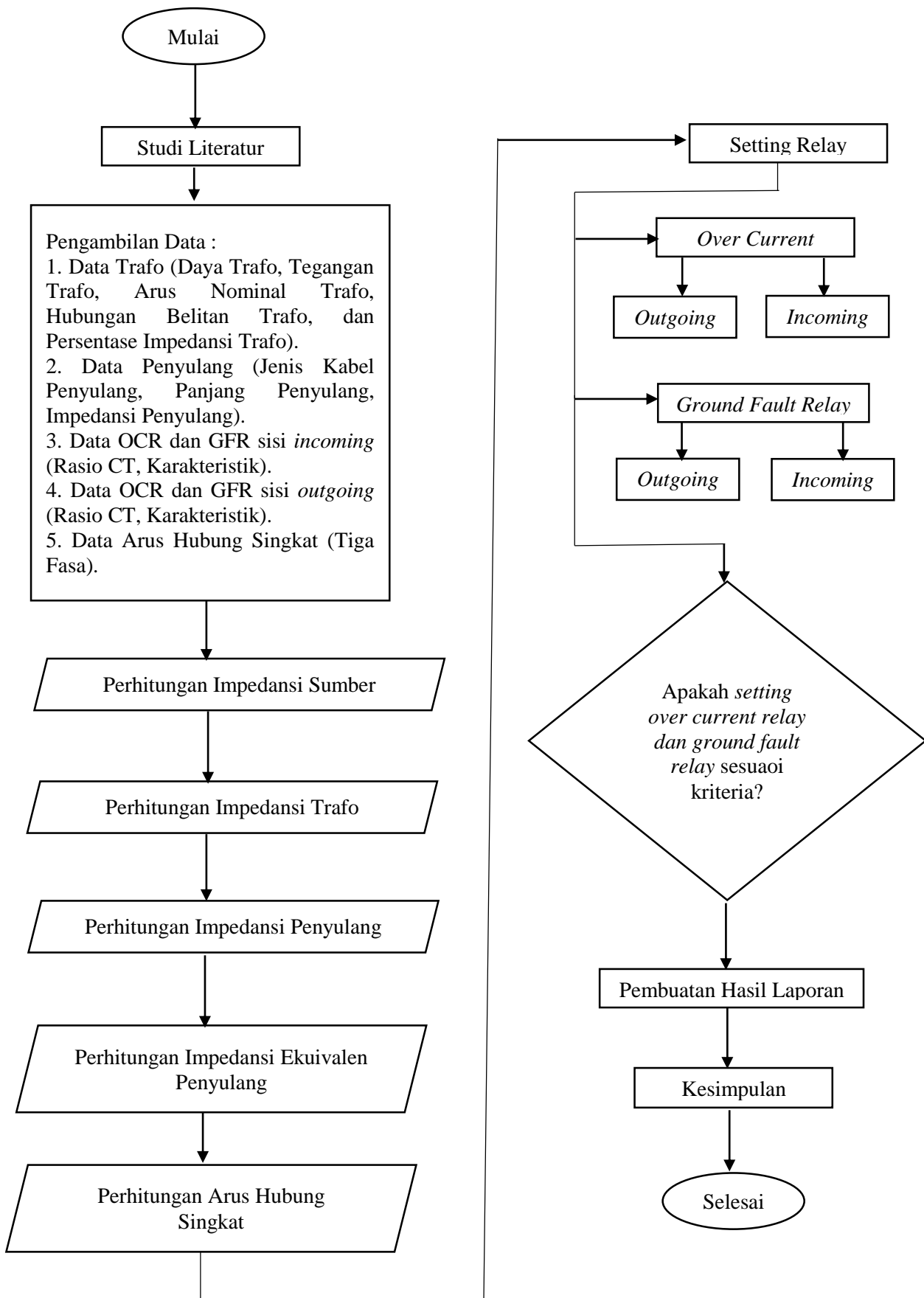
*Setting high set* adalah *setting relay* di *incoming feeder* dengan pasokan daya dari gardu induk digunakan untuk mengamankan trafo tenaga dari kerusakan akibat gangguan hubungan singkat.

$$I_{\text{set primer}} = 4 \times I_n \text{ trafo} \quad (24)$$

### 3.6 Bagan Alir Penelitian

Berikut merupakan diagram alir tahapan-tahapan kegiatan yang penulis lakukan dalam penelitian :





Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

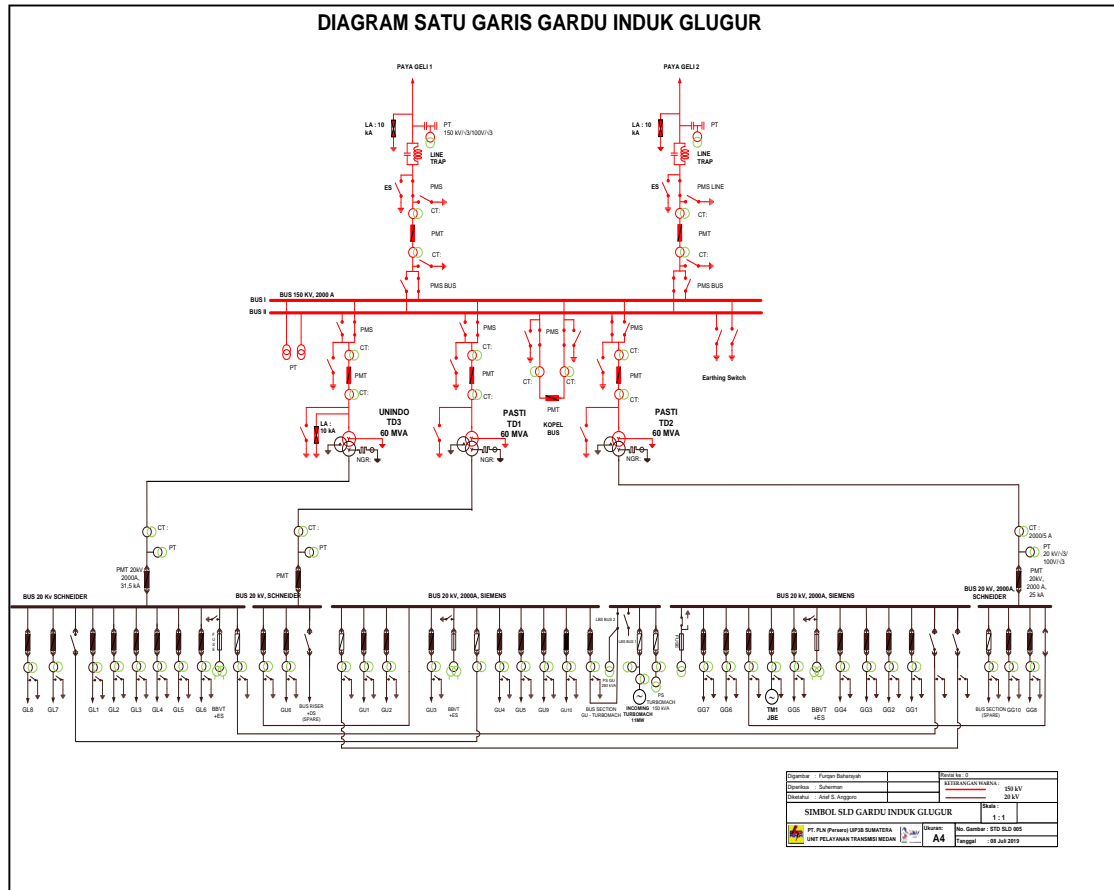
#### 4.1 Umum

Pada bagian ini membahas tentang data pendukung berupa peralatan apa saja yang diperlukan dalam melakukan perhitungan penyetingan *relay* dan penutup balik otomatis yang memiliki fungsi sebagai pengaman trafo daya, serta menentukan koordinasi dari peralatan proteksinya. Berikut data yang digunakan :

1. Data Spesifikasi Transformator Daya 60 MVA No.1 Gardu Induk Glugur :
  - a. *Merk* : UNINDO
  - b. *Type* : OIL IMMERSED
  - c. No. Seri : P060LEC879
  - d. Daya : 60 MVA
  - e. Tegangan : 150/22 kV
  - f. Hubungan Belitan : YNyn0+d
  - g. Pendingin : ONAN/ONAF
  - h. Impedansi Z% : 12,5%
  - i. In Trafo : 1732 A
  - j. Ratio CT : 800/5 A
2. Data Spesifikasi OCR dan GFR di *incoming* Penyulang :
  - a. *Merk* : SIEMENS
  - b. *Type* : 7SR2203
  - c. No. Seri : GF1604502837
  - d. Karakteristik : Standar Inverse
  - e. Ratio CT : 2000/5
3. Data Spesifikasi OCR dan GFR di *outgoing* Penyulang :
  - a. *Merk* : SIEMENS
  - b. *Type* : 7SR21
  - c. No. Seri : GF1603502698
  - d. Karakteristik : *Standar Inverse*
  - e. Ratio CT : 800/5

## 4.2 Perhitungan dan Analisis Data

Dibawah ini adalah gambar *Single Line Diagram* Gardu Induk Glugur yang digunakan sebagai untuk membantu proses perhitungan analisa data



Gambar 4.1 *Single Line Diagram* Gardu Induk Glugur Medan

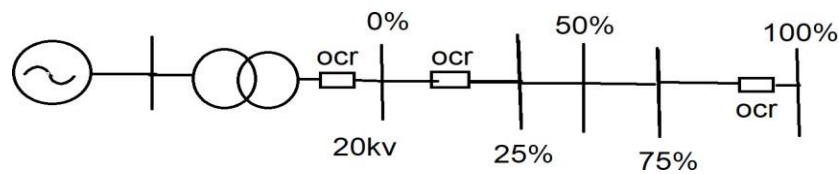
Dari diagram diatas analisis koordinasi sistem proteksi pada transformator yang di analisa ialah pada trafo dengan merk UNINDO TD3 60 MVA dengan panjang penyulang sampai ke trafo distribusi GL1 sepanjang 5,398 Km, gangguan-gangguan yang sering terjadi pada transformator daya ialah arus hubung singkat 1 fasa ke tanah, gangguan arus hubung singkat fasa ke tanah, arus gangguan hubung singkat 3 fasa, maka diperlukan sistem proteksi (pengaman) yang baik pada transformator agar gangguan yang terjadi tidak meluas ke sistem yang lain.

Transformator merupakan peralatan utama pada gardu induk, kerusakan pada transformator akan dapat mengganggu penyaluran tenaga listrik sehingga harus mendapatkan pengamanan yang tepat, *setting relay* yang tepat merupakan suatu upaya untuk melindungi dan mengamankan sistem transformator daya apabila

terjadi gangguan menggunakan *over current relay* (OCR) maka pada tugas akhir ini akan dilakukan studi koordinasi sistem proteksi pada transformator gardu induk glugur dengan menggunakan beberapa perhitungan antara lain:

#### 4.2.1 Perhitungan Arus Hubung Singkat

Berdasarkan penelitian (MEIDY RIZALDO, B. H. E. R. L. I. A. N., Pramono, T. J., & Satya Dini, H.,2020). Perhitungan gangguan hubung singkat berdasarkan panjang penyulang, dengan mengasumsikan terjadi pada 0%, 25%, 50%, dan 100% dari panjang penyulang.



Gambar 4.2 Asumsi Gangguan Berdasarkan Panjang Penyulang

#### 4.2.2 Menghitung Impedansi Sumber

Berdasarkan data hubung singkat dari P2B untuk GI Glugur adalah sebesar 10673,42 MVA, maka :

$$X_s (\text{sisi } 150\text{kv}) = \frac{kV^2}{MVA_{sc} (150\text{ kv})} = \frac{150^2}{10673,42} = j2,108 \Omega$$

Untuk menghitung besarnya impedansi di sisi sekunder, maka :

$$X_s (\text{sisi } 20\text{kv}) = \frac{kV^2}{MVA_{sc} (150\text{ kv})} = \frac{20^2}{150^2} \times j2,108 \Omega = j0,037 \Omega$$

#### 4.2.3 Menghitung Reaktansi Transformator

Nilai dari reaktansi pada transformator di GI Glugur sebesar 12,5%. Untuk menghitung nilai dari reaktansi urutan positif, urutan negatif dan urutan nol, maka perlu dihitung terlebih dulu nilai ohm pada 100% nya.

$$X_t (100\%) = \frac{kV^2 \text{ sisi bus } 20\text{ kV}}{MVA (\text{trafo})} = \frac{20^2 \text{ kV}}{60\text{ MVA}} = 6,667 \Omega$$

Setelah itu mencari nilai reaktansi positif dan negatif ( $X_{t1} = X_{t2}$ ) menggunakan persamaan 4 :

$$X_t = 12,5 \% \times 6,667 \Omega = j0,833 \Omega$$

Reaktansi urutan nol ( $X_{t0}$ ), karena trafo daya yang mensuplay penyulang mempunyai hubungan belitan YNyn0+d didalamnya, maka besarnya  $X_{t0}$  adalah 3x dari  $X_{t1}$ , maka :

$$X_{t0} = 3 \times (X_{t1}) = 3 \times j0,833 \Omega = j2,499 \Omega$$

#### 4.2.4 Menghitung Impedansi Penyulang

Berdasarkan data yang didapat, jenis penghantar yang digunakan pada penyulang hanya menggunakan satu jenis kabel, yaitu kabel XIPE 3x240 mm<sup>2</sup>.

Diketahui panjang penyulang = 5,398 Km, maka impedansi penyulang :

$$\begin{aligned} Z_1 = Z_2 &= 5,398 \text{ km} \times (0,125 + j0,097) \Omega/\text{km} \\ &= 0,674 + j0,523 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_0 &= 5,398 \text{ km} \times (0,275 + j0,029) \Omega/\text{km} \\ &= 1,484 + j0,256 \Omega \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, maka nilai impedansi penyulang dari lokasi titik gangguan dengan jarak 1%, 25%, 50%, 75%, dan 100% dari panjang penyulang adalah :

##### 1. Urutan positif dan negatif

Tabel 4.1 Impedansi Penyulang Urutan Positif dan Negatif

Persentase Panjang Penyulang	Impedansi Penyulang
1%	1% x (0,674 + j0,523) = 0,0067 + j0,0052 Ω
25%	25% x (0,674 + j0,523) = 0,1685 + j0,1307 Ω
50%	50% x (0,674 + j0,523) = 0,337 + j0,2615 Ω
75%	75% x (0,674 + j0,523) = 0,5055 + j0,3922 Ω
100%	100% x (0,674 + j0,523) = 0,674 + j0,523 Ω

## 2. Urutan Nol

Tabel 4.2 Impedansi Penyulang Urutan Nol

Persentase Panjang Penyulang	Impedansi Penyulang
1%	$1\% \times (1,484 + j0,256) = 0,0148 + j0,0025 \Omega$
25%	$25\% \times (1,484 + j0,256) = 0,371 + j0,064 \Omega$
50%	$50\% \times (1,484 + j0,256) = 0,742 + j0,128 \Omega$
75%	$75\% \times (1,484 + j0,256) = 1,113 + j0,192 \Omega$
100%	$100\% \times (1,484 + j0,256) = 1,484 + j0,256 \Omega$

### 4.2.5 Menghitung Impedansi Ekuivalen Penyulang

Setelah mendapatkan data impedansi penyulang, maka selanjutnya melakukan perhitungan impedansi ekuivalen penyulang, dimana persamaannya :

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = Z_{is} (\text{sisi } 20\text{kv}) + Z_{iT} + Z_{1penyulang}$$

Karena lokasi gangguan diasumsikan terjadi pada jarak 1%, 25%, 50%, 75%, dan 100% panjang penyulang, maka  $Z_{1eq}$  ( $Z_{2eq}$ ) yang didapat adalah :

$$\text{Pada Jarak 1\%} = j0,037 + j0,833 + 0,0067 + j0,0052 = 0,006 + j0,875 \Omega$$

$$\text{Pada Jarak 25\%} = j0,037 + j0,833 + 0,1685 + j0,1307 = 0,168 + j1,000 \Omega$$

$$\text{Pada Jarak 50\%} = j0,037 + j0,833 + 0,337 + j0,2615 = 0,337 + j1,1315 \Omega$$

$$\text{Pada Jarak 75\%} = j0,037 + j0,833 + 0,5055 + j0,3922 = 0,505 + j1,262 \Omega$$

$$\text{Pada Jarak 100\%} = j0,037 + j0,833 + 0,674 + j0,523 = 0,674 + j1,393 \Omega$$

Untuk menghitung impedansi ekuivalen urutan nol, maka digunakan persamaan dibawah ini :

$$Z_{0eq} = Z_{0t} + 3RN + Z_{0penyulang}$$

Pada Jarak 1%	$= j2,499 + 3.40 + 0,0148 + j0,0025 = 120,014 + j2,501 \Omega$
Pada Jarak 25%	$= j2,499 + 3.40 + 0,371 + j0,064 = 120,371 + j2,563 \Omega$
Pada Jarak 50%	$= j2,499 + 3.40 + 0,742 + j0,128 = 120,742 + j2,627 \Omega$
Pada Jarak 75%	$= j2,499 + 3.40 + 1,113 + j0,192 = 121,113 + j2,691 \Omega$
Pada Jarak 100%	$= j2,499 + 3.40 + 1,484 + j0,256 = 121,484 + j2,755 \Omega$

## 4.2.6 Menghitung Arus Gangguan Hubung Singkat

### 4.2.6.1 Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah

Kemungkinan terjadinya gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah adalah karena adanya hubung singkat antar tiang kesalah satu kawat transmisi dan distribusi. Sesaat setelah tiang tersambar petir yang besar walaupun tahanan kaki tiangnya cukup rendah namun bisa juga karena gangguan fasa ke tanah ini terjadi sewaktu salah satu kawat fasa transmisi atau distribusi tersentuh pohon yang cukup tinggi, dll. Perhitungan gangguan hubung singkat ini dapat dihitung berdasarkan panjang penyulang, titik gangguan dihitung mulai dari 1%, 25%, 50%, 75%, dan 100% panjang penyulang.

Untuk gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini :

$$I = \frac{V}{Z}$$

Dimana :  $V = 3 \times \text{Tegangan Fasa - Netral}$

$Z = \text{Impedansi } (Z_1 + Z_2 + Z_0) \text{ ekuivalen}$

- a. Titik Gangguan Pada Jarak 1% dari panjang penyulang adalah sebagai berikut :

$$I = \frac{3 \times \frac{20000}{\sqrt{3}}}{(0,006 + j0,875) + (0,006 + j0,875) + (120,014 + j2,501)}$$

$$I = \frac{3 \times \frac{20000}{\sqrt{3}}}{(0,012 + j1,75) + (120,014 + j2,501)} = \frac{34641,01}{120,026 + j4,251}$$

$$I = \frac{34641,01}{120,101 \angle 2,028} = 288,432 \angle 2,028 \text{ A}$$

- b. Titik Gangguan Pada Jarak 25% dari panjang penyulang adalah sebagai berikut:

$$I = \frac{3 \times \frac{20000}{\sqrt{3}}}{(0,168 + j1,000) + (0,168 + j1,000) + (120,371 + j2,563)}$$

$$I = \frac{3 \times \frac{20000}{\sqrt{3}}}{(0,336 + j2) + (120,371 + j2,563)} = \frac{34641,01}{120,707 + j4,563}$$

$$I = \frac{34641,01}{120,793 \angle 2,165} = 286,779 \angle 2,165 \text{ A}$$

- c. Titik Gangguan Pada Jarak 50% dari panjang penyulang adalah sebagai berikut :

$$I = \frac{3 \times \frac{20000}{\sqrt{3}}}{(0,337 + j1,131) + (0,337 + j1,131) + (120,742 + j2,627)}$$

$$I = \frac{3 \times \frac{20000}{\sqrt{3}}}{(0,674 + j2,262) + (120,742 + j2,627)} = \frac{34641,01}{121,416 + j4,889}$$

$$I = \frac{34641,01}{121,514 \angle 2,306} = 285,078 \angle 2,306 \text{ A}$$



- d. Titik Gangguan Pada Jarak 75% dari panjang penyulang adalah sebagai berikut :

$$I = \frac{3 \times \frac{20000}{\sqrt{3}}}{(0,505 + j1,262) + (0,505 + j1,262) + (121,113 + j2,691)}$$

$$I = \frac{3 \times \frac{20000}{\sqrt{3}}}{(1,01 + j2,524) + (121,113 + j2,691)} = \frac{34641,01}{122,123 + j5,215}$$

$$I = \frac{34641,01}{122,234 \angle 2,445} = 283,399 \angle 2,445 \text{ A}$$

- e. Titik Gangguan Pada Jarak 100% dari panjang penyulang adalah sebagai berikut :

$$I = \frac{3 \times \frac{2000}{\sqrt{3}}}{(0,674 + j1,393) + (0,674 + j1,393) + (121,484 + j2,755)}$$

$$I = \frac{3 \times \frac{20000}{\sqrt{3}}}{(1,348 + j2,786) + (121,484 + j2,755)} = \frac{34641,01}{122,832 + j5,541}$$

$$I = \frac{34641,01}{122,957 \angle 2,583} = 281,732 \angle 2,583 \text{ A}$$

#### 4.2.6.2 Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat Fasa ke Fasa

Arus hubung singkat fasa ke fasa dapat disebabkan oleh putusnya kawat fasa tengah pada bagian transmisi atau distribusi. Kemungkinan lainnya adalah dari rusaknya isolator pada bagian transmisi atau distribusi. Arus gangguan ini dapat

dihitung menggunakan persamaan :  $I = \frac{V}{Z}$

Hanya saja karena arus gangguannya fasa ke fasa, maka nilai V dan Z nya berubah, dimana :

V = Tegangan fasa ke fasa

Z = Impedansi ( $Z_1 + Z_2$ ) ekuivalen

Maka untuk perhitungan gangguan fasa ke fasa adalah sebagai berikut :

- a. Titik Gangguan Pada Jarak 1% panjang penyulang adalah sebagai berikut :

$$I = \frac{20000}{(0,006 + j0,875) + (0,006 + j0,875)}$$

$$I = \frac{20000}{0,012 + j1,75} = \frac{20000}{1,754 \angle 86,077} = 11402,50 \angle 86,077 \text{ A}$$

- b. Titik Gangguan Pada Jarak 25% panjang penyulang adalah sebagai berikut:

$$I = \frac{20000}{(0,168 + j1,000) + (0,168 + j1,000)}$$

$$I = \frac{20000}{0,336 + j2} = \frac{20000}{2,028 \angle 80,463} = 9861,93 \angle 80,463 \text{ A}$$

- c. Titik Gangguan Pada Jarak 50% panjang penyulang adalah sebagai berikut:

$$I = \frac{20000}{(0,337 + j1,131) + (0,337 + j1,131)}$$

$$I = \frac{20000}{0,674 + j2,262} = \frac{20000}{2,36 \angle 73,408} = 8474,57 \angle 73,408 \text{ A}$$

- d. Titik Gangguan Pada Jarak 75% panjang penyulang adalah sebagai berikut:

$$I = \frac{20000}{(0,505 + j1,262) + (0,505 + j1,262)}$$

$$I = \frac{20000}{1,01 + j2,524} = \frac{20000}{2,719 \angle 68,191} = 7355,64 \angle 68,191 \text{ A}$$

- e. Titik Gangguan Pada Jarak 100% panjang penyulang adalah sebagai berikut :

$$I = \frac{20000}{(0,674 + j1,393) + (0,674 + j1,393)}$$

$$I = \frac{20000}{1,348 + j2,786} = \frac{20000}{3,095 \angle 64,18} = 6462,03 \angle 64,18 \text{ A}$$

#### 4.2.6.3 Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa

Untuk gangguan 3 fasa dapat dihitung menggunakan persamaan dibawah ini :

$$I = \frac{V}{Z}$$

Dimana :  $V$  = Tegangan fasa-netral

$Z_I$  = Impedansi  $Z_{I\text{ekuivalen}}$

Maka, untuk perhitungan gangguan 3 fasa pada adalah sebagai berikut :

- a. Titik Gangguan Pada Jarak 1% panjang penyulang adalah sebagai berikut :

$$I = \frac{\frac{20000}{\sqrt{3}}}{0,006 + j0,875} = \frac{11547}{0,875 \angle 89,607} = 13196,57 \angle 89,607 \text{ A}$$

- b. Titik Gangguan Pada Jarak 25% panjang penyulang adalah sebagai berikut :

$$I = \frac{\frac{20000}{\sqrt{3}}}{0,168 + j1,000} = \frac{11547}{1,014 \angle 80,463} = 11387,57 \angle 80,463 \text{ A}$$

- c. Titik Gangguan Pada Jarak 50% panjang penyulang adalah sebagai berikut :

$$I = \frac{\frac{20000}{\sqrt{3}}}{0,337 + j1,131} = \frac{11547}{1,18 \angle 73,408} = 9785,59 \angle 73,408 \text{ A}$$

- d. Titik Gangguan Pada Jarak 75% panjang penyulang adalah sebagai berikut :**

$$I = \frac{\frac{20000}{\sqrt{3}}}{0,505 + j1,262} = \frac{11547}{1,359 \angle 68,191} = 8496,68 \angle 68,191 \text{ A}$$

- e. Titik Gangguan Pada Jarak 100% panjang penyulang adalah sebagai berikut:

$$I = \frac{\frac{20000}{\sqrt{3}}}{0,674 + j1,393} = \frac{11547}{1,547 \angle 64,18} = 7464,12 \angle 64,18 \text{ A}$$

Dari hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat ini (1 fasa ke tanah, fasa-fasa, dan 3 fasa) maka dapat dibuat suatu perbandingan besarnya arus gangguan

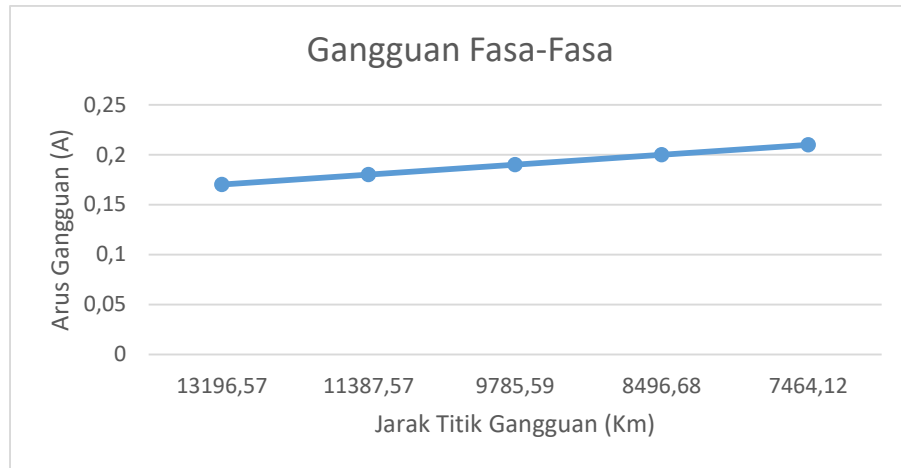
terhadap titik gangguan (lokasi gangguan pada penyulang yang dinyatakan dalam %) seperti pada tabel 4.3

Tabel 4.3 Arus Gangguan Pada Panjang Penyulang

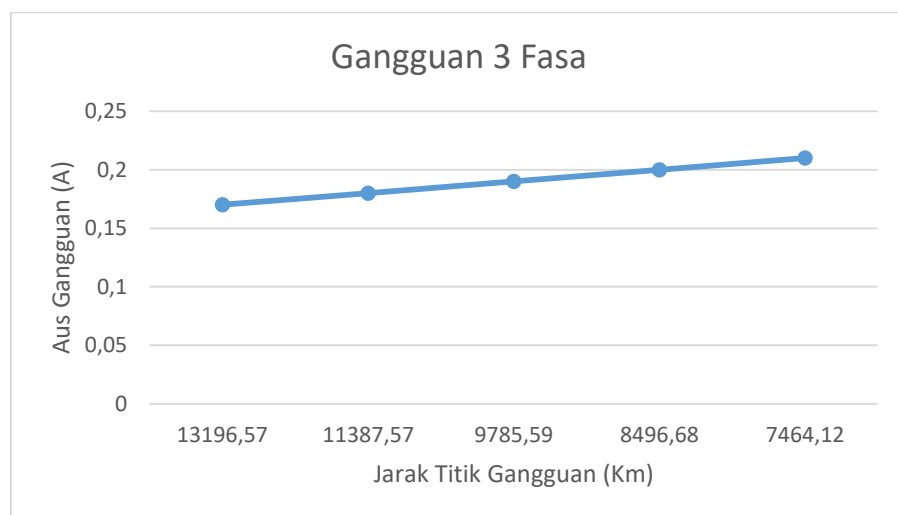
Panjang Penyulang (%)	Jarak (Km)	Arus Hubung Singkat (A)		
		1 fasa ke tanah	Fasa-fasa	3 fasa
1%	0,05	288,432∠2,028 A	11402,50∠86,077 A	13196,57∠89,607 A
25%	1,34	286,779∠2,165 A	9861,93∠80,463 A	11387,57∠80,463 A
50%	2,69	285,078∠2,306 A	8474,57∠73,408 A	9785,59∠73,408 A
75%	4,04	283,399∠2,445 A	7355,64∠68,191 A	8496,68∠68,191 A
100%	5,398	281,732∠2,583 A	6462,03∠64,18 A	7464,12∠64,18 A



Gambar 4.3 Grafik gangguan 1 fasa ke tanah



Gambar 4.4 Grafik gangguan fasa ke fasa



Gambar 4.5 Grafik gangguan 3 fasa

Berdasarkan data grafik yang di peroleh dapat dilihat bahwa besarnya arus gangguan hubung singkat dipengaruhi oleh jarak titik gangguannya, semakin jauh jarak titik gangguan maka akan semakin kecil gangguan arus hubung singkatnya dan begitu juga sebaliknya, semakin dekat jarak titik gangguan maka arus gangguan hubung singkat semakin besar. Ini disebabkan karena semakin besar nilai impedansi ekuivalen (tahanan gangguan) maka nilai arus gangguan hubung singkat akan semakin kecil, dan semakin dekat jarak titik lokasi gangguan maka arus gangguan

hubung singkat akan semakin besar, ini disebabkan adanya konfigurasi belitan transformator tenaga yang mempengaruhi nilai tahanan gangguan.

### 4.3 Analisis Perhitungan Setting Relai

Setelah mengetahui nilai gangguan arus hubung singkat yang dipengaruhi oleh jarak titik gangguannya maka dilakukan perhitungan *setting relay* OCR dan GFR di sisi *Outgoing* dan *Incoming*.

#### 4.3.1 Over Current Relay

##### a. Sisi *Outgoing*

Penyetingan *relay* OCR disini dihitung berdasarkan arus beban maksimum, penggunaan *relay* tipe *inverse* di set  $I_{max}$ , sedangkan untuk tipe *definite* di set 1,2 hingga 1,3x dari  $I_{max}$ , hal lain yang harus dipenuhi yaitu setting waktu minimum dari *relay* OCR, terutama pada OCR yang terdapat pada penyulang tidak boleh lebih kecil dari 0,3 sec. Hal ini dilakukan agar *relay* tidak sampai trip akibat arus dari transformator yang sudah tersambung pada jaringan distribusi.

Berdasarkan data yang diperoleh maka :  $I_{beban} = 286,40 \text{ A}$

Ratio CT = 800/5

Setting *Relay* OCR *Outgoing*

$$\begin{aligned} I_{set \text{ (primer)}} &= 1,1 \times I_{beban} \\ &= 1,1 \times 286,40 \\ &= 315,04 \text{ A} \end{aligned}$$

Nilai tersebut merupakan nilai yang digunakan untuk *setting* pada bagian sisi primer CT, untuk mendapatkan nilai pada sisi sekunder digunakan persamaan berikut :

$$\begin{aligned}
 I_{\text{set (sekunder)}} &= I_{\text{set(primer)}} \times \frac{1}{\text{Ratio CT}} \\
 &= 315,04 \times \frac{1}{800/5} \\
 &= 1,9 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Setting TMS (*Time Multiple Setting*)

$$\begin{aligned}
 \text{TMS} &= \frac{t \times \left( \left( \frac{I_3 \text{ fasa}}{I_{\text{set primer}}} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14} \\
 \text{TMS} &= \frac{0,3 \times \left( \left( \frac{13196,57}{315,04} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14} = 0,16 \text{ s}
 \end{aligned}$$

### b. Sisi Incoming

Penyettingan *relay* OCR dimulai dari bagian sisi hilir (*incoming*) dan berlanjut ke sisi hulu penyulang (*outgoing*). Untuk titik koordinasi digunakan gangguan 3 fasa 1% yang diperoleh dari *relay* outgoing penyulang.

$$\begin{aligned}
 \text{Berdasarkan data yang diperoleh maka :} \quad I_{\text{beban}} &= 280,5 \text{ A} \\
 \text{Ratio CT} &= 2000/5
 \end{aligned}$$

Setting *relay* OCR *Incoming*

$$\begin{aligned}
 I_{\text{set(primer)}} &= 1,1 \times I_{\text{beban}} \\
 &= 1,1 \times 280,5 = 308,55 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Setting TMS (*Time Multiple Setting*)

$$\begin{aligned}
 \text{TMS} &= \frac{t \times \left( \left( \frac{I_3 \text{ fasa}}{I_{\text{set primer}}} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14} \\
 \text{TMS} &= \frac{0,3 \times \left( \left( \frac{13196,57}{308,55} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14} = 0,17 \text{ s}
 \end{aligned}$$

### 4.3.2 Ground Fault Relay

#### a. Sisi Outgoing

Setting GFR *Outgoing*

$$\begin{aligned} I_{\text{set (primer)}} &= 10\% \times I_{f1 \text{ Fasa}} \\ &= 0,10 \times 281,732 \\ &= 28,17 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{\text{set (sekunder)}} &= I_{\text{set (primer)}} \times 1/\text{ratio CT} \\ &= 28,17 \times \frac{1}{800/5} = 0,17 \text{ A} \end{aligned}$$

Setting TMS (*Time Multiple Setting*)

$$\begin{aligned} \text{TMS} &= \frac{t \times \left( \left( \frac{I_3 \text{ fasa}}{I_{\text{set primer}}} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14} \\ \text{TMS} &= \frac{0,3 \times \left( \left( \frac{281,732}{28,17} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14} = 0,10 \text{ s} \end{aligned}$$

#### b. Sisi Incoming

Setting GFR *Incoming*

$$\begin{aligned} I_{\text{set (primer)}} &= 10\% \times I_{f1 \text{ Fasa}} \\ &= 0,10 \times 281,732 \\ &= 28,17 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{\text{set (sekunder)}} &= I_{\text{set (primer)}} \times 1/\text{Ratio CT} \\ &= 28,17 \times \frac{1}{2000/5} \\ &= 0,07 \text{ A} \end{aligned}$$



Setting TMS (*Time Multiple Setting*)

$$\text{TMS} = \frac{t \times \left( \left( \frac{I_3 \text{ fasa}}{I_{\text{set primer}}} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14} =$$

$$\text{TMS} = \frac{0,4 \times \left( \left( \frac{281,732}{28,17} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14} = 0,13 \text{ s}$$

### 4.3.3 Pemeriksaan Selektifitas Kerja *Relay*

Setelah melakukan perhitungan nilai arus gangguan dan nilai setting *relay*, maka selanjutnya dilakukan pemeriksaan apakah untuk arus gangguan hubung singkat masih selektif atau memberikan waktu kerja (*grading time*) yang terlalu lama. Pemeriksaan ini bertujuan untuk mengetahui waktu kerja *relay* terhadap besarnya arus gangguan pada titik yang telah diasumsikan sebelumnya, yaitu 1%, 25%, 50%, 75%, dan 100% dari panjang penyulang. Apabila terjadi kegagalan *relay* OCR disisi penyulang (*outgoing*) akibat waktu kerja yang terlalu lama, maka *relay* OCR pada sisi *incoming* sebagai pengaman cadangan menjadi terlalu lama men-tripkan pemutus tenaga.

Berikut persamaan yang digunakan untuk pemeriksaan waktu kerja *relay* :

$$t = \frac{0,14 \times \text{TMS}}{\left( \frac{I_f}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1}$$

#### 4.3.3.1 Lokasi Gangguan *relay* OCR pada sisi *outgoing*

a. Lokasi Gangguan 1% panjang penyulang di sisi *outgoing* adalah sebagai berikut:

$$t = \frac{0,14 \times \text{TMS}}{\left( \frac{I_f}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,16}{\left( \frac{13196,57}{315,04} \right)^{0,02} - 1} = 0,29 \text{ s}$$

b. Lokasi Gangguan 25% panjang penyulang di sisi outgoing adalah sebagai berikut:

$$t = \frac{0,14 \times \text{TMS}}{\left(\frac{I_f}{I_{\text{set}}}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,16}{\left(\frac{11387,57}{315,04}\right)^{0,02} - 1} = 0,30 \text{ s}$$

c. Lokasi Gangguan 50% panjang penyulang di sisi outgoing adalah sebagai berikut:

$$t = \frac{0,14 \times \text{TMS}}{\left(\frac{I_f}{I_{\text{set}}}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,16}{\left(\frac{9785,59}{315,04}\right)^{0,02} - 1} = 0,31 \text{ s}$$

d. Lokasi Gangguan 75% panjang penyulang di sisi outgoing adalah sebagai berikut:

$$t = \frac{0,14 \times \text{TMS}}{\left(\frac{I_f}{I_{\text{set}}}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,16}{\left(\frac{8496,68}{315,04}\right)^{0,02} - 1} = 0,32 \text{ s}$$

e. Lokasi Gangguan 100% panjang penyulang di sisi outgoing adalah sebagai berikut:

$$t = \frac{0,14 \times \text{TMS}}{\left(\frac{I_f}{I_{\text{set}}}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,16}{\left(\frac{7464,12}{315,04}\right)^{0,02} - 1} = 0,34 \text{ s}$$

#### 4.3.3.2 Lokasi Gangguan *relay* OCR pada sisi incoming

a. Lokasi Gangguan 1% panjang penyulang di sisi incoming adalah sebagai berikut:

$$t = \frac{0,14 \times \text{TMS}}{\left(\frac{I_f}{I_{\text{set}}}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,17}{\left(\frac{13196,57}{315,04}\right)^{0,02} - 1} = 0,30 \text{ s}$$

b. Lokasi Gangguan 25% panjang penyulang di sisi incoming adalah sebagai berikut:

$$t = \frac{0,14 \times \text{TMS}}{\left(\frac{I_f}{I_{\text{set}}}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,17}{\left(\frac{11387,57}{315,04}\right)^{0,02} - 1} = 0,31 \text{ s}$$

c. Lokasi Gangguan 50% panjang penyulang di sisi incoming adalah sebagai berikut:

$$t = \frac{0,14 \times \text{TMS}}{\left(\frac{I_f}{I_{\text{set}}}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,17}{\left(\frac{9785,59}{315,04}\right)^{0,02} - 1} = 0,33 \text{ s}$$

d. Lokasi Gangguan 75% panjang penyulang di sisi incoming adalah sebagai berikut:

$$t = \frac{0,14 \times \text{TMS}}{\left(\frac{I_f}{I_{\text{set}}}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,17}{\left(\frac{8496,68}{315,04}\right)^{0,02} - 1} = 0,34 \text{ s}$$

e. Lokasi Gangguan 100% panjang penyulang di sisi incoming adalah sebagai berikut :

$$t = \frac{0,14 \times \text{TMS}}{\left(\frac{I_f}{I_{\text{set}}}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,17}{\left(\frac{7464,12}{315,04}\right)^{0,02} - 1} = 0,36 \text{ s}$$

#### 4.3.3.3 Lokasi Gangguan *relay* GFR pada sisi outgoing

a. Lokasi Gangguan 1% panjang penyulang di sisi outgoing adalah sebagai berikut:

$$t = \frac{0,14 \times \text{TMS}}{\left(\frac{I_f}{I_{\text{set}}}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,10}{\left(\frac{13196,57}{281,732}\right)^{0,02} - 1} = 0,17 \text{ s}$$

b. Lokasi Gangguan 25% panjang penyulang di sisi outgoing adalah sebagai berikut:

$$t = \frac{0,14 \times \text{TMS}}{\left(\frac{I_f}{I_{\text{set}}}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,10}{\left(\frac{11387,57}{281,732}\right)^{0,02} - 1} = 0,18 \text{ s}$$

c. Lokasi Gangguan 50% panjang penyulang di sisi outgoing adalah sebagai berikut:

$$t = \frac{0,14 \times \text{TMS}}{\left(\frac{I_f}{I_{\text{set}}}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,10}{\left(\frac{9785,59}{281,732}\right)^{0,02} - 1} = 0,19 \text{ s}$$

d. Lokasi Gangguan 75% panjang penyulang di sisi outgoing adalah sebagai berikut:

$$t = \frac{0,14 \times \text{TMS}}{\left(\frac{I_f}{I_{\text{set}}}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,10}{\left(\frac{8496,68}{281,732}\right)^{0,02} - 1} = 0,20 \text{ s}$$

e. Lokasi Gangguan 100% panjang penyulang di sisi outgoing adalah sebagai berikut:

$$t = \frac{0,14 \times \text{TMS}}{\left(\frac{I_f}{I_{\text{set}}}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,10}{\left(\frac{7464,12}{281,732}\right)^{0,02} - 1} = 0,21 \text{ s}$$

#### 4.3.3.4 Lokasi Gangguan *relay* GFR pada sisi incoming

a. Lokasi Gangguan 1% panjang penyulang di sisi incoming adalah sebagai berikut:

$$t = \frac{0,14 \times \text{TMS}}{\left(\frac{I_f}{I_{\text{set}}}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,13}{\left(\frac{13196,57}{281,732}\right)^{0,02} - 1} = 0,22 \text{ s}$$

b. Lokasi Gangguan 25% panjang penyulang di sisi incoming adalah sebagai berikut:

$$t = \frac{0,14 \times \text{TMS}}{\left(\frac{I_f}{I_{\text{set}}}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,13}{\left(\frac{11387,57}{281,732}\right)^{0,02} - 1} = 0,23 \text{ s}$$

c. Lokasi Gangguan 50% panjang penyulang di sisi incoming adalah sebagai berikut:

$$t = \frac{0,14 \times \text{TMS}}{\left(\frac{I_f}{I_{\text{set}}}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,13}{\left(\frac{9785,59}{281,732}\right)^{0,02} - 1} = 0,24 \text{ s}$$

d. Lokasi Gangguan 75% panjang penyulang di sisi incoming adalah sebagai berikut:

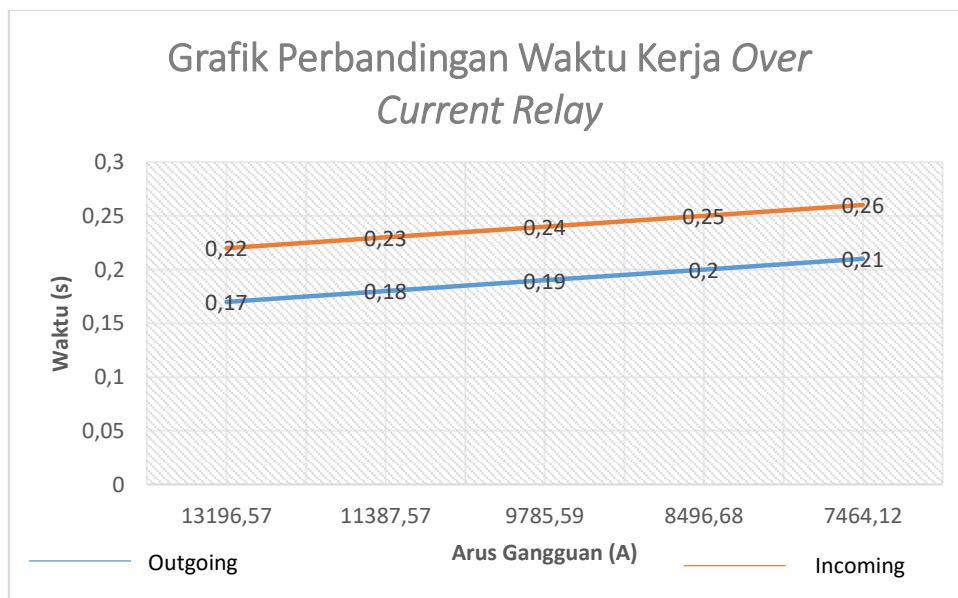
$$t = \frac{0,14 \times \text{TMS}}{\left(\frac{I_f}{I_{\text{set}}}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,13}{\left(\frac{8496,68}{281,732}\right)^{0,02} - 1} = 0,25 \text{ s}$$

e. Lokasi Gangguan 100% panjang penyulang di sisi incoming adalah sebagai berikut :

$$t = \frac{0,14 \times \text{TMS}}{\left(\frac{I_f}{I_{\text{set}}}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,13}{\left(\frac{7464,12}{281,732}\right)^{0,02} - 1} = 0,26 \text{ s}$$

Tabel 4.4 Hasil Pemeriksaan Waktu Kinerja *Relay* Pada Sisi Outgoing dan Incoming

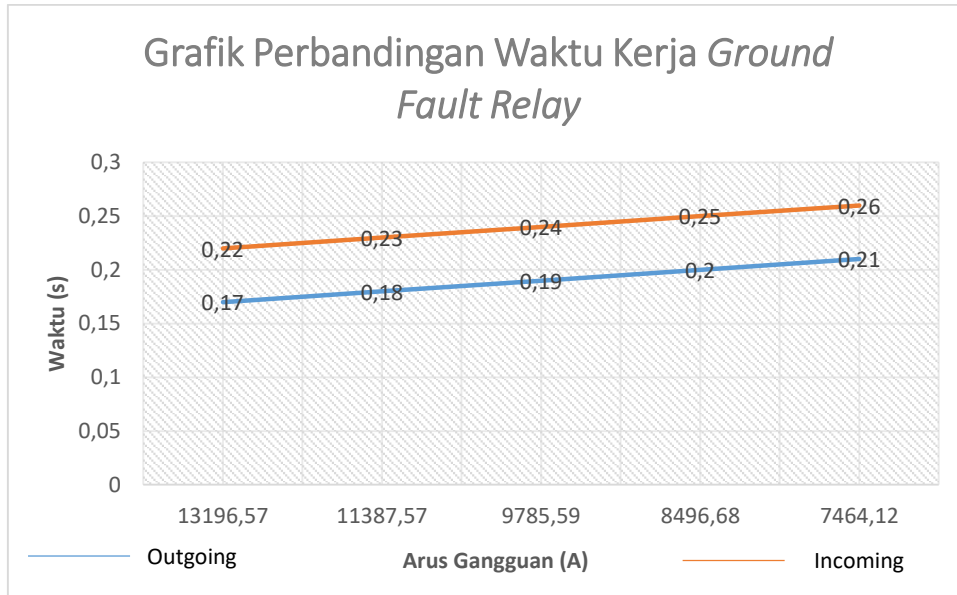
Panjang Jaringan (%)	Over Current <i>Relay</i> (OCR)			Ground Fault <i>Relay</i> (GFR)		
	Outgoing (s)	Incoming (s)	Selisih Waktu (s)	Outgoing (s)	Incoming (s)	Selisih Waktu (s)
1%	0,29 s	0,30 s	0,1 s	0,17 s	0,22 s	0,5 s
25%	0,30 s	0,31 s	0,1 s	0,18 s	0,23 s	0,5 s
50%	0,31 s	0,33 s	0,2 s	0,19 s	0,24 s	0,5 s
75%	0,32 s	0,34 s	0,2 s	0,20 s	0,25 s	0,5 s
100%	0,34 s	0,36 s	0,2 s	0,21 s	0,26 s	0,5 s



Gambar 4.6 Grafik perbandingan waktu kerja OCR

Dari gambar 4.6 menjelaskan grafik perbandingan waktu kerja *over current relay* pada sisi outgoing dan sisi incoming transformator, berdasarkan hasil perhitungan arus gangguan tiga fasa dengan jarak 100% dengan nilai arus 7464,12A

menunjukkan bahwa *relay* OCR pada sisi *outgoing* akan bekerja dalam waktu 0,34 detik dan apabila terjadi kegagalan kerja *relay* maka akan di *back-up* oleh *relay* OCR yang terdapat pada sisi *incoming* dalam waktu 0,36 detik, pada gardu induk glugur koordinasi *relay* ini bekerja berdasarkan karakteristik *inverse* dimana semakin besar nilai arus gangguan maka semakin cepat juga kinerja *relay* tersebut.



Gambar 4.7 Grafik perbandingan waktu kerja GFR

Dari gambar kurva 4.7 menggambarkan koordinasi kerja relay GFR pada sisi *outgoing* dan *incoming*, berdasarkan hasil perhitungan arus gangguan pada jarak 100% yaitu 13196,57 A, *relay* GFR pada sisi *outgoing* akan bekerja dalam waktu 0,17 detik dan apabila terjadi kegagalan kerja di sisi *outgoing*, maka *relay* GFR pada sisi *incoming* akan mem *back-up* dalam waktu 0,22 detik, Sama dengan *relay* OCR, *relay* GFR juga menerapkan karakteristik *inverse* dimana semakin besar nilai arus gangguan maka semakin cepat pula kerja *relay* GFR.

Sistem koordinasi proteksi pada penyulang gardu induk glugur dibagi menjadi pengaman utama dan pengaman cadangan, pengaman utama disini merupakan OCR dan GFR yang terletak pada sisi *outgoing* dan pengaman cadangan merupakan *relay* OCR dan GFR pada sisi *incoming*, koordinasi antara pengaman utama dan cadangan adalah pada saat pengaman utama mengalami gagal proteksi maka pengaman cadangan akan bekerja sesuai waktu kerja yang telah ditentukan.

Berdasarkan perbandingan syarat waktu minimum yang tidak boleh  $<0,3$  detik, dapat dianalisa bahwa hasil perhitungan dengan syarat waktu masih dalam kondisi yang sesuai atau dengan kata lain perbedaan yang dimiliki tidak terlalu jauh sehingga dapat disimpulkan bahwa *setting relay* arus yang dipasang bisa dikatakan baik karena hasil perhitungan untuk *setting relay* harus disesuaikan dengan *setting* yang ada pada *relay* yang digunakan sehingga hasilnya tidak jauh berbeda dengan hasil perhitungan.

Dengan kondisi *setting relay* yang baik maka kinerja sistem proteksi juga dikatakan baik karena *over current relay* dan *relay* gangguan tanah saling berkaitan satu sama lain dalam hal kinerjanya, *over current relay* akan mengkoordinasikan kepada *circuit breaker* apabila gangguan yang terjadi telah melebihi batas *setting relay* yang telah ditentukan maka *over current relay* akan mengkoordinasi kepada *circuit breaker* untuk meng-tripkan PMT atau *circuit breaker* untuk mengamankan transformator agar gangguan yang terjadi tidak mempengaruhi rangkaian yang lainnya.

Berdasarkan kinerja *over current relay* ada beberapa yang menyebabkan *relay* tersebut bekerja yaitu pada saat terjadinya gangguan hubung singkat 3 fasa, hubung singkat fasa ke fasa, dan hubung singkat fasa ke tanah yang sering terjadi gangguan, prinsip kerja *over current relay* dalam memutuskan suatu rangkaian atau jaringan listrik yaitu dimulai dengan *relay* yang akan bekerja mendeteksi gangguan dengan bantuan dari transformator arus, saat ada arus yang melebihi nilai dari arus nominal *relay*, maka *relay* akan mengkoordinasi kepada *circuit breaker* untuk memutuskan jaringan kelistrikannya, dari hasil analisis bahwasannya sistem proteksi pada transformator tidak dapat bekerja sendirian melainkan ada bantuan dari sistem proteksi yang lainnya yang bekerja secara *mechanical* dan *electrical*, maka dari itu dibutuhkan sistem proteksi utama dan sistem proteksi cadangan untuk mengamankan jaringan tenaga listrik pada gardu induk glugur.

## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

1. Berdasarkan pembahasan di BAB IV, menunjukkan bahwa koordinasi *relay* OCR dan GFR menerapkan karakteristik inverse, dimana semakin besar nilai arus gangguan maka semakin cepat pula kerja dari *relay* tersebut.
2. Berdasarkan data yang diperoleh menunjukkan bahwa *over current relay* dan *relay* gangguan pada sisi *incoming* penyulang tanah akan menjadi pengaman cadangan apabila pada *over current relay* dan *relay* gangguan tanah di sisi *outgoing* terjadi kegagalan proteksi.
3. Berdasarkan hasil analisis, ada beberapa hal yang mempengaruhi kinerja dari OCR dan GFR yaitu besarnya arus gangguan hubung singkat yang terjadi. Besar atau kecilnya arus gangguan itu dipengaruhi oleh jarak terjadinya gangguan seperti yang telah diasumsikan lokasi gangguan yang terjadi pada jarak 1%, 25%, 50%, 75%, dan 100%, semakin jauh titik gangguan maka semakin kecil arus gangguan yang terjadi begitu pula sebaliknya, semakin dekat titik gangguan maka semakin besar pula arus gangguan yang terjadi.

#### **5.2 Saran**

1. Untuk penelitian selanjutnya akan lebih baik jika seluruh sistem proteksi pada transformator gardu induk glugur dihitung kinerja dan koordinasi antar proteksinya agar mengetahui kinerja sistem proteksi pada transformator gardu induk glugur apakah baik atau tidak.



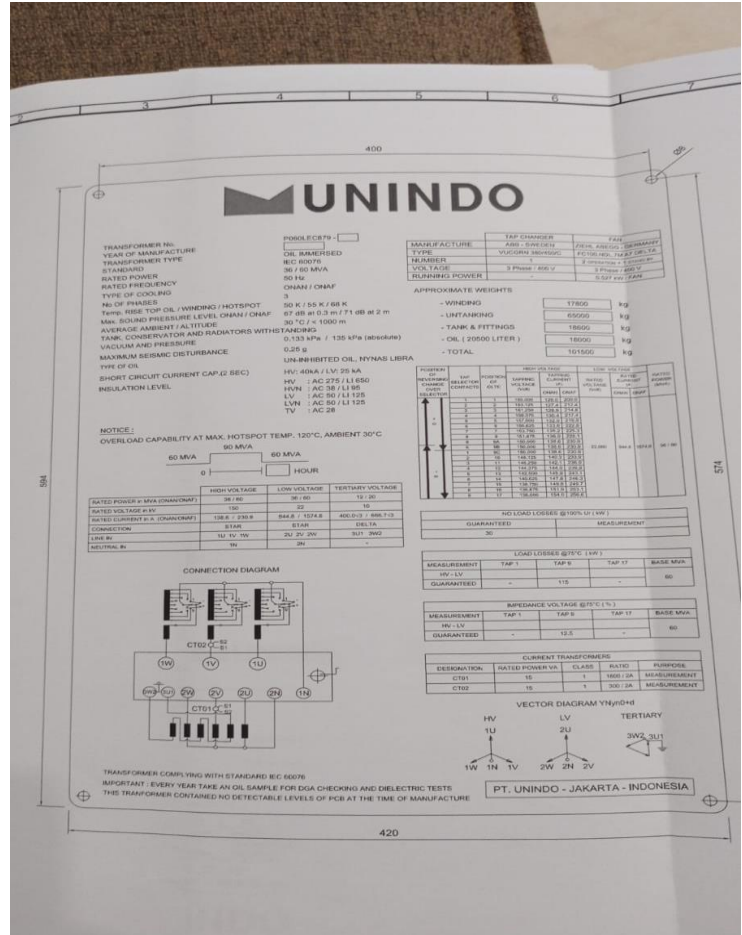
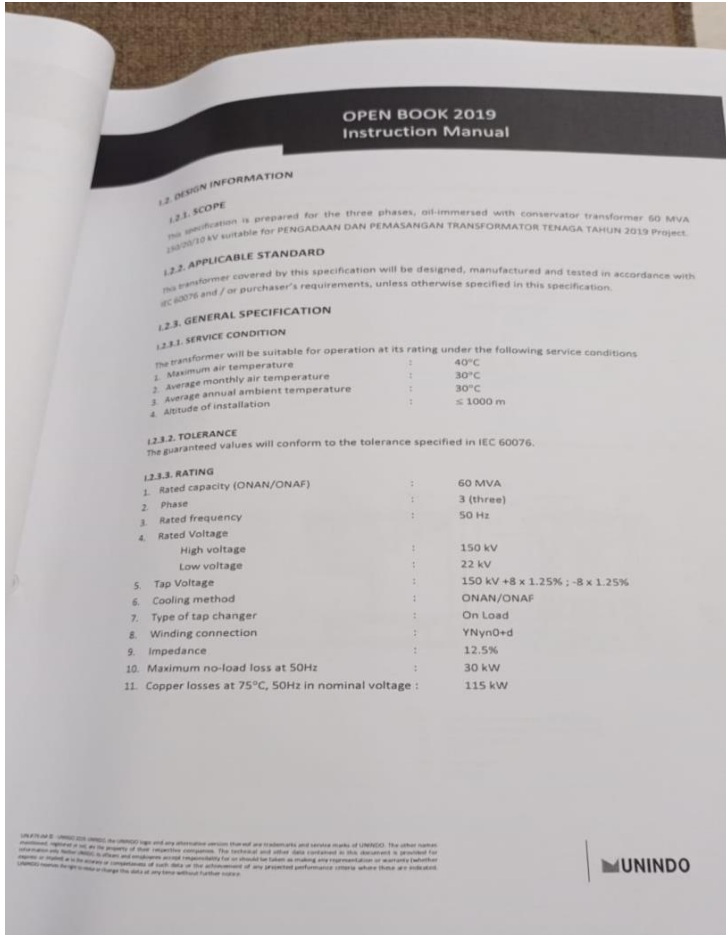
## Daftar Pustaka

- Nugorho, D. T., Wardhana, A. W., & Wahyumi, A. (2020). Analisis koordinasi sistem proteksi penyulang Dieng-2 (dng02) terhadap gangguan arus hubung singkat Gardu Induk Dieng PT PLN (Persero) UP3 Purwokerto. *Dinamika Rekayasa*, 16(1), 69-82.
- Adinata, I. P. C., Pamayun, A. G. M., & Weking, A. I. (2020). Studi Koordinasi Sistem Pengaman Pada Transformator Daya Pt. Pln (Persero) P3b Sub Region Bali Di Gardu Induk Padang Sambian. *Jurnal SPEKTRUM*, 7(1).
- Syaifuddin, R., Abidin, Z., & Bachri, A. (2020). KOORDINASI SISTEM PROTEKSI TRAFODISTRIBUSI 20 KV (STUDI LAPANGAN PT. PLN PERSERO UNIT LAMONGAN). *Jurnal Teknik*, 12(1), 41-46.
- MEIDY RIZALDO, B. H. E. R. L. I. A. N., Pramono, T. J., & Satya Dini, H. (2020). *ANALISA SISTEM KOORDINASI PROTEKSI RELAY ARUS LEBIH DAN RELAY GANGGUAN TANAH PADA PENYULANG ANTING DI GARDU INDUK DURI KOSAMBI* (Doctoral dissertation, INSTITUT TEKNOLOGI PLN).
- Iriando, G. R., & Agung, A. I. (2019). STUDI KOORDINASI SISTEM PROTEKSI PADA TRANSFORMATOR 20KV DI JARINGAN DISTRIBUSI 20KV PENYULANG BANDILAN. *JURNAL TEKNIK ELEKTRO*, 8(3).
- Pangestu, Adam. (2019). Analisa Pengaruh Perubahan Impedansi Kawat Saluran terhadap Setting Relai Jarak pada Saluran Transmisi 150 KV (GI Paya Pasir), *Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*.
- Saputra, M. L. (2019). REKONFIGURASI JARINGAN DISTRIBUSI PADA PENYULANG GL. 01 SEBAGAI UPAYA PENEKANAN LOSSES MENGGUNAKAN SOFTWARE ETAP 12.6. 0. *Jurnal Energi Elektrik*, 8(1), 18-24.
- Pambudi, Aditya (2017), "Kajian Koordinasi Proteksi Arus Lebih Dengan Penutup Balik Otomatis (PBO) Pada Penyulang Didik Gardu Induk Ciledug". Skripsi Sekolah Tinggi Teknik PLN.

- Syahputra Ramadoni, Dr. (2017). Transmisi dan Distribusi Tenaga Listrik, *Yogyakarta : LP3M UMY.*
- Noveri, L. M. (2017). *Analisis Kinerja Proteksi Berdasarkan Frekuensi Gangguan Di Gardu Induk 150KV Garuda Sakti* (Doctoral dissertation, Riau University)
- PUTRA, M. A. (2017). Analisis Gangguan Terhadap Kinerja Sistem Proteksi. *Tugas Akhir.*
- Evalina, N., Azis, A., & Zulfikar, Z. (2016). ANALISIS KARAKTERISTIK PROTEKSI OVER CURRENT RELAY PADA FEEDER DISTRIBUSI DI GI TITI KUNING. *Jurnal Teknik Elektro*, 3(2), 2356-329X.
- Sarimun, Wahyudi. (2016), "Operasi Sistem Tenaga Listrik Jilid 2". Depok : Garamond.
- Evalina, N. (2015). EVALUASI KOORDINASI WAKTU KERJA RELAY OCR DAN GFR PADA FEEDER DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK, *Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.*
- Nurdin, M. (2015). Koordinasi Sistem Proteksi Arus Lebih Pada Penyulang Distribusi 20 kV GI Pauh Limo. *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, 4(2), 140-150.
- Sitepu, R. E., Surapati, A., & Priyadi, I. (2014). *Perhtiungan Kedip Tegangan Akibat Gangguan Hubung Singkat Pada Penyulang Unib Sistem Distribusi Pln Bengkulu* (Doctoral dissertation, Universitas Bengkulu).
- Sarimun, W. (2012). Proteksi sistem distribusi tenaga listrik. *Depok : Garamound.*

# LAMPIRAN

## Lampiran 1- Data Book Transformator



### Lampiran 2- Data Pentanahan

Jenis Tanah	Tahanan Jenis Tanah $R_e$	Tahanan Pentanahan					
		Kedalaman Electroda ke tanah ( Meter)			Potongan Pentanahan ( Meter)		
	MØ	3	6	10	5	10	20
Tanah lembab, seperti rawa	30	10	5	3	12	6	3
Tanah Pertanian, tanah liat	100	33	17	10	40	20	10
Tanah liat berpasir	150	50	25	15	60	30	15
Tanah lembab berpasir	300	66	33	20	80	40	20
Campuran 1:5	400	-	-	-	160	80	40
Kerikil lembab	500	160	80	48	200	100	50
Tanah kering berpasir	1000	330	165	100	400	200	100
Kerikil kering	1000	330	165	100	400	200	100
Tanah berbatu	30 000	1000	500	300	1200	600	300
Batu karang	$10^7$	-	-	-	-	-	-

### Lampiran 3- Data Kabel

$\Sigma$ penghantar	Pengantar		Tahanan maks pada DC temp 20°C	Tahanan pada AC temp 90°C	saat operasi		Maks kapasitas arus temp 30°C		Arus hubung singkat selama 1 detik	Teg nom . prcb n
	Luas penampang	Cu /Al			Induktansi (L)	Kapasitansi (C)	dlm tanah	di udara		
	mm <sup>2</sup>		Ohm/km	Ohm/km	mH/km	mF/km	Amp	Amp	kA	kV/5 min
3	35	Cu	0,5240	0,6680	0,520	0,131	164	173	5,01	30
		Al	0,8680	1,1130	0,520	0,131	127	139	3,29	30
3	50	Cu	0,3870	0,4940	0,497	0,143	194	206	7,15	30
		Al	0,6410	0,8220	0,497	0,143	148	161	4,70	30
3	70	Cu	0,2680	0,3420	0,467	0,162	236	257	10,01	30
		Al	0,4430	0,5680	0,467	0,162	179	204	6,58	30
3	95	Cu	0,1930	0,2470	0,445	0,180	283	313	13,59	30
		Al	0,3200	0,4110	0,445	0,180	214	242	8,93	30

3	120	Cu	0,1530	0,1960	0,430	0,195	322	360	17,16	30
		Al	0,2530	0,3250	0,430	0,195	246	292	11,28	30
3	150	Cu	0,1240	0,1590	0,414	0,213	362	410	21,45	30
		Al	0,2060	0,2650	0,414	0,213	264	313	14,10	30
3	185	Cu	0,0991	0,1280	0,404	0,227	409	469	26,46	30
		Al	0,1640	0,2110	0,404	0,227	308	365	17,39	30
3	240	Cu	0,0754	0,0980	0,382	0,263	474	553	34,32	30
		Al	0,1250	0,1620	0,382	0,273	358	425	22,56	30
3	300	Cu	0,0601	0,0790	0,376	0,276	533	629	42,90	30
		Al	0,1000	0,1300	0,376	0,276	398	481	28,20	30

A (mm <sup>2</sup> )	R ( $\Omega$ /km)	L (mH/km)	C (mf/km)	Impedansi urutan positif ( $\Omega$ /km)	Impedansi urutan Nol ( $\Omega$ /km)
150	0,206	0,33	0,26	$0,206 + j 0,104$	$0,356 + j 0,312$
240	0,125	0,31	0,31	$0,125 + j0,097$	$0,275 + j0,029$
300	0,100	0,30	0,34	$0,100 + j0,094$	$0,250 + j0,282$

#### Lampiran 4- Setting OCR dan GFR






## Lampiran 5- Gardu Induk Glugur



## Lampiran 6- Surat Riset Data



UIP3B SUMATERA  
UPT MEDAN

Nomor : 1584/STH.01.04/C24060000/2021      08 Oktober 2021

Lampiran : 1 Lembar

Sifat : Segera

Hal : Izin Pengambilan Data/Riset

Kepada

Yth. Dekan  
Universitas Muhammadiyah  
Sumatera Utara Fakultas Teknik  
Jl.Mukhtar Basri No.3 Medan

Menunjuk Surat dari Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Fakultas Teknik Nomor 998/11.3-AU/UMSU-07/F/2021 tanggal 02 September 2021 perihal Permohonan Izin Riset atas Nama :

No	Nama Mahasiswa	NPM	Jurusan
1	M. Ihsan Arippin	1707220092	Teknik Elektro

Bersama ini dikonfirmasi bahwa untuk Izin Pengambilan Data/Riset tersebut dapat dilaksanakan di lingkungan kantor PT PLN (Persero) UIP3B Sumatera Unit Pelaksana Transmisi Medan Unit Layanan Transmisi dan Gardu Induk Titi Kuning di mulai tanggal 11 Oktober 2021 sampai dengan tanggal 22 Oktober 2021, adapun dalam pelaksanaan Pengambilan Data/Riset tersebut hal-hal yang perlu diperhatikan Mahasiswa sebagai berikut :

1. Mengisi Daftar hadir.
2. Menjaga Etika, sopan santun dan melaksanakan tata tertib di perusahaan PT PLN (Persero) UIP3B Sumatera Unit Pelaksana Transmisi Medan.
3. PT PLN (Persero) UIP3B Sumatera Unit Pelaksana Transmisi Medan tidak menyediakan transportasi dan akomodasi.
4. PT PLN (Persero) UIP3B Sumatera Unit Pelaksana Transmisi Medan tidak memberikan honorarium dan konsumsi.
5. PT PLN (Persero) UIP3B Sumatera Unit Pelaksana Transmisi Medan tidak menanggung biaya pemeriharaan kesehatan dan resiko kecelakaan.
6. Menyerahkan hasil swab test Antigen (ke Pejabat K3L ULTG Glugur/MULTG) yang masih berlaku sebelum memulai pelaksanaan Pengambilan Data.
7. Mematuhi dan menjalankan Protokol Kesehatan yang berlaku.
8. Peserta Pengambilan Data tidak akan mengekspose data/informasi perusahaan kepada pihak lain.
9. Menyerahkan copy laporan hasil Penelitian setelah selesai dilaksanakan
10. Untuk laporan Pengambilan Data izin dan mekanisme dapat menghubungi Manager ULTG Glugur dan Supervisor Gardu Induk Titi Kuning

Demikian disampaikan untuk dapat dipergunakan seperlunya terimakasih.

Jl. Listrik No. 12, Kel. Petisah Tengah, Kec. Medan Petisah, Medan 20112  
T (061) 4579900 F (061) 4577700 Eupt\_medan@p3b-sumatera.co.id

Paraf \_\_\_\_\_