

**SKRIPSI**

**ANALISA SETTING DAN KOORDINASI RELE ARUS LEBIH DAN RELE  
GANGGUAN TANAH PADA PENYULANG DI GARDU INDUK  
KERAMASAN PALEMBANG**



**Disusun Untuk Memenuhi Syarat Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik Pada  
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik  
Universitas Sriwijaya**

**Oleh :**

**DIANA DWI ARDIATI  
03041181520028**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
2019**

## LEMBAR PENGESAHAN

### ANALISA SETTING DAN KOORDINASI RELE ARUS LEBIH DAN RELE GANGGUAN TANAH PADA PENYULANG DI GARDU INDUK KERAMASAN PALEMBANG



#### SKRIPSI

Disusun Untuk Memenuhi Syarat Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik Pada  
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik  
Universitas Sriwijaya

Oleh :

DIANA DWI ARDIATI

03041181520028

Indralaya, Juli 2019

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro



Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D.

NIP : 197108141999031005

Menyetujui,

Pembimbing Utama

Ir. Antonius Hamdadi, M.S.

NIP : 195612141986031002

## **HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS**

Yang bertandatangan dibawah ini :

Nama : Diana Dwi Ardiati

NIP/NIM : 03041181520028

Jurusan/Prodi : Teknik Elektro

Fakultas : Teknik

Universitas : Universitas Sriwijaya

Menyatakan bahwa karya ilmiah dengan judul “Analisa Setting dan Koordinasi Rele Arus Lebih dan Rele Gangguan Tanah Pada Penyulang di Gardu Induk Keramasan Palembang” adalah merupakan karya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata dikemudian hari karya ilmiah ini merupakan hasil plagiat orang lain, maka saya bersedia bertanggung jawab dan menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa paksaan.

Indralaya, Juli 2019  
Yang membuat pernyataan,

Diana Dwi Ardiati

Saya sebagai pembimbing dengan ini menyatakan bahwa Saya telah membaca dan menyetujui skripsi ini dan dalam pandangan saya skop dan kuantitas skripsi ini mencukupi sebagai skripsi mahasiswa sarjana strata satu (S1).

Tanda Tangan



: \_\_\_\_\_

Pembimbing Utama

: Ir. Antonius Hamdadi, M.S

Tanggal

: 04 / Juli / 2019

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas izin, rahmat dan karunia-Nya hingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Analisa Setting dan Koordinasi Rele Arus Lebih dan Rele Gangguan Tanah Pada Penyulang di Gardu Induk Keramasan Palembang”. Shalawat serta salam tercurahkan kepada Rasullullah SAW, beserta keluarga, sahabat dan pengikutnya.

Tugas akhir ini dibuat untuk memenuhi persyaratan mendapatkan gelar sarjana teknik pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya. Penulisan tugas akhir ini atas dasar pengamatan langsung ke lapangan, wawancara dan membaca literatur-literatur yang berkaitan dengan isi tugas akhir ini.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih, kepada pihak yang telah membantu sehingga dapat menambah wawasan penulis dengan membandingkan antara teori praktek dan lapangan. Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ayah dan Ibu tercinta, yang telah mendukung saya dengan pengorbanan dan kasih sayang yang luar biasa serta kakak Novel Farisanto yang selalu memberikan dukungan yang luar biasa.
2. Bapak Ir. Antonius Hamdadi, M.S. selaku pembimbing tugas akhir yang telah memberikan bimbingan, arahan, nasehat dan bantuan kepada penulis dari awal hingga terselesaiannya tugas akhir ini.
3. Bapak Ir. Aryulius Jasuan, M.S. selaku pembimbing akademik yang telah membimbing penulis selama masa perkuliahan dan memberi saran serta masukan dalam pengambilan mata kuliah.
4. Herwin Setiawan yang selalu memberikan semangat untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Indah, Ara, Iga, Tasya, Dea, Lilis, Rani, Ruly, Day dan sahabat yang lain yang tak bisa disebutkan yang memberikan semangat dan membantu selama ini.

6. Bapak Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D selaku ketua jurusan Teknik Elektro Universitas Sriwijaya.
7. Ibu Dr. Herlina, S.T., M.T. selaku Sekretaris Ketua Jurusan Teknik Elektro
8. Bapak Dr. Ir. H. Syamsuri, M.M , Ir. Rudiyanto Thayib, M.Sc dan Ibu Dr. Herlina, S.T., M.T selaku dosen penguji
9. Dosen Pengajar Teknik Elektro Univerisitas Sriwijaya atas bimbingan dan ilmu yang telah diberikan.
10. Bapak Yhoni Purwanto, Bapak Fathkur R, Bapak Hendi S, Bapak Hakim H dan kakak - kakak lainnya yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu yang telah membantu saya selama proses pengambilan data Tugas Akhir di PLN.
11. Teman-teman Teknik Elektro 2015 yang telah memberikan dukungan, semangat dan canda tawanya selama proses belajar di jurusan Teknik Elektro Universitas Sriwijaya..
12. Seluruh pihak yang sudah banyak membantu yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari dalam pembuatan tugas akhir ini masih banyak kekurangan, hal ini dikarenakan keterbatasan penulis. Maka dengan segala kerendahan hati penulis mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya memperbaiki dan membangun dari pembaca.

Akhir kata penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat dan menambah ilmu pengetahuan terutama bagi mahasiswa jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya dan masyarakat pada umumnya.

Indralaya, Juli 2019

Penulis

## **PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai civitas akademik Universitas Sriwijaya, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Diana Dwi Ardiati  
Nim : 03041181520028  
Jurusan : Teknik Elektro  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-Exclusive Royalty-Free Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

### **ANALISA SETTING DAN KOORDINASI RELE ARUS LEBIH DAN RELE GANGGUAN TANAH PADA PENYULANG DI GARDU INDUK KERAMASAN PALEMBANG**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengolah dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tulisan saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Indralaya  
Pada Tanggal : 03 Juli 2019  
Yang menyatakan,

Diana Dwi Ardiati

## ABSTRAK

### ANALISA SETTING DAN KOORDINASI RELE ARUS LEBIH DAN RELE GANGGUAN TANAH PADA PENYULANG DI GARDU INDUK KERAMASAN PALEMBANG

(Diana Dwi Ardiati, 03041181520028, 2019, xvii + 65 hal + lampiran)

Tujuan utama dari sistem proteksi adalah melindungi keselamatan manusia akibat arus listrik dan melindungi peralatan listrik dari kerusakan akibat adanya gangguan. Selain itu, gangguan juga dapat menghambat penyaluran energi listrik dari pembangkit ke konsumen. Oleh karena itu, untuk mengatasinya gangguan yang terjadi diperlukan peralatan proteksi dengan koordinasi yang baik, peralatan proteksi yang digunakan pada penyulang tegangan menengah adalah rele arus lebih dan rele gangguan tanah. Untuk membuat koordinasi yang baik diperlukan *setting* arus dan *setting* waktu kerja (TMS) yang tepat agar rele dapat bekerja dengan baik. Maka dari itu penulis mengangkat masalah *setting* dan koordinasi rele arus lebih dan rele gangguan tanah sebagai pengaman transformator 60 MVA di Gardu Induk Keramasan Palembang. Dari hasil perhitungan *setting* rele arus lebih dan rele gangguan tanah dengan data di lapangan masih dalam kondisi sesuai (perbedaan tidak terlalu banyak). Didapatkan TMS dari hasil perhitungan rele arus lebih pada transformator sisi primer 150 kV sebesar sebesar 0,304 SI, transformator sisi sekunder 20 kV memiliki TMS sebesar 0,1774 SI. Untuk setting rele gangguan tanah pada transformator sisi primer 150 kV memiliki TMS sebesar 0,42 SI, transformator sisi sekunder 20 kV memiliki TMS sebesar 0,246 SI. Untuk rele arus lebih pada penyulang natuna dan penyulang sulawesi disetting dengan TMS masing-masing 0,09 SI ; 0,064 SI. Dan untuk rele gangguan tanahnya disetting dengan TMS masing-masing 0,10098 SI ; 0,10098 SI.

**Kata kunci :** Sistem Proteksi, Rele Arus Lebih, Rele Gangguan Tanah

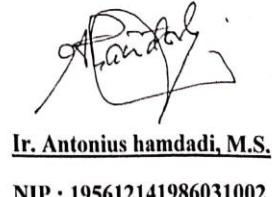
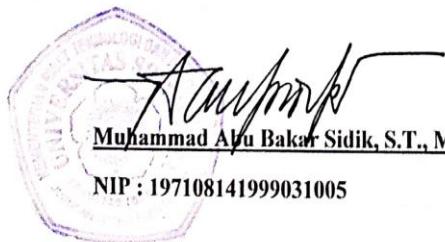
Indralaya, Juli 2019

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro

Menyetujui,

Pembimbing Utama



## ABSTRACT

### ANALISA SETTING DAN KOORDINASI RELE ARUS LEBIH DAN RELE GANGGUAN TANAH PADA PENYULANG DI GARDU INDUK KERAMASAN PALEMBANG

(Diana Dwi Ardiati, 03041181520028, 2019, xvii + 65 hal + lampiran)

The main purpose of the protection system is to protect human safety from electric current and to protect electrical equipment from damage due to interference. In addition, disruption can also hinder the distribution of electrical energy from power plants to consumers. Therefore, to overcome the disruption that occurs, a protection devices with good coordination is needed, protection devices used in medium voltage feeders are over current relay and Ground Fault Relay. To built a good relay coordination, a correct current setting and a proper working time settings (TMS) are needed so that the relay can work properly. Therefore the author raised the issue of setting and coordinating the over current relay and the ground fault relay as a protection device 60 MVA transformer in Keramasan Palembang Substation. From the results of the calculation of overcurrent relay setting and ground fault relay with the data in the field still in the right condition (slight difference). TMS obtained from the results of the calculation of overcurrent relay on the 150 kV primary side power transformer is 0.304 SI, while the 20 kV secondary side transformer has a TMS of 0.1774 SI. For ground fault relay setting on a 150 kV primary side transformer obtained the TMS obtained is 0.42 SI, while the 20 kV secondary side transformer has a TMS of 0.246 SI. For overcurrent relay on natuna feeder and sulawesi feeder, it is set up with a TMS of 0.09 SI ; 0.064 SI respectively. And for the ground fault relay, TMS is set at 0.10098 SI; and 0,10098 SI respectively.

**Keywords :** Protection System, Over Current Relay, Ground Fault Relay

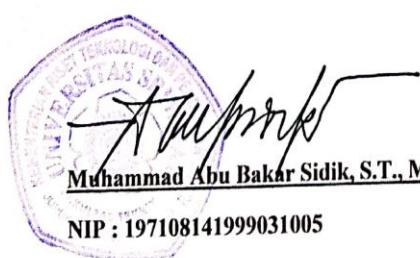
Indralaya, Juli 2019

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro

Menyetujui,

Pembimbing Utama



Ir. Antonius hamdadi, M.S.  
NIP : 195612141986031002

## DAFTAR ISI

COVER SKRIPSI .....	i
HALAMAN PENGESAHAN .....	ii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS .....	iii
KATA PENGANTAR.....	v
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS .....	vii
ABSTRAK.....	viii
ABSTRACT .....	xi
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR TABEL .....	xv
DAFTAR LAMPIRAN .....	xvii
BAB I .....	1
PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Metodologi Penulisan .....	3
1.6 Sistematika Penulisan .....	4
BAB II .....	6
TINJAUAN PUSTAKA .....	6
2.1 Kubikel Tegangan Menengah .....	6
2.1.1 Jenis - jenis Kubikel Tegangan Menengah .....	6
2.1.2 Rele dan Meter.....	7
2.2 Gangguan Hubung Singkat .....	8
2.2.1 Komponen Simetris (Symmetrical Components).....	8
2.2.2 Komponen Simetris Fasor Tak Simetris .....	10
2.3 Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat .....	12
2.3.1 Menghitung Impedansi .....	12
2.3.2 Impedansi Sumber .....	13

2.3.3 Impedansi Transformator .....	14
2.3.4 Impedansi Penyulang .....	15
2.3.5 Impedansi Ekivalen Jaringan .....	15
2.3.6 Gangguan Satu Phasa ke Tanah Pada Sistem Tenaga (Single Line – To Ground Fault) .....	16
2.3.7 Gangguan Dua Kawat Phasa Pada Sistem Tenaga (Line – To Line Fault) .....	17
2.3.8 Gangguan Dua Kawat Phasa ke Tanah Pada Sistem Tenaga (Double Line – To Ground Fault) .....	17
2.3.9 Gangguan Tiga Kawat Phasa Pada Sistem Tenaga (Three Line Fault) .....	18
2.4 Sistem Proteksi Rele .....	19
2.4.1 Persyaratan Terpenting Untuk Sistem Proteksi .....	19
2.5 Rele Arus Lebih ( <i>Over Current Relay</i> ) .....	21
2.5.1 Karakteristik Arus Lebih .....	22
2.6 Rele Gangguan Tanah ( <i>Ground Fault Relay</i> ) .....	24
BAB III .....	25
METODE PENELITIAN .....	25
3.1 Umum .....	25
3.2 Lokasi dan Waktu Pelaksanaan Penelitian .....	26
3.3 Analisa Data .....	26
3.4 Diagram Alir Penelitian .....	29
BAB IV .....	30
PEMBAHASAN .....	30
4.1 Gardu Induk Keramasan Palembang .....	30
4.2 Data Teknis Jaringan Gardu Induk Keramasan Palembang .....	30
4.3 Data Teknis Peralatan Gardu Induk Keramasan Palembang .....	30
4.4 Perhitungan Impedansi .....	32
4.4.1 Impedansi Dasar .....	32
4.4.2 Impedansi Sumber .....	33
4.4.3 Reaktansi Transformator .....	33
4.4.4 Impedansi Penyulang .....	34
4.4.5 Impedansi Ekivalen .....	36
4.4.6 Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat .....	39

4.4.6.1.Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat Pada Transformator	39
4.4.6.2.Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat Penyulang 20 kV ...	42
4.4.7 Setting Rele Proteksi Pada Transformator Daya dan Penyulang .....	51
4.4.7.1.Setting Rele Arus Lebih .....	51
4.4.7.2.Setting Rele Gangguan Tanah .....	55
4.5 Analisa Hasil Perhitungan.....	59
BAB V .....	64
KESIMPULAN DAN SARAN .....	64
5.1 kesimpulan .....	64
5.1 Saran .....	65
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

## **DAFTAR GAMBAR**

Gambar 2.1 Kubikel Tegangan Menengah .....	6
Gambar 2.2 Single Line Diagram Rele .....	7
Gambar 2.3 Tiga himpunan fasor seimbang yang merupakan komponen sismetris dari tiga fasor tak seimbang .....	9
Gambar 2.4 Penjumlahan secara grafis komponen-komponen seimbang .....	10
Gambar 2.5 Rangkaian penyulang tegangan menengah .....	13
Gambar 2.6 konversi Impedansi sumber pada sisi 150 KV ke 20 KV .....	13
Gambar 2.7 Diagram sambungan batang-batang hipotesis untuk gangguan satu phasa ke tanah .....	16
Gambar 2.8 Diagram sambungan batang-batang hipotetis untuk suatu gangguan dua fasa (antar saluran) .....	17
Gambar 2.9 Diagram sambungan batang-batang hipotetis untuk suatu gangguan dua fasa ketanah .....	18
Gambar 2.10 Diagram hubungan batang-batang hipotetis untuk suatu gangguan tiga fasa ke tanah.....	18
Gambar 2.11 Rangkaian pengawatan OCR dan GFR.....	21
Gambar 2.12 Grafik <i>moment</i> .....	22
Gambar 2.13 Grafik <i>Definite Time</i> .....	22
Gambar 2.14 Grafik <i>Inverse Time</i> .....	23
Gambar 4.1 Rangkaian Ekivalen Impedansi Penyulang .....	32
Gambar 4.2 Diagram Impedansi Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa Pada Transformator .....	39
Gambar 4.3 Diagram Impedansi Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa Pada Transformator .....	40
Gambar 4.4 Diagram Impedansi Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa Tanah Pada Transformator .....	41

Gambar 4.5 Diagram Impedansi Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa Penyulang Natuna.....	42
Gambar 4.6 Diagram Impedansi Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa Penyulang Natuna.....	43
Gambar 4.7 Diagram Impedansi Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa Tanah Penyulang Natuna .....	45
Gambar 4.8 Diagram Impedansi Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa Penyulang Sulawesi.....	46
Gambar 4.9 Diagram Impedansi Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa Penyulang Sulawesi.....	48
Gambar 4.10 Diagram Impedansi Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa Tanah Penyulang Sulawesi .....	49
Gambar 4.11 Koordinasi Rele Arus Lebih Pada Penyulang Natuna Terhadap Transformator .....	60
Gambar 4.12 Koordinasi Rele Arus Lebih Pada Penyulang Sulawesi Terhadap Transformator .....	60
Gambar 4.13 Koordinasi Rele Gangguan Tanah Pada Penyulang Natuna Terhadap Transformator .....	61
Gambar 4.14 Koordinasi Rele Gangguan Tanah Pada Penyulang Sulawesi Terhadap Transformator.....	61

## **DAFTAR TABEL**

Tabel 2.1 Faktor $\alpha$ dan $\beta$ tergantung pada kurva arus dengan waktu .....	23
Tabel 4.1 Data Transformator .....	30
Tabel 4.2 Data Penyulang .....	31
Tabel 4.3 Data NGR .....	31
Tabel 4.4 Nilai Impedansi Urutan Positif, Negatif, dan Nol Kawat Penghantar (SPLN 64:1985).....	31
Tabel 4.5 Data Jenis Kawat Penghantar beserta Panjang Kawat .....	32
Tabel 4.6 Impedansi Penyulang Urutan Positif dan Negatif Penyulang Natuna .....	35
Tabel 4.7 Impedansi Penyulang Urutan Nol Penyulang Natuna.....	35
Tabel 4.8 Impedansi Penyulang Urutan Positif dan Negatif Penyulang Sulawesi .....	36
Tabel 4.9 Impedansi Penyulang Urutan Nol Penyulang Sulawesi .....	36
Tabel 4.10 Impedansi Ekivalen Urutan Positif dan Negatif Penyulang Natuna .....	37
Tabel 4.11 Impedansi Ekivalen Urutan Nol Penyulang Natuna.....	37
Tabel 4.12 Impedansi Ekivalen Urutan Positif dan Negatif Penyulang Sulawesi .....	38
Tabel 4.13 Impedansi Ekivalen Urutan Nol Penyulang Sulawesi .....	38
Tabel 4.14 Arus Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa Penyulang Natuna .....	42
Tabel 4.15 Arus Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa Penyulang Natuna .....	44
Tabel 4.16 Arus Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa Tanah Penyulang Natuna .....	45
Tabel 4.17 Arus Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa Tanah Penyulang Sulawesi .....	47
Tabel 4.18 Arus Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa Penyulang Sulawesi.....	48

Tabel 4.19 Arus Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa Tanah Penyulang Sulawesi .....	50
Tabel 4.20 Hasil Perhitungan Setting Rele Arus Lebih .....	54
Tabel 4.21 Hasil Perhitungan Setting Rele Gangguan Tanah .....	58
Tabel 4.22 Perbandingan Data Hasil Perhitungan dengan data Lapangan Setting Rele Arus Lebih .....	59
Tabel 4.23 Perbandingan Data Hasil Perhitungan dengan data Lapangan Setting Rele Gangguan Tanah .....	59

## **DAFTAR LAMPIRAN**

- Lampiran 1 Data Spesifikasi Transformator Gardu Induk Keramasan
- Lampiran 2 Data Spesifikasi Penyulang Gardu Induk Keramasan
- Lampiran 3 Data Spesifikasi Netral Grounding Resistance (NGR)
- Lampiran 4 Nilai Impedansi Urutan Positif, Negatif, dan Nol Kawat Penghantar (SPLN 64:1985)
- Lampiran 5 Data Panjang Kawat Penghantar dan Beban Puncak Penyulang
- Lampiran 6 Gambar Kubikel Tegangan Menengah Gardu Induk Keramasan
- Lampiran 7 Data Arus Hubung Singkat Gardu Induk Keramasan Trafo 60 MVA
- Lampiran 8 Data Setting Rele Arus Lebih (OCR) dan Rele Gangguan Tanah (GFR) Transformator 60 MVA, Penyulang Sulawesi dan Natuna
- Lampiran 9 Tabel koordinasi Setting Rele Arus Lebih dan Rele Gangguan Tanah
- Lampiran 10 Single Line Diagram Gardu Induk Keramasan Palembang
- Lampiran 11 Lembar Plagiarisme

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Listrik merupakan salah satu kebutuhan penting untuk penunjang kehidupan. Hampir semua peralatan dalam pengoperasiannya membutuhkan energi listrik. Maka dari itu dalam penyaluran energi listrik diharapkan agar tidak terjadi gangguan. Pada kenyataannya, dalam setiap penyaluran energi listrik tidak dapat dipungkiri akan terjadinya gangguan, gangguan yang terjadi berupa gangguan hubung singkat maupun gangguan beban lebih yang dapat bersifat permanen maupun temporer. Apabila gangguan – gangguan tersebut tidak diatasi maka akan dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan di gardu induk serta mengganggu keberlanjutan pelayanan energi listrik dalam waktu yang cukup lama. Sehingga dibutuhkan suatu sistem proteksi yang dapat mencegah kerusakan peralatan akibat terjadinya gangguan serta dapat melokalisir daerah yang terjadi gangguan dengan memisahkan daerah yang terganggu dengan daerah yang tidak terganggu.

Jaringan SUTM 20 KV digunakan PT. PLN (PERSERO) untuk mendistribusikan energi listrik dari sumber pembangkitan ke konsumen, dalam pendistribusiannya seringkali terdapat gangguan pada sisi penyulangnya. Sehingga akan mengakibatkan terjadinya penurunan tegangan. Hal inilah yang dapat mengakibatkan terjadinya pemadaman yang meluas.

Khususnya pada Gardu Induk Kramasan menggunakan trafo daya 60 MVA untuk memasok energi listrik ke 9 penyulang. Pada setiap penyulang terdapat rele proteksi diantaranya yaitu rele arus lebih (OCR) dan rele gangguan tanah (GFR). Kedua rele ini bekerja dengan mengirimkan sinyal trip kepada PMT (pemutus tenaga) jika terjadi gangguan hubung singkat. Untuk mengatasi gangguan pada penyulang maka dari itu, diperlukan *setting* dan koordinasi rele

proteksi agar dapat bekerja saat terjadi gangguan sehingga dapat melokalisir daerah yang terjadi gangguan dan memutuskan energi listrik agar tidak merusak peralatan listrik.

Untuk membuat sistem proteksi yang dipasang dapat bekerja dengan baik maka diperlukan *setting* arus dan *setting* waktu yang tepat tanpa waktu tunda yang terlalu lama. Besarnya *setting* waktu pada rele proteksi dapat ditentukan dari besar arus gangguan hubung singkat yang mungkin terjadi di dalam suatu sistem kelistrikan. Selain itu, besarnya arus gangguan hubung singkat perlu diketahui sebelum gangguan yang sebenarnya terjadi. Dalam *setting* rele proteksi, besar arus gangguan yang dihitung tidak hanya pada titik gangguannya saja akan tetapi diperlukan juga menghitung arus gangguan hubung singkat yang mungkin terjadi di setiap titik gangguan tertentu pada penyulang didalam jaringan distribusi listrik.

Berdasarkan referensi yang diambil dalam pembuatan tugas akhir ini yakni analisa *setting* relai arus lebih dan relai gangguan tanah pada penyulang sadewa di GI Cawang dari Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Elektro Universitas Indonesia, Irfan Affandi, 2009 dan Evaluasi koordinasi rele pengaman pada penyulang 20 KV transformator gardu induk Bukit Siguntang Palembang dari Faktultas Teknik, Jurusan Teknik Elektro Universitas Sriwijaya, Fajrina Oktaviani Erfandi, 2016.

Oleh karena itu, berdasarkan latar belakang diatas maka penulis akan mengangkat tugas akhir dengan judul “Analisa *Setting* dan Koordinasi Rele Arus Lebih dan Rele Gangguan Tanah Pada Penyulang di Gardu Induk Keramasan Palembang”.

## 1.2 Perumusan Masalah

Adapun masalah yang dibahas dalam tugas akhir ini yaitu menghitung besar arus gangguan hubung singkat pada titik gangguan tertentu untuk penyetelan rele arus lebih dan rele gangguan tanah dengan perhitungan manual dan membandingkannya dengan penyetelan rele arus lebih dan gangguan tanah yang terpasang di penyulang natuna Gardu Induk Keramasan Palembang.

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Menghitung besar arus gangguan hubung singkat yang mempengaruhi penyetelan rele arus lebih dan rele gangguan tanah yang terpasang pada penyulang di Gardu Induk Keramasan.
2. Menghitung *setting* waktu kerja (*Time Multiplier Setting*) rele arus lebih dan rele gangguan tanah secara manual pada sisi 150 kV, sisi incoming 20 kV, sisi penyulang Natuna, dan sisi penyulang Sulawesi pada Gardu Induk Keramasan Palembang.
3. Mengetahui apakah koordinasi rele arus lebih dan rele gangguan tanah yang digunakan di lapangan sudah baik atau belum.

### **1.4 Batasan Masalah**

Permasalahan yang dibahas dalam penyusunan tugas akhir ini akan dibatasi oleh beberapa hal agar tidak menyimpang dari topik yang akan dibahas, hal-hal tersebut adalah sebagai berikut :

1. Pembahasan hanya pada penyulang Natuna dan penyulang Sulawesi di Gardu Induk Keramasan.
2. Perhitungan gangguan hubung singkat hanya pada gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, gangguan hubung singkat dua fasa, dan gangguan hubung singkat tiga fasa.
3. Perhitungan hanya pada *setting* rele yang disetting yaitu rele arus lebih dan rele gangguan tanah pada penyulang Natuna dan penyulang Sulawesi.

### **1.5 Metodologi Penulisan**

Metodologi yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Studi Literatur

Yakni mempelajari materi dari buku, jurnal, maupun artikel yang didapat dari internet yang berkaitan dengan materi tugas akhir ini.

## 2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data diambil dari perusahaan yang terkait dalam penyelesaian tugas akhir ini dengan melakukan observasi, wawancara kepada pihak-pihak yang bersangkutan dengan masalah yang diteliti serta dokumentasi.

## 3. Pengolahan Data

Setelah data diperoleh, maka data tersebut akan diolah melalui proses perhitungan manual.

## 4. Menganalisis Data

Menganalisis data yang telah diolah dengan membandingkan data tersebut dengan data yang ada pada perusahaan yang bersangkutan.

## 5. Metode Bimbingan/Konsultasi

Melakukan konsultasi atau diskusi tentang topik tugas akhir yang akan dibahas dengan dosen pembimbing.

## 6. Menarik Kesimpulan

Berisi kesimpulan yang didapat dari analisa data perhitungan yang telah dilakukan.

## 1.6. Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini membahas mengenai latar belakang, tujuan penulisan, perumusan masalah, batasan masalah, metodologi penulisan, serta sistematika penulisan

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini membahas mengenai landasan teori yang berkaitan dengan tugas akhir ini yang meliputi penyulang, komponen

simestris dan tak simetris, gangguan hubung singkat, sistem proteksi rele arus lebih dan rele gangguan tanah.

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini membahas metode yang digunakan dalam penyusunan tugas akhir, lokasi dan waktu penelitian, analisa data dan menjelaskan secara umum tentang perhitungan manual arus gangguan dan penyetelan rele pengaman penyulang natuna dan penyulang sulawesi.

### **BAB IV PEMBAHSAN**

Bab ini membahas pengolahan data secara manual dengan menghitung arus gangguan hubung singkat pada rele pengaman. Setelah itu menghitung setting arus dan setting waktu kerja dan membandingkannya dengan kondisi sebenarnya di lapangan.

### **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Dalam bab ini, diberikan beberapa kesimpulan dan saran yang merupakan rangkuman dari hasil pembahasan dan analisa yang ditinjau dalam tugas akhir ini..

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Kubikel Tegangan Menengah

Merupakan sebuah peralatan listrik untuk menyalurkan tenaga listrik tegangan menengah yang terdapat pada gardu distribusi dan berfungsi sebagai pemutus, penghubung, pembagi, pegontrol,dan pengaman [1].



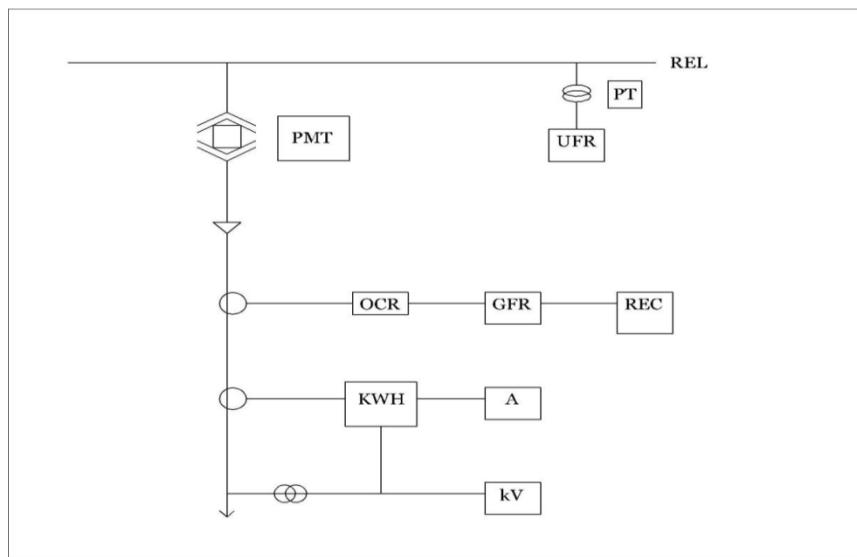
Gambar 2.1. Kubikel Tegangan Menengah [1]

#### 2.1.1 Jenis - jenis Kubikel Tegangan Menengah

1. Kubikel Incoming berfungsi menghubungkan antara sisi sekunder trafo dan rel tegangan menengah.
2. Kubikel Outgoing berfungsi untuk menyalurkan energi listrik dari rel ke beban.

3. Kubikel Pemakaian Sendiri (Trafo PS) berfungsi untuk menyalurkan energi listrik dari rel ke beban untuk pemakaian sendiri di Gardu Induk.
4. Kubikel Kopel (Bus Kopling) berfungsi untuk menghubungkan antar rel.
5. Kubikel PT berfungsi sebagai pengaman dan pengukuran.
6. Kubikel Bus Tie berfungsi untuk menghubungkan antar kubikel.

### 2.1.2 Rele dan Meter



Gambar 2.2. Single Line Diagram Rele [1]

1. *Over Current Relay* (OCR) berfungsi sebagai proteksi ketika terjadi gangguan hubung singkat fasa-fasa
2. *Ground Fault Relay* (GFR) berfungsi sebagai proteksi ketika terjadi gangguan hubung singkat fasa-tanah
3. *Recloser Relay* berfungsi menormalkan kembali SUTM saat terjadi gangguan temporer
4. *Under Frequency Relay* (UFR) berfungsi sebagai proteksi jika terjadi gangguan frekuensi atau frekuensi dibawah frekuensi normal
5. Ampere Meter berfungsi untuk mengukur arus beban

6. KWh Meter berfungsi untuk mengukur banyaknya energi listrik yang disalurkan ke beban
7. KV Meter berfungsi untuk mengukur tegangan.

## 2.2 Gangguan Hubung Singkat

Gangguan listrik merupakan gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik baik itu di gardu induk ataupun pada jaringan karena adanya gangguan hubungan langsung antar fasa maupun fasa ke tanah. Besarnya gangguan hubung singkat ditentukan oleh besar kecilnya sumber listrik, impedansi sumber, dan impedansi jaringan. Penyebab adanya gangguan hubung singkat dapat diakibatkan dari sambaran petir, pepohonan, binatang dan tembusnya isolasi. Gangguan ini dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan listrik tergantung dari lama atau tidaknya gangguan tersebut terjadi [2][3].

Besarnya arus gangguan hubung singkat dapat dihitung dengan rumus dasar hukum ohm [4][5][6]:

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

Dimana :      I = Arus (A)

V = Tegangan (V)

Z = Impedansi ( $\Omega$ )

$$I_{dasar} = \frac{MVAdasar \times 1000}{\sqrt{3} \times KV_{dasar}} (A) \quad (2.2)$$

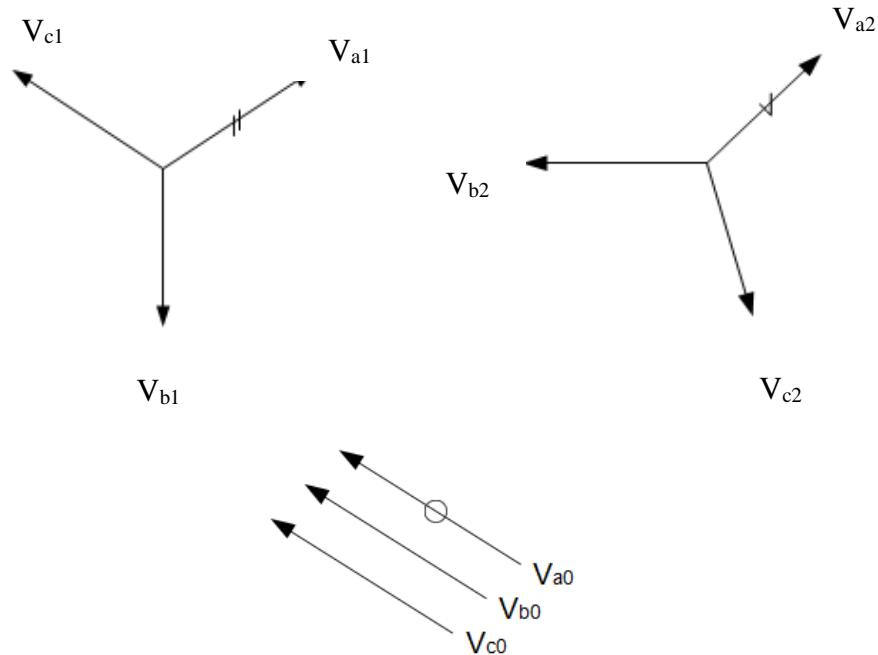
$$Z_{dasar} = \frac{KV^2}{MVA} (\Omega) \quad (2.3)$$

### 2.2.1 Komponen Simetris (*Symmetrical Components*)

Menurut teori C.L. Fortescue pada tahun 1918, dalam sistem tiga fasa terdiri dari tiga fasor yang tak seimbang dapat diuraikan menjadi tiga fasor yang seimbang, komponen-komponennya adalah [3]:

- a. Komponen urutan positif (*positif sequence components*) terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya dengan besar sudut antar pasor terpisah  $120^\circ$  dan urutan fasa sama seperti fasor aslinya.
- b. Komponen urutan negatif (*negatif sequence components*) terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya dengan besar sudut antar fasor terpisah  $120^\circ$  dan urutan fasa berlawanan seperti fasor aslinya.
- c. Komponen urutan nol (*zero sequence components*) terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya dengan besar sudut antar fasor terpisah  $120^\circ$  dengan pergeseran fasa nol antar fasor.

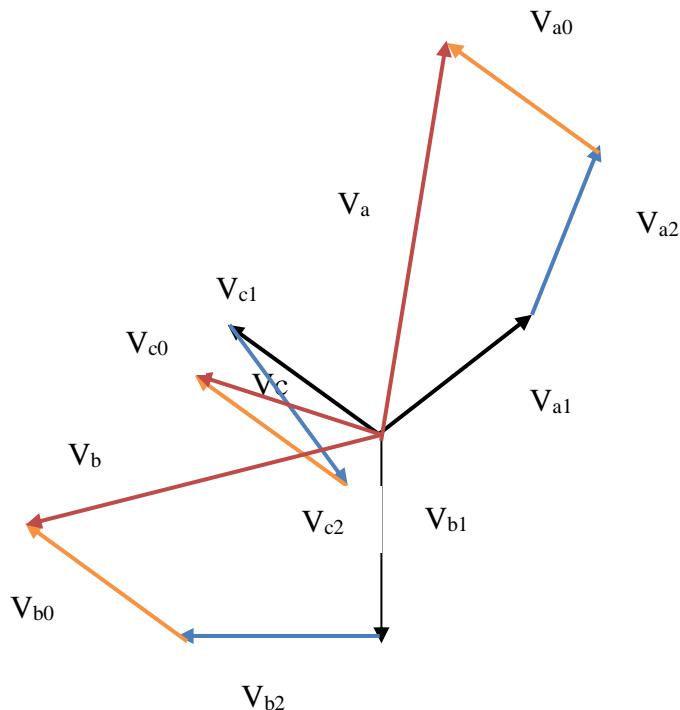
Untuk notasi simetris dalam sistem 3 fasa digunakan notasi a,b,c dan jika pasor aslinya berupa tegangan maka digunakan notasi  $V_a, V_b, V_c$ .



Gambar 2.3. Tiga himpunan fasor seimbang yang merupakan komponen simetris dari tiga fasor tak seimbang [7].

Penjumlahan masing-masing komponen dapat dinyatakan dengan [7]:

$$\begin{aligned} V_a &= V_{a1} + V_{a2} + V_{a0} \\ V_b &= V_{b1} + V_{b2} + V_{b0} \\ V_c &= V_{c1} + V_{c2} + V_{c0} \end{aligned} \quad (2.4)$$



Gambar 2.4. Penjumlahan secara grafis komponen-komponen seimbang [8].

### 2.2.2 Komponen Simetris Fasor Tak Simetris

Huruf a dalam komponen-komponen simetris digunakan untuk menunjukkan perputaran arah sebesar  $120^\circ$  berlawanan dengan arah jarum jam. Jika operator a dikenakan pada fasor dua kali berturut-turut maka fasor akan diputar dengan sudut  $240^\circ$ . Jika dikenakan tiga kali berturut-turut maka akan diputar dengan sudut  $360^\circ$  sehingga [7] [8] [9]:

$$\begin{aligned} a &= 1 \angle 120^\circ = -0,5 + j0,866 \\ a^2 &= 1 \angle 240^\circ = -0,5 - j0,866 \\ a^3 &= 1 \angle 360^\circ = 1 + j0,0 \end{aligned} \tag{2.5}$$

Berdasarkan persamaan tersebut akan dinyatakan persamaan baru dengan memasukkan operator a, didapatkan [7]:

$$\begin{aligned} V_{b1} &= a^2 V_{a1} & V_{c1} &= a V_{a1} \\ V_{b2} &= a V_{a2} & V_{c2} &= a^2 V_{a2} \\ V_{b0} &= V_{a0} & V_{c0} &= V_{a0} \end{aligned} \tag{2.6}$$

Dengan mengulangi persamaan (2.4) dan memasukkan persamaan (2.6) sehingga dihasilkan :

$$V_a = V_{a1} + V_{a2} + V_{a0}$$

$$V_b = a^2 V_{a1} + a V_{a2} + V_{a0} \quad (2.7)$$

$$V_c = a V_{a1} + a^2 V_{a2} + V_{a0}$$

Dalam bentuk matriksnya :

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = [A] \begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

$$[A] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

$$[A^{-1}] = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

$$\text{Sehingga : } \begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

$$\text{Atau : } V_{a0} = \frac{1}{3}(V_a + V_b + V_c)$$

$$V_{a1} = \frac{1}{3}(V_a + aV_b + a^2 V_c) \quad (2.13)$$

$$V_{a2} = \frac{1}{3}(V_a + a^2 V_b + a V_c)$$

Untuk persamaan arus :

$$I_a = I_{a1} + I_{a2} + I_{a0}$$

$$I_b = a^2 I_{a1} + a I_{a2} + I_{a0} \quad (2.14)$$

$$I_c = a I_{a1} + a^2 I_{a2} + I_{a0}$$

$$\begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

Atau :

$$\begin{aligned} I_{a0} &= \frac{1}{3}(I_a + I_b + I_c) \\ I_{a1} &= \frac{1}{3}(I_a + aI_b + a^2I_c) \\ I_{a2} &= \frac{1}{3}(I_a + a^2I_b + aI_c) \end{aligned} \quad (2.16)$$

### 2.3 Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat

Perhitungan ini digunakan untuk menganalisa gangguan hubung singkat yang terjadi di suatu sistem tenaga listrik. Gangguan ini dapat terjadi akibat adanya penurunan kemampuan dasar isolasi antar kawat maupun kawat ke tanah sehingga akan terjadi kenaikan arus yang berlebih [6][9].

Tujuan dari perhitungan itu sendiri ialah untuk mengetahui besar arus gangguan hubung singkat pada sistem tenaga listrik sehingga dapat digunakan untuk setting rele proteksi pada sistem tenaga listrik serta menentukan kapasitas alat pemutus daya [8].

Dalam melakukan perhitungan gangguan hubung singkat maka diperlukan perhitungan :

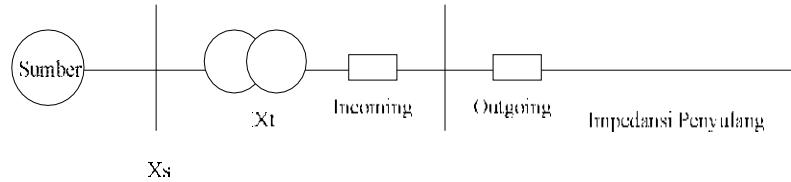
#### 2.3.1 Menghitung Impedansi

Impedansi terdiri dari :

1. Impedansi urutan positif ( $Z_1$ )
2. Impedansi urutan negatif ( $Z_2$ )
3. Impedansi urutan nol ( $Z_0$ )

Sebelum melakukan perhitungan arus hubung singkat, maka kita harus terlebih dahulu melakukan perhitungan pada bus daya tegangan primer di gardu induk untuk berbagai jenis gangguan. Setelah itu kita

menghitung pada titik-titik lainnya yang letaknya semakin jauh dari gardu induk [9].



Gambar 2.5. Rangkaian penyulang tegangan menengah [6].

Dimana :  $X_s$  = impedansi sumber ( $\Omega$ )

$X_T$  = impedansi transformator ( $\Omega$ )

Tahapan perhitungan yang dilakukan seperti terlihat pada gambar diatas yakni menghitung impedansi sumber, impedansi transformator, impedansi penyulang dan impedansi ekivalen jaringan.

### 2.3.2. Impedansi Sumber

Impedansi sumber pada sisi 20 KV diperoleh dengan menghitung impedansi sumber disisi 150 KV terbih dahulu. Dengan rumus[3][4]:

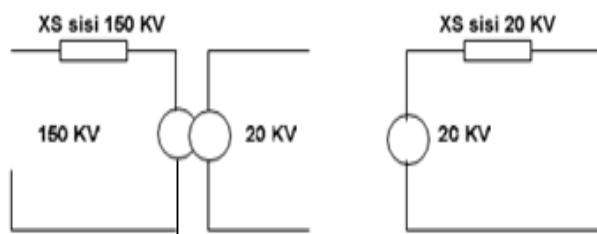
$$X_s = \frac{kV^2}{MVA} \quad (2.17)$$

Dimana :

$X_s$  = Impedansi sumber ( $\Omega$ )

$kV^2$  = Tegangan sisi primer trafo tenaga (kV)

MVA = Data hubung singkat di bus 150 kV (MVA)



Gambar 2.6. konversi Impedansi sumber pada sisi 150 KV ke 20 KV [6]

Untuk mengkonversikan impedansi sumber 150 KV ke 20 KV maka digunakan persamaan :

$$X_s(\text{sisi } 20 \text{ KV}) = \frac{20^2}{150^2} \times X_s (\text{sisi } 150 \text{ KV}) \quad (2.18)$$

Untuk mengubah impedansi sumber dalam bentuk satua pu maka :

$$Z_{\text{sumber}}(\text{pu}) = \frac{Z_{\text{sumber}}}{Z_{\text{dasar}}} \quad (2.19)$$

### 2.3.3. Impedansi Transformator

Untuk mencari nilai impedansi transformator hanya diambil nilai reaktansinya saja karena resistansinya sangat kecil. Oleh karena itu nilai resistansinya dapat diabaikan[3]:

$$X_T \text{ (pada 100\%)} = \frac{kV^2}{MVA} \quad (2.20)$$

Dimana :

$X_T$  = Impedansi transformator ( $\Omega$ )

$kV^2$  = Tegangan sisi sekunder trafo tenaga (kV)

MVA = Kapasitas daya transformator (MVA)

Untuk mencari nilai reaktansi urutan positif dan urutan negatif transformator ( $X_{T1}$  dan  $X_{T2}$ ) menggunakan rumus :

$$X_T = \% \text{ yang diketahui} \times X_T \text{ (pada 100\%)} \quad (2.21)$$

$$X_{1T} = X_{2T} = X_T \times \frac{MVA_{\text{baru}}}{MVA_{\text{lama}}} \times \frac{kV^2_{\text{lama}}}{kV^2_{\text{baru}}} \text{ (pu)} \quad (2.22)$$

Untuk menghitung reaktansi urutan nol transformator maka harus mengetahui belitan transformatornya.

1. Untuk transformator hubungan belitan  $\Delta Y$ , maka  $X_{T0} = X_{T1}$
2. Untuk transformator hubungan belitan  $Yy\Delta$ , kapasitas belitan biasanya sepertiga kapasitas belitan  $Y$ , maka harga reaktansi  $X_{T0} = 3 \times X_{T1}$
3. Untuk transformator hubungan belitan  $YY$  dan tidak memiliki belitan  $\Delta$ , maka harga reaktansi  $X_{T0} = 9$  sampai  $14 \times X_{T1}$

### 2.3.4. Impedansi Penyulang

Untuk menghitung impedansi penyulang bergantung pada panjang penyulang (km) dan impedansi per km dari penyulang itu sendiri. Besarnya impedansi per km pada penyulang bergantung pada jenis penghantar, luas penampang, dan panjang penghantar.

Impedansi penyulang urutan positif dan urutan negatif :

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

$$Z_1 = Z_2 = \frac{z_{\text{penyulang}}}{z_{\text{sumber}}} (\text{pu}) \quad (2.23)$$

Impedansi penyulang urutan nol :

$$Z_0 = \% \text{ panjang saluran} \times \text{panjang penyulang (km)} \times Z_0 (\Omega/\text{km})$$

$$Z_1 = Z_2 = \frac{z_{\text{penyulang}}}{z_{\text{sumber}}} (\text{pu}) \quad (2.24)$$

### 2.3.5. Impedansi Ekivalen Jaringan

Perhitungan ekivalen jaringan urutan positif dan ekivalen jaringan urutan negatif ( $Z_{1ek}$  dan  $Z_{2ek}$ ) dapat langsung dijumlahkan karena terhubung seri. Sedangkan perhitungan ekivalen jaringan urutan nol ( $Z_{0ek}$ ) harus memperhatikan hubungan belitan trafonya.

Urutan positif dan urutan negatif dapat dihitung dengan persamaan :

$$Z_{1ek} = Z_{2ek} = Z_{1s} + Z_{1T} + Z_{1\text{penyulang}} \quad (2.25)$$

Dimana :

$Z_{1ek}$  = impedansi ekivalen jaringan urutan positif ( $\Omega$ )

$Z_{2ek}$  = impedansi ekivalen jaringan urutan negatif ( $\Omega$ )

$Z_{1s}$  = impedansi sumber sisi 20 KV ( $\Omega$ )

$Z_{1T}$  = impedansi transformator urutan positif dan negatif ( $\Omega$ )

$Z_1$  = impedansi urutan positif dan negatif ( $\Omega$ )

Urutan nol dapat dihitung dengan persamaan :

$$Z_{0ek} = Z_{T0} + 3 Z_n + Z_{0\text{penyulang}} \quad (2.26)$$

Dimana :

$Z_{0ek}$  = impedansi ekivalen jaringan urutan nol ( $\Omega$ )

$Z_{T0}$  = impedansi transformator urutan nol ( $\Omega$ )

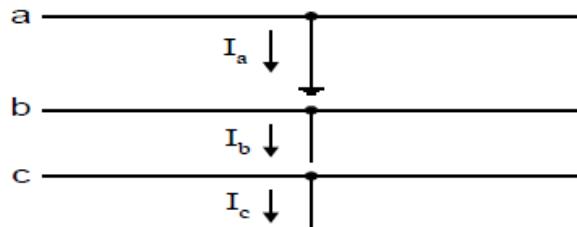
$Z_n$  = impedansi tanah transformator ( $\Omega$ )

$Z_0$  = impedansi urutan nol ( $\Omega$ )

### 2.3.6. Gangguan Satu Phasa ke Tanah Pada Sistem Tenaga (*Single Line – To Ground Fault*)

Gangguan ini terjadi karena adanya gangguan pada salah satu fasanya akibat dari kawat fasa tersebut terhubung ke tanah atau terkena pohon. Apabila pengantar tersebut tidak terhubung atau tersentuh ke tanah maka tidak akan terjadi gangguan satu fasa ke tanah [7][3].

Pada gangguan satu fasa ke tanah, batang-batang hipotetis pada ketiga saluran dihubungkan seperti gambar 2.7



Gambar 2.7. Diagram sambungan batang-batang hipotesis untuk gangguan satu phasa ke tanah [7]

Kondisi awal pada gangguan ini :  $I_b = 0$  ,  $I_c = 0$  ,  $V_a = 0$

Maka diperoleh :

$$I_{a1} = I_{a2} = I_{a0} \quad (2.27)$$

Dan

$$I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \quad (2.28)$$

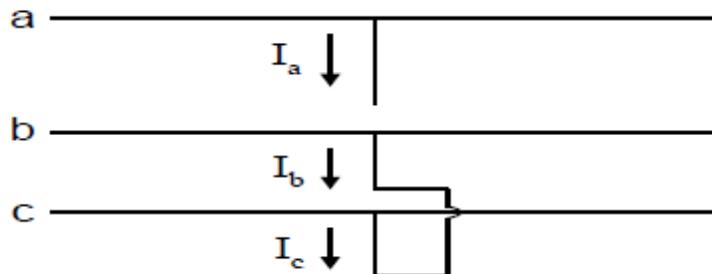
Besar arus gangguan :

$$I_f = I_a = \frac{3V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \quad (2.29)$$

### 2.3.7. Gangguan Dua Kawat Phasa Pada Sistem Tenaga (*Line – To Line Fault*)

Gangguan fasa-fasa atau gangguan dua kawat fasa ini dapat terjadi karena adanya benang layang-layang yang terbuat dari kawat atau karena ranting pohon [7][3].

Untuk gangguan dua phasa ( phasa b dan phasa c), batang-batang hipotetis pada ketiga saluran dihubungkan seperti pada gambar 2.8



Gambar 2.8. Diagram sambungan batang-batang hipotetis untuk suatu gangguan dua fasa (antar saluran) [7]

Kondisi awal pada gangguan tersebut :  $V_b = V_c$  ,  $I_a = 0$  ,  $I_b = - I_c$

Maka diperoleh :

$$V_{a1} = V_{a2} \quad (2.30)$$

$$I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2} \quad (2.31)$$

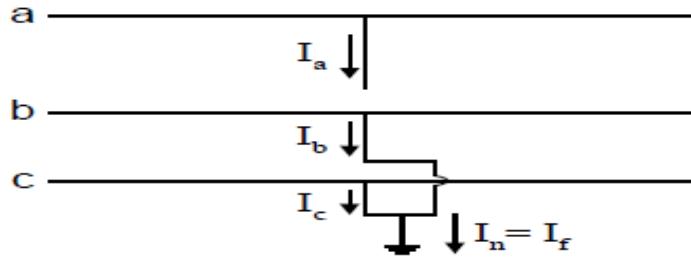
Besar arus gangguan adalah :

$$I_f = -j\sqrt{3}I_{a1} \quad (2.32)$$

### 2.3.8. Gangguan Dua Kawat Phasa ke Tanah Pada Sistem Tenaga (*Double Line – To Ground Fault*)

Gangguan dua fasa ke tanah dapat diakibatkan karena pohon terkena dua fasa [7][3].

Untuk suatu gangguan dua fasa ke tanah, batang-batang disambungkan seperti gambar 2.9



Gambar 2.9. Diagram sambungan batang-batang hipotetis untuk suatu gangguan dua fasa ketanah [7]

Kondisi awal pada gangguan ini adalah :

$$V_b = V_c = 0, I_a = 0, I_b = -I_c$$

$$V_{a1} = V_{a2} = V_{a0} \quad (2.33)$$

$$I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2 Z_0 / (Z_2 + Z_0)} \quad (2.34)$$

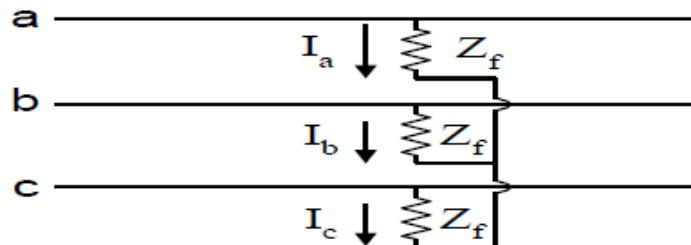
Besar arus gangguan :

$$\begin{aligned} I_f &= I_b + I_c \\ &= (a^2 I_{a1} + a I_{a2} + I_{a0}) + (a I_{a1} + a^2 I_{a2} + I_{a0}) \end{aligned} \quad (2.35)$$

### 2.3.9. Gangguan Tiga Kawat Phasa Pada Sistem Tenaga (*Three Line Fault*)

Gangguan tiga fasa dapat terjadi karena terhubungnya ketiga fasanya oleh pohon atau kawat dari benang layang-layang [7][3].

Untuk suatu gangguan tiga fasa, batang-batang disambungkan seperti ditunjukkan dalam gambar 2.10



Gambar 2.10. Diagram hubungan batang-batang hipotetis untuk suatu gangguan tiga fasa ke tanah [7].

Besar arus gangguan :

Tanpa  $Z_f$

$$I_{a1} = I_a = I_f = \frac{V_f}{Z_1} \quad (2.36)$$

Dengan  $Z_f$

$$I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} \quad (2.37)$$

## 2.4 Sistem Proteksi Rele

Sistem proteksi merupakan sebuah sistem yang dibuat untuk mengamankan peralatan listrik dari gangguan saat sedang beroprasi dan memisahkan bagian sistem tenaga listrik yang terganggu dengan sistem tenaga listrik yang tidak terganggu. Agar peralatan yang ingin dilindungi dari gangguan dapat terhindar dari kerusakan dan sistm tenaga listrik yang tidak terganggu dapat terus berkerja. Pada hakekatnya sistem proteksi ini dipasang pada sistem tenaga listrik untuk mengamankan seluruh sistem tenaga listrik agar keandalan tetap terjaga. Sistem proteksi yang biasanya dipasang untuk mencegah akibat-akibat negatif yang ditimbulkan pada peralatan sistem tenaga listrik yaitu rele pengaman [3].Apabila terjadi gangguan, rele akan bekerja dengan mengirimkan sinyal perintah kepada pemutus tenaga (PMT) untuk memisahkan daerah yang terganggu dari sistem . Rele mendeteksi terjadinya gangguan dengan besaran arus, tegangan, frekuensi, dan sebagainya sesuai dengan jenis dan besaran rele yang telah disetting [10].

Untuk dapat mengatasi gangguan diperlukan upaya yaitu menggunakan peralatan sistem tenaga listrik yang sesuai dengan standar, menentukan spesifikasi dan desain yang cocok untuk sistem proteksi yang akan digunakan serta pemasangannya harus benar dan sesuai [3][10].

### 2.4.1 Persyaratan Terpenting Untuk Sistem Proteksi

- a. Kepekaan ( *Sensitivity* )

Setiap rele yang terpasang sebagai sistem proteksi harus cukup peka dalam mendeteksi adanya gangguan walaupun dalam kondisi yang memberikan rangsangan minimum dikawasan pengamanannya.

b. Keandalan (*Reliability*)

Pada syarat keandalan untuk sistem proteksi dilihat dari 5 aspek yaitu :

1. *Dependability*

Dalam prinsipnya sistem proteksi harus dapat bekerja apabila terjadi gangguan, tidak boleh gagal dalam mendektsi adanya gannguan dan melepaskan bagian yang terganggu.

2. *Security*

Sistem proteksi yang dipasang tidak boleh salah dalam bekerja misalnya salah mendeteksi adanya gangguan diluar daerah pengamannya dan tidak boleh terlalu lambat dan terlalu cepat keja.

3. *Availability*

Perbandingan waktu antara waktu siap kerja dan waktu total operasinya.

4. *Selectivity*

Rele atau sistem proteksi yang dipasang harus dapat membedakan dimana letak gangguannya. Apabila gangguan terdapat didaerah pengamannya maka relai harus cepat dalam bekerja, jika dibagian berikutnya maka relai harus bekerja dengan waktu tundanya (*time delay*), dan apabila gangguan terjadi diluar daerah proteksinya atau tidak terjadi gangguan maka rele tidak boleh bekerja

5. *Speed*

Untuk dapat menghindari kerusakan peralatan dari gangguan maka sistem proteksi yang dipasang harus bekerja

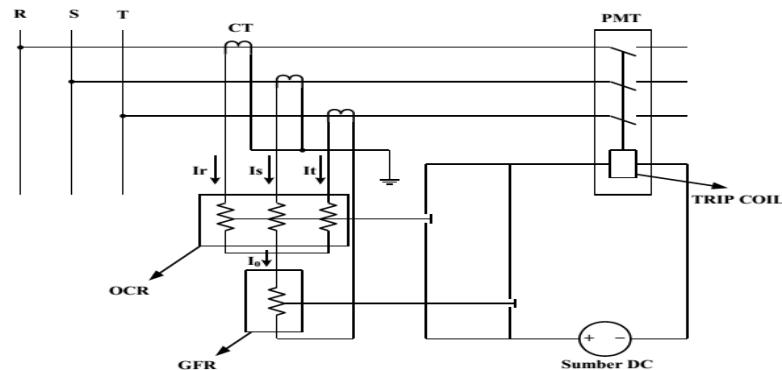
secepat mungkin memsiahkan bagian yang tergaanggu dari bagian sistem lainnya. Apalagi relai terdapat waktu tunda maka waktu tunda yang diberikan harus secepat mungkin, karena apabila relai lambat dalam bekerja dapat merusak peralatan dan kestabilan sistem [3].

## 2.5 Rele Arus Lebih (*Over Current Relay*)

Merupakan suatu peralatan proteksi yang digunakan sebagai pengaman dari arus lebih yang disebabkan oleh hubung singkat maupun *overload* untuk melindungi peralatan yang berada dalam wilayah proteksinya agar terhindar dari kerusakan apabila terjadi gangguan.

Prinsip kerjanya yaitu pada jaringan SUTM saat kondisi normal arus beban ( $I_b$ ) yang mengalir akan ditransformasikan oleh trafo arus besaran sekunder ( $I_r$ ). Kemudian arus sekunder ( $I_r$ ) tersebut akan mengalir ke kumparan rele, tetapi pada saat kondisi normal besar arus sekunder yang melewati kumparan rele belum melewati batas arus maksimal yang telah disetting pada rele, maka rele tidak akan bekerja/tidak mendeteksi adanya arus lebih yang lewat.

Apabila terjadi gangguan hubung singkat, maka arus beban ( $I_b$ ) akan naik sehingga arus sekunder ( $I_r$ ) yang melewati kumparan rele akan naik juga sehingga besar arus yang mengalir pada kumparan rele akan lebih besar dibandingkan dengan arus settingnya sehingga rele akan memberi sinyal trip pada tripping coil untuk membuka PMT, agar bagian yang terganggu dapat dipisahkan dari sistem [6][9].



Gambar 2.11. Rangkaian pengawatan OCR dan GFR [10]

### 2.5.1 Karakteristik Arus Lebih

Hubungan kerja antara besar arus dan waktu rele, sebagai berikut:

#### 1. Instantaneous Relay

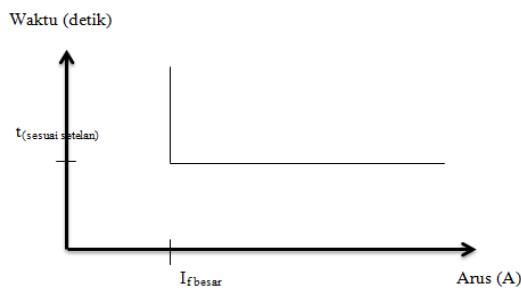
Rele ini bekerja tanpa waktu tunda tapi masih bekerja dengan waktu cepat 40-80 mili detik yang akan memberikan perintah trip pada circuit breaker apabila arus yang mengalir melebihi nilai setting arusnya.



Gambar 2.12. Grafik *moment* [3]

#### 2. Definite Time Relay

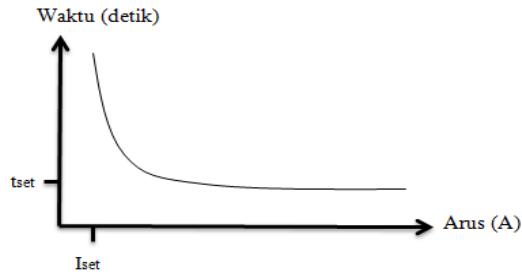
Rele definite time ini mempunyai waktu tunda yang tetap atau pasti sehingga rele bekerja tidak bergantung pada besar arus gangguannya.



Gambar 2.13. Grafik *Definite Time* [3]

#### 3. Inverse Time Relay

Rele ini mempunyai grafik terbalik antara waktu kerja dengan arus gangguan yaitu jika arus gangguan yang mengalir semakin besar maka waktu kerja rele akan semakin cepat.

Gambar 2.14. Grafik *Inverse Time* [3]

Untuk mengetahui *setting* arus lebih pada *setting* rele menggunakan *inverse time* rele ini, terlebih dahulu dilakukan perhitungan terhadap arus nominal transformator menggunakan rumus[3] :

$$I_{set(primer)} = (1,05 - 1,2) \times I_{nominal} \quad (2.38)$$

$$I_{set(sekunder)} = I_{set(primer)} \times \frac{1}{ratio\ CT} \quad (2.39)$$

Karakteristik *inverse* sesuai IEC 60255-3 dan BS 142 1966, sebagai berikut :

$$t = \frac{\beta}{((\frac{I_f}{I_{set}})^{\alpha}-1)} \times TMS \text{ (detik)} \quad (2.40)$$

$$TMS = \frac{((\frac{I_f}{I_{set}})^{\alpha}-1)}{\beta} \times t \quad (2.41)$$

Tabel 2.1. Faktor  $\alpha$  dan  $\beta$  tergantung pada kurva arus dengan waktu :

Nama Kurva	$\alpha$	B
<i>Standar Inverse</i>	0.02	0.14
<i>Very Inverse</i>	1	13.2
<i>Extremely Inverse</i>	2	80
<i>Long Inverse</i>	1	120

## 2.6 Rele Gangguan Tanah (*Ground Fault Relay*)

Prinsip kerja rele gangguan tanah sama dengan rele arus lebih. Perbedaannya hanya terletak pada arus gangguan yang dideteksi yaitu apabila rele arus lebih mendeteksi gangguan fasa-fasa, tetapi jika rele gangguan tanah mendeteksi gangguan yang melibatkan tanah sehingga besar arus gangguannya lebih kecil. Karena saat terjadi gangguan hubung singkat ke tanah maka akan muncul arus urutan nol pada fasa netral sehingga rele gangguan tanah akan bekerja. Untuk menentukan nilai setting rele gangguan tanah sama seperti pada *setting* rele arus lebih hanya saja pada rele gangguan tanah disetel lebih *sensitive* dibandingkan dengan setting rele arus lebih [9]. Untuk menentukan setting arusnya yaitu [3] :

$$I_{\text{set}} = 6\% \text{ sampai } 12\% I_f \text{ 1 fasa terkecil/terjauh}$$

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Umum**

Secara umum metode yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

##### 1. Studi Literatur

Yakni mempelajari materi dari buku, ebook, jurnal, maupun artikel yang didapat dari internet yang berkaitan dengan materi tugas akhir ini.

##### 2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data diambil dari perusahaan yang terkait dalam penyelesaian tugas akhir ini dengan melakukan observasi, wawancara kepada pihak-pihak yang bersangkutan dengan masalah yang diteliti serta dokumentasi.

##### 3. Pengolahan Data

Setelah data diperoleh, maka data tersebut akan diolah melalui proses perhitungan manual.

##### 4. Menganalisis Data

Menganalisis perbandingan data hasil perhitungan dengan data yang ada pada perusahaan yang bersangkutan.

##### 5. Metode Bimbingan/Konsultasi

Melakukan konsultasi atau diskusi tentang topik tugas akhir yang akan dibahas dengan dosen pembimbing.

##### 6. Menarik Kesimpulan

Berisi kesimpulan yang didapat dari analisa data perhitungan yang telah dilakukan.

### 3.2 Lokasi dan Waktu Pelaksanaan Penelitian

Lokasi yang diambil untuk tugas akhir ini yaitu penyulang Natuna dan pemyulang Sulawesi distribusi 20 KV pada Gardu Induk Keramasan Palembang. Data-data yang dibutuhkan untuk menyusun tugas akhir ini didapat pada Gardu Induk Keramsan dan PLN Rayon Ampera. Penelitian dilakukan mulai dari bulan Oktober 2018 sampai dengan selesai yang meliputi studi literatur, pengambilan data, pengolahan data dan analisa, serta pembuatan kesimpulan.

### 3.3 Analisa Data

Data-data yang diperlukan untuk menyusun tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Data sistem yaitu berupa data MVA short circuit tiga fasa dan satu fasa ke tanah pada sisi 150 KV serta MVA base.
2. Data transformator yaitu berupa data kapaasitas, impedansi, tegangan, ratio CT, serta jenis belitan pada transformator.
3. Data penyulang yaitu berupa data jenis kabel penghantar, panjang saluran, impedansi, ratio CT.
4. Data teknis *Netral Grounding Resistance* (NGR)
5. Data rele arus lebih dan rele gangguan tanah yang digunakan yaitu, *setting* arus, *setting* waktu, dan ratio CT.

Adapun metode penyelesaian untuk menganalisa data adalah sebagai berikut :

1. Menghitung impedansi sumber

$$X_s(sisi\ 150\ KV) = \frac{KV^2}{MVA_{hubung\ singkat\ 3\emptyset}}$$

Konversikan impedansi sumber 150 KV ke 20 KV maka digunakan persamaan :

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

2. Menghitung reaktansi transformator urutan positif, negatif, dan urutan nol

$$X_{1T} = X_{2T} = X_T \times \frac{MVA_{baru}}{MVA_{lama}} \times \frac{kV^2_{lama}}{kV^2_{baru}}$$

$X_{0T}$  = Disesuaikan dengan hubungan belitan transformator

3. Menghitung impedansi penyulang dengan jarak gangguan 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%. Jarak ini diambil berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh alumni Universitas Riau yaitu Khalik Al Ridha dan Firdaus di jurnal Evaluasi Koordinasi Relay Arus Lebih (OCR) dan Gangguan Tanah (GFR) pada Gardu Induk Garuda Sakti Pekanbaru.

Impedansi penyulang urutan positif dan urutan negatif :

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

Impedansi penyulang urutan nol :

$$Z_0 = \% \text{ panjang saluran} \times \text{panjang penyulang (km)} \times Z_0 (\Omega/\text{km})$$

4. Menghitung impedansi ekivalen urutan positif, urutan negatif, urutan nol dengan jarak gangguan 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%.

Urutan positif dan urutan negatif dapat dihitung dengan persamaan :

$$Z_{1ek} = Z_{2ek} = Z_{1S} + Z_{1T} + Z_{1penyulang}$$

Urutan nol dapat dihitung dengan persamaan :

$$Z_{0ek} = Z_{T0} + 3 Z_n + Z_{0penyulang}$$

5. Menghitung arus gangguan hubung singkat

- a. Gangguan hubung singkat 3 fasa

$$I_f = \frac{V_f}{Z_1}$$

- b. Gangguan hubung singkat 2 fasa

$$I_f = -j\sqrt{3} \frac{V_f}{Z_1 + Z_2}$$

- c. Gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah

$$I_f = I_a = \frac{3V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_3}$$

6. Menghitung setting rele arus lebih
  - a. Menghitung setting rele arus lebih sisi 150 kV
  - b. Menghitung setting rele arus lebih sisi incoming 20 kV
  - c. Menghitung setting rele arus lebih sisi penyulang Natuna
  - d. Menghitung setting rele arus lebih sisi penyulang Sulawesi
7. Menghitung setting rele gangguan tanah
  - a. Menghitung setting rele gangguan tanah sisi 150 kV
  - b. Menghitung setting rele gangguan tanah sisi incoming 20 kV
  - c. Menghitung setting rele gangguan tanah sisi penyulang Natuna
  - d. Menghitung setting rele gangguan tanah sisi penyulang Sulawesi
8. Menghitung setting waktu kerja rele arus lebih pada transformator dan penyulang

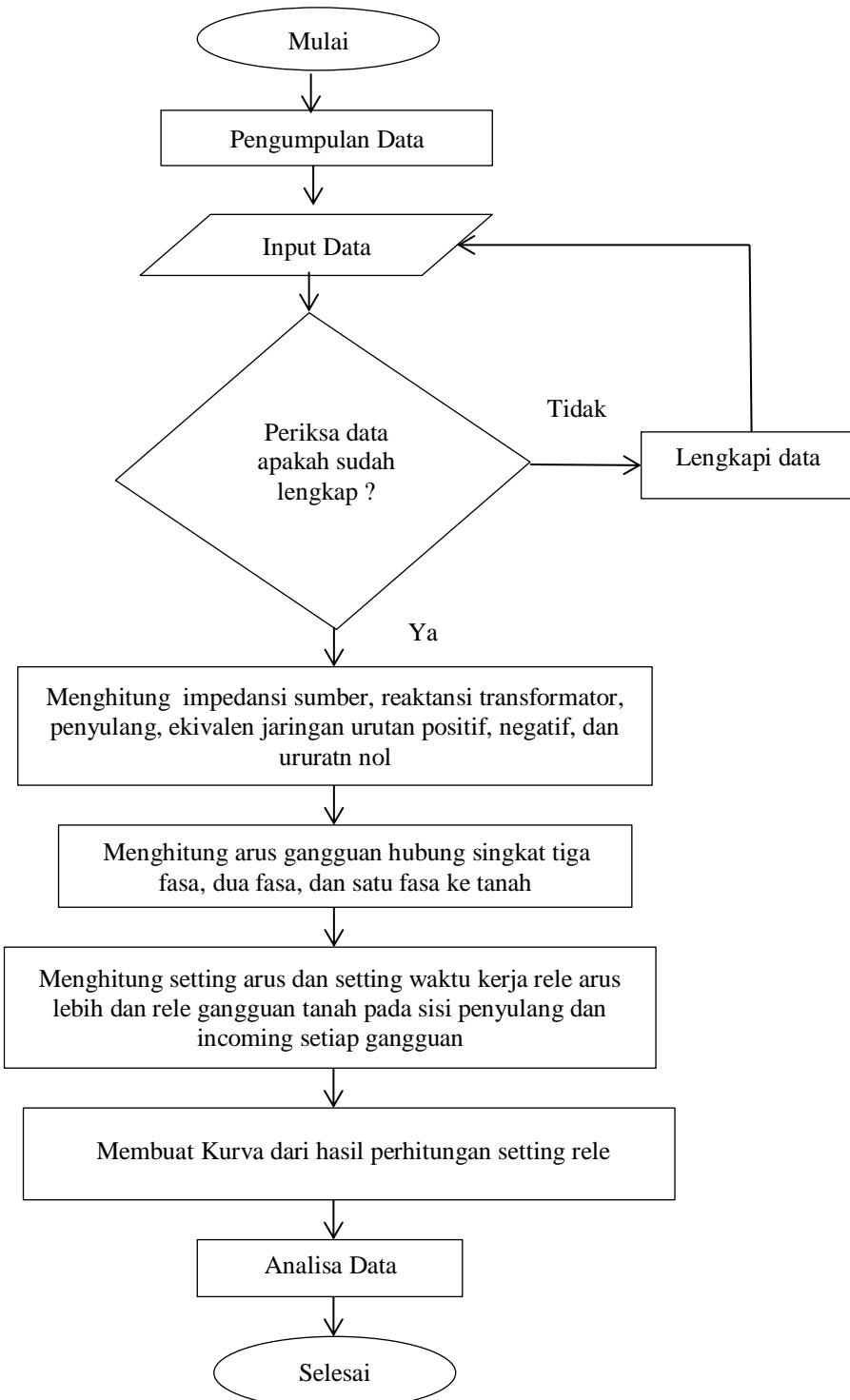
$$t = \frac{0,14 \times tms}{\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1}$$

9. Menghitung setting waktu kerja rele gangguan tanah pada transformator dan penyulang

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

10. Membuat grafik koordinasi rele arus lebih dan rele gangguan tanah
11. Membandingkan data hasil perhitungan dengan data di lapangan

### 3.4 Diagram Alir Penelitian



## **BAB IV**

### **PEMBAHASAN**

#### **4.1 Gardu Induk Keramasan Palembang**

Pada Gardu Induk Keramasan memiliki dua buah transformator daya yang memiliki kapasitas yang berbeda-beda yaitu 60 MVA pada tegangan kerja 150/20 kV dan transformator daya 30 MVA pada tegangan kerja 70/20 kV. Terdapat 9 penyulang aktif yaitu penyulang Kalimantan, Sulawesi, Seribu, Borang, Natuna, Batam, Jawa, Bali, dan Papua. Pada penulisan tugas akhir ini, penulis akan membahas setting rele hanya pada transformator 60 MVA dengan tegangan kerja 150/20 KV yakni pada penyulang Natuna dan penyulang Sulawesi. Pada transformator ini dipasang rele arus lebih (OCR) dan rele gangguan tanah (GFR) untuk mengamankan peralatan listrik dari gangguan yang dapat terjadi.

#### **4.2 Data Teknis Jaringan Gardu Induk Keramasan Palembang**

$$I_{sc3\emptyset} = 11961 \text{ A}$$

$$I_{sc1\emptyset \text{ tanah}} = 276 \text{ A}$$

$$MVA_{sc3\emptyset} = 150 \times 11,961 \times \sqrt{3} = 3107,558956 \text{ MVA}$$

$$MVA_{sc1\emptyset \text{ tanah}} = 150 \times 0,276 \times \sqrt{3} = 71,70690343 \text{ MVA}$$

#### **4.3 Data Teknis Peralatan Gardu Induk Keramasan Palembang**

Tabel 4.1. Data Transformator

<i>Merk</i>	<i>PAUWELS</i>
Kapasitas Daya	60 MVA

Tegangan	150/20 KV
Hub. Belitan Trafo	YNyn0
Impedansi Trafo	12,5%
Rasio CT 150 kV	300/5 A
Rasio CT 20 kV	2000/5 A

Tabel 4.2. Data Penyulang

<b>Nama Penyulang</b>	<b>Rasio CT</b>	<b>OCR</b>	
		<i>Merk</i>	<i>Type</i>
Natuna	800/5 A	<i>Areva</i>	<i>Micom P123</i>
Sulawesi	800/5 A	<i>Areva</i>	<i>Micom P123</i>

Tabel 4.3. Data NGR

<i>Merk</i>	<i>OZ DIRENZ</i>
Tahanan	40 $\Omega$
Kemampuan Arus	300 A

Tabel 4.4. Nilai Impedansi Urutan Positif, Negatif, dan Nol Kawat Penghantar  
(SPLN 64:1985)

<b>Jenis Kabel</b>	<b>Impedansi Urutan Positif/Negatif (<math>\Omega/km</math>)</b>	<b>Impedansi Urutan Nol (<math>\Omega/km</math>)</b>
A3C 70 mm <sup>2</sup>	$0,4608 + j 0,3572$	$0,6088 + j 1,6447$
A3C 150 mm <sup>2</sup>	$0,2162 + j 0,3305$	$0,3631 + j 1,6180$

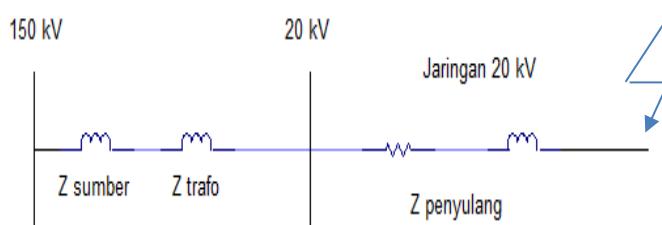
SKTM 150 mm <sup>2</sup>	0,263 + j 0,0974	0,4208+ j 0,24837
SKTM 240 mm <sup>2</sup>	0,16 + j 0,0908	0,256 + j 0,23154

Tabel 4.5. Data Jenis Kawat Penghantar beserta Panjang Kawat

Nama Penyulang	Jenis Penghantar yang digunakan (kms)			
	A3C 70 mm <sup>2</sup>	A3C 150 mm <sup>2</sup>	SKTM 150 mm <sup>2</sup>	SKTM 240 mm <sup>2</sup>
Natuna	-	36,2	0,2	-
Sulawesi	-	49,7	0,1	-

#### 4.4 Perhitungan Impedansi

Berikut ini merupakan gambar impedansi ekivalen penyulang yang akan dihitung.



Gambar 4.1. Rangkaian Ekivalen Impedansi Penyulang

##### 4.4.1 Impedansi Dasar

- Impedansi dasar sisi 150 kV

$$I_{base} = \frac{MVA_{base}}{\sqrt{3} \times kV_{base}} = \frac{60 \times 1000}{\sqrt{3} \times 150} = 230,9401077 \text{ A}$$

- Impedansi dasar sisi 20 kV

$$I_{base} = \frac{MVA_{base}}{\sqrt{3} \times kV_{base}} = \frac{60 \times 1000}{\sqrt{3} \times 20} = 1732,050808 A$$

$$Z_{base} = \frac{kV_{base}^2}{MVA_{base}} = \frac{20^2}{60} = 6,6667 \Omega$$

#### 4.4.2 Impedansi Sumber

- Impedansi sumber sisi 150 kV (sisi primer)

$$X_1 = X_2 = \frac{kV^2(sisi\ primer\ trafo)}{MVA_{SC\ 3\phi}} = \frac{150^2}{3107,558966} = j7,2404 \Omega$$

- Impedansi sumber sisi 20 kV (sisi primer)

$$X_1 = X_2 = \frac{kV^2(sisi\ sekunder\ trafo)}{kV^2(sisi\ primer\ trafo)} \times X_s(sisi\ primer)$$

$$X_1 = X_2 = \frac{20^2}{150^2} \times j7,2404 = j0,12872 \Omega$$

Nilai impedansi sumber urutan positif dan negatif dalam pu

$$Z_{1s} = Z_{2s} = \frac{j0,12872}{6,6667} = j0,019308 pu$$

Nilai impedansi sumber urutan nol dalam pu

$$I_{sc\ 1\phi\ pu} = \frac{I_{sc\ 1\phi}}{I_{base}} = \frac{276\ A}{1732,0508\ A} = 0,15935\ pu$$

$$I_{sc\ 1\phi\ pu} = \frac{3 \times V_f}{Z_{1s} + Z_{2s} + Z_{0s}}$$

$$0,15935 = \frac{3 \times 1}{j0,019308 + j0,019308 + Z_{0s}}$$

$$j0,038616 + Z_{0s} = \frac{3}{0,15935}$$

$$Z_{0s} = j18,82648 - j0,038616$$

$$Z_{0s} = j18,787864 pu$$

#### 4.4.3 Reaktansi Transformator

$$X_T = j0,1250$$

$$X_{1T} = X_{2T} = X_T \times \frac{MVA_{baru}}{MVA_{lama}} \times \frac{kV^2_{lama}}{kV^2_{baru}}$$

$$X_{1T} = X_{2T} = j 0,1250 \times \frac{60}{60} \times \frac{20^2}{20^2}$$

$$X_{1T} = X_{2T} = j0,125 pu$$

Untuk menghitung reaktansi urutan nol transformator dapat dilihat dari hubungan belitan pada transformator tersebut. Karena transformator 60 MVA yang mensuplai penyulang Natuna dan penyulang Sulawesi tidak mempunyai belitan delta didalamnya maka besar reaktansi urutan nol transformator berkisar antara 9 sampai dengan 14 kali reaktansi urutan positif transformator :

$$X_{0T} = (9 s/d 10) \times X_{1T}$$

Dalam perhitungan ini diambil 10 kali dari nilai reaktansi trafo urutan positif, sehingga trafo urutan nol sebesar :

$$X_{0T} = 10 \times X_{1T}$$

$$X_{0T} = 10 \times j0,125$$

$$X_{0T} = j1,25 pu$$

#### 4.4.4 Impedansi Penyulang

Menghitung impedansi penyulang dengan jarak gangguan 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%. Jarak ini diambil berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh alumni Universitas Riau yaitu Khalik Al Ridha dan Firdaus di jurnal Evaluasi Koordinasi Relay Arus Lebih (OCR) dan Gangguan Tanah (GFR) pada Gardu Induk Garuda Sakti Pekanbaru.

##### 1. Penyulang Natuna

- Impedansi urutan positif dan negatif

$$Z_1 = Z_2 = [36,2 \times (0,2162 + j 0,3305)] + [0,2 \times (0,263 + j 0,0974)]$$

$$Z_1 = Z_2 = 7,87904 + j11,98358 \Omega$$

$$Z_1 = Z_2 = \frac{7,87904+j11,98358}{6,6667}$$

$$Z_1 = Z_2 = (1,18185 + j1,797528)pu$$

Tabel 4.6. Impedansi Penyulang Urutan Positif dan Negatif Penyulang Natuna

(%panjang)	Impedansi Penyulang ( $Z_1 = Z_2$ )
0	$0\% \times (1,18185+j1,797528) = 0 \text{ pu}$
25	$25\% \times (1,18185+j1,797528) = (0,29546 + j0,44938) \text{ pu}$
50	$50\% \times (1,18185+j1,797528) = (0,590925 + j0,89876) \text{ pu}$
75	$75\% \times (1,18185+j1,797528) = (0,88638 + j1,348146) \text{ pu}$
100	$100\% \times (1,18185+j1,797528) = (1,18185+j1,797528) \text{ pu}$

- Impedansi urutan nol

$$Z_0 = [36,2 \times (0,3631 + j 1,6180)] + [0,2 \times (0,4208 + j 0,24837)]$$

$$Z_0 = 13,22838 + j58,621274 \Omega \Omega$$

$$Z_0 = \frac{13,22838 + j58,621274}{6,6667}$$

$$Z_0 = (1,98424 + j8,793147) \text{ pu}$$

Tabel 4.7. Impedansi Penyulang Urutan Nol Penyulang Natuna

(%panjang)	Impedansi Penyulang ( $Z_0$ )
0	$0\% \times (1,98424+j8,793147) = 0 \text{ pu}$
25	$25\% \times (1,98424+j8,793147) = (0,49606 + j2,19828) \text{ pu}$
50	$50\% \times (1,98424+j8,793147) = (0,99212 + j4,39657) \text{ pu}$
75	$75\% \times (1,98424+j8,793147) = (1,48818 + j6,5946) \text{ pu}$
100	$100\% \times (1,98424+j8,793147) = (1,98424+j8,793147) \text{ pu}$

## 2. Penyulang Sulawesi

- Impedansi urutan positif dan negatif

$$Z_1 = Z_2 = [49,7 \times (0,2162 + j 0,3305)] + [0,1 \times (0,263 + j 0,0974)]$$

$$Z_1 = Z_2 = 10,77144 + j16,43559 \Omega$$

$$Z_1 = Z_2 = \frac{10,77144 + j16,43559}{6,6667}$$

$$Z_1 = Z_2 = (1,6157 + j2,465326) \text{ pu}$$

Tabel 4.8. Impedansi Penyulang Urutan Positif dan Negatif Penyulang Sulawesi

(%panjang)	Impedansi Penyulang ( $Z_1 = Z_2$ )
0	$0\% \times (1,6157+j2,465326) = 0 \text{ pu}$
25	$25\% \times (1,6157+j2,465326) = (0,403925 + j0,61633) \text{ pu}$
50	$50\% \times (1,6157+j2,465326) = (0,80785 + j1,232663) \text{ pu}$
75	$75\% \times (1,6157+j2,465326) = (1,211775 + j1,84899) \text{ pu}$
100	$100\% \times (1,6157+j2,465326) = (1,6157+j2,465326) \text{ pu}$

- Impedansi urutan nol

$$Z_0 = [49,7 \times (0,3631 + j 1,6180)] + [0,1 \times (0,4208 + j 0,24837)]$$

$$Z_0 = 18,08815 + j80,439437 \Omega \Omega$$

$$Z_0 = \frac{18,08815 + j80,439437}{6,6667}$$

$$Z_0 = (2,7132 + j12,06585) \text{ pu}$$

Tabel 4.9. Impedansi Penyulang Urutan Nol Penyulang Sulawesi

(%panjang)	Impedansi Penyulang ( $Z_0$ )
0	$0\% \times (2,7132+j12,06585) = 0 \text{ pu}$
25	$25\% \times (2,7132+j12,06585) = (0,6783 + j3,01646) \text{ pu}$
50	$50\% \times (2,7132+j12,06585) = (1,3566 + j6,032925) \text{ pu}$
75	$75\% \times (2,7132+j12,06585) = (2,0349 + j9,04938) \text{ pu}$
100	$100\% \times (2,7132+j12,06585) = (2,7132+j12,06585) \text{ pu}$

#### 4.4.5 Impedansi Ekivalen

##### 1. Penyulang Natuna

- Impedansi ekivalen urutan positif dan negatif ( $Z_{1\ eq} = Z_{2\ eq}$ )

$$Z_{1\ ekivalen} = z_{1\ sumber} + z_{1\ trafo} + Z_{1\ penyulang}$$

$$Z_{1\ ekivalen} = j0,019308 + j0,1250 + Z_{1\ penyulang}$$

$$Z_{1\ ekivalen} = (j0,144308 + Z_{1\ penyulang}) \text{ pu}$$

Tabel 4.10. Impedansi Ekivalen Urutan Positif dan Negatif Penyulang Natuna

(%panjang)	Impedansi Penyulang ( $Z_{1\ eq} = Z_{2\ eq}$ )
0	$j\ 0,144308 + 0 = j0,144308\ pu$
25	$j\ 0,144308 + 0,29546 + j0,44938 = 0,29546 + j0,593688\ pu$
50	$j0,144308+0,590925 + j0,89876= 0,590925 + j1,043068\ pu$
75	$j0,144308+0,88638 + j1,348146= 0,88638 + j1,492454\ pu$
100	$j0,144308+1,18185 + j1,797528 = 1,18185+j1,941836\ pu$

- Impedansi ekivalen urutan nol

$$Z_{0\ ekivalen} = z_{0\ sumber} + z_{0\ trafo} + 3R_n + Z_{0\ penyulang}$$

$$Z_{0\ ekivalen} = j18,787864 + j1,25 + \left(\frac{3 \times 40}{6,6667}\right) + Z_{0\ penyulang}$$

$$Z_{0\ ekivalen} = (18 + j20,037864 + Z_{0\ penyulang})\ pu$$

Tabel 4.11. Impedansi Ekivalen Urutan Nol Penyulang Natuna

(%panjang)	Impedansi Penyulang ( $Z_{0\ eq}$ )
0	$18 + j20,037864 + 0 = 18 + j20,037864\ pu$
25	$18 + j20,037864 + 0,49606 + j2,19828 = 18,49606 + j22,23614\ pu$
50	$18 + j20,037864 + 0,99212 + j4,39657 = 18,99212 + j24,434434\ pu$
75	$18 + j20,037864 + 1,48818 + j6,5946 = 19,48818 + j26,632464\ pu$
100	$18 + j20,037864 + 1,98424 + j8,793147 = 19,98424 + j28,831011\ pu$

## 2. Penyulang Sulawesi

- Impedansi ekivalen urutan positif dan negatif ( $Z_{1\ eq} = Z_{2\ eq}$ )

$$Z_{1\ ekivalen} = z_{1\ sumber} + z_{1\ trafo} + Z_{1\ penyulang}$$

$$Z_{1\ ekivalen} = j0,019308 + j0,1250 + Z_{1\ penyulang}$$

$$Z_{1\ ekivalen} = (j0,144308 + Z_{1\ penyulang})\ pu$$

Tabel 4.12. Impedansi Ekivalen Urutan Positif dan Negatif Penyulang Sulawesi

(%panjang)	Impedansi Penyulang ( $Z_{1\ eq} = Z_{2\ eq}$ )
0	$j0,144308 + 0 = j0,144308 \text{ pu}$
25	$j0,144308 + 0,403925 + j0,61633 = 0,403925 + j0,760638 \text{ pu}$
50	$j0,144308+0,80785 + j1,232663= 0,80785 + j1,376971 \text{ pu}$
75	$j0,144308+1,211775 + j1,84899= 1,211775 + j1,993298 \text{ pu}$
100	$j0,144308+1,6157 + j2,465326 = 1,6157+j2,609634 \text{ pu}$

- Impedansi ekivalen urutan nol

$$Z_0\text{ }ekivalen = z_0\text{ }sumber + z_0\text{ }trafo + 3R_n + Z_0\text{ }penyulang$$

$$Z_0\text{ }ekivalen = j18,787864 + j1,25 + \left(\frac{3 \times 40}{6,6667}\right) + Z_0\text{ }penyulang$$

$$Z_0\text{ }ekivalen = (18 + j20,037864 + Z_0\text{ }penyulang) \text{ pu}$$

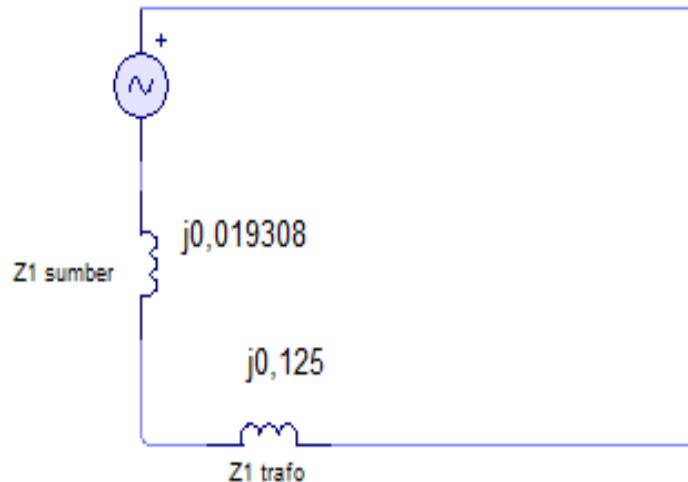
Tabel 4.13. Impedansi Ekivalen Urutan Nol Penyulang Sulawesi

(%panjang)	Impedansi Penyulang ( $Z_0$ )
0	$18 + j20,037864 + 0 = 18 + j20,037864 \text{ pu}$
25	$18 + j20,037864 + 0,6783 + j3,01646 = 18,6783 + j23,054324 \text{ pu}$
50	$18 + j20,037864 + 1,3566 + j6,032925 = 19,3566 + j26,070789 \text{ pu}$
75	$18 + j20,037864 + 2,0349 + j9,04938 = 20,0349 + j29,087244 \text{ pu}$
100	$18 + j20,037864 + 2,7132 + j12,06585 = 20,7132 + j32,103714 \text{ pu}$

#### 4.4.6 Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat

##### 4.6.6.1 Perhitungan Gangguan Hubung Singkat pada Transformator

- Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa



Gambar 4.2 Diagram Impedansi Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa Pada Transformatorm

$$I_{sc \ 3\emptyset} = \frac{V_f}{Z_1}$$

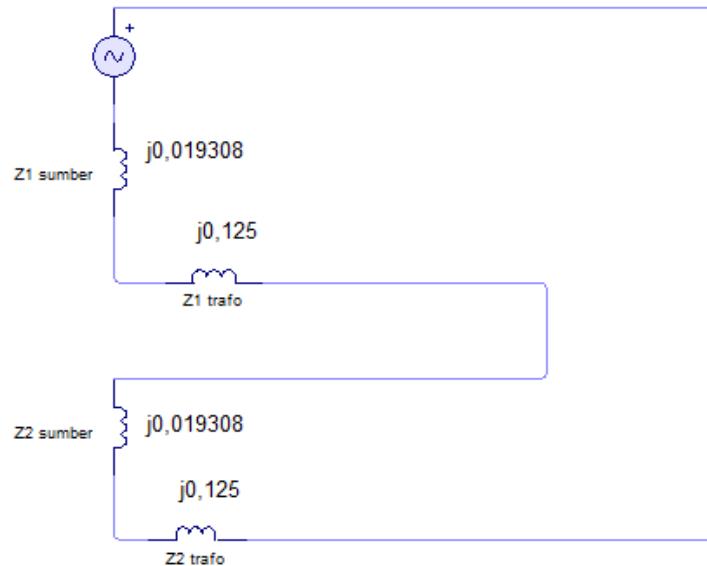
$$I_{sc \ 3\emptyset} = \frac{1}{j0,019308 + j0,125}$$

$$I_{sc \ 3\emptyset} = \frac{1}{0,144308} < 90^\circ$$

$$I_{sc \ 3\emptyset} = 6,92962 < -90^\circ \text{ pu}$$

$$I_{sc \ 3\emptyset} = 6,92962 \times 1732,050808 = 12002,45392 \text{ A}$$

- Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa



Gambar 4.3 Diagram Impedansi Gangguan Hubung  
Singkat Dua Fasa Pada Transformator

$$I_{sc\ 2\emptyset} = -j\sqrt{3} \frac{V_f}{Z_1 + Z_2}$$

$$I_{sc\ 2\emptyset} = -j\sqrt{3} \frac{V_f}{2 \times (Z_1)}$$

$$I_{sc\ 2\emptyset} = -j\sqrt{3} \frac{1}{2 \times (j0,019308 + j0,125)}$$

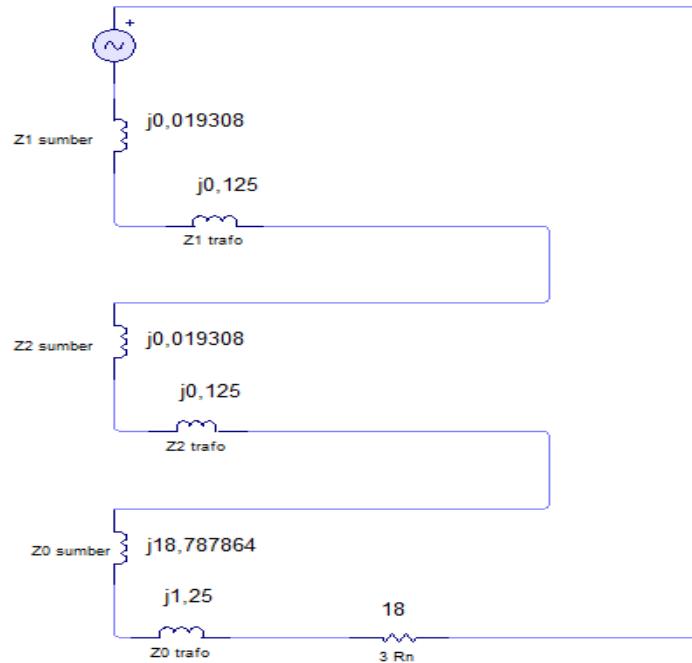
$$I_{sc\ 2\emptyset} = -j\sqrt{3} \frac{1}{0,288616 < 90^\circ}$$

$$I_{sc\ 2\emptyset} = (\sqrt{3} < -90^\circ) \times (3,46481 < -90^\circ)$$

$$I_{sc\ 2\emptyset} = 6,00122 < -180^\circ \text{ pu}$$

$$I_{sc\ 2\emptyset} = 6,00122 \times 1732,050808 = 10394,41795 \text{ A}$$

- Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa Tanah



Gambar 4.4 Diagram Impedansi Gangguan Hubung  
Singkat Satu Fasa Tanah Pada Transformator

$$I_{sc \ 1\emptyset} = \frac{3V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$$

$$I_{sc \ 1\emptyset} = \frac{3 \times 1}{[2 \times (j0,019308 + j0,125)] + (18 + j20,037864)}$$

$$I_{sc \ 1\emptyset} = \frac{3}{(j0,288616) + (18 + j20,037864)}$$

$$I_{sc \ 1\emptyset} = \frac{3}{18 + j20,32648}$$

$$I_{sc \ 1\emptyset} = \frac{3}{27,15079 < 48,47368^\circ}$$

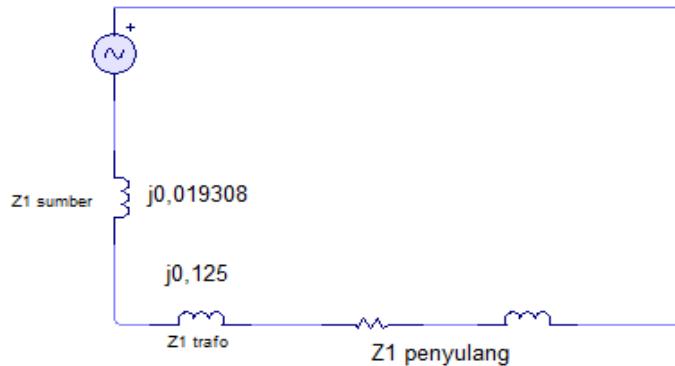
$$I_{sc \ 1\emptyset} = 0,110494 < -46,81256^\circ \text{ pu}$$

$$I_{sc \ 1\emptyset} = 0,110494 \times 1732,050808 = 191,381222 \text{ A}$$

#### 4.6.6.2 Perhitungan Gangguan Hubung Singkat Penyulang 20 kV

##### 1. Penyulang Natuna

- Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa



Gambar 4.5 Diagram Impedansi Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa Penyulang Natuna

$$I_{sc \ 3\emptyset} = \frac{V_f}{Z_1} = \frac{V_f}{j0,019308 + j0,125 + Z_1 \text{ penyulang}}$$

$$I_{sc \ 3\emptyset} = \frac{1}{(j0,144308 + Z_1 \text{ penyulang})}$$

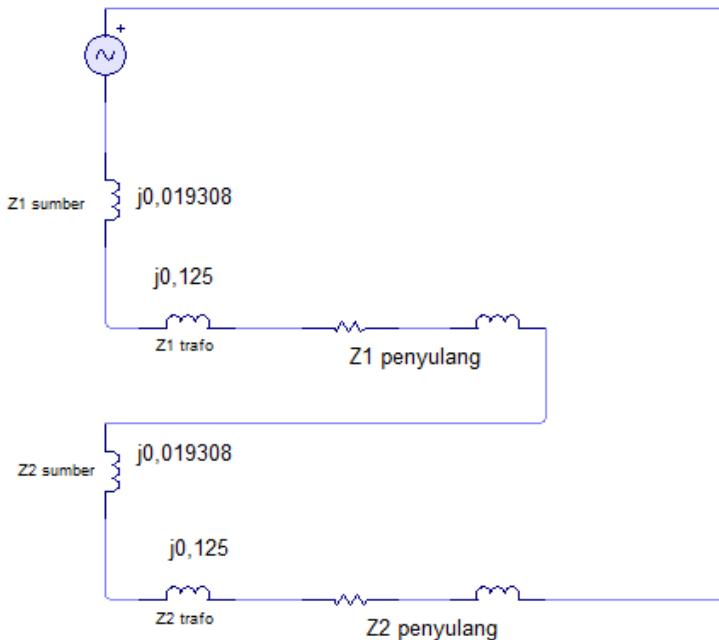
$$I_{sc \ 3\emptyset} = \frac{1}{Z_1 \text{ ekivalen}}$$

Tabel 4.14. Arus Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa Penyulang Natuna

(%panjang)	Arus Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa
0	$I_{sc \ 3\emptyset} = \frac{1}{j0,144308} = 6,92962 < -90^\circ \text{ pu}$ $I_{sc \ 3\emptyset} = 6,92962 \times 1732,050808 = 12002,45392 \text{ A}$
25	$I_{sc \ 3\emptyset} = \frac{1}{0,29546 + j0,593688}$ $I_{sc \ 3\emptyset} = 1,50479 < -63,541902^\circ \text{ pu}$ $I_{sc \ 3\emptyset} = 1,50479 \times 1732,050808 = 2606,372735 \text{ A}$

50	$I_{sc \ 3\emptyset} = \frac{1}{0,590925 + j1,043068}$ $I_{sc \ 3\emptyset} = 0,83415 < -60,467324^\circ pu$ $I_{sc \ 3\emptyset} = 0,83415 \times 1732,050808 = 1444,790181 A$
75	$I_{sc \ 3\emptyset} = \frac{1}{0,88638 + j1,492454}$ $I_{sc \ 3\emptyset} = 0,57609 < -59,29359^\circ pu$ $I_{sc \ 3\emptyset} = 0,57609 \times 1732,050808 = 997,81715 A$
100	$I_{sc \ 3\emptyset} = \frac{1}{1,18185 + j1,941836}$ $I_{sc \ 3\emptyset} = 0,439906 < -58,67426^\circ pu$ $I_{sc \ 3\emptyset} = 0,439906 \times 1732,050808 = 761,9395427 A$

- Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa



Gambar 4.6 Diagram Impedansi Gangguan Hubung  
Singkat Dua Fasa Penyulang Natuna

$$I_{sc \ 2\emptyset} = -j\sqrt{3} \frac{V_f}{Z_1 + Z_2}$$

$$I_{sc \ 2\emptyset} = -j\sqrt{3} \frac{V_f}{2 \times (Z_1)}$$

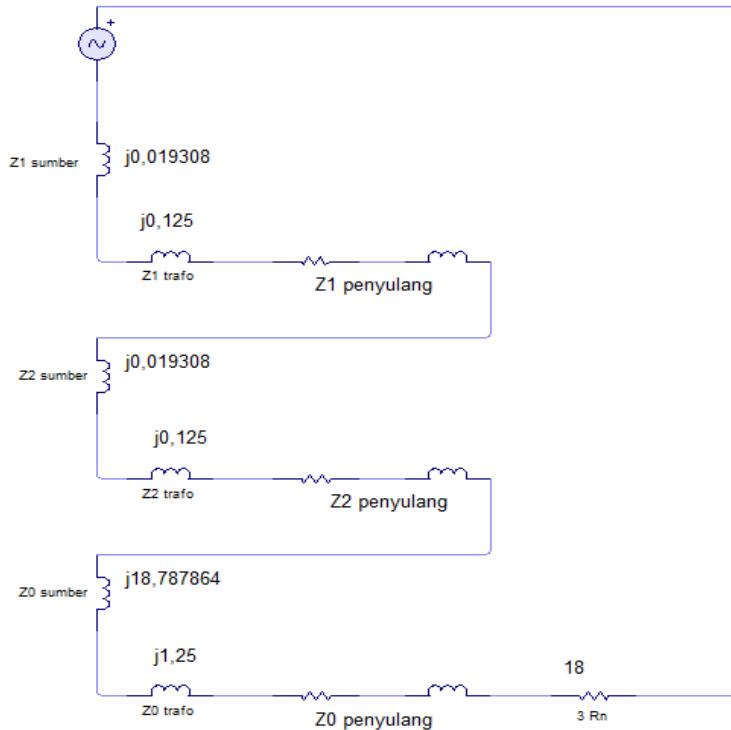
$$I_{sc \ 2\emptyset} = -j\sqrt{3} \frac{1}{2 \times (j0,019308 + j0,125 + Z_1 \text{ penyulang})}$$

$$I_{sc \ 2\emptyset} = -j\sqrt{3} \frac{1}{2 \times (Z_1 \text{ ekivalen})}$$

Tabel 4.15. Arus Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa Penyulang Natuna

(%panjang)	Arus Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa
0	$I_{sc \ 2\emptyset} = -j\sqrt{3} \frac{1}{2 \times (j0,144308)} = 6,00123 < -180^\circ \text{ pu}$ $I_{sc \ 2\emptyset} = 6,00123 \times 1732,050808 = 10394,43527 \text{ A}$
25	$I_{sc \ 2\emptyset} = -j\sqrt{3} \frac{1}{2 \times (0,29546 + j0,593688)}$ $I_{sc \ 2\emptyset} = 1,30593 < -153,541902^\circ \text{ pu}$ $I_{sc \ 2\emptyset} = 1,30593 \times 1732,050808 = 2261,937112 \text{ A}$
50	$I_{sc \ 2\emptyset} = -j\sqrt{3} \frac{1}{2 \times (0,590925 + j1,043068)}$ $I_{sc \ 2\emptyset} = 0,722395 < -150,467325^\circ \text{ pu}$ $I_{sc \ 2\emptyset} = 0,722395 \times 1732,050808 = 1251,224843 \text{ A}$
75	$I_{sc \ 2\emptyset} = -j\sqrt{3} \frac{1}{2 \times (0,88638 + j1,492454)}$ $I_{sc \ 2\emptyset} = 0,49891 < -149,29359^\circ \text{ pu}$ $I_{sc \ 2\emptyset} = 0,49891 \times 1732,050808 = 864,1374686 \text{ A}$
100	$I_{sc \ 2\emptyset} = -j\sqrt{3} \frac{1}{2 \times (1,18185 + j1,941836)}$ $I_{sc \ 2\emptyset} = 0,380967 < -148,67426^\circ \text{ pu}$ $I_{sc \ 2\emptyset} = 0,380967 \times 1732,050808 = 659,8542002 \text{ A}$

- Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa Tanah



Gambar 4.7 Diagram Impedansi Gangguan Hubung  
Singkat Satu Fasa Tanah Penyulang Natuna

$$\begin{aligned}
 I_{sc\ 1\emptyset} &= \frac{3V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \\
 &= \frac{3 \times 1}{[2 \times (j0,019308 + j0,125 + Z_1)] + (18 + j18,787864 + j1,25 + Z_0)} \\
 I_{sc\ 1\emptyset} &= \frac{3}{[2 \times (Z_1\ ekivalen)] + (Z_0\ ekivalen)}
 \end{aligned}$$

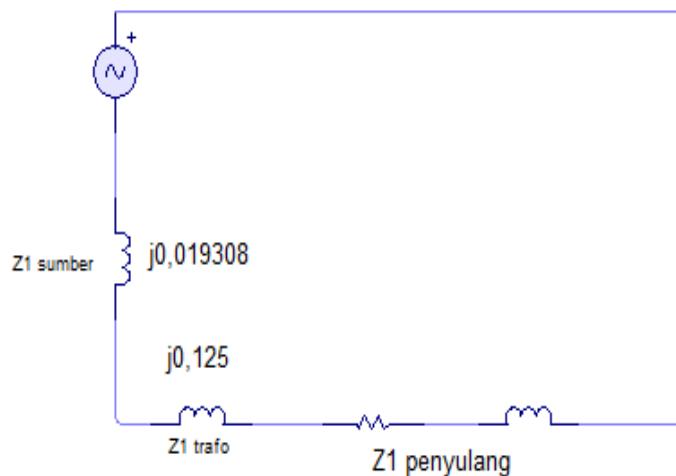
Tabel 4.16. Arus Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa Tanah Penyulang Natuna

(%panjang)	Arus Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa
0	$I_{sc\ 1\emptyset} = \frac{3}{[2 \times (j0,144308)] + (18 + j20,037864)}$ $I_{sc\ 1\emptyset} = 0,110493 < -48,47368^\circ\ pu$ $I_{sc\ 1\emptyset} = 0,110493 \times 1732,050808 = 191,3794899 A$

25	$I_{sc\ 1\emptyset} = \frac{3}{[2 \times (0,29546 + j0,593688)] + (18,49606 + j22,23614)}$ $I_{sc\ 1\emptyset} = 0,099287 < -50,824648^\circ\ pu$ $I_{sc\ 1\emptyset} = 0,099287 \times 1732,050808 = 171,9701286 A$
50	$I_{sc\ 1\emptyset} = \frac{3}{[2 \times (0,590925 + j1,043068)] + (18,99212 + j24,434434)}$ $I_{sc\ 1\emptyset} = 0,09003 < -52,740063^\circ\ pu$ $I_{sc\ 1\emptyset} = 0,09003 \times 1732,050808 = 155,9365342 A$
75	$I_{sc\ 1\emptyset} = \frac{3}{[2 \times (0,88638 + j1,492454)] + (19,48818 + j26,632464)}$ $I_{sc\ 1\emptyset} = 0,082285 < -54,32718^\circ\ pu$ $I_{sc\ 1\emptyset} = 0,082285 \times 1732,050808 = 142,5218007 A$
100	$I_{sc\ 1\emptyset} = \frac{3}{[2 \times (1,18185 + j1,941836)] + (19,98424 + j28,831011)}$ $I_{sc\ 1\emptyset} = 0,07572 < -55,66237^\circ\ pu$ $I_{sc\ 1\emptyset} = 0,07572 \times 1732,050808 = 131,1508872 A$

## 2. Penyulang Sulawesi

- Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa



Gambar 4.8 Diagram Impedansi Gangguan Hubung  
Singkat Tiga Fasa Penyulang Sulawesi

$$I_{sc \ 3\emptyset} = \frac{V_f}{Z_1} = \frac{V_f}{j0,019308 + j0,125 + Z_{1 \ penyulang}}$$

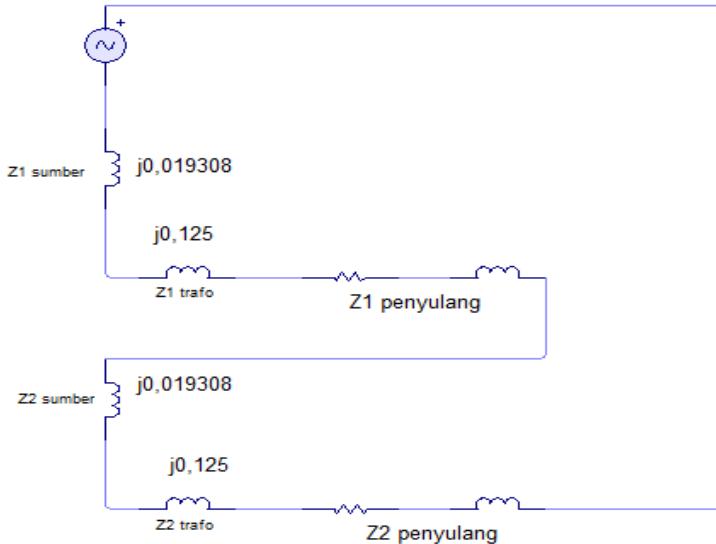
$$I_{sc \ 3\emptyset} = \frac{1}{(j0,144308 + Z_{1 \ penyulang})}$$

$$I_{sc \ 3\emptyset} = \frac{1}{Z_{1 \ ekivalen}}$$

Tabel 4.17. Arus Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa Tanah Penyulang Sulawesi

(%panjang)	Arus Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa
0	$I_{sc \ 3\emptyset} = \frac{1}{j0,144308} = 6,92962 < -90^\circ \text{ pu}$ $I_{sc \ 3\emptyset} = 6,92962 \times 1732,050808 = 12002,45392 \text{ A}$
25	$I_{sc \ 3\emptyset} = \frac{1}{0,403925 + j0,760638}$ $I_{sc \ 3\emptyset} = 1,161123 < -62,030157^\circ \text{ pu}$ $I_{sc \ 3\emptyset} = 1,161123 \times 1732,050808 = 2011,12403 \text{ A}$
50	$I_{sc \ 3\emptyset} = \frac{1}{0,80785 + j1,376971}$ $I_{sc \ 3\emptyset} = 0,626387 < -59,600436^\circ \text{ pu}$ $I_{sc \ 3\emptyset} = 0,626387 \times 1732,050808 = 1084,934109 \text{ A}$
75	$I_{sc \ 3\emptyset} = \frac{1}{1,211775 + j1,993298}$ $I_{sc \ 3\emptyset} = 0,42868 < -58,70355^\circ \text{ pu}$ $I_{sc \ 3\emptyset} = 0,42868 \times 1732,050808 = 742,4955404 \text{ A}$
100	$I_{sc \ 3\emptyset} = \frac{1}{1,6157 + j2,609634}$ $I_{sc \ 3\emptyset} = 0,3258067 < -58,23715^\circ \text{ pu}$ $I_{sc \ 3\emptyset} = 0,3258067 \times 1732,050808 = 564,313758 \text{ A}$

- Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa



Gambar 4.9 Diagram Impedansi Gangguan Hubung  
Singkat Dua Fasa Penyulang Sulawesi

$$I_{sc\ 2\emptyset} = -j\sqrt{3} \frac{V_f}{Z_1 + Z_2}$$

$$I_{sc\ 2\emptyset} = -j\sqrt{3} \frac{V_f}{2 \times (Z_1)}$$

$$I_{sc\ 2\emptyset} = -j\sqrt{3} \frac{1}{2 \times (j0,019308 + j0,125 + Z_1 \text{ penyulang})}$$

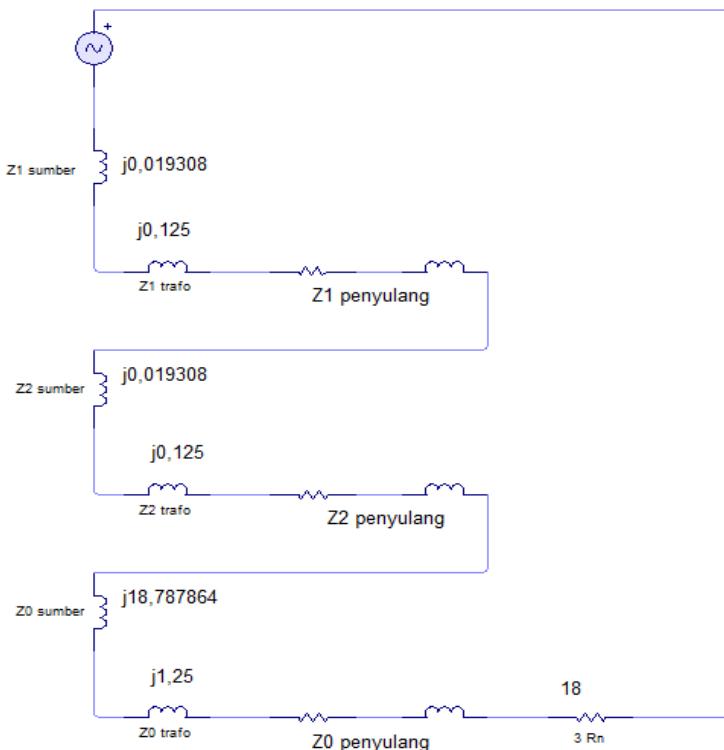
$$I_{sc\ 2\emptyset} = -j\sqrt{3} \frac{1}{2 \times (Z_1 \text{ ekivalen})}$$

Tabel 4.18. Arus Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa Penyulang Sulawesi

(%panjang)	Arus Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa
0	$I_{sc\ 2\emptyset} = -j\sqrt{3} \frac{1}{2 \times (j0,144308)} = 6,00123 < -180^\circ \text{ pu}$ $I_{sc\ 2\emptyset} = 6,00123 \times 1732,050808 = 10394,43527 A$
25	$I_{sc\ 2\emptyset} = -j\sqrt{3} \frac{1}{2 \times (0,403925 + j0,760638)}$ $I_{sc\ 2\emptyset} = 1,00556 < -152,030157^\circ \text{ pu}$ $I_{sc\ 2\emptyset} = 1,003976 \times 1732,050808 = 1738,937442 A$

50	$I_{sc\ 2\emptyset} = -j\sqrt{3} \frac{1}{2 \times (0,80785 + j1,376971)}$ $I_{sc\ 2\emptyset} = 0,542468 < -149,600436^\circ pu$ $I_{sc\ 2\emptyset} = 0,542468 \times 1732,050808 = 938,5821377 A$
75	$I_{sc\ 2\emptyset} = -j\sqrt{3} \frac{1}{2 \times (1,211775 + j1,993298)}$ $I_{sc\ 2\emptyset} = 0,371247 < -148,70355^\circ pu$ $I_{sc\ 2\emptyset} = 0,371247 \times 1732,050808 = 643,0186663 A$
100	$I_{sc\ 2\emptyset} = -j\sqrt{3} \frac{1}{2 \times (1,6157 + j2,609634)}$ $I_{sc\ 2\emptyset} = 0,282156 < -148,23715^\circ pu$ $I_{sc\ 2\emptyset} = 0,282156 \times 1732,050808 = 488,7085278 A$

- Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa Tanah



Gambar 4.10 Diagram Impedansi Gangguan Hubung  
Singkat Satu Fasa Tanah Penyulang Sulawesi

$$\begin{aligned}
I_{sc \ 1\emptyset} &= \frac{3V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \\
&= \frac{3 \times 1}{[2 \times (j0,019308 + j0,125 + Z_1)] + (18 + j18,787864 + j1,25 + Z_0)} \\
I_{sc \ 1\emptyset} &= \frac{3}{[2 \times (Z_{1 \text{ ekivalen}})] + (Z_{0 \text{ ekivalen}})}
\end{aligned}$$

Tabel 4.19. Arus Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa Tanah Penyulang Sulawesi

(%panjang)	Arus Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa
0	$I_{sc \ 1\emptyset} = \frac{3}{[2 \times (j0,144308)] + (18 + j20,037864)}$ $I_{sc \ 1\emptyset} = 0,110493 < -48,47368^\circ \text{ pu}$ $I_{sc \ 1\emptyset} = 0,110493 \times 1732,050808 = 191,3794899 \text{ A}$
25	$I_{sc \ 1\emptyset} = \frac{3}{[2 \times (0,403925 + j0,760638)] + (18,6783 + j23,054324)}$ $I_{sc \ 1\emptyset} = 0,09565 < -51,588876^\circ \text{ pu}$ $I_{sc \ 1\emptyset} = 0,09565 \times 1732,050808 = 165,6706598 \text{ A}$
50	$I_{sc \ 1\emptyset} = \frac{3}{[2 \times (0,80785 + j1,376971)] + (19,3566 + j26,070789)}$ $I_{sc \ 1\emptyset} = 0,084158 < -53,9611105^\circ \text{ pu}$ $I_{sc \ 1\emptyset} = 0,084158 \times 1732,050808 = 145,7659319 \text{ A}$
75	$I_{sc \ 1\emptyset} = \frac{3}{[2 \times (1,211775 + j1,993298)] + (20,0349 + j29,087244)}$ $I_{sc \ 1\emptyset} = 0,07504 < -55,821939^\circ \text{ pu}$ $I_{sc \ 1\emptyset} = 0,07504 \times 1732,050808 = 129,9730926 \text{ A}$
100	$I_{sc \ 1\emptyset} = \frac{3}{[2 \times (1,6157 + j2,609634)] + (20,7132 + j32,103714)}$ $I_{sc \ 1\emptyset} = 0,06764 < -57,317754^\circ \text{ pu}$ $I_{sc \ 1\emptyset} = 0,06764 \times 1732,050808 = 117,1559167 \text{ A}$

#### 4.4.7 Setting Rele Proteksi Pada Transformator Daya dan Penyalang

##### 4.4.7.1 Setting Rele Arus Lebih

1. Transformator Daya Sisi 150 kV

- Setting Arus

$$I_{set(primer)} = 1,05 \times I_{dasar}$$

$$I_{set(primer)} = 1,05 \times 230,9401077$$

$$I_{set(primer)} = 242,4871131 A$$

$$I_{set(primer)} = \frac{I_{set(primer)}}{I_{dasar}} = \frac{242,4871131}{230,9401077} = 1,05 pu$$

$$I_{set(sekunder)} = I_{set(primer)} \times \frac{1}{Rasio CT}$$

$$I_{set(sekunder)} = 242,4871131 \times \frac{5}{300}$$

$$I_{set(sekunder)} = 4,04145 A$$

- Setting TMS

$\Delta t$  = Waktu tunda antara rele di sisi 150 kV dan incoming  
diambil 0,5 detik dan  $t_{incoming}$  0,7 detik sehingga didapat  
1,2 detik

Sehingga

$$t = \frac{0,14 \times tms}{\left(\frac{I_{hs} 2\emptyset}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1}$$

$$tms = \frac{t \times \left[\left(\frac{I_{hs} 2\emptyset}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14}$$

$$tms = \frac{1,2 \times \left[\left(\frac{6,00122}{1,05}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14}$$

$$tms = 0,30 SI$$

## 2. Transformator Daya Sisi 20 kV

- Setting Arus

$$I_{set(primer)} = 1,05 \times I_{dasar}$$

$$I_{set(primer)} = 1,05 \times 1732.050808$$

$$I_{set(primer)} = 1818,653348 A$$

$$I_{set(primer)} = \frac{I_{set(primer)}}{I_{dasar}} = \frac{1818,653348}{1732.050808} = 1,05 pu$$

$$I_{set(sekunder)} = I_{set(primer)} \times \frac{1}{Rasio CT}$$

$$I_{set(sekunder)} = 1818,653348 \times \frac{5}{2000}$$

$$I_{set(sekunder)} = 4,54663 A$$

- Setting TMS

$\Delta t$  = Waktu tunda antara rele di incoming dan outgoing diambil

$$= 0,4 \text{ detik dan } t_{outg} = 0,3 \text{ detik}$$

Sehingga,

$$t = \frac{0,14 \times tms}{(\frac{I_{hs\ 2\phi}}{I_{set}})^{0,02} - 1}$$

$$tms = \frac{(\Delta t + t_{outg}) \times [(\frac{I_{hs\ 2\phi}}{I_{set}})^{0,02} - 1]}{0,14}$$

$$tms = \frac{(0,4 + 0,3) \times [(\frac{6,00122}{1,05})^{0,02} - 1]}{0,14}$$

$$tms = \frac{0,7 \times [(\frac{6,00122}{1,05})^{0,02} - 1]}{0,14}$$

$$tms = 0,18 SI$$

### 3. Penyulang Natuna

- Setting arus

$$I_{set \text{ (primer)}} = 1,05 \times I_{beban}$$

$$I_{set \text{ (primer)}} = 1,05 \times 78$$

$$I_{set \text{ (primer)}} = 81,9 \text{ A}$$

$$I_{set \text{ (primer)}} = \frac{I_{set \text{ (primer)}}}{I_{dasar}} = \frac{81,9}{1732.050808} = 0,0473 \text{ pu}$$

$$I_{set \text{ (sekunder)}} = I_{set \text{ (primer)}} \times \frac{1}{Rasio CT}$$

$$I_{set \text{ (sekunder)}} = 81,9 \times \frac{5}{800}$$

$$I_{set \text{ (sekunder)}} = 0,512 \text{ A}$$

- Setting TMS

Penyetelan waktu minimum di penyulang tidak lebih kecil dari 0,3 detik, keputusan ini diambil agar rele tidak trip akibat adanya arus inrush dari transformator distribusi yang tersambung di jaringan saat PMT di masukkan.

$$t = \frac{0,14 \times tms}{\left( \frac{I_{hs \text{ 2Ø terkecil}}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1}$$

$$tms = \frac{t \times \left[ \left( \frac{I_{hs \text{ 2Ø}}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$tms = \frac{0,3 \times \left[ \left( \frac{0,380967}{0,0473} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$tms = 0,09 \text{ SI}$$

#### 4. Penyulang Sulawesi

- Setting arus

$$I_{set \text{ (primer)}} = 1,05 \times I_{beban}$$

$$I_{set \text{ (primer)}} = 1,05 \times 123$$

$$I_{set \text{ (primer)}} = 129,15 \text{ A}$$

$$I_{set \text{ (primer)}} = \frac{I_{set \text{ (primer)}}}{I_{dasar}} = \frac{129,15}{1732.050808} = 0,0746 \text{ pu}$$

$$I_{set \text{ (sekunder)}} = I_{set \text{ (primer)}} \times \frac{1}{R \text{asio } CT}$$

$$I_{set \text{ (sekunder)}} = 129,15 \times \frac{5}{800}$$

$$I_{set \text{ (sekunder)}} = 0,807 \text{ A}$$

- Setting TMS

$$t = \frac{0,14 \times tms}{\left( \frac{I_{hs \text{ 2Ø terkecil}}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1}$$

$$tms = \frac{t \times \left[ \left( \frac{I_{hs \text{ 2Ø}}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$tms = \frac{0,3 \times \left[ \left( \frac{0,3258067}{0,0746} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$tms = 0,06 \text{ SI}$$

Tabel 4.20 Hasil Perhitungan Setting Rele Arus Lebih

Uraian	$I_{set \text{ primer}} (\text{A})$	$I_{set \text{ primer}} (\text{pu})$	$I_{fault} (\text{A})$	TMS (SI)
TD 150 kV	242,4871131	1,05	6,00122	0,30
TD 20 kV	1818,653348	1,05	6,00122	0,18
Penyulang Natuna	81,9	0,0473	0,380967	0,09
Penyulang Sulawesi	129,15	0,0746	0,3258067	0,06

#### 4.4.7.2 Setting Rele Gangguan Tanah

1. Transformator Daya Sisi 150 kV

- Setting arus

$$I_{set \text{ (primer)}} = 10\% \times I_{hs \text{ } 1\emptyset \text{ tanah terkecil}}$$

$$I_{set \text{ (primer)}} = 0,1 \times 0,110494$$

$$I_{set \text{ (primer)}} = 0,01 \text{ pu}$$

$$I_{set \text{ (primer)}} = I_{set \text{ (primer)}} \times I_{dasar}$$

$$I_{set \text{ (primer)}} = 0,01 \times 230,9401077$$

$$I_{set \text{ (primer)}} = 2,3094 \text{ A}$$

$$I_{set \text{ (sekunder)}} = I_{set \text{ (primer)}} \times \frac{1}{Rasio \text{ CT}}$$

$$I_{set \text{ (sekunder)}} = 2,3094 \times \frac{5}{300}$$

$$I_{set \text{ (sekunder)}} = 0,03849 \text{ A}$$

- Setting TMS

$\Delta t$  = Waktu tunda antara rele di sisi 150 kV dan incoming diambil 0,5 detik dan  $t_{incoming}$  0,7 detik sehingga didapat 1,2 detik

$$t = \frac{0,14 \times tms}{(\frac{I_{hs \text{ } 1\emptyset \text{ tanah}}}{I_{set}})^{0,02} - 1}$$

$$tms = \frac{t \times [(\frac{I_{hs \text{ } 1\emptyset \text{ tanah}}}{I_{set}})^{0,02} - 1]}{0,14}$$

$$tms = \frac{1,2 \times [(\frac{0,110494}{0,01})^{0,02} - 1]}{0,14}$$

$$tms = 0,42 \text{ SI}$$

## 2. Transformator Daya Sisi 20 kV

- Setting arus

$$I_{set \text{ (primer)}} = 10\% \times I_{hs \text{ } 1\emptyset \text{ tanah terkecil}}$$

$$I_{set \text{ (primer)}} = 0,1 \times 0,110494$$

$$I_{set \text{ (primer)}} = 0,01 \text{ pu}$$

$$I_{set \text{ (primer)}} = I_{set \text{ (primer)}} \times I_{dasar}$$

$$I_{set \text{ (primer)}} = 0,01 \times 1732.050808$$

$$I_{set \text{ (primer)}} = 17,3205A$$

$$I_{set \text{ (sekunder)}} = I_{set \text{ (primer)}} \times \frac{1}{Rasio \text{ CT}}$$

$$I_{set \text{ (sekunder)}} = 17,3205 \times \frac{5}{2000}$$

$$I_{set \text{ (sekunder)}} = 0,0433 A$$

- Setting TMS

$\Delta t$  = Waktu tunda antara rele di incoming dan outgoing diambil

$$= 0,4 \text{ detik dan } t_{outg} = 0,3 \text{ detik}$$

Sehingga,

$$t = \frac{0,14 \times tms}{(\frac{I_{hs \text{ } 1\emptyset \text{ tanah}}}{I_{set}})^{0,02} - 1}$$

$$tms = \frac{(0,4 + 0,3) \times [(\frac{I_{hs \text{ } 1\emptyset \text{ tanah}}}{I_{set}})^{0,02} - 1]}{0,14}$$

$$tms = \frac{(0,4 + 0,3) \times [(\frac{0,110494}{0,01})^{0,02} - 1]}{0,14}$$

$$tms = \frac{0,7 \times [(\frac{0,110494}{0,01})^{0,02} - 1]}{0,14}$$

$$tms = 0,25 \text{ SI}$$

### 3. Penyulang Natuna

- Setting arus

$$I_{set(primer)} = 10\% \times I_{hs \ 1\emptyset \ tanah \ terkecil}$$

$$I_{set(primer)} = 0,1 \times 0,07572$$

$$I_{set(primer)} = 0,007572 \text{ pu}$$

$$I_{set(primer)} = I_{set(primer)} \times I_{dasar}$$

$$I_{set(primer)} = 0,007572 \times 1732,050808$$

$$I_{set(primer)} = 13,11508 \text{ A}$$

$$I_{set(sekunder)} = I_{set(primer)} \times \frac{1}{Rasio \ CT}$$

$$I_{set(sekunder)} = 13,11508 \times \frac{5}{800}$$

$$I_{set(sekunder)} = 0,08197 \text{ A}$$

### Setting TMS

Penyetelan waktu minimum di penyulang tidak lebih kecil dari 0,3 detik, keputusan ini diambil agar rele tidak trip akibat adanya arus inrush dari transformator distribusi yang tersambung di jaringan saat PMT di masukkan.

$$t = \frac{0,14 \times tms}{(\frac{I_{hs \ 1\emptyset \ terkecil}}{I_{set}})^{0,02} - 1}$$

$$tms = \frac{t \times [(\frac{I_{hs \ 1\emptyset}}{I_{set}})^{0,02} - 1]}{0,14}$$

$$tms = \frac{0,3 \times [(\frac{0,07572}{0,007572})^{0,02} - 1]}{0,14}$$

$$tms = 0,10 \text{ SI}$$

#### 4. Penyulang Sulawesi

- Setting arus

$$I_{set(primer)} = 10\% \times I_{hs \text{ } 1\emptyset \text{ tanah terkecil}}$$

$$I_{set(primer)} = 0,1 \times 0,06764$$

$$I_{set(primer)} = 0,006764 \text{ pu}$$

$$I_{set(primer)} = I_{set(primer)} \times I_{dasar}$$

$$I_{set(primer)} = 0,006764 \times 1732,050808$$

$$I_{set(primer)} = 11,7156 \text{ A}$$

$$I_{set(sekunder)} = I_{set(primer)} \times \frac{1}{Rasio \text{ } CT}$$

$$I_{set(sekunder)} = 11,7156 \times \frac{5}{800}$$

$$I_{set(sekunder)} = 0,0732 \text{ A}$$

- Setting TMS

$$t = \frac{0,14 \times tms}{(\frac{I_{hs \text{ } 1\emptyset \text{ terkecil}}}{I_{set}})^{0,02} - 1}$$

$$tms = \frac{t \times [(\frac{I_{hs \text{ } 1\emptyset}}{I_{set}})^{0,02} - 1]}{0,14}$$

$$tms = \frac{0,3 \times [(\frac{0,06764}{0,006764})^{0,02} - 1]}{0,14}$$

$$tms = 0,10 \text{ SI}$$

Tabel 4.21 Hasil Perhitungan Setting Rele Gangguan Tanah

Uraian	$I_{set \text{ primer}}(A)$	$I_{set \text{ primer}}(pu)$	$I_{fault}(A)$	TMS (SI)
TD 150 kV	2,3094	0,01	0,110494	0,42
TD 20 kV	17,3205A	0,01	0,110494	0,25
Penyulang Natuna	13,11508	0,007572	0,07572	0,10
Penyulang Sulawesi	11,7156	0,006764	0,06764	0,10

#### 4.5 Analisa Hasil Perhitungan

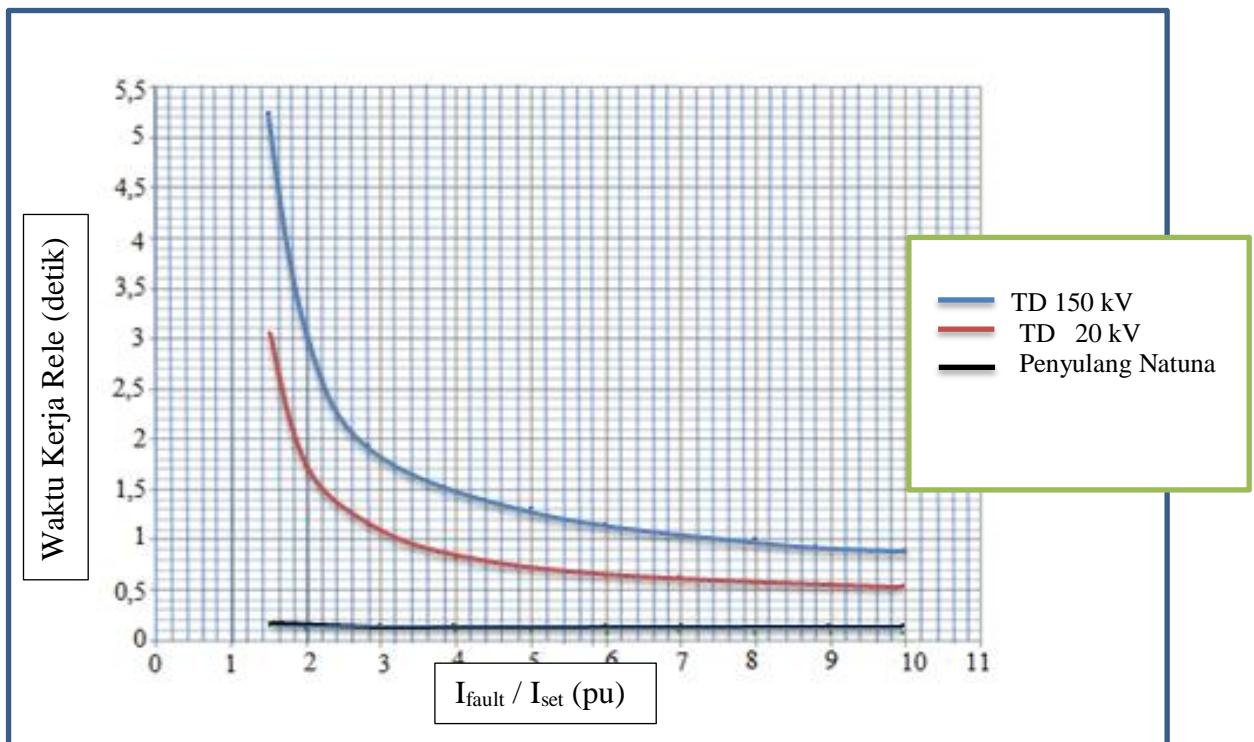
Tabel-tabel di bawah ini menunjukkan hasil perhitungan besarnya setting arus dan Time Multiplier Setting (TMS).

Tabel 4.22 Perbandingan Data Hasil Perhitungan dengan data Lapangan Setting Rele Arus Lebih

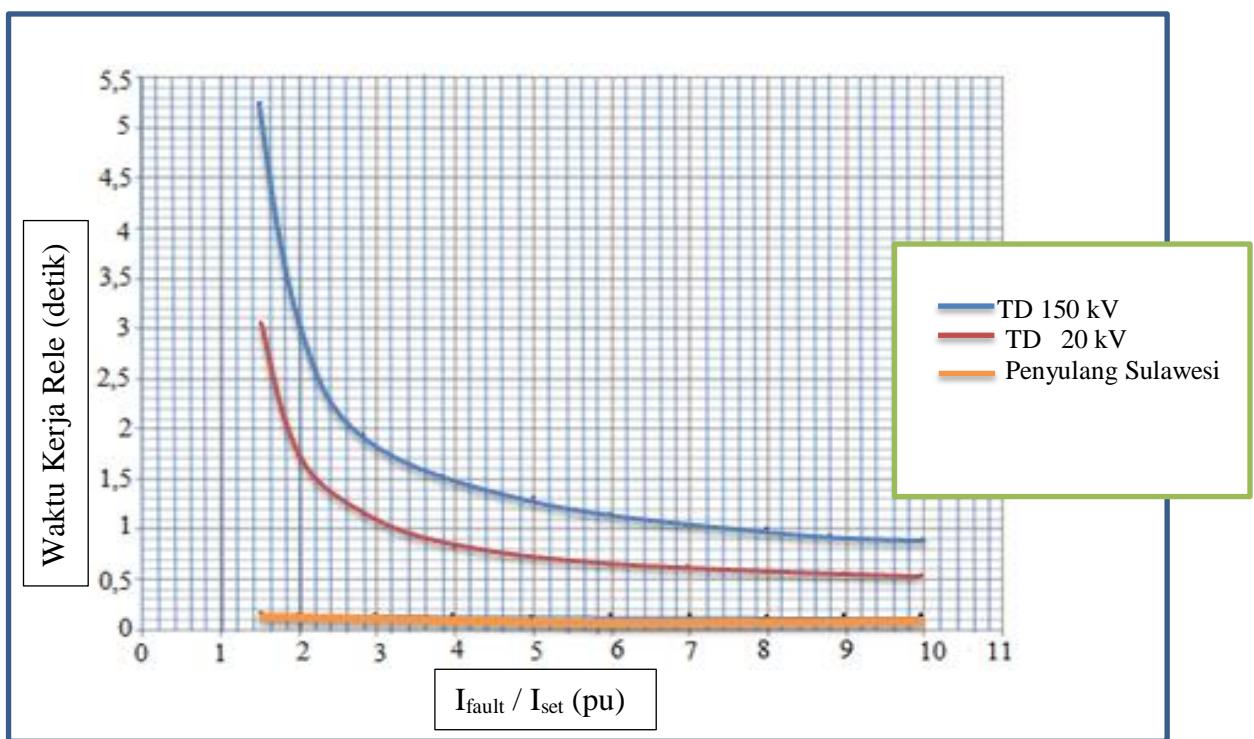
Uraian	TMS (SI) Data Hasil Perhitungan	TMS (SI) Data Lapangan
Transformator 150 kV	0,30	0,45
Transformator 20 kV	0,18	0,2
Penyulang Natuna	0,09	0,1
Penyulang Sulawesi	0,06	0,125

Tabel 4.23 Perbandingan Data Hasil Perhitungan dengan data Lapangan Setting Rele Gangguan Tanah

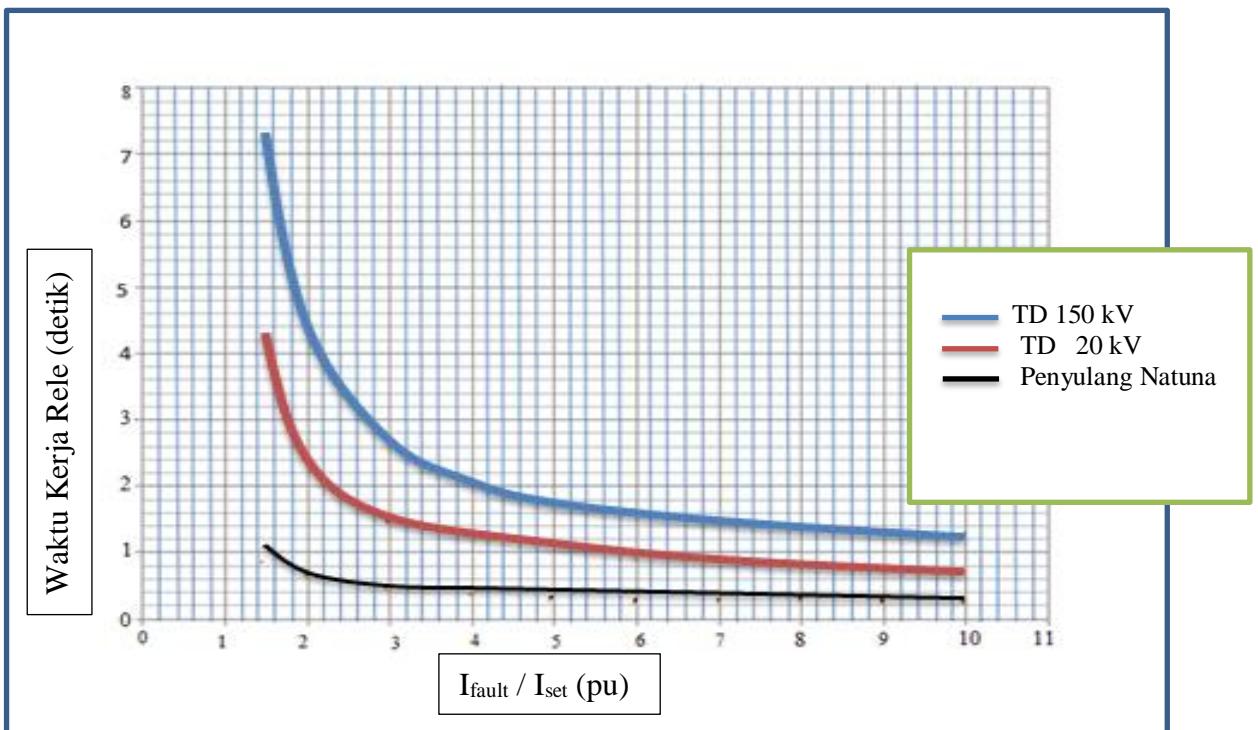
Uraian	TMS (SI) Data Hasil Perhitungan	TMS (SI) Data Lapangan
Transformator 150 kV	0,42	0,575
Transformator 20 kV	0,25	0,3
Penyulang Natuna	0,10	0,05
Penyulang Sulawesi	0,10	0,125



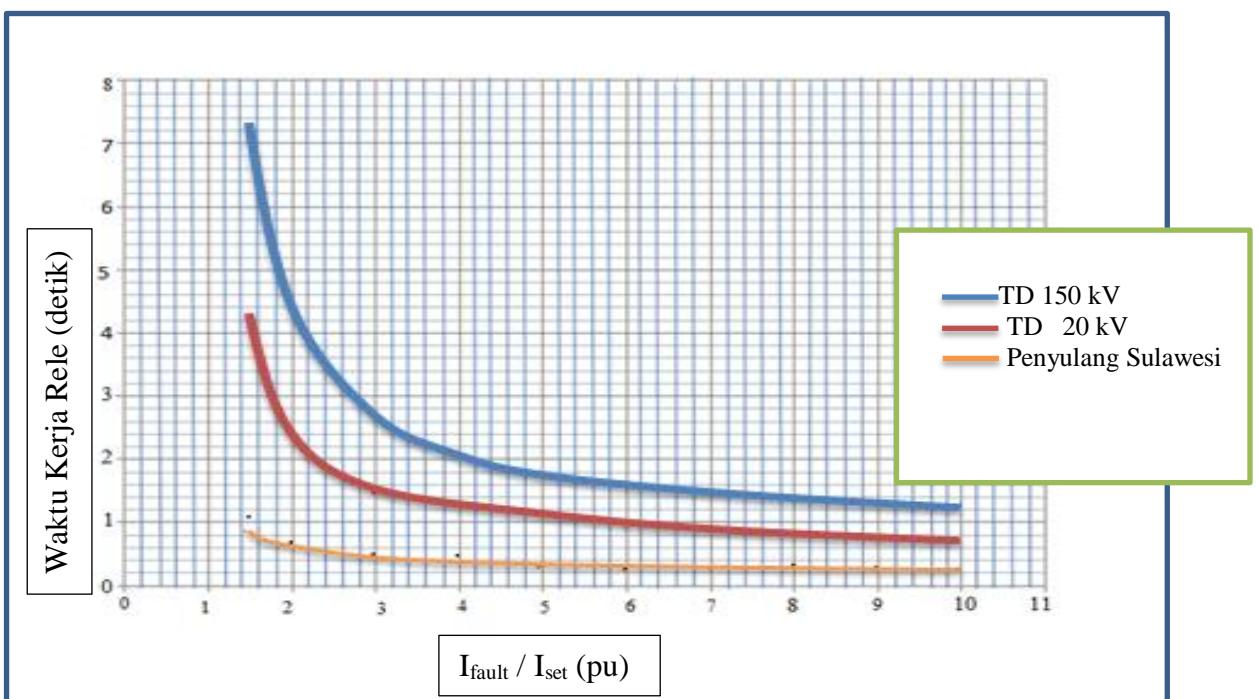
Gambar 4.11. Koordinasi Rele Arus Lebih Pada Penyulang Natuna Terhadap Transformator



Gambar 4.12. Koordinasi Rele Arus Lebih Pada Penyulang Sulawesi Terhadap Transformator



Gambar 4.13. Koordinasi Rele Gangguan Tanah Pada Penyulang Natuna Terhadap Transformator



Gambar 4.14. Koordinasi Rele Gangguan Tanah Pada Penyulang Sulawesi Terhadap Transformator

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan nilai arus gangguan hubung singkat pada penyulang Natuna dan penyulang Sulawesi di transformator 60 MVA gardu Induk Keramasan Palembang. Dimana, arus gangguan hubung singkat 2 fasa digunakan untuk menghitung setting rele arus lebih (OCR) dan arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah digunakan untuk menghitung setting rele gangguan tanah (GFR).

Pada setting rele arus lebih transformator daya sisi 150 kV dan sisi 20 kV biasanya disetting 1,05 sampai 1,2 dari arus nominalnya. Disini pemulis menggunakan 1,05 dari arus nominalnya. Terdapat sedikit perbedaan antara hasil perhitungan dengan data di lapangan dalam setting rele. Hal ini dikarenakan PLN menyetel rele 1,2 dari arus nominalnya. Sedangkan pada tiap penyulang penulis menyetel 1,05 dari arus beban puncak dimana arus setting harus lebih besar dari arus beban pada masing-masing penyulang dan lebih kecil dari kemampuan hantar arus saluran ( $I_{beban} < I_{set} < I_{KHA}$ ). Ini dimaksudkan agar dalam keadaan arus beban puncak atau ketika arus beban naik tiba-tiba rele tidak bekerja.

Dari tabel 4.22 dan tabel 4.23 dapat dilihat bahwa Dari tabel 4.22 dan tabel 4.23 dapat dilihat bahwa hasil perhitungan dengan data lapangan memiliki perbedaan yang tidak terlalu jauh (masih dalam kondisi yang sesuai). Sehingga dapat dikatakan setting rele arus lebih dan rele gangguan tanah yang terdapat dilapangan dalam kondisi baik. Tetapi, pada setting TMS rele gangguan tanah di penyulang Natuna di lapangan sebesar 0,05 SI sedangkan hasil perhitungan didapatkan TMS 0,10098 SI. Perbedaan TMS dilapangan lebih cepat 0,05 dibandingkan dengan data hasil perhitungan ini mengakibatkan rele bekerja lebih sensitif sehingga rele lebih cepat trip. Maka dari itu, sebaiknya perlu dilakukan penyetelan kembali rele di lapangan.

Dari grafik koordinasi rele arus lebih dan rele gangguan tanah dapat dilihat bahwa waktu kerja rele dibuat secara bertahap (semakin besar arus gangguan maka setting waktunya semakin cepat). Waktu kerja pada penyulang lebih cepat dibandingkan waktu kerja rele di trafo sisi incoming 20 kV dan sisi 150 kV. Hal ini dimaksudkan agar terdapat koodinasi antar rele yang paling ujung (pada penyulang) untuk trip lebih dahulu apabila terjadi gangguan. Tujuannya untuk

memberi kesempatan rele pada penyulang untuk bekerja terlebih dahulu (*main protection*) apabila terjadi hubung singkat di penyulang dan rele *incoming* bekerja sebagai pengaman cadangan (*back up protection*) apabila rele di penyulang tidak bekerja.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

1. Besar arus gangguan hubung singkat yang digunakan untuk penyetelan rele arus lebih (OCR) pada transformator sisi primer 150 kV sebesar 1385,922393 A, transformator sisi 20 kV sebesar 10394,41795 A, penyulang Natuna sebesar 659,8542002 A , penyulang sulawesi 488,7085278 A. Sedangkan besar arus gangguan hubung singkat yang digunakan untuk penyetelan rele gangguan tanah (GFR) pada transformator sisi primer 150 kV sebesar 25,51749626 A, transformator sisi 20 kV sebsar 191,381222 A, penyulang Natuna sebesar 131,1508872 A , penyulang sulawesi 117,1559167 A.
2. Hasil perhitungan *setting* rele arus lebih (OCR) pada transformator sisi primer 150 kV memiliki TMS sebesar 0,30 SI, transformator sisi sekunder 20 kV memiliki TMS sebesar 0,18 SI, penyulang Natuna memiliki TMS 0,09 SI, dan pada penyulang Sulawesi memiliki TMS 0,06 SI. Untuk *setting* rele gangguan tanah (GFR) pada transformator sisi primer 150 kV memiliki TMS sebesar 0,42 SI, transformator sisi sekunder 20 kV memiliki TMS sebesar 0,25 SI, penyulang Natuna memiliki TMS 0,10 SI, dan pada penyulang Sulawesi memiliki TMS 0,10 SI.
3. Penyetelan rele oleh PLN dan hasil perhitungan tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan adapun terdapat perbedaan yang disebabkan persen arus setting yang digunakan oleh penulis berbeda dengan PLN.

## 5.2 Saran

Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan terhadap setting rele arus lebih (OCR) dan rele gangguan tanah (GFR) pada gardu induk keramasan palembang dalam kondisi cukup baik. Tetapi, sebaiknya rele disetting ulang agar kerja rele dapat lebih selektif. Serta untuk mengoptimalkan kehandalan sistem proteksi maka dilakukan pengecekan terhadap sistem proteksi secara berkala.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] PT. PLN (PERSERO). 2014. *Buku Pedoman Pemeliharaan Kubikel Tegangan Menengah*. Jakarta: PT.PLN (PERSERO).
- [2] D. P. Hariyanto, Tiyono, and Sutarno, “Analisis Koordinasi Over Current Relay dan Recloser di Sistem Proteksi Feeder Gardu Induk Semen Nusantara (SNT 2) Cilacap,” *Tek. Elektro*, vol. 1, no. 1, pp. 1–10, 2009.
- [3] W. Sarimum. 2012. Edisi Pertama. *Sistem Proteksi Distribusi Tenaga Listrik*. Jakarta : Garamond.
- [4] F. Prayuda, A. Solichan, and M. T. Prasetyo, “Analisis Penyetelan Proteksi Arus Lebih Penyulang Cimalaka di Gardu Induk 70 kV Sumedang,” *Media Elektro*, vol. 5, no. 2, pp. 11–26, 2012.
- [5] K. Al Ridha and Firdaus, “Evaluasi Koordinasi Relay Arus Lebih (OCR) dan Gangguan Tanah (GFR) pada Gardu Induk Garuda Sakti Pekanbaru Khalik,” *Jom FTEKNIK*, vol. 3, no. 1, pp. 1–10, 2016.
- [6] I. Affandi. 2009. *Skripsi* .“Analisa Setting Relai Arus Lebih dan Relai Gangguan Tanah pada Penyulang Sadewa di GI Cawang.
- [7] A. Hamdadi. 2002. *Analisis Sistem Tenaga Listrik*. Palembang: Jurusan Teknik Elektro, Universitas Sriwijaya.
- [8] J. P. Pratama. 2017. *Skripsi* .“Evaluasi Setting Relay Differensial Dan Relay Arus lebih Sebagai Sistem Proteksi Pada Transformator Daya 30 MVA di Gardu Induk Lahat dan Gardu Induk Seduduk Putih”.
- [9] F. O. Erfandi. 2016. *Skripsi* .“Evaluasi Koordinasi Rele Pengaman Pada Penyulang 20 kV Transformator Gardu Induk Bukit Siguntang Palembang.
- [10] A. W. Hidayat, H. Gusmedi, L. Hakim, and D. Despa, “Analisa Setting Rele Arus Lebih dan Rele Gangguan Tanah pada Penyulang Topan Gardu Induk Teluk Betung,” *Rekayasa dan Teknol. Elektro*, vol. 7, no. 3, pp. 108–115, 2013.

## **LAMPIRAN**

### Lampiran 1 Data Spesifikasi Transformator Gardu Induk Keramasan

Merk : PAUWELS  
Kapasitas Daya : 60 MVA  
Tegangan : 150/20 KV  
Hub. Belitan Trafo : YNyn0  
Impedansi Trafo : 12,5%  
Rasio CT 150 kV : 300/5 A  
Rasio CT 20 kV : 2000/5 A

### Lampiran 2 Data Spesifikasi Penyulang Gardu Induk Keramasan

<b>Nama Penyulang</b>	<b>Rasio CT</b>	<b>OCR</b>	
		<b>Merk</b>	<b>Type</b>
Natuna	800/5 A	Areva	Micom P123
Sulawesi	800/5 A	Areva	Micom P123

### Lampiran 3 Data Spesifikasi Netral Grounding Resistance (NGR)

<b>Merk</b>	<b>OZ DIRENZ</b>
Tahanan	40 Ω
Kemampuan Arus	300 A

Lampiran 4 Nilai Impedansi Urutan Positif, Negatif, dan Nol Kawat Penghantar (SPLN 64:1985)

<b>Jenis Kabel</b>	<b>Impedansi Urutan Positif/Negatif (<math>\Omega / km</math>)</b>	<b>Impedansi Urutan Nol (<math>\Omega/km</math>)</b>
A3C 70 mm <sup>2</sup>	0,4608 + j 0,3572	0,6088 + j 1,6447
A3C 150 mm <sup>2</sup>	0,2162 + j 0,3305	0,3631 + j 1,6180
SKTM 150 mm <sup>2</sup>	0,263 + j 0,0974	0,4208+ j 0,24837
SKTM 240 mm <sup>2</sup>	0,16 + j 0,0908	0,256 + j 0,23154

Lampiran 5 Data Panjang Kawat Penghantar dan Beban Puncak Penyulang

NO	NAMA PENYULA	DIAMETER YANG	PANJANG		TEG UJUNG	JUMLAH GARDU	BEBAN PENYULANG (		JUMLAH DAYA (
			SKTM	SUTM			SIANG	MALAM	
<b>GI KERAMASAN</b>									
1	BATAM	240 MM	4	0,72	20.4 KV	1	82	84	630
2	JAWA	240 MM	4,5	0,72	20.4 KV	1	73	67	5000
3	BORANG	240 MM	0,75	0	20.4 KV	3	4	4	680
4	PAPUA	150 MM	1	5,45	20 KV	15	117	97	3850
5	BALI	150 MM	0,3	3,7	20 KV	15	153	124	5200
6	SERIBU	150 MM	0,6	10,8	19.8 KV	41	154	184	8285
7	KALIMANTAN	150 MM	0,7	17,7	19.6 KV	57	331	173	11195
8	NATUNA	150 MM	0,2	36,2	19.5 KV	38	33	78	12735
9	SULAWESI	150 MM	0,1	49,7	19.5 KV	66	114	123	7385

### Lampiran 6 Gambar Kubikel Tegangan Menengah Gardu Induk Keramasan



Kubikel Trafo Data 60 MVA



Kubikel Incoming 20 kV



Penyulang Sulawesi



Penyulang Natuna

Lampiran 7 Data Arus Hubung Singkat Gardu Induk Keramasan Trafo 60 MVA

Gardu Induk	Bay	Tegangan (kV)	Ihs (Amp)	
			1phs	3phs
KERAMASAN 70	TD2 30 MVA	20	272	7718
BUNGARAN	TD1 30 MVA	20	264	2167
	TD2 30 MVA	20	266	3181
SUNGAI KEDUKAN	TD1 30 MVA	20	269	4783
	TD2 15 MVA	20	255	2843
BOOM BARU	TD1 30 MVA	20	264	7035
	TD2 30 MVA	20	259	5414
SUNGAI JUARO	TD1 30 MVA	20	271	5363
	TD2 20 MVA	20	237	6482
TALANG RATU	TD1 10 MVA	20	245	2131
	TD2 30 MVA	20	264	7237
SEDUDUK PUTIH	TD1 30 MVA	20	265	5694
	TD2 30 MVA	20	265	6013
BUKIT SIGUNTANG	TD1 20 MVA	20	264	4117
	TD2 30 MVA	20	264	7475
	TD3 60 MVA	20	272	10287
MARIANA	TD1 30 MVA	20	269	6438
	TD2 16 MVA	20	269	4223
JAKABARING	TD1 30 MVA	20	277	6049
NEW JAKABARING	TD1 60 MVA	20	277	11622
	TD2 60 MVA	20	277	11903
KERAMASAN 150	TD3 60 MVA	20	276	11961
BORANG 150	TD2 30 MVA	20	285	11680

Lampiran 8 Data Setting Rele Arus Lebih (OCR) dan Rele Gangguan Tanah (GFR) Transformator 60 MVA, Penyulang Sulawesi dan Natuna

13	TRAFO 60 MVA 150 / 20 KV PAUWELS 12.54% YNyno(d1)	CT 150 kV : 300 / 5 CT 20 kV : 2000 / 5  PT : 20 / 0.10 / 0.10 KV v3 / v3 / v3	DIFF	87	Is	0.3	Iref Iref
			Merk	Areva	Ref 1	0.2	
			Type	Micom P632	Ref 2	0.2	
			S/N	3050609/03/08			
			OCR P	51 / 51N	I >	264	
			Merk	Areva	t >	0.45	
			Type	Micom P121	I >>	~	
			S/N	1608669	lo >	120	
					to >	0.575	
					lo >>	~	
			OCR S	51 / 51N	I >	1900	A
			Merk	Areva	t >	0.2	SI
			Type	Micom P122	I >>	11700	A
			S/N	0708577	lo >	40	A
					to >	0.3	SI
					lo >>	~	

**DATA SETELAN RELAY**  
**PENGHANTAR, TRANSFORMATOR & PENYULANG**

**GI KERAMASAN**

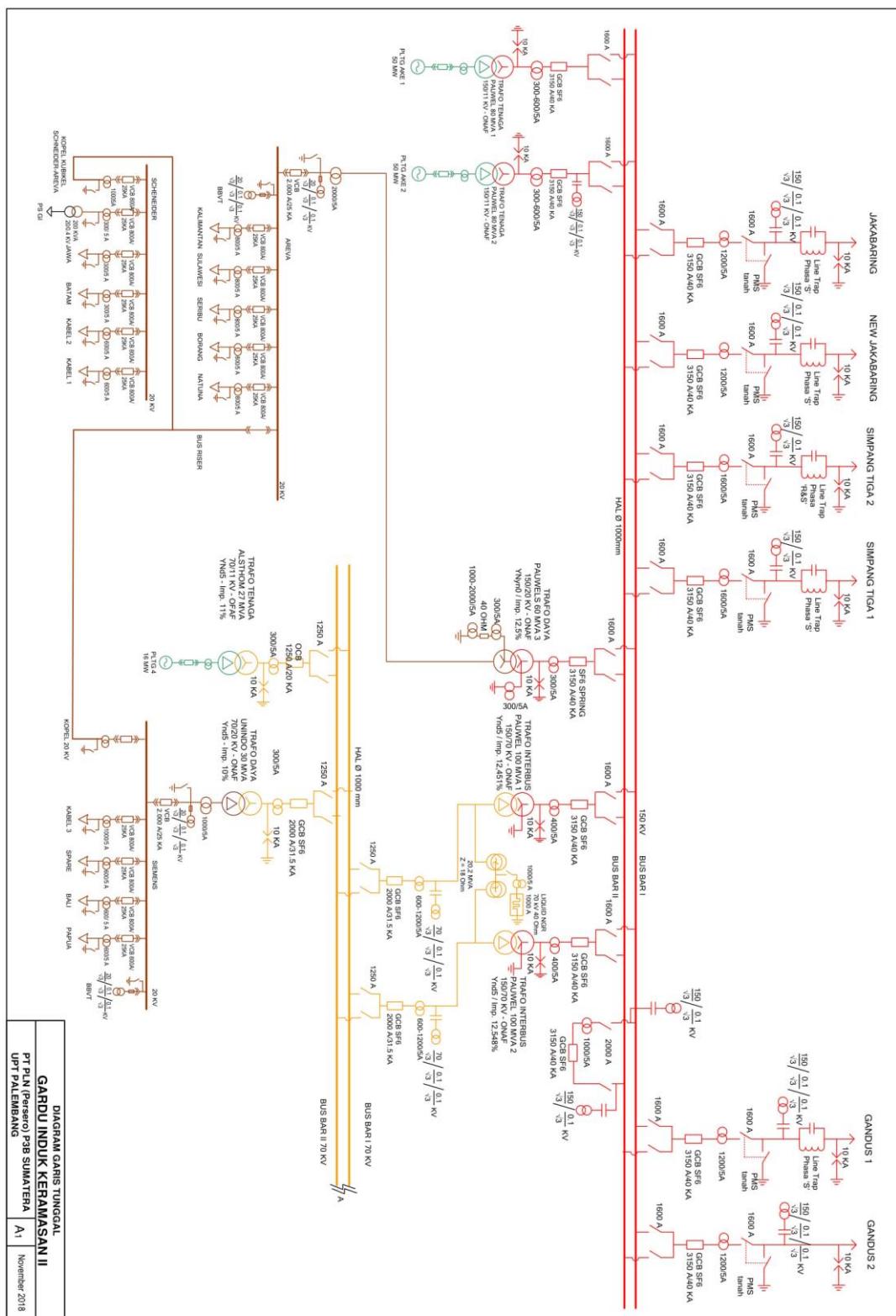
NO	DAERAH PROTEKSI	RASIO CT / PT	RELAY				
			SPESIFIKASI		SETELAN		
15	PENYULANG SULAWESI ( 20 kV )	CT : 800 / 5	A	OCR      50 / 50N / 51 / 51N Merk      Areva Type      Micom P123 S/N      0608806	I > t > I >> t >> Io > to > Io >> to >>	440      A 0,12      SI 2400      A 0,1      SI 30      A 0,12      SI 240      A 0,1      SI	
16	PENYULANG SERIBU ( 20 kV )	CT : 800 / 5	A	OCR      50 / 50N / 51 / 51N Merk      Areva Type      Micom P123 S/N      0708733	I > t > I >> t >> Io > to > Io >> to >>	440      A 0,12      SI 2400      A 0,08      DT 32      A 0,1      SI 240      A 0,08      DT	
17	PENYULANG BORANG ( 20 kV )	CT : 800 / 5	A	OCR      50 / 50N / 51 / 51N Merk      Areva Type      Micom P123 S/N      0708711	I > t > I >> Io > to > Io >>	440      A 0,1      SI 4800      A 28      A 0,05      SI 240      A	
18	PENYULANG NATUNA ( 20 kV )	CT : 800 / 5	A	OCR      50 / 50N / 51 / 51N Merk      Areva Type      Micom P123 S/N      0708728	I > t > I >> Io > to > Io >>	440      A 0,1      SI 4800      A 28      A 0,05      SI 240      A	

Lampiran 9 Tabel koordinasi Setting Rele Arus lebih dan Rele Gangguan Tanah

Kelipatan $\frac{I_{fault}}{I_{set}}$	$I_{fault}$ (pu)	Waktu Kerja Rele Arus lebih (s)			
		TMS 0,304 SI $I_{set \ primer} 1,05 \ pu$	TMS 0,1774 SI $I_{set \ primer} 1,05 \ pu$	TMS 0,09 SI $I_{set \ primer} 0,0473 \ pu$	TMS 0,064 SI $I_{set \ primer} 0,0746 \ pu$
		TD 150 kV	TD 20 kV	Penyulang Natuna	Penyulang Sulawesi
1,5	1,575	5,23	3,05	0,17	0,14
2	2,1	3,05	1,78	0,15	0,13
3	3,15	1,92	1,12	0,14	0,11
4	4,2	1,51	0,88	0,13	0,10
5	5,25	1,30	0,76	0,12	0,10
6	6,3	1,16	0,68	0,12	0,09
7	7,35	1,07	0,62	0,11	0,09
8	8,4	1,00	0,58	0,11	0,09
9	9,45	0,95	0,55	0,11	0,08
10	10,5	0,90	0,53	0,11	0,08

Kelipatan $\frac{I_{fault}}{I_{set}}$	$I_{fault}$ (pu)	Waktu Kerja Rele Gangguan Tanah (s)			
		TMS 0,42 SI $I_{set \ primer} 0,01 \ pu$	TMS 0,246 SI $I_{set \ primer} 0,01 \ pu$	TMS 0,10098 SI $I_{set \ primer} 0,007572 \ pu$	TMS 0,10098 SI $I_{set \ primer} 0,006764 \ pu$
		TD 150 kV	TD 20 kV	Penyulang Natuna	Penyulang Sulawesi
1,5	0,015	7,22	4,23	1,03	0,88
2	0,02	4,21	2,47	0,72	0,64
3	0,03	2,65	1,55	0,50	0,47
4	0,04	2,09	1,22	0,42	0,39
5	0,05	1,79	1,05	0,37	0,35
6	0,06	1,61	0,94	0,33	0,32
7	0,07	1,48	0,86	0,31	0,29
8	0,08	1,38	0,81	0,29	0,28
9	0,09	1,31	0,76	0,28	0,27
10	0,10	1,25	0,73	0,27	0,25

## Lampiran 10 Single Line Diagram Gardu Induk Keramasan Palembang



# Analisa Setting dan Koordinas Rele arus Lebih dan Rele Gangguan Tanah Pada Penyulang di Gardu Induk keramasan Palembang

---

## ORIGINALITY REPORT

---



---

## PRIMARY SOURCES

---

1	Submitted to Universiti Malaysia Pahang Student Paper	3%
2	Submitted to Sriwijaya University Student Paper	2%
3	docplayer.info Internet Source	1%
4	sinta.unud.ac.id Internet Source	1%
5	www.scribd.com Internet Source	1%
6	repository.unib.ac.id Internet Source	1%
7	zadoco.site Internet Source	1%
8	edoc.site Internet Source	1%



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
Jalan Palembang-Prabumulih Km. 32, Indralaya, Oganilir, KodePos 30062  
Jalan Srijaya Negara, Bukit Besar, Palembang KodePos 30139  
Website: <http://elektro.ft.unsri.ac.id> Email: elektro@ft.unsri.ac.id

**BERITA ACARA SEMINAR SKRIPSI/LAPORAN TUGAS AKHIR  
(LAPORAN HASIL REVISI SKRIPSI)  
PERIODE SEMESTER GENAP 2018/2019, TANGGAL 14 JUNI 2019**

Nama	:	DIANA DWI ARDIATI
NIM	:	03041181520028
Judul Skripsi	:	ANALISA SETTING DAN KOORDINASI RELE ARUS LEBIH DAN RELE GANGGUAN TANAH PADA PENYULANG DI GARDU INDUK KERAMASAN PALEMBANG
Pembimbing Utama	:	Ir. ANTONIUS HAMDADI, M.S
Dosen Pengaji	:	1. Ir. RUDYANTO THAYIB, M.Sc. 2. Dr. Ir. H. SYAMSURI ZAINI, M.M. 3. Dr. HERLINA, S.T., M.T. 4. WIRAWAN ADIPRADANA, S.T., M.T.

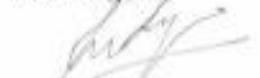
Deskripsi Perbaikan			
Dosen Pengaji	Hal./Baris	Bagian yang direvisi	Hasil revisi
Ir. Rudyanto Thayib, M.Sc.		<ul style="list-style-type: none"><li>- Perbaiki Gambar 2.14</li><li>- Perbaiki penulisan rumus <math>I_{sc\ 10}</math> dengan mengganti <math>Z_3</math> menjadi <math>Z_0</math></li><li>- Setting TMS disetel 2 angka desimal</li><li>- Perbaiki kurva koodinasi rele</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Gambar 2.14 telah diperbaiki</li><li>- Penulisan rumus <math>I_{sc\ 10}</math> dari <math>Z_3</math> telah diganti menjadi <math>Z_0</math></li><li>- Setting TMS telah disetel 2 angka desimal</li><li>- Kurva koodinasi rele telah diperbaiki</li></ul>
Dr. Ir. H. Syamsuri Zaini, M.M.		Tidak ada perbaikan	

Dr. Herlina, S.T., M.T.		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tambahkan referensi untuk penulisan jarak gangguan yang digunakan</li> <li>- Perbaiki kesalahan kata dan pemakaian istilah dalam bahasa inggris di italic</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Referensi untuk penulisan jarak gangguan yang digunakan telah ditambahkan</li> <li>- Kata yang salah dan pemakaian istilah dalam bahasa inggris di italic telah diperbaiki</li> </ul>
Wirawan adipradana, S.T.,M.T.		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Perbaiki penulisan dan spasi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Penulisan dan spasi telah diperbaiki</li> </ul>



Indralaya, 25 Juni 2019

Dosen Pengaji 1

  
Ir. Rudyanty Thayib, M.Sc.  
NIP. 195601051985031003

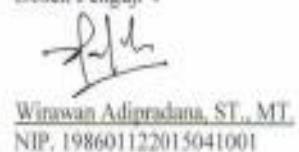
Dosen Pengaji 2

  
Dr. Ir. H. Syamsuri Zaini, M.M.  
NIP. 195803041987031002

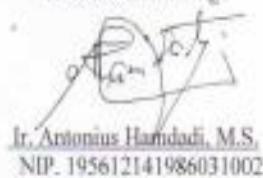
Dosen Pengaji 3

  
Dr. Herlina, S.T., M.T.  
NIP. 198007072006042004

Dosen Pengaji 4

  
Winawan Adipradana, ST., MT.  
NIP. 198601122015041001

Mengetahui,  
Dosen Pembimbing

  
Ir. Antonius Hamdadi, M.S.  
NIP. 195612141986031002



# Analisa Setting dan Koordinas Rele arus Lebih dan Rele Gangguan Tanah Pada Penyulang di Gardu Induk keramasan Palembang

*by* Diana Dwi Ardiati

---

**Submission date:** 09-May-2019 02:25PM (UTC+0700)

**Submission ID:** 1127554746

**File name:** Skripsi\_Diana\_Dwi\_Ardiati.docx (3.84M)

**Word count:** 7310

**Character count:** 46327



## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Listrik merupakan salah satu kebutuhan penting untuk penunjang kehidupan. Hampir semua peralatan dalam pengoperasiannya membutuhkan energi listrik. Maka dari itu dalam penyaluran energi listrik diharapkan agar tidak terjadi gangguan. Pada kenyataannya, dalam setiap penyaluran energi listrik tidak dapat dipungkiri akan terjadinya gangguan, gangguan yang terjadi berupa gangguan hubung singkat maupun gangguan beban lebih yang dapat bersifat permanen maupun temporer. Apabila gangguan – gangguan tersebut tidak diatasi maka akan dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan di gardu induk serta mengganggu keberlanjutan pelayanan energi listrik dalam waktu yang cukup lama. Sehingga dibutuhkan suatu sistem proteksi yang dapat mencegah kerusakan peralatan akibat terjadinya gangguan serta dapat melokalisir daerah yang terjadi gangguan dengan memisahkan daerah yang terganggu dengan daerah yang tidak terganggu.

Jaringan SUTM 20 KV digunakan PT. PLN (PERSERO) untuk mendistribusikan energi listrik dari sumber pembangkitan ke konsumen, dalam pendistribusiannya seringkali terdapat gangguan pada sisi penyulangnya. Sehingga akan mengakibatkan terjadinya penurunan tegangan. Hal inilah yang dapat mengakibatkan terjadinya pemadaman yang meluas.

Khususnya pada Gardu Induk Kramasan menggunakan 1 buah trafo 60 MVA untuk memasok energi listrik ke 6 penyulang. Pada setiap penyulang terdapat rele proteksi diantaranya yaitu rele arus lebih (OCR) dan rele gangguan tanah (GFR). Kedua rele ini bekerja dengan mengirimkan sinyal trip kepada PMT (pemutus tenaga) jika terjadi gangguan hubung singkat. Untuk mengatasi

gangguan pada penyulang maka dari itu, diperlukan setting dan koordinasi rele proteksi agar dapat bekerja saat terjadi gangguan sehingga dapat melokalisir daerah yang terjadi gangguan dan memutuskan energi listrik agar tidak merusak peralatan listrik.

Untuk membuat sistem proteksi yang dipasang dapat bekerja dengan baik <sup>1</sup> maka diperlukan *setting* arus dan *setting* waktu yang tepat tanpa waktu tunda yang <sup>1</sup>terlalu lama. Besarnya *setting* waktu pada rele proteksi dapat ditentukan dari besar arus gangguan hubung singkat yang mungkin terjadi di dalam suatu sistem kelistrikan. Selain itu, besarnya arus gangguan hubung singkat perlu diketahui sebelum gangguan yang sebenarnya terjadi. Dalam *setting* rele proteksi, besar arus gangguan yang dihitung tidak hanya pada titik gangguannya saja akan tetapi diperlukan juga menghitung arus gangguan hubung singkat yang mungkin terjadi di setiap titik gangguan tertentu pada penyulang didalam jaringan distribusi listrik.

Berdasarkan referensi yang diambil dalam pembuatan tugas akhir ini yakni analisa setting relai arus lebih dan relai gangguan tanah pada penyulang sadewa di GI Cawang dari Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Elektro Universitas Indonesia, <sup>3</sup>Irfan Affandi, 2009 dan *Evaluasi koordinasi rele pengaman pada penyulang 20 KV* transformator *garu induk* Bukit Siguntang Palembang dari Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Elektro Universitas Sriwijaya, Fajrina Oktaviani Erfandi, 2016. <sup>9</sup>

Oleh karena itu, berdasarkan latar belakang diatas maka penulis akan mengangkat tugas akhir dengan judul “Analisa *Setting* dan Koordinasi Rele Arus Lebih dan Rele Gangguan Tanah Pada Penyulang di Gardu Induk Keramasan Palembang”.

## 1.2 Perumusan Masalah

Adapun masalah yang dibahas dalam tugas akhir ini yaitu menghitung besar arus gangguan hubung singkat pada titik gangguan tertentu untuk penyetalan rele arus lebih dan rele gangguan tanah dengan perhitungan manual

dan membandingkannya dengan penyetelan rele arus lebih dan gangguan tanah yang terpasang di penyulang natuna Gardu Induk Keramasan Palembang.

### 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Menghitung besar arus gangguan hubung singkat pada titik gangguan tertentu yang mempengaruhi penyetelan rele arus lebih dan rele gangguan tanah yang terpasang pada penyulang di Gardu Induk Keramasan.
2. Menghitung *setting* waktu kerja (*Time Multiplier Setting*) rele arus lebih dan rele gangguan tanah secara manual pada sisi 150 kV, sisi incoming 20 kV, sisi penyulang Natuna, dan sisi penyulang Sulawesi pada Gardu Induk Keramasan Palembang.
3. Mengetahui apakah koordinasi rele arus lebih dan rele gangguan tanah yang digunakan di lapangan sudah baik atau belum.

### 1.4 Batasan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam penyusunan tugas akhir ini akan dibatasi oleh beberapa hal agar tidak menyimpang dari topik yang akan dibahas, hal-hal tersebut adalah sebagai berikut :

1. Pembahasan hanya pada penyulang Natuna dan penyulang Sulawesi di Gardu Induk Keramasan.
2. Perhitungan gangguan hubung singkat hanya pada gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, gangguan hubung singkat dua fasa, dan gangguan hubung singkat tiga fasa.

3. Perhitungan hanya pada *setting* rele yang disetting yaitu **rele arus lebih** dan **rele gangguan tanah** pada penyulang Natuna dan penyulang Sulawesi.

## 1.5 Metodologi Penulisan

Metodologi yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini adalah :

2. 1. Studi Literatur

Yakni mempelajari materi dari buku, jurnal, maupun artikel yang didapat dari internet yang berkaitan dengan materi tugas akhir ini.

2. 2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data diambil dari perusahaan yang terkait dalam penyelesaian tugas akhir ini dengan melakukan observasi, wawancara kepada pihak-pihak yang bersangkutan dengan masalah yang diteliti serta dokumentasi.

3. 3. Pengolahan Data

Setelah data yang diperoleh, maka data tersebut akan diolah melalui proses perhitungan manual.

4. 4. Menganalisis Data

Menganalisis data yang telah diolah dengan membandingkan data tersebut dengan data yang ada pada perusahaan yang bersangkutan.

5. 5. Metode Bimbingan/Konsultasi

Melakukan konsultasi atau diskusi tentang topik tugas akhir yang akan dibahas dengan dosen pembimbing.

#### 6. Menarik Kesimpulan

Berisi kesimpulan yang didapat dari analisis data perhitungan yang telah dilakukan.

### 1.6. Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

#### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini membahas mengenai latar belakang, tujuan penulisan, perumusan masalah, batasan masalah, metodologi penulisan, serta sistematika penulisan

#### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini membahas mengenai landasan teori yang berkaitan dengan tugas akhir ini yang meliputi penyulang, komponen simestris dan tak simetris, gangguan hubung singkat, sistem proteksi relle arus lebih dan relle gangguan tanah.

#### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini membahas metode yang digunakan dalam penyusunan tugas akhir, lokasi dan waktu penelitian, analisa data dan menjelaskan secara umum tentang perhitungan manual arus gangguan dan penyetelan relle pengaman penyulang natuna dan penyulang sulawesi.

#### **BAB IV PEMBAHSAN**

Bab ini membahas pengolahan data secara manual dengan menghitung arus gangguan hubung singkat pada relle pengaman. Setelah itu menghitung setting arus dan setting

waktu kerja <sup>1</sup> dan membandingkannya dengan kondisi sebenarnya di lapangan.

#### **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Dalam bab ini, diberikan beberapa kesimpulan dan saran yang merupakan rangkuman dari hasil pembahasan dan analisa yang ditinjau dalam tugas akhir ini..

## BAB II

### TINJAUAN PUSAKA

#### 2.1 Kubikel Tegangan Menengah

Merupakan sebuah peralatan listrik untuk menyalurkan tenaga listrik tegangan menengah yang terdapat pada gardu distribusi dan berfungsi sebagai pemutus, penghubung, pembagi, pegontrol,dan pengaman [1].



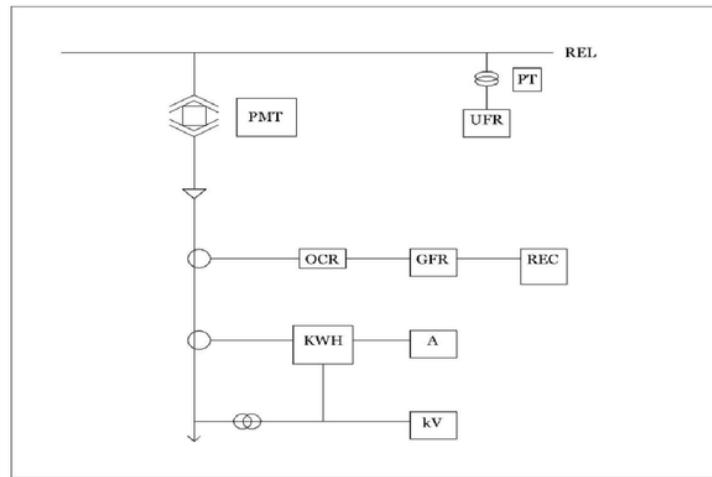
Gambar 2.1. Kubikel Tegangan Menengah [1]

##### 2.1.1     **Jenis - jenis Kubikel Tegangan Menengah**

1. Kubikel Incoming berfungsi menghubungkan antara sisi sekunder trafo dan rel tegangan menengah.
2. Kubikel Outgoing berfungsi untuk menyalurkan energi listrik dari rel ke beban.

3. Kubikel Pemakaian Sendiri (Trafo PS) berfungsi untuk menyalurkan energi listrik dari rel ke beban untuk pemakaian sendiri di Gardu Induk.
4. Kubikel Kopel (Bus Kopling) berfungsi untuk menghubungkan antar rel.
5. Kubikel PT berfungsi sebagai pengaman dan pengukuran.
6. Kubikel Bus Tie berfungsi untuk menghubungkan antar kubikel.

### 2.1.2 Rele dan Meter



Gambar 2.2. Single Line Diagram Rele [1]

1. *Over Current Relay* (OCR) berfungsi sebagai proteksi ketika terjadi gangguan hubung singkat fasa-fasa
2. *Ground Fault Relay* (GFR) berfungsi sebagai proteksi ketika terjadi gangguan hubung singkat fasa-tanah
3. *Recloser Relay* berfungsi menormalkan kembali SUTM saat terjadi gangguan temporer

4. Under Frequency Relay (UFR) berfungsi sebagai proteksi jika terjadi gangguan frekuensi atau frekuensi dibawah frekuensi normal
5. Ampere Meter berfungsi untuk mengukur arus beban
6. KWh Meter berfungsi untuk mengukur banyaknya energi listrik yang disalurkan ke beban
7. KV Meter berfungsi untuk mengukur tegangan.

## 2.2 Gangguan Hubung Singkat

Gangguan listrik merupakan gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik baik itu di gardu induk ataupun pada jaringan karena adanya gangguan hubungan langsung antar fasa maupun fasa ke tanah. Besarnya gangguan hubung singkat ditentukan oleh besar kecilnya sumber listrik, impedansi sumber, dan impedansi jaringan. Penyebab adanya gangguan hubung singkat dapat diakibatkan dari sambaran petir, pepohonan, binatang dan tembusnya isolasi. Gangguan ini dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan listrik tergantung dari lama atau tidaknya gangguan tersebut terjadi [2][3].

5

Besarnya arus gangguan hubung singkat dapat dihitung dengan rumus dasar hukum ohm [4][5][6]:

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

Dimana :  $I$  = Arus (A)

$V$  = Tegangan (V)

$Z$  = Impedansi ( $\Omega$ )

$$I_{dasar} = \frac{MVA_{dasar} \times 1000}{\sqrt{3} \times KV_{dasar}} (A) \quad (2.2)$$

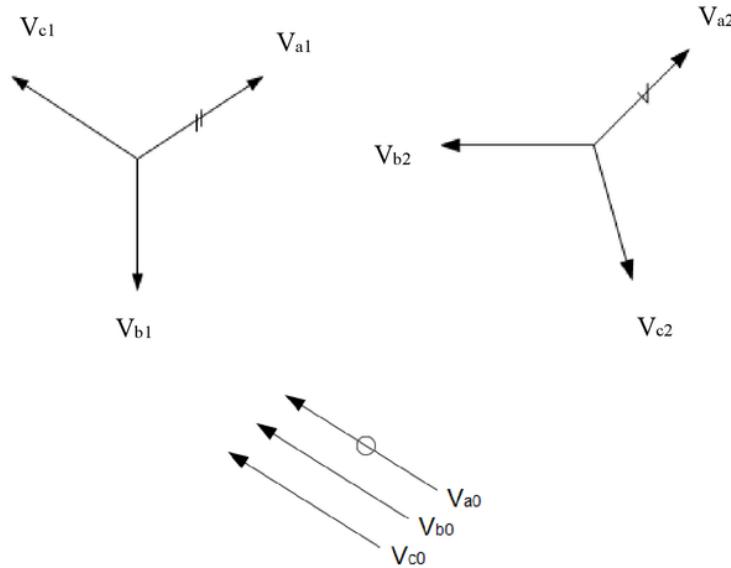
$$Z_{dasar} = \frac{KV^2}{MVA} (\Omega) \quad (2.3)$$

### 2.2.1 Komponen Simetris (Symmetrical Components)

Menurut teori C.L. Fortescue pada tahun 1918, dalam sistem tiga fasa terdiri dari tiga fasor yang tak seimbang dapat diuraikan menjadi tiga fasor yang seimbang, komponennya adalah [3]:

- Komponen urutan positif (positive sequence components) terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya dengan besar sudut antar pasor terpisah  $120^\circ$  dan urutan fasa sama seperti fasor aslinya.
- Komponen urutan negatif (negative sequence components) terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya dengan besar sudut antar fasor terpisah  $120^\circ$  dan urutan fasa berlawanan seperti fasor aslinya.
- Komponen urutan nol (zero sequence components) terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya dengan besar sudut antar fasor terpisah  $120^\circ$  dengan pergeseran fasa nol antar fasor.

Untuk notasi simetris dalam sistem 3 fasa digunakan notasi a,b,c dan jika pasor aslinya berupa tegangan maka digunakan notasi  $V_a, V_b, V_c$ .



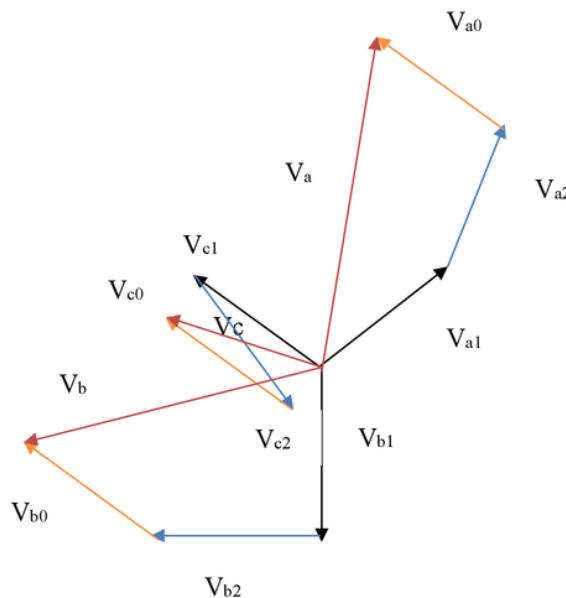
Gambar 2.3. Tiga himpunan fasor seimbang yang merupakan komponen simetris dari tiga fasor tak seimbang [7].

Penjumlahan masing-masing komponen dapat dinyatakan dengan [7]:

$$V_a = V_{a1} + V_{a2} + V_{a0}$$

$$V_b = V_{b1} + V_{b2} + V_{b0} \quad (2.4)$$

$$V_c = V_{c1} + V_{c2} + V_{c0}$$



Gambar 2.4. Penjumlahan secara grafis komponen-komponen seimbang [8].

### 2.2.2 Komponen Simetris Fasor Tak Simetris

Huruf a dalam komponen-komponen simetris digunakan untuk menunjukkan perputaran arah sebesar  $120^\circ$  berlawanan dengan arah jarum jam. Jika operator a dikenakan pada fasor dua kali berturut-turut maka fasor akan diputar dengan sudut  $240^\circ$ . Jika dikenakan tiga kali berturut-turut maka akan diputar dengan sudut  $360^\circ$  sehingga [7] [8] [9]:

$$a = 1 \angle 120^\circ = -0,5 + j0,866$$

$$a^2 = 1 \angle 240^\circ = -0,5 - j0,866 \quad (2.5)$$

$$a^3 = 1 \angle 360^\circ = 1 + j0,0$$

Berdasarkan persamaan tersebut akan dinyatakan persamaan baru dengan memasukkan operator a, didapatkan [7]:

$$\begin{aligned} V_{b1} &= a^2 V_{a1} & V_{c1} &= a V_{a1} \\ V_{b2} &= a V_{a2} & V_{c2} &= a^2 V_{a2} \\ V_{b0} &= V_{a0} & V_{c0} &= V_{a0} \end{aligned} \quad (2.6)$$

Dengan mengulangi persamaan (2.4) dan memasukkan persamaan (2.6) sehingga dihasilkan :

$$\begin{aligned} V_a &= V_{a1} + V_{a2} + V_{a0} \\ V_b &= a^2 V_{a1} + a V_{a2} + V_{a0} \\ V_c &= a V_{a1} + a^2 V_{a2} + V_{a0} \end{aligned} \quad (2.7)$$

Dalam bentuk matriksnya :

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = [A] \begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

$$[A] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

$$[A^{-1}] = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

$$\text{Sehingga : } \begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

$$\begin{aligned} \text{Atau : } V_{a0} &= \frac{1}{3}(V_a + V_b + V_c) \\ V_{a1} &= \frac{1}{3}(V_a + aV_b + a^2V_c) \\ V_{a2} &= \frac{1}{3}(V_a + a^2V_b + aV_c) \end{aligned} \quad (2.13)$$

Untuk persamaan arus :

$$I_a = I_{a1} + I_{a2} + I_{a0}$$

$$I_b = a^2 I_{a1} + a I_{a2} + I_{a0} \quad (2.14)$$

$$I_c = a I_{a1} + a^2 I_{a2} + I_{a0}$$

$$\begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

Atau :

$$I_{a0} = \frac{1}{3}(I_a + I_b + I_c)$$

$$I_{a1} = \frac{1}{3}(I_a + aI_b + a^2 I_c) \quad (2.16)$$

$$I_{a2} = \frac{1}{3}(I_a + a^2 I_b + a I_c)$$

### 2.3 Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat

Perhitungan ini digunakan untuk menganalisa gangguan hubung singkat yang terjadi di suatu sistem tenaga listrik. Gangguan ini dapat terjadi akibat adanya penurunan kemampuan dasar isolasi antar kawat maupun kawat ke tanah sehingga akan terjadi kenaikan arus yang berlebih [6][9].

Tujuan dari perhitungan itu sendiri ialah untuk mengetahui besar arus gangguan hubung singkat pada sistem tenaga listrik sehingga dapat digunakan untuk setting rele proteksi pada sistem tenaga listrik serta menentukan kapasitas alat pemutus daya [8].

Dalam melakukan perhitungan gangguan hubung singkat maka diperlukan perhitungan :

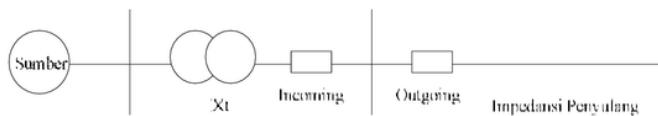
#### 2.3.1 Menghitung Impedansi

Impedansi terdiri dari :

1. Impedansi urutan positif ( $Z_1$ )

2. Impedansi urutan negatif ( $Z_2$ ) 4
3. Impedansi urutan nol ( $Z_0$ )

Sebelum melakukan perhitungan arus hubung singkat, maka kita harus terlebih dahulu melakukan perhitungan pada bus daya tegangan primer di gardu induk untuk berbagai jenis gangguan. Setelah itu kita menghitung pada titik-titik lainnya yang letaknya semakin jauh dari gardu induk [9].



1 X<sub>s</sub>

Gambar 2.5. Rangkaian penyalang tegangan menengah [6].

Dimana :  $X_s$  = impedansi sumber ( $\Omega$ )

$$X_t = \text{impedansi transformator } (\Omega)$$

Tahapan perhitungan yang dilakukan seperti terlihat pada gambar diatas yakni menghitung impedansi sumber, impedansi transformator, impedansi penyalang dan impedansi ekivalen jaringan.

### 2.3.2. Impedansi Sumber

8

Impedansi sumber pada sisi 20 KV diperoleh dengan menghitung impedansi sumber disisi 150 KV terbih dahulu. Dengan rumus[3][4]:

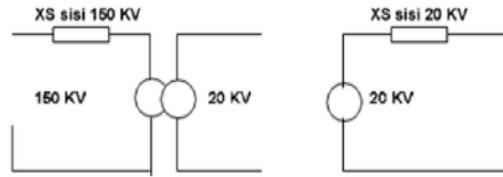
$$X_s = \frac{5V^2}{MVA} \quad (2.17)$$

Dimana :

$X_s$  = Impedansi sumber ( $\Omega$ )

$kV^2$  = Tegangan sisi primer trafo tenaga (kV)

MVA = Data hubung singkat di bus 150 kV (MVA)



Gambar 2.6. konversi Impedansi sumber pada sisi 150 KV ke 20 KV [6]

Untuk mengkonversikan impedansi sumber 150 KV ke 20 KV maka digunakan persamaan :

$$X_s(sisi\ 20\ KV) = \frac{20^2}{150^2} \times X_s(sisi\ 150\ KV) \quad (2.18)$$

Untuk mengubah impedansi sumber dalam bentuk satua pu maka :

$$Z_{sumber}(pu) = \frac{Z_{sumber}}{Z_{dasar}} \quad (2.19)$$

### 2.3.3. Impedansi Transformator

Untuk mencari nilai impedansi transformator hanya diambil nilai reaktansinya saja karena resistansinya sangat kecil. Oleh karena itu nilai resistansinya dapat diabaikan[3]:

$$X_T \text{ (pada 100\%)} = \frac{kV^2}{MVA} \quad (2.20)$$

Dimana :

$X_T$  = Impedansi transformator ( $\Omega$ )

$kV^2$  = Tegangan sisi sekunder trafo tenaga (kV)

MVA = Kapasitas daya transformator (MVA)

Untuk mencari nilai reaktansi urutan positif dan urutan negatif transformator ( $X_{T1}$  dan  $X_{T2}$ ) menggunakan rumus :

$$X_T = \% \text{ yang diketahui} \times X_T \text{ (pada 100\%)} \quad (2.21)$$

$$X_{1T} = X_{2T} = X_T \times \frac{MVA_{baru}}{MVA_{lama}} \times \frac{kV^2_{lama}}{kV^2_{baru}} (pu) \quad (2.22)$$

Untuk menghitung reaktansi urutan nol transformator maka harus mengetahui belitan transformatornya.

1. Untuk transformator hubungan belitan  $\Delta Y$ , maka  $X_{T0} = X_{T1}$
2. Untuk transformator hubungan belitan  $Yy\Delta$ , kapasitas belitan biasanya sepertiga kapasitas belitan  $Y$ , maka harga reaktansi  $X_{T0} = 3 \times X_{T1}$
3. Untuk transformator hubungan belitan  $YY$  dan tidak memiliki belitan  $\Delta$ , maka harga reaktansi  $X_{T0} = 9$  sampai  $14 \times X_{T1}$

#### 2.3.4. Impedansi Penyulang

Untuk menghitung impedansi penyulang bergantung pada panjang penyulang (km) dan impedansi per km dari penyulang itu sendiri. Besarnya impedansi per km pada penyulang bergantung pada jenis penghantar, luas penampang, dan panjang penghantar.

Impedansi penyulang urutan positif dan urutan negatif :

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

$$Z_1 = Z_2 = \frac{z_{penyulang}}{z_{sumber}} (pu) \quad (2.23)$$

1  
Impedansi penyulang urutan nol :

$$Z_0 = \% \text{ panjang saluran} \times \text{panjang penyulang (km)} \times Z_0 (\Omega/\text{km})$$

$$Z_1 = Z_2 = \frac{z_{penyulang}}{z_{sumber}} (pu) \quad (2.24)$$

#### 2.3.5. Impedansi Ekivalen Jaringan

Perhitungan ekivalen jaringan urutan positif dan ekivalen jaringan urutan negatif ( $Z_{1ek}$  dan  $Z_{2ek}$ ) dapat langsung dijumlahkan

karena terhubung seri. Sedangkan perhitungan ekivalen jaringan urutan nol ( $Z_{0ek}$ ) harus memperhatikan hubungan belitan trafonya.

1

Urutan positif dan urutan negatif dapat dihitung dengan persamaan :

$$Z_{1ek} = Z_{2ek} = Z_{1S} + Z_{1T} + Z_1 \text{ penyulang} \quad (2.25)$$

Dimana :

<sup>4</sup>  
 $Z_{1ek}$  = impedansi ekivalen jaringan urutan positif ( $\Omega$ )

$Z_{2ek}$  = impedansi ekivalen jaringan urutan negatif ( $\Omega$ )

$Z_{1S}$  = impedansi sumber sisi 20 KV ( $\Omega$ )

$Z_{1T}$  = impedansi transformator urutan positif dan negatif ( $\Omega$ )

$Z_1$  = impedansi urutan positif dan negatif ( $\Omega$ )

Urutan nol dapat dihitung dengan persamaan :

$$Z_{0ek} = Z_{T0} + 3 Z_n + Z_0 \text{ penyulang} \quad (2.26)$$

Dimana :

<sup>4</sup>  
 $Z_{0ek}$  = impedansi ekivalen jaringan urutan nol ( $\Omega$ )

$Z_{T0}$  = impedansi transformator urutan nol ( $\Omega$ )

$Z_n$  = impedansi tanah transformator ( $\Omega$ )

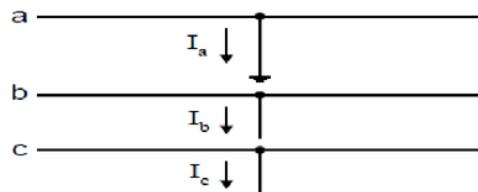
$Z_0$  = impedansi urutan nol ( $\Omega$ )

### 2.3.6. Gangguan Satu Phasa ke Tanah Pada Sistem Tenaga (Single Line – To Ground Fault)

Gangguan ini terjadi karena adanya gangguan pada salah satu fasanya akibat dari kawat fasa tersebut terhubung ke tanah atau terkena

pohon. Apabila penghantar tersebut tidak terhubung atau tersentuh ke tanah maka tidak akan terjadi gangguan <sup>3</sup> <sub>10</sub> satu fasa ke tanah [7][3].

Pada gangguan satu fasa ke tanah, batang-batang hipotetis pada ketiga saluran dihubungkan seperti gambar 2.7



Gambar 2.7. Diagram sambungan batang-batang hipotesis untuk gangguan satu phasa ke tanah [7]

Kondisi awal pada gangguan ini :  $I_b = 0$  ,  $I_c = 0$  ,  $V_a = 0$

Maka diperoleh :

$$I_{a1} = I_{a2} = I_{a0} \quad (2.27)$$

Dan

$$I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \quad (2.28)$$

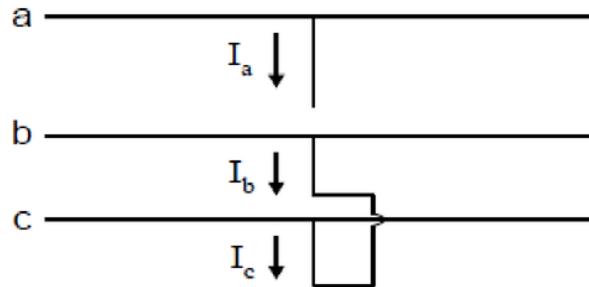
Besar arus gangguan :

$$I_f = I_a = \frac{3V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \quad (2.29)$$

### 2.3.7. Gangguan Dua Kawat Phasa Pada Sistem Tenaga (Line – To Line Fault)

Gangguan fasa-fasa atau gangguan dua kawat fasa ini dapat terjadi karena adanya benang layang-layang yang terbuat dari kawat atau karena ranting pohon [7][3].

10  
Untuk gangguan dua phasa ( phasa b dan phasa c), batang-batang hipotetis pada ketiga saluran dihubungkan seperti pada gambar 2.8



Gambar 2.8. Diagram sambungan batang-batang hipotetis untuk suatu gangguan dua fasa (antar saluran) [7]

Kondisi awal pada gangguan tersebut :  $V_b = V_c$  ,  $I_a = 0$  ,  $I_b = - I_c$

Maka diperoleh :

$$V_{a1} = V_{a2} \quad (2.30)$$

$$I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2} \quad (2.31)$$

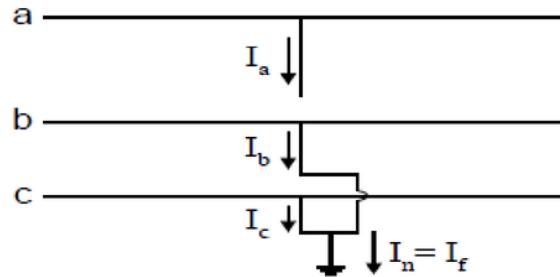
Besar arus gangguan adalah :

$$I_f = -j\sqrt{3}I_{a1} \quad (2.32)$$

### 2.3.8. Gangguan Dua Kawat Phasa ke Tanah Pada Sistem Tenaga (Double Line – To Ground Fault)

Gangguan dua fasa ke tanah dapat diakibatkan karena pohon terkena dua fasa [7][3].

10  
Untuk suatu gangguan dua fasa ke tanah, batang-batang disambungkan seperti gambar 2.9



<sup>10</sup>  
Gambar 2.9. Diagram sambungan batang-batang hipotetis untuk suatu gangguan dua fasa ketanah [7]

Kondisi awal pada gangguan ini adalah :

$$V_b = V_c = 0, I_a = 0, I_b = -I_c$$

$$V_{a1} = V_{a2} = V_{a0} \quad (2.33)$$

$$I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2 Z_0 / (Z_2 + Z_0)} \quad (2.34)$$

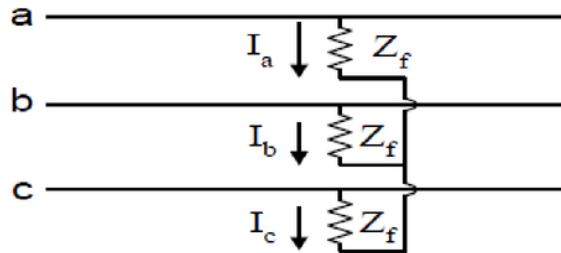
Besar arus gangguan :

$$\begin{aligned} I_f &= I_b + I_c \\ &= (a^2 I_{a1} + a I_{a2} + I_{a0}) + (a I_{a1} + a^2 I_{a2} + I_{a0}) \end{aligned} \quad (2.35)$$

### 2.3.9. Gangguan Tiga Kawat Phasa Pada Sistem Tenaga (Three Line Fault)

Gangguan tiga fasa dapat terjadi karena terhubungnya ketiga fasanya oleh pohon atau kawat dari benang layang-layang [7][3].

Untuk suatu gangguan tiga fasa, batang-batang disambungkan seperti ditunjukkan dalam gambar 2.10



<sup>10</sup>  
Gambar 2.10. Diagram hubungan batang-batang hipotetis untuk suatu gangguan tiga fasa ke tanah [7].

Besar arus gangguan :

Tanpa  $Z_f$

$$I_{a1} = I_a = I_f = \frac{V_f}{Z_1} \quad (2.36)$$

Dengan  $Z_f$

$$I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} \quad (2.37)$$

## 2.4 Sistem Proteksi Rele

Sistem proteksi merupakan sebuah sistem yang dibuat untuk mengamankan peralatan listrik dari gangguan saat sedang beroperasi dan memisahkan bagian sistem tenaga listrik yang terganggu dengan sistem tenaga listrik yang tidak terganggu. Agar peralatan yang ingin dilindungi dari gangguan dapat terhindar dari kerusakan dan sistem tenaga listrik yang tidak terganggu dapat terus berkerja. Pada hakikatnya sistem proteksi ini dipasang pada sistem tenaga listrik untuk mengamankan seluruh sistem tenaga listrik agar keandalan tetap terjaga. Sistem proteksi yang biasanya dipasang untuk mencegah akibat-akibat

negatif yang ditimbulkan pada peralatan sistem tenaga listrik yaitu rele pengaman [3]. Apabila terjadi gangguan, rele akan bekerja dengan mengirimkan sinyal perintah kepada pemutus tenaga (PMT) untuk memisahkan daerah yang terganggu dari sistem. Rele mendeteksi terjadinya gangguan dengan besaran arus, tegangan, frekuensi, dan sebagainya sesuai dengan jenis dan besaran rele yang telah disetting [10].

Untuk dapat mengatasi gangguan diperlukan upaya yaitu menggunakan peralatan sistem tenaga listrik yang sesuai dengan standar, menentukan spesifikasi dan desain yang cocok untuk sistem proteksi yang akan digunakan serta pemasangannya harus benar dan sesuai [3][10].

#### **2.4.1 Persyaratan Terpenting Untuk Sistem Proteksi**

##### **a. Kepekaan ( Sensitivity )**

Setiap rele yang terpasang sebagai sistem proteksi harus cukup peka dalam mendeteksi adanya gangguan walaupun dalam kondisi yang memberikan rangsangan minimum dikawasan pengamanannya.

##### **b. Keandalan ( Reliability )**

Pada syarat keandalan untuk sistem proteksi dilihat dari 5 aspek yaitu :

###### **1. Dependability**

Dalam prinsipnya sistem proteksi harus dapat bekerja apabila terjadi gangguan, tidak boleh gagal dalam mendektsi adanya gannguan dan melepaskan bagian yang terganggu.

###### **2. Security**

Sistem proteksi yang dipasang tidak bolch salah dalam bekerja misalnya salah mendeteksi adanya gangguan diluar

daerah pengamannya dan tidak boleh terlalu lambat dan terlalu cepat keja.

3. Availability

Perbandingan waktu antara waktu siap kerja dan waktu total operasinya.

4. Selectivity

Rele atau sistem proteksi yang dipasang harus dapat membedakan dimana letak gangguannya. Apabila gangguan terdapat di daerah pengamannya maka relai harus cepat dalam bekerja, jika dibagian berikutnya maka relai harus bekerja dengan waktu tundanya ( time delay ), dan apabila gangguan terjadi diluar daerah proteksinya atau tidak terjadi gangguan maka rele tidak boleh bekerja

5. Speed

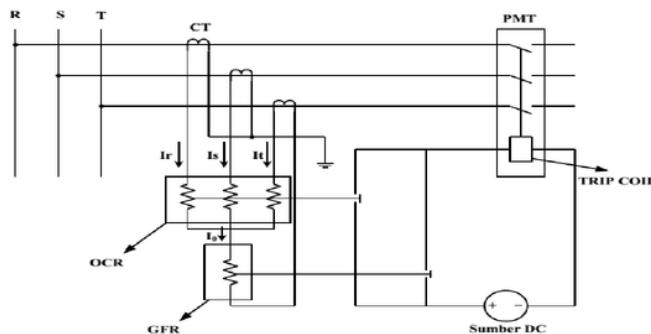
Untuk dapat menghindari kerusakan peralatan dari gangguan maka sistem proteksi yang dipasang harus bekerja secepat mungkin memisahkan bagian yang tergaanggu dari bagian sistem lainnya. Apalagi relai terdapat waktu tunda maka waktu tunda yang diberikan harus secepat mungkin, karena apabila relai lambat dalam bekerja dapat merusak peralatan dan kestabilan sistem [3].

## 2.5 Rele Arus Lebih (*Over Current Relay*)

Merupakan suatu peralatan proteksi yang digunakan sebagai pengaman dari arus lebih yang disebabkan oleh hubung singkat maupun overload untuk melindungi peralatan yang berada dalam wilayah proteksinya agar terhindar dari kerusakan apabila terjadi gangguan.

Prinsip kerjanya yaitu pada jaringan SUTM saat kondisi normal arus beban ( $I_b$ ) yang mengalir akan ditransformasikan oleh trafo arus besaran sekunder ( $I_s$ ). Kemudian arus sekunder ( $I_s$ ) tersebut akan mengalir ke kumparan rele, tetapi pada saat kondisi normal besar arus sekunder yang melewati kumparan rele belum melewati batas arus maksimal yang telah disetting pada rele, maka rele tidak akan bekerja/tidak mendeteksi adanya arus lebih yang lewat.

Apabila terjadi gangguan hubung singkat, maka arus beban ( $I_b$ ) akan naik sehingga arus sekunder ( $I_s$ ) yang melewati kumparan rele akan naik juga sehingga besar arus yang mengalir pada kumparan rele akan lebih besar dibandingkan dengan arus settingnya sehingga rele akan memberi sinyal trip pada tripping coil untuk membuka PMT, agar bagian yang terganggu dapat dipisahkan dari sistem [6][9].



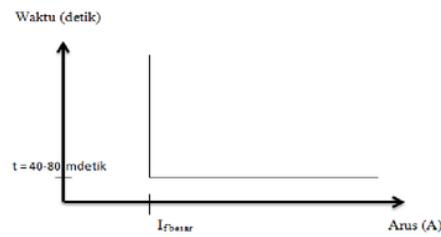
Gambar 2.11. Rangkaian pengawatan OCR dan GFR [10]

### 2.5.1 Karakteristik Arus Lebih

Hubungan kerja antara besar arus dan waktu rele, sebagai berikut:

#### 1. Instantaneous Relay

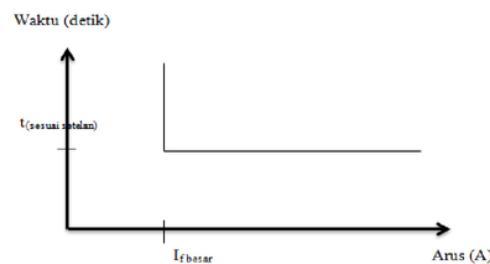
Rele ini bekerja tanpa waktu tunda tapi masih bekerja dengan waktu cepat 40-80 mili detik yang akan memberikan perintah trip pada circuit breaker apabila arus yang mengalir melebihi nilai setting arusnya.



Gambar 2.12. Grafik moment [3]

### 2. Definite Time Relay

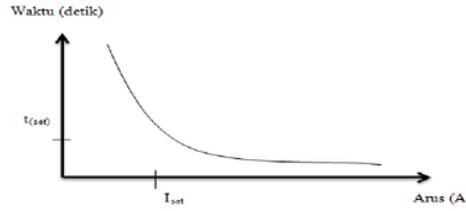
Rele definite time ini mempunyai waktu tunda yang tetap atau pasti sehingga rele bekerja tidak bergantung pada besar arus gangguannya.



Gambar 2.13. Grafik Definite Time [3]

### 3. Inverse Time Relay

Rele ini mempunyai grafik terbalik antara waktu kerja dengan arus gangguan yaitu jika arus gangguan yang mengalir semakin besar maka waktu kerja rele akan semakin cepat.



Gambar 2.14. Grafik Inverse Time [3]

Untuk mengetahui setting arus lebih pada setting rele menggunakan invers time rele ini, terlebih dahulu dilakukan perhitungan terhadap arus nominal transformator menggunakan rumus[3] :

$$I_{set(primer)} = (1,05 - 1,3) \times I_{nominal} \quad (2.38)$$

$$I_{set(sekunder)} = I_{set(primer)} \times \frac{1}{ratio\ CT} \quad (2.39)$$

8 Karakteristik inverse sesuai IEC 60255-3 dan BS 142 1966, sebagai berikut :

$$t = \frac{\beta}{((\frac{I_f}{I_{set}})^{\alpha}-1)} \times TMS \text{ (detik)} \quad (2.40)$$

$$TMS = \frac{((\frac{I_f}{I_{set}})^{\alpha}-1)}{\beta} \times t \quad (2.41)$$

Tabel 2.1. Faktor  $\alpha$  dan  $\beta$  tergantung pada kurva arus dengan waktu :

9

Nama Kurva	$\alpha$	$\beta$
Standar Inverse	0.02	0.14
Very Inverse	1	13.2

Extremely Inverse	2	80
Long Inverse	1	120

## 2.6 Rele Gangguan Tanah (*Ground Fault Relay*)

Prinsip kerja rele gangguan tanah sama dengan rele arus lebih. Perbedaannya hanya terletak pada arus gangguan yang dideteksi yaitu apabila rele arus lebih mendeteksi gangguan fasa-fasa, tetapi jika rele gangguan tanah mendeteksi gangguan yang melibatkan tanah sehingga besar arus gangguannya lebih kecil. Karena saat terjadi gangguan hubung singkat ke tanah maka akan muncul arus urutan nol pada fasa netral sehingga rele gangguan tanah akan bekerja. Untuk menentukan nilai setting rele gangguan tanah sama seperti pada setting rele arus lebih hanya saja pada rele gangguan tanah disetting lebih sensitive dibandingkan dengan setting rele arus lebih [9]. Untuk menentukan setting arusnya yaitu [3] :

$$I_{set} = 6\% \text{ sampai } 12\% I_f \text{ fasa terkecil/terjauh}$$

2  
**BAB III**

**METODE PENELITIAN**

**3.1 Umum**

Secara umum metode yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

**1. Studi Literatur**

Yakni mempelajari materi dari buku, ebook, jurnal, maupun artikel yang didapat dari internet yang berkaitan dengan materi tugas akhir ini.

**2. Pengumpulan Data**

Pengumpulan data diambil dari perusahaan yang terkait dalam penyelesaian tugas akhir ini dengan melakukan observasi, wawancara kepada pihak-pihak yang bersangkutan dengan masalah yang diteliti serta dokumentasi.

**3. Pengolahan Data**

Setelah data yang diperoleh, maka data tersebut akan diolah melalui proses perhitungan manual.

**4. Menganalisis Data**

Menganalisis perbandingan data hasil perhitungan dengan data yang ada pada perusahaan yang bersangkutan.

**5. Metode Bimbingan/Konsultasi**

Melakukan konsultasi atau diskusi tentang topik tugas akhir yang akan dibahas dengan dosen pembimbing.

#### 6. Menarik Kesimpulan

Berisi kesimpulan yang didapat dari analisis data perhitungan yang telah dilakukan.

### 3.2 Lokasi dan Waktu Pelaksanaan Penelitian

Lokasi yang diambil untuk tugas akhir ini yaitu penyulang Natuna dan pemyulang Sulawesi distribusi 20 KV pada Gardu Induk Keramasan Palembang. Data-data yang dibutuhkan untuk menyusun tugas akhir ini didapat pada Gardu Induk Keramsan dan PLN Rayon Ampera. Penelitian dilakukan mulai dari bulan Oktober 2018 sampai dengan selesai yang meliputi studi literatur, pengambilan data, pengolahan data dan analisa, serta pembuatan kesimpulan.

### 3.3 Analisa Data

Data-data yang diperlukan untuk menyusun tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Data sistem yaitu berupa data MVA short circuit tiga fasa dan satu fasa ke tanah pada sisi 150 KV serta MVA base.
2. Data transformator yaitu berupa data kapaasitas, impedansi, tegangan, ratio CT, serta jenis belitan pada transformator.
3. Data penyulang yaitu berupa data jenis kabel penghantar, panjang saluran, impedansi, ratio CT.
4. Data teknis *Netral Grounding Resistance* (NGR)
5. Data rele arus lebih dan rele gangguan tanah yang digunakan yaitu, setting arus, setting waktu, dan ratio CT.

Adapun metode penyelesaian untuk menganalisi data adalah sebagai berikut :

1. Menghitung impedansi sumber

$$X_s(sisi\ 150\ KV) = \frac{KV^2}{MVA_{hubung\ singkat\ 3\emptyset}}$$

Konversikan impedansi sumber 150 KV ke 20 KV maka digunakan persamaan :

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

2. Menghitung reaktansi transformator urutan positif, negatif, dan urutan nol

$$X_{1T} = X_{2T} = X_T \times \frac{MVA_{baru}}{MVA_{lama}} \times \frac{kV^2_{lama}}{kV^2_{baru}}$$

$X_{0T}$  = Disesuaikan dengan hubungan belitan transformator

3. Menghitung impedansi penyulang dengan jarak gangguan 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%.

Impedansi penyulang urutan positif dan urutan negatif :

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

Impedansi penyulang urutan nol :

$$Z_0 = \% \text{ panjang saluran} \times \text{panjang penyulang (km)} \times Z_0 (\Omega/\text{km})$$

4. Menghitung impedansi ekivalen urutan positif, urutan negatif, urutan nol dengan jarak gangguan 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%.

**Urutan positif dan urutan negatif dapat dihitung dengan persamaan :**

$$Z_{1ek} = Z_{2ek} = Z_{1S} + Z_{1T} + Z_1 \text{penyulang}$$

Urutan nol dapat dihitung dengan persamaan :

$$Z_{0ek} = Z_{T0} + 3 Z_n + Z_0 \text{penyulang}$$

5. Menghitung arus gangguan hubung singkat

- a. Gangguan hubung singkat 3 fasa

$$I_f = \frac{V_f}{Z_1}$$

- b. Gangguan hubung singkat 2 fasa

$$I_f = -j\sqrt{3} \frac{V_f}{Z_1 + Z_2}$$

- c. Gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah

$$I_f = I_a = \frac{3V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_3}$$

6. Menghitung setting rele arus lebih

- a. Menghitung setting rele arus lebih sisi 150 kV
- b. Menghitung setting rele arus lebih sisi incoming 20 kV
- c. Menghitung setting rele arus lebih sisi penyulang Natuna
- d. Menghitung setting rele arus lebih sisi penyulang Sulawesi

7. Menghitung setting rele gangguan tanah

- a. Menghitung setting rele gangguan tanah sisi 150 kV

- b. Menghitung setting rele gangguan tanah sisi incoming 20 kV
  - c. Menghitung setting rele gangguan tanah sisi penyulang Natuna
  - d. Menghitung setting rele gangguan tanah sisi penyulang Sulawesi
8. Menghitung setting waktu kerja rele arus lebih pada transformator dan penyulang

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

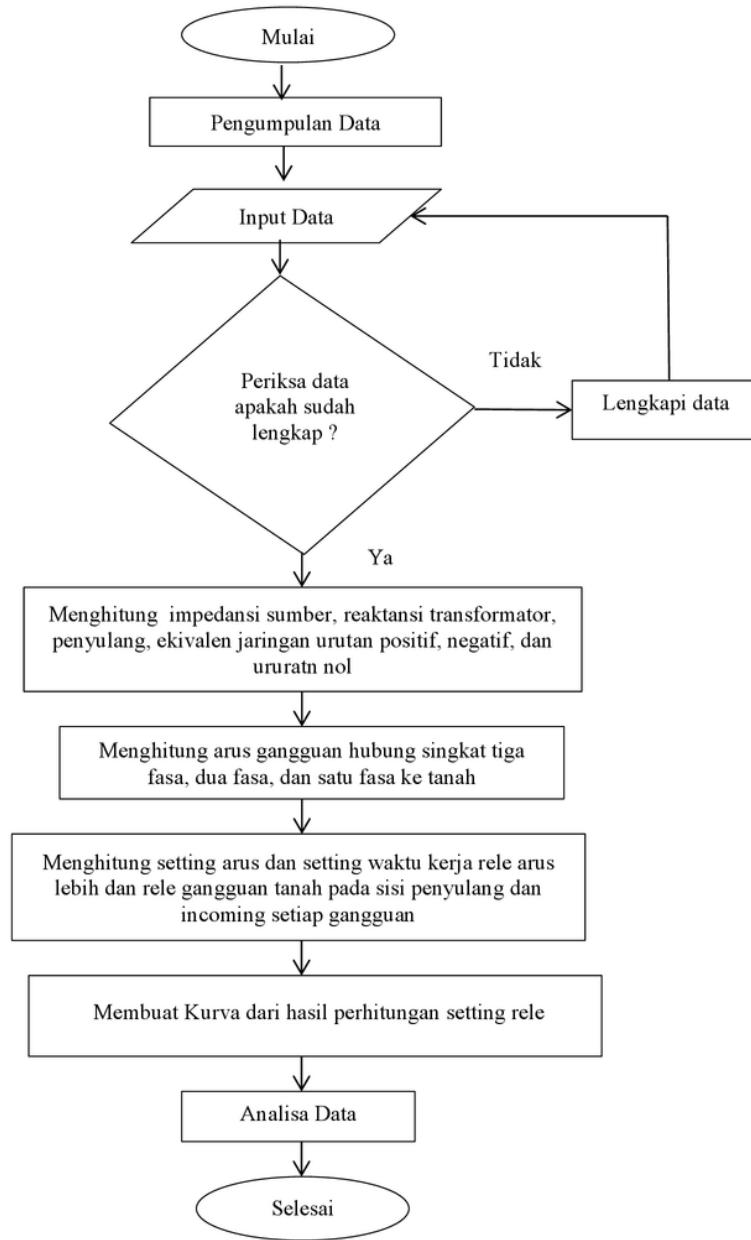
9. Menghitung setting waktu kerja rele gangguan tanah pada transformator dan penyulang

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

10. Membuat grafik koordinasi rele arus lebih dan rele gangguan tanah 5

11. Membandingkan data hasil perhitungan dengan data di lapangan

### 3.4 Diagram Alir Penelitian



3  
**BAB IV**

**PEMBAHASAN**

#### **4.1 Gardu Induk Keramasan Palembang**

Pada **Gardu Induk** Keramasan memiliki dua buah transformator daya yang memiliki kapasitas yang berbeda-beda yaitu 60 MVA pada tegangan kerja 150/20 kV dan transformator daya 30 MVA pada tegangan kerja 70/20 kV. Pada transformator 60 MVA memiliki 6 penyulang yaitu penyulang Kalimantan, Sulawesi, Seribu, Natuna, Batam, dan Jawa. Pada penulisan tugas akhir ini, penulis akan membahas setting rele hanya pada transformator 60 MVA dengan tegangan kerja 150/20 KV yakni pada penyulang Natuna dan penyulang Sulawesi. Pada transformator ini dipasang rele proteksi untuk mengamankan peralatan listrik dari gangguan yang dapat terjadi.

#### **4.2 Data Teknis Jaringan Gardu Induk Keramasan Palembang**

$$I_{sc3\emptyset} = 11961 \text{ A}$$

$$I_{sc1\emptyset tanah} = 276 \text{ A}$$

$$MVA_{sc3\emptyset} = 150 \times 11,961 \times \sqrt{3} = 3107,558956 \text{ MVA}$$

$$MVA_{sc1\emptyset tanah} = 150 \times 0,276 \times \sqrt{3} = 71,70690343 \text{ MVA}$$

#### 4.3 Data Teknis Peralatan Gardu Induk Keramasan Palembang

Tabel 4.1. Data Transformator

Merk	PAUWELS
Kapasitas Daya	60 MVA
Tegangan	150/20 KV
Hub. Belitan Trafo	YNyn0
Impedansi Trafo	12,5%
Rasio CT 150 kV	300/5 A
Rasio CT 20 kV	2000/5 A

Tabel 4.2. Data Penyulang

Nama Penyulang	Rasio CT	OCR	
		Merk	Type
Natuna	800/5 A	Areva	Micom P123
Sulawesi	800/5 A	Areva	Micom P123

Tabel 4.3. Data NGR

Merk	OZ DIRENZ
Tahanan	40 Ω
Kemampuan Arus	300 A

<sup>3</sup>  
Tabel 4.4. Nilai Impedansi Urutan Positif, Negatif, dan Nol Kawat Penghantar  
(SPLN 64:1985)

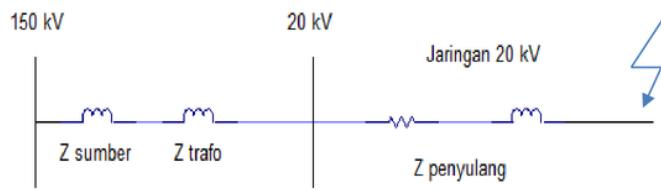
Jenis Kabel	Impedansi Urutan Positif/Negatif ( $\Omega/km$ )	Impedansi Urutan Nol ( $\Omega/km$ )
A3C 70 $mm^2$	$0,4608 + j 0,3572$	$0,6088 + j 1,6447$
A3C 150 $mm^2$	$0,2162 + j 0,3305$	$0,3631 + j 1,6180$
SKTM 150 $mm^2$	$0,263 + j 0,0974$	$0,4208 + j 0,24837$
SKTM 240 $mm^2$	$0,16 + j 0,0908$	$0,256 + j 0,23154$

Tabel 4.5. Data Jenis Kawat Penghantar beserta Panjang Kawat

Nama Penyulang	Jenis Penghantar yang digunakan (kms)			
	A3C $70 mm^2$	A3C $150 mm^2$	SKTM $150 mm^2$	SKTM $240 mm^2$
Natuna	-	36,2	0,2	-
Sulawesi	-	49,7	0,1	-

#### 4.4 Perhitungan Impedansi

Berikut ini merupakan gambar impedansi ekivalen penyulang yang akan dihitung.



Gambar 4.1. Rangkaian Ekivalen Impedansi Penyulang

##### 4.4.1 Impedansi Dasar

- Impedansi dasar sisi 150 kV

$$I_{base} = \frac{MVA_{base}}{\sqrt{3} \times kV_{base}} = \frac{60 \times 1000}{\sqrt{3} \times 150} = 230,9401077 A$$

- Impedansi dasar sisi 20 kV

$$I_{base} = \frac{MVA_{base}}{\sqrt{3} \times kV_{base}} = \frac{60 \times 1000}{\sqrt{3} \times 20} = 1732,050808 A$$

$$Z_{base} = \frac{kV_{base}^2}{MVA_{base}} = \frac{20^2}{60} = 6,6667 \Omega$$

#### 4.4.2 Impedansi Sumber

- Impedansi sumber sisi 150 kV (sisi primer)

$$X_1 = X_2 = \frac{kV^2(\text{sisi primer trafo})}{MVA_{SC\ 3\phi}} = \frac{150^2}{3107,558966} = j7,2404 \Omega$$

- Impedansi sumber sisi 20 kV (sisi primer)

$$X_1 = X_2 = \frac{kV^2(\text{sisi sekunder trafo})}{kV^2(\text{sisi primer trafo})} \times X_s(\text{sisi primer})$$

$$X_1 = X_2 = \frac{20^2}{150^2} \times j7,2404 = j0,12872 \Omega$$

Nilai impedansi sumber urutan positif dan negatif dalam pu

$$Z_{1s} = Z_{2s} = \frac{j0,12872}{6,6667} = j0,019308 pu$$

Nilai impedansi sumber urutan nol dalam pu

$$I_{sc\ 1\phi\ pu} = \frac{I_{sc\ 1\phi}}{I_{base}} = \frac{276\ A}{1732,0508\ A} = 0,15935\ pu$$

$$I_{sc\ 1\phi\ pu} = \frac{3 \times V_f}{Z_{1s} + Z_{2s} + Z_{0s}}$$

$$0,15935 = \frac{3 \times 1}{j0,019308 + j0,019308 + Z_{0s}}$$

$$j0,038616 + Z_{0s} = \frac{3}{0,15935}$$

$$Z_{0s} = j18,82648 - j0,038616$$

$$Z_{0s} = j18,787864 pu$$

#### 4.4.3 Reaktansi Transformator

$$X_T = j 0,1250$$

$$X_{1T} = X_{2T} = X_T \times \frac{MVA_{baru}}{MVA_{lama}} \times \frac{kV^2_{lama}}{kV^2_{baru}}$$

$$X_{1T} = X_{2T} = j 0,1250 \times \frac{60}{60} \times \frac{20^2}{20^2}$$

$$X_{1T} = X_{2T} = j0,125 pu$$

Untuk menghitung reaktansi urutan nol transformator dapat dilihat dari hubungan belitan pada transformator tersebut. Karena transformator 60 MVA yang mensuplai penyulang Natuna dan penyulang Sulawesi tidak mempunyai belitan delta didalamnya maka besar reaktansi urutan nol transformator berkisar antara 9 sampai dengan 14 dikali reaktansi urutan positif transformator :

$$X_{0T} = (9 s/d 10) \times X_{1T}$$

Dalam perhitungan ini diambil 10 kali dari nilai reaktansi trafo urutan positif, sehingga trafo urutan nol sebesar :

$$X_{0T} = 10 \times X_{1T}$$

$$X_{0T} = 10 \times j0,125$$

$$X_{0T} = j1,25 pu$$

#### 4.4.4 Impedansi Penyulang

##### 1. Penyulang Natuna

- 9 Impedansi urutan positif dan negatif

$$Z_1 = Z_2 = [36,2 \times (0,2162 + j 0,3305)] + [0,2 \times (0,263 + j 0,0974)]$$

$$Z_1 = Z_2 = 7,87904 + j11,98358 \Omega$$

$$Z_1 = Z_2 = \frac{7,87904+j11,98358}{6,6667}$$

$$Z_1 = Z_2 = (1,18185 + j1,797528)pu$$

1

Tabel 4.6. Impedansi Penyulang Urutan Positif dan Negatif Penyulang Natuna

(%panjang)	Impedansi Penyulang ( $Z_1 = Z_2$ )
0	0% x (1,18185+j1,797528) = 0 pu
25	25% x (1,18185+j1,797528) = (0,29546 + j0,44938) pu
50	50% x (1,18185+j1,797528) = (0,590925 + j0,89876) pu
75	75% x (1,18185+j1,797528) = (0,88638 + j1,348146) pu
100	100% x (1,18185+j1,797528) = (1,18185+j1,797528) pu

- Impedansi urutan nol

$$Z_0 = [36,2 \times (0,3631 + j 1,6180)] + [0,2 \times (0,4208 + j 0,24837)]$$

$$Z_0 = 13,22838 + j58,621274 \Omega$$

$$Z_0 = \frac{13,22838 + j58,621274}{6,6667}$$

$$Z_0 = (1,98424 + j8,793147)pu$$

1

Tabel 4.7. Impedansi Penyulang Urutan Nol Penyulang Natuna

(%panjang)	Impedansi Penyulang ( $Z_0$ )
0	0% x (1,98424+j8,793147) = 0 pu
25	25% x (1,98424+j8,793147) = (0,49606 + j2,19828) pu
50	50% x (1,98424+j8,793147) = (0,99212 + j4,39657) pu
75	75% x (1,98424+j8,793147) = (1,48818 + j6,5946) pu
100	100% x (1,98424+j8,793147) = (1,98424+j8,793147) pu

## 2. Penyulang Sulawesi

- Impedansi urutan positif dan negatif

$$Z_1 = Z_2 = [49,7 \times (0,2162 + j 0,3305)] + [0,1 \times (0,263 + j 0,0974)]$$

$$Z_1 = Z_2 = 10,77144 + j16,43559 \Omega$$

$$Z_1 = Z_2 = \frac{10,77144+j16,43559}{6,6667}$$

$$Z_1 = Z_2 = (1,6157 + j2,465326) \text{pu}$$

1

Tabel 4.8. Impedansi Penyulang Urutan Positif dan Negatif Penyulang Sulawesi

(%panjang)	Impedansi Penyulang ( $Z_1 = Z_2$ )
0	0% x (1,6157+j2,465326) = 0 pu
25	25% x (1,6157+j2,465326) = (0,403925 + j0,61633) pu
50	50% x (1,6157+j2,465326) = (0,80785 + j1,232663) pu
75	75% x (1,6157+j2,465326) = (1,211775 + j1,84899) pu
100	100% x (1,6157+j2,465326) = (1,6157+j2,465326) pu

- Impedansi urutan nol

$$Z_0 = [49,7 \times (0,3631 + j 1,6180)] + [0,1 \times (0,4208 + j 0,24837)]$$

$$Z_0 = 18,08815 + j80,439437 \Omega$$

$$Z_0 = \frac{18,08815+j80,439437}{6,6667}$$

$$Z_0 = (2,7132 + j12,06585) \text{pu}$$

1

Tabel 4.9. Impedansi Penyulang Urutan Nol Penyulang Sulawesi

(%panjang)	Impedansi Penyulang ( $Z_0$ )
0	0% x (2,7132+j12,06585) = 0 pu
25	25% x (2,7132+j12,06585) = (0,6783 + j3,01646) pu
50	50% x (2,7132+j12,06585) = (1,3566+ j6,032925) pu
75	75% x (2,7132+j12,06585) = (2,0349 + j9,04938) pu
100	100% x (2,7132+j12,06585) = (2,7132+j12,06585) pu

#### 4.4.5 Impedansi Ekivalen

##### 1. Penyulang Natuna

- Impedansi ekivalen urutan positif dan negatif ( $Z_{1\ eq} = Z_{2\ eq}$ )

$$Z_{1 \text{ ekivalen}} = z_{1 \text{ sumber}} + z_{1 \text{ trafo}} + Z_{1 \text{ penyulang}}$$

$$Z_{1 \text{ ekivalen}} = j0,019308 + j0,1250 + Z_{1 \text{ penyulang}}$$

$$Z_{1 \text{ ekivalen}} = (j0,144308 + Z_{1 \text{ penyulang}}) \text{ pu}$$

1

Tabel 4.10. Impedansi Ekivalen Urutan Positif dan Negatif Penyulang Natuna

(%panjang)	Impedansi Penyulang ( $Z_{1 \text{ eq}} = Z_{2 \text{ eq}}$ )
0	$j 0,144308 + 0 = j0,144308 \text{ pu}$
25	$j 0,144308 + 0,29546 + j0,44938 = 0,29546 + j0,593688 \text{ pu}$
50	$j0,144308+0,590925 + j0,89876= 0,590925 + j1,043068 \text{ pu}$
75	$j0,144308+0,88638 + j1,348146= 0,88638 + j1,492454 \text{ pu}$
100	$j0,144308+1,18185 + j1,797528 = 1,18185+j1,941836 \text{ pu}$

- Impedansi ekivalen urutan nol

$$Z_{0 \text{ ekivalen}} = z_{0 \text{ sumber}} + z_{0 \text{ trafo}} + 3R_n + Z_{0 \text{ penyulang}}$$

$$Z_{0 \text{ ekivalen}} = j18,787864 + j1,25 + \left(\frac{3 \times 40}{6,6667}\right) + Z_{0 \text{ penyulang}}$$

$$Z_{0 \text{ ekivalen}} = (18 + j20,037864 + Z_{0 \text{ penyulang}}) \text{ pu}$$

Tabel 4.11. Impedansi Ekivalen Urutan Nol Penyulang Natuna

(%panjang)	Impedansi Penyulang ( $Z_{0 \text{ eq}}$ )
0	$18 + j20,037864 + 0 = 18 + j20,037864 \text{ pu}$
25	$18 + j20,037864 + 0,49606 + j2,19828 = 18,49606 + j22,23614 \text{ pu}$
50	$18 + j20,037864 + 0,99212 + j4,39657 = 18,99212 + j24,434434 \text{ pu}$
75	$18 + j20,037864 + 1,48818 + j6,5946 = 19,48818 + j26,632464 \text{ pu}$
100	$18 + j20,037864 + 1,98424 + j8,793147 = 19,98424 + j28,831011 \text{ pu}$

## 2. Penyulang Sulawesi

- Impedansi ekivalen urutan positif dan negatif ( $Z_{1\ eq} = Z_{2\ eq}$ )

$$Z_{1\ ekivalen} = z_{1\ sumber} + z_{1\ trafo} + Z_{1\ penyulang}$$

$$Z_{1\ ekivalen} = j0,019308 + j0,1250 + Z_{1\ penyulang}$$

$$Z_{1\ ekivalen} = (j0,144308 + Z_{1\ penyulang}) pu$$

1

Tabel 4.12. Impedansi Ekivalen Urutan Positif dan Negatif Penyulang Sulawesi

(%panjang)	Impedansi Penyulang ( $Z_{1\ eq} = Z_{2\ eq}$ )
0	$j0,144308 + 0 = j0,144308 pu$
25	$j0,144308 + 0,403925 + j0,61633 = 0,403925 + j0,760638 pu$
50	$j0,144308+0,80785 + j1,232663= 0,80785 + j1,376971 pu$
75	$j0,144308+1,211775 + j1,84899= 1,211775 + j1,993298 pu$
100	$j0,144308+1,6157 + j2,465326 = 1,6157+j2,609634 pu$

- Impedansi ekivalen urutan nol

$$Z_{0\ ekivalen} = z_{0\ sumber} + z_{0\ trafo} + 3R_n + Z_{0\ penyulang}$$

$$Z_{0\ ekivalen} = j18,787864 + j1,25 + \left(\frac{3 \times 40}{6,6667}\right) + Z_{0\ penyulang}$$

$$Z_{0\ ekivalen} = (18 + j20,037864 + Z_{0\ penyulang}) pu$$

1

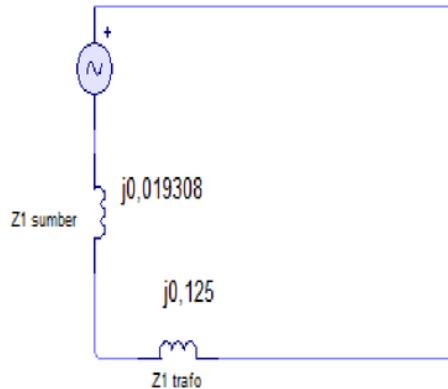
Tabel 4.13. Impedansi Ekivalen Urutan Nol Penyulang Sulawesi

(%panjang)	Impedansi Penyulang ( $Z_0$ )
0	$18 + j20,037864 + 0 = 18 + j20,037864 pu$
25	$18 + j20,037864 + 0,6783 + j3,01646 = 18,6783 + j23,054324 pu$
50	$18 + j20,037864 + 1,3566 + j6,032925 = 19,3566 + j26,070789 pu$
75	$18 + j20,037864 + 2,0349 + j9,04938 = 20,0349 + j29,087244 pu$
100	$18 + j20,037864 + 2,7132 + j12,06585 = 20,7132 + j32,103714 pu$

**7**  
**4.4.6 Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat**

**4.6.6.1 Perhitungan Gangguan Hubung Singkat pada Transformator**

- Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa



Gambar 4.2 Diagram Impedansi Gangguan Hubung Singkat  
Tiga Fasa Pada Transformator

$$I_{sc \ 3\emptyset} = \frac{V_f}{Z_1}$$

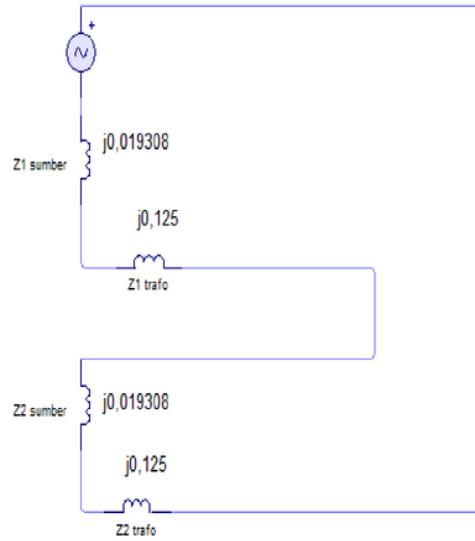
$$I_{sc \ 3\emptyset} = \frac{1}{j0,019308 + j0,125}$$

$$I_{sc \ 3\emptyset} = \frac{1}{0,144308 < 90^\circ}$$

$$I_{sc \ 3\emptyset} = 6,92962 < -90^\circ \text{ pu}$$

$$I_{sc \ 3\emptyset} = 6,92962 \times 1732,050808 = 12002,45392 \text{ A}$$

- Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa



Gambar 4.3 Diagram Impedansi Gangguan Hubung Singkat  
Dua Fasa Pada Transformator

$$I_{sc\ 2\emptyset} = -j\sqrt{3} \frac{V_f}{Z_1 + Z_2}$$

$$I_{sc\ 2\emptyset} = -j\sqrt{3} \frac{V_f}{2 \times (Z_1)}$$

$$I_{sc\ 2\emptyset} = -j\sqrt{3} \frac{1}{2 \times (j0,019308 + j0,125)}$$

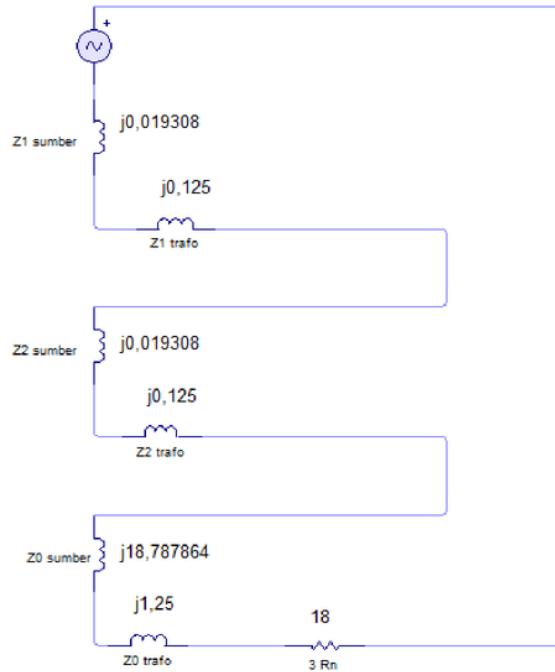
$$I_{sc\ 2\emptyset} = -j\sqrt{3} \frac{1}{0,288616 < 90^\circ}$$

$$I_{sc\ 2\emptyset} = (\sqrt{3} < -90^\circ) \times (3,46481 < -90^\circ)$$

$$I_{sc\ 2\emptyset} = 6,00122 < -180^\circ \text{ pu}$$

$$I_{sc\ 2\emptyset} = 6,00122 \times 1732,050808 = 10394,41795 \text{ A}$$

- 7 Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa Tanah



Gambar 4.4 Diagram Impedansi Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa Tanah Pada Transformator

$$I_{sc \ 1\emptyset} = \frac{3V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$$

$$I_{sc \ 1\emptyset} = \frac{3 \times 1}{[2 \times (j0,019308 + j0,125)] + (18 + j20,037864)}$$

$$I_{sc \ 1\emptyset} = \frac{3}{(j0,288616) + (18 + j20,037864)}$$

$$I_{sc \ 1\emptyset} = \frac{3}{18 + j20,32648}$$

$$I_{sc \ 1\emptyset} = \frac{3}{27,15079 < 48,47368^\circ}$$

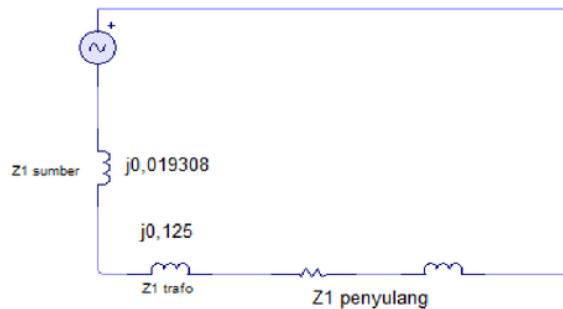
$$I_{sc\ 1\emptyset} = 0,110494 < -46,81256^\circ pu$$

$$I_{sc\ 1\emptyset} = 0,110494 \times 1732,050808 = 191,381222 A$$

#### 4.6.6.2 Perhitungan Gangguan Hubung Singkat Penyulang 20 kV

##### 1. Penyulang Natuna

- Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa



Gambar 4.5 Diagram Impedansi Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa Penyulang Natuna

$$I_{sc\ 3\emptyset} = \frac{V_f}{Z_1} = \frac{V_f}{j0,019308 + j0,125 + Z_1 \text{ penyulang}}$$

$$I_{sc\ 3\emptyset} = \frac{1}{(j0,144308 + Z_1 \text{ penyulang})}$$

$$I_{sc\ 3\emptyset} = \frac{1}{Z_1 \text{ ekivalen}}$$

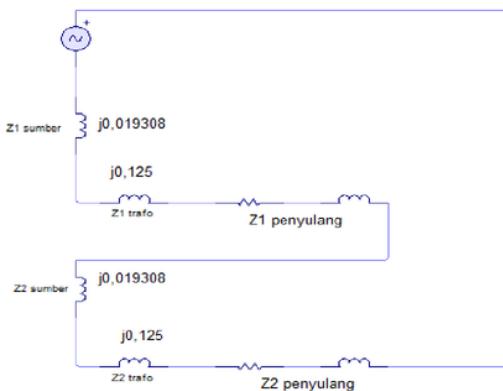
6

Tabel 4.14. Arus Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa Penyulang Natuna

(%panjang)	Arus Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa
0	$I_{sc\ 3\emptyset} = \frac{1}{j0,144308} = 6,92962 < -90^\circ pu$ $I_{sc\ 3\emptyset} = 6,92962 \times 1732,050808 = 12002,45392 A$

25	$I_{sc\ 3\emptyset} = \frac{1}{0,29546 + j0,593688}$ $I_{sc\ 3\emptyset} = 1,50479 < -63,541902^\circ pu$ $I_{sc\ 3\emptyset} = 1,50479 \times 1732,050808 = 2606,372735 A$
50	$I_{sc\ 3\emptyset} = \frac{1}{0,590925 + j1,043068}$ $I_{sc\ 3\emptyset} = 0,83415 < -60,467324^\circ pu$ $I_{sc\ 3\emptyset} = 0,83415 \times 1732,050808 = 1444,790181 A$
75	$I_{sc\ 3\emptyset} = \frac{1}{0,88638 + j1,492454}$ $I_{sc\ 3\emptyset} = 0,57609 < -59,29359^\circ pu$ $I_{sc\ 3\emptyset} = 0,57609 \times 1732,050808 = 997,81715 A$
100	$I_{sc\ 3\emptyset} = \frac{1}{1,18185 + j1,941836}$ $I_{sc\ 3\emptyset} = 0,439906 < -58,67426^\circ pu$ $I_{sc\ 3\emptyset} = 0,439906 \times 1732,050808 = 761,9395427 A$

• 6 Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa



Gambar 4.6 Diagram Impedansi Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa Penyulang Natuna

$$I_{sc\ 2\emptyset} = -j\sqrt{3} \frac{V_f}{Z_1 + Z_2}$$

$$I_{sc\ 2\emptyset} = -j\sqrt{3} \frac{V_f}{2 \times (Z_1)}$$

$$I_{sc\ 2\emptyset} = -j\sqrt{3} \frac{1}{2 \times (j0,019308 + j0,125 + Z_1 \text{ penyulang})}$$

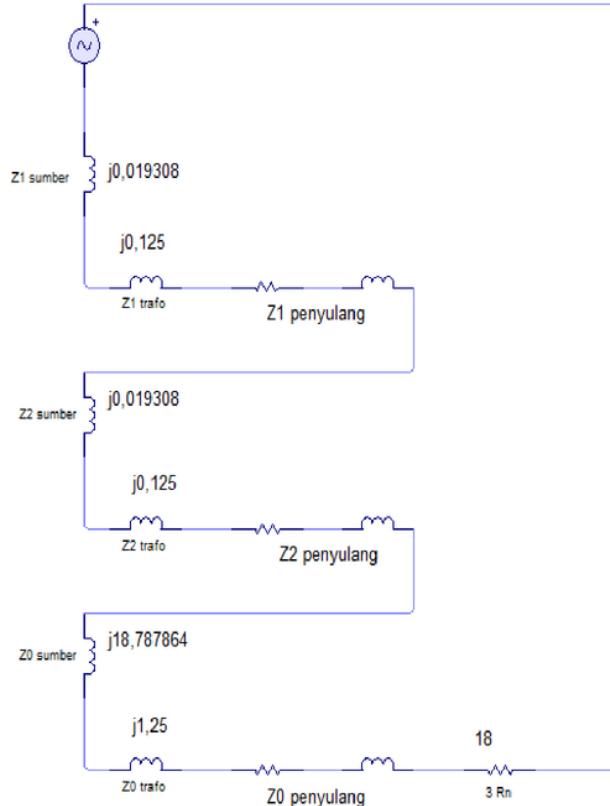
$$I_{sc\ 2\emptyset} = -j\sqrt{3} \frac{1}{2 \times (Z_1 \text{ ekivalen})}$$

1

Tabel 4.15. Arus Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa Penyulang Natuna

(%panjang)	Arus Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa
0	$I_{sc\ 2\emptyset} = -j\sqrt{3} \frac{1}{2 \times (j0,144308)} = 6,00123 < -180^\circ \text{ pu}$ $I_{sc\ 2\emptyset} = 6,00123 \times 1732,050808 = 10394,43527 A$
25	$I_{sc\ 2\emptyset} = -j\sqrt{3} \frac{1}{2 \times (0,29546 + j0,593688)}$ $I_{sc\ 2\emptyset} = 1,30593 < -153,541902^\circ \text{ pu}$ $I_{sc\ 2\emptyset} = 1,30593 \times 1732,050808 = 2261,937112 A$
50	$I_{sc\ 2\emptyset} = -j\sqrt{3} \frac{1}{2 \times (0,590925 + j1,043068)}$ $I_{sc\ 2\emptyset} = 0,722395 < -150,467325^\circ \text{ pu}$ $I_{sc\ 2\emptyset} = 0,722395 \times 1732,050808 = 1251,224843 A$
75	$I_{sc\ 2\emptyset} = -j\sqrt{3} \frac{1}{2 \times (0,88638 + j1,492454)}$ $I_{sc\ 2\emptyset} = 0,49891 < -149,29359^\circ \text{ pu}$ $I_{sc\ 2\emptyset} = 0,49891 \times 1732,050808 = 864,1374686 A$
100	$I_{sc\ 2\emptyset} = -j\sqrt{3} \frac{1}{2 \times (1,18185 + j1,941836)}$ $I_{sc\ 2\emptyset} = 0,380967 < -148,67426^\circ \text{ pu}$ $I_{sc\ 2\emptyset} = 0,380967 \times 1732,050808 = 659,8542002 A$

- 7 Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa Tanah



Gambar 4.7 Diagram Impedansi Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa Tanah Penyulang Natuna

$$\begin{aligned}
 I_{sc\ 1\emptyset} &= \frac{3V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_3} \\
 &= \frac{3 \times 1}{[2 \times (j0,019308 + j0,125 + Z_1)] + (18 + j18,787864 + j1,25 + Z_0)} \\
 I_{sc\ 1\emptyset} &= \frac{3}{[2 \times (Z_{1\ \text{ekivalen}})] + (Z_{0\ \text{ekivalen}})}
 \end{aligned}$$

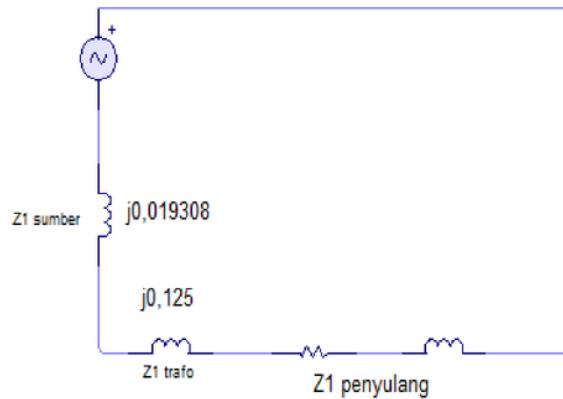
6

Tabel 4.16. Arus Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa Tanah Penyulang Natuna

(%panjang)	Arus Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa
0	$I_{sc\ 1\emptyset} = \frac{3}{[2 \times (j0,144308)] + (18+j20,037864)}$ $I_{sc\ 1\emptyset} = 0,110493 < -48,47368^\circ pu$ $I_{sc\ 1\emptyset} = 0,110493 \times 1732,050808 = 191,3794899 A$
25	$I_{sc\ 1\emptyset} = \frac{3}{[2 \times (0,29546 + j0,593688)] + (18,49606 + j22,23614)}$ $I_{sc\ 1\emptyset} = 0,099287 < -50,824648^\circ pu$ $I_{sc\ 1\emptyset} = 0,099287 \times 1732,050808 = 171,9701286 A$
50	$I_{sc\ 1\emptyset} = \frac{3}{[2 \times (0,590925 + j1,043068)] + (18,99212 + j24,434434)}$ $I_{sc\ 1\emptyset} = 0,09003 < -52,740063^\circ pu$ $I_{sc\ 1\emptyset} = 0,09003 \times 1732,050808 = 155,9365342 A$
75	$I_{sc\ 1\emptyset} = \frac{3}{[2 \times (0,88638 + j1,492454)] + (19,48818 + j26,632464)}$ $I_{sc\ 1\emptyset} = 0,082285 < -54,32718^\circ pu$ $I_{sc\ 1\emptyset} = 0,082285 \times 1732,050808 = 142,5218007 A$
100	$I_{sc\ 1\emptyset} = \frac{3}{[2 \times (1,18185 + j1,941836)] + (19,98424 + j28,831011)}$ $I_{sc\ 1\emptyset} = 0,07572 < -55,66237^\circ pu$ $I_{sc\ 1\emptyset} = 0,07572 \times 1732,050808 = 131,1508872 A$

## 2. Penyulang Sulawesi

- Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa



Gambar 4.8 Diagram Impedansi Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa Penyulang Sulawesi

$$I_{sc\ 3\emptyset} = \frac{V_f}{Z_1} = \frac{V_f}{j0,019308 + j0,125 + Z_1 \text{ penyulang}}$$

$$I_{sc\ 3\emptyset} = \frac{1}{(j0,144308 + Z_1 \text{ penyulang})}$$

$$I_{sc\ 3\emptyset} = \frac{1}{Z_1 \text{ ekivalen}}$$

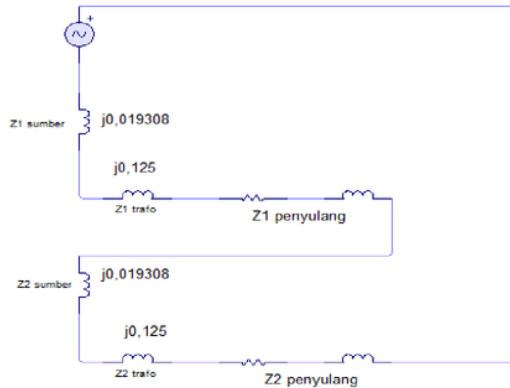
6

Tabel 4.17. Arus Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa Tanah Penyulang Sulawesi

(%panjang)	Arus Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa
0	$I_{sc\ 3\emptyset} = \frac{1}{j0,144308} = 6,92962 < -90^\circ \text{ pu}$ $I_{sc\ 3\emptyset} = 6,92962 \times 1732,050808 = 12002,45392 \text{ A}$

25	$I_{sc\ 3\emptyset} = \frac{1}{0,403925 + j0,760638}$ $I_{sc\ 3\emptyset} = 1,161123 < -62,030157^\circ pu$ $I_{sc\ 3\emptyset} = 1,161123 \times 1732,050808 = 2011,12403 A$
50	$I_{sc\ 3\emptyset} = \frac{1}{0,80785 + j1,376971}$ $I_{sc\ 3\emptyset} = 0,626387 < -59,600436^\circ pu$ $I_{sc\ 3\emptyset} = 0,626387 \times 1732,050808 = 1084,934109 A$
75	$I_{sc\ 3\emptyset} = \frac{1}{1,211775 + j1,993298}$ $I_{sc\ 3\emptyset} = 0,42868 < -58,70355^\circ pu$ $I_{sc\ 3\emptyset} = 0,42868 \times 1732,050808 = 742,4955404 A$
100	$I_{sc\ 3\emptyset} = \frac{1}{1,6157 + j2,609634}$ $I_{sc\ 3\emptyset} = 0,3258067 < -58,23715^\circ pu$ $I_{sc\ 3\emptyset} = 0,3258067 \times 1732,050808 = 564,313758 A$

- Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa



Gambar 4.9 Diagram Impedansi Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa Penyulang Sulawesi

$$I_{sc\ 2\emptyset} = -j\sqrt{3} \frac{V_f}{Z_1 + Z_2}$$

$$I_{sc\ 2\emptyset} = -j\sqrt{3} \frac{V_f}{2 \times (Z_1)}$$

$$I_{sc\ 2\emptyset} = -j\sqrt{3} \frac{1}{2 \times (j0,019308 + j0,125 + Z_1 \text{ penyulang})}$$

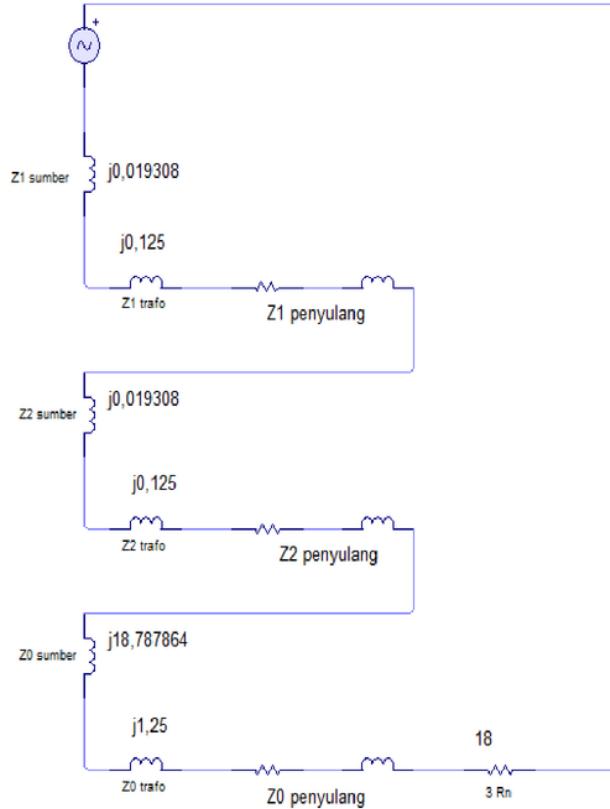
$$I_{sc\ 2\emptyset} = -j\sqrt{3} \frac{1}{2 \times (Z_1 \text{ ekivalen})}$$

1

Tabel 4.18. Arus Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa Penyulang Sulawesi

(%panjang)	Arus Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa
0	$I_{sc\ 2\emptyset} = -j\sqrt{3} \frac{1}{2 \times (j0,144308)} = 6,00123 < -180^\circ \text{ pu}$ $I_{sc\ 2\emptyset} = 6,00123 \times 1732,050808 = 10394,43527 A$
25	$I_{sc\ 2\emptyset} = -j\sqrt{3} \frac{1}{2 \times (0,403925 + j0,760638)}$ $I_{sc\ 2\emptyset} = 1,00556 < -152,030157^\circ \text{ pu}$ $I_{sc\ 2\emptyset} = 1,003976 \times 1732,050808 = 1738,937442 A$
50	$I_{sc\ 2\emptyset} = -j\sqrt{3} \frac{1}{2 \times (0,80785 + j1,376971)}$ $I_{sc\ 2\emptyset} = 0,542468 < -149,600436^\circ \text{ pu}$ $I_{sc\ 2\emptyset} = 0,542468 \times 1732,050808 = 938,5821377 A$
75	$I_{sc\ 2\emptyset} = -j\sqrt{3} \frac{1}{2 \times (1,211775 + j1,993298)}$ $I_{sc\ 2\emptyset} = 0,371247 < -148,70355^\circ \text{ pu}$ $I_{sc\ 2\emptyset} = 0,371247 \times 1732,050808 = 643,0186663 A$
100	$I_{sc\ 2\emptyset} = -j\sqrt{3} \frac{1}{2 \times (1,6157 + j2,609634)}$ $I_{sc\ 2\emptyset} = 0,282156 < -148,23715^\circ \text{ pu}$ $I_{sc\ 2\emptyset} = 0,282156 \times 1732,050808 = 488,7085278 A$

- 7 Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa Tanah



Gambar 4.10 Diagram Impedansi Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa Tanah Penyulang Sulawesi

$$\begin{aligned}
 I_{sc\ 1\emptyset} &= \frac{3V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_3} \\
 &= \frac{3 \times 1}{[2 \times (j0,019308 + j0,125 + Z_1)] + (18 + j18,787864 + j1,25 + Z_0)} \\
 I_{sc\ 1\emptyset} &= \frac{3}{[2 \times (Z_{1\ \text{ekivalen}})] + (Z_{0\ \text{ekivalen}})}
 \end{aligned}$$

6

Tabel 4.19. Arus Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa Tanah Penyulang Sulawesi

(%panjang)	Arus Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa
0	$I_{sc\ 1\emptyset} = \frac{3}{[2 \times (j0,144308)] + (18 + j20,037864)}$ $I_{sc\ 1\emptyset} = 0,110493 < -48,47368^\circ pu$ $I_{sc\ 1\emptyset} = 0,110493 \times 1732,050808 = 191,3794899 A$
25	$I_{sc\ 1\emptyset} = \frac{3}{[2 \times (0,403925 + j0,760638)] + (18,6783 + j23,054324)}$ $I_{sc\ 1\emptyset} = 0,09565 < -51,588876^\circ pu$ $I_{sc\ 1\emptyset} = 0,09565 \times 1732,050808 = 165,6706598 A$
50	$I_{sc\ 1\emptyset} = \frac{3}{[2 \times (0,80785 + j1,376971)] + (19,3566 + j26,070789)}$ $I_{sc\ 1\emptyset} = 0,084158 < -53,9611105^\circ pu$ $I_{sc\ 1\emptyset} = 0,084158 \times 1732,050808 = 145,7659319 A$
75	$I_{sc\ 1\emptyset} = \frac{3}{[2 \times (1,211775 + j1,993298)] + (20,0349 + j29,087244)}$ $I_{sc\ 1\emptyset} = 0,07504 < -55,821939^\circ pu$ $I_{sc\ 1\emptyset} = 0,07504 \times 1732,050808 = 129,9730926 A$
100	$I_{sc\ 1\emptyset} = \frac{3}{[2 \times (1,6157 + j2,609634)] + (20,7132 + j32,103714)}$ $I_{sc\ 1\emptyset} = 0,06764 < -57,317754^\circ pu$ $I_{sc\ 1\emptyset} = 0,06764 \times 1732,050808 = 117,1559167 A$

#### 4.4.7 Setting Rele Proteksi Pada Transformator Daya dan Penyalang

##### 4.4.7.1 Setting Rele Arus Lebih

1. Transformator Daya Sisi 150 kV

- Setting Arus

$$I_{set(primer)} = 1,05 \times I_{dasar}$$

$$I_{set(primer)} = 1,05 \times 230,9401077$$

$$I_{set(primer)} = 242,4871131 A$$

$$I_{set(primer)} = \frac{I_{set(primer)}}{I_{dasar}} = \frac{242,4871131}{230,9401077} = 1,05 pu$$

$$I_{set(sekunder)} = I_{set(primer)} \times \frac{1}{Rasio CT}$$

$$I_{set(sekunder)} = 242,4871131 \times \frac{5}{300}$$

$$I_{set(sekunder)} = 4,04145 A$$

- Setting TMS

$$t = \frac{0,14 \times tms}{(\frac{I_{hs 2\emptyset}}{I_{set}})^{0,02} - 1}$$

$$tms = \frac{t \times [(\frac{I_{hs 2\emptyset}}{I_{set}})^{0,02} - 1]}{0,14}$$

$$tms = \frac{1,2 \times [(\frac{6,00122}{1,05})^{0,02} - 1]}{0,14}$$

$$tms = 0,304 SI$$

## 2. Transformator Daya Sisi 20 kV

- Setting Arus

$$I_{set(primer)} = 1,05 \times I_{dasar}$$

$$I_{set(primer)} = 1,05 \times 1732.050808$$

$$I_{set(primer)} = 1818,653348 A$$

$$I_{set(primer)} = \frac{I_{set(primer)}}{I_{dasar}} = \frac{1818,653348}{1732.050808} = 1,05 pu$$

$$I_{set(sekunder)} = I_{set(primer)} \times \frac{1}{Rasio CT}$$

$$I_{set(sekunder)} = 1818,653348 \times \frac{5}{2000}$$

$$I_{set(sekunder)} = 4,54663 A$$

- Setting TMS

$\Delta t$  = Waktu tunda antara rele di incoming dan outgoing diambil

= 0,4 detik dan  $t_{outg}$  = 0,3 detik

Sehingga,

$$t = \frac{0,14 \times tms}{\left(\frac{I_{hs} 2\emptyset}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1}$$

$$tms = \frac{(\Delta t + t_{outg}) \times \left[\left(\frac{I_{hs} 2\emptyset}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14}$$

$$tms = \frac{(0,4 + 0,3) \times \left[\left(\frac{6,00122}{1,05}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14}$$

$$tms = \frac{0,7 \times [(\frac{6,00122}{1,05})^{0,02} - 1]}{0,14}$$

$$tms = 0,1774 SI$$

### 3. Penyulang Natuna

- Setting arus

$$I_{set(primer)} = 1,05 \times I_{beban}$$

$$I_{set(primer)} = 1,05 \times 78$$

$$I_{set(primer)} = 81,9 A$$

$$I_{set(sekunder)} = \frac{I_{set(primer)}}{I_{dasar}} = \frac{81,9}{1732.050808} = 0,0473 pu$$

$$I_{set(sekunder)} = I_{set(primer)} \times \frac{1}{Rasio CT}$$

$$I_{set(sekunder)} = 81,9 \times \frac{5}{800}$$

$$I_{set(sekunder)} = 0,512 A$$

- Setting TMS

$$t = \frac{0,14 \times tms}{(\frac{I_{hs\ 2\emptyset\ terkecil}}{I_{set}})^{0,02} - 1}$$

$$tms = \frac{t \times [(\frac{I_{hs\ 2\emptyset}}{I_{set}})^{0,02} - 1]}{0,14}$$

$$tms = \frac{0,3 \times [(\frac{0,380967}{0,0473})^{0,02} - 1]}{0,14}$$

$$tms = 0,09 \text{ SI}$$

#### 4. Penyulang Sulawesi

- Setting arus

$$I_{set(primer)} = 1,05 \times I_{beban}$$

$$I_{set(primer)} = 1,05 \times 123$$

$$I_{set(primer)} = 129,15 \text{ A}$$

$$I_{set(primer)} = \frac{I_{set(primer)}}{I_{dasar}} = \frac{129,15}{1732.050808} = 0,0746 \text{ pu}$$

$$I_{set(sekunder)} = I_{set(primer)} \times \frac{1}{Rasio CT}$$

$$I_{set(sekunder)} = 129,15 \times \frac{5}{800}$$

$$I_{set(sekunder)} = 0,807 \text{ A}$$

- Setting TMS

$$t = \frac{0,14 \times tms}{(\frac{I_{hs 2\emptyset terkecil}}{I_{set}})^{0,02} - 1}$$

$$tms = \frac{t \times [(\frac{I_{hs 2\emptyset}}{I_{set}})^{0,02} - 1]}{0,14}$$

$$tms = \frac{0,3 \times [(\frac{0,3258067}{0,0746})^{0,02} - 1]}{0,14}$$

$$tms = 0,064 SI$$

Tabel 4.20 Hasil Perhitungan Setting Rele Arus Lebih

Uraian	$I_{set\ primer}(A)$	$I_{set\ primer}(pu)$	$I_{fault}(A)$	TMS (SI)
TD 150 kV	242,4871131	1,05	6,00122	0,304
TD 20 kV	1818,653348	1,05	6,00122	0,1774
Penyulang Natuna	81,9	0,0473	0,380967	0,09
Penyulang Sulawesi	129,15	0,0746	0,3258067	0,064

#### 4.4.7.2 Setting Rele Gangguan Tanah

1. Transformator Daya Sisi 150 kV

- Setting arus

$$I_{set(primer)} = 10\% \times I_{hs \text{ } 1\emptyset \text{ tanah terkecil}}$$

$$I_{set(primer)} = 0,1 \times 0,110494$$

$$I_{set(primer)} = 0,01 \text{ pu}$$

$$I_{set(primer)} = I_{set(primer)} \times I_{dasar}$$

$$I_{set(primer)} = 0,01 \times 230,9401077$$

$$I_{set(primer)} = 2,3094 \text{ A}$$

$$I_{set(sekunder)} = I_{set(primer)} \times \frac{1}{Rasio \text{ CT}}$$

$$I_{set(sekunder)} = 2,3094 \times \frac{5}{300}$$

$$I_{set(sekunder)} = 0,03849 \text{ A}$$

- Setting TMS

$$t = \frac{0,14 \times tms}{(\frac{I_{hs \text{ } 1\emptyset \text{ tanah}}}{I_{set}})^{0,02} - 1}$$

$$tms = \frac{t \times [(\frac{I_{hs \text{ } 1\emptyset \text{ tanah}}}{I_{set}})^{0,02} - 1]}{0,14}$$

$$tms = \frac{1,2 \times [(\frac{0,110494}{0,01})^{0,02} - 1]}{0,14}$$

$$tms = 0,42 \text{ SI}$$

2. Transformator Daya Sisi 20 kV

- Setting arus

$$I_{set(primer)} = 10\% \times I_{hs \text{ } 1\emptyset \text{ tanah terkecil}}$$

$$I_{set(primer)} = 0,1 \times 0,110494$$

$$I_{set(primer)} = 0,01 \text{ pu}$$

$$I_{set(primer)} = I_{set(primer)} \times I_{dasar}$$

$$I_{set(primer)} = 0,01 \times 1732.050808$$

$$I_{set(primer)} = 17,3205 \text{ A}$$

$$I_{set(sekunder)} = I_{set(primer)} \times \frac{1}{Rasio \text{ CT}}$$

$$I_{set(sekunder)} = 17,3205 \times \frac{5}{2000}$$

$$I_{set(sekunder)} = 0,0433 \text{ A}$$

- Setting TMS

$\Delta t$  = Waktu tunda antara rele di incoming dan outgoing diambil

= 0,4 detik dan  $t_{outg} = 0,3$  detik

Sehingga,

$$t = \frac{0,14 \times tms}{(\frac{I_{hs} 1\emptyset tanah}{I_{set}})^{0,02} - 1}$$

$$tms = \frac{(\Delta t + t_{outg}) \times [(\frac{I_{hs} 1\emptyset tanah}{I_{set}})^{0,02} - 1]}{0,14}$$

$$tms = \frac{(0,4 + 0,3) \times [(\frac{0,110494}{0,01})^{0,02} - 1]}{0,14}$$

$$tms = \frac{0,7 \times [(\frac{0,110494}{0,01})^{0,02} - 1]}{0,14}$$

$$tms = 0,246 SI$$

### 3. Penyulang Natuna

- Setting arus

$$I_{set (primer)} = 10\% \times I_{hs} 1\emptyset tanah terkecil$$

$$I_{set (primer)} = 0,1 \times 0,07572$$

$$I_{set (primer)} = 0,007572 pu$$

$$I_{set (primer)} = I_{set (primer)} \times I_{dasar}$$

$$I_{set (primer)} = 0,007572 \times 1732,050808$$

$$I_{set (primer)} = 13,11508 A$$

$$I_{set(sekunder)} = I_{set(primer)} \times \frac{1}{Rasio CT}$$

$$I_{set(sekunder)} = 13,11508 \times \frac{5}{800}$$

$$I_{set(sekunder)} = 0,08197 A$$

Setting TMS

$$t = \frac{0,14 \times tms}{(\frac{I_{hs} 1\emptyset terkecil}{I_{set}})^{0,02} - 1}$$

$$tms = \frac{t \times [(\frac{I_{hs} 1\emptyset}{I_{set}})^{0,02} - 1]}{0,14}$$

$$tms = \frac{0,3 \times [(\frac{0,07572}{0,007572})^{0,02} - 1]}{0,14}$$

$$tms = 0,10098 SI$$

#### 4. Penyulang Sulawesi

- Setting arus

$$I_{set(primer)} = 10\% \times I_{hs 1\emptyset tanah terkecil}$$

$$I_{set(primer)} = 0,1 \times 0,06764$$

$$I_{set(primer)} = 0,006764 pu$$

$$I_{set(primer)} = I_{set(primer)} \times I_{dasar}$$

$$I_{set(primer)} = 0,006764 \times 1732,050808$$

$$I_{set(primer)} = 11,7156 \text{ A}$$

$$I_{set(sekunder)} = I_{set(primer)} \times \frac{1}{Rasio CT}$$

$$I_{set(sekunder)} = 11,7156 \times \frac{5}{800}$$

$$I_{set(sekunder)} = 0,0732 \text{ A}$$

- Setting TMS

$$t = \frac{0,14 \times tms}{\left(\frac{I_{hs} 1\emptyset terkecil}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1}$$

$$tms = \frac{t \times \left[\left(\frac{I_{hs} 1\emptyset}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14}$$

$$tms = \frac{0,3 \times \left[\left(\frac{0,06764}{0,006764}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14}$$

$$tms = 0,10098 \text{ SI}$$

Tabel 4.21 Hasil Perhitungan Setting Rele Gangguan Tanah

Uraian	$I_{set primer}(A)$	$I_{set primer}(pu)$	$I_{fault}(A)$	TMS (SI)
TD 150 kV	2,3094	0,01	0,110494	0,42
TD 20 kV	17,3205A	0,01	0,110494	0,246
Penyulang Natuna	13,11508	0,007572	0,07572	0,10098
Penyulang Sulawesi	11,7156	0,006764	0,06764	0,10098

#### 4.5 Analisa Hasil Perhitungan

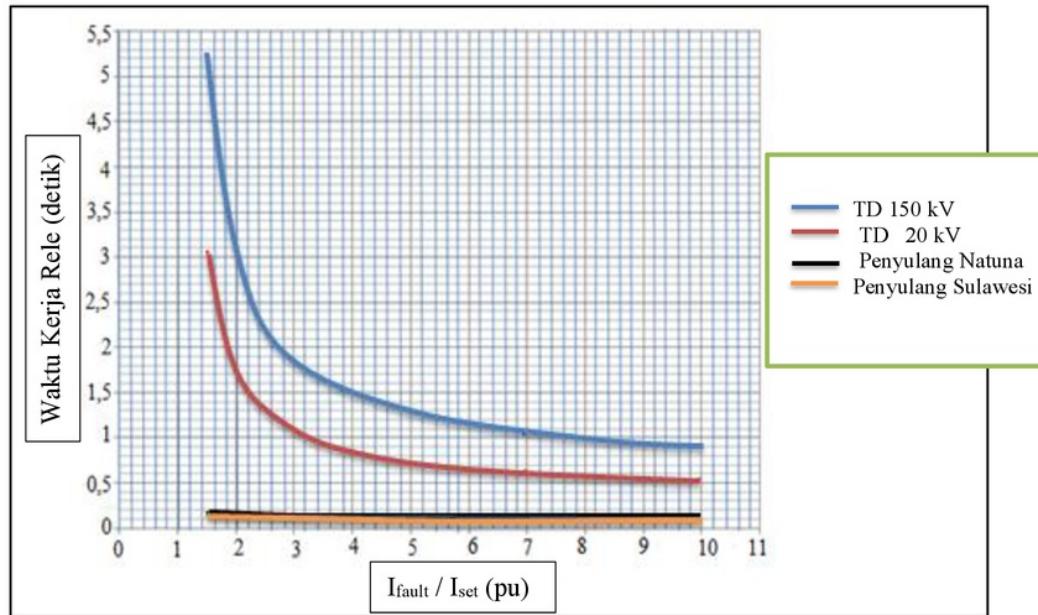
Tabel-tabel di bawah ini menunjukkan hasil perhitungan besarnya setting arus dan Time Multiplier Setting (TMS).

Tabel 4.22 Perbandingan Data Hasil Perhitungan dengan data Lapangan Setting Rele Arus Lebih

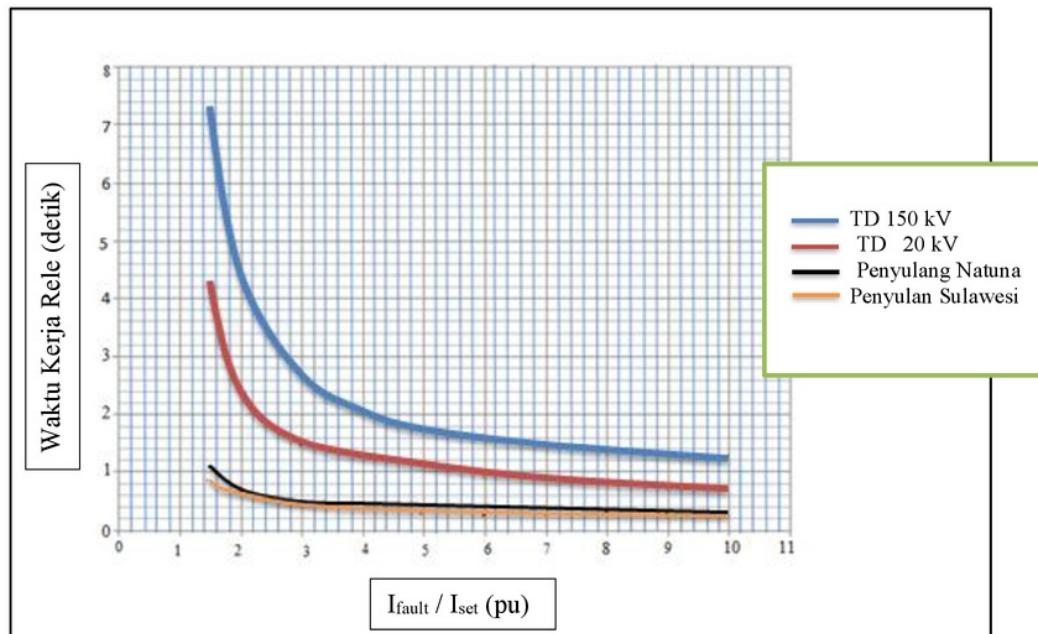
Uraian	TMS (SI)	TMS (SI)
	Data Hasil Perhitungan	Data Lapangan
Transformstor 150 kV	0,304	0,45
Transformstor 20 kV	0,1774	0,2
Penyulang Natuna	0,09	0,1
Penyulang Sulawesi	0,064	0,125

Tabel 4.23 Perbandingan Data Hasil Perhitungan dengan data Lapangan Setting Rele Gangguan Tanah

Uraian	TMS (SI)	TMS (SI)
	Data Hasil Perhitungan	Data Lapangan
Transformstor 150 kV	0,42	0,575
Transformstor 20 kV	0,246	0,3
Penyulang Natuna	0,10098	0,05
Penyulang Sulawesi	0,10098	0,125



Gambar 4.11. Koordinasi Rele Arus Lebih



Gambar 4.12. Koordinasi Rele Gangguan Tanah

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan nilai arus gangguan hubung singkat pada penyulang Natuna dan penyulang Sulawesi di transformator 60 MVA gardu Induk Keramasan Palembang. Dimana, arus gangguan hubung singkat 2 fasa digunakan untuk menghitung setting rele arus lebih (OCR) dan arus <sup>5</sup> gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah digunakan untuk menghitung setting rele gangguan tanah (GFR).

Pada setting rele arus lebih transformator daya sisi 150 kV dan sisi 20 kV biasanya disetting 1,05 sampai 1,2 dari arus nominalnya. Terdapat sedikit perbedaan antara hasil perhitungan dengan data di lapangan dalam setting rele. Hal ini dikarenakan PLN menyetel rele 1,2 dari arus nominalnya. Sedangkan penulis menyetel 1,05 dari arus nominal konduktor dimana arus setting <sup>4</sup> harus lebih besar dari arus beban puncak pada masing-masing penyulang dan lebih kecil <sup>4</sup> dari kemampuan hantar arus saluran ( $I_{beban} < I_{set} < I_{KHA}$ ). Karena saluran yang paling dominan terdapat pada penyulang adalah SUTM 150 mm<sup>2</sup> maka KHA yang dijadikan acuan adalah KHA penyulang tersebut. Ini dimaksudkan agar dalam keadaan arus beban puncak atau ketika arus beban naik tiba-tiba rele tidak bekerja.

Dari tabel 4.22 dan <sup>1</sup> tabel 4.23 dapat dilihat bahwa hasil perhitungan dengan data lapangan memiliki perbedaan yang tidak terlalu jauh (masih dalam <sup>3</sup> kondisi yang sesuai). Sehingga dapat dikatakan setting rele arus lebih dan rele gangguan tanah pada penyulang Natuna dan penyulang sulawesi yang terdapat dilapangan dalam kondisi baik.

Tetapi ada penyetelan rele arus lebih dan rele gangguan tanah yang tidak sesuai dengan data di lapangan, yaitu terdapat pada penyulang Sulawesi dan penyulang Natuna, dimana pada setting TMS rele arus lebih pada penyulang Sulawesi di lapangan sebesar 0,125 SI sedangkan hasil perhitungan didapatkan TMS 0,064 SI. Begitu juga dengan setting TMS rele gangguan tanah pada penyulang Natuna di lapangan sebesar 0,05 SI sedangkan hasil perhitungan didapatkan TMS 0,10098 SI. Perbedaan TMS dilapangan lebih cepat 0,06 dibandingkan dengan data hasil perhitungan ini mengakibatkan rele bekerja

terlalu sensitif sehingga rele lebih cepat trip. Maka dari itu, sebaiknya perlu dilakukan penyetelan kembali rele di lapangan.

<sup>3</sup>

Dari grafik koordinasi rele arus lebih dan rele gangguan tanah dapat dilihat bahwa waktu kerja rele dibuat secara bertahap (semakin mendekati ujung letak rele maka setting waktunya semakin cepat) hal ini dimaksudkan agar terdapat koodinasi antar rele yang paing ujung (pada penyulang) untuk trip lebih dahulu apabila terjadi gangguan.

<sup>3</sup>

Pada grafik juga dapat dilihat bahwa waktu kerja pada penyulang lebih cepat dibandingkan waktu kerja rele disisi incoming 20 kV dan 150 kV. Ini bertujuan memberi kesempatan rele pada penyulang untuk bekerja terlebih dahulu (main protection) apabila terjadi hubung singkat di penyulang dan rele incoming bekerja sebagai pengaman cadangan (back up protection) apabila rele di penyulang tidak bekerja.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 KESIMPULAN**

1. Besar arus gangguan hubung singkat yang digunakan untuk penyetelan rele arus lebih (OCR) pada transformator sisi primer 150 kV sebesar 1385,922393 A, transformator sisi 20 kV sebesar 10394,41795 A, penyulang Natuna sebesar 659,8542002 A , penyulang sulawesi 488,7085278 A. Sedangkan besar arus gangguan hubung singkat yang digunakan untuk penyetelan rele gangguan tanah (GFR) pada transformator sisi primer 150 kV sebesar 25,51749626 A, transformator sisi 20 kV sebesar 191,381222 A, penyulang Natuna sebesar 131,1508872 A , penyulang sulawesi 117,1559167 A.
2. Hasil perhitungan *setting* rele arus lebih (OCR) pada transformator sisi primer 150 kV memiliki TMS sebesar 0,304 SI, transformator sisi sekunder 20 kV memiliki TMS sebesar 0,1774 SI, penyulang Natuna memiliki TMS 0,09 SI, dan pada penyulang Sulawesi memiliki TMS 0,064 SI. Untuk *setting* rele gangguan tanah (GFR) pada transformator sisi primer 150 kV memiliki TMS sebesar 0,42 SI, transformator sisi sekunder 20 kV memiliki TMS sebesar 0,246 SI, penyulang Natuna memiliki TMS 0,10098 SI, dan pada penyulang Sulawesi memiliki TMS 0,10098 SI.
3. Penyetelan rele oleh PLN dan hasil perhitungan tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan adapun terdapat perbedaan yang disebabkan persen arus setting yang digunakan oleh penulis berbeda dengan PLN.

## 5.2 SARAN

Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan terhadap setting rele arus lebih (OCR) dan rele gangguan tanah (GFR) pada gardu induk keramasan palembang dalam kondisi cukup baik. Tetapi, sebaiknya rele disetting ulang agar kerja rele dapat lebih selektif. Serta untuk mengoptimalkan kehandalan sistem proteksi maka dilakukan pengecekan terhadap sistem proteksi secara berkala.

# Analisa Setting dan Koordinas Rele arus Lebih dan Rele Gangguan Tanah Pada Penyulang di Gardu Induk keramasan Palembang

ORIGINALITY REPORT



PRIMARY SOURCES

1	Submitted to Universiti Malaysia Pahang Student Paper	3%
2	Submitted to Sriwijaya University Student Paper	2%
3	docplayer.info Internet Source	1 %
4	sinta.unud.ac.id Internet Source	1 %
5	www.scribd.com Internet Source	1 %
6	repository.unib.ac.id Internet Source	1 %
7	zadoco.site Internet Source	1 %
8	edoc.site Internet Source	1 %

9

Submitted to Politeknik Negeri Bandung

Student Paper

1 %

10

bagiyuuk.blogspot.com

Internet Source

1 %

---

Exclude quotes

On

Exclude matches

< 1%

Exclude bibliography

On