



**TUGAS AKHIR - EE 184801**

**STUDI KOORDINASI PROTEKSI RELE ARUS LEBIH PADA  
PT INDONESIA POWER UJP ADIPALA, JAWA TENGAH**

Masde Ristiawan  
NRP 0711174500020

Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.  
Dr. Dimas Fajar Uman Putra, ST, MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019

[Halaman ini sengaja dikosongkan]



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

*FINAL PROJECT - EE 184801*

***STUDY OF PROTECTION COORDINATION OVER  
CURRENT RELAY ON PT INDONESIA POWER UJP  
ADIPALA, CENTRAL JAVA***

Masde Ristiawan  
NRP 0711174500020

*Supervisor*  
Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.  
Dr. Dimas Fajar Uman Putra, ST,MT.

*ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty of Electrical Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019*


[Halaman ini sengaja dikosongkan]

## **PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR**

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan **“Studi Koordinasi Proteksi Rele Arus Lebih Pada PT Indonesia Power UJP Adipala, Jawa Tengah”** adalah benar benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juni 2019



Masde Ristiawan  
NRP: 07111745000020

[Halaman ini sengaja dikosongkan]



[Halaman ini sengaja dikosongkan]



# STUDI KOORDINASI PROTEKSI RELE ARUS LEBIH PADA PT INDONESIA POWER UJP ADIPALA, JAWA TENGAH

Nama : Masde Ristiawan  
Pembimbing 1 : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
Pembimbing 2 : Dr. Dimas Fajar Uman Putra,ST,MT.

## ABSTRAK

Proteksi rele arus lebih pada sistem tenaga listrik memiliki peran yang sangat penting untuk mengamankan peralatan listrik. Sistem proteksi ini memiliki fungsi untuk mendeteksi dan melokalisir gangguan hubung singkat sehingga dapat mencegah peralatan listrik mengalami kerusakan. Sistem proteksi arus lebih perlu di koordinasikan agar sistem dapat bekerja dengan baik. Pembangkit listrik tenaga uap adipala merupakan salah satu pembangkit yang menyuplai sebagian aliran listrik untuk jawa tengah dan sekitarnya. Pembangkit ini memiliki kapasitas pembangkitan 1x660MW. Oleh karena itu diperlukan studi terhadap pengaman sistem. Tugas akhir ini akan membahas tentang studi koordinasi proteksi rele arus lebih pada PT Indonesia power UJP adipala. Dari hasil analisis koordinasi proteksi kurva rele pengaman *eksisting* dapat diketahui bahwa terdapat *setting pick up* rele arus lebih fasa dan rele arus lebih ketanah tidak sesuai *standart* 1,05 - 1,4 FLA (BS 142-1983 *Standart*) yaitu 1,6 FLA dan pemilihan *time delay* yang tidak sesuai *standart Grading time* 0,2 s – 0,4 s (IEEE 242), sehingga memungkinkan rele utama dan rele *backup* bekerja secara bersamaan. Pada rele *differential* terdapat kesalahan yang menyebabkan rele bekerja saat terjadi gangguan eksternal 2 phase pada bus grid PLN 500 kV, maka di rekomendasikan dilakukan *resetting* ulang. Setting rele differensial adalah  $I_{set}=1,6I_e$ ,  $I_{instan}=5,5 I_n$ , slope 0,75.

**Kata kunci:** koordinasi proteksi, rele arus lebih, rele diferensial

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

# **STUDY OF PROTECTION COORDINATION OVER CURRENT RELAY ON PT INDONESIA POWER UJP ADIPALA, CENTRAL JAVA**

*Name* : Masde Ristiawan  
*Supervisor 1* : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
*Supervisor 2* : Dr. Dimas Fajar Uman Putra,ST,MT.

## **ABSTRACT**

*Overcurrent protection on electric power system has a very important to protect electrical equipment. Protection system has the function of detecting and localising short-circuited interference so as to prevent electrical equipments from experiencing damage. Overcurrent protection system needs to be coordinated for the system to work properly. The Adipala steam power Plant is one of the plants that supply some electricity to the Central Java and surrounding areas. The generator has a 1x660MW generation capacity. It is therefore necessary to study the system security. This final task will discuss about coordinating study of Overcurrent rele protection at PT Indonesia Power UJP Adipala. From the results of coordination analysis of existing safety rele curve protection can be noted that there are setting pick up rele more phase current and the current rele is not suitable for the standard 1.05-1.4 FLA (BS 142-1983 Standart) namely 1.6 FLA and time delay selection The standard inappropriate Grading time 0.2 s – 0.4 s (IEEE 242), thus allowing the main rele and backup rele to work simultaneously. In the differential rele there is an error that will cause the rele to work when the external 2 phase disturbance occurs on the PLN 500 kV bus grid, then it is recommended to resetting reset. The differential rele Setting is  $I_{set} = 1, 6 I_e$ ,  $I_{Instant} = 5,5 I_n$ , slope 0,75.*

**Keywords:** *Coordination of protection, overcurrent relay, differential relay*

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

## KATA PENGANTAR

Segala puji serta syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga tugas akhir yang berjudul “ **Studi Koordinasi Proteksi Rele Arus Lebih Pada PT Indonesia Power UJP Adipala, Jawa Tengah**” dapat diselesaikan dengan baik dan tepat waktu. Penulis ingin menyampaikan rasa hormat dan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan dan penyelesaian karya tulis ini khususnya penulis sampaikan kepada:

1. Alm Bapak, Ibu, Kakak-Kakak serta segenap keluarga yang telah menjadi *support system* bagi penulis.
2. Bapak Margo Pujiantara dan Dr.Dimas Fajar Uman Putra,ST,MT. Selaku pembimbing tugas akhir yang telah banyak memberi masukan , saran dan nasihat yang berarti bagi penulis.
3. Rekan-rekan Lintas Jalur angkatan 2017, dosen, karyawan serta seluruh keluarga besar Teknik elektro ITS yang telah memberikan dukungan dalam pengerjaan tugas akhir ini .
4. Rekan-rekan Tugas Akhir Laboratorium Instrumentasi Pengukuran dan Identifikasi Sistem Tenaga yang selalu memberikan semangat dan saling mendukung.
5. Seluruh sahabat yang telah memberikan bantuan semangat dan dukungan.
6. Semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu yang ikut andil dalam penyusunan karya tulis ini.

Harapan penulis semoga karya tulis ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya bagi para pembaca, serta dapat menambah wawasan dan ilmu pengetahuan dalam bidang sistem tenaga.

Surabaya, Mei 2019

Masde Ristiawan  
NRP 07111745000020

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

## DAFTAR ISI

<b>STUDI KOORDINASI PROTEKSI RELE ARUS LEBIH PADA PT INDONESIA POWER UJP ADIPALA, JAWA TENGAH</b>	
<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....</b>	<b>v</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>ix</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xi</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xviii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xxi</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang Masalah .....	1
1.2. Perumusan Masalah .....	1
1.3. Batasan Masalah .....	2
1.4. Tujuan .....	2
1.5. Metodologi.....	2
1.6. Sistematika Penulisan .....	3
1.7. Relevansi atau manfaat .....	4
<b>BAB II PROTEKSI SISTEM TENAGA LISTRIK .....</b>	<b>4</b>
2.1 Gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik .....	5
2.1.1 Gangguan Beban lebih .....	6
2.1.2 Gangguan Hubung Singkat ( <i>Short Circuit</i> ).....	6
2.1.3 Gangguan Tegangan Lebih .....	10
2.2 Pentanahan Sistem Tenaga Listrik .....	11
2.3 Rele Pengaman.....	11
2.4 Rele Arus Lebih .....	12
2.4.1 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu ( <i>definite Time</i> ).....	13

2.4.2	Rele Arus Lebih Waktu Seketika ( <i>instantaneous time</i> ) .....	13
2.4.3	Rele Arus Lebih Waktu Terbalik ( <i>Invers</i> ) .....	15
2.5	Koordinasi Rele Arus Lebih .....	14
2.6	Rele Gangguan Tanah ( <i>Ground Fault Relay</i> ) .....	15
2.7	Rele Differential .....	17
2.7.1	Rele RCS-985B .....	18
<b>BAB 3 SISTEM KELISTRIKAN PT INDONESIA POWER UJP ADIPALA .....</b>		
<b>ADIPALA .....</b>		
3.1	Data Peralatan .....	21
3.1.1	Data Generator .....	21
3.1.2	Data Transformator .....	22
3.1.3	Data Beban .....	24
3.1.4	Data Kabel .....	25
<b>BAB 4 HASIL SIMULASI DAN ANALISIS.....</b>		
<b>ADIPALA .....</b>		
4.1	Permodelan Sistem Kelistrikan .....	29
4.2	Analisis Arus Gangguan Hubung Singkat .....	30
4.2.1	Arus Hubung Singkat Maksimum .....	30
4.2.2	Arus Hubung Singkat Minimum.....	30
4.3	Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa.....	31
4.3.1	Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 1A ....	31
4.3.2	Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 2 .....	42
4.4	Koordinasi Rele Gangguan Fasa Ke Tanah .....	48
4.5	Analisa Kondisi Eksisting <i>Setting</i> Rele <i>Differential</i> Bus 22kV .....	53
4.5.1	Kondisi Normal .....	55
4.5.2	Kondisi Gangguan Eksternal 3 Fasa di Bus 10BBA.....	57
4.5.3	Kondisi Gangguan Eksternal di Unit Bus 10BBB 3 Fasa....	58
4.5.4	Kondisi Kondisi Gangguan Eksternal 3 Fasa Bus 500 kV....	60
4.5.5	Kondisi Gangguan Eksternal di Bus 10BBA 2 Fasa.....	61



4.5.6	Kondisi Gangguan Eksternal 2 Fasa di Unit Bus 10BBB ...	63
4.5.7	Kondisi Gangguan Eksternal 2 Fasa di Bus 500 kV .....	64
4.5.8	Kondisi Gangguan Internal tiga fasa di Bus 10BAA .....	65
4.5.9	Kondisi Gangguan Internal di Bus 10BAA 2 Phasa .....	67
<b>BAB 5</b>	<b>PENUTUP</b> .....	<b>71</b>
5.1	Kesimpulan .....	71
5.2	Saran .....	72
	<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	<b>73</b>
	<b>LAMPIRAN</b> .....	<b>74</b>
	<b>RIWAYAT HIDUP</b> .....	<b>77</b>

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Hubung Singkat Tiga Fasa .....	8
Gambar 2.2 Hubung Singkat Dua Fasa Ketanah.....	9
Gambar 2.3 Hubung Singkat satu Fasa ketanah .....	10
Gambar 2.4 Skema Konsep Kerja Rele Pengaman .....	12
Gambar 2.5 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu ( <i>Definite Time</i> ) .....	13
Gambar 2.6 Karakteristik Rele Arus Lebih Seketika ( <i>Instantaneous Time</i> ) .....	14
Gambar 2.7 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Terbalik ( <i>Inverse Time</i> ) .....	15
Gambar 2.8 Karakteristik Operasi Proteksi Differential .....	19
Gambar 4.1 <i>Single Line Diagram</i> Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 1 .....	32
Gambar 4.2 Hasil Plot Eksisting Gangguan Fasa Tipikal 1 .....	35
Gambar 4.3 Hasil Plot <i>Resetting</i> Rele Gangguan Fasa Tipikal 1 .....	41
Gambar 4.4 <i>Single Line Diagram</i> Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 2 .....	42
Gambar 4.5 Hasil Plot Eksisting Gangguan Fasa Tipikal 2 .....	44
Gambar 4.6 Hasil Plot <i>Resetting</i> Rele Gangguan Fasa Tipikal 2.....	47
Gambar 4.7 <i>Single Line Diagram</i> Tipikal <i>Ground Fault</i> .....	48
Gambar 4.8 Kurva Koordinasi Rele Arus Lebih <i>Ground Eksisting</i> .....	49
Gambar 4.9 Kurva Koordinasi Rele Arus Lebih <i>Ground Rresetting</i> .....	52
Gambar 4.10 Permodelan Kondisi normal .....	56
Gambar 4.11 Permodelan Hubung Singkat 3 Fasa di Unit Bus 10BBA	57
Gambar 4.12 Permodelan Hubung Singkat 3 Fasa di Unit Bus 10BBB .....	59
Gambar 4.13 Permodelan Hubung Singkat 3 Fasa di Bus 500 kV.....	60
Gambar 4.14 Permodelan Hubung Singkat 2 Fasa di Bus 10BBA01 .	62
Gambar 4.15 Permodelan Hubung Singkat 2 Fasa di Bus 10BBB ....	63
Gambar 4.16 Permodelan Hubung Singkat 2 Fasa di Bus 500kV.....	65
Gambar 4.17 Permodelan Hubung Singkat Internal 3 fasa pada bus 10BBA.....	66
Gambar 4.18 Permodelan Hubung Singkat 2 Fasa di Bus 10BAA .....	68
Gambar 4.19 Kurva Karakteristik Operasi <i>Exsisting</i> .....	69
Gambar 4.20 Kurva Karakteristik Operasi <i>Resetting</i> .....	70



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.2.1 Persamaan Kurva Karakteristik Invers .....	16
Tabel 3.1 Data Generator .....	21
Tabel 3.2 Data Transformator .....	22
Tabel 3.3 Data Beban .....	24
Tabel 3.4 Data Kabel .....	25
Tabel 4.1 Arus Hubung Singkat Maksimum .....	30
Tabel 4.2 Arus hubung singkat Minimum .....	31
Tabel 4.3 Data Rele Eksisting Tipikal 1 .....	33
Tabel 4.4 Data Rele <i>Eksisting</i> Tipikal 2 .....	43

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang Masalah**

PT Indonesia Power UJP Adipala merupakan pembangkit listrik tenaga uap yang memiliki 1 generator, yang berkapasitas 1x660 MW. Suatu gangguan pada sistem tenaga listrik bisa saja terjadi pada sistem tenaga listrik yang baik sekalipun. Pada saat terjadi gangguan akan ada beberapa akibat yang semuanya merugikan bagi perusahaan. Sistem tenaga listrik yang handal dapat menyalurkan daya listrik dari sumber daya ke beban dengan baik. Keamanan sistem dan peralatan tenaga listrik merupakan hal yang penting sehingga harus mempunyai sistem pengamanan yang baik dan benar, sehingga dapat meningkatkan kinerja perusahaan.

Kelangsungan aliran daya pada suatu sistem tenaga listrik harus terdistribusi sampai beban dengan baik, tidak terganggu pada saat kondisi normal maupun saat keadaan abnormal. Bervariasi jenis dan besaran gangguan maka diperlukan rele pengaman yang selektif dan cepat mengisolir lokasi gangguan seminimal mungkin. Kegagalan rele pengaman utamanya harus di backup dengan rele lainnya (cadangan). Menghindari saling mendahului kerja atau *miscoordination*, rele pengaman utama harus bekerja terlebih dahulu dan rele cadangan bekerja setelahnya, rele pengaman cadangan harus mengalami perlambatan waktu kerja (*time delay*) selama rele utama bekerja.

Dengan koordinasi yang baik antara rele ini diharapkan keandalan dan kontinuitas suplay daya terjaga optimal. Oleh karena itu dalam tugas akhir ini akan di lakukan setting koordinasi proteksi arus lebih fasa dan *ground* pada PT Indonesia Power UJP Adipala, Jawa Tengah.

### **1.2. Perumusan Masalah**

Permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana sistem kelistrikan pada PT Indonesia Power UJP Adipala dan berapa besar arus gangguan yang mungkin terjadi pada sistem kelistrikan tersebut.
2. Bagaimana kinerja koordinasi proteksi rele arus lebih pada PT Indonesia Power UJP Adipala saat ini apakah sudah sesuai standart keandalan atau belum.

3. Bagaimana setelan dan koordinasi rele pengaman arus lebih yang tepat untuk sistem kelistrikan PT Indonesia Power UJP Adipala.

### **1.3. Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah:

1. Peralatan sistem proteksi yang digunakan adalah rele arus lebih (*overcurrent relay*) dan *ground fault relay* .
2. Setting rele differensial 8GTU
3. Rating tegangan yang digunakan yaitu tegangan menengah 6,3 kV.
4. Simulasi yang dilakukan dengan software ETAP 12.6.0

### **1.4. Tujuan**

Tujuan yang ingin dicapai dari tugas akhir ini adalah:

1. Menentukan besar arus maksimal gangguan, arus minimal gangguan, urutan antar rele dan waktu tunda rele.
2. Memperoleh koordinasi rele arus lebih fasa dan gangguan tanah yang tepat dan sesuai standart keandalan, sehingga dapat bekerja secara maksimal, bila terjadi gangguan pada sistem kelistrikan.
3. Mendapatkan setting rele diferensial 8GTU.

### **1.5. Metodologi**

Metodologi yang digunakan dalam tugas akhir ini antara lain meliputi:

1. Studi Literatur  
Studi literatur bertujuan untuk mempelajari informasi atau langkah-langkah yang berkaitan dengan topik tugas akhir, dengan cara mencari informasi di buku, jurnal, dan internet. Dilakukan untuk menyelesaikan masalah yang berhubungan dengan judul tugas akhir agar penguasaan materi lebih baik.
2. Pengumpulan Data  
Mengumpulkan data-data yang diperlukan untuk tugas akhir ini terdiri dari *single line diagram* PT Indonesia Power UJP Adipala, *rating* tiap komponen seperti generator, transformator, rele arus lebih, *circuit breaker*, CT, kabel, motor, busbar, dan lain-lain.
3. Pemodelan Sistem Kelistrikan  
Menginterpretasikan data yang diperoleh dengan menggunakan *software* ETAP 12.6.0. Permodelan yang dibuat yaitu sistem



- kelistrikan pada PT Indonesia Power UJP Adipala dan memasukkan data rating peralatan yang ada pada *software* ETAP 12.6.0.
4. Simulasi dan Analisa  
Setelah pemodelan langkah selanjutnya mengolah data pada simulasi menggunakan *software* ETAP 12.6.0. Lakukan analisis hubung singkat untuk mengetahui nilai arus hubung singkat minimum dan maksimum, yang akan di gunakan untuk menentukan *setting* rele proteksi. Serta lakukan plot TCC untuk melihat apakah koordinasi proteksi serta *setting* rele yang digunakan telah baik. Apabila masih terdapat kesalahan maka diperlukan *resetting*.
  5. Penyusunan Buku Tugas Akhir  
Penyusunan buku sebagai kesimpulan akhir dari rangkaian metodologi yang telah dilakukan guna menyajikan hasil simulasi dan analisa yang telah dilakukan dalam bentuk buku tugas akhir.

## **1.6. Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan dari tugas akhir ini terdiri dari lima bab, dengan uraian sebagai berikut:

### **BAB 1 : PENDAHULUAN**

Bab ini merupakan bagian awal dari penulisan laporan tugas akhir yang berisi mengenai latar belakang masalah, perumusan dan batasan masalah, tujuan penulisan, metodologi penulisan, sistematika penulisan dan relevansinya.

### **BAB 2 : PROTEKSI SISTEM TENAGA LISTRIK**

Bab ini merupakan bagian yang berisi mengenai teori-teori pendukung yang akan digunakan sebagai referensi untuk menyelesaikan tugas akhir. Teori-teori tersebut yaitu seperti gangguan yang terdapat pada sistem tenaga listrik, prinsip kerja dan setting dari rele pengamanan arus lebih.

### **BAB 3 : SISTEM KELISTRIKAN PT INDONESIA POWER UJP ADIPALA**

Bab ini merupakan bagian yang berisi tentang sistem kelistrikan yang ada di PT Indonesia Power UJP Adipala, meliputi data dan spesifikasi dari peralatan-peralatan, konfigurasi sistem kelistrikan dan hal-hal mengenai operasi sistem tenaga listrik.

### **BAB 4 : HASIL SIMULASI DAN ANALISA**

Bab ini membahas tentang sistem koordinasi proteksi rele arus lebih dan rele gangguan ketanah pada kondisi existing dan kondisi yang telah dilakukan resetting untuk menemukan setting koordinasi proteksi terbaik dan dapat bekerja maksimal.

## **BAB 5 : PENUTUP**

Bab ini merupakan bagian yang berisi tentang kesimpulan dan juga saran dari hasil simulasi serta analisis yang telah dilakukan dari tugas akhir ini.

### **1.7. Relevansi atau manfaat**

Hasil dari Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Dapat digunakan sebagai rekomendasi bagi PT Indonesia Power UJP Adipala dalam melakukan *setting atau resetting* koordinasi proteksi rele arus lebih dan *setting* rele gangguan tanah.
2. Dapat digunakan sebagai referensi mahasiswa yang mengerjakan tugas akhir dengan permasalahan yang sama mengenai koordinasi proteksi rele arus lebih.

## **BAB II PROTEKSI SISTEM TENAGA LISTRIK**

Pada suatu sistem tenaga listrik hal yang sangat di perhatikan adalah sistem proteksi. Berfungsi untuk mengurangi dampak gangguan dan melindungi peralatan sistem tenaga listrik, khususnya pada peralatan utama suatu sistem kelistrikan akibat terjadinya gangguan hubung singkat. Sistem proteksi harus mampu bekerja dengan cepat dan selektif ketika terjadi gangguan, rele terdekat dengan lokasi gangguan harus bekerja untuk memutuskan arus gangguan secepat mungkin , dan apabila rele utama gagal memutus gangguan maka rele *backup* segera bekerja sesuai dengan *setting* waktu yang telah di tentukan.

## 2.1 Gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik

Gangguan sistem tenaga listrik adalah setiap keadaan dimana sistem dalam keadaan *abnormal* yang dapat mengganggu kontinuitas pelayanan tenaga listrik kepada konsumen. Gangguan yang sering terjadi adalah gangguan hubung singkat (*short circuit*) sedangkan rangkaian terbuka (*open circuit*), jauh lebih jarang terjadi dari pada gangguan-gangguan hubung singkat [5] . Gangguan sistem tenaga listrik sangat dihindari akan tetapi pada kenyataannya sangat sering terjadi, karena berbagai macam faktor:

1. Berdasar faktor penyebab terjadi gangguan:

a. Faktor *Internal*

Faktor gangguan yang terjadi berasal dari sistem itu sendiri. Misalnya faktor usia pemakaian peralatan yang sudah lama, sehingga mengurangi isolasi peralatan dan sensitivitas peralatan itu sendiri.

b. Faktor *Eksternal*

Faktor gangguan yang terjadi berasal dari luar sistem atau sekitar sistem. Misalnya musibah alam ( Gempa bumi, Longsor , sambaran petir) ,pohon tumbang, layang-layang, atau binatang.

c. Faktor manusia

Faktor gangguan yang terjadi akibat dari kelalaian pengoperasian dan penggunaan yang tidak sesuai prosedur. Misalnya kesalahan dalam penyambungan rangkaian , salah dalam pengkalibrasi alat , keteledoran dalam menggunakan peralatan.

2. Berdasarkan dari lamanya waktu gangguan, terdapat 2 jenis gangguan yang bisa terjadi pada sistem tenaga listrik yaitu [6]:

a. Gangguan sementara (*Temporary*)

Jenis gangguan *temporary* atau sementara yang akan hilang dengan sendirinya. Gangguan temporer ini jika tidak diisolir secepatnya akan

menjadi gangguan yang permanen dan dapat mengakibatkan kerusakan peralatan.

b. Gangguan Permanen (*stationary*)

Jenis gangguan yang tidak dapat hilang apabila sumber gangguan tidak dihilangkan. Untuk menghilangkan gangguan permanen harus dilakukan perbaikan langsung pada titik gangguan. Pada gangguan ini CB akan terbuka dan hanya boleh tertutup kembali apabila gangguan telah hilang.

### 2.1.1 Gangguan Beban lebih

Gangguan beban lebih merupakan gangguan yang diakibatkan arus yang mengalir melebihi arus nominal yang diizinkan ( $I > I_n$ ) karena pembebanan pada peralatan yang berlebihan kapasitasnya, apabila berlangsung secara terus menerus menyebabkan peralatan panas dan menyebabkan kerusakan pada peralatan (generator, trafo, motor, dll).

### 2.1.2 Gangguan Hubung Singkat (*Short Circuit*)

Gangguan hubung singkat merupakan gangguan yang berbahaya yang biasa terjadi pada sistem tenaga listrik, gangguan ini terjadi karena adanya saluran fasa yang terhubung dengan saluran fasa lainnya atau terhubung dengan *ground*. Gangguan ini menimbulkan aliran arus yang besar sehingga dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan listrik yang berada di sekitar gangguan, berkurangnya *stabilitas* daya dan terhentinya kontinuitas daya akibat dari *circuit breaker* bekerja membuka sehingga terjadi pemadaman listrik. Nilai arus hubung singkat dipengaruhi oleh letak terjadinya hubung singkat, semakin dekat lokasi gangguan dengan sumber, maka nilai arus hubung singkat semakin besar. Konsekuensi dari arus tinggi dapat menjadi bencana bagi operasi normal sistem tenaga[1].

Tujuan analisa hubung singkat, yaitu [4]:

- Menentukan arus (maksimum / minimum) pada titik – titik tertentu dari sistem tenaga listrik untuk setiap jenis gangguan yang mungkin terjadi.

- Menentukan *short circuit capacity* ( daya hubung singkat dalam MVA) pada setiap bus dan juga daya hubung singkat yang mengalir pada saluran yang terhubung pada bus, sehingga dapat menentukan kapasitas alat pemutus daya (*Circuit Breaker*)
- Menentukan setting rele dan koordinasi proteksi pada suatu sistem tenaga listrik.

Besarnya arus gangguan hubung singkat dapat ditentukan berdasarkan impedansi dari peralatan listrik pada sistem tersebut. Gangguan hubung singkat dapat digolongkan menjadi dua kelompok [1], yaitu:

1) Gangguan hubung singkat *simetri* [2]

Gangguan hubung singkat seimbang atau *Simetri* adalah gangguan yang terjadi pada semua fasanya (R,S,T) atau hubung singkat tiga fasa, sehingga arus dan tegangan pada setiap fasanya tetap seimbang setelah terjadi gangguan. Gangguan hubung singkat ini dapat di analisa menggunakan komponen urutan positif. Persamaan arus hubung singkat tiga fasa ( $I_{sc_{3\phi}}$ ) sebagai berikut :

$$I_{sc_{3\phi}} = \frac{V_{LN}}{Z_1} \quad (2.1)$$

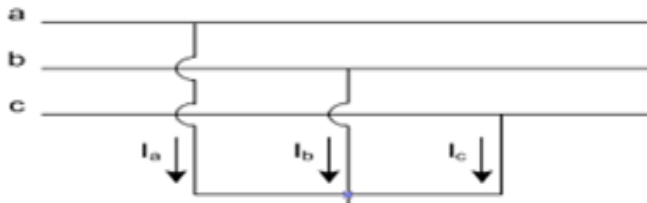
Keterangan:

$I_{sc_{3\phi}}$  = Arus hubung singkat 3 fasa

$V_{LN}$  = tegangan *line to netral*

$Z_1$  = impedansi urutan positif

Gambaran rangkaian hubung singkat tiga fasa dapat di lihat pada gambar 2.1 :



**Gambar 2.1** Hubung Singkat Tiga Fasa

- 2) Gangguan hubung singkat tak simetri  
 Gangguan hubung singkat ini bisa di sebut juga gangguan tidak seimbang yaitu gangguan yang mengakibatkan tegangan dan arus mengalir pada setiap fasanya menjadi tidak seimbang. Nilai arus hubung singkat pada fasa yang mengalami gangguan sangat besar.

Gangguan ini terdiri atas :

- a. Hubung singkat antar fasa [2]  
 Hubung singkat dua fasa yaitu hubung singkat yang terjadi saat kedua fasa dari suatu sistem tenaga listrik saling terhubung tanpa terhubung dengan tanah. Persamaan arus hubung singkat antar fasa ( $I_{sc_{2\phi}}$ ) sebagai berikut:

$$I_{sc_{2\phi}} = \frac{V_{LL}}{Z_1 + Z_2} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{sc_{3\phi}} \quad (2.2)$$

Keterangan :

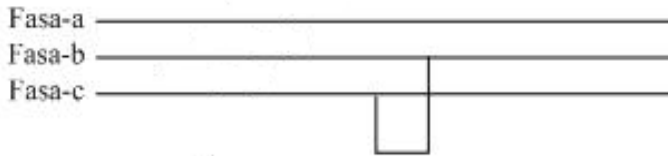
$I_{sc_{2\phi}}$  : Arus hubung singkat dua fasa

$V_{LL}$  : tegangan *line to line*

$Z_1$  : impedansi urutan positif

$Z_2$  : impedansi urutan negatif

Gambaran rangkaian hubung singkat antar fasa dapat di lihat pada gambar 2.2 :



**Gambar 2.2** Hubung Singkat dua Fasa

- b. Hubung singkat dua fasa ke tanah [2]  
 Hubung singkat dua fasa ketanah yaitu hubung singkat yang terjadi saat kedua fasa dari suatu sistem tenaga listrik saling terhubung dengan tanah. Persamaan arus hubung singkat dua fasa ke tanah ( $I_{sc_{2\phi-G}}$ ) sebagai berikut:

$$I_{sc_{2\phi-G}} = \frac{V_{LN}}{Z_1 + (Z_2 Z_0 / Z_2 + Z_0)} \quad (2.3)$$

Keterangan:

$I_{sc_{2\phi-G}}$  : Arus hubung singkat dua fasa ketanah

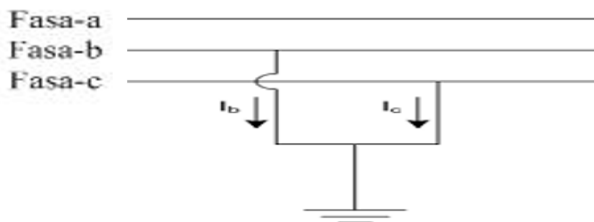
$V_{LN}$  : tegangan *line to netral*

$Z_1$  : impedansi urutan positif

$Z_2$  : impedansi urutan negatif

$Z_0$  : impedansi urutan nol

Gambaran rangkaian hubung singkat antar fasa dapat di lihat pada gambar 2.3 :



**Gambar 2.3** Hubung Singkat Dua Fasa Ketanah

- c. Hubung singkat satu fasa ketanah [2]

Hubung singkat satu fasa ketanah melibatkan impedansi urutan nol ( $Z_0$ ), dan besarnya arus hubung singkat ini tergantung sistem pentanahan yang digunakan pada sistem. Persamaan arus hubung singkat 1 fasa ketanah ( $I_{sc_{1\phi-G}}$ ) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$I_{sc_{1\phi-G}} = \frac{3V_{LN}}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \quad (2.4)$$

Keterangan :

$I_{sc_{1\phi-G}}$  : Arus hubung singkat satu fasa ketanah

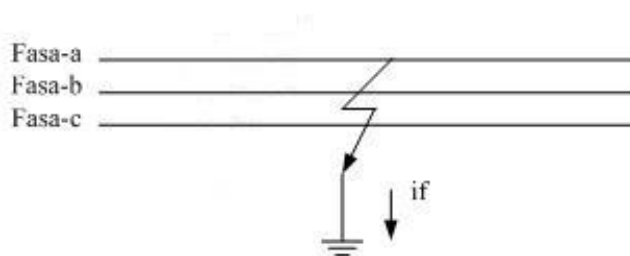
$V_{LN}$  : tegangan *line to neutral*

$Z_1$  : impedansi urutan positif

$Z_2$  : impedansi urutan negatif

$Z_0$  : impedansi urutan nol

Gambaran rangkaian hubung singkat antar fasa dapat di lihat pada gambar 2.4 :



**Gambar 2.4** Hubung Singkat satu Fasa ketanah

### 2.1.3 Gangguan Tegangan Lebih

Gangguan tegangan lebih merupakan jenis gangguan karena adanya faktor luar yang menyebabkan penambahan tegangan seketika, yang



mengakibatkan tegangan melebihi tegangan operasi normalnya. Gangguan tegangan lebih dapat terjadi antara lain karena:

- a. Gangguan Petir
- b. Gangguan surja hubung akibat dari penutupan penutupan saluran tak serempak pada pemutus tiga fasa, pelepasan beban akibat gangguan, penutupan kembali saluran dengan cepat, dan masuknya saluran yang semula tidak masuk sistem.

## **2.2 Pentanahan Sistem Tenaga Listrik**

Pentanahan sistem tenaga listrik yang bertujuan untuk mengatasi gangguan yang mungkin terjadi akibat gangguan ke tanah. Gangguan ini sangat berbahaya karena dapat mengurangi umur peralatan dan merusak peralatan akibat tegangan lebih transien yang tinggi.

Metode-metode yang di gunakan pada sistem tenaga listrik antara lain adalah :

1. Pentanahan tanpa impedansi (*solid grounding*)
2. Pentanahan melalui reaktor (*reactor grounding*)
3. Pentanahan melalui tahanan (*resistance grounding*)
4. Pentanahan menggunakan reaktor yang impedansinya dapat diubah (*reonent grounding*) atau pengetanahan dengan kumparan petersen.

Pemilihan sistem pertanahan harus memperhatikan memperhatikan hubungan antara besar arus dan tegangan yang mungkin terjadi.

## **2.3 Rele Pengaman**

Rele pengaman berfungsi untuk mendeteksi sebuah gangguan atau keadaan tidak normal pada suatu sistem tenaga listrik[5]. Rele ini memberikan sinyal alarm biasa atau memberikan sinyal pada CB untuk memutus saluran. Rele pengaman tidak di fungsikan pada saat keadaan operasi normal tetapi harus bekerja secara cepat saat terjadi kondisi gangguan yang dapat mengganggu kestabilan sistem dan dapat merusak peralatan.



**Gambar 2.2** Skema Konsep Kerja Rele Pengaman

Beberapa kriteria atau syarat dalam pemasangan rele agar bekerja baik dan efisien yaitu:

a. Kecepatan Reaksi

Kemampuan rele mengisolir gangguan saat mulai ada gangguan sampai pelepasan pemutus (CB).

b. Kepekaan Operasi

Kemampuan rele pengaman untuk memberikan respon bila merasakan gangguan.

c. Selektifitas (*selectivity*)

Kemampuan rele untuk menentukan titik dimana gangguan muncul dan memutus rangkaian dengan membuka CB terdekat.

d. Keandalan

Kemampuan rele dalam bekerja tepat ketika ada gangguan dan menghindari kerja dalam keadaan tidak terlalu mengganggu sistem.

e. Ekonomis

Memperhatikan biaya dan menyesuaikan vital nya peralatan yang akan di pasang rele.

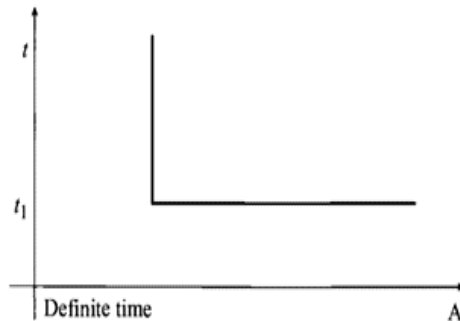
## 2.4 Rele Arus Lebih

Rele pengaman arus lebih atau *over current relay* (OCR) adalah perangkat yang berfungsi untuk melakukan pemutusan arus ketika terjadi gangguan pada peralatan sistem tenaga listrik[5]. *Overcurrent protection* termasuk didalamnya adalah *overload* [3]. Sinyal yang mengalir pada peralatan sistem tenaga listrik disensing oleh transformator *instrument* (pengukuran) yaitu *current transformer* (CT). Data yang didapat pada bagian sekunder transformator instrumen kemudian diterjemahkan oleh rele, sehingga ketika terjadi gangguan rele mengirimkan perintah untuk *trip* pada peralatan pemutus CB (*Circuit Breaker*). Rele akan trip apabila besarnya  $I_f > I_p$  dan rele tidak akan beroperasi (blok) jika  $I_f < I_p$ , dimana  $I_f$  merupakan arus gangguan yang dinyatakan terhadap belitan sekunder transformator arus (CT) dan  $I_p$  merupakan arus kerja. Rele arus lebih memiliki dua *setting*, yaitu *setting* waktu untuk menentukan waktu operasi rele dan *setting* arus kerja untuk menentukan besarnya arus

operasi rele terhadap gangguan [4]. *Setting* rele pengeaman arus lebih ditunjukkan oleh karakteristik kurva arus terhadap waktu (*Time – Current Curve*, TCC), Rele arus lebih memiliki beberapa karakteristik yaitu rele arus lebih waktu seketika (*instantaneous time*), rele arus lebih waktu tertentu (*definite time*), rele arus lebih waktu terbalik (*inverse time*) Karakteristik rele arus lebih :

#### 2.4.1 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu (*definite Time*)[5]

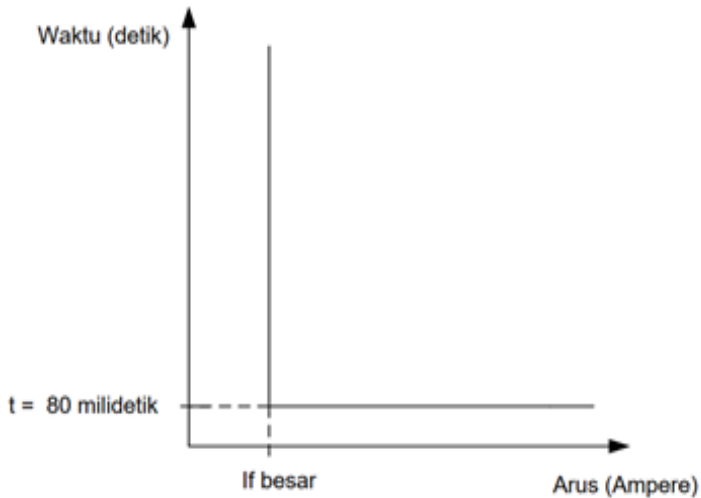
Rele arus lebih *definite* atau rele arus lebih waktu tertentu ini bekerja saat arus gangguan melebihi arus *setting* rele. Waktu kerja dari rele arus lebih waktu tertentu dapat diatur mulai dari waktu *pick up* rele hingga waktu tertentu . Jika level arus melebihi *pickup setpoint*-nya maka akan diputus dalam waktu *setting*. Prinsip kerja hampir sama dengan rele arus lebih waktu seketika tetapi karakteristik yang di fungsikan memiliki waktu tunda yang diinginkan.



**Gambar 2.3** Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu (*Definite Time*)

#### 2.4.2 Rele Arus Lebih Waktu Seketika (*instantaneous time*) [5]

Rele arus lebih *instant* atau rele arus lebih seketika merupakan rele yang bekerja dengan rentang waktu 80ms ketika nilai arus gangguan melebihi arus *setting* rele. Kerja rele arus lebih seketika secara umum jarang bekerja sendiri, namun dikombinasikan dengan rele arus lebih lainnya. Untuk waktu kerja dari rele arus lebih seketika dapat diatur menyesuaikan keadaan sistem kelistrikan dari rele pengaman tepasang.



**Gambar 2.4** Karakteristik Rele Arus Lebih Seketika (*Instantaneous Time*)

## 2.5 Koordinasi Rele Arus Lebih

Koordinasi rele bekerja agar mencapai selektifitas yang diinginkan, dibutuhkan koordinasi rele dengan melihat kurva karakteristik arus terhadap waktu. Semua peralatan proteksi harus dikoordinasikan satu sama lain dengan memperhitungkan kurva karakteristiknya. Rele proteksi harus memerintahkan *circuit breaker* (CB) terdekat dengan gangguan yang harus beroperasi terlebih dahulu. Jika peralatan ini gagal beroperasi, maka peralatan proteksi berikutnya yang harus bekerja memutuskan rangkaian. Koordinasi rele proteksi dalam *single line diagram* kelistrikan, harus dimulai dari beban terakhir atau terbawah dan kembali ke atas menuju generator ataupun *utility*. Setelan arus harus diatas arus maksimum beban penuh (FLA) dan pastikan peralatan proteksi beroperasi pada arus hubung singkat minimum. Ketika menge-plot kurva arus dan waktu, pastikan rele bekerja secara selektif dengan cara melihat bahwa tidak adanya titik yang *overlap* antara kurva rele yang satu dengan rele yang lain dan waktu tunda (*time delay*) yang tidak terlalu lama atau terlalu cepat. Pada IEEE 242 menunjukkan bahwa

waktu kerja minimal antara rele utama dan rele *backup* adalah 0.2 – 0.4 detik.

Waktu buka CB : 0.04 – 0.1s (2-5 cycle)

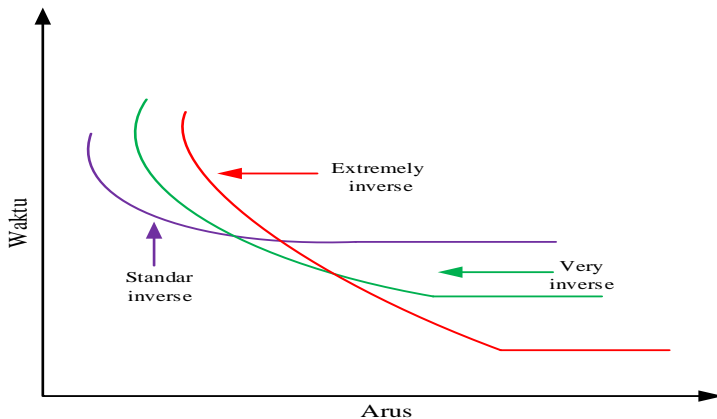
*Overtravel* dari rele : 0.1s

Faktor keamanan : 0.12-0.22s

Untuk rele berbasis *microprocessor* *Overtravel time* dari rele diabaikan. Sehingga total waktu yang diperlukan adalah 0.2-0.4s.

### 2.5.1 Rele Arus Lebih Waktu Terbalik (*Invers*)

Rele arus lebih waktu terbalik atau juga sering disebut dengan rele arus lebih *invers* memiliki ciri – ciri berbanding terbalik arus pemutusan dan waktu operasi, sehingga semakin besar arus gangguan yang terjadi semakin cepat waktu rele untuk beroperasi begitu pula untuk keadaan sebaliknya saat arus gangguan kecil maka rele beroperasi semakin lama. Menurut standart IEC 60255-3 karakteristik kurva inverse terdiri dari beberapa jenis kurva diantaranya yaitu : *standart inverse*, *very inverse*, *extremely inverse*. Bentuk kurva rele arus lebih inverse ditunjukkan pada gambar 2.8 berikut.



**Gambar 2.5** Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Terbalik (*Inverse Time*)

$$t = \frac{k \times td}{\left[ \left( \frac{I}{I_{set}} \right)^{\alpha} - 1 \right]} \quad (2.5)$$

Keterangan:

- $t$  : waktu operasi (detik)  
 $td$  : *time dial*  
 $I$  : nilai arus (A)  
 $I_{set}$  : arus *pickup* (A)  
 $k$  : koefisien invers 1  
 $\alpha$  : koefisien invers 2

**Tabel 2.1 Persamaan Kurva Karakteristik Invers**

Tipe Kurva	Koefisien	
	$k$	$\alpha$
<i>Standard Invers</i>	0,14	0,02
<i>Very Invers</i>	13,5	1
<i>Extremly Inverse</i>	80	2

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

Rele Gangguan tanah ini digunakan pada sistem yang menggunakan sistem pentanahan untuk membatasi arus gangguan ke tanah. Rele ini digunakan untuk mengamankan peralatan dari hubung singkat satu fasa ke tanah. Pemasangan rele *ground fault* digunakan bersamaan dengan rele arus lebih fasa. *Setting* rele ini terdiri dari *setting* arus dan waktu. Jenis kurva yang digunakan untuk rele ini adalah *definite*, dimana berapapun arus gangguan urutan nol yang mengalir pada rele, rele akan bekerja sesuai dengan waktu yang ditentukan. Arus *pick up* harus diatur agar rele dapat mendeteksi arus gangguan sekecil apapun.

*Setting* rele gangguan tanah digunakan  $I_{sc}$  L-G atau arus *short circuit* satu fasa ke tanah, sebagai batas penentuan arus *setting*-nya. Dengan persamaan sebagai berikut [7]:

$$5 - 10\% \times I_{sc} L - G \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{sc} L - G \quad (2.6)$$

Pada sistem dengan menggunakan *Neutral Grounding Resistor* (NGR), nilai arus gangguan satu fasa ke tanah diasumsikan adalah nilai arus

maksimum melalui NGR tersebut. Sehingga persamaannya sebagai berikut :

$$5 - 10\% \times I \text{ maks. NGR} \leq I_{set} \leq 50\% \times I \text{ maks. NGR} \quad (2.7)$$

## 2.7 Rele Differential

Rele diferensial hanya bekerja jika terjadi gangguan pada daerah yang diproteksi (*internal*) dan tidak terpengaruh dengan adanya gangguan dari eksternal. Rele ini mengacu pada hukum kirchoff, yaitu keseimbangan jumlah arus yang masuk dengan arus yang keluar dari suatu titik , digunakan sebagai pengaman utama karena sifatnya yang dapat bekerja dengan kecepatan tinggi serta sangat selektif mengamankan gangguan. Proteksi diferensial ini digunakan antara lain pada generator, transformator, motor, dan bus. Pada saat terjadi gangguan internal maka tidak terjadi keseimbangan antara jumlah arus yang masuk dan arus yang keluar pada daerah tersebut karena seluruh arus mengalir menuju titik gangguan. Hal ini mengakibatkan rele akan segera bekerja memberikan sinyal *trip* ke *circuit breaker* yang terpasang pada setiap feeder *incoming* dan *outgoing* yang terhubung dengan busbar tersebut.

Menurut IEEE Std C.37.234 parameter *setting* kerja rele diferensial dapat dilihat pada persamaan berikut ini :

$$I_{Diff} = \left| \vec{I}_1 + \vec{I}_2 \right| \quad (2.8)$$

$$I_R = f(|I_1| + |I_2| + |I_3| + \dots + |I_n|) \quad (2.9)$$

$$\text{Slope}(\%) = \frac{I_{Diff}}{I_R} \quad (2.10)$$

Setiap rele berbeda dalam penentuan  $I_R$  sesuai standar dari *manufacturer* rele.

Dimana:

$I_{Diff}$  = Perbedaan arus antara sisi primer dengan sekunder

$I_R$  = Arus penahan

$I_1$  = Arus pada sisi primer

$I_2$  = Arus pada sisi sekunder

Waktu kerja rele diferensial sangat cepat yaitu pada  $1/2 - 4 \text{ cycle}$ . *Setting* pada rele diferensial harus mempertimbangkan besar arus gangguan yang ada di sekitar daerah pengaman. Besar arus gangguan tersebut adalah arus gangguan minimum (*line-to-line*). saat kondisi normal arus yang mengalir pada setiap CT disebut arus *restraint* (IR) sedangkan perbedaan arus yang menyebabkan rele diferensial bekerja disebut Idiff atau IOP. Perbandingan antara IR dan Idiff disebut *slope* (%). Nilai arus *restraint* berbanding lurus dengan arus diferensial sehingga rele diferensial akan bekerja apabila terjadi peningkatan nilai IR dan Idiff secara proporsional. Rele diferensial bekerja ketika Idiff dan IR melebihi ambang minimum dari *setting slope* yang telah ditentukan.

### 2.7.1 Rele RCSS-985B

Rele differensial dari manufacture Nari model RCS-985B digunakan untuk proteksi bus 22 kV pada sistem kelistrikan PT Indonesia Power UJP Adipala. Rele differensial ini berbasis microprocessor yang dapat digunakan pada bus, generator dan transformator. Berdasarkan karakteristik rele ini, Elemen differential menggunakan karakteristik dual slope dan dual breakpoint, dimana *breakpoint* merupakan nilai yang sudah ditetapkan yaitu untuk *breakpoint* pertama senilai dengan  $I_e$  dan *breakpoint* kedua senilai dengan  $6I_e$ . Parameter *setting* rele *differential* RCSS-985B adalah sebagai berikut:

$$I\_Pkp\_PcntDiff\_GTU = 0,10 - 2,0 (I_e) \text{ step } 0,01 \quad (2.11)$$

$$I\_InstDiff\_GTU = 4.0 - 14.0(I_e) \text{ step } 0,01 \text{ step } 0,01 \quad (2.12)$$

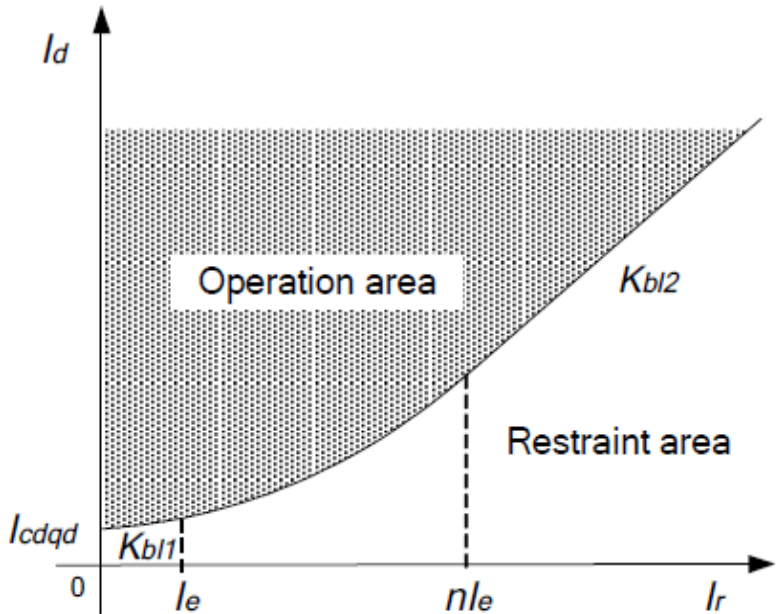
$$\text{Slope1}_{PcntDiff\_GTU} = 0,05 - 0,80 \text{ step } 0,01 \quad (2.13)$$

$$\text{Slope2}_{PcntDiff\_GTU} = 0,40 - 0,80 \text{ step } 0,01 \quad (2.14)$$

$$I_R = \frac{|I_1| + |I_2| + |I_3| + |I_n|}{2} \quad (2.15)$$



Karakteristik operasi dari rele differential RCS-985B dengan *dual slope* ditunjukkan pada gambar 2.9 berikut:



**Gambar 2.6** Karakteristik Operasi Proteksi Differential

Keterangan :

- $I_r$  (*restraint*) saat kondisi normal arus yang mengalir pada setiap CT.
- $I_{Diff}$  adalah Perbedaan arus antara sisi primer dengan sisi sekunder
- $I_{cdqd}$  merupakan nilai pickup yang mana akan mendeteksi gangguan

- $K_{bl1}$  merupakan slope untuk arus restrain dari nol hingga breakpoint pertama. *Setting* ini menentukan sensitivitas rele untuk arus hubungan singkat yang bernilai kecil di daerah internal. Nilai *setting low slope* yang dipilih harus dapat mengatasi arus diferensial palsu akibat ketidakteelitian operasi CT pada mode linier baik pada kondisi normal
- $K_{bl2}$  merupakan slope untuk arus restrain lebih dari break point pertama dan slope lebih dari  $K_{bl1}$ . *Setting*  $K_{bl2}$  berguna agar rele tetap stabil saat terjadi arus hubung singkat yang terjadi didaerah eksternal[9].

Berdasarkan kurva karakteristik operasi *diferensial* dapat diketahui bahwa daerah di atas garis slope merupakan daerah kerja rele ketika terjadi gangguan internal sedangkan daerah di bawah garis slope merupakan daerah rele tidak bekerja pada kondisi normal maupun ketika terjadi gangguan eksternal.

## **BAB 3**

### **SISTEM KELISTRIKAN PT INDONESIA POWER UJP ADIPALA**

#### **Sistem Kelistrikan**

Unit jasa pembangkitan adipala merupakan unit pembangkit listrik tenaga uap yang di kelola oleh PT Indonesia Power, berada di desa Buton, kecamatan Adipala, Kabupaten Cilacap, Jawa Tengah. Unit jasa pembangkitan ini beroperasi sejak awal bulan september 2016, berkapasitas 1x660 MW. Energi yang dihasilkan oleh pembangkit akan di salurkan ke saluran transmisi extra tinggi 500KV dengan step up trafo 22/500 kV berkapasitas 800 MVA. Selain untuk di jual, energi yang di hasilkan juga untuk pendistribusian energi listrik untuk sistem pembangkitan itu sendiri, dengan sistem radial tegangan menengah 6,3 kV melalui trafo UAT A dan UAT B dengan masing masing trafo berkapasitas sebesar 43 MVA, untuk tegangan rendah menggunakan tegangan 0.4 kV. Mengingat pembahasan hanya mencakup peralatan tegangan menengah. Gambar *single line diagram* dari tegangan menengah PLTU Adipala yang akan dilakukan koordinasi proteksi (*Terlampir*):

#### **3.1 Data Peralatan**

Data peralatan utama pada level tegangan menengah sistem kelistrikan PT Indonesia Power UJP Adipala mencakup generator, motor, transformator , serta beban.

##### **3.1.1 Data Generator**

Pembangkit listrik tenaga uap Adipala menggunakan satu generator sebesar 1x660MW , untuk kelengkapan dapat dilihat pada tabel 3.1

**Tabel 3.1** Data Generator

No	ID	Daya (MW)	Tegangan (KV)	FLA (Amp)	Cos $\theta$
1	Generator	660	22	20377	0.85

### 3.1.2 Data Transformator

Pada sistem kelistrikan *medium voltage* UJP Adipala menggunakan beberapa transformator, Generator Transformer (GT) / *step up* trafo, yang digunakan untuk menaikan tegangan yang digunakan untuk mentransformasikan daya ke sistem transmisi 500kV PLN, 2 buah transformator untuk pemakaian sendiri yaitu dua buah Unit Auxiliary Transformator (UAT A dan UAT B). Data transformator dapat dilihat pada tabel 3.2

**Tabel 3.2** Data Transformator

No	ID Trafo	Daya (MVA)	Tegangan Primer/ Sekunder (KV)	FLA Primer/ Sekunder (A)	Z (%)	Hubungan
1	GT	800	22/500	20995 / 923,8	12,5	Δ/Y
2	UAT A	43	22/6,6	1128 / 3762	16	Δ/Y
3	UAT B	43	22/6,6	1128 / 3762	16	Δ/Y
<b>BUS-10BBA</b>						
1	TR-10BBA12	2	6,3/0,4	183,3 / 2887	8	Δ/Y
2	TR-10BBA13	2	6,3/0,4	183,3 / 2887	8	Δ/Y
3	TR-10BBA14	1,6	6,3/0,4	146,6 / 2309	8	Δ/Y
4	TR-10BBA15	2,5	6,3/0,4	229,1 / 3608	10	Δ/Y
5	TR-10BBA16	1	6,3/0,4	91,64 / 1443	6	Δ/Y
6	TR-10BBA24	0,63	6,3/0,4	57,74 / 909,3	4	Δ/Y
7	TR-10BBA26	1,25	6,3/0,4	114, 6 / 1804	6	Δ/Y
<b>BUS 10BBB</b>						
1	TR-10BBB12	2	6,3/0,4	183,3 / 2887	8	Δ/Y
2	TR-10BBB13	2	6,3/0,4	183,3 / 2887	8	Δ/Y

Lanjutan tabel 3.2 Data Transformator

No	ID Trafo	Daya (MVA)	Tegangan Primer/ Sekunder (KV)	FLA Primer/ Sekunder (A)	Z (%)	Hubungan
3	TR-10BBB14	1,6	6,3/0,4	146,6 / 2309	8	Δ/Y
4	TR-10BBB15	2,5	6,3/0,4	229,1 / 3608	10	Δ/Y
5	TR-10BBB16	1	6,3/0,4	91,64 / 1443	6	Δ/Y
6	TR-10BBB26	1,25	6,3/0,4	114,6 / 1804	6	Δ/Y
7	TR-10BBB27	0,63	6,3/0,4	57,74 / 909,3	4	Δ/Y
<b>BUS-00BCA</b>						
1	TR-00BCA02	2,7	6,3/0,4	247,4 / 3897	6,25	Δ/Y
2	TR-00BCA05	1,25	6,3/0,4	114,6 / 1804	6	Δ/Y
3	TR-00BCA06	0,63	6,3/0,4	57,74 / 909,3	4	Δ/Y
4	TR-00BCA11	0,94	6,3/0,4	86,14 / 1357	5	Δ/Y
<b>BUS-00BCB</b>						
1	TR-00BCB02	2,7	6,3/0,4	247,4 / 3897	6,25	Δ/Y
2	TR-00BCB05	1,25	6,3/0,4	114,6 / 1804	6	Δ/Y
3	TR-00BCB06	0,63	6,3/0,4	57,74 / 909,3	4	Δ/Y
4	TR-00BCB11	0,94	6,3/0,4	86,14 / 1357	5	Δ/Y
5	TR-00BCB02	2,7	6,3/0,4	247,4 / 3897	6,25	Δ/Y

### 3.1.3 Data Beban

Beban pada sistem kelistrikan *medium voltage* PLTU Adipala sebagian besar adalah beban motor induksi, yang berguna untuk proses pembangkitan energi listrik. Motor induksi yang dioperasikan pada tegangan 6,3 kV dengan rincian yang di jelaskan pada tabel 3.3.

**Tabel 3.3**Data Beban

BUS-10BBA					
No	ID	Daya (kW)	Tegangan (kV)	FLA	Cos $\theta$
1	MI-10BBA04	2,2	6,3	240,6	0,89
3	MI-10BBA06	2,8	6,3	316,5	0,86
4	MI-10BBA07	3,6	6,3	406,4	0,86
5	MI-10BBA08	3,15	6,3	347,8	0,88
6	MI-10BBA09	2,8	6,3	316,5	0,86
7	MI-10BBA10	1,4	6,3	158,9	0,86
8	MI-10BBA17	0,59	6,3	68,06	0,85
9	MI-10BBA18	0,63	6,3	73,52	0,84
10	MI-10BBA19	0,56	6,3	63,14	0,87
11	MI-10BBA20	0,9	6,3	102,4	0,86
12	MI-10BBA22	0,9	6,3	102,4	0,86
13	MI-10BBA23	0,9	6,3	102,4	0,86
14	MI-10BBA25	0,52	6,3	68,96	0,74
BUS-10BBB					
No	ID	Daya (kW)	Tegangan (kV)	FLA	Cos $\theta$
1	MI-10BBB04	2,2	6,3	240,6	0,89
3	MI-10BBB06	2,8	6,3	316,5	0,86
4	MI-10BBB07	3,6	6,3	406,4	0,86
5	MI-10BBB08	3,15	6,3	347,8	0,88
6	MI-10BBB10	1,4	6,3	158,9	0,86
7	MI-10BBB17	0,59	6,3	68,06	0,85
8	MI-10BBB18	0,63	6,3	73,52	0,84
9	MI-10BBB19	0,56	6,3	63,14	0,87
10	MI-10BBB20	0,9	6,3	102,4	0,86
11	MI-10BBB22	0,9	6,3	102,4	0,86
12	MI-10BBB23	0,9	6,3	102,4	0,86

Lanjutan tabel 3.3 data beban

<b>BUS-00BCA01</b>					
No	ID	Daya (kW)	Tegangan (kV)	FLA	Cos $\theta$
1	<b>MI-00BCA07</b>	0,5	6,3	57,74	0,85
2	<b>MI-00BCA08</b>	0,4	6,3	45,71	0,86
3	<b>MI-00BCA10</b>	0,28	6,3	32,44	0,85
4	<b>MI-00BCA12</b>	0,315	6,3	35,63	0,87
<b>BUS 00BCB01</b>					
No	ID	Daya (kW)	Tegangan (kV)	FLA	Cos $\theta$
1	<b>MI-00BCB07</b>	0,38	6,3	42,79	0,85
2	<b>MI-00BCB08</b>	0,4	6,3	45,71	0,86
3	<b>MI-00BCB10</b>	0,28	6,3	32,44	0,86

### 3.1.4 Data Kabel

Data kabel yang digunakan di sistem kelistrikan PLTU UJP Adipala

**Tabel 3.4** Data Kabel

No	ID Kabel	Panjang (m)	Ukuran (mm <sup>2</sup> )
<b>BUS-10BBA</b>			
1	CAB-TR-10BBA12	110	185
2	CAB-TR-10BBA13	190	185
3	CAB-TR-10BBA14	45	185
4	CAB-TR-10BBA15	350	185
5	CAB-TR-10BBA16	365	70
6	CAB-TR-10BBA24	90	50
7	CAB-TR-10BBA26	20	95
8	CAB-MI-10BBA04	85	150
9	CAB-MI-10BBA06	950	120
10	CAB-MI-10BBA07	400	185
11	CAB-MI-10BBA08	330	150
12	CAB-MI-10BBA09	960	120
13	CAB-MI-10BBA10	320	150

Lanjutan tabel 3.4 Data kabel

14	CAB-MI-10BBA17	85	50
15	CAB-MI-10BBA18	50	50
16	CAB-MI-10BBA19	205	50
17	CAB-MI-10BBA20	200	70
18	CAB-MI-10BBA22	180	70
19	CAB-MI-10BBA23	160	70
20	CAB-MI-10BBA25	115	50
<b>BUS-10BBB</b>			
1	CAB-TR-10BBB12	120	185
2	CAB-TR-10BBB13	205	185
3	CAB-TR-10BBB14	55	185
4	CAB-TR-10BBB15	365	185
5	CAB-TR-10BBB16	380	70
6	CAB-TR-10BBB27	100	50
7	CAB-TR-10BBB26	15	95
8	CAB-MI-10BBB04	100	150
9	CAB-MI-10BBB06	985	120
10	CAB-MI-10BBB07	450	185
11	CAB-MI-10BBB08	270	150
13	CAB-MI-10BBB10	320	150
14	CAB-MI-10BBB17	70	50
15	CAB-MI-10BBB18	25	50
16	CAB-MI-10BBB19	215	50
17	CAB-MI-10BBB20	215	70
18	CAB-MI-10BBB22	190	70
19	CAB-MI-10BBB23	170	70
20	CAB-MI-10BBB25	115	50
<b>BUS-00BCA01</b>			
1	CAB-TR-00BCA02	865	185
2	CAB-TR-00BCA05	25	70
3	CAB-TR-00BCA06	615	50



Lanjutan tabel 3.4 Data kabel

4	CAB-TR-00BCA11	615	50
5	MI-00BCA07	175	50
6	MI-00BCA08	560	50
7	MI-00BCA10	340	50
8	MI-00BCA12	635	50
<b>BUS-00BCB01</b>			
1	CAB-TR-00BCA02	875	185
2	CAB-TR-00BCA05	35	70
3	CAB-TR-00BCA06	645	50
4	CAB-TR-00BCA11	645	50
5	MI-00BCB07	400	50
6	MI-00BCB08	585	50
7	MI-00BCB10	585	50

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

## **BAB 4**

### **HASIL SIMULASI DAN ANALISIS**

Pada tugas akhir ini, akan di analisa sistem koordinasi proteksi rele arus lebih (*Overcurrent Relay*) dan rele gangguan ketanah (*Ground Fault / Ground Overcurrent Relay*) pada kondisi *existing* di PT Indonesia Power UJP Adipala sistem kelistrikan pemakaian sendiri. Serta membahas kondisi *resetting* untuk menemukan *setting* koordinasi *proteksi* terbaik yang dapat bekerja maksimal.

#### **4.1 Permodelan Sistem Kelistrikan**

Permodelan sistem kelistrikan PT Indonesia Power dilakukan dengan cara menggambar *single line diagram* pada *software* ETAP 12.6.0. Dibutuhkan data-data spesifikasi peralatan dan data *setting relay eksisting*. Data Transformator, generator, motor, busbar, kabel, CT, rele, CB dan Pertanahan. Setelah menggambar dan memasukkan data – data yang telah ada, di lakukan *running load flow* untuk mengetahui kondisi *eksisting* yaitu arus nominal peralatan, tegangan, faktor daya, short circuit tiga fasa dan antar fasa untuk mengetahui besar arus short circuit yang melewati tiap bus saat pembebanan maksimum.

Pemilihan Tipikal Koordinasi Proteksi.

Untuk mempermudah dalam melakukan *setting* koordinasi rele arus lebih fasa di PT Indonesia Power, maka dibuat menjadi beberapa tipikal yang dapat mewakili sistem kelistrikan PT Indonesia Power UJP Adipala. Tipikal tersebut dipilih berdasarkan kapasitas beban yang paling besar dari salah satu busbar terpanjang dari generator (sumber). Pada pemilihan tipikal koordinasi rele arus lebih PT Indonesia Power tersebut terdiri dari 2 tipikal yaitu :

1. Tipikal 1 yaitu : koordinasi proteksi rele ( RL-00BCA02, RL-SBBA01, RL-SBBA02 dan RL-BBU01 )
2. Tipikal 2 yaitu : koordinasi proteksi rele ( RL-10BBA07 dan RL-BBU01)

## 4.2 Analisis Arus Gangguan Hubung Singkat

Analisis arus gangguan hubung singkat ini bertujuan untuk mengetahui besaran arus hubung singkat saat terjadi gangguan hubung singkat yang dijadikan sebuah acuan untuk *setting* koordinasi *proteksi* pada sistem kelistrikan PT Indonesia Power UJP Adipala. Terdapat dua arus hubung singkat yang digunakan yaitu arus hubung singkat maksimum (hubung singkat 3 fasa saat 4 *cycle*) dan arus hubung singkat minimum ( Hubung singkat 2 fasa saat 30 *cycle*).

### 4.2.1 Arus Hubung Singkat Maksimum

Arus hubung singkat maksimum biasanya digunakan untuk batasan arus hubung singkat terbesar yang mungkin terjadi saat terjadi gangguan. Arus gangguan hubung singkat maksimum merupakan arus hubung singkat 3 fasa saat 4 *cycle* yang di gunakan untuk *setting* rele arus lebih dengan *time delay* antara 0,08 sampai 0,5 sekon. Hasil simulasi hubung singkat maksimum dapat di lihat pada tabel di bawah ini:

**Tabel 4.1** Arus Hubung Singkat Maksimum

No	ID Bus	Tegangan (kV)	Isc Max 4 <i>Cycle</i> (kA) (3 fasa)
1	BUS 10BBA01	6,3	33,51
2	BUS 10BBB01	6,3	29,76
3	BUS 00BCA01	6,3	21,06
4	BUS 00BCB01	6,3	23,33

### 4.2.2 Arus Hubung Singkat Minimum

Arus hubung singkat minimum menjadi parameter yang digunakan untuk batas *setting pick up* rele arus lebih waktu instan. Untuk *mensetting* rele pengaman arus lebih digunakan nilai arus hubung singkat 2 fasa pada saat 30 *cycle*. Saat terjadi hubung singkat minimum rele dapat bekerja sesuai *time delay* yang telah di tentukan. Nilai hubung singkat minimum di setiap bus di tunjukan pada tabel di bawah ini :

**Tabel 4.2** Arus hubung singkat Minimum

No	ID Bus	Tegangan (kV)	Isc Min 30 Cycle (kA) (2 fasa)
1	BUS 10BBA01	6,3	18,87
2	BUS 10BBB01	6,3	17,12
3	BUS 00BCA01	6,3	14,77
4	BUS 00BCB01	6,3	13,49

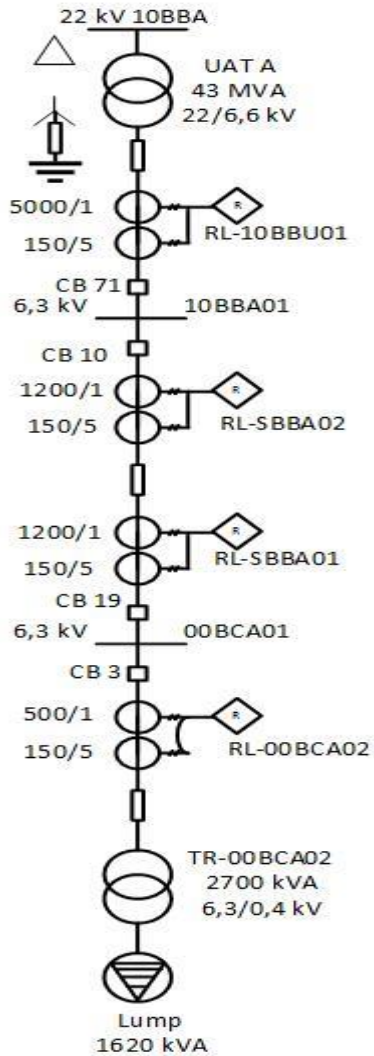
### 4.3 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa

Koordinasi ini berfungsi untuk gangguan arus lebih fasa. Gangguan tersebut adalah *short circuit* dan *overload*. Untuk mengetahui besarnya arus hubung singkat maksimum dan minimum pada masing-masing bus, digunakan studi hubung singkat untuk mengetahui besarnya arus hubung singkat maksimum dan minimum pada masing-masing bus. Koordinasi rele ini akan menentukan waktu pemutusan CB (*Circuit Breaker*) untuk beroperasi. Koordinasi *proteksi* arus lebih gangguan fasa harus bekerja sesuai *setting* waktu yang telah di tentukan dan bekerja secara baik tanpa ada miskordinasi atau rele bekerja saling mendahului, dapat di analisa melalui hasil plot rele pada kurva waktu TCC (*Time Current Curve*) kondisi *eksisting* sistem kelistrikan PT Indonesia Power UJP Adipala. Apabila hasil simulasi terdapat kondisi yang kurang tepat maka di lakukan *resetting* koordinasi rele.

Dilakukan pengaturan arus operasi dan pengaturan waktu operasi pada rele arus lebih fasa. Perhitungan arus operasi tergantung dari arus beban penuh peralatan (FLA), rasio CT dan *time dial* yang di sesuaikan dengan jenis kurva yang digunakan. Perhitungan waktu operasi atau *time delay* di sesuaikan dengan rentang waktu atau *gradding time*. Pada tugas akhir saya menggunakan *gradding time* sebesar 0,2 detik. Pada koordinasi rele arus lebih dilakukan *setting* arus dan waktu pada rele arus lebih (50/51).

#### 4.3.1 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 1A

Koordinasi rele arus lebih tipikal 1 merupakan koordinasi pengaman dari Trafo UAT A berkapasitas 43 MVA, lalu menuju trafo 00BCA02 berkapasitas 2700 KVA. Rele rele yang digunakan antara lain RL-BBU01, RL-SBBA02, RL-SBBA01 dan RL-00BCA02. Pada gambar 4.1 ditunjukkan *single line diagram* tipikal 1.



**Gambar 4.1** Single Line Diagram Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 1

Untuk menampilkan kurva waktu TCC rele arus lebih, maka diperlukan data pengaturan rele eksisting pada sistem kelistrikan tersebut. Data eksisting dari rele-rele pengamanan yang beroperasi pada tipikal 1 bisa dilihat pada Tabel 4.3.

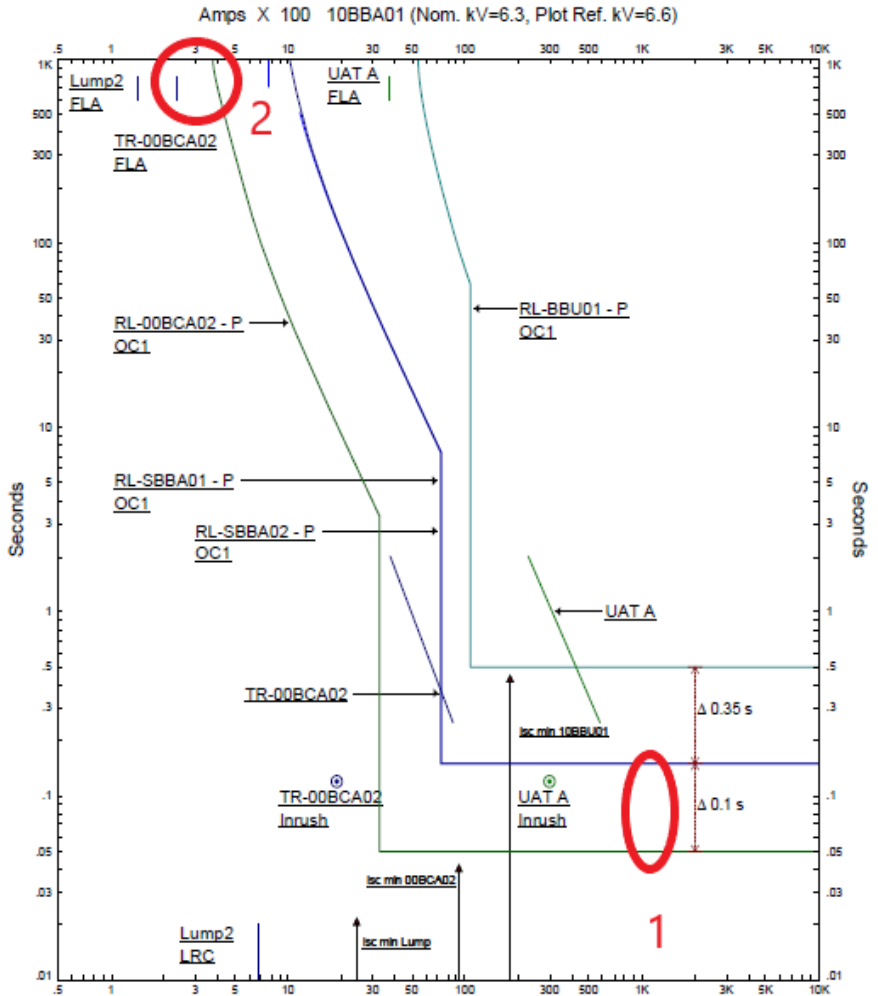
**Tabel 4.3** Data Rele Eksisting Tipikal 1

No	Rele ID & Model	CT Rasio	Setting	
1	RL-00BCA02 NARI RCS- 9622CN	500/1	<i>Curve Type</i>	<i>Extreamly Inverse</i>
			<i>Pickup Range</i>	0,05-40
			<i>Pickup</i>	0,79
			<i>Relays Amp</i>	0,79/395
			<i>Time Dial</i>	3.12
			<i>Instantaneous</i>	
			<i>Pickup Range</i>	0,05-40
			<i>Pickup</i>	6,92
			<i>Relays Amp</i>	6,92/3460
			<i>Delay</i>	0,05
2	RL-SBBA01 NARI RCS- 9625CN	1200/1	<i>Curve Type</i>	<i>Extreamly Inverse</i>
			<i>Pickup Range</i>	0,05-40
			<i>Pickup</i>	0,68
			<i>Relays Amp</i>	0,68/816
			<i>Time Dial</i>	7,3
			<i>Instantaneous</i>	
			<i>Pickup Range</i>	0,05-40
			<i>Pickup</i>	6,11
			<i>Relays Amp</i>	6,11/7332
			<i>Delay</i>	0,15
3	RL-SBBA02 NARI RCS- 9625CN	1200/1	<i>Curve Type</i>	<i>Extreamly Inverse</i>
			<i>Pickup Range</i>	0,05-40

			<i>Pickup</i>	0,68
			<i>Relays Amp</i>	0,68/816
			<i>Time Dial</i>	7,3
			<i>Instantaneous</i>	
			<i>Pickup Range</i>	0,05-40
			<i>Pickup</i>	6,11
			<i>Relays Amp</i>	6,11/7332
			<i>Delay</i>	0,15
4	RL-10BBU01 NARI RCS- 9622CN	5000/1	<i>Curve Type</i>	<i>Extreamly Inverse</i>
			<i>Pickup Range</i>	0,05-40
			<i>Pickup</i>	1,14
			<i>Relays Amp</i>	1,14/5700
			<i>Time Dial</i>	2,18
			<i>Instantaneous</i>	
			<i>Pickup Range</i>	0,05-40
			<i>Pickup</i>	2,26
			<i>Relays Amp</i>	2,26/11300
			<i>Delay</i>	0,5

Sebelum melakukan *resetting* rele pengaman, perlu dilakukan analisa pada kurva TCC (*Time Current Curve*). Apakah *setting* kurva rele pengaman telah sesuai dengan standar IEEE 242. Untuk menganalisa kurva TCC, perlu dilakukan *plotting* pada *Single Line Diagram* Tipikal 1 saat kondisi eksisting dengan memasukkan data tabel 4.3 diatas. Gambar 4.2 merupakan *Time Current Curve* dari Tipikal 1.





**Gambar 4.2** Hasil Plot Eksisting Gangguan Fasa Tipikal 1

Hasil analisa dari plot eksisting gambar 4.2 pada lingkaran merah 1 menunjukkan bahwa *gradding time* ( $\Delta t$ ) dari rele RL-00BCA02 dan rele RL-SBBA01 tidak sesuai standart, yaitu perbedaan waktu minimum pada rele ( $\Delta t$ ) antara 0,2 – 0,4 detik, Sedangkan ( $\Delta t$ ) rele tersebut sebesar 0,15

$s - 0,05s = 0,1 s$ , hal ini tidak diperbolehkan dalam *mensetting* koordinasi proteksi, karena dikhawatirkan kedua rele akan bekerja secara bersamaan.

Selain itu, pada gambar 4.2 dapat dilihat pada lingkaran merah 2, yaitu setting arus terlalu besar dari arus beban penuh (*Full Load Ampere*) yaitu 1,6 kali FLA Transformator tidak sesuai BS 142-1983 *Standart*. Untuk mengantisipasi beban penuh dianggap sebagai gangguan, *setting* harus lebih besar dari arus beban penuh (*full load ampere*). tetapi tidak terlalu besar dari arus beban penuh karena dikhawatirkan akan merusak tranformator jika terjadi terlalu lama. Berdasarkan standart, batas pemilihan relay 1,05-1,4 arus beban penuh .

Dengan pertimbangan hasil analisa koordinasi rele arus lebih tipikal 1, maka diperlukan *resetting* koordinasi rele arus lebih. Berikut ini adalah perhitungannya:

### **Rele RL-00BCA02**

<i>Manufacturer</i>	: NARI
<i>Model</i>	: RCS-9622CN
<i>Curve Type</i>	: <i>Very Inverse</i>
FLA Primer TR-00BCA02	: 247.4 A
C/T Rasio	: 500/1
Isc min	: 9,69 kA
Isc max	: 23,34 kA

### **Time Overcurrent Pickup**

$$\begin{aligned}
 1,05 \times FLA &< Iset < 1,4 \times FLA \\
 1,05 \times 247.4 &< Iset < 1,4 \times 247.4 \\
 259,77 &< Iset < 346 \\
 \frac{259,77}{500/1} &< Tap < \frac{346}{500/1} \\
 0,52 &< Tap < 0,69
 \end{aligned}$$

Dipilih:

$$\begin{aligned}
 Tap &= 0,59 \\
 Iset &= 297 \text{ A}
 \end{aligned}$$

### **Time Dial**

Dipilih waktu operasi (t) = 0,1 s

$$TD = \frac{t \times \left[ \left( \frac{I}{I_s} \right)^1 - 1 \right]}{13,5}$$

$$TD = \frac{0,1 \times \left[ \left( \frac{23340}{297} \right)^1 - 1 \right]}{13,5}$$

$$TD = 0,57$$

#### Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA < Iset < 0,8 \times I_{sc \text{ min}}$$

$$1,6 \times 247,4 < Iset < 0,8 \times 9690$$

$$395,84 < Iset < 7752$$

$$\frac{395,84}{500/1} < Tap < \frac{7752}{500/1}$$

$$0,791 < Tap < 15,5$$

Dipilih:

$$Tap = 6,92$$

$$Iset = 3460$$

$$Time Delay = 0,1$$

#### Rele RL-SBB01

<i>Manufacturer</i>	: NARI
<i>Model</i>	: RCS-9625CN
<i>Curve Type</i>	: Very Inverse
I FLA Saluran <i>Coal Handling</i>	: 677 A
C/T Rasio	: 1200/1
Isc min	: 14,77 kA
Isc max	: 32,91 kA

#### Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA < Iset < 1,4 \times FLA$$

$$1,05 \times 677 < Iset < 1,4 \times 677$$

$$710,85 < Iset < 947,8$$

$$\frac{710,85}{1200/1} < Tap < \frac{947,8}{1200/1}$$

$$0,59 < Tap < 0,79$$

Dipilih:

*Tap* = 0,68  
*Iset* = 816

Time Dial

Dipilih waktu operasi (t) = 0,3 s

$$TD = \frac{t \times \left[ \left( \frac{I}{I_s} \right)^{13,5} - 1 \right]}{13,5}$$

$$TD = \frac{0,3 \times \left[ \left( \frac{32910}{816} \right)^{13,5} - 1 \right]}{13,5}$$

$$TD = 0,874$$

Instantaneous Pickup

$1,6 \times FLA < Iset < 0,8 \times I_{sc \text{ min}}$

$1,6 \times 677 < Iset < 0,8 \times 14770$

$1083 < Iset < 11816$

$\frac{1083}{1200/1} < Tap < \frac{11816}{1200/1}$

$0,9025 < Tap < 9,846$

Dipilih:

*Tap* = 3,66

*Iset* = 4400

*Time Delay* = 0,3

**Rele RL-SBBA02**

*Manufacturer* : NARI  
*Model* : RCS-9625CN  
*Curve Type* : Very Inverse  
*I FLA Saluran Coal Handling* : 677 A  
*C/T Rasio* : 1200/1  
*Isc min* : 14,77 kA  
*Isc max* : 32,91 kA

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA < Iset < 1,4 \times FLA$$

$$1,05 \times 677 < Iset < 1,4 \times 677$$

$$710,85 < Iset < 947,8$$

$$\frac{710,85}{1200/1} < Tap < \frac{947,8}{1200/1}$$

$$0,59 < Tap < 0,79$$

Dipilih:

$$Tap = 0,68$$

$$Iset = 816$$

### Time Dial

Dipilih waktu operasi (t) = 0,3 s

$$TD = \frac{t \times \left[ \left( \frac{I}{Is} \right)^1 - 1 \right]}{13,5}$$

$$TD = \frac{0,3 \times \left[ \left( \frac{32910}{816} \right)^1 - 1 \right]}{13,5}$$

$$TD = 0,87$$

### Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA < Iset < 0,8 \times Isc \min$$

$$1,6 \times 677 < Iset < 0,8 \times 14770$$

$$1083 < Iset < 11816$$

$$\frac{1083}{1200/1} < Tap < \frac{11816}{1200/1}$$

$$0,9025 < Tap < 9,846$$

Dipilih:

$$Tap = 3,66$$

$$Iset = 4400$$

$$Time Delay = 0,3$$

## **Rele RL-BBU01**

<i>Manufacturer</i>	: NARI
<i>Model</i>	: RCS-9622CN
<i>Curve Type</i>	: <i>Very Inverse</i>
FLA Sekunder TR-10BBU01	: 3762 A
C/T Rasio	: 5000 / 1
Isc min	: 18,87 kA
Isc max	: 21,84 kA

*Time Overcurrent Pickup*

$$1,05 \times FLA < Iset < 1,4 \times FLA$$

$$1,05 \times 3762 < Iset < 1,4 \times 3762$$

$$3950 < Iset < 5267$$

$$\frac{3950}{5000/1} < Tap < \frac{5267}{5000/1}$$

$$0,79 < Tap < 1,05$$

Dipilih:

$$Tap = 0,9$$

$$Iset = 4500$$

Dipilih waktu operasi (t) = 0,5 s

$$TD = \frac{t \times \left[ \left( \frac{I}{I_s} \right)^1 - 1 \right]}{13,5}$$

$$TD = \frac{0,5 \times \left[ \left( \frac{21840}{4500} \right)^1 - 1 \right]}{13,5}$$

$$TD = 0,14$$

*Instantaneous Pickup*

$$1,6 \times FLA < Iset < 0,8 \times I_{sc \text{ min}}$$

$$1,6 \times 3762 < Iset < 0,8 \times 18870$$

$$6020 < Iset < 15096$$

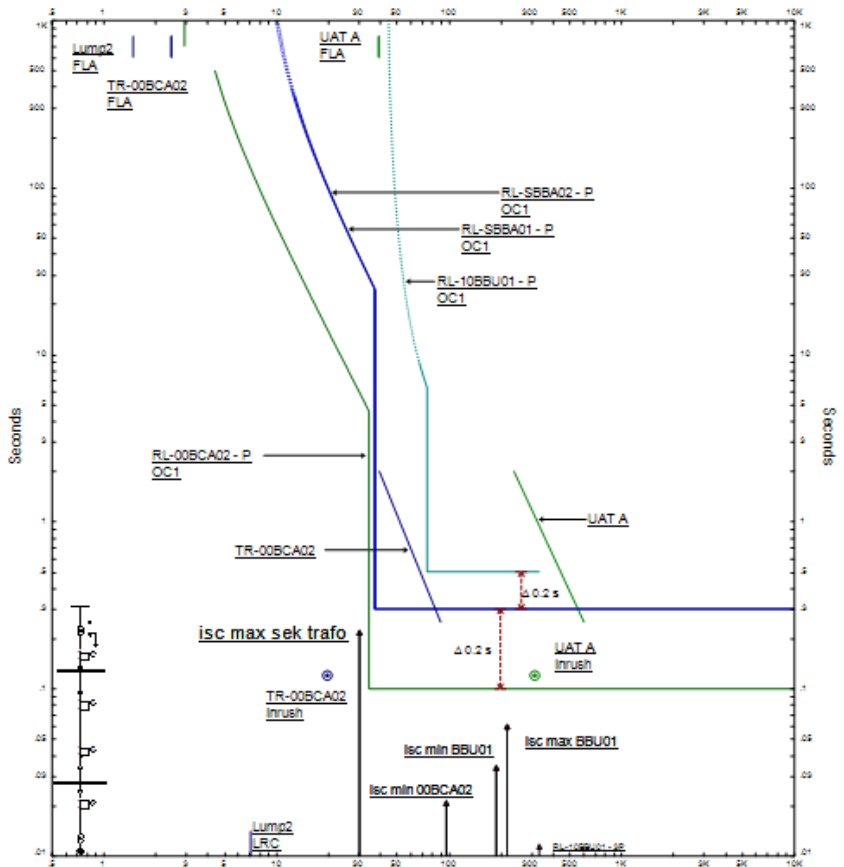
$$\frac{6020}{5000/1} < Tap < \frac{15096}{5000/1}$$

$$1,2 < Tap < 3$$

Dipilih:

*Tap* = 1,8  
*Iset* = 9405  
*Time Delay* = 0,5

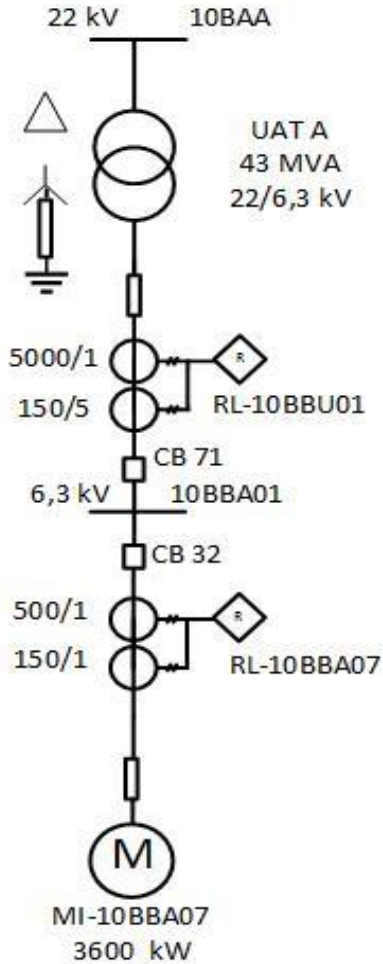
Dengan menggunakan hasil analisa perhitungan yang telah dilakukan, maka dihasilkan plot kurva arus waktu kondisi *resetting* dan hasilnya dapat dilihat pada gambar 4.3 untuk time current curve dari tipikal 1



**Gambar 4.3** Hasil Plot *Resetting* Rele Gangguan Fasa Tipikal 1

### 4.3.2 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 2

Koordinasi rele arus lebih tipikal 2 merupakan koordinasi pengaman dari Transformator UAT A yang berkapasitas 43 MVA sampe beban motor MI-10BBA07 yang berkapasitas 3600 kW, Rele rele yang digunakan antara lain RL-BBU01 dan RL-10BBA07



**Gambar 4.4** Single Line Diagram Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 2

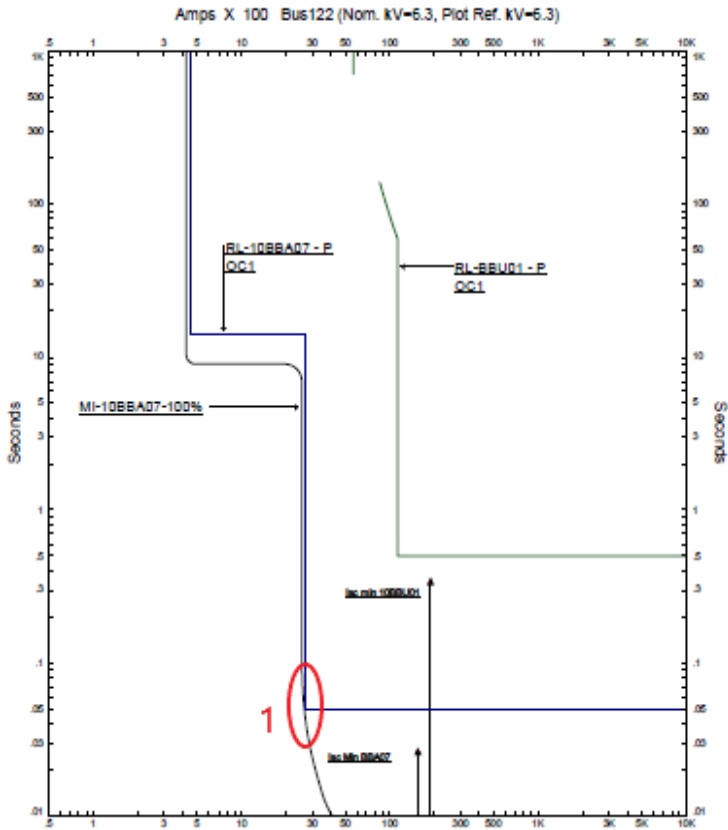


**Tabel 4.4** Data Rele *Eksisting* Tipikal 2

No	Rele ID & Model	CT Rasio	Setting	
1	RL-BBA07 NARI RCS- 9627CN	600/1	<i>Curve Type</i>	<i>Definite Time</i>
			<i>Pickup Range</i>	0,05-40
			<i>Pickup</i>	0,76
			<i>Relays Amp</i>	0,76/456
			<i>Time Dial</i>	14
			<i>Instantaneous</i>	
			<i>Pickup Range</i>	0,05-40
			<i>Pickup</i>	4,45
			<i>Relays Amp</i>	4,45/2670
			<i>Delay</i>	0,05
2	RL-10BBU01 NARI RCS- 9622CN	1200/1	<i>Curve Type</i>	<i>Definite Time</i>
			<i>Pickup Range</i>	0,05-40
			<i>Pickup</i>	1,14
			<i>Relays Amp</i>	1,14/5700
			<i>Time Dial</i>	2,18
			<i>Instantaneous</i>	
			<i>Pickup Range</i>	0,05-40
			<i>Pickup</i>	2,26
			<i>Relays Amp</i>	2,26/11300
			<i>Delay</i>	0,5

Sebelum melakukan *resetting* rele pengaman, perlu dilakukan analisa pada kurva TCC (*Time Current Curve*). Apakah *setting* kurva rele pengaman telah sesuai dengan standar IEEE 242. Untuk menganalisa kurva TCC, perlu dilakukan *plotting* pada *Single Line Diagram* Tipikal 2

saat kondisi eksisting dengan memasukkan data tabel 4.4 diatas. Gambar 4.4 merupakan *Time Current Curve* dari Tipikal 2.



**Gambar 4.5** Hasil Plot Eksisting Gangguan Fasa Tipikal 2

Hasil analisa kurva TCC (*Time Current Curve*) menunjukkan saat motor MI-10BBA07 starting, kurva rele arus lebih terlalu berhimpit dengan kurva starting motor, yang di khawatirkan saat starting motor akan langsung mati.

Dengan pertimbangan hasil analisa koordinasi rele arus lebih tipikal 2, maka diperlukan penyempurnakan agar mendapat koordinasi rele yang benar dengan *resetting* koordinasi rele arus lebih. Berikut ini adalah perhitungannya:

### **Rele RL-BBA07**

<i>Manufacturer</i>	: NARI
<i>Model</i>	: RCS-9627CN
<i>Curve Type</i>	: <i>Standart Inverse</i>
FLA Primer TR-BBA07	: 406,4 A
C/T Rasio	: 600/1
Isc min	: 15,51 kA
Isc max	: 31,68 kA

### **Time Overcurrent Pickup**

$$1,05 \times FLA < Iset < 1,4 \times FLA$$

$$1,05 \times 406,4 < Iset < 1,4 \times 406,4$$

$$426,7 < Iset < 569$$

$$\frac{426,7}{600/1} < Tap < \frac{569}{600/1}$$

$$0,71 < Tap < 0,95$$

Dipilih:

<i>Tap</i>	= 0,81
<i>Iset</i>	= 487 A
<i>Time Dial</i>	= 11

### **Instantaneous Pickup**

$$1,6 \times FLA < Iset < 0,8 \times Isc \text{ min}$$

$$1,6 \times 406,7 < Iset < 0,8 \times 15100$$

$$650 < Iset < 12080$$

$$\frac{650}{600/1} < Tap < \frac{12080}{600/1}$$

$$1.083 < Tap < 20$$

Dipilih:

<i>Tap</i>	= 6,1
<i>Iset</i>	= 3660
<i>Time Delay</i>	= 0,1

### **Rele RL-BBU01**

<i>Manufacturer</i>	: NARI
<i>Model</i>	: RCS-9622CN
<i>Curve Type</i>	: <i>Very Inverse</i>
FLA Sekunder TR-10BBU01	: 3762 A
C/T Rasio	: 5000 / 1
Isc min	: 18,87 kA
Isc max	: 21,84 kA

#### Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA < Iset < 1,4 \times FLA$$
$$1,05 \times 3762 < Iset < 1,4 \times 3762$$
$$3950 < Iset < 5267$$
$$\frac{3950}{5000/1} < Tap < \frac{5267}{5000/1}$$
$$0,79 < Tap < 1,05$$

Dipilih:

$$Tap = 0,9$$
$$Iset = 4500$$

Dipilih waktu operasi (t) = 0,5 s

$$TD = \frac{t \times \left[ \left( \frac{I}{I_S} \right)^1 - 1 \right]}{13,5}$$
$$TD = \frac{0,5 \times \left[ \left( \frac{21840}{4500} \right)^1 - 1 \right]}{13,5}$$
$$TD = 0,14$$

#### Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA < Iset < 0,8 \times Isc \text{ min}$$
$$1,6 \times 3762 < Iset < 0,8 \times 18870$$
$$6020 < Iset < 15096$$
$$\frac{6020}{5000/1} < Tap < \frac{15096}{5000/1}$$
$$1,2 < Tap < 3$$

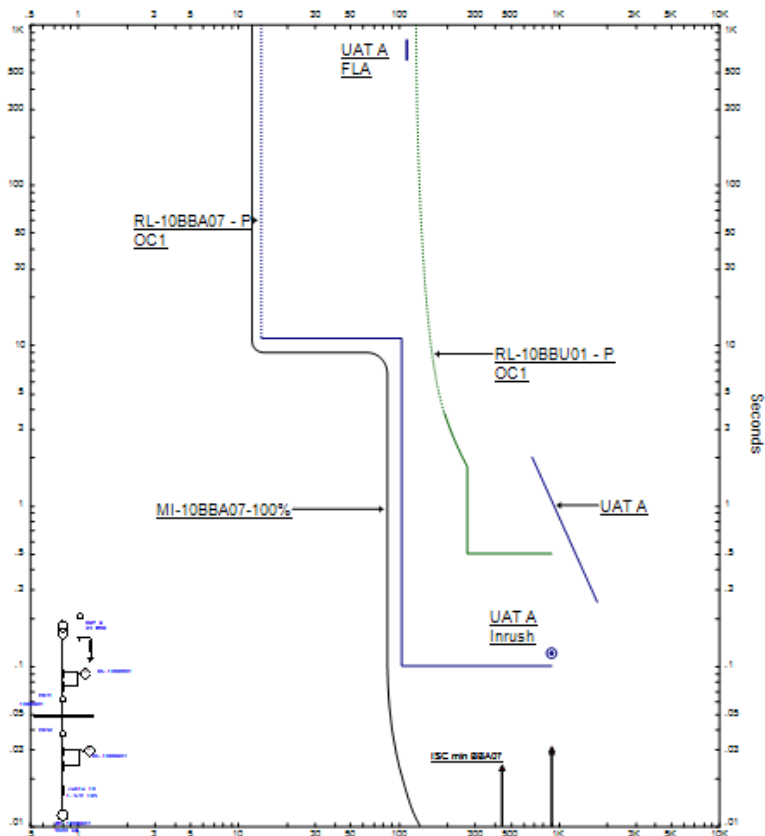
Dipilih:

Tap = 1,8

Iset = 9405

Time Delay = 0,5

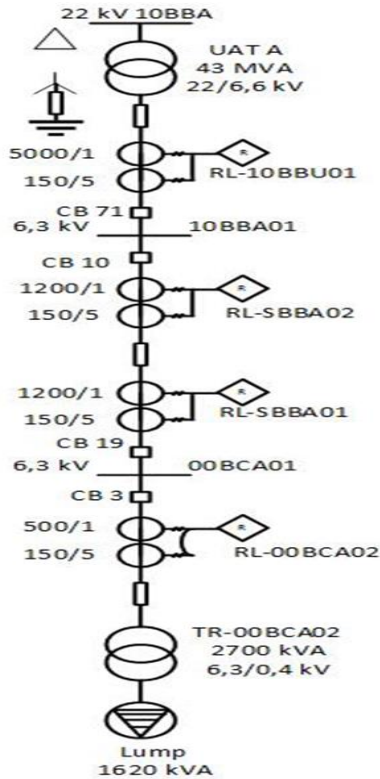
Dengan menggunakan hasil analisa perhitungan yang telah dilakukan, maka dihasilkan plot kurva arus waktu kondisi *resetting* dan hasilnya dapat dilihat pada gambar 4.4 untuk time current curve dari tipikal 2



**Gambar 4.6** Hasil Plot Resetting Rele Gangguan Fasa Tipikal 2

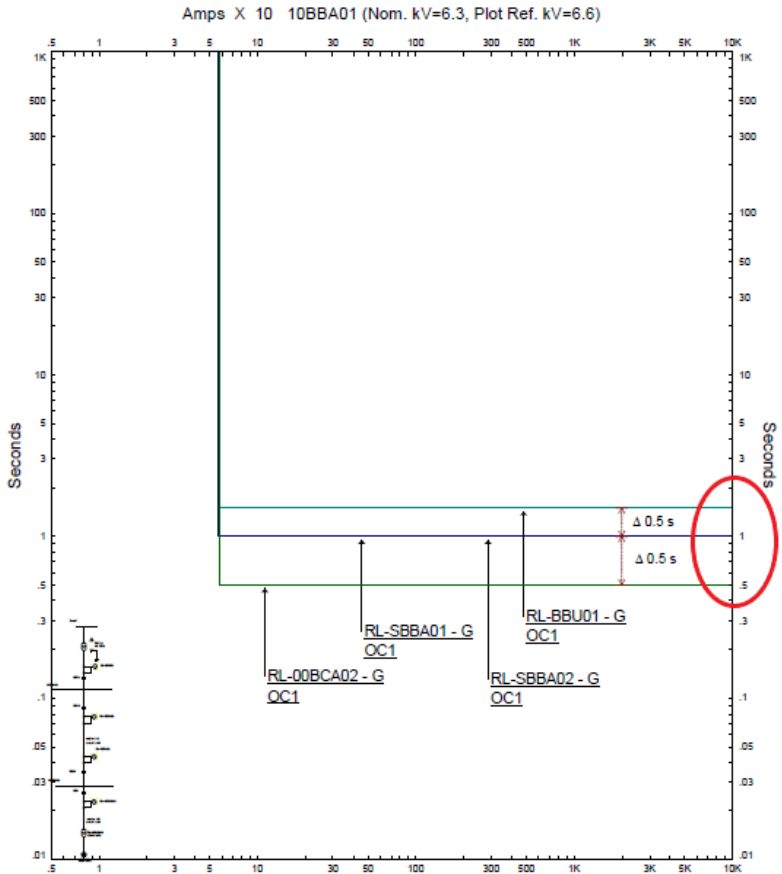
#### 4.4 Koordinasi Rele Gangguan Fasa Ke Tanah

Pada sistem kelistrikan PLTU Adipala terdapat rele arus lebih tanah yang berfungsi untuk melindungi saat ada gangguan hubung singkat satu fasa ketanah. Nilai arus lebih gangguan ketanah sangat dipengaruhi oleh pemasangan NGR (*Neutral Grounding Resistor*), arus hubung singkat ketanah terbesar adalah sama dengan nilai arus NGR. Pada sistem kelistrikan PT Indonesia power ujp adipala terpasang NGR pada transformator UAT. Berikut merupakan tipikal koordinasi rele arus lebih fasa ketanah dari Transformator UAT A berkapasitas 43 MVA sampai dengan transformator 00BCA02 berkapasitas 2700 kVA yang melalui rele-rele Rele rele yang digunakan antara lain RL-BBU01, RL-SBBA02, RL-SBBA01 dan RL-00BCA02:



Gambar 4.7 Single Line Diagram Tipikal Ground Fault

Untuk mengetahui koordinasi proteksi gangguan tanah dari sistem *existing* maka diperlukan simulasi dengan diberikan gangguan dan melihat plot TCC, berikut merupakan hasil dari plot TCC.



**Gambar 4.8** Kurva Koordinasi Rele Arus Lebih *Ground Eksisting*

Hasil *plot* kurva *eksisting* gangguan fasa ke tanah pada gambar 4.8 dapat dilihat bahwa koordinasi kurva proteksi ini kurang tepat, karena saat terjadi gangguan fasa ketanah waktu yang diperlukan rele RL-00BCA02-G untuk memutuskan gangguan 0,5 s. Hal ini tidak diperkenankan karena waktu rele harus lebih cepat dari itu, agar bisa cepat teratasi yaitu di mulai dari 0,1 s, Selain itu dapat dilihat bahwa perbedaan waktu ( $\Delta t$ ) dengan rele backup sebesar 0,5 s, yang mana setting tersebut terlalu besar. Dengan pertimbangan hasil analisa koordinasi rele arus lebih ketanah, maka diperlukan penyempurnakan agar mendapat koordinasi rele yang benar. Berikut ini adalah perhitungannya:

### **Rele RL-10BCA01**

*Manufacturer* : NARI

*Model* : RCS-9622CN

*CT Ratio* : 150/5

Isc LG : 190 A

*Instantaneous Pickup*

$$10\% \times \text{Isc LG} < \text{Iset} < 50\% \times \text{Isc LG}$$

$$10\% \times 190 \text{ A} < \text{Iset} < 50\% \times 190 \text{ A}$$

$$19 \text{ A} < \text{Iset} < 95 \text{ A}$$

Dipilih Iset = 25A

$$\text{Maka pickup} = \frac{\text{Iset Primer}}{\text{Rasio CT}} = \frac{25}{150} = 0,17$$

*Time delay*

dipilih *time delay* = 0,1 detik

### **Rele RL SBBA01**

*Manufacturer* : NARI

*Model* : RCS-9625CN

*CT Ratio* : 150/5

Isc LG : 190 A

*Instantaneous Pickup*

$$10\% \times \text{Isc LG} < \text{Iset} < 50\% \times \text{Isc LG}$$

$$10\% \times 190 \text{ A} < \text{Iset} < 50\% \times 190 \text{ A}$$

$$19 \text{ A} < \text{Iset} < 95 \text{ A}$$

Dipilih Iset = 19 A



$$\text{Maka pickup} = \frac{\text{Iset Primer}}{\text{Rasio CT}} = \frac{25}{150} = 0,17$$

*Time delay*

dipilih *time delay* = 0,4 detik

### **Rele RL-SBBA02**

*Manufacturer* : NARI

*Model* : RCS-9625CN

*CT Ratio* : 150/5

Isc LG : 190 A

*Instantaneous Pickup*

10% x Isc LG < Iset < 50% x Isc LG

10% x 190 A < Iset < 50% x 190 A

19 A < Iset < 95 A

Dipilih Iset = 19 A

$$\text{Maka pickup} = \frac{\text{Iset Primer}}{\text{Rasio CT}} = \frac{25}{150} = 0,17$$

*Time delay*

dipilih *time delay* = 0,4 detik

### **Rele RL-10BBU01**

*Manufacturer* : NARI

*Model* : RL-BBU01

*CT Ratio* : 150/5

Isc LG : 190 A

*Instantaneous Pickup*

10% x Isc LG < Iset < 50% x Isc LG

10% x 190 A < Iset < 50% x 190 A

19 A < Iset < 95 A

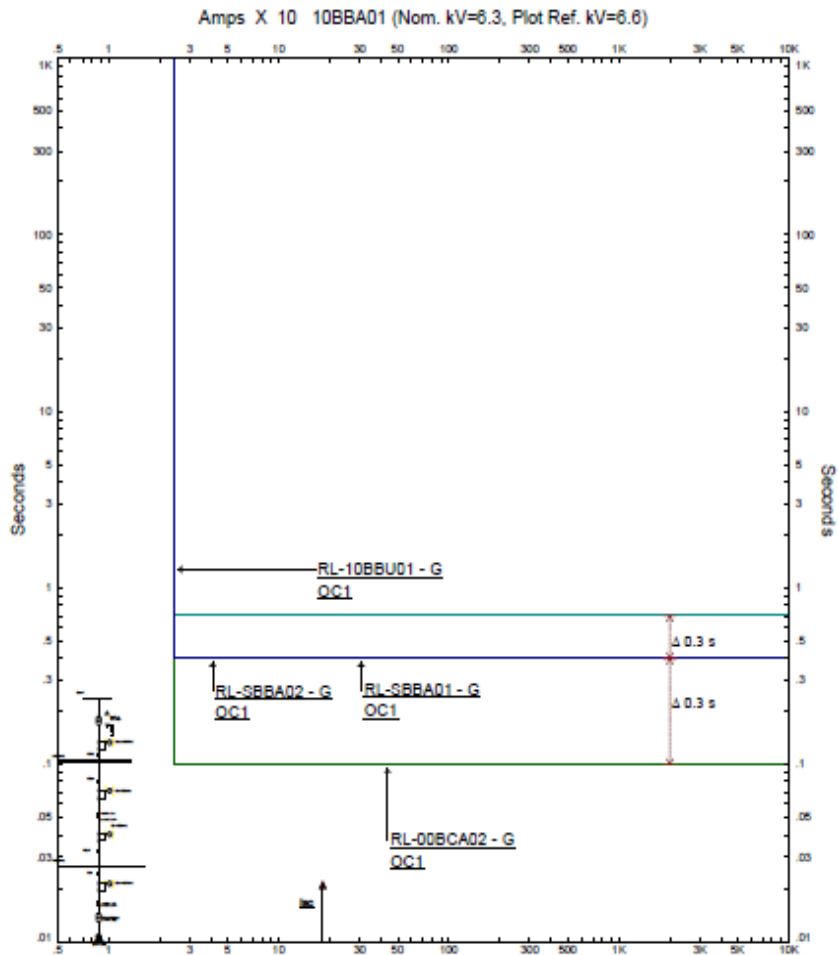
Dipilih Iset = 19 A

$$\text{Maka pickup} = \frac{\text{Iset Primer}}{\text{Rasio CT}} = \frac{25}{150} = 0,17$$

*Time delay*

dipilih *time delay* = 0,7 detik

Hasil *resetting* rele arus lebih gangguan ke tanah dapat dilihat pada gambar 4.9 :



**Gambar 4.9** Kurva Koordinasi Rele Arus Lebih Ground Resetting

## 4.5 Analisa Kondisi Eksisting *Setting Rele Differential Bus 22kV*

Peralatan proteksi busbar 22kV dirancang untuk mengamankan peralatan busbar ketika terjadi gangguan hubung singkat pada busbar. Gangguan hubung singkat pada busbar dampaknya sangat besar terhadap ketahanan peralatan instalasi, menimbulkan masalah stabilitas transient, dan menimbulkan pemadaman yang meluas. Oleh karena itu fungsi proteksi busbar adalah mencegah kerusakan peralatan instalasi dan mencegah pemadaman secara menyeluruh (*blackout*). Sistem proteksi pada busbar harus bekerja tanpa tunda waktu (*instantaneous*) apabila terjadi gangguan di dalam zona proteksinya. Namun untuk gangguan yang terjadi di luar zona proteksiannya rele tidak boleh bekerja.

Analisa arus gangguan hubung singkat pada software ETAP 12.6.0 berfungsi untuk mendapatkan nilai arus hubung singkat yang dipertimbangkan saat *setting* rele diferensial .waktu kerja rele diferensial  $\frac{1}{2} - 4 \text{ cycle}$  . Arus hubung singkat saat  $\frac{1}{2} \text{ cycle}$  digunakan untuk *setting* rele diferensial

*Setting* pada rele diferensial dapat dilakukan dengan cara perhitungan manual. Parameter yang dihitung antara lain  $I_{Diff}$  ,  $I_{Restrain}$  dan *slope*. Rele diferensial memiliki karakteristik arus yang masuk sama dengan arus yang keluar. Simulasi hubung singkat dilakukan pada bus yang mewakili saat terjadi gangguan di dalam area yang diamankan (gangguan *internal*) dan gangguan di luar area yang diamankan (gangguan *eksternal*).

### Spesifikasi rele:

<i>Manufacturer</i>	= NARI
Tipe Relay	= RCSS-985B
I_Pkp_PcntDiff	= 0,10 - 2,0 (Ie) step 0,01
I_InstDiff	= 4.0 - 14.0 (Ie) step 0,01
Slope1_PcntDiff	=0,05 - 0,80 step 0,01
Slope2_PcntDiff	=0,40 - 0,80 step 0,01
BreakPoint 1	= Ie(fix)
Breakpoint 2	= 6Ie(fix)

### *Setting Exsisting*

$I_{Pkp\_PcntDiff}$	= 0,8 Ie
$I_{InstDiff}$	= 5,5 Ie
$Slope1\_PcntDiff$	= 0,6
$Slope2\_PcntDiff$	= 0,6

### **Bagian Primer Rele Differential**

#### **CT-1**

Tegangan	= 500 kV
Kapasitas	= 800 MVA
Rasio CT	= 2000/5
CT Class	= 5P20
$I_p(\text{Primer CT})$	$= \frac{800000}{\sqrt{3} \times 500} = 923,8 \text{ A}$
$I_s(\text{Sekunder CT})$	$= \frac{923,8}{\frac{2000}{5}} = 2,309 \text{ A}$

### **Bagian Sekunder Rele Differential**

#### **CT-2**

Tegangan	= 22
Kapasitas	= 43 MVA
Rasio CT	= 6000/1
CT Class	= 5P20
$I_p(\text{Primer CT})$	$= \frac{43000}{\sqrt{3} \times 22} = 1128,5 \text{ A}$
$I_s(\text{Sekunder CT})$	$= \frac{1128,5}{\frac{6000}{1}} = 0,188 \text{ A}$

### **Bagian Sekunder Rele Differential**

#### **CT-3**

$$\begin{aligned}
\text{Tegangan} &= 22 \\
\text{Kapasitas} &= \frac{660}{0,85} = 776,5 \text{ MVA} \\
\text{Rasio CT} &= 28000/5 \\
\text{CT Class} &= 5P20 \\
I_p(\text{Primer CT}) &= \frac{776500}{\sqrt{3} \times 22} = 20377,8 \text{ A} \\
I_s(\text{Sekunder CT}) &= \frac{20377,8}{\frac{28000}{5}} = 3,639 \text{ A}
\end{aligned}$$

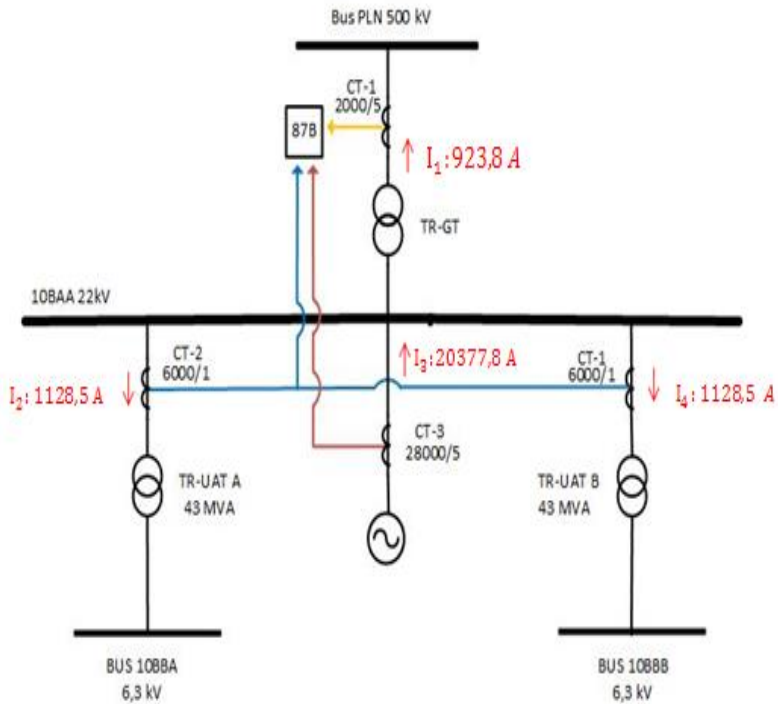
### **Bagian Sekunder Rele Differential**

#### **CT-4**

$$\begin{aligned}
\text{Tegangan} &= 22 \\
\text{Kapasitas} &= 43 \text{ MVA} \\
\text{Rasio CT} &= 6000/1 \\
\text{CT Class} &= 5P20 \\
I_p(\text{Primer CT}) &= \frac{43000}{\sqrt{3} \times 22} = 1128,5 \text{ A} \\
I_s(\text{Sekunder CT}) &= \frac{1128,5}{\frac{6000}{1}} = 0,188 \text{ A}
\end{aligned}$$

#### **4.5.1 Kondisi Normal**

Kondisi normal merupakan kondisi tanpa adanya gangguan baik gangguan *internal* maupun *eksternal system* sehingga daya yang dibangkitkan oleh generator mengalir melalui transformator UAT A, UAT B, atau GT menuju ke beban. Pemodelan sistem dan rele diferensial pada kondisi normal dapat dilihat pada gambar 4.10



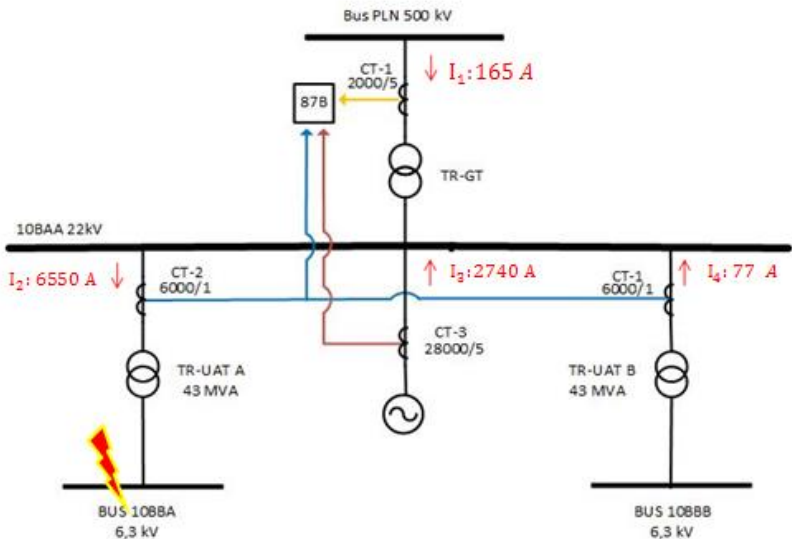
**Gambar 4.10** Permodelan Kondisi normal

$$\begin{aligned}
 I_{Diff} &= |I_3 - (I_1 + I_2 + I_4)| \\
 &= \left| \left( \frac{20377,8}{28000/5} \right) - \left( \left( \frac{923,8 \times \sqrt{3}}{2000/5} \right) + \left( \frac{1128,5}{6000/1} \right) + \left( \frac{1128,5}{6000/1} \right) \right) \right| \\
 &= |(3,639) - ((4,000) + (0,188) + (0,188))| \\
 &= |(3,639) - (4,376)| \\
 &= 0,737 \text{ A} \\
 I_{Restrained} &= \frac{|I_1| + |I_2| + |I_3| + |I_4|}{2} \\
 &= \frac{|3,639| + |0,188| + |4,000| + |0,188|}{2} \\
 &= 4,008 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Slope} &= \frac{I_{Diff}}{I_{Restrained}} \times 100\% \\ &= \frac{0,737}{4,008} \times 100\% \\ &= 18,39\% \end{aligned}$$

#### 4.5.2 Kondisi Gangguan Eksternal 3 Fasa di Bus 10BBA

Pada saat kondisi gangguan hubung singkat 3 fasa di unit Bus 10BBA, maka seluruh arus akan menuju titik gangguan yaitu Unit Bus 10BBA. Hal tersebut menyebabkan perubahan arah arus dari transformator GT dan Tranformator UAT B menuju titik gangguan di unit Bus 10BBA. Pada I1 dan I4 berkebalikan arah alirannya dari kondisi normalnya sehingga ditandai (-). Pemodelan sistem dan rele diferensial saat hubung singkat 3 fasa di Unit Bus 10BBAA dapat dilihat pada gambar 4.11



**Gambar 4.11** Permodelan Hubung Singkat 3 Fasa di Unit Bus 10BBA

$$\begin{aligned}
I_{Diff} &= |I_3 - (I_1 + I_2 + I_4)| \\
&= |I_3 - (-I_1 + I_2 - I_4)| \\
&= \left| \left( \frac{2740}{28000/5} \right) - \left( \left( -\frac{165\sqrt{3}}{2000/5} \right) + \left( \frac{6550}{6000/1} \right) - \left( \frac{77}{6000/1} \right) \right) \right| \\
&= |(0,489) - ((-0,714) + (1,092) + (-0,013))| \\
&= |(0,489) - (0,365)| \\
&= 0,125 \text{ A}
\end{aligned}$$

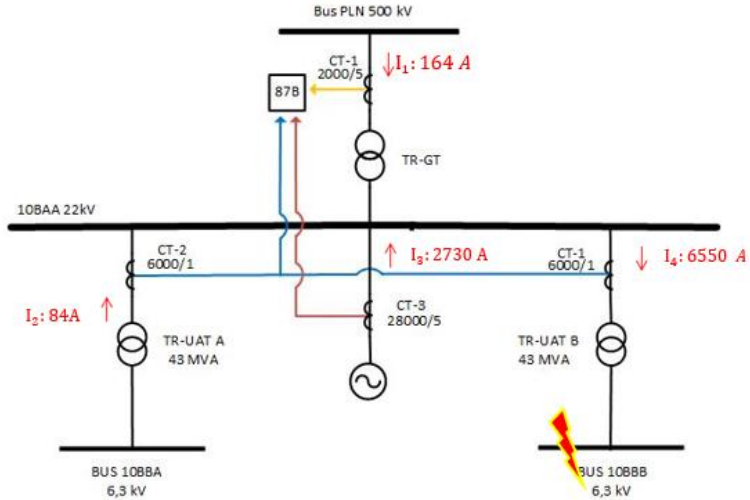
$$\begin{aligned}
I_{Restraining} &= \frac{|I_1| + |I_2| + |I_3| + |I_4|}{2} \\
&= \frac{|0,714| + |1,092| + |0,489| + |0,013|}{2} \\
&= 1,154 \text{ A}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Slope} &= \frac{I_{Diff}}{I_{Restraining}} \times 100\% \\
&= \frac{0,125}{1,154} \times 100\% \\
&= 10,824\%
\end{aligned}$$

### 4.5.3 Kondisi Gangguan Eksternal di Unit Bus 10BBB 3 Fasa

Pada saat kondisi gangguan hubung singkat 3 fasa di unit Bus 10BBB, maka seluruh arus akan menuju titik gangguan yaitu Unit Bus 10BBB. Hal tersebut menyebabkan perubahan arah arus dari transformator GT dan Tranformator UAT A menuju titik gangguan di unit Bus 10BBB. Pada I1 dan I2 berkebalikan arah alirannya saat kondisi normal sehingga ditandai (-). Pemodelan sistem dan rele diferensial saat hubung singkat 3 Fasa di Unit Bus 10BBB dapat dilihat pada gambar 4.12





**Gambar 4.12** Permodelan Hubung Singkat 3 Fasa di Unit Bus 10BBB

$$\begin{aligned}
 I_{Diff} &= |I_3 - (I_1 + I_2 + I_4)| \\
 &= |I_3 - (-I_1 - I_2 + I_4)| \\
 &= \left| \left( \frac{2730}{28000/5} \right) - \left( \left( -\frac{164 \times \sqrt{3}}{2000/5} \right) - \left( \frac{84}{6000/1} \right) + \left( \frac{6550}{6000/1} \right) \right) \right| \\
 &= |(0,488) - ((-0,71) - (0,014) + (1,092))| \\
 &= |(0,488) - (0,368)| \\
 &= 0,12 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{Restrained} &= \frac{|I_1| + |I_2| + |I_3| + |I_4|}{2} \\
 &= \frac{|0,71| + |0,014| + |0,488| + |1,092|}{2} \\
 &= 1,152 \text{ A}
 \end{aligned}$$

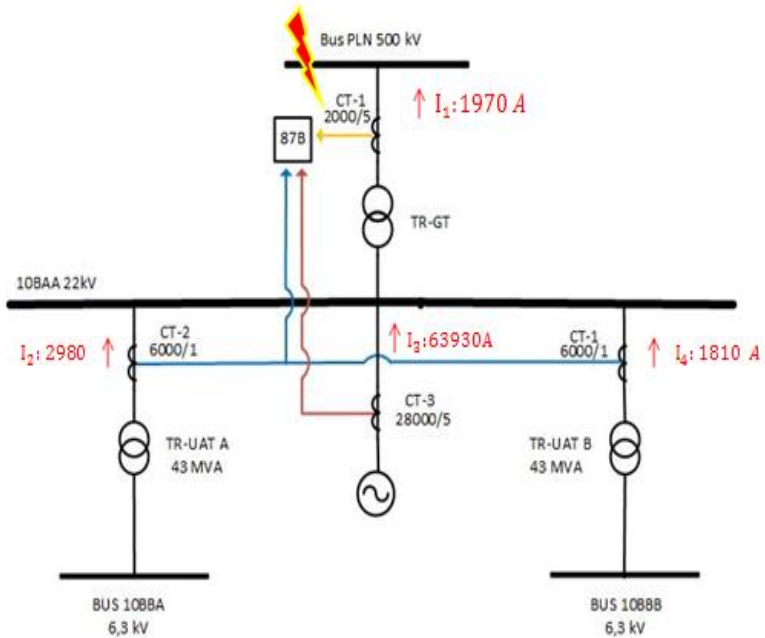
$$\text{Slope} = \frac{I_{Diff}}{I_{Restrained}} \times 100\%$$

$$= \frac{0,12}{1,152} \times 100 \%$$

$$= 10,41 \%$$

#### 4.5.4 Kondisi Kondisi Gangguan Eksternal 3 Fasa di Bus 500 kV

Pada saat kondisi gangguan hubung singkat 3 fasa di unit bus 500kV, maka seluruh arus akan menuju titik gangguan yaitu bus 500kV. Hal tersebut menyebabkan perubahan arah arus dari transformator UAT A dan Tranformator UAT B menuju titik gangguan di bus 500kV. Pada I2 dan I4 berkebalikan arah alirannya dari kondisi normal sehingga ditandai (-). Pemodelan sistem dan rele diferensial saat hubung singkat 3 phasa di bus 500kV dapat dilihat pada gambar 4.13



**Gambar 4.13** Permodelan Hubung Singkat 3 Fasa di Bus 500 kV

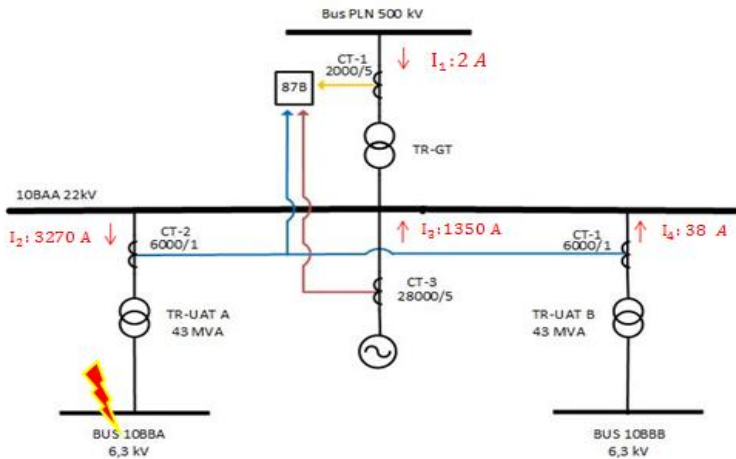
$$\begin{aligned}
I_{Diff} &= |I_3 - (I_1 + I_2 + I_4)| \\
&= |I_3 - (I_1 - I_2 - I_4)| \\
&= \left| \left( \frac{63930}{28000/5} \right) - \left( \left( \frac{2980 \times \sqrt{3}}{2000/5} \right) - \left( \frac{1970}{6000/1} \right) - \left( \frac{1810}{6000/1} \right) \right) \right| \\
&= |(11,416) - ((12,904) - (0,328) - (0,302))| \\
&= |(11,416) - (12,274)| \\
&= 0,858 \text{ A}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I_{Restrained} &= \frac{|I_1| + |I_2| + |I_3| + |I_4|}{2} \\
&= \frac{|12,904| + |0,328| + |11,416| + |0,302|}{2} \\
&= 12,475 \text{ A}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Slope} &= \frac{I_{Diff}}{I_{Restrained}} \times 100\% \\
&= \frac{0,858}{12,475} \times 100\% \\
&= 6,87\%
\end{aligned}$$

#### 4.5.5 Kondisi Gangguan Eksternal di Bus 10BBA 2 Fasa

Saat terjadi hubung singkat 2 Fasa di Unit Bus 10BBA, maka seluruh arus akan menuju titik gangguan yaitu Unit Bus 10BBA. Hal tersebut menyebabkan perubahan arah arus pada UAT B dan GT. Perubahan arah arus ditandai dengan tanda negatif pada  $I_1$  dan  $I_4$ . Pemodelan sistem dan rele diferensial saat hubung singkat 3 Fasa di Unit Bus 10BBA dapat dilihat pada gambar 4.26.

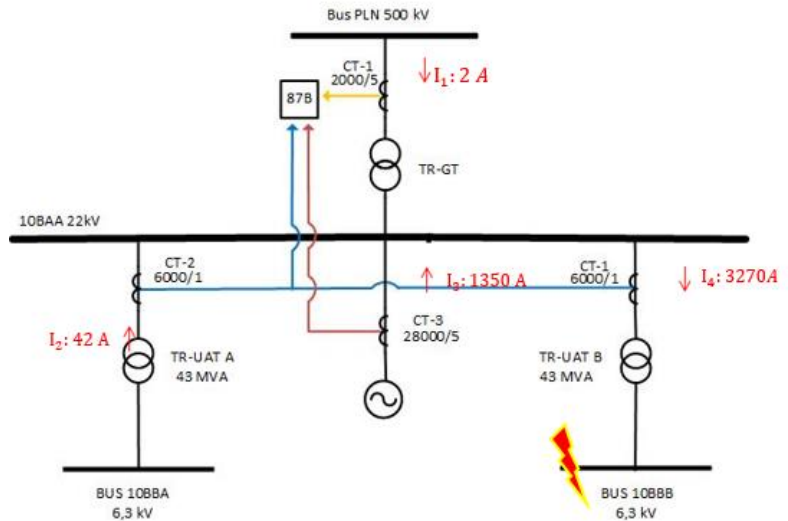


**Gambar 4.14** Permodelan Hubung Singkat 2 Fasa di Bus 10BBA01

$$\begin{aligned}
 I_{Diff} &= |I_3 - (I_1 + I_2 + I_4)| \\
 &= |I_3 - (-I_1 + I_2 - I_4)| \\
 &= \left| \left( \frac{1350}{28000/5} \right) - \left( \left( -\frac{2 \times \sqrt{3}}{2000/5} \right) + \left( \frac{3270}{6000/1} \right) - \left( \frac{38}{6000/1} \right) \right) \right| \\
 &= |(0,241) - ((-0,009) + (0,545) + (-0,006))| \\
 &= |(0,241) - (0,53)| \\
 &= 0,289 \text{ A} \\
 I_{Restrained} &= \frac{|I_1| + |I_2| + |I_3| + |I_4|}{2} \\
 &= \frac{|0,009| + |0,545| + |0,241| + |0,006|}{2} \\
 &= 0,4 \text{ A} \\
 \text{Slope} &= \frac{I_{Diff}}{I_{Restrained}} \times 100\% \\
 &= \frac{0,289}{0,4} \times 100\% \\
 &= 72,1\%
 \end{aligned}$$

#### 4.5.6 Kondisi Gangguan Eksternal 2 Fasa di Unit Bus 10BBB

Pada saat kondisi gangguan hubung singkat 2 fasa di unit Bus 10BBB, maka seluruh arus akan menuju titik gangguan yaitu Unit Bus 10BBB. Hal tersebut menyebabkan perubahan arah arus dari transformator GT dan Tranformator UAT A menuju titik gangguan di unit bus 10BBB. Arus pada I1 dan I2 berkebalikan arah alirannya dari kondisi normal sehingga ditandai (-). Pemodelan sistem dan rele diferensial saat hubung singkat 2 fasa di Unit bus 10BBB dapat dilihat pada gambar 4.15



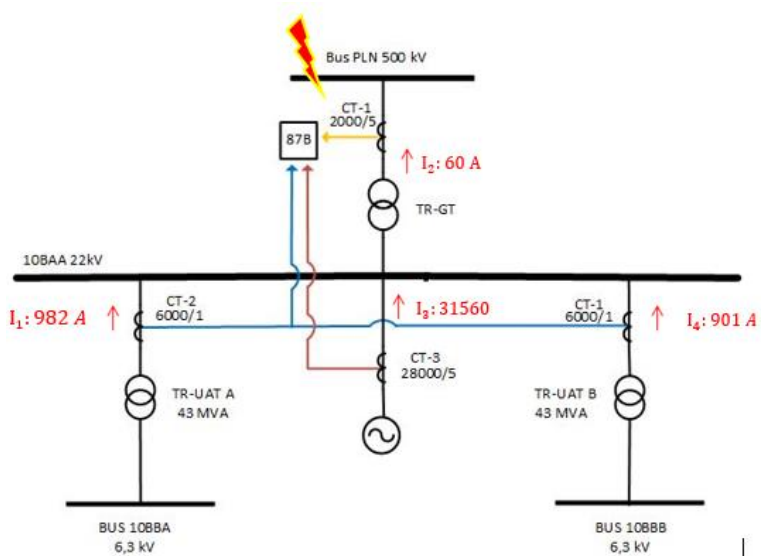
**Gambar 4.15** Permodelan Hubung Singkat 2 Phasa di Bus 10BBB

$$\begin{aligned}
 I_{Diff} &= |I_3 - (I_1 + I_2 + I_4)| \\
 &= |I_3 - (-I_1 - I_2 + I_4)| \\
 &= \left| \left( \frac{1350}{28000/5} \right) - \left( \left( -\frac{2 \times \sqrt{3}}{2000/5} \right) - \left( \frac{42}{6000/1} \right) + \left( \frac{3270}{6000/1} \right) \right) \right|
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= |(0,241) - ((-0,009) - (0,007) + 0,545)| \\
&= |(0,241) - (0,529)| \\
&= 0,288 \text{ A} \\
I_{\text{Restrained}} &= \frac{|I_1| + |I_2| + |I_3| + |I_4|}{2} \\
&= \frac{|0,009| + |0,007| + |0,241| + |0,545|}{2} \\
&= 0,401 \text{ A} \\
\text{Slope} &= \frac{I_{\text{Diff}}}{I_{\text{Restrained}}} \times 100\% \\
&= \frac{0,288}{0,401} \times 100\% \\
&= 71,9\%
\end{aligned}$$

#### 4.5.7 Kondisi Gangguan Eksternal 2 Fasa di Bus 500 kV

Pada saat kondisi gangguan hubung singkat 2 fasa di unit bus 500kV, maka seluruh arus akan menuju titik gangguan yaitu bus 500kV. Hal tersebut menyebabkan perubahan arah arus dari transformator UAT A dan Tranformator UAT B menuju titik gangguan di bus 500kV. Pada I2 dan I4 berkebalikan arah aliran arusnya dari kondisi normal sehingga ditandai (-). Pemodelan sistem dan rele diferensial saat hubung singkat 2 Fasa di bus 500kV dapat dilihat pada gambar 4.16



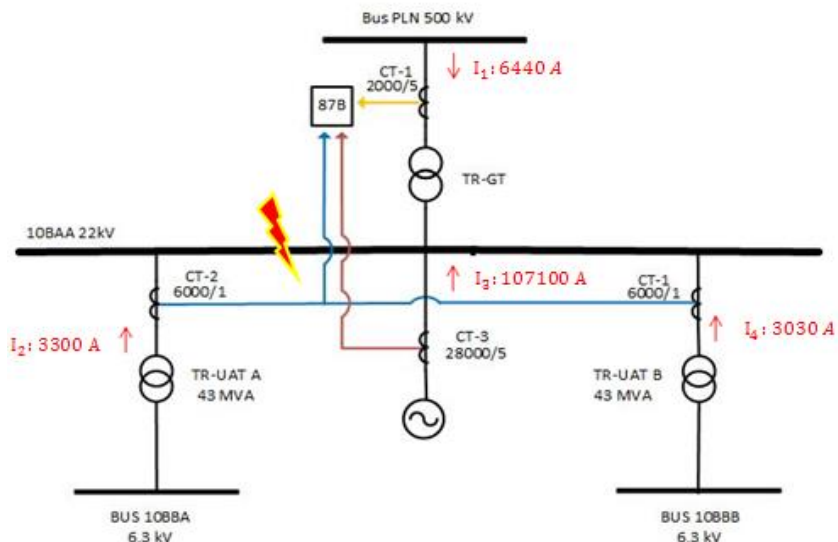
**Gambar 4.16** Permodelan Hubung Singkat 2 Fasa di Bus 500kV

$$\begin{aligned}
 I_{Diff} &= |I_3 - (I_1 + I_2 + I_4)| \\
 &= |I_3 - (I_1 - I_2 - I_4)| \\
 &= \left| \left( \frac{31560}{28000/5} \right) - \left( \left( \frac{60 \times \sqrt{3}}{2000/5} \right) - \left( \frac{982}{6000/1} \right) - \left( \frac{901}{6000/1} \right) \right) \right| \\
 &= |(5,636) - ((0,260) - (0,164) - (0,150))| \\
 &= |(5,636) - (-0,054)| \\
 &= 5,69 \text{ A} \\
 I_{Restraining} &= \frac{|I_1| + |I_2| + |I_3| + |I_4|}{2} \\
 &= \frac{|0,260| + |0,164| + |5,636| + |0,150|}{2} \\
 &= 3,105 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Slope} &= \frac{I_{Diff}}{I_{Restrained}} \times 100\% \\ &= \frac{5,69}{3,105} \times 100\% \\ &= 183,26\% \end{aligned}$$

#### 4.5.8 Kondisi Gangguan Internal tiga fasa di Bus 10BAA

Pada saat kondisi gangguan hubung singkat 3 fasa internal pada bus 10BAA, maka seluruh arus akan menuju titik gangguan yaitu pada bus 10BAA. Hal tersebut menyebabkan perubahan arah arus dari transformator UAT A, Transformator UAT A dan Tranformator UAT B menuju titik gangguan di bus 10BBA. Arah arus berubah, sehingga pada I1, I2 dan I4 berkebalikan arah alirannya saat kondisi normal sehingga ditandai (-). Pemodelan sistem dan rele diferensial saat hubung singkat 3 fasa internal di bus 10BBA dapat dilihat pada gambar 4.17



**Gambar 4.17** Permodelan Hubung Singkat Internal 3 fasa pada bus 10BBA



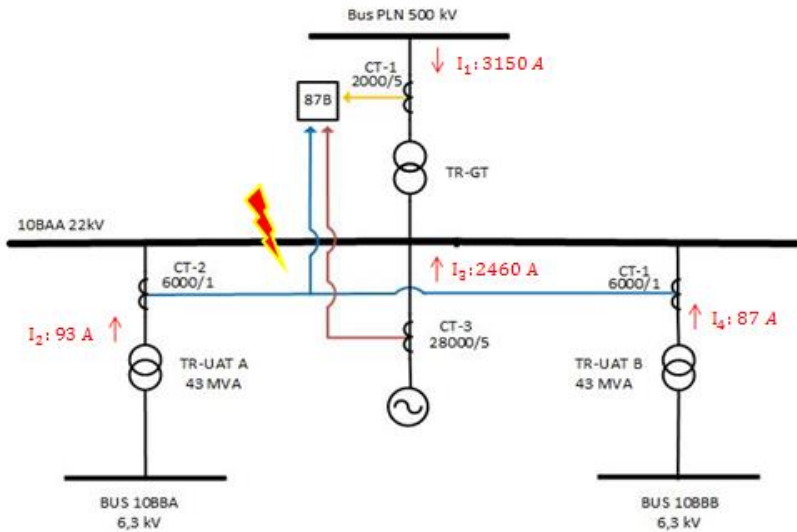
$$\begin{aligned}
I_{Diff} &= |I_3 - (I_1 + I_2 + I_4)| \\
&= |I_3 - (-I_1 - I_2 - I_4)| \\
&= \left| \left( \frac{107100}{28000/5} \right) - \left( - \left( \frac{6440 \times \sqrt{3}}{2000/5} \right) - \left( \frac{3300}{6000/1} \right) - \left( \frac{3030}{6000/1} \right) \right) \right| \\
&= |(19,125) - (- (27,886) - (0,55) - (0,505))| \\
&= |(19,125) - (-28,941)| \\
&= 48,066 \text{ A}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I_{Restrained} &= \frac{|I_1| + |I_2| + |I_3| + |I_4|}{2} \\
&= \frac{|27,886| + |0,55| + |19,125| + |0,505|}{2} \\
&= 24,033 \text{ A}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Slope} &= \frac{I_{Diff}}{I_{Restrained}} \times 100\% \\
&= \frac{48,066}{24,033} \times 100\% \\
&= 200\%
\end{aligned}$$

#### 4.5.9 Kondisi Gangguan Internal di Bus 10BAA 2 Fasa

Saat terjadi hubung singkat 2 fasa di Bus 10BAA, maka seluruh arus akan menuju titik gangguan yaitu bus 10BAA. Hal tersebut menyebabkan perubahan arah arus pada UAT A, UAT B dan GT. Perubahan arah arus ditandai dengan tanda negatif pada I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub> dan I<sub>4</sub>. Pemodelan sistem dan rele diferensial saat hubung singkat 2 fasa di bus 10BAA dapat dilihat pada gambar 4.18.



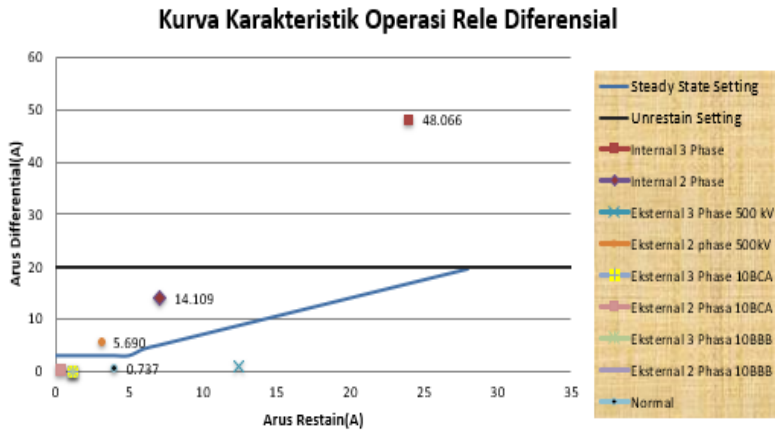
**Gambar 4.18** Permodelan Hubung 2 Fasa di Bus 10BAA

$$\begin{aligned}
 I_{Diff} &= |I_3 - (I_1 + I_2 + I_4)| \\
 &= |I_3 - (-I_1 - I_2 - I_4)| \\
 &= \left| \left( \frac{2460}{28000/5} \right) - \left( - \left( \frac{3150 \times \sqrt{3}}{2000/5} \right) - \left( \frac{93}{6000/1} \right) - \left( \frac{87}{6000/1} \right) \right) \right| \\
 &= |(0,439) - (-(13,64) - (0,016) - (0,015))| \\
 &= |(0,439) - (-13,671)| \\
 &= 14,14 \text{ A} \\
 I_{Restrained} &= \frac{|I_1| + |I_2| + |I_3| + |I_4|}{2} \\
 &= \frac{|13,671| + |0,016| + |0,439| + |0,015|}{2} \\
 &= 7,07 \text{ A} \\
 \text{Slope} &= \frac{I_{Diff}}{I_{Restrained}} \times 100\%
 \end{aligned}$$

$$= \frac{14,14}{7,07} \times 100 \%$$

$$= 200 \%$$

Setelah dilakukan perhitungan untuk mengetahui arus diferensial , arus restrain dan slope , maka selanjutnya di lakukan plot untuk di lakukan analisa , apakah sudah sesuai *settingan* atau perlu di *setting* ulang.



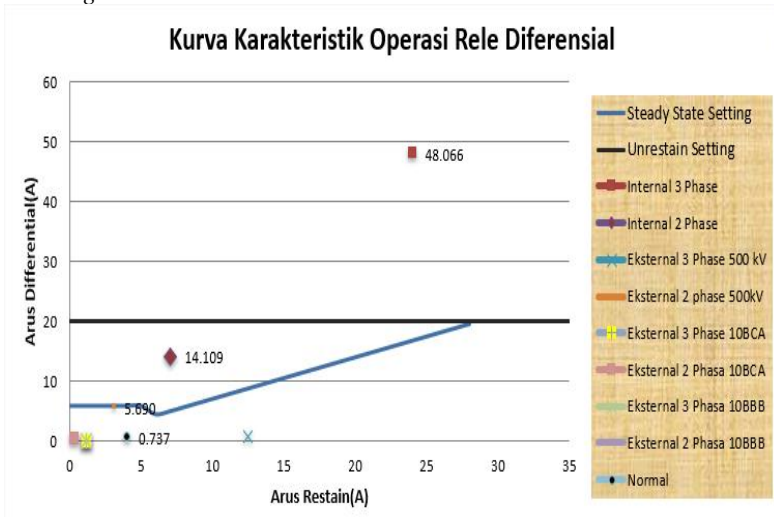
**Gambar 4.19** Kurva Karakteristik Operasi *Exsisting*

Berdasarkan plot kurva karakteristik operasi pada gambar 4.19, maka rele akan bekerja memerintahkan CB untuk trip saat terjadi gangguan eksternal 2 fasa pada bus grid PLN 500 kV, yang mana rele diferensial tidak boleh bekerja saat kondisi normal dan gangguan eksternal. Diketahui bahwa saat gangguan eksternal 2 fasa bus grid PLN 500 kV memiliki:

- $I_{Diff}$  adalah 5,690 A
- $I_{Restrain}$  adalah 3,105 A
- Nilai slope adalah 183,263 %

Berdasarkan hasil analisis maka direkomendasi untuk setting ulang rele diferensial, sehingga pada saat gangguan *internal* saja rele diferensial memberikan perintah untuk trip , pada saat gangguan *eksternal* rele

tidak bekerja. rekomendasi *setting* yang disarankan akan berdasarkan analisa gangguan eksternal 2 fasa bus grid PLN 500 kV . Pertimbangan pemilihan *setting pick up* dipilih berdasarkan oleh  $I_{Diff}$  terbesar yaitu 5,690 A, untuk *setting pickup* dipilih 1,6 ie  $= 1,6 \times 3,639 = 5,83A$ , sedangkan untuk pickup instan adalah 5,5ie agar rele bekerja secara cepat saat terjadi gangguan. Untuk *setting slope* 0,75 . Berikut Hasil dari *resetting* rele diferensial :



**Gambar 4.20** Kurva Karakteristik Operasi *Resetting*

Daerah di atas kurva *setting* merupakan daerah kerja rele, sehingga rele diferensial hanya akan bekerja apabila gangguan yang terjadi berada di atas kurva *setting* rele. Pada saat terjadi gangguan eksternal 2 phase dan 3 phase pada setiap bus menunjukkan bahwa rele tidak akan bekerja. Sedangkan saat terjadi gangguan internal 2 phase dan 3 phase maka gangguan terletak pada daerah kurva *unrestrain setting* yang mana rele akan bekerja dengan waktu operasi  $\leq 20 \text{ ms}$ .

## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil simulasi dan analisa yang telah di laksanakan pada sistem kelistrikan PT Indonesia Power UJP Adipala dapat ditarik beerapa kesimpulan yaitu:

1. Pada rele arus lebih gangguan fasa (*Overcurrent relay*) tipikal 1 terdapat kekeliruan yaitu antara rele 10BCA02 dengan rele SBBA01. *Gradding time* ( $\Delta t$ ) rele tersebut sebesar  $0,15 \text{ s} - 0,05 \text{ s} = 0,1 \text{ s}$  , Sedangkan, hal ini tidak diperbolehkan dalam *mensetting* koordinasi proteksi, karena dikhawatirkan kedua rele akan bekerja secara bersamaan.
2. Pada rele arus lebih gangguan fasa (*Overcurrent relay*) tipikal 1 terdapat kekeliruan yaitu *setting pick up* yang terlalu besar yaitu 1,6 In , sehingga rele tidak dapat mengamankan peralatan apabila terjadi beban terlebih (*overload*).
3. Pada rele arus lebih gangguan fasa (*Overcurrent relay*) tipikal 2 , kurva rele arus lebih terlalu berhimpit dengan kurva starting motor, yang di khawatirkan jika terjadi arus starting motor akan langsung mati.
4. Pada rele arus lebih gangguan ketanah (*Ground fault relay*) terdapat *gradding time* 0,5s setelah dilakukan *resetting* menjadi 0,3s.
5. Penggunaan rele differensial pada bus 10BBA 22 kV berfungsi sebagai pengaman utama busbar, karena karakteristiknya yang cepat dan selektif mengamankan daerah ketika terjadi gangguan.
6. Penentuan Setting rele differensial didasarkan pada parameter ( $I_{diff}$  dan slope), rele hanya akan bekerja jika kedua parameter tersebut tercapai. *Setting* rele differensial didasarkan pada nilai  $I_{diff}$  dan slope saat kondisi normal dan gangguan eksternal karena rele diferensial tidak boleh bekerja saat kondisi normal, gangguan eksternal 2 fasa, maupun 3 fasa .
7. Rekomendasi setting rele differensial adalah I pick up sebesar 1,6 ie , slope 0,75. *Setting* I pick up didasarkan pada

nilai  $I_{diff}$  terbesar pada daerah  $< Bp_2$  yaitu saat gangguan eksternal 2 phase pada bus grid PLN 500 kV.

## 5.2 Saran

Berdasarkan pertimbangan dari hasil studi yang telah dilakukan pada tugas akhir ini terdapat saran dan masukan sebagai berikut:

1. Pada setting rele yang terdapat pada tugas akhir ini, dapat menjadi rujukan untuk melakukan reseting dan juga sebagai referensi bagi pembaca jika melakukan setting rele proteksi.
2. Pemilihan spesifikasi rele didasarkan pada  $I_{Diff}$  dan slope saat terjadi gangguan eksternal 2 fasa , tiga fasa dan gangguan internal.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] IEEE Std 242-2001™, “IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems”, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, Ch. 15, 2001
- [2] H.Saadat, Power System Analysis, New York: McGraw-Hill,1999.
- [3] Rao, Sunil S., “Switchgear Protection And Power Systems”, Khanna Publisher, India, 2010.
- [4] Paithankar, Y. G. dan S. R. Bhide, “Fundamentals of Power System Protection”, Prentice-Hall, India, 2003
- [5] Wahyudi, “Diktat Kuliah Sistem Pengaman Tenaga Listrik”, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2014
- [6] Penangsang, Ontoseno, “Diktat Kuliah Analisis Sistem Tenaga 2”, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2008.
- [7] Lazar, Irwin., “Electrical Systems Analysis and Design For Industrial Plants”, McGraw-Hill Book Company,1980.
- [8] Gelpag., “VEP Medium Voltage Embedded Pole Vacuum Circuit Breaker”, 2007.
- [9] Nari., “RCSS-985B Generator Protection Instruction Manual”, Nanjing Nari Relays Electric CO., LTD, 2008.
- [10] Gelpag ., “VEC Vacuum Contactor Instruction Manual, 2007.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]



## **LAMPIRAN**

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

## RIWAYAT HIDUP



Masde Ristiawan, lahir di Purworejo, Jawa Tengah pada tanggal 26 juli 1995. Penulis akrab dipanggil Masde, menempuh jenjang pendidikan di SD Negeri Guyangan (2001-2007), SMP N 8 Purworejo (2007-2010), SMA N 3 Purworejo (2010-2013). Setelah lulus dari SMA, penulis melanjutkan pendidikan di universitas diponegoro semarang dengan mengambil jurusan teknik elektro. Setelah lulus pada tahun 2016, penulis melanjutkan pendidikan program strata-1 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2017 dengan mengambil bidang studi Teknik Sistem Tenaga. Penulis dapat dihubungi melalui email: [rmasderistiawan@gmail.com](mailto:rmasderistiawan@gmail.com).

