



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

## TUGAS AKHIR - EE 184801

### EVALUASI SISTEM KOORDINASI PROTEKSI GARDU INDUK SAMBIKEREP TERMASUK TRAF0 150 KV/20 KV

Muhammad Wal Hakim  
NRP 0711154000007

Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.  
Dr. Ir. Ni Ketut Aryani, M.T.

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





**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - EE 184801**

**EVALUASI SISTEM KOORDINASI PROTEKSI GARDU INDUK  
SAMBIKEREP TERMASUK TRAF0 150 KV/20 KV**

Muhammad Wal Hakim  
NRP 0711154000007

Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.  
Dr. Ir. Ni Ketut Aryani, M.T.

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







**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**FINAL PROJECT - EE 184801**

***EVALUATION COORDINATION PROTECTION SYSTEM AT  
SAMBIKEREP SUBSTATION INCLUDING 150 KV/20 KV TRAF0***

Muhammad Wal Hakim  
NRP 07111540000007

Advisor

Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.

Dr. Ir. Ni Ketut Aryani, M.T.

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



## PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul "**Evaluasi Sistem Koordinasi Proteksi Gardu Induk Sambikerep Termasuk Trafo 150 kV/20 kV**" adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan 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 pertanyaan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 2019



Muhammad Wal Hakim  
0711154000007









**EVALUASI SISTEM KOORDINASI PROTEKSI GARDU INDUK  
SAMBIKEREK TERMASUK TRAFU 150 KV/20 KV**

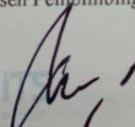
**TUGAS AKHIR**

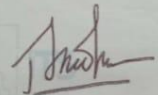
Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga  
Departemen Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

  
Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.  
NIP. 19660318 199010 1 001

  
Dr. Ir. Ni Ketut Aryani, M.T.  
NIP. 19650901 199103 2 002





## EVALUASI SISTEM KOORDINASI PROTEKSI Gardu Induk Sambikerep Termasuk Trafo 150 KV/20 KV

Nama : Muhammad Wal Hakim  
Dosen Pembimbing I : Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.  
Dosen Pembimbing II : Dr. Ir. Ni Ketut Aryani, M.T.

### ABSTRAK


Koordinasi proteksi pada sebuah gardu induk adalah sangat penting karena dengan adanya sistem koordinasi proteksi tersebut, maka gangguan listrik yang terjadi tidak semakin meluas. Selain untuk mencegah gangguan listrik tidak meluas, koordinasi proteksi juga dibutuhkan untuk meningkatkan keandalan listrik. Dengan adanya koordinasi proteksi yang baik, diharapkan gangguan dapat cepat terselesaikan dan proteksi berjalan tepat sasaran. Sehingga peralatan – peralatan listrik tidak mengalami kerusakan.

Metode yang digunakan untuk menganalisis koordinasi proteksi yang terpasang pada Gardu Induk Sambikerep adalah dengan menggunakan metode simulasi ETAP 12.6. Data – data yang didapat secara riil, disimulasikan dalam ETAP kemudian dilakukan simulasi koordinasi proteksi, sehingga akan didapatkan *setting* koordinasi proteksi yang digunakan saat ini pada Gardu Induk Sambikerep. Kemudian setelah diketahui *setting* koordinasi proteksi yang digunakan, diambil kesimpulan dan evaluasi tentang *setting* koordinasi proteksi tersebut.

Tujuan evaluasi koordinasi proteksi di Gardu Induk Sambikerep ini adalah supaya koordinasi proteksi yang ada di Gardu Induk Sambikerep semakin baik dalam hal mengatasi gangguan yang terjadi dengan berbagai kondisi riil. Sehingga keandalan listrik dapat meningkat, meminimalisir lokasi yang terdampak gangguan, dan melindungi peralatan – peralatan listrik.

**Kata kunci:** koordinasi proteksi, etap 12.6, keandalan listrik





*Halaman ini sengaja dikosongkan*



***Evaluation Coordination Protection System at Sambikerep Substation  
Including 150 kV/20 kV Transformator***

Name : Muhammad Wal Hakim  
Advisor I : Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.  
Advisor II : Dr. Ir. Ni Ketut Aryani, M.T.


**ABSTRACT**

*Coordination protection at a substation is very important because with coordination protection system, the electrical interference will not spread widely. Besides to overcome electrical interference from spread widely, coordination protection also needed to improve electrical reliability. With good coordination protection, it will expected to overcome the interference quickly and correctly. So the electrical material will not be damage.*

*The method for analysis coordination protection at Sambikerep Substation is by using simulation methode with ETAP 12.6.0. The data is obtained in real terms, and simulated with ETAP, and then coordination protection is going to be simulate, so the existing setting of coordination protection at Sambikerep Substation will be obtained. After coordination setting has been known, it will be get the conclusion and evaluation for its coordination setting.*

*The purpose of evaluation coordination protection at Sambikerep Substation is to improve coordination protection at Sambikerep Substation becomes better to overcome interference that happen in several real condition. So, the electrical reliability will improve, can minimize the area of interference, and to protect electrical materials.*

**Kata kunci:** *coordination protection, etap 12.6.0, electrical reliability*



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

Bismillahirrohmannirrohim, puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas rahmat dan hidayah-NYA, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul “EVALUASI SISTEM KOORDINASI PROTEKSI GARDU INDUK SAMBIKEREK TERMASUK TRAFU 150 KV/20 KV”. Tugas akhir ini ditulis sebagai salah satu persyaratan memperoleh gelar sarjana pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Tidak lupa penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada pihak yang mendukung dan membantu penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik dan tepat waktu. Penulis ucapkan terimakasih kepada:

1. Ibu penulis, Fujimah Hastuti yang telah memberikan dukungan dan doa yang tiada henti sehingga penulis berhasil menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Bapak Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T. dan Ibu Dr. Ir. Ni Ketut Aryani, M.T. selaku kedua dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, saran, serta bimbingannya.
3. Seluruh pegawai PLN ULP Tandes, PLN Area Surabaya Utara, PLN Kantor Distribusi Jawa Timur, PLN G.I. Sambikerep, PLN APB Disjatim yang telah membantu memberikan data untuk menunjang tugas akhir penulis.
4. Mas septi, mas rizki yang sangat membantu dalam pengumpulan data tugas akhir penulis.
5. Rekan – rekan e55 yang telah memberikan semangat, motivasi, dan dukungan.
6. Semua pihak yang telah memberikan semangat maupun bantuan secara langsung kepada penulis.

Besar harapan penulis agar tugas akhir ini dapat memberikan manfaat dan masukan bagi banyak pihak. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik, koreksi, dan saran dari pembaca yang bersifat membangun untuk pengembangan ke arah yang lebih baik.

Surabaya, Mei 2019

Penulis





*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## DAFTAR ISI

JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK .....	i
ABSTRACT .....	iii
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL .....	xi
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Tugas Akhir .....	2
1.5 Metodologi .....	2
1.6 Sistematika Penulisan .....	3
1.7 Relevansi .....	4
<b>BAB 2 DASAR TEORI</b> .....	<b>5</b>
2.1 Koordinasi Proteksi .....	5
2.2 Gangguan pada Sistem Kelistrikan .....	5
2.3 Gangguan Hubung Singkat .....	5
2.3.1 Gangguan Hubung Singkat Simetri [2] .....	6
2.3.2 Gangguan Hubung Singkat Tidak Simetri [2] .....	6
2.4 Rele Proteksi .....	8
2.4.1 Fungsi Rele Proteksi .....	8
2.4.2 Syarat - Syarat Rele Proteksi .....	8
2.4.3 Penyebab Terjadinya Kegagalan Proteksi .....	10
2.5 Rele Arus Lebih ( <i>Overcurrent Relay</i> ) [10] .....	10
2.5.1 Rele Arus Lebih Seketika ( <i>Instantaneous</i> ) .....	11
2.5.2 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu ( <i>Definite Time</i> ) ...	11
2.5.3 Rele Arus Lebih Waktu Kerja Terbalik ( <i>Inverse Time</i> )	12
2.6 Pengaturan Rele Arus Lebih [5] .....	13
2.6.1 Pengaturan rele arus lebih waktu terbalik ( <i>Low setting</i> ) .....	13
2.6.2 Pengaturan rele arus lebih waktu Instant ( <i>High setting</i> ) .....	14
2.7 Koordinasi Waktu Interval ( <i>Coordination Time Interval</i> )	15
2.8 Rele Gangguan Tanah ( <i>Ground Fault Relay</i> ) [5] .....	16

2.9 Rele Diferensial (Differensial Relay) .....	16
<b>BAB 3 KOORDINASI PROTEKSI DI GARDU INDUK SAMBIKEREP . 21</b>	
3.1 Koordinasi Proteksi di Gardu Induk Sambikerep .....	21
3.2 Data Utility PT. PLN (Persero) .....	21
3.3 Data Transformator Daya .....	22
3.4 Data Rele Pengaman .....	22
3.4.1 Rele Arus Lebih Penyulang .....	22
3.4.2 Rele Arus Lebih Primer Transformator Daya .....	23
3.4.3 Rele Arus Lebih Sekunder Transformator Daya .....	23
3.4.4 Rele Diferensial .....	24
3.5 Data Penyulang .....	24
<b>BAB 4 HASIL SIMULASI DAN ANALISA DATA .....</b>	<b>27</b>
4.1 Pemodelan Sistem Kelistrikan Gardu Induk Sambikerep .	27
4.2 Analisa Arus Hubung Singkat .....	27
4.2.1 Arus Hubung Singkat Maksimum .....	27
4.2.2 Arus Hubung Singkat Maksimum .....	27
4.3 Koordinasi Proteksi Rele Arus Lebih Fasa .....	28
4.4.1 Koordinasi Proteksi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 1 .	28
4.4 Koordinasi Proteksi Rele Diferensial .....	38
4.4.1 Perhitungan <i>Setting</i> Rele Diferensial Ketika Normal	38
4.4.2 Perhitungan <i>Setting</i> Rele Diferensial Ketika Gangguan Eksternal di Sisi 20 kV ( <i>Line to Line</i> ) .....	40
4.4.3 Perhitungan <i>Setting</i> Rele Diferensial Ketika Gangguan Eksternal di Sisi 20 kV (3 <i>Phasa</i> ) .....	41
4.4.4 Perhitungan <i>Setting</i> Rele Diferensial Ketika Gangguan Eksternal di Sisi 150 kV ( <i>Line to Line</i> ) .....	43
4.4.5 Perhitungan <i>Setting</i> Rele Diferensial Ketika Gangguan Eksternal di Sisi 150 kV (3 <i>Phasa</i> ) .....	45
4.4.6 Perhitungan <i>Setting</i> Rele Diferensial Ketika Gangguan Internal ( <i>Line to Line</i> ) .....	47
4.4.7 Perhitungan <i>Setting</i> Rele Diferensial Ketika Gangguan Internal (3 <i>Phasa</i> ) .....	49
4.4.8 <i>Plotting Setting</i> Rele Diferensial .....	51
4.5 Koordinasi Proteksi Rele Arus Lebih Gangguan Tanah ....	53
<b>BAB 5 PENUTUP .....</b>	<b>59</b>
5.1 Kesimpulan .....	59
5.2 Saran .....	60
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>61</b>
<b>BIOGRAFI PENULIS .....</b>	<b>63</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Prinsip Kerja Rele Arus Lebih .....	10
Gambar 2.2	Karakteristik Arus Lebih Seketika ( <i>Instantaneous</i> ).....	11
Gambar 2.3	Karakteristik Arus Lebih Dengan Waktu Tertentu ( <i>Definite Time</i> ).....	11
Gambar 2.4	Karakteristik Arus Lebih Dengan Waktu Terbalik ( <i>Inverse Time</i> ).....	12
Gambar 2.5	Kurva Karakteristik Rele Waktu Terbalik.....	13
Gambar 2.6	Rele Arus Lebih Pengaman Transformator .....	15
Gambar 2.7	Rele Diferensial Saat Normal .....	17
Gambar 2.8	Rele Diferensial Saat Ada Gangguan Eksternal .....	18
Gambar 2.9	Rele Diferensial Saat Ada Gangguan Eksternal .....	18
Gambar 2.10	Kurva Karakteristik Rele Diferensial .....	19
Gambar 3.1	<i>Single line diagram</i> Gardu Induk Sambikerep.....	21
Gambar 4.1	<i>Single line diagram</i> Tipikal 1 .....	29
Gambar 4.2	<i>Plot</i> Kurva TCC Tipikal 1 .....	30
Gambar 4.3	<i>Resetting</i> Plot kurva TCC Tipikal 1 .....	35
Gambar 4.4	Rele Diferensial Pada Gardu Induk Sambikerep .....	38
Gambar 4.5	Gangguan Hubung Singkat <i>Line to Line</i> di Bus02.....	41
Gambar 4.6	Gangguan Hubung Singkat 3 <i>Phasa</i> di Bus02.....	43
Gambar 4.7	Gangguan Hubung Singkat <i>Line to Line</i> di Bus01.....	45
Gambar 4.8	Gangguan Hubung Singkat 3 <i>Phasa</i> di Bus01.....	47
Gambar 4.9	Gangguan Hubung Singkat <i>Line to Line</i> di Bus04.....	49
Gambar 4.10	Gangguan Hubung Singkat 3 <i>Phasa</i> di Bus04.....	51
Gambar 4.11	<i>Plotting Setting</i> Rele Diferensial pada Kurva Karakteristik Rele Diferensial.....	52
Gambar 4.12	Kurva TCC Rele Arus Lebih Gangguan Tanah Tipikal 1.....	54
Gambar 4.13	<i>Resetting</i> Kurva TCC Rele Arus Lebih Gangguan Tanah Tipikal 1 .....	57
Gambar 4.10	Rele Diferensial Pada Gardu Induk Sambikerep .....	38




*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	CTI standar IEEE 242 .....	16
Tabel 3.1	Spesifikasi <i>Utility</i> PLN.....	22
Tabel 3.2	Spesifikasi Transformator Daya .....	22
Tabel 3.3	Spesifikasi Rele Arus Lebih Penyulang .....	23
Tabel 3.4	Spesifikasi Rele Arus Lebih Primer Transformator Daya.....	23
Tabel 3.5	Spesifikasi Rele Arus Lebih Primer Transformator Daya.....	24
Tabel 3.6	Spesifikasi Rele Diferensial Spesifikasi Rele Arus Lebih Sekunder Transformator Daya.....	24
Tabel 3.7	Data Beban Penyulang .....	24
Tabel 4.1	Data Hubung Singkat Maksimum.....	27
Tabel 4.2	Data Hubung Singkat Minimum .....	28
Tabel 4.3	<i>Setting</i> Eksisting Rele Arus Lebih Fasa .....	36
Tabel 4.4	<i>Resetting</i> Rele Arus Lebih Fasa.....	37
Tabel 4.5	<i>Setting</i> Rele Diferensial Dalam Berbagai Kondisi.....	52
Tabel 4.6	<i>Resetting</i> Rele Arus Lebih Gangguan Tanah.....	58



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB 1 PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang Masalah**

PT. PLN Persero adalah sebuah perusahaan BUMN yang bergerak di bidang ketenagalistrikan. Seperti yang kita ketahui, bahwa PLN merupakan satu – satunya perusahaan yang diperbolehkan menjual listrik ke masyarakat di Indonesia sesuai dengan Undang – Undang Nomor 30 Tahun 2009 tentang Ketenagalistrikan. Dalam hal ini, PLN memiliki sistem pembangkit, transmisi, dan distribusi. Tentunya, PLN membutuhkan sistem koordinasi proteksi yang baik sehingga keandalan listrik dapat meningkat.

Gardu Induk Sambikerep adalah salah satu gardu induk PLN yang beroperasi di Unit Pelaksana Transmisi (UPT) Surabaya. Gardu Induk Sambikerep baru beroperasi tahun 2016. Gardu Induk Sambikerep memiliki 2 transformator berdaya 60 MVA dan sampai tahun 2019 sudah memiliki 11 penyulang. Beban penyulang – penyulang di Gardu Induk Sambikerep mayoritas berasal dari beban industri dikarenakan daerah di sekitar Gardu Induk Sambikerep adalah daerah perindustrian. Industri merupakan aset yang besar bagi PLN karena daya yang digunakan tidaklah sedikit. Oleh karena itu, PLN harus menjaga maupun meningkatkan keandalan sistem tenaga listriknya supaya selalu baik. Dengan koordinasi proteksi yang baik maka keandalan listrik dapat meningkat.

Namun, sampai saat ini PLN masih memiliki banyak kekurangan dalam sistem koordinasi proteksi yang mengakibatkan keandalan tidak cukup baik. Kurangnya koordinasi proteksi mengakibatkan penanganan sebuah gangguan terbilang cukup lama sehingga banyak pelanggan yang mengeluhkan padam listrik yang terlalu lama tersebut. Dengan adanya koordinasi proteksi yang baik, diharapkan gangguan yang terjadi dapat segera diselesaikan. Serta dapat melindungi daerah yang tidak terjadi gangguan sehingga daerah gangguan tidak meluas.

Peralatan – peralatan yang perlu dilakukan koordinasi proteksi adalah rele arus lebih dan rele hubung tanah. Rele – rele tersebut memiliki beberapa fungsi yaitu; memisahkan daerah yang terdampak gangguan dengan yang tidak, melindungi peralatan listrik lain dari bahaya gangguan yang terjadi, meningkatkan keandalan listrik, serta melindungi manusia dari bahaya tersengat listrik.



Metode penulisan tugas akhir yang digunakan untuk menentukan sistem koordinasi proteksi yang tepat di Gardu Induk Sambikerep, adalah dengan metode simulasi ETAP 12.6.0 dengan data yang digunakan adalah data riil dari PLN. Dari simulasi tersebut, akan didapatkan *setting* koordinasi proteksi yang sekarang digunakan. Kemudian diambil kesimpulan serta evaluasi apa saja yang kurang baik sehingga diharapkan dengan adanya tugas akhir ini bisa menjadi masukan PLN untuk memperbaiki sistem koordinasi proteksinya.

## 1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana kondisi koordinasi proteksi di Gardu Induk Sambikerep?
2. Bagaimana menentukan koordinasi proteksi yang tepat untuk sistem kelistrikan di Gardu Induk Sambikerep?

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada pengerjaan Tugas Akhir ini adalah:

1. *Setting* rele pengaman yang diamati hanya rele 50/51, rele diferensial, dan rele hubung singkat tanah
2. Rele diferensial yang diamati hanya pada transformator 150 kV/20 kV yang menuju *feeder*
3. Penyulang – penyulang yang diamati hanya yang aktif, untuk cadangan tidak diamati

## 1.4 Tujuan Tugas Akhir

Penelitian tugas akhir ini bertujuan untuk:

1. Memodelkan, mensimulasi, serta menganalisa sistem koordinasi proteksi pada Gardu Induk Sambikerep
2. Mengetahui *setting* koordinasi proteksi yang tepat

## 1.5 Metodologi

Metodologi yang akan digunakan penulis dalam proses penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Pengumpulan Data dan Studi Literatur  
Mengumpulkan data pada Gardu Induk Sambikerep serta suber literatur lainnya yang dapat menjadi dasar penelitian topik ini.
2. Pemodelan dan Simulasi ETAP 12.6.0

Menerapkan data yang sudah didapatkan berupa *single line diagram* Gardu Induk Sambikerep pada software ETAP 12.6.0 untuk dilakukan simulasi aliran beban, arus lebih, dan hubung singkat.

3. Analisa Data

Setelah dilakukan simulasi pada ETAP 12.6.0, hasil yang didapatkan dibandingkan dengan standar apakah hasil sudah memenuhi standar atau belum

4. Kesimpulan

Setelah diketahui hasil memenuhi standar proteksi atau belum, bisa diambil kesimpulan tindakan apa yang bisa diambil guna meningkatkan koordinasi proteksi pada Gardu Induk Sambikerep supaya lebih baik.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Dalam penyusunan laporan tugas akhir ini, sistematika penyusunan laporan terdiri dari beberapa bab, yaitu:

**BAB 1: Pendahuluan**

Berisi tentang latar belakang penulisan tugas akhir, permasalahan dan batasan masalah tugas akhir, tujuan, metode penelitian, sistematika penulisan, dan relevansi penulisan tugas akhir.

**BAB 2: Dasar Teori**

Berisi tentang teori dasar rele arus lebih, rele hubung singkat tanah, serta perhitungan untuk mencari *setting* rele yang tepat.

**BAB 3: Sistem Koordinasi Proteksi Gardu Induk Sambikerep**

Berisi tentang sistem koordinasi proteksi yang digunakan pada Gardu Induk Sambikerep dengan data rill dari PLN.

**BAB 4: Simulasi dan Analisis Data**

Berisi tentang hasil simulasi koordinasi proteksi Gardu Induk Sambikerep yang dilakukan di ETAP 12.6.0, kemudian dibandingkan dengan standar perhitungan yang ada, dan diambil analisa apakah *setting* koordinasi proteksi tersebut sudah baik atau belum, kemudian diambil keputusan baik untuk mengubah *setting* koordinasi proteksi tersebut supaya lebih baik.

**BAB 5: Penutup**

Berisi kesimpulan dan saran dari analisa yang telah dilakukan.

### **1.7 Relevansi**

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat kepada pihak PLN yaitu:

1. Sebagai referensi koordinasi proteksi yang dapat digunakan pada Gardu Induk Sambikerep, sehingga dapat meningkatkan keandalan
2. Sebagai acuan ketika terjadi gangguan yang tidak diinginkan pada Gardu Induk Sambikerep



## BAB 2 DASAR TEORI

### 2.1 Koordinasi Proteksi

Koordinasi proteksi adalah suatu sistem yang terdiri dari rele - rele yang saling berkoordinasi satu sama lain secara cepat dan tepat guna melindungi peralatan dari gangguan temporer maupun permanen sehingga daerah gangguan tidak menyebar demi tujuan keandalan listrik yang baik, melindungi peralatan listrik lain supaya tidak rusak akibat gangguan tersebut, meningkatkan keandalan listrik, serta melindungi manusia dari bahaya sengatan listrik.

Rele yang di *setting* koordinasi proteksi nya pada tugas akhir ini adalah rele arus lebih, rele diferensial, dan rele gangguan tanah. Rele – rele tersebut memiliki *setting* yang berbeda – beda tergantung dari bentuk sirkuit, macam peralatan yang digunakan, dan beban yang terpasang.

### 2.2 Gangguan pada Sistem Kelistrikan

Gangguan atau ketidaknormalan pada sistem kelistrikan merupakan keadaan dimana aliran arus yang tidak normal atau tidak semestinya pada sebuah sistem kelistrikan. Gangguan ini bisa terjadi akibat kesalahan pemasangan peralatan yang kurang baik, beban yang berlebih, maupun petir. Ada dua macam gangguan yaitu gangguan permanen dan sementara. Gangguan permanen adalah gangguan yang tidak bisa dinormalkan kembali setelah *circuit breaker* terbuka. Sedangkan gangguan sementara adalah gangguan yang bisa dinormalkan kembali setelah *circuit breaker* terbuka.

Diharapkan dengan adanya *setting* koordinasi proteksi yang baik, gangguan – gangguan seperti ini tidak sampai mengakibatkan peralatan rusak, ataupun daerah yang terdampak tidak semakin luas.

### 2.3 Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat adalah suatu fenomena ketika dua buah peralatan listrik saling terhubung atau terhubung dengan tanah yang disebabkan oleh beberapa faktor yang mengakibatkan impedansi diantara kedua peralatan tersebut atau peralatan dengan tanah menjadi nol maupun mendekati nol sehingga menimbulkan arus listrik yang tidak normal (besar). Faktor – faktor yang bisa mengakibatkan terjadinya hubung singkat adalah :

- Isolasi peralatan listrik yang tembus akibat adanya tegangan yang besar
- Isolasi peralatan listrik rusak
- Petir
- Pohon, layangan, bahkan manusia yang mengenai sisi bertegangan dan sisi lainnya menyentuh tanah atau peralatan listrik lainnya

Ada dua macam gangguan hubung singkat, yaitu hubung singkat simetri dan hubung singkat tidak simetri.

### 2.3.1 Gangguan Hubung Singkat Simetri [2]

Disebut gangguan simetri karena apabila terjadi gangguan ini, sistem kelistrikan tetap seimbang atau tidak ada arus urutan nol. Gangguan yang termasuk gangguan simetri adalah gangguan hubung singkat tiga fasa (*Line-Line-Line*) dan hubung singkat tiga fasa ke tanah (*Line-Line-Ground*)

#### a) Hubung Singkat Tiga Fasa

Hubung singkat tiga adalah ketika ketiga fasa terhubung satu sama lain (*Line-Line-Line*). Arus hubung singkat tiga fasa ke tanah dapat dihitung dengan persamaan:

$$I_{3\phi} = \frac{V_{LL}}{\sqrt{3} Z_{1eq}} \quad (2.1)$$

Dimana :

$I_{3\phi}$  = Arus hubung singkat tiga fasa (A)

$V_{LL}$  = Tegangan fasa – fasa (V)

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

### 2.3.2 Gangguan Hubung Singkat Tidak Simetri [2]

Disebut gangguan tidak simetri karena apabila terjadi gangguan ini, sistem kelistrikan menjadi tidak seimbang atau adanya arus urutan nol. Gangguan yang termasuk gangguan tidak simetri adalah gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah (*Line-Ground*), hubung singkat dua fasa (*Line-Line*), dan hubung singkat dua fasa ke tanah (*Line-Line-Ground*).

#### a) Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

Besarnya arus hubung singkat tergantung dari sistem pentanahan yang digunakan. Hubung singkat satu fasa ke tanah melibatkan



impedansi urutan positif, negatif, dan nol. Arus hubung singkat satu fasa ke tanah dapat dihitung dengan persamaan:

$$I_{1\phi} = \frac{3 \times \frac{V_{LL}}{\sqrt{3}}}{Z_{1eq} + Z_{2eq} + Z_{0eq}} \quad (2.2)$$

Dimana:

- $I_{1\phi}$  = Arus hubung singkat satu fasa (A)
- $V_{LL}$  = Tegangan fasa – fasa (V)
- $Z_{1eq}$  = Impedansi urutan positif (ohm)
- $Z_{2eq}$  = Impedansi urutan negatif (ohm)
- $Z_{0eq}$  = Impedansi urutan nol (ohm)

b) Hubung Singkat Dua Fasa

Hubung singkat ini terjadi pada fasa ke fasa tanpa terhubung ke tanah sehingga tidak melibatkan impedansi urutan nol. Arus hubung singkat satu fasa ke tanah dapat dihitung dengan persamaan:

$$I_{2\phi} = \frac{V_{LL}}{Z_{1eq} + Z_{2eq}} \quad (2.3)$$

$$I_{2\phi} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{3\phi} \quad (2.4)$$

$$I_{2\phi} = 0,866 I_{3\phi} \quad (2.5)$$

Dimana:

- $I_{3\phi}$  = Arus hubung singkat tiga fasa (A)
- $I_{2\phi}$  = Arus hubung singkat dua fasa (A)
- $V_{LL}$  = Tegangan fasa – fasa (V)
- $Z_{1eq}$  = Impedansi urutan positif (ohm)
- $Z_{2eq}$  = Impedansi urutan negatif (ohm)



c) Hubung Singkat Dua Fasa ke Tanah

Hubung singkat ini terjadi ketika dua fasa dan tanah saling terhubung. Arus hubung singkat dua fasa ke tanah dapat dihitung dengan persamaan:

$$I_{2\phi-N} = \frac{\frac{V_{LL}}{\sqrt{3}}}{Z_{1eq} + \left(\frac{Z_{2eq} \times Z_{0eq}}{Z_{2eq} + Z_{0eq}}\right)} \quad (2.6)$$

Dimana :

$I_{2\phi-N}$  = Arus hubung singkat dua fasa ke tanah (A)

$V_{LL}$  = Tegangan fasa – fasa (V)

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

$Z_{2eq}$  = Impedansi urutan negatif (ohm)

$Z_{0eq}$  = Impedansi urutan nol (ohm)

## 2.4 Rele Proteksi

Rele proteksi adalah peralatan yang memiliki fungsi sebagai pendeteksi besaran arus kemudian memberikan perintah kepada *circuit breaker*. Besaran arus yang melebihi besaran *setting* disebut arus gangguan. Apabila besaran arus yang di deteksi oleh rele proteksi melebihi besaran arus *setting* pada rele tersebut, maka perintah yang diberikan kepada *circuit breaker* adalah supaya *circuit breaker* memutus saluran listrik pada titik dimana arus gangguan terjadi.

### 2.4.1 Fungsi Rele Proteksi

Ada beberapa fungsi rele proteksi yaitu:

- 1) Memisahkan daerah yang terkena gangguan dengan yang tidak terkena gangguan serta mengidentifikasi gangguan tersebut sehingga tidak meluas
- 2) Melindungi peralatan listrik lainnya
- 3) Meningkatkan keandalan sistem
- 4) Melindungi manusia dari bahaya sengatan listrik

### 2.4.2 Syarat – Syarat Rele Proteksi

Supaya koordinasi proteksi berjalan dengan baik, tentunya rele proteksi harus memenuhi persyaratan – persyaratan berikut:

a) Sensitif

Rele proteksi harus sensitif karena bekerja sebagai pengaman peralatan dari gangguan, sehingga dapat memutuskan atau melepas *circuit breaker* untuk memisahkan daerah yang terganggu dengan yang tidak

$$K_s = \frac{I_{hsmin}}{I_{pp}} \quad (2.7)$$

Dimana:

$K_s$  = Faktor Keamanan

$I_{hsmin}$  = Arus hubung singkat minimum

$I_{pp}$  = Arus pick-up pada sisi primer trafo arus

b) Selektif

Dalam mengamankan peralatan listrik, rele harus cermat memilih daerah yang harus diputus dengan yang tidak. Rele proteksi tidak akan bekerja di luar daerah pengamanannya, rele proteksi hanya akan bekerja di daerah pengamanannya selama kondisi tidak normal.

c) Cepat

Semakin cepat rele proteksi bekerja, semakin kecil kemungkinan meluasnya daerah yang terkena gangguan. Kecepatan pemutus arus gangguan juga dapat mengurangi kerusakan serta menjaga stabilitas peralatan.

$$t_{op} = t_p + t_{cb} \quad (2.8)$$

Dimana:

$t_{op}$  = Waktu total

$t_p$  = Waktu bereaksi dari unit rele

$t_{cb}$  = Waktu pelepasan *circuit breaker*

d) Andal

Gangguan tidak pasti terjadi setiap hari, bahkan bisa tidak terjadi selama berbulan – bulan atau bahkan tahunan. Namun diharapkan rele proteksi tetap dapat bekerja dengan baik, karena apabila rele proteksi gagal bekerja, dapat mengakibatkan kerusakan peralatan lainnya dan daerah yang padam menjadi

lebih luas. Untuk menjaga keandalan rele proteksi, harus dilakukan pengujian secara periodik. Keandalan rele proteksi yang baik adalah 90% – 99%.

e) Ekonomis

Rele proteksi yang baik adalah rele yang memiliki kemampuan pengaman yang baik dengan biaya yang kecil.

f) Sederhana

Rele proteksi disyaratkan memiliki bentuk yang sederhana dan fleksibel.

### 2.4.3 Penyebab Terjadinya Kegagalan Proteksi

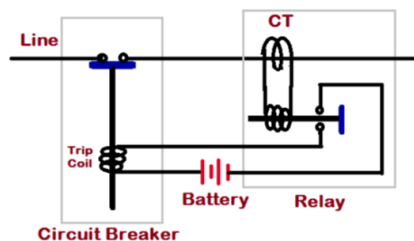
Kegagalan proteksi dapat disebabkan antara lain oleh:

- *Setting* rele tidak benar (kurang sensitif atau kurang cepat)
- Rele telah rusak atau tidak konsisten kerjanya
- Baterai lemah atau kegagalan sistem DC supply sehingga tidak mampu mengaktifkan *circuit breaker*

### 2.5 Rele Arus Lebih (*Overcurrent Relay*) [10]

Arus lebih adalah arus yang melebihi nilai pengenal tertinggi. Sehingga arus lebih ini sangat berbahaya bagi peralatan listrik sehingga peralatan listrik perlu dilindungi. Salah satu pelindung peralatan listrik dari arus lebih adalah rele arus lebih.

Rele arus lebih adalah rele yang bekerja ketika ada arus yang melebihi suatu nilai pengaman tertentu dalam jangka waktu tertentu. Rele arus lebih ini berfungsi untuk melindungi peralatan listrik terhadap arus lebih yang disebabkan oleh gangguan arus hubung singkat dua fasa, tiga fasa, tiga fasa ke tanah, maupun beban lebih.



**Gambar 2.1** Prinsip Kerja Rele Arus Lebih

Prinsip kerja rele arus lebih yaitu CT (*Current Transformer*) membaca arus yang masuk ke rele, jika arus yang terbaca melebihi *setting*



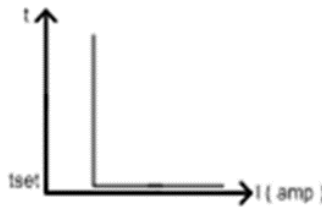
rele, maka rele akan memberikan perintah kepada belitan di *circuit breaker* untuk *trip* sesuai dengan karakteristik waktunya.

Jenis rele berdasarkan karakteristik waktunya:

- a) Rele arus lebih seketika (*Instantaneous*)
- b) Rele arus lebih dengan waktu tertentu (*Definite Time*)
- c) Rele arus lebih dengan waktu kerja terbalik (*Inverse Time*)

### 2.5.1 Rele Arus Lebih Seketika (*Instantaneous*)

Rele arus lebih seketika adalah jenis rele arus lebih yang tidak memiliki waktu tunda.



**Gambar 2.2** Karakteristik Arus Lebih Seketika (*Instantaneous*)

Rele arus lebih seketika ini akan bekerja berdasarkan arus gangguan dengan waktu yang sangat singkat tanpa penundaan (20ms – 60ms).

### 2.5.2 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu (*Definite Time*)

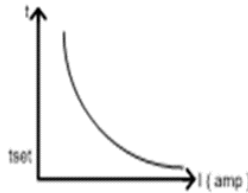
Rele arus lebih dengan waktu tertentu adalah jenis rele arus lebih yang kerjanya tidak bergantung dari besarnya arus gangguan, dan waktu tunda nya tetap. Berapapun besar nilai arus gangguan yang telah melewati arus *setting* rele, rele akan bekerja dengan waktu yang tetap.



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

**2.5.3 Rele Arus Lebih Waktu Kerja Terbalik (*Inverse Time*)**

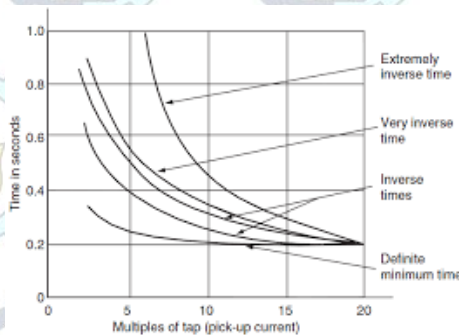
Rele arus lebih dengan waktu terbalik adalah jenis rele arus lebih yang kerjanya bergantung pada besarnya arus gangguan yang melebihi arus *setting* rele.



**Gambar 2.4** Karakteristik Arus Lebih Dengan Waktu Terbalik (*Inverse Time*)

Jadi semakin besar arus gangguan yang terjadi maka semakin cepat waktu kerja rele. Semakin besar *time dial* dari rele waktu inverse, maka akan semakin lama waktu operasinya. Berdasarkan standard IEC 255-3 dan BS 142, bahwa karakteristik waktu inverse ini dibedakan menjadi beberapa jenis berdasarkan gradien kurvanya, yaitu:

1. *Standard Inverse*
2. *Very Inverse*
3. *Extremely Inverse*
4. *Long Time Inverse*



**Gambar 2.5** Kurva Karakteristik Rele Waktu Terbalik

## 2.6 Pengaturan Rele Arus Lebih [5]

Ada dua *setting* rele arus lebih yang harus dihitung, yaitu rele arus lebih waktu terbalik dan waktu instan. Waktu terbalik ini digunakan untuk melindungi sistem dari gangguan beban lebih. Sedangkan untuk waktu instan digunakan untuk melindungi sistem dari gangguan hubung singkat.

### 2.6.1 Pengaturan rele arus lebih waktu terbalik (*Low setting*)

Ada dua parameter yang harus disetting, yaitu *setting pickup* dan *time dial*. Arus *pickup* adalah arus *pickup* pada rele. Sedangkan *time dial* adalah waktu operasi rele. Tujuan dari *setting pickup* ini adalah untuk membatasi arus beban di peralatan supaya tidak melebihi batas arus maksimum beban. Oleh karena itu, arus *setting* pada rele harus lebih besar dari arus beban maksimum. Rumus mencari *setting pickup* ditentukan oleh pemilihan besarnya tap, yaitu:

$$t_{ap} = \frac{I_{set}}{\text{rasio CT}} \quad (2.9)$$

Dimana:

$I_{set}$  : arus *pickup* rele (Ampere)

Rasio CT : rasio CT dari rele tersebut

Menurut standar british BISA 142 bahwa batas *setting* dari  $I_{set}$  adalah  $1,05 I_{FLA} < I_{set} < 1,4 I_{FLA}$ .  $I_{FLA}$  adalah arus beban maksimum dari sebuah peralatan.

Berdasarkan IEC 60255, standar untuk kurva IDMT (*Inverse Definite Minimum Time*), adalah:

- *Standart Inverse*

$$t = \frac{0,14}{I^{0,02} - 1} \times t_{>} \quad (2.10)$$

- *Very Inverse*

$$t = \frac{13,5}{I - 1} \times t_{>} \quad (2.11)$$



- *Extremely Inverse*

$$t = \frac{80}{I^2 - 1} \times t_{>} \quad (2.12)$$

- *Long Time Inverse*

$$t = \frac{120}{I - 1} \times t_{>} \quad (2.13)$$

Dimana:

$$I = \frac{I_{sc}}{I_s}$$

$I_{sc}$  = Arus gangguan 3 fasa

$I_s$  = Arus *setting*

$t_{>}$  = Time multiplier *setting*

## 2.6.2 Pengaturan rele arus lebih waktu Instant (*High setting*)

Pada *setting* rele arus lebih waktu instan memiliki fungsi yaitu untuk pengaman dari gangguan hubung singkat dari yang paling minimum. Karena dari yang paling minimum, maka *setting* rele arus lebih waktu instan menggunakan arus hubung singkat minimum ( $I_{scmin}$ ) yang mana merupakan arus hubung singkat dua fasa pada waktu hubung singkat 30 cycle pada pembangkitan minimum yaitu saat tidak ada arus kontribusi dari beban. *Setting* arus pada rele harus lebih kecil dari nilai arus hubung singkat minimum ( $I_{scmin}$ ) dua fasa supaya *circuit breaker* dapat memutuskan aliran beban secepat mungkin ketika terjadi gangguan hubung singkat.

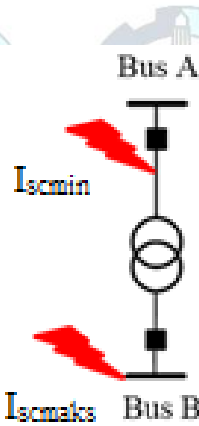
$$I_{>} \leq \frac{0.8 \times I_{scmin}}{\text{rasio CT}} \quad (2.14)$$

Dimana:

$I_{scmin}$  : arus hubung singkat minimum

Rasio CT : rasio CT dari rele tersebut

Ada studi kasus kusus untuk *setting* arus lebih waktu instan pada pengaman penyulang yang dipisahkan oleh transformator.



**Gambar 2.6** Rele Arus Lebih Pengaman Transformator

Dari kasus khusus seperti ini, koordinasi pengaman pada rele dibedakan menjadi dua daerah yaitu daerah tegangan rendah pada bus B dan daerah tegangan tinggi pada bus A. Dimana  $I_{scmin}$  pada bus A adalah arus hubung singkat minimum atau arus hubung singkat dua fasa pada waktu 30 cycle. Sedangkan  $I_{scmaks}$  pada bus B adalah arus hubung singkat tiga fasa maksimum pada waktu  $\frac{1}{2}$  cycle. Untuk menentukan *setting pickup* dapat dihitung dari rumus:

$$1,6 I_{scmaks} \text{ Bus B} \leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{scmin} \text{ Bus A} \quad (2.15)$$

## 2.7 Koordinasi Waktu Interval (*Coordination Time Interval*)

Ketika koordinasi proteksi beroperasi, waktu kerja operasi antara rele pengaman utama ( $t_1$ ) dengan rele pengaman backup ( $t_2$ ) tidak boleh bersamaan. Koordinasi waktu interval (CTI) antara kedua rele tersebut dapat diketahui dari persamaan berikut:

$$CTI = t_1 - t_2 \quad (2.16)$$

Berdasarkan standar IEEE 242 waktu kerja rele sampai *circuit breaker* membuka adalah 0.2 detik sampai 0.4 detik [3].

**Tabel 2.1** CTI standar IEEE 242

Komponen	Waktu (Detik)	
	Elektromekanik	Statik
Waktu terbuka <i>circuit breaker</i> (2-5 cycle)	0.04 – 0.1	
<i>Overtravel</i> dari rele	0.1	0
Faktor keamanan	0.12 – 0.22	

Untuk rele elektromekanik, CTI nya sebesar 0.26 – 0.42, sedangkan untuk rele statik, CTI nya sebesar 0.16 – 0.32. Interval - interval ini sangat berguna untuk menentukan koordinasi antar rele.

## 2.8 Rele Gangguan Tanah (*Ground Fault Relay*) [5]

Rele gangguan tanah atau disebut *ground fault relay* memiliki prinsip kerja yang sama dengan rele arus lebih, tetapi memiliki fungsi yang berbeda. Rele gangguan tanah ini mendeteksi hubung singkat ke tanah (satu fasa atau dua fasa ke tanah), sedangkan rele arus lebih mendeteksi hubung singkat antara fasa.

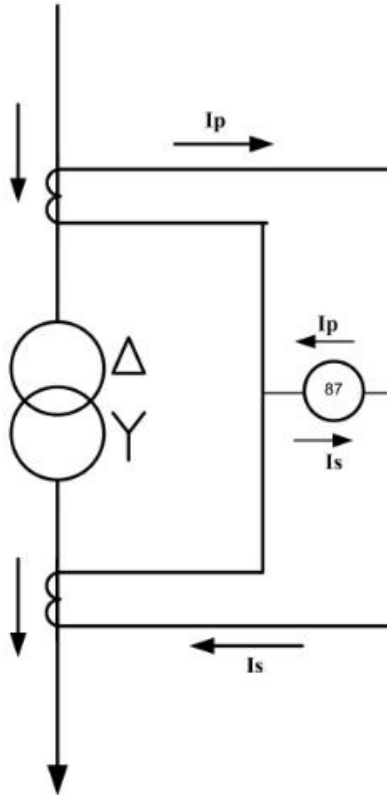
Untuk menghitung *setting* rele gangguan tanah menggunakan persamaan:

$$\frac{5\% - 10\% \times I_{NGR}}{\text{rasio ZCT}} \leq I_{set} \leq \frac{50\% \times I_{NGR}}{\text{rasio ZCT}} \quad (2.17)$$

## 2.9 Rele Diferensial (*Differential Relay*)

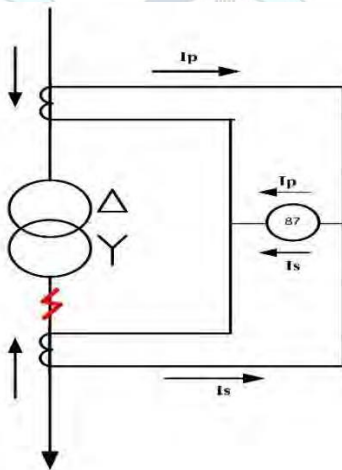
Rele ini berfungsi melindungi suatu daerah listrik tertentu dengan cara membaca arus masuk dan arus yang keluar dari daerah listrik yang dilindunginya tersebut. Prinsip kerja rele diferensial berdasarkan hukum kirchoff dimana jumlah arus yang masuk dan jumlah arus yang keluar pada suatu titik adalah sama. Rele diferensial akan bekerja ketika jumlah arus yang masuk tidak sama dengan jumlah arus yang keluar tanpa terpengaruh dengan gangguan akibat beban lebih. Daerah kerja rele diferensial dibatasi oleh sepasang transformator arus atau disebut CT (*Current Transformator*). Rele diferensial digunakan sebagai pengaman transformator daya, generator, busbar, dan saluran transmisi.





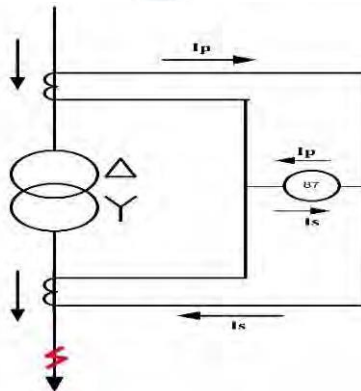
**Gambar 2.7** Rele Diferensial Saat Normal

Pada gambar 2.7 diatas terlihat bahwa arah arus  $I_p$  dan arah arus  $I_s$  saling berlawanan yang mengakibatkan  $I_{diff} = 0$ . Sehingga rele diferensial tidak akan bekerja. Kondisi ini juga berlaku ketika ada gangguan eksternal atau diluar daerah penganan rele diferensial. Ketika ada gangguan eksternal maka arah arus  $I_p$  dan arah arus  $I_s$  saling berlawanan yang mengakibatkan  $I_{diff} = 0$  dan rele diferensial tidak akan bekerja.



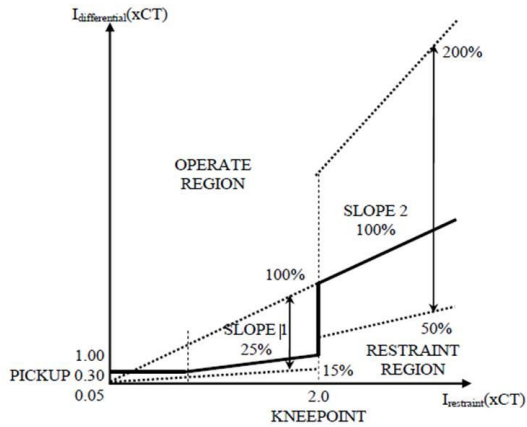
**Gambar 2.8** Rele Diferensial Saat Ada Gangguan Internal

Dari Gambar 2.8 diatas, terlihat bahwa arus  $I_p$  dan  $I_s$  searah sehingga  $I_{diff}$  tidak sama dengan nol. Karena  $I_{diff}$  tidak sama dengan nol, maka rele diferensial akan bekerja.



**Gambar 2.9** Rele Diferensial Saat Ada Gangguan Eksternal

Dari Gambar 2.9 diatas, terlihat bahwa arus  $I_p$  dan  $I_s$  tidak searah sehingga  $I_{diff} = 0$ . Karena  $I_{diff}$  sama dengan nol, maka rele diferensial tidak akan bekerja.



**Gambar 2.10** Kurva Karakteristik Rele Diferensial

Ada dua daerah kurva pada gambar diatas, dimana ada daerah atas adalah daerah dimana rele diferensial bekerja, sedangkan daerah bawah adalah daerah dimana rele diferensial tidak bekerja dan tetap melakukan proses pembacaan arus.

Ada beberapa perhitungan yang harus didapatkan untuk menentukan *setting* rele diferensial yaitu:

$$I_n = \frac{S}{\sqrt{3} V} \tag{2.18}$$

Dimana:

- $I_n$  : Arus Nominal (Ampere)
- $S$  : Daya Trafo (MVA)

Kemudian menghitung  $I_n$  CT.  $I_n$  CT adalah arus  $I_p$  ataupun  $I_s$  yang ditunjukkan pada gambar 2.8. Perhitungan untuk  $I_p$  ataupun  $I_s$  tersebut adalah sama namun untuk rasio CT tergantung dari masing – masing arus. Jika  $I_p$  yang akan dihitung, maka rasio CT yang digunakan adalah rasio CT sisi primer. Jika  $I_s$  yang akan dihitung, maka rasio CT yang digunakan adalah rasio CT sisi sekunder.



$$I_{fl} = \frac{1}{ratio\ CT} \times I_n \quad (2.19)$$

Kemudian menghitung  $I_{diff}$ .  $I_{diff}$  adalah arus yang akan mengoperasikan rele diferensial.

$$I_{diff} = |I_P - I_S| \quad (2.20)$$

Kemudian menghitung  $I_{restrain}$  atau arus penahan. Arus penahan ini adalah arus yang mengalir pada kumparan penahan. Kumparan penahan berfungsi untuk menahan kerja rele diferensial pada zona *unbalance current*, yaitu arus yang tidak stabil disebabkan oleh adanya kekeliruan dalam hal akurasi sebuah CT, ketika ada perubahan tap changer transformator daya oleh on load tap changer (OLTC).

$$I_{restrain} = \frac{(I_P + I_S)}{2} \quad (2.21)$$

Kemudian menghitung %*Slope*. Untuk %*Slope*<sub>1</sub> berguna untuk menentukan arus diferensial dan arus restrain ketika kondisi normal sehingga ketika gangguan internal dengan arus gangguan yang kecil, rele diferensial dapat bekerja. Sedangkan untuk %*Slope*<sub>2</sub> berguna supaya rele tidak bekerja karena adanya gangguan dari luar daerah pengaman rele diferensial yang memiliki arus yang lebih besar daripada arus *setting* rele diferensial.

$$\%Slope_1 = \frac{I_{diff}}{I_{restrain}} \times 100\% \quad (2.22)$$

$$\%Slope_2 = \left( \frac{I_{diff}}{I_{restrain}} \times 2 \right) \times 100\% \quad (2.23)$$

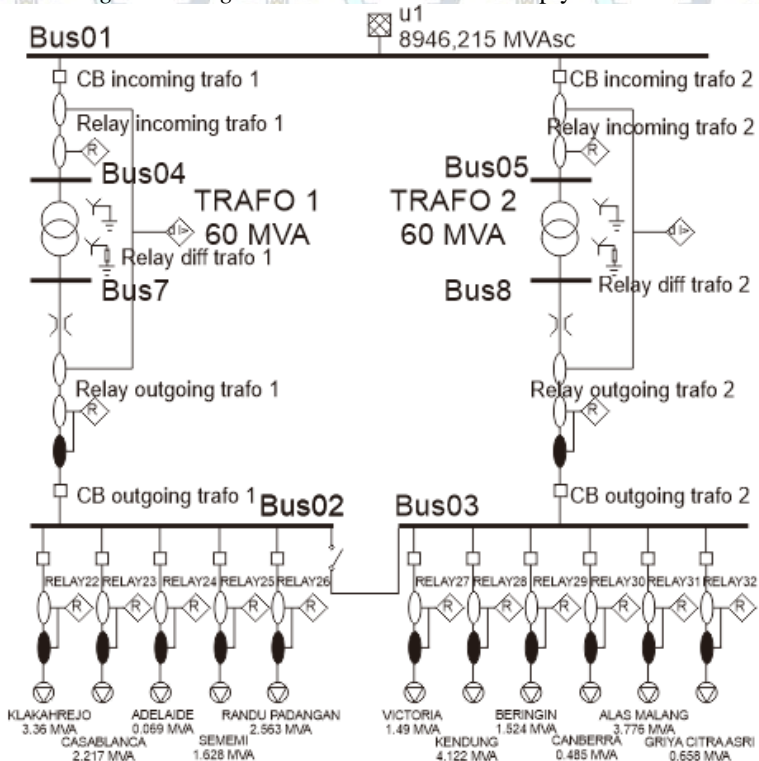
Sehingga bisa didapatkan *setting* arus rele diferensial dengan menggunakan persamaan:

$$I_{setting} = \%Slope_{(1,2)} \times I_{restrain} \quad (2.24)$$

## BAB 3 KOORDINASI PROTEKSI DI GARDU INDUK SAMBIKEREK

### 3.1 Koordinasi Proteksi di Gardu Induk Sambikerep

Gardu Induk Sambikerep merupakan salah satu gardu induk yang dimiliki PT. PLN (Persero) yang berlokasi di Sambikerep, Surabaya. Gardu Induk Sambikerep memiliki dua transformator, masing - masing berkapasitas 60 MVA. Gardu Induk Sambikerep memiliki 11 penyulang. Untuk *single line diagram* Gardu Induk Sambikerep yaitu:



**Gambar 3.1** *Single line diagram* Gardu Induk Sambikerep

### 3.2 Data Utility PT. PLN (Persero)

Gardu Induk Sambikerep disuplai oleh utility PT. PLN (Persero) dengan spesifikasi sebagai berikut:

**Tabel 3.2** Spesifikasi *Utility* PLN

Data	Spesifikasi
MVA <sub>sc</sub> 3fasa	8946.215 MVA <sub>sc</sub>
MVA <sub>sc</sub> 1fasa	7826.184 MVA <sub>sc</sub>
X/R	9.903

### 3.3 Data Transformator Daya

Gardu Induk Sambikerep memiliki dua transformator daya yang bekerja, untuk spesifikasi transformator daya, yaitu:

**Tabel 3.2** Spesifikasi Transformator Daya

Data	Spesifikasi
Merek	Areva
Tipe	Micom P642
No. Seri	36084902/01/12
Pendingin	ONAN/ONAF
Rating Daya (ONAN/ONAF)	42/60
Tegangan	150 k/20 kV
Impedansi (Z%)	12.5%
Hubungan Belitan	YNyn0+d
Pentanahan Belitan Primer	Solid Ground
Pentanahan Belitan Sekunder	NGR 500 ohm

### 3.4 Data Rele Pengaman

Rele pengaman berfungsi untuk mengamankan peralatan dari gangguan yang terjadi. Beberapa spesifikasi rele pengaman yang ada di Gardu Induk Sambikerep yaitu:

#### 3.4.1 Rele Arus Lebih Penyulang

Jumlah rele penyulang yang ada pada Gardu Induk Sambikerep berjumlah 11. Pada Gardu Induk Sambikerep, 11 rele arus lebih penyulang memiliki spesifikasi yang sama. Rele arus lebih penyulang memiliki fungsi untuk melindungi sistem tersebut apabila terdapat gangguan dari sisi beban. Rele tersebut memiliki spesifikasi sebagai berikut:



**Tabel 3.3** Spesifikasi Rele Arus Lebih Penyulang

Data	Spesifikasi
Merek	Areva
Tipe	Micom P127
Rasio CT	600/5
Rasio ZCT	50/5
$I_{>}$	400 A
$t_{>}$	0.15 SI
$I_{>>}$	3400 A
$t_{>>}$	0,3 DT
$I_{0>}$	4 A
$t_{0>}$	0.2 SI
$I_{0>>}$	15 A
$t_{0>>}$	0.4 DT

#### 3.4.2 Rele Arus Lebih Primer Transformator Daya

Rele arus lebih primer pada kedua transformator daya memiliki spesifikasi yang sama untuk melindungi transformator tersebut, dengan spesifikasi sebagai berikut:

**Tabel 3.4** Spesifikasi Rele Arus Lebih Primer Transformator Daya

Data	Spesifikasi
Merek	Areva
Tipe	Micom P141
No. seri	31503907/09/10
Rasio CT	300/1
$I_{>}$	276 A
$t_{>}$	0.3 SI
$I_{>>}$	2295 A
$t_{>>}$	Instan
$I_{0>}$	117 A
$t_{0>}$	0.675 SI

#### 3.4.3 Rele Arus Lebih Sekunder Transformator Daya

Rele arus lebih sekunder pada kedua transformator daya memiliki spesifikasi yang sama untuk melindungi transformator tersebut, dengan spesifikasi sebagai berikut:

**Tabel 3.5** Spesifikasi Rele Arus Lebih Sekunder Transformator Daya

Data	Spesifikasi
Merek	Areva
Tipe	Micom P141
No. seri	3507780/09/10
Rasio CT	2000/5
Rasio ZCT	25/5
$I_{>}$	2000 A
$t_{>}$	0.2 SI
$I_{>>}$	5100 A
$t_{>>}$	0.7 SI
$I_{0>}$	9 A
$t_{0>}$	0.1 LTI

#### 3.4.4 Rele Diferensial

Rele diferensial pada kedua transformator daya memiliki spesifikasi yang sama untuk melindungi transformator tersebut, dengan spesifikasi sebagai berikut:

**Tabel 3.6** Spesifikasi Rele Diferensial

Data	Spesifikasi
Merek	Areva
Tipe	Micom P642
No. seri	36084902/01/12
Rasio CT Primer	300/1
Rasio CT Sekunder	2000/5

#### 3.5 Data Penyulang

Penyulang di Gardu Induk Sambikerep berjumlah 11 penyulang. Setiap penyulang memiliki karakteristik yang berbeda – beda. Setiap penyulang menanggung beban yang berbeda – beda. Spesifikasi penyulang – penyulang tersebut yaitu:


**Tabel 3.7** Data Beban Penyulang

Nama Penyulang	Beban Penyulang (MVA)
Klakahrejo	3.36
Casablanca	2.217

**Tabel 3.7** Data Beban Penyulang (lanjutan)

Adelaide	0.069
Sememi	1.628
Randu Padangan	2.563
Victoria	1.49
Kendung	4.122
Beringin	1.524
Canberra	0.485
Alas Malang	3.776
Griya Citra Asri	0.658





*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB 4 HASIL SIMULASI DAN ANALISA DATA

### 4.1 Pemodelan Sistem Kelistrikan Gardu Induk Sambikerep

Untuk melakukan analisa koordinasi proteksidi Gardu Induk Sambikerep, diperlukan pemodelan sistem sistem kelistrikan Gardu Induk Sambikerep dengan menggunakan software ETAP 12.6.0 sesuai dengan *single line diagram* yang ada pada Gardu Induk Sambikerep. Data – data riil yang didapatkan dari PLN, berupa data *short circuit* utilitas PLN, bus, transformator, rele, *circuit breaker*, dan beban, dimodelkan sedemikian rupa hingga sesuai dengan *single line diagram* yang ada. Setelah selesai dimodelkan, dilakukan simulasi hubung singkat maksimum (hubung singkat tiga fasa) dan hubung singkat minimum (hubung singkat antar fasa) pada bus 02 dan bus 03. Dari simulasi tersebut akan didapatkan data arus hubung singkat maksimum dan arus hubung singkat minimum di bus 02 dan bus 03.

### 4.2 Analisa Arus Hubung Singkat

Arus hubung singkat yang akan dihitung adalah arus hubung singkat minimum yaitu arus hubung singkat antar fasa dan arus hubung singkat maksimum yaitu arus hubung singkat tiga fasa.

#### 4.2.1 Arus Hubung Singkat Maksimum

Perhitungan arus hubung singkat maksimum Gardu Induk Sambikerep bertujuan untuk mengetahui batas arus hubung singkat terbesar yang bisa terjadi pada sistem kelistrikan Gardu Induk Sambikerep. Berikut adalah data bus – bus yang dilakukan simulasi hubung singkat maksimum:

**Tabel 4.1** Data Hubung Singkat Maksimum

No.	Bus	Tegangan (kV)	$I_{scmaks}$ (kA)
1.	02	20	14,79
2.	03	20	14,79
3.	04 (Bus Bantuan)	150	1,97
4.	05 (Bus Bantuan)	150	1,97

#### 4.2.2 Arus Hubung Singkat Minimum

Perhitungan arus hubung singkat minimum digunakan mencari *pickup setting* rele arus lebih instan. Sehingga ketika ada gangguan arus

hubung singkat minimum, diharapkan rele dapat bekerja sesuai dengan *setting* waktu (*time delay*) yang sudah ditentukan. Data hubung singkat minimum pada bus – bus yang telah dilakukan simulasi hubung singkat minimum adalah:

**Tabel 4.2** Data Hubung Singkat Minimum

No.	Bus	Tegangan (kV)	$I_{scmin}$ (kA)
1.	02	20	12,81
2.	03	20	12,81
3.	04 (Bus Bantuan)	150	1,71
4.	05 (Bus Bantuan)	150	1,71

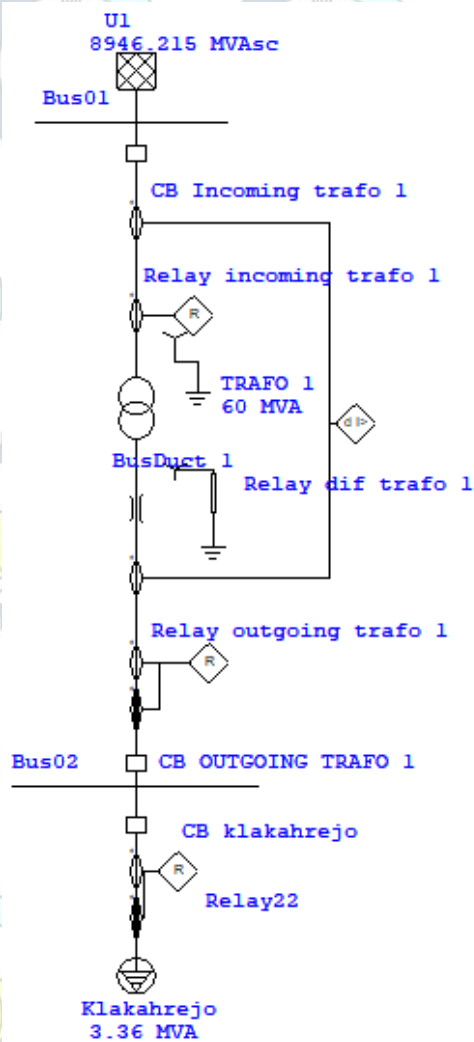
### 4.3 Koordinasi Proteksi Rele Arus Lebih Fasa

Ada 2 jenis kurva yang akan dilakukan analisa dan perhitungan koordinasi proteksi rele arus lebih gangguan fasa, yaitu kurva *overcurrent* dan kurva *instantaneous*. Parameter yang akan dihitung adalah nilai *lowset*, *time dial*, *highset*, dan *time delay*. Untuk melakukan analisa koordinasi proteksi tersebut, terlebih dahulu menentukan tipikal – tipikal koordinasi proteksi terlebi. Pada Gardu Induk Sambikerep terdapat 11 tipikal yang akan dilakukan analisa dan *resetting* sehingga koordinasi proteksi Gardu Induk Sambikerep akan menjadi lebih baik lagi. Tipikal – tipikal tersebut kemudian di plot pada *star protective device protection*.

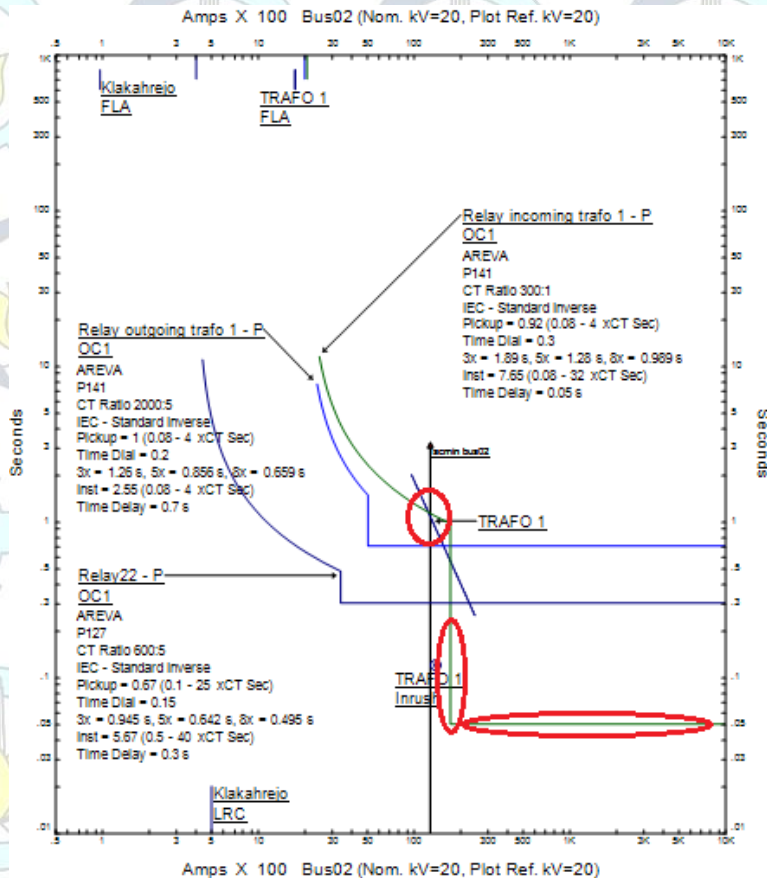
#### 4.4.1 Koordinasi Proteksi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 1

Untuk melakukan perhitungan rele arus lebih fasa tipikal 1, dibutuhkan *single line diagram* dari Gardu Induk Sambikerep. Dengan adanya *single line diagram* tersebut dapat membantu dalam proses perhitungan sistem koordinasi proteksi. *Single line diagram* yang dimaksud adalah dari data *utility* PLN hingga ke beban – beban yang ada di semua penyulang. Setiap tipikal mempunyai beban yang berbeda – beda. Berikut *single line diagram* untuk tipikal 1 adalah:





**Gambar 4.1** Single line diagram Tipikal 1



**Gambar 4.2** Plot Kurva TCC Tipikal 1

Dari hasil running *star-protective device coordination*, terlihat ada beberapa *setting* rele yang perlu diperbaiki sehingga koordinasi proteksi antar rele tersebut membaik. Kesalahan *setting* diatas adalah:

1. *Setting* relay incoming transformator 1 memiliki kesalahan, dimana arus gangguan akan mengenai damage curve transformator 1 terlebih dahulu, kemudian mengenai kurva relay incoming transformator 1. Cara untuk *meresetting* ini adalah dengan menurunkan *time dial* kurva *overcurrent* dari relay

- incoming transformator 1, atau dengan mempercepat *pickup* kurva instan dari relay incoming transformator 1
2. Dikarenakan  $I_{scmaks}$  20 kV lebih besar daripada  $I_{scmin}$  150 kV, maka *time delay* relay incoming transformator 1 tidak bisa di reset ke 0,1 DT. *Time delay* yang dimiliki oleh kurva instan dari relay incoming transformator 1 memiliki salah *setting* dimana *time delay* tersebut lebih cepat daripada *time delay* dari relay penyulang (relay22), dan relay outgoing transformator 1. Jika gangguan terjadi, maka yang akan *trip* dahulu ada relay22. Jika ada gangguan terjadi maka diharapkan yang *trip* dahulu ada relay22, kemudian relay outgoing transformator 1, dan setelah itu relay incoming transformator 1.

Untuk *setting* overcurrent dan *pickup* instan dari relay22 sebagai rele penyulang tetap mengikuti *setting* eksisting karena *setting* eksisting sudah standar PLN yaitu 400A *pickup* overcurrent, serta 3400A *pickup* instan. Untuk *resetting* relay22 hanya pada *time dial* dan *time delay* saja. Ini berlaku untuk semua rele di penyulang lainnya. Pemilihan *time delay* 0,5 DT untuk rele di penyulang bertujuan untuk memberikan 2 step interval waktu kepada *setting time delay* relay yang ada di beban PLN. Sehingga apabila di beban *disetting* 0,1 DT atau 0,3 DT, maka ketika ada gangguan maka rele penyulang baru akan *trip* setelah rele di beban *trip* sehingga tidak merugikan pelanggan PLN. Sedangkan *time delay* untuk relay outgoing transformator 1 dan relay incoming transformator 1 dinaikkan menjadi 0,7 DT. *Time delay* untuk kedua rele ini sama karena bertujuan untuk melindungi transformator dari gangguan. Apabila relay outgoing transformator 1 gagal untuk melindungi transformator dari gangguan, maka relay incoming transformator 1 akan bekerja sebagai rele *backup* dengan waktu 0,7 DT.

- Relay 22  
Merek : Areva  
Tipe : Micom P127  
Tipe Kurva : Standard Inverse  
Rasio CT : 600/5  
Iscmin bus02 : 12,81 kA  
Iscmaks bus02 : 14,79 kA  
I beban : 97 A



- **Overcurrent Time dial**

Dipilih waktu operasi  $t = 0.5$

$$t = \frac{0,14 \times t_{>}}{\left(\frac{I_{scmaks}}{I_{set primer}}\right)^{0,02} - 1}$$

$$0.5 = \frac{0,14 \times t_{>}}{\left(\frac{14790}{1,05 \times 97}\right)^{0,02} - 1}$$

$$t_{>} = \frac{0,5 \times 0,04}{0,14}$$

$$t_{>} = 0,142$$

Dipilih  $t_{>} = 0,2$  SI

- **Instantaneous Delay**

*Time delay* ( $t_{>>}$ ) dipilih 0,5 DT

- **Relay Outgoing Transformator 1**

Merek	: Areva
Tipe	: Micom P141
Tipe Kurva	: Standard Inverse
Rasio CT	: 2000/5
Iscmin bus02	: 12,81 kA
Iscmaks bus 02	: 14,79 kA
I FLA sekunder transformator	: 1732 A

- **Overcurrent Pickup**

$$\left(\frac{1,05 \times I_{FLA sek}}{Rasio CT}\right) \times I_n \leq I_{>} \leq \left(\frac{1,4 \times I_{FLA sek}}{Rasio CT}\right) \times I_n$$

$$\left(\frac{1,05 \times 1732}{2000/5}\right) \times I_n \leq I_{>} \leq \left(\frac{1,4 \times 1732}{2000/5}\right) \times I_n$$

$$4,54 \times I_n \leq I_{>} \leq 6,062 \times I_n$$

Dipilih  $I_{>} = 4,6$ , sehingga  $I_{>} = 4,6 \times 2000/5 = 1840$  A

- **Overcurrent Time dial**

Dipilih waktu operasi  $t = 0.7$

$$t = \frac{0,14 \times t_{>}}{\left(\frac{I_{scmaks}}{I_{set primer}}\right)^{0,02} - 1}$$

$$0,7 = \frac{0,14 \times t_{>}}{\left(\frac{14790}{1,05 \times 1732}\right)^{0,02} - 1}$$

$$t_{>} = \frac{0,7 \times 0,04}{0,14}$$

Dipilih  $t_{>} = 0,2$  SI

- **Instantaneous Pickup**

$$I_{>>} \leq \frac{0,8 \times I_{scmin bus02}}{Rasio CT} \times I_n$$

$$I_{>>} \leq \frac{0,8 \times 12810}{2000/5} \times I_n$$

$$I_{>>} \leq 25,62 \times I_n$$

Dipilih  $I_{>>} = 25$ , sehingga  $I_{>>} = 25 \times 2000/5 = 10000$  A

- **Instantaneous Delay**

Time delay ( $t_{>>}$ ) dipilih 0,7 DT

• Relay Incoming Transformator 1

Merek	: Areva
Tipe	: Micom P141
Tipe Kurva	: Standard Inverse
Rasio CT	: 300/1
Iscmin bus04	: 1,71 kA
Iscmaks bus 04	: 1,97 kA
I FLA primer transformator	: 230,9 A

- **Overcurrent Pickup**

$$\left( \frac{1,05 \times I_{FLA \text{ prim}}}{\text{Rasio CT}} \right) \times I_n \leq I_{>} \leq \left( \frac{1,4 \times I_{FLA \text{ prim}}}{\text{Rasio CT}} \right) \times I_n$$
$$\left( \frac{1,05 \times 230,9}{300/1} \right) \times I_n \leq I_{>} \leq \left( \frac{1,4 \times 230,9}{300/1} \right) \times I_n$$

$$0,808 \times I_n \leq I_{>} \leq 1,0775 \times I_n$$

Dipilih  $I_{>} = 0,9$ , sehingga  $I_{>} = 0,9 \times 300/1 = 270 \text{ A}$

- **Overcurrent Time dial**

Dipilih waktu operasi  $t = 0.7$

$$t = \frac{0,14 \times t_{>}}{\left( \frac{I_{scmaks}}{I_{set \text{ primer}}} \right)^{0,02} - 1}$$
$$0.1 = \frac{0,14 \times t_{>}}{\left( \frac{1970}{1,05 \times 230,9} \right)^{0,02} - 1}$$

$$t_{>} = \frac{0,7 \times 0,04}{0,14}$$

$$t_{>} = 0,2$$

Dipilih  $t_{>} = 0,2 \text{ SI}$

- **Instantaneous Pickup**

$$I_{>>} \leq \frac{0,8 \times I_{scmin \text{ bus04}}}{\text{Rasio CT}} \times I_n$$

$$I_{>>} \leq \frac{0,8 \times 1710}{300/1} \times I_n$$

$$I_{>>} \leq 4,56 \times I_n$$

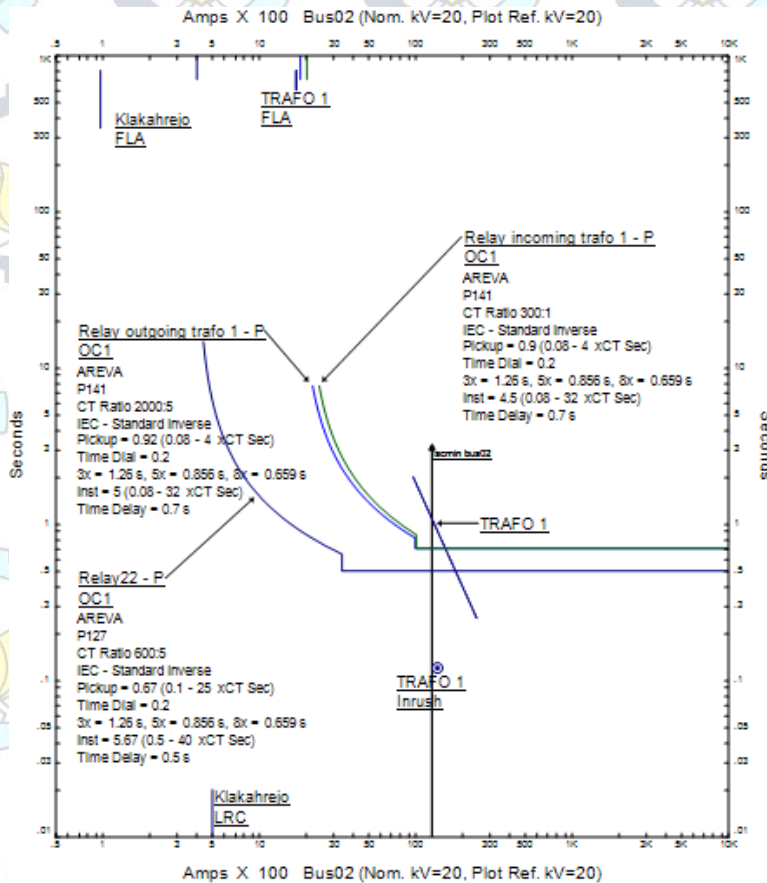
Dipilih  $I_{>>} = 4,5$ , sehingga  $I_{>>} = 4,5 \times 300/1 = 1350 \text{ A}$

- **Instantaneous Delay**

*Time delay* ( $t_{>>}$ ) dipilih 0,7 DT



Setelah dilakukan perhitungan, semua data yang di dapatkan dimasukkan ke masing – masing rele. Setelah itu di *plot* kembali di *star protective device coordination*.



**Gambar 4.3** Resetting Plot kurva TCC Tipikal 1

Terlihat bahwa semua *setting* rele sudah baik dan sudah berdasarkan standar yang ada untuk dapat mengatasi gangguan dengan tepat dan cepat. Ketika ada gangguan maka relay incoming transformator 1 akan *trip* lebih

dahulu sebelum transformator rusak. Selain itu juga dapat terlihat bahwa untuk urutan *trip* sudah benar yaitu apabila ada gangguan di sisi beban, maka urutan *trip*nya yaitu yang pertama adalah relay22 sebagai relay penyulang, yang kedua adalah relay outgoing transformator 1, dan relay yang terakhir *trip* adalah relay incoming transformator 1.

**Tabel 4.3** *Setting* Eksisting Rele Arus Lebih Fasa

<i>Relay</i>	<i>Pickup Overcurrent (A)</i>	<i>Time dial</i>	<i>Pickup Instantaneous (A)</i>	<i>Time delay (DT)</i>
Relay22	400	0,15 SI	3400	0,3
Relay23	400	0,15 SI	3400	0,3
Relay24	400	0,15 SI	3400	0,3
Relay25	400	0,15 SI	3400	0,3
Relay26	400	0,15 SI	3400	0,3
Relay27	400	0,15 SI	3400	0,3
Relay28	400	0,15 SI	3400	0,3
Relay29	400	0,15 SI	3400	0,3
Relay30	400	0,15 SI	3400	0,3
Relay31	400	0,15 SI	3400	0,3
Relay32	400	0,15 SI	3400	0,3
Relay Outgoing Transformator 1	2000	0,2 SI	5100	0,7
Relay Outgoing Transformator 2	2000	0,2 SI	5100	0,7
Relay Incoming Transformator 1	276	0,3 SI	2295	Instan
Relay Incoming Transformator 2	276	0,3 SI	2295	Instan

Karena tipikal 1 sampai tipikal 11 menggunakan *setting* eksisting yang sama maka penyajian hasil *resetting* akan ditunjukkan berupa tabel.

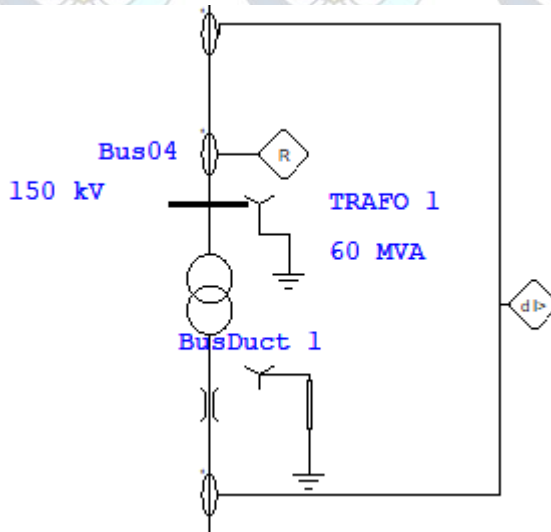
**Tabel 4.4** *Resetting* Rele Arus Lebih Fasa

<i>Relay</i>	<i>Pickup Overcurrent (A)</i>	<i>Time dial</i>	<i>Pickup Instantaneous (A)</i>	<i>Time delay (DT)</i>
Relay22	400	0,2 SI	3400	0,5
Relay23	400	0,2 SI	3400	0,5
Relay24	400	0,2 SI	3400	0,5
Relay25	400	0,2 SI	3400	0,5
Relay26	400	0,2 SI	3400	0,5
Relay27	400	0,2 SI	3400	0,5
Relay28	400	0,2 SI	3400	0,5
Relay29	400	0,2 SI	3400	0,5
Relay30	400	0,2 SI	3400	0,5
Relay31	400	0,2 SI	3400	0,5
Relay32	400	0,2 SI	3400	0,5
Relay Outgoing Transformator 1	1840	0,2 SI	10000	0,7
Relay Outgoing Transformator 2	1840	0,2 SI	10000	0,7
Relay Incoming Transformator 1	270	0,2 SI	1350	0,7
Relay Incoming Transformator 2	270	0,2 SI	1350	0,7



#### 4.4 Koordinasi Proteksi Relé Diferensial

Relé diferensial pada *single line diagram* Gardu Induk Sambikerep yaitu:



**Gambar 4.4** Relé Diferensial Pada Gardu Induk Sambikerep

Merek	: Areva
Tipe	: Micom P642
Rasio CT Primer	: 300/1
Rasio CT Sekunder	: 2000/5

##### 4.4.1 Perhitungan *Setting* Relé Diferensial Ketika Normal

Perhitungan *setting* relé diferensial ketika normal bertujuan sebagai pembandingan. Apabila  $I_{diff}$  dan %*Slope* ketika normal lebih besar dibandingkan dengan ketika gangguan, maka relé diferensial tidak akan bekerja. Sebaliknya apabila nilai  $I_{diff}$  dan %*Slope* ketika normal lebih kecil dibandingkan dengan ketika gangguan, maka relé diferensial akan bekerja.

Relé diferensial akan bekerja ketika ada gangguan internal. Artinya nilai  $I_{diff}$  dan %*Slope* ketika normal akan lebih kecil jika dibandingkan dengan nilai ketika gangguan internal terjadi.

Rele diferensial tidak akan bekerja ketika ada gangguan eksternal. Artinya nilai  $I_{diff}$  dan %Slope ketika normal akan lebih besar jika dibandingkan dengan nilai ketika gangguan eksternal terjadi.

$$I_{n \text{ primer}} = \frac{MVA}{\sqrt{3} \times kV \text{ primer}} = \frac{60 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 150 \times 10^3} = 230,9A$$

$$I_{n \text{ sekunder}} = \frac{MVA}{\sqrt{3} \times kV \text{ primer}} = \frac{60 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 20 \times 10^3} = 1732A$$

$$I_p = 230,9 \times \frac{1}{300} = 0,769A$$

Maka

$$I_s = 1732 \times \frac{5}{2000} = 4,33A$$

$$I_{diff} = |I_p - I_s|$$

$$I_{diff} = |0,769 - 4,33|$$

$$I_{diff} = 3,561A$$

$$I_{diff} (\%) = \frac{3,561}{5} \times 100\%$$

$$I_{diff} (\%) = 71,22\%$$

$$I_{restrain} = \frac{|I_p + I_s|}{2}$$

$$I_{restrain} = \frac{|0,769 + 4,33|}{2}$$

$$I_{restrain} = 2,5495A$$

Slope nya adalah

$$\%Slope = \frac{I_{diff}}{I_{restrain}} \times 100\%$$

$$\%Slope = \frac{3,561}{2,5495} \times 100\%$$

$$\%Slope = 139,67\%$$

#### 4.4.2 Perhitungan Setting Rele Diferensial Ketika Gangguan Eksternal di Sisi 20 kV (Line to Line)

Diketahui nilai arus hubung singkat minimum di bus01 adalah 1710 A, dan arus hubung singkat minimum di bus02 adalah 12810 A. Sehingga:

$$I_p = 1710 \times \frac{1}{300} = 5,7 \text{ A}$$

$$I_s = 12810 \times \frac{5}{2000} = 32,025 \text{ A}$$

Maka

$$I_{diff} = |I_p - I_s|$$

$$I_{diff} = |5,7 - 32,025|$$

$$I_{diff} = 26,325 \text{ A}$$

$$I_{diff} (\%) = \frac{26,325}{5} \times 100\%$$

$$I_{diff} (\%) = 526,5\%$$

$$I_{restrain} = \frac{|I_p + I_s|}{2}$$

$$I_{restrain} = \frac{|5,7 + 32,025|}{2}$$

$$I_{restrain} = 18,8625 \text{ A}$$

Slope nya adalah

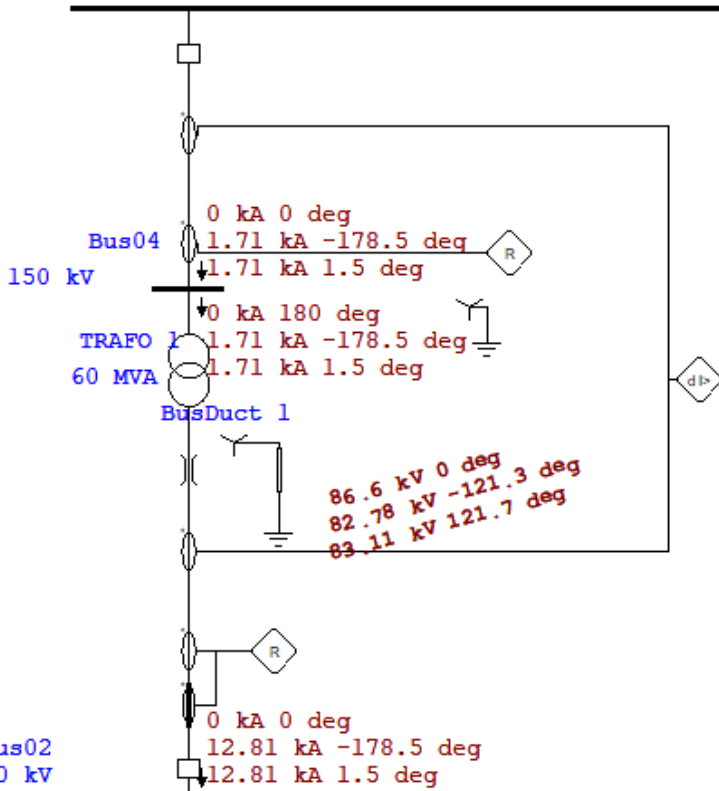
$$\%Slope = \frac{I_{diff}}{I_{restrain}} \times 100\%$$



$$\%Slope = \frac{26,325}{18,8625} \times 100\%$$

$$\%Slope = 139,56 \%$$

Bus01  
150 kV



**Gambar 4.5** Gangguan Hubung Singkat *Line to Line* di Bus02

#### 4.4.3 Perhitungan *Setting* Relé Diferensial Ketika Gangguan Eksternal di Sisi 20 kV (3 Fasa)

Diketahui nilai arus hubung singkat maksimum di bus01 adalah 1970 A, dan arus hubung singkat minimum di bus02 adalah 14790 A. Sehingga:

$$I_p = 1970 \times \frac{1}{300} = 6,566 \text{ A}$$

$$I_s = 14790 \times \frac{5}{2000} = 36,975 \text{ A}$$

Maka

$$I_{diff} = |I_p - I_s|$$

$$I_{diff} = |6,566 - 36,975|$$

$$I_{diff} = 30,409 \text{ A}$$

$$I_{diff} (\%) = \frac{30,409}{5} \times 100\%$$

$$I_{diff} (\%) = 608,18\%$$

$$I_{restrain} = \frac{|I_p + I_s|}{2}$$

$$I_{restrain} = \frac{|6,566 + 36,975|}{2}$$

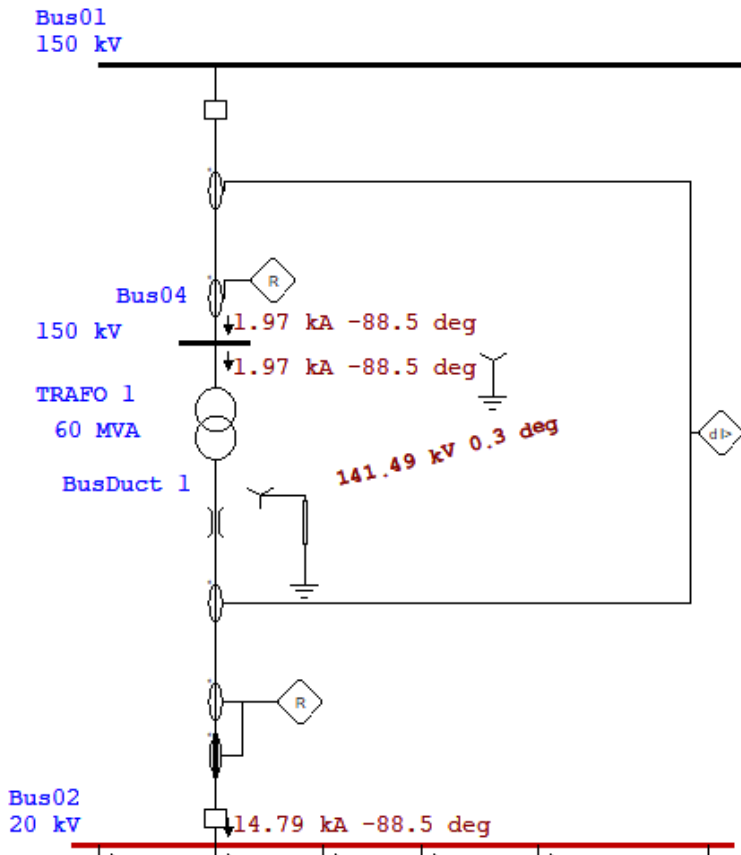
$$I_{restrain} = 21,7705 \text{ A}$$

Slope nya adalah

$$\%Slope = \frac{I_{diff}}{I_{restrain}} \times 100\%$$

$$\%Slope = \frac{30,409}{21,7705} \times 100\%$$

$$\%Slope = 139,67 \%$$



**Gambar 4.6** Gangguan Hubung Singkat 3 *Phasa* di Bus02

#### 4.4.4 Perhitungan *Setting* Relé Diferensial Ketika Gangguan Eksternal di Sisi 150 kV (*Line to Line*)

Diketahui nilai arus hubung singkat minimum di bus01 adalah 170 A, dan arus hubung singkat minimum di bus02 adalah 1280 A. Sehingga:

$$I_p = 170 \times \frac{1}{300} = 0,566 \text{ A}$$



$$I_s = 1280 \times \frac{5}{2000} = 3,2 \text{ A}$$

Maka

$$I_{diff} = |I_p - I_s|$$

$$I_{diff} = |0,566 - 3,2|$$

$$I_{diff} = 2,634 \text{ A}$$

$$I_{diff} (\%) = \frac{2,634}{5} \times 100\%$$

$$I_{diff} (\%) = 52,68\%$$

$$I_{restrain} = \frac{|I_p + I_s|}{2}$$

$$I_{restrain} = \frac{|0,566 + 3,2|}{2}$$

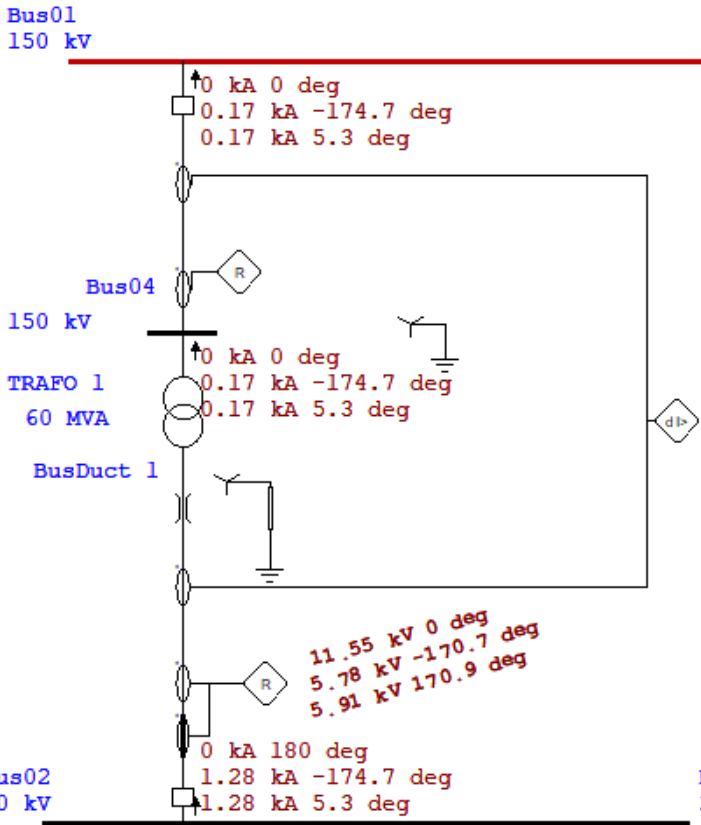
$$I_{restrain} = 1,883 \text{ A}$$

Slope nya adalah

$$\%Slope = \frac{I_{diff}}{I_{restrain}} \times 100\%$$

$$\%Slope = \frac{2,634}{1,883} \times 100\%$$

$$\%Slope = 139,88 \%$$



**Gambar 4.7** Gangguan Hubung Singkat *Line to Line* di Bus01

#### 4.4.5 Perhitungan *Setting* Rele Diferensial Ketika Gangguan Eksternal di Sisi 150 kV (3 *Phasa*)

Diketahui nilai arus hubung singkat maksimum di bus01 adalah 196 A, dan arus hubung singkat minimum di bus02 adalah 1470 A. Sehingga:

$$I_p = 196 \times \frac{1}{300} = 0,653 \text{ A}$$

$$I_s = 1470 \times \frac{5}{2000} = 3,675 \text{ A}$$

Maka

$$I_{diff} = |I_p - I_s|$$

$$I_{diff} = |0,653 - 3,675|$$

$$I_{diff} = 3,022 \text{ A}$$

$$I_{diff} (\%) = \frac{3,022}{5} \times 100\%$$

$$I_{diff} (\%) = 60,44\%$$

$$I_{restrain} = \frac{|I_p + I_s|}{2}$$

$$I_{restrain} = \frac{|0,653 + 3,675|}{2}$$

$$I_{restrain} = 2,164 \text{ A}$$

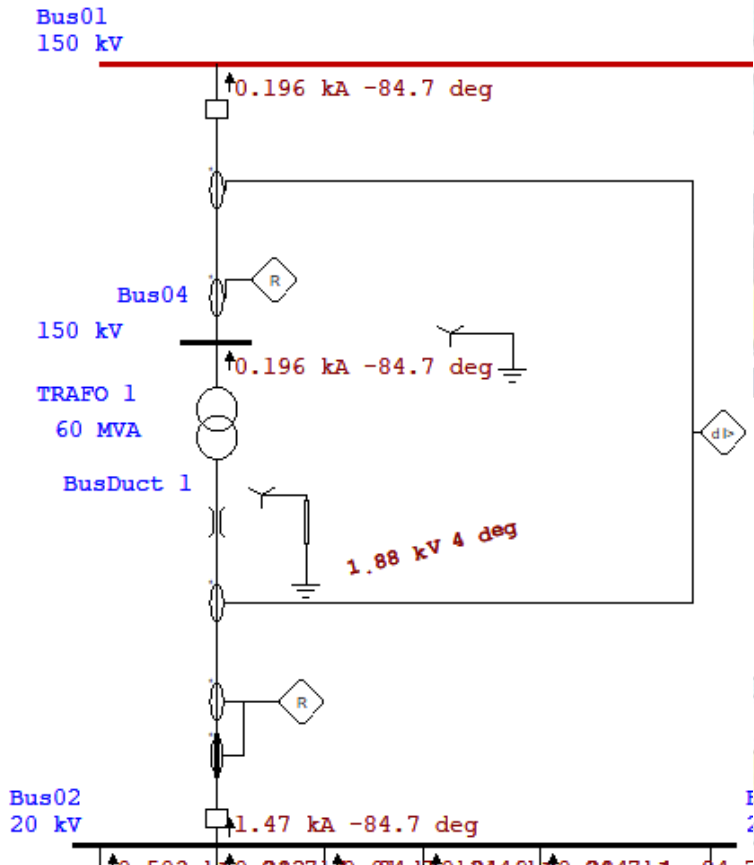
Slope nya adalah

$$\%Slope = \frac{I_{diff}}{I_{restrain}} \times 100\%$$

$$\%Slope = \frac{3,022}{2,164} \times 100\%$$

$$\%Slope = 139,64 \%$$





**Gambar 4.8** Gangguan Hubung Singkat 3 Phasa di Bus01

#### 4.4.6 Perhitungan *Setting* Relé Diferensial Ketika Gangguan Internal (*Line to Line*)

Diketahui nilai arus hubung singkat minimum di bus04 adalah 30020 A, dan arus hubung singkat minimum di bus7 adalah 1280 A. Sehingga:

$$I_p = 30020 \times \frac{1}{300} = 100,066 \text{ A}$$

$$I_s = 1280 \times \frac{5}{2000} = 3,2 \text{ A}$$

Maka

$$I_{diff} = |I_p - I_s|$$

$$I_{diff} = |100,066 - 3,2|$$

$$I_{diff} = 96,866 \text{ A}$$

$$I_{diff} (\%) = \frac{96,866}{5} \times 100\%$$

$$I_{diff} (\%) = 1937,32 \%$$

$$I_{restrain} = \frac{|I_p + I_s|}{2}$$

$$I_{restrain} = \frac{|100,066 + 3,2|}{2}$$

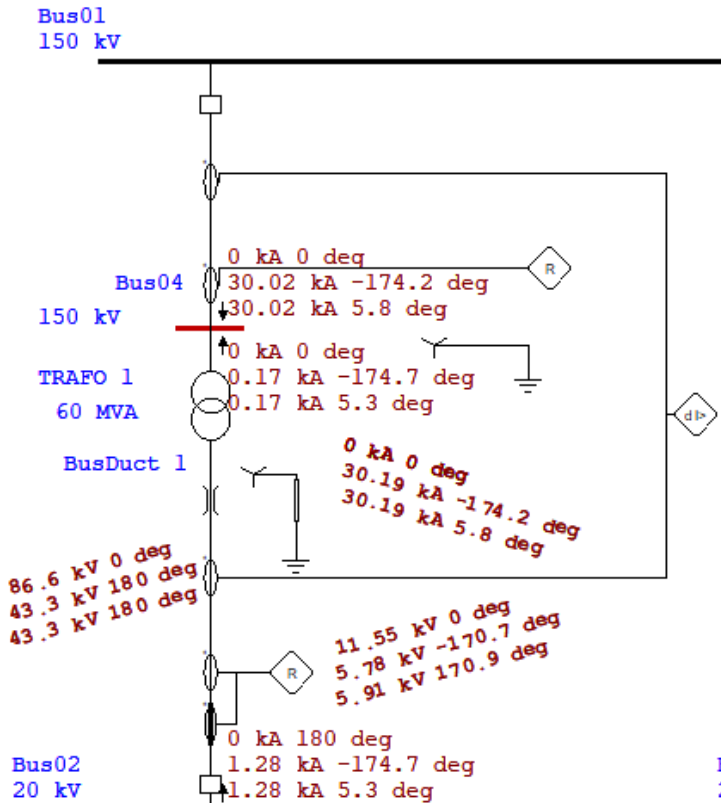
$$I_{restrain} = 51,633 \text{ A}$$

Slope nya adalah

$$\%Slope = \frac{I_{diff}}{I_{restrain}} \times 100\%$$

$$\%Slope = \frac{96,866}{51,633} \times 100\%$$

$$\%Slope = 187,6 \%$$



**Gambar 4.9** Gangguan Hubung Singkat *Line to Line* di Bus04

#### 4.4.7 Perhitungan *Setting* Rele Diferensial Ketika Gangguan Internal (3 *Phasa*)

Diketahui nilai arus hubung singkat maksimum di bus04 adalah 34670 A, dan arus hubung singkat minimum di bus7 adalah 1470 A. Sehingga:

$$I_p = 34670 \times \frac{1}{300} = 115,56 \text{ A}$$



$$I_s = 1470 \times \frac{5}{2000} = 3,675 \text{ A}$$

Maka

$$I_{diff} = |I_p - I_s|$$

$$I_{diff} = |115,56 - 3,675|$$

$$I_{diff} = 111,975 \text{ A}$$

$$I_{diff} (\%) = \frac{111,975}{5} \times 100\%$$

$$I_{diff} (\%) = 2239,5\%$$

$$I_{restrain} = \frac{|I_p + I_s|}{2}$$

$$I_{restrain} = \frac{|111,56 + 3,675|}{2}$$

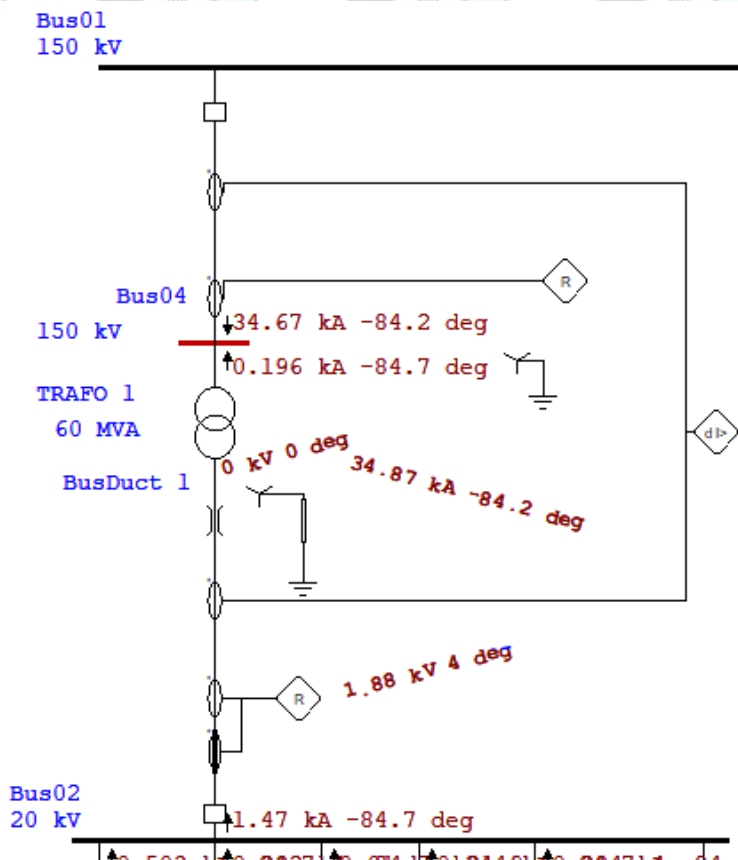
$$I_{restrain} = 57,617 \text{ A}$$

Slope nya adalah

$$\%Slope = \frac{I_{diff}}{I_{restrain}} \times 100\%$$

$$\%Slope = \frac{111,975}{57,617} \times 100\%$$

$$\%Slope = 194,34 \%$$



**Gambar 4.10** Gangguan Hubung Singkat 3 Phase di Bus04

#### 4.4.8 Plotting Setting Rele Diferensial

Setelah diketahui semua nilai  $I_{diff}$  dan  $\%Slope$  untuk semua gangguan, maka langkah selanjutnya adalah memplotting nilai tersebut dalam kurva karakteristik rele diferensial sehingga dapat terlihat dengan jelas apakah *setting* rele diferensial benar atau salah. Berikut adalah data setting rele diferensial dalam berbagai kondisi:

**Tabel 4.5** *Setting Rele Diferensial Dalam Berbagai Kondisi*

Keadaan	$I_{diff}$	$I_{restrain}$	%Slope
Normal	3,561	2,549	139,67
Gangguan Eksternal 20 kV (L-L)	26,325	18,86	139,56
Gangguan Eksternal 20 kV (3 Phasa)	30,409	21,77	139,67
Gangguan Eksternal 150 kV (L-L)	2,634	1,883	139,88
Gangguan Eksternal 150 kV (3 Phasa)	3,022	2,164	139,64
Gangguan Internal (L-L)	96,866	51,633	187,6
Gangguan Internal (3 Phasa)	111,975	57,617	194,34

Sehingga untuk setting bisa dicari:

$$I_{set} = I_{diff} \times \%Slope$$

$$I_{set} = 50 \times 150\%$$

$$I_{set} = 75 \text{ A}$$

Untuk waktu operasi dipilih 0,03 detik sesuai dengan yang ada pada datasheet Micom P642.

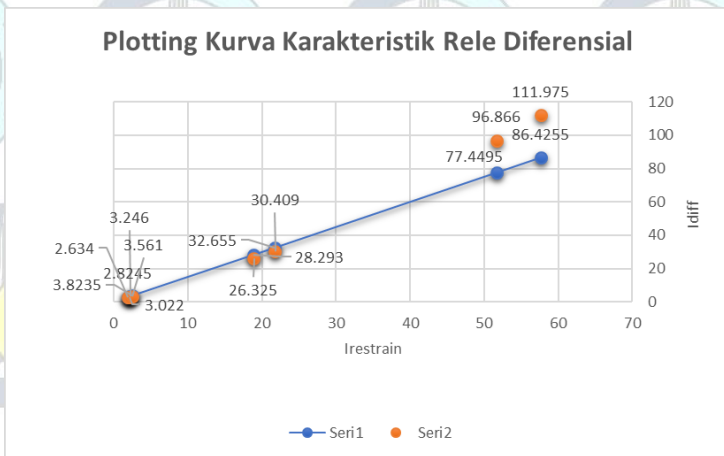
Setelah didapatkan perhitungan pada berbagai kondisi rele diferensial, yaitu ketika normal, ketika terjadi gangguan eksternal baik berupa gangguan *line to line* maupun *3 phasa* yang terjadi pada bus 20kV maupun pada bus 150 kV, kemudian pada saat terjadi gangguan internal baik berupa gangguan *line to line* maupun *3 phasa*, data – data tersebut kemudian dijadikan sebuah kurva rele diferensial.

Dari kurva tersebut akan terlihat apakah pemilihan *setting* sudah benar atau belum. Apabila Posisi nilai ketika gangguan internal berada di atas garis %Slope dan  $I_{diff}$ , dan posisi nilai ketika gangguan eksternal berada di bawah garis %Slope dan  $I_{diff}$ , maka dapat dikatakan bahwa pemilihan *setting* rele diferensial sudah benar dan sesuai dengan standar. Sesuai dengan teori dan standar yang ada bahwa ketika terjadi gangguan internal, rele diferensial akan bekerja. Namun ketika terjadi gangguan eksternal, maka rele diferensial tidak akan bekerja.

Untuk nilai sumbu Y berupa nilai  $I_{diff}$ , sedangkan untuk nilai sumbu X berupa nilai  $I_{restrain}$ .

Berikut merupakan plotting kurva karakteristik rele diferensial :





**Gambar 4.11** *Plotting Setting Rele Diferensial pada Kurva Karakteristik Rele Diferensial*

Keterangan :

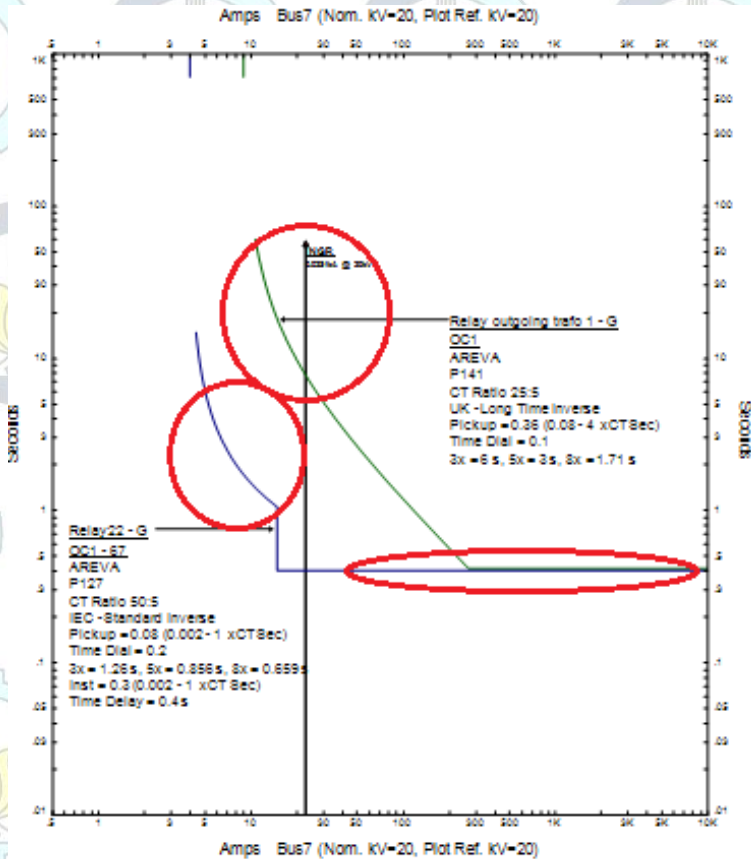
Normal	: 3,561
Gangguan Eksternal 20 kV ( <i>Line to Line</i> )	: 26,325
Gangguan Eksternal 20 kV ( <i>3 Phasa</i> )	: 30,409
Gangguan Eksternal 150 kV ( <i>Line to Line</i> )	: 2,634
Gangguan Eksternal 150 kV ( <i>3 Phasa</i> )	: 3,022
Gangguan Eksternal Internal ( <i>Line to Line</i> )	: 96,866
Gangguan Eksternal Internal ( <i>3 Phasa</i> )	: 111,975

Terlihat pada gambar 4.11 bahwa rele diferensial akan bekerja ketika gangguan terjadi di daerah internal pengamanan rele diferensial. Jika gangguan yang terjadi adalah gangguan eksternal, maka rele diferensial tidak akan bekerja.

#### 4.5 Koordinasi Proteksi Rele Arus Lebih Gangguan Tanah

Karena *setting* eksisting untuk setiap rele penyulang sama maka hasil perhitungan akan ditampilkan melalui tabel.

Untuk *setting* rele arus lebih gangguan tanah, yang harus diperhatikan adalah mencari *pickup* kurva instan dan menentukan *time delay* nya. Untuk rele arus lebih gangguan tanah menggunakan rele *inverse definite time*.



**Gambar 4.12** Kurva TCC Rele Arus Lebih Gangguan Tanah Tipikal 1

Dari data setting eksisting terlihat ada beberapa yang perlu diperbaiki, yaitu:

1. Dikarenakan *grounding* sekunder transformator menggunakan NGR, maka apapun penyebab hubung singkat satu fasa ke tanah, arusnya akan tetap maksimal 23,09A. Sehingga lebih tepat menggunakan kurva *definite time* dimana kurva *definite time* bekerja tanpa berdasarkan besarnya arus gangguan dan diharapkan bekerja secara cepat sehingga bisa ditentukan langsung *time delay* untuk *tripnya*.

2. *Time Delay* dari kedua rele masih sama. Seharusnya relay22 *trip* dahulu apabila ada gangguan satu fasa ke tanah, setelah itu yang *trip* adalah relay outgoing transformator 1. Apabila dibiarkan seperti ini, maka ketika ada gangguan satu fasa ke tanah dan relay outgoing transformator 1 *trip* bersamaan dengan relay22, maka yang *trip* akan ada lebih dari 1 penyulang.

- Relay 22  
Merek : Areva  
Tipe : Micom P127  
Rasio ZCT : 50/5  
Arus NGR : 23,09

- **Instantaneous Pickup**

$$\frac{10\% \times I_{NGR}}{\text{rasio CT}} \leq I \gg \leq \frac{50\% \times I_{NGR}}{\text{rasio CT}}$$

$$\frac{10\% \times 23,09}{50} \leq I \gg \leq \frac{50\% \times 23,09}{50}$$

$$0,046 \leq I \gg \leq 0,23$$

Dipilih 0,1. Sehingga  $0,1 \times 50 = 5A$ .

- **Intantaneous Delay**

*Time delay* dipilih 0,5

- Relay Outgoing Transformator 1  
Merek : Areva  
Tipe : Micom P141  
Rasio ZCT : 25/5  
Arus NGR : 23,09

- **Instantaneous Pickup**

$$\frac{10\% \times I_{NGR}}{\text{rasio CT}} \leq I \gg \leq \frac{50\% \times I_{NGR}}{\text{rasio CT}}$$

$$\frac{10\% \times 23,09}{25} \leq I \gg \leq \frac{50\% \times 23,09}{25}$$

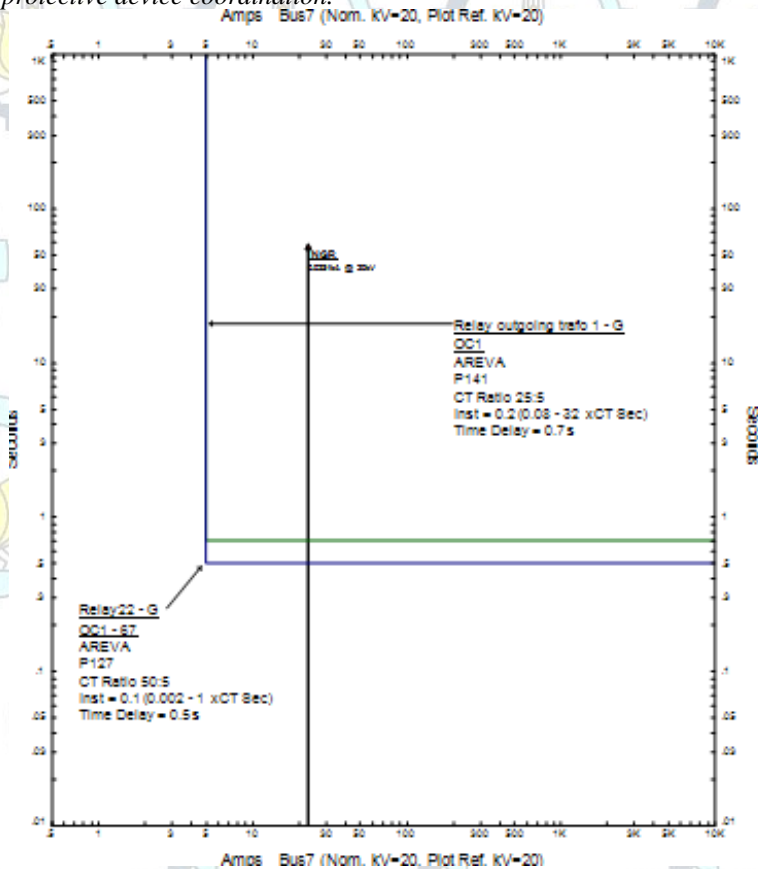


$$0,092 \leq I_{set} \leq 0,461$$

Dipilih 0,2. Sehingga Didapatkan  $0,2 \times 25 = 5A$ .

- **Instantaneous Delay**  
Time delay dipilih 0,7

Setelah diketahui *setting* dari relay22 dan relay outgoing transformator 1, maka *setting* tersebut di simulasikan pada kurva *star protective device coordination*.




**Gambar 4.13** Resetting Kurva TCC Rele Arus Lebih Gangguan Tanah Tipikal 1

Terlihat pada *setting* di atas sudah membaik. Karena *grounding* sekunder transformator menggunakan NGR, maka arus hubung singkat ke tanah karena penyebab apapun, besar nilai arusnya maksimal hanya 23,09A. Sehingga dengan menggunakan kurva definite time adalah langkah yang tepat karena *trip* yang terjadi pada rele tidak berdasarkan besarnya arus gangguan. Dari *setting* di atas juga dapat terlihat bahwa urutan *trip* sudah benar apabila terjadi gangguan satu fasa ke tanah. Apabila ada gangguan satu fasa ke tanah di bagian beban, maka relay22 sebagai rele penyulang akan *trip* terlebih dahulu, kemudian relay outgoing transformator 1 akan *trip*.

**Tabel 4.6** *Resetting* Rele Arus Lebih Gangguan Tanah

<i>Relay</i>	<i>Pickup Instantaneous</i>	<i>Time delay</i>
Relay22	0,5	0,5 DT
Relay23	0,5	0,5 DT
Relay24	0,5	0,5 DT
Relay25	0,5	0,5 DT
Relay26	0,5	0,5 DT
Relay27	0,5	0,5 DT
Relay28	0,5	0,5 DT
Relay29	0,5	0,5 DT
Relay30	0,5	0,5 DT
Relay31	0,5	0,5 DT
Relay32	0,5	0,5 DT
Relay Outgoing Transformator 1	0,5	0,7 DT
Relay Outgoing Transformator 2	0,5	0,7 DT



*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## BAB 5 PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil simulasi dan analisa yang diperoleh, maka dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu:

1. Untuk setting overcurrent dan pickup instan dari setiap rele penyulang tetap mengikuti setting eksisting karena setting eksisting sudah standar PLN yaitu 400A pickup overcurrent, serta 3400A pickup instan. Untuk resetting setiap rele penyulang hanya pada time dial dan time delay saja. Pemilihan time delay 0,5 DT untuk rele di penyulang bertujuan untuk memberikan 2 step interval waktu kepada setting time delay relay yang ada di beban PLN. Sehingga apabila di beban disetting 0,1 DT atau 0,3 DT, maka ketika ada gangguan maka rele penyulang baru akan *trip* setelah rele di beban *trip* sehingga tidak merugikan pelanggan PLN. Sedangkan time delay untuk relay outgoing transformator dan relay incoming transformator dinaikkan menjadi 0,7 DT. Time delay untuk rele tersebut bernilai sama karena bertujuan untuk melindungi transformator dari gangguan. Apabila relay outgoing transformator gagal untuk melindungi transformator dari gangguan, maka relay incoming transformator akan bekerja sebagai rele backup dengan waktu 0,7 DT.
2. Setelah dilakukan perhitungan untuk rele diferensial didapatkan  $I_{diff}$  sebesar 50A, dan %Slope sebesar 150%. Sehingga setting rele diferensial adalah 75A. Pada setting 75A ini sudah benar dan sesuai standar karena ketika ada gangguan eksternal, rele diferensial tidak akan bekerja, namun ketika terjadi gangguan di internal, rele diferensial akan bekerja. Untuk waktu operasi rele diferensial dipilih 0,03 detik sesuai dengan yang ada pada datasheet Micom P642.
3. Dikarenakan *grounding* sekunder transformator menggunakan NGR, maka arus hubung singkat ke tanah karena penyebab apapun, besar nilai arusnya maksimal hanya 23,09A. Sehingga dengan menggunakan kurva *definite time* adalah langkah yang tepat karena *trip* yang terjadi pada rele tidak berdasarkan besarnya arus gangguan. Setelah dilakukan perhitungan pada rele penyulang, didapatkan *pickup instant* sebesar 5A dengan *time delay* 0,5DT. Sedangkan untuk perhitungan rele outgoing transformator, didapatkan *pickup instant* sebesar 0,5A dengan *time delay* 0,7DT. Setelah dilakukan resetting, terlihat bahwa kerja rele gangguan tanah sudah membaik.

Apabila ada gangguan satu fasa ke tanah di bagian beban, maka penyulang akan *trip* terlebih dahulu, kemudian relay outgoing transformator akan *trip*.

## 5.2 Saran

Dari simulasi dan analisa, penulis dapat memberikan beberapa saran antara lain:

1. Dari beberapa *setting* rele yang telah dihitung, diharapkan dapat menjadi sebuah referensi PLN untuk *meresetting* koordinasi proteksinya di Gardu Induk Sambikerep dengan tujuan koordinasi proteksi yang lebih baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] “IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems (IEEE Buff Book),” IEEE Std 242-2001 (Revision of IEEE Std 242-1986) [IEEE Buff Book]. pp. 1–710, 2001.
- [2] Badruzzaman Yusnan, Liddinillah Rizki. Kinerja Ground fault Relay ( Relay Gangguan Tanah pada Penyulang 4 dan Penyulang 6 Gardu Induk Sronдол, Semarang : Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Semarang, 2013.
- [3] R. Wahyudi, Diktat Kuliah Sistem Pengaman. Institut Teknologi Sepluh Nopember, 2004.
- [4] Sistem Proteksi Gardu Induk, PT. PLN (Persero) Pusat Pendidikan dan Pelatihan.
- [5] Pujiantara Margo, Diktat Pengaman Arus Lebih : Institut Teknologi Sepluh Nopember, 2004.
- [6] P. Anderson, “Power System Protection,” John Wiley., Canada, 1998.
- [7] Schneider Electric, “Directional non Directional Relay Technical Manual,” 2011
- [8] AREVA, “Transformer Protection Relay Technical Data Sheet,” 2009
- [9] AREVA, “Feeder Management Relay Technical Manual,” 2009.
- [10] <https://dayat-akmal.blogspot.com/2017/05/relay-arus-lebih-over-current-relay.html/>





*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BIOGRAFI PENULIS



[muhhammadwalhakim@gmail.com](mailto:muhhammadwalhakim@gmail.com)

**Muhammad Wal Hakim**, lahir di Purwokerto pada tanggal 16 November 1996. Penulis lulus pendidikan jenjang Sekolah Menengah Atas dari SMA Negeri 2 Purwokerto pada tahun 2015. Kemudian pada tahun 2015 penulis terdaftar sebagai mahasiswa bidang studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Selama kuliah, penulis aktif di beberapa kegiatan pelatihan manajerial, kepanitiaan dan organisasi. Penulis dapat dihubungi melalui email