



**TUGAS AKHIR - TE 091399**

**KORDINASI PROTEKSI PADA SISTEM DISTRIBUSI *RING* PT  
PUPUK KALIMANTAN TIMUR AKIBAT PENAMBAHAN  
PABRIK 5 (PKT-5)**

Rizky Adam Abdullah  
NRP 2209 100 094

Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
Ir. Arif Musthofa, MT

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2014



**TUGAS AKHIR - TE 091399**

**PROTECTION COORDINATION IN TING DISTRIBUTION  
SYSTEMS PT PUPUK KALIMANTAN TIMUR DUE TO THE  
ADDITION OF FACTORY 5(PKT-5)**

Rizky Adam Abdullah  
NRP 2209 100 094

Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
Ir. Arif Musthofa, MT

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2014

## **KATA PENGANTAR**

*Bismillahirrahmanirrahiim*, puji syukur penulis penjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan berkat dan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul :

### **KORDINASI PROTEKSI PADA SISTEM DISTRIBUSI RING PT PUPUK KALIMANTAN TIMUR AKIBAT PENAMBAHAN PABRIK 5 (PKT-5)**

Diharapkan laporan tugas akhir ini dapat digunakan sebagai referensi berkaitan dengan proses produksi pada industri dan untuk memenuhi salah satu persyaratan untuk menyelesaikan studi pada bidang studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro pada Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Brahim Abdullah dan Ibu Yunie Syamsu Dinia yang saya cintai telah mencurahkan kasih sayangnya selama mendampingi penulis menyelesaikan studi dan Tugas Akhir.
2. Bapak Prof. Ir. Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT. Dan IR. Arif Musthofa, MT. sebagai dosen pembimbing saya yang telah memberikan arahan, perhatian, dan kasih sayangnya dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Teman-teman seangkatan SMA saya yang telah memberikan dukungan moril untuk mengerjakan Tugas Akhir.
4. Seluruh Personil Kontrakan Kimochi yang juga menjadi penyemangat dalam kuliah dan teman hidup di kota ini.
5. Andikta Dwi Hirlanda dan teman-teman lab Lipis B204 yang telah membantu dalam mengerjakan tugas akhir ini
6. Keluarga e49 yang telah membantu kelancaran dan memberikan semangat dan inspirasi untuk terus berkarya. Terutama yang selalu saya reportkan mengenai Tugas Akhir ini.

Besar harapan saya sebagai penulis agar tugas akhir ini dapat memberikan manfaat dan masukan bagi siapa saja yang membacanya.

Surabaya, Juni 2013

Penulis

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

**KORDINASI PROTEKSI PADA SISTEM DISTRIBUSI RING  
PT PUPUK KALIMANTAN TIMUR AKIBAT PENAMBAHAN  
PABRIK 5 (PKT-5)**

**TUGAS AKHIR**

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

Menyetujui

Dosen Pembimbing I

Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
NIP. 196603181990101001

Dosen Pembimbing II

Ir. Arif Musthafa, MT  
NIP. 196608111992031004



## ABSTRAK

PT. Pupuk Kaltim adalah perusahaan produsen pupuk urea terbesar di Indonesia yang saat ini sedang melakukan penambahan pabrik. Dengan adanya penambahan beban maka PT Pupuk Kaltim juga melakukan penambahan daya yang dibangkitkan. Penambahan pembangkit baru dilakukan di pabrik PKT-5. Dengan pemasangan generator 2x30MW diharapkan dapat meningkatkan kinerja perusahaan. Penambahan pembangkit ini berpengaruh pada arus hubung singkat (Short Circuit Current) pada setiap bus terutama pada bus 33kV yang saling terintegrasi.

Tujuan dari tugas akhir ini akan dilakukan setting koordinasi rele seperti pengaman diferensial pada setiap bus utama pada sistem intergrasi 33kV dan ground fault sebagai back up apa bila rele diferensial gagal mengamankan. Analisa pada tugas akhir ini diharapkan dapat membantu dalam mengamankan atau mencegah kerusakan pada peralatan dan jaringan listrik.

**Kata kunci:** *Kontinuitas, Diferensial, Short Circuit Current, Ground Fault*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **ABSTRACT**

PT. Pupuk Kaltim is the largest producer company of fertilizer urea in Indonesia which is currently doing the addition of the factory. With the addition of the load then PT Pupuk Kaltim also did the addition of the power generated. The addition of new plants is done in factory PKT-5. With the installation of a generator of 2x30MW is expected to improve the company's performance. The addition of this plant effect on currents of short circuit (Short Circuit Current) on each bus is mainly on 33kV bus integrated with each other.

The purpose of this final assignment will be done setting rele like differential protection coordination on any main bus on the system intergration 33kV and ground fault as a back up when the differential failed. Analysis on the final project is expected to help in securing or preventing damage to equipment and electricity networks.

***Keywords: bus, differential, Ground Fault, Short Circuit Current, Perfomance.***



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# DAFTAR ISI

	HALAMAN
JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK.....	i
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Permasalahan .....	1
1.3 Tujuan .....	1
1.4 Metodologi .....	2
1.5 Sistematika .....	3
1.6 Relevansi.....	3
BAB 2 PENGAMANAN SISTEM TENAGA LISTRIK .....	5
2.1 Penyebab Gangguan Sistem Tenaga Listrik.....	6
2.1.1 Gangguan Beban Lebih ( <i>Overload</i> ) .....	6
2.1.2 Gangguan Hubung Singkat ( <i>Short Circuit</i> ).....	6
2.1.3 Gangguan Tegangan Lebih ( <i>Overvoltage</i> ) .....	6
2.2 Perhitungan Arus Hubung Singkat.....	7
2.2.1 Hubung Singkat Tiga Fasa .....	7
2.2.2 Hubung Singkat Antar Fasa.....	7
2.2.3 Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah.....	7
2.3 Elemen Dasar Rele Proteksi .....	7
2.3.1 Elemen Pengindra.....	7
2.3.2 Elemen Pembanding.....	8
2.3.3 Elemen Pengontrol .....	8
2.4 Rele Arus Lebih .....	8
2.4.1 Karakteristik Rele.....	8
2.4.2 <i>Setting</i> Rele Arus Lebih Waktu <i>Inverse</i> .....	11
2.4.3 <i>Setting</i> Rele Arus Lebih Waktu <i>Define</i> .....	12
2.4.4 <i>Setting</i> Waktu Rele Arus Lebih .....	12
2.5 Rele Diferensial.....	12
2.5.1 <i>High Impedance Differential Relay</i> (87B).....	13
2.5.2 Skema <i>High Impedance Differential Relay</i> (87B).....	14
2.5.3 <i>Setting</i> Skema <i>High Impedance Differential Relay</i> (87B). 16	

BAB 3 SISTEM KELISTRIKAN PT PUPUK KALIMANTAN TIMUR .....	19
3.1 Sistem Kelistrikan di PT Pupuk Kalimantan Timur .....	19
3.2 Kapasitas Pembangkitan.....	20
3.3 Sistem Distribusi di PT Pupuk Kalimantan Timur .....	20
3.4 Pabrik Baru PKT-5.....	21
3.5 Sistem Proteksi.....	24
BAB 4 SIMULASI DAN ANALISA .....	25
4.1 Permodelan Sistem Kelistrikan PT Pupuk Kalimantan Timur	25
4.2 Analisa Hubung Singkat.....	25
4.2.1 Hubung Singkat Minimum 30 <i>Cycle</i> .....	26
4.2.2 Hubung Singkat Maksimum $\frac{1}{2}$ <i>Cycle</i> , 30 <i>Cycle</i> , dan 4 <i>Cycle</i> .....	26
4.3 Hubung Singkat Gangguan Ke Tanah .....	28
4.4 Pemilihan Tipikal Koordinasi PT Pupuk Kalimantan Timur...	28
4.5 Analisa <i>Setting</i> Alat Proteksi .....	30
4.6 <i>Setting</i> Rele Diferensial Impedansi Tinggi ( <i>High Impedance</i> )	31
4.6.1 <i>Setting</i> Rele Diferensial Pada <i>Bus</i> 00-SG-01.....	31
4.6.2 <i>Setting</i> Rele Diferensial Pada <i>Bus</i> 00-SG-02.....	39
4.6.3 <i>Setting</i> Rele Diferensial Pada <i>Bus</i> 00-SG-03.....	47
4.6.4 <i>Setting</i> Rele Diferensial Pada <i>BUS</i> 00-SG-04 .....	56
4.6.5 <i>Setting</i> Rele Diferensial Pada <i>BUS</i> 00-SG-05 .....	63
4.7 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa .....	70
4.7.1 Koordinasi Rele Arus Lebih Tipikal 1.....	71
4.7.2 Koordinasi Rele Arus Lebih Tipikal 2.....	75
4.7.3 Koordinasi Rele Arus Lebih Tipikal 3.....	80
4.8 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan ke Tanah .....	84
4.8.1. Kordinasi Rele Arus Lebih Gangguan ke Tanah Tipikal 1 .....	85
4.8.2. Kordinasi Rele Arus Lebih Gangguan ke Tanah Tipikal 2.....	87
4.8.3. Kordinasi Rele Arus Lebih Gangguan ke Tanah Tipikal 3.....	89
BAB 5 PENUTUP .....	94
5.1 Kesimpulan.....	94
5.2 Saran .....	95
DAFTAR PUSTAKA .....	97

BIODATA PENULIS .....	98
LAMPIRAN.....	99

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

## DAFTAR TABEL

	HALAMAN
TABEL	
Tabel 2.1 Koefisien <i>Inverse Time Dial</i> .....	11
Tabel 3.1 Data Kapasitas Pembangkit PT Pupuk Kalimantan Timur .....	20
Tabel 3.2 Data Transformator Distribusi Tiap Parbrik di PT Pupuk Kalim .....	21
Tabel 3.3 Data Beban Motor Pada PKT-5 .....	22
Tabel 3.4 Data Beban Lump Pada PKT-5.....	24
Tabel 4.1 Arus Hubung Singkat Minimum.....	26
Tabel 4.2 Data Hubung Singkat Maksimum <i>1/2 cycle</i> .....	27
Tabel 4.3 Data Hubung Singkat Maksimum <i>3 cycle</i> .....	27
Tabel 4.4 Data Hubung Singkat Maksimum <i>30 cycle</i> .....	27
Tabel 4.5 Data Hubung Singkat Gangguan ke Tanah .....	28
Tabel 4.6 Arus Kontribusi Gangguan Maksimum 3 Fasa dan Gangguan 1 Fasa ke Tanah .....	32
Tabel 4.7 Arus Kontribusi Gangguan Minimum 3 Fasa dan Gangguan 1 Fasa ke Tanah .....	32
Tabel 4.8 Arus Kontribusi Gangguan Maksimum 3 Fasa dan Gangguan 1 Fasa ke Tanah .....	33
Tabel 4.9 Arus Kontribusi Gangguan Maksimum 3 Fasa dan Gangguan 1 Fasa ke Tanah .....	34
Tabel 4.10 Arus Kontribusi Gangguan Maksimum 3 Fasa dan Gangguan 1 Fasa ke Tanah .....	35
Tabel 4.11 Arus Kontribusi Gangguan Maksimum 3 Fasa dan Gangguan 1 Fasa ke Tanah .....	39
Tabel 4.12 Arus Kontribusi Gangguan Minimum 3 Fasa dan Gangguan 1 Fasa ke Tanah .....	39
Tabel 4.13 Arus Kontribusi Gangguan Maksimum 3 Fasa dan Gangguan 1 Fasa ke Tanah .....	41
Tabel 4.14 Arus Kontribusi Gangguan Maksimum 3 Fasa dan Gangguan 1 Fasa ke Tanah .....	42
Tabel 4.15 Arus Kontribusi Gangguan Maksimum 3 Fasa dan Gangguan 1 Fasa ke Tanah .....	42
Tabel 4.16 Arus Kontribusi Gangguan Maksimum 3 Fasa dan Gangguan 1 Fasa ke Tanah .....	43

Tabel 4.17 Arus Kontribusi Gangguan Maksimum 3 Fasa dan Gangguan 1 Fasa ke Tanah.....	47
Tabel 4.18 Arus Kontribusi Gangguan Minimum 3 Fasa dan Gangguan 1 Fasa ke Tanah.....	47
Tabel 4.19 Arus Kontribusi Gangguan Maksimum 3 Fasa dan Gangguan 1 Fasa ke Tanah.....	49
Tabel 4.20 Arus Kontribusi Gangguan Maksimum 3 Fasa dan Gangguan 1 Fasa ke Tanah.....	50
Tabel 4.21 Arus Kontribusi Gangguan Maksimum 3 Fasa dan Gangguan 1 Fasa ke Tanah.....	51
Tabel 4.22 Arus Kontribusi Gangguan Maksimum 3 Fasa dan Gangguan 1 Fasa ke Tanah.....	52
Tabel 4.23 Arus Kontribusi Gangguan Maksimum 3 Fasa dan Gangguan 1 Fasa ke Tanah.....	53
Tabel 4.24 Arus Kontribusi Gangguan Maksimum 3 Fasa dan Gangguan 1 Fasa ke Tanah.....	57
Tabel 4.25 Arus Kontribusi Gangguan Minimum 3 Fasa dan Gangguan 1 Fasa ke Tanah.....	57
Tabel 4.26 Arus Kontribusi Gangguan Maksimum 3 Fasa dan Gangguan 1 Fasa ke Tanah.....	58
Tabel 4.27 Arus Kontribusi Gangguan Maksimum 3 Fasa dan Gangguan 1 Fasa ke Tanah.....	59
Tabel 4.28 Arus Kontribusi Gangguan Maksimum 3 Fasa dan Gangguan 1 Fasa ke Tanah.....	60
Tabel 4.29 Arus Kontribusi Gangguan Maksimum 3 Fasa dan Gangguan 1 Fasa ke Tanah.....	64
Tabel 4.30 Arus Kontribusi Gangguan Minimum 3 Fasa dan Gangguan 1 Fasa ke Tanah.....	64
Tabel 4.31 Arus Kontribusi Gangguan Maksimum 3 Fasa dan Gangguan 1 Fasa ke Tanah.....	65
Tabel 4.32 Arus Kontribusi Gangguan Maksimum 3 Fasa dan Gangguan 1 Fasa ke Tanah.....	66
Tabel 4.33 Arus Kontribusi Gangguan Maksimum 3 Fasa dan Gangguan 1 Fasa ke Tanah.....	67
Tabel 4.34 Arus Kontribusi Gangguan Maksimum 3 Fasa dan Gangguan 1 Fasa ke Tanah.....	68

## DAFTAR GAMBAR

	HALAMAN
GAMBAR	
Gambar 2.1 Skema Konsep Kerja Rele .....	7
Gambar 2.2 Karakteristik Rele Arus Lebih <i>Definitie</i> .....	9
Gambar 2.3 Karakteristik <i>Standart Inverse, Very Invers, dan Extremely Inverse</i> .....	10
Gambar 2.4 Kombinasi IDMT Dengan Rele Arus Lebih Waktu Instan.....	10
Gambar 2.5 Rele Diferensial Impedansi Tinggi Pada Proteksi <i>Bus</i> ....	14
Gambar 2.6 Contoh Operasi Dari Skema Impedansi Tinggi Dengan Gangguan Eksternal.....	15
Gambar 2.7 Contoh Operasi Skema Impedansi Tinggi Dengan Gambar Eksternal .....	15
Gambar 2.8 Skema Diferensial Impedansi Tinggi Dengan MOV ....	16
Gambar 3.1 Sistem Integrasi <i>Bus</i> 33kV pada PT Pupuk Kaltimantan Timur .....	19
Gambar 4.1 Pemilihan Tipikal <i>Ground Fault</i> Pada Sistem Distribusi <i>Ring</i> PT Pupuk Kaltim.....	29
Gambar 4.2 Pemasangan Rele Diferensial Pada <i>Bus</i> 0-SG-03 .....	30
Gambar 4.3 Kurva Eksitasi Untuk Transformer Arus <i>Mutli-Ratio</i> Kelas C .....	31
Gambar 4.4 Gangguan Internal di <i>Bus</i> 00-SG-01 .....	33
Gambar 4.5 Gangguan Eksternal di <i>Bus</i> 00-SG-02 .....	34
Gambar 4.6 Gangguan Eksternal di <i>Bus</i> 00-SG-05 .....	35
Gambar 4.7 Gangguan Eksternal di <i>Bus</i> 40.....	36
Gambar 4.8 Kurva Karakteristik MOV .....	38
Gambar 4.9 Gangguan Internal di <i>Bus</i> 00-SG-02 .....	40
Gambar 4.10 Gangguan Eksternal di <i>Bus</i> 00-SG-01 .....	41
Gambar 4.11 Gangguan Eksternal di <i>Bus</i> 00-SG-03 .....	42
Gambar 4.12 Gangguan Eksternal di <i>Bus</i> 1.....	43
Gambar 4.13 Gangguan Eksternal di <i>Bus</i> KA-SG-001 .....	44
Gambar 4.14 Gangguan Internal di <i>Bus</i> 00-SG-03 .....	48
Gambar 4.15 Gangguan Eksternal di <i>Bus</i> 00-SG-02.....	49
Gambar 4.16 Gangguan Eksternal di <i>Bus</i> 29.....	50
Gambar 4.17 Gangguan Eksternal di <i>Bus</i> 41.....	51
Gambar 4.18 Gangguan Eksternal di <i>Bus</i> TH-SG-01.....	52
Gambar 4.19 Gangguan Eksternal di <i>Bus</i> 00-SG-04.....	53



Gambar 4.20	Gangguan Internal di <i>Bus</i> 00-SG-04.....	58
Gambar 4.21	Gangguan Eksternal di <i>Bus</i> 00-SG-03.....	59
Gambar 4.22	Gangguan Eksternal di <i>Bus</i> 26.....	60
Gambar 4.23	Gangguan Eksternal di <i>Bus</i> 00-SG-05.....	61
Gambar 4.24	Gangguan Internal di <i>Bus</i> 00-SG-05.....	65
Gambar 4.25	Gangguan Eksternal di <i>Bus</i> 00-SG-04.....	66
Gambar 4.26	Gangguan Eksternal di <i>Bus</i> 00-SG-06.....	67
Gambar 4.27	Gangguan Eksternal di <i>Bus</i> 38.....	68
Gambar 4.28	Gangguan Eksternal di <i>Bus</i> 00-SG-01.....	69
Gambar 4.29	Hasil <i>Plot Setting</i> Rele INC11, CP52, CP11_1.....	76
Gambar 4.30	Hasil <i>Plot Setting</i> Rele OUT21, CP21, CP11_2.....	81
Gambar 4.31	Hasil <i>Plot Rele</i> SP21, 7, CP21, dan CP11_2.....	85
Gambar 4.32	Hasil <i>Plot Setting</i> Rele INC11, CP52, CP11_1.....	88
Gambar 4.33	Hasil <i>Plot Setting</i> Rele OUT21, CP21, CP11_2.....	90
Gambar 4.34	Hasil <i>Plot Rele</i> SP21, 7, CP21, dan CP11_2.....	93

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang Masalah

PT Pupuk Kaltim merupakan perusahaan yang memiliki pabrik dengan skala besar, setiap pabrik memiliki pembangkit untuk menyuplai kebutuhan daya listrik pabrik itu sendiri. Untuk meningkatkan kontinuitas dan kehandalan sistem apabila terjadi gangguan, PT Pupuk Kaltim menggunakan sistem *ring* untuk menghubungkan antar pabrik. Dengan penambahan pabrik PKT 5 maka sistem kelistrikan PT Pupuk Kaltim akan semakin besar dan kompleks, pabrik 5 juga akan dikoneksikan dengan sistem *ring* yang telah berjalan. Sebelumnya telah dilakukan tinjauan untuk *setting* rele pada pabrik 5 yang bertujuan untuk mengetahui *setting* rele yang baik pada pabrik 5 apabila terjadi gangguan. Karena akan diinterkoneksikannya pabrik 5, yaitu pabrik yang memiliki generator sebesar 2x30 MW dengan sistem distribusi yang ada pada PT Pupuk Kaltim akan menyebabkan arus hubung singkat pada sistem tersebut menjadi bertambah besar. Oleh karena itu, dibutuhkan koordinasi proteksi yang baru pada sistem *ring* pabrik agar terjadi kontinuitas dan kehandalan sistem pada pabrik.

Tugas akhir ini akan dilaksanakan perhitungan dan simulasi koordinasi proteksi yang baru pada sistem *ring* PT Pupuk Kaltim sehingga dapat diketahui koordinasi proteksi yang tepat.

### 1.2. Permasalahan

Hal yang menjadi permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana *setting* koordinasi rele pengaman diferensial akibat penambahan pabrik PKT 5.
2. Bagaimana respon sistem kelistrikan saat terjadi hubung singkat akibat adanya penambahan pabrik baru.

### 1.3. Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam tugas akhir ini:

1. Memodelkan, menyimulasikan, dan menganalisis sistem kelistrikan PT Pupuk Kaltim akibat adanya penambahan generator.

2. Mendapatkan *setting* dan koordinasi rele pengamanan yang tepat pada sistem distribusi antar pabrik di PT Pupuk Kaltim akibat penambahan pabrik 5.

#### 1.4. Metodologi

Metodologi yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Pengumpulan Data

Pengumpulan data-data mengenai sistem kelistrikan pada PT Pupuk Kaltim, dari data *single line diagram*, jaringan transmisi hingga pembagian beban listrik.

2. Permodelan *Single line diagram*

Setelah mendapatkan data-data yang lengkap, maka dilakukan pemodelan dalam bentuk *Single Line Diagram* menggunakan *software* ETAP 7.0. Pemodelan ini dibutuhkan agar dapat melakukan analisa *Load Flow* dan *Short Circuit*

3. Analisa *Load Flow*

Hasil dari simulasi analisa *Load Flow* ini digunakan untuk mengetahui aliran daya *existing* pada *Single Line Diagram* yang telah dibuat.

4. Simulasi dan Analisa *Short Circuit*

Dengan simulasi dan analisa *Short Circuit* ini didapatkan nilai *Short Circuit Maximum* dan *Short Circuit Minimum* pada *bus-bus* yang akan dihitung koordinasi rele pengamannya. Nilai *Short Circuit Maximum* merupakan gangguan pada saat  $\frac{1}{2}$  *cycle* dan *Short Circuit Minimum* merupakan gangguan saat 30 *cycle* yang terjadi pada 3 fasa dan satu fasa ke tanah.

5. Perhitungan *Setting Rele*

Pada perhitungan ini akan dihitung nilai arus operasi minimum dan *setting* waktu pada rele diferensial *high impedance*. Serta, perlu diperhatikan sensitifitas saat terjadi gangguan pada internal dan kestabilan saat terjadi gangguan diluar *bus*.

## 6. Hasil Analisa Data dan Kesimpulan

Hasil analisa dan kesimpulan merupakan jawaban dari permasalahan. Selain itu juga, akan diberikan saran sebagai masukan berkaitan dengan apa yang telah dilakukan. Berdasarkan analisa data, penulis dapat mengambil kesimpulan tentang bagaimana pengoordinasian rele yang sesuai dengan sistem agar keandalan sistem kelistrikan PT Pupuk Kaltim bisa meningkat.

### 1.5. Sistematika

Sistematika penulisan dalam tugas akhir ini terdiri atas lima bab dengan uraian sebagai berikut:

Bab I : Pendahuluan

Bab ini membahas tentang penjelasan mengenai latar belakang, permasalahan dan batasan masalah, tujuan, metode penelitian, sistematika pembahasan, dan relevansi.

Bab II : Dasar Teori

Bab ini secara umum membahas masalah sebab-sebab tentang gangguan pada sistem kelistrikan, rele pengaman dan klasifikasinya, cara *setting* rele, dan koordinasi alat pengaman.

Bab III : Sistem Kelistrikan distribusi *ring* PT Pupuk Kalimantan Timur dan Pabrik 5 (PKT-5)

Bab ini membahas sistem kelistrikan industri dan sistem pengaman pada PT Pupuk Kalimantan Timur.

BAB IV : Simulasi dan Analisa

Bab ini membahas tentang perhitungan, pemilihan, serta koordinasi rele yang telah di *setting*.

BAB V : Penutup

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari hasil pembahasan yang telah diperoleh.

### 1.6. Relevansi

Hasil yang diperoleh dari tugas akhir ini diharapkan dapat memberi manfaat sebagai berikut:

1. Untuk mendapatkan *setting* rele yang benar dalam sistem kelistrikan pada sistem distribusi PT Pupuk Kaltim.
2. Menjadi acuan dalam pemilihan *setting* rele agar dapat menjaga kontinuitas listrik pada PT Pupuk Kaltim.
3. Dapat dijadikan referensi pada penelitian selanjutnya tentang koordinasi proteksi pada sistem kelistrikan industri.

*(Halaman Ini Sengaja di Kosongkan)*

## **BAB II**

### **PENGAMAN SISTEM TENAGA LISTRIK**

Suatu sistem tenaga listrik pada dasarnya terdiri dari susunan pembangkit, transmisi, dan jaringan distribusi. Sistem tenaga listrik merupakan sesuatu yang sangat vital dalam kehidupan sehari-hari maka sistem itu harus diperhatikan dalam aspek optimal, handal, dan kemandirian. Setiap sistem tenaga listrik harus memiliki sistem pengamanan. Pengamanan sistem tenaga listrik adalah suatu sistem yang berfungsi untuk mengamankan sistem dari gangguan yang dapat mengganggu kontinuitas bahkan dapat merusak peralatan dari sistem tenaga listrik. Gangguan yang terjadi dapat berasal dari dalam sistem dan dari luar sistem[1]. Gangguan atau keadaan abnormal pada sistem tenaga listrik harus cepat diamankan agar tidak mengganggu kontinuitas suplai listrik. Pada sistem tenaga listrik, gangguan yang terjadi dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

#### 1. Gangguan Listrik

Jenis ini adalah gangguan listrik yang terjadi pada bagian-bagian saluran listrik, gangguan tersebut antara lain:

- Gangguan hubung singkat 3 fasa.
- Gangguan hubung singkat 2 fasa.
- Gangguan hubung singkat 1 fasa.
- Gangguan beban lebih (*overload*).
- Gangguan tegangan lebih.

#### 2. Gangguan Mekanis

Gangguan ini terjadi karena kerusakan fisik dari peralatan listrik. Gangguan ini berhubungan dengan tingkat ketahanan suatu peralatan tenaga listrik.

#### 3. Gangguan Sistem

Gangguan ini terjadi karena keadaan pada sistem. Gangguan ini berhubungan dengan parameter pada sistem tenaga listrik seperti tegangan, frekuensi, dan daya.

#### 4. Gangguan Akibat Operasi

Gangguan ini terjadi akibat beroperasinya sistem yang menitik beratkan pada kerja suatu peralatan sehingga akan menimbulkan gangguan.

Sistem pengamanan pada tenaga listrik memiliki berbagai macam jenis, setiap jenis memiliki fungsi dan cara pengamanan yang berbeda. Sistem pengamanan tenaga listrik harus dapat memutus arus gangguan yang terjadi pada sistem sehingga gangguan yang terjadi tidak semakin meluas. Dengan *setting* dan koordinasi pengamanan yang tepat, arus gangguan akan dapat diputus oleh *circuit breaker* (CB) atau *fuse*. Rele pengamanan sistem akan bekerja apabila terdapat arus gangguan yang melebihi batas arus yang telah ditentukan, kemudian rele akan memerintahkan CB untuk memutus saluran.

## **2.1. Penyebab Gangguan Sistem Tenaga Listrik**

Pada sistem tenaga listrik, gangguan yang sering terjadi adalah gangguan beban lebih (*over load*), gangguan hubung singkat (*short circuit*), dan gangguan tegangan lebih (*over voltage*).

### **2.1.1 Gangguan Beban Lebih (*Overload*)**

Gangguan ini terjadi karena arus yang mengalir melebihi arus normal yang diizinkan ( $I > I_n$ ). Oleh karena itu, peralatan listrik harus segera diamankan, karena arus yang melebihi kapasitas dapat merusak peralatan listrik.

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

Pada sistem tenaga listrik gangguan hubung singkat dibagi menjadi dua kelompok, yaitu gangguan hubung singkat simetri dan tidak simetri (asimetri). Gangguan hubung singkat simetri adalah gangguan 3 fasa, gangguan ini dapat digunakan untuk menghitung ketahanan pada peralatan. Sedangkan yang termasuk gangguan asimetri adalah gangguan satu fasa ketanah, gangguan antar fasa, dan gangguan dua fasa ketanah. Gangguan tidak seimbang dapat digunakan untuk menghitung arus *pick up* pada rele[2].

Sebagian besar gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik adalah gangguan asimetri. Gangguan yang terjadi menimbulkan arus yang sangat besar, namun pada gangguan asimetri juga akan mengakibatkan tegangan pada fasa yang tidak terganggu meningkat.

### **2.1.3 Gangguan Tegangan Lebih (*Overvoltage*)**

Gangguan tegangan lebih merupakan gangguan yang terjadi akibat gangguan dari luar yang memberikan tegangan seketika. Contohnya, diakibatkan sambaran petir dan gangguan surja hubung.

Pada gangguan surja hubung terjadi akibat proses *switching* yang tidak tepat sehingga terjadi tegangan lebih pada beberapa fasa.

## 2.2. Perhitungan Arus Hubung Singkat

Perhitungan arus hubung singkat pada sistem tenaga listrik dapat dilakukan seperti berikut:

### 2.2.1. Hubung Singkat Tiga Fasa

Gangguan hubung singkat ini melibatkan tiga fasa, pada arus hubung singkat diberikan pada persamaan berikut:

$$I_{SC3} = \frac{V_{LN}}{X_1} \dots\dots\dots (2.1)$$

### 2.2.2. Hubung Singkat Antar Fasa

Gangguan hubung singkat ini melibatkan dua fasa tanpa terhubung ke tanah, pada arus hubung singkat diberikan dari persamaan berikut:

$$I_{SC2} = \frac{V_{LL}}{X_1 + X_2} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{SC3} \approx 0.86 I_{SC3} \dots\dots\dots (2.2)$$

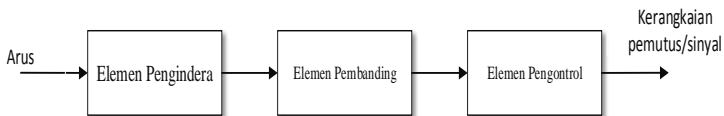
### 2.2.3. Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

Gangguan hubung singkat ini melibatkan arus urutan nol ( $Z_0$ ), besar arus hubung singkat ini bergantung pada sistem ketanahannya. Arus hubung singkat ini dapat diberikan sebagai berikut:

$$I_{SC0} = \frac{3V_{LN}}{X_1 + X_2 + X_0} \dots\dots\dots (2.3)$$

## 2.3. Elemen Dasar Rele Proteksi

Rele pengaman memiliki tiga elemen dasar seperti terlihat pada Gambar 2.1:



**Gambar 2.1** Skema Konsep Kerja Rele

### 2.3.1. Elemen Pengindera

Elemen ini berfungsi untuk merasakan besaran seperti arus, tegangan, frekuensi, dan sebagainya tergantung rele yang akan digunakan. Pada elemen ini besaran yang diterima akan dibaca nilainya.



### 2.3.2. Elemen Pemanding

Setelah besaran dibaca nilainya oleh pengindera maka akan dilanjutkan menuju elemen pembanding. Elemen pembanding bertugas untuk membandingkan besaran yang terbaca dengan *setting* yang telah ditentukan pada rele. Komponen yang berkerja sebagai elemen pembanding ini adalah rele.

### 2.3.3. Elemen Pengontrol

Elemen ini berfungsi untuk mengadakan perubahan secara cepat pada besaran ukurnya dan segera memberikan isyarat untuk membuka *cicrcuit breaker* atau memberikan sinyal. Komponen yang berfungsi sebagai elemen control adalah *trip coil*.

## 2.4. Rele Arus Lebih

Rele arus lebih adalah rele yang berfungsi untuk mengamankan sebuah sistem apabila terjadi gangguan. Rele ini memberi perintah memutuskan saluran pada *cicrcuit breaker* atau hanya memberi sinyal *alarm* saja.

Rele arus lebih merupakan alat pengaman yang sederhana, murah, tidak rumit dalam aplikasinya dan cepat dalam mengatasi gangguan sistem. Rele arus lebih bekerja sesuai dengan *tap* yang telah ditentukan. Apabila ada arus yang melebihi *tap*, maka rele akan *sensing* dan mengirim sinyal pada *circuit breaker* untuk membuka kontak. Jika arus berada dibawah batasan *tap*, rele tidak akan *sensing* dan tidak mengirim sinyal ke CB.

### 2.4.1 Karakteristik Rele

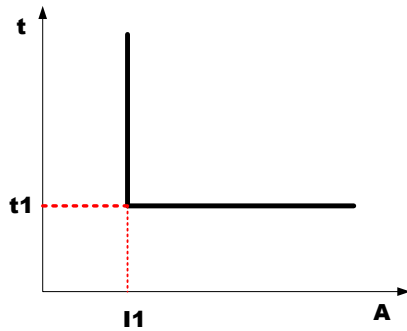
Karakteristik rele sangat bergantung pada fungsi rele yang akan digunakan. Ada empat jenis karakteristik rele, yaitu:

#### a. *Instantaneous*

Merupakan jenis kurva rele yang tidak memiliki waktu tunda dan bekerja dalam waktu 80ms. Karakteristik in akan membuat rele bekerja sangat cepat dalam mengisolir gangguan yang ada.

#### b. *Definite*

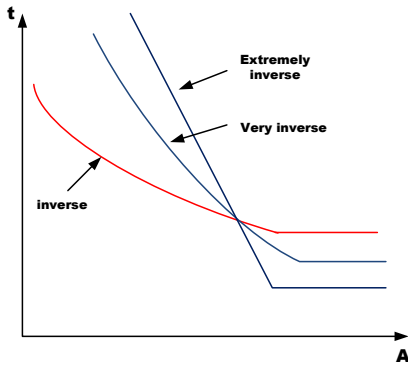
Merupakan Kurva rele yang prinsip kerjanya hampir sama dengan *instantaneous*, tapi karakteristiknya waktu tundanya dapat ditentukan. Kurva *definite* dapat dilihat pada Gambar 2.2



**Gambar 2.2** Karakteristik Rele Arus Lebih *Definitie*[1]

c. *Inverse*

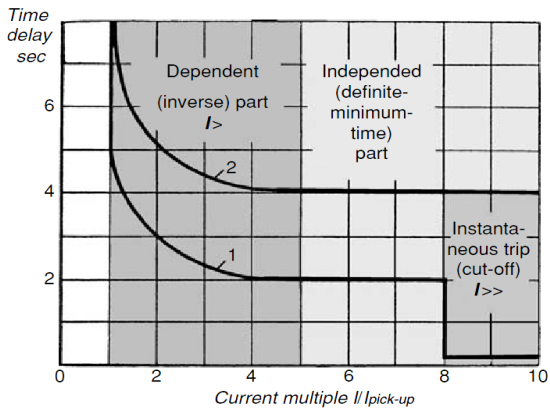
Merupakan kurva rele yang mensensing besarnya arus dan waktu toleransinya dapat disesuaikan dengan katahanan peralatan. Pada karakteristik ini kurva akan membandingkan Antara arus dan waktu. Semakin besar arus gangguan makan semakin cepat rele melakukan sensing. Karakteristik invers berdasarkan standar IEC 60255-3 dab BS 142 memiliki beberapa jenis perlindungan waktu invers, yaitu *standard inverse*, *very inverse* dan *extremely inverse* [7] seperti pada Gambar 2.3. standar lain seperti IEE juga memberikan karakteristik kurva yang lain seperti *moderately inverse*, *long time inverse*, dan *short time inverse*.



**Gambar 2.3** Karakteristik *Standart Inverse*, *Very Inverse*, dan *Extremely Inverse*. [1]

d. *Inverse Definite Minimum Time (IDMT)*

Merupakan kurva hasil kombinasi Antara *inverse* dan *definite*. Jenis kurva ini mengantisipasi gangguan dari letaknya. Apabila sumber gangguan terlalu dekat akan digunakan kurva bagian *definite* sehingga dapat *trip* lebih cepat. sedangkan untuk gangguan jauh dapat menggunakan kurva *inverse* karena bersifat temporer. Gambar 2.4 adalah kurva IDMT.



**Gambar 2.4** Kombinasi IDMT Dengan Rele Arus Lebih Waktu Instan [1]

2.4.2 *Setting* Rele Arus Lebih Waktu *Inverse*

Batas *setting* rele arus lebih adalah rele tidak bekerja pada saat beban maksimum. Oleh karena itu *setting* harus lebih besar dari arus beban maksimum. *Rele* arus lebih memiliki setelan *pickup* dan setelan *time dial*. Pada rele arus lebih, besarnya arus *pickup* ini ditentukan dengan pemilihan *tap*. Adapun untuk menentukan besarnya *tap* yang digunakan dapat menggunakan persamaan berikut :

$$Tap = \frac{I_{set}}{CT_{primary}} \dots\dots\dots (2.4)$$

*Iset* adalah arus *pickup* dalam Ampere. Menurut standart British BS 142 batas penyetelannya adalah 1.05-1.3 *Iset*.

*Time dial setting* menentukan waktu operasi rele. Untuk menentukan *time dial* dari masing-masing kurva karakteristik invers rele arus lebih dapat digunakan persamaan sebagai berikut [8]:

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

Di mana :

- td = waktu operasi (detik)
- T = *time dial*
- I = nilai arus (Ampere)
- Iset* = arus *pickup* (Ampere)
- k = koefisien invers 1 (lihat Tabel 2.1)
- $\alpha$  = koefisien invers 2 (lihat Tabel 2.1)
- $\beta$  = koefisien invers 3 (lihat Tabel 2.1)

**Tabel 2.1** Koefisien *Inverse Time Dial*

Tipe Kurva	Koefisien		
	k	$\alpha$	$\beta$
<i>Standard Inverse</i>	0,14	0,02	2,970
<i>Very Inverse</i>	13,50	1,00	1,500
<i>Extremely Inverse</i>	80,00	2,00	0,808

### 2.4.3 Setting Rele Arus Lebih Waktu *Definite*

Rele arus lebih instan akan bekerja seketika jika ada arus lebih yang mengalir melebihi batas yang diijinkan. Dalam menentukan *setting pickup* instan ini digunakan  $I_{sc \text{ min}}$  yaitu arus hubung singkat 2 fasa pada pembangkitan minimum. Sehingga *setting* ditetapkan:

$$I_{set} \leq 0.8 I_{sc \text{ min}} \dots\dots\dots (2.6)$$

Untuk Pertimbangan khusus untuk pengaman *feeder* yang dipisahkan oleh trafo, koordinasi pengaman dibedakan menjadi dua daerah, yakni daerah *low voltage* (LV), dan daerah *high voltage* (HV). Untuk menentukan *setting pickup* dengan syarat sebagai berikut:

$$I_{sc \text{ max bus B}} \leq I_{set} \leq 0.8 I_{sc \text{ min, A}} \dots\dots\dots(2.7)$$

### 2.4.4 Setting Waktu Rele Arus Lebih

Antara rele pengaman utama dan rele pengaman backup tidak boleh bekerja secara bersamaan. Untuk itu diperlukan adanya *time delay* antara rele utama dan rele *backup*. *Time delay* ini sering dikenal sebagai *setting* kelambatan waktu ( $\Delta t$ ) atau *grading time*. Perbedaan waktu kerja minimal antara rele utama dan rele *backup* adalah 0.2 – 0.35 detik [8]. Dengan spesifikasi sebagai berikut menurut standard IEEE 242 :

- 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. Rele Diferensial

Prinsip dasar rele diferensial adalah suatu rele yang akan bekerja berdasarkan keseimbangan (*balance*), rele diferensial beroperasi dengan menjumlahkan arus yang masuk dan keluar terhadap suatu zona proteksi. Jika keadaan normal, maka arus yang masuk dan keluar pada suatu zona akan bernilai sama. Penggunaan rele diferensial pada

sistem tenaga listrik antara lain pada generator, transformator daya, busbar, dan saluran transmisi. Rele ini digunakan sebagai pengaman utama pada busbar, karena cara kerja yang cepat dan lebih selektif.[11]

Apabila terjadi gangguan diluar peralatan listrik yang diamankan, maka arus yang akan mengalir bernilai besar. Tetapi, sirkulasi arus yang terjadi seperti saat keadaan normal sehingga rele pengaman tidak akan bekerja akibat gangguan dari luar. Apabila gangguan terjadi di dalam peralatan listrik yang diamankan, maka arah sirkulasi salah satu arus akan berubah. Hal tersebut membuat keseimbangan pada keadaan normal terganggu, akibatnya arus diferensial akan mengalir menuju sumber gangguan dan juga akan mengalirkan arus menuju *operating coil* pada rele pengaman. Setelah *operating coil* membaca adanya arus gangguan, maka rele akan bekerja dan memerintahkan *circuit breaker* (CB) untuk *trip* sehingga peralatan atau instalasi listrik yang mengalami gangguan dapat terisolasi dari sistem tenaga listrik.

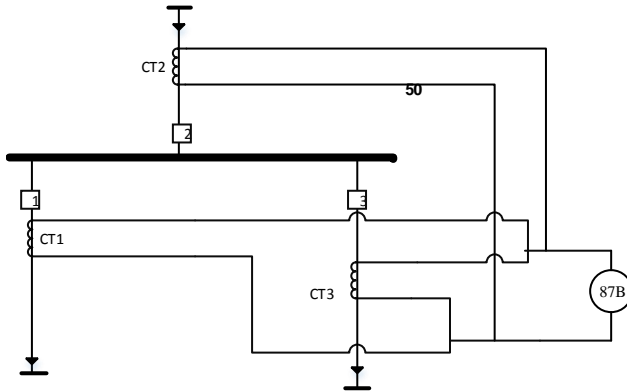
Rele diferensial merupakan pengaman yang bekerja dengan sangat cepat dan selektif, tipe rele ini dapat digunakan untuk:

- 1) *Overcurrent differential*
- 2) *Percentage differential*
- 3) *High impedance differential relay*
- 4) *Pilot wire differential*

#### 2.5.1 *High Impedance Differential Relay* (87B)

Pada umumnya *high impedance differential relay* digunakan pada proteksi bus. Rele ini bekerja menggunakan respon tegangan atau impedansi tinggi pada operasi koil. Setiap *feeder incoming* dan *outgoing* yang tersambung harus memiliki CT disetiap line seperti Gambar 2.5 sistem proteksi rele diferensial tidak terbatas jumlah sumber dan *load feeder*, rele ini memiliki fitur sebagai berikut:

- a. Bekerja pada kecepatan tinggi dari 1—3 *cycle*.
- b. Memiliki sensitivitas tinggi dan dapat bekerja pada gangguan arus fasa atau gangguan ketanah dengan nilai yang sangat kecil.
- c. Rele tidak akan berpengaruh dengan arus saturasi transformator arus, DC komponen dari arus gangguan, ataupun *circuit time constan*.
- d. Dapat membedakan antara gangguan eksternal ataupun internal dengan mengatur *time delay*.



**Gambar 2.5** Rele Diferensial Impedansi Tinggi Pada Proteksi Bus

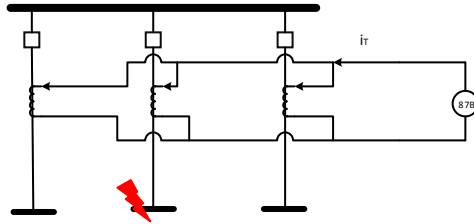
### 2.5.2 Skema *High Impedance Differential Relay* (87B)

Skema rele diferensial impedansi tinggi memiliki resistansi tinggi yaitu 1000—2000  $\Omega$ . Setiap CTs terhubung dengan setiap fasa dan terhubung secara paralel. Komponen impedansi tinggi tersedia untuk setiap fasa. Titip simpangan (*junction poin*) setiap rangkaian CTs paralel terhubung ke impedansi tinggi. Rele impedansi tinggi elektromekanis biasanya digunakan untuk unit *single* fasa, sedangkan rele berbasis mikroprosesor digunakan untuk unit tiga fasa. Setiap fase beroperasi secara independen.

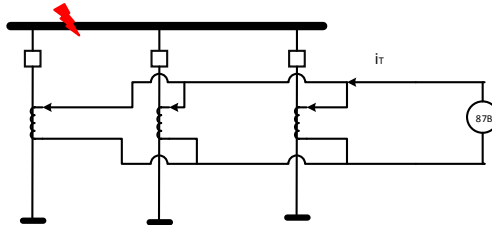
Untuk gangguan internal, semua CTs harus dapat mengalirkan arus yang melalui impedansi tinggi. Pada arus tersebut akan melewati *stabilizing resistance* dan akan menimbulkan tegangan yang akan dibaca oleh rele *over voltage*. Metode ini digunakan untuk *setting* tegangan tinggi sehingga melindungi isolasi sekunder dari kerusakan.

Skema *Metal Oxide Varistor* (MOV) adalah skema yang sering digunakan. MOV dihubungkan secara paralel dengan *stabilizing resistance* untuk menahan tegangan pada level *safety* maksimum dan mempertahankan integritas dari aplikasi rele dan pemasangan kabel. Dengan menggunakan skema MOV, apabila terjadi gangguan internal maka tegangan tinggi pada rangkaian terus berlanjut selama gangguan di bus. Oleh karena itu, arus gangguan dihubungkan dengan *stabilizing resistance* oleh kontak rele *lockout* (86) untuk mempersingkat durasi tegangan tinggi dan mengurangi

energi yang diserap oleh impedansi nonlinier. Jika kontak gagal bekerja pada saat gangguan, maka durasi gangguan akan lebih lama dan akan membuat resistansi mengalami kerusakan parah. Gambar 2.6 dan Gambar 2.7 adalah contoh gangguan internal dan eksternal pada bus.



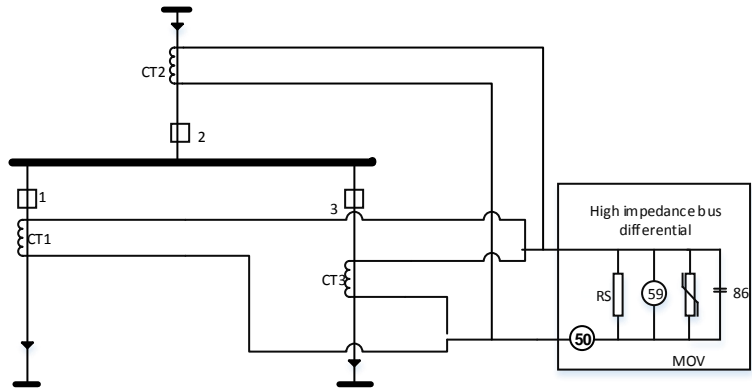
**Gambar 2.6** Contoh Operasi Dari Skema Impedansi Tinggi Dengan Gangguan Eksternal



**Gambar 2.7** Contoh Operasi Dari Skema Impedansi Tinggi Dengan Gangguan Internal

Rele 59 berfungsi untuk memberikan sinyal *trip* pada rele 86 saat gangguan pada bus. MOV akan membatasi tegangan lebih pada rangkaian sampai rangkaian tersebut *trip*. Rele 86 berfungsi untuk memutuskan rangkaian dan mencegah kerusakan karena panas yang berlebihan pada MOV. Rele 50 digunakan sebagai inisialisasi apabila terjadi kegagalan pada pemutus. Keuntungan dari metode ini adalah tidak diperlukannya elemen tambahan *switch* pasif atau aktif. Namun, MOVs dengan ukuran yang lebih besar biasanya dipasang eksternal dari *chassis* rele karena ruang yang diperlukan. skema rele dapat dilihat pada Gambar 2.8





**Gambar 2.8** Skema Diferensial Impedansi Tinggi Dengan MOV

### 2.5.3 Setting Skema *High Impedance Differential Relay* (87B)

Pengaturan tegangan untuk skema diferensial impedansi tinggi bus dianjurkan berada diantara batas atas dan batas bawah. Batas bawah adalah keamanan dan batas atas adalah keandalan. Untuk pengaman, kejadian terburuk adalah ketika CT disirkuit dengan gangguan eksternal mengalami saturasi sehingga tidak dapat membaca nilai arus (mengirim nilai dengan rasio nol), sementara CT lain dapat membaca nilai arus dengan benar karena tidak mengalami saturasi. Dalam permasalahan ini, penjumlahan tegangan dipersimpangan diferensial adalah nilai total arus impedansi. Nilai tegangan ini diatur dengan *margin* tertentu sehingga mencegah *trip* pada gangguan tersebut. Panjang kabel dari CT mempengaruhi nilai resistansi dari CT tersebut sehingga mempengaruhi pengaturan tegangan untuk nilai batas keamanan.

Karena hanya diperlukan nilai arus yang kecil untuk membangkitkan tegangan tinggi diseluruh impedansi, membuat skema ini sangat sensitif. Gangguan internal ke tanah harus diperhatikan karena dapat menghasilkan tegangan dibawah ambang rele. Sehingga *setting* tegangan diatur agar rele beroperasi untuk gangguan minimum pada internal bus dan tidak beroperasi pada gangguan eksternal bus.

Sensitivitas rele dapat diatur arus minimum yang membuat rele bekerja. Arus operasi dapat dihitung sebagai berikut:

$$I_{OP} = (I_{EX} + I_{MOV} + \frac{V_S}{R_S}) \times N \dots \dots \dots (2.8)$$

Dimana:

$I_{OP}$  adalah arus operasi primer

$I_{EX}$  adalah penjumlahan dari arus eksitasi CT

$I_{MOV}$  adalah arus MOV

$V_S$  adalah *setting* rele

$R_S$  adalah *stabilizing impedance*

$N$  adalah rasio CT

*(Halaman Ini Sengaja di Kosongkan)*

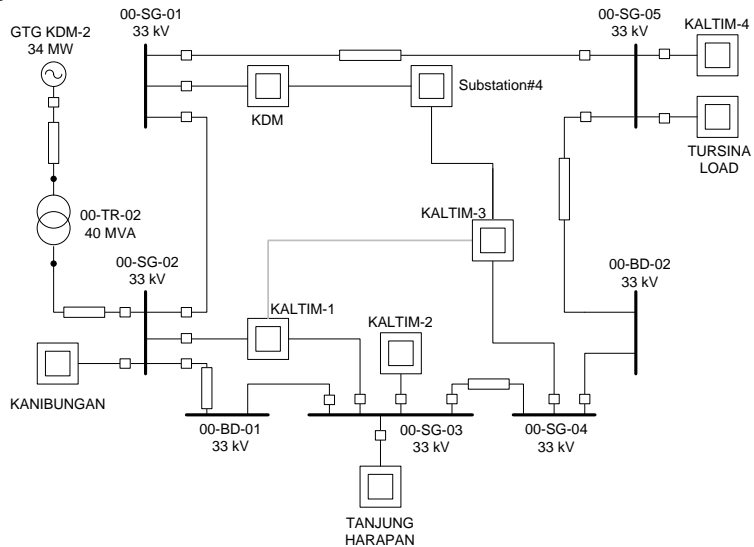
# BAB III

## SISTEM KELISTRIKAN PT PUPUK KALIMANTAN TIMUR

Tujuan studi ini adalah perancangan *setting* rele pengaman dikarenakan adanya penambahan pabrik 5. Pada bab pendahuluan dalam studi ini diharapkan mendapatkan *setting* rele yang benar agar dapat menjaga kontinuitas listrik pada PT Pupuk Kalimantan Timur. Kajian yang dilakukan, yaitu analisa hubung singkat dan *setting* rele pengaman diferensial.

### 3.1. Sistem Kelistrikan di PT Pupuk Kalimantan Timur

PT Pupuk Kalimantan Timur memiliki sistem kelistrikan yang besar dan cukup kompleks. Sistem kelistrikan eksisting PT Pupuk Kaltim memiliki beberapa pabrik yang saling terintegrasi pada jaringan *ring* 33 kV seperti pada Gambar 3.1. Sistem integrasi ini membuat kapasitas daya dari setiap *plant* dapat dibagikan ke *plant* lain. Dengan begitu, suatu *plant* tetap dapat bekerja apabila pembangkit sedang dalam pemeliharaan.



**Gambar 3.1** Sistem Instegrasi Bus 33 kV Pada PT Pupuk Kalimantan Timur

Saat ini PT Pupuk Kaltim sedang melakukan penambahan *plant* baru yaitu pabrik 5. Parbik baru ini terdiri dari dua *plant*, yaitu Kanibungan dan Tanjung Harapan. Pada *plant* kanibungan terdapat pembangkit sebesar 30 MW generator STG-K5 dan generator disel dengan kapasitas 880 kW yang digunakan pada saat darurat. Pada *plant* Tanjung Harapan memiliki pembangkitan sebesar 30 MW, yaitu generator STG-2 dan juga memiliki pembangkit disel dengan kapasitas 7.5 MW yang digunakan untuk melakukan *blackstart* apabila pembangkit utama tidak dapat memenuhi kebutuhan pada *plant* tersebut.

### 3. 2. Kapasitas Pembangkitan

PT Pupuk Kalimantan Timur memiliki 8 unit pembangkit yang tersebar disetiap *plant* yang memiliki kapasitas pembangkitan yang berbeda. Kaltim 1 merupakan generator dengan kapasitas pembangkitan paling kecil, yaitu 16 MW sedangkan kaltim 2 memiliki kapasistas pembangkitan sebesar 36.4 MW. Pabrik 5 merupakan pabrik baru memiliki kapasitas sebesar 30 MW. Data kapasitas pembangkitan tertera pada Tabel 3.1.

**Tabel 3. 1** Data Kapasitas Pembangkit di PT Pupuk Kalimantan Timur.

No.	Plant	ID	MW	MVA	kV	PF
1		GTG KDM-2	34	42.5	11	80%
2	Kaltim 1	G 1511	16	20	6.6	80%
3	Kaltim 2	GTG K2	36.4	45.5	11	80%
4	Kaltim 3	16-Z-001	30	37.5	11	80%
5	Kaltim 4	GenP	21.6	27	11	80%
6	KDM	GTG KDM	34	42.5	11	80%
7	Kanibungan	STG K-5	30	37.5	11	80%
8	Tanjung Harapan	PKT STG-2	30	37.5	11	80%

### 3. 3. Sistem Distribusi Di PT Pupuk Kalimantan Timur

PT Pupuk Kaltim menggunakan sistem jaringan distribusi *ring*. Sistem *ring* memiliki beberapa keuntungan, yaitu jika terjadi gangguan pada salah satu *bus* maka suplai daya beban tidak akan terganggu. Itu karena daya yang disalurkan melalui lebih dari satu *line*. Namun, sistem *ring* merupakan sistem yang rumit dan tidak murah.

Pada sistem distribusi di PT Pupuk Kaltim tegangan yang digunakan sebesar 33 kV. Oleh karena itu, dibutuhkan transformator

jenis *step up* untuk menaikkan tegangan setiap pabrik yang menuju saluran distribusi sistem *ring*. Umumnya transformator distribusi menggunakan hubungan delta bintang dengan beberapa yang menggunakan pentanahan NGR. Data transformator setiap pabrik tertera pada Tabel 3.2.

**Tabel 3.2** Data Transformator Distribusi Tiap Pabrik di PT Pupuk Kaltim

No.	Plant	ID Transformator	MVA	Teg. Pri/Sec kV	Hubungan
1		00-TR-02	40	33/11	wye/delta
2	Kaltim 1	T10	15	33/6.6	wye/delta
3	Kaltim 1	T9	15	33/6.6	wye/delta
4	Kaltim 2	K2-TR-01	25	33/11	wye/delta
5	Kaltim 3	K3-TR-01	25	33/11	Wye/delta
6	Kaltim 4	K4-TR-01	25	33/11	Wye/delta
7	KDM	T8	25	33/11	Wye/delta
8	Kanibungan	T1	37.5	33/11	Wye/delta

### 3. 4. Pabrik Baru PKT-5

*Plant* baru yang terdapat pada PT Pupuk Kaltim, yaitu Kanibungan dan Tanjung Harapan. Beban pada kedua plant tersebut memiliki beban *lump* dan beban motor. Data beban pada pabrik PKT-5 dapat dilihat pada Tabel 3.3 dan 3.4.

**Tabel 3.3** Data Beban Motor Pada PKT-5.

No.	Plant	ID Bus	Tegangan (kV)	ID Motor	Daya (kW)	Keterangan
1	Kanibungan	SG-00-K5	11	Mtr1	3050	N/A
2		SG-00-K5	11	Mtr2	2900	N/A
3		SG-00-K5	11	Mtr3	2700	N/A
4		SG-00-K5	11	Mtr4	2700	N/A
5		00-MC-201 A	6.9	108-I	1550	Cmtr1
6		00-MC-201 A	6.9	Mtr29	300	Cmtr1
7		03-MC-202	6.9	GA120 1A	690	Cmtr3
8		03-MC-201 A	6.9	EF1201 A	220	Cmtr5
9		03-MC-201 A	6.9	EF1201 B	220	Cmtr5
10		03-MC-201 A	6.9	EF1201 C	220	Cmtr5
11		03-MC-201 A	6.9	EF1201 D	220	Cmtr5
12		03-MC-201 A	6.9	EF1201 E	220	Cmtr5
13		03-MC-201 A	6.9	EF1201 F	220	Cmtr5
14		03-MC-201 A	6.9	EF1201 G	220	Cmtr5
15		03-MC-201 A	6.9	EF1201 H	220	Cmtr5
16		03-MC-201 A	6.9	GA140 1A	370	Cmtr5
17		03-MC-201 A	6.9	GA150 2A	420	Cmtr5
18		03-MC-201 A	6.9	CL- GA141 1A	850	Cmtr5

<b>No.</b>	<b>Plant</b>	<b>ID Bus</b>	<b>Tegangan (kV)</b>	<b>ID Motor</b>	<b>Daya (kW)</b>	<b>Keterangan</b>
19	Kanibungan	00-MC-201 B	6.9	GA101A	1300	Cmtr7
20		00-MC-201 B	6.9	GA102A	840	Cmtr7
21		00-MC-201 B	6.9	GA602A	230	Cmtr7
22		00-MC-201 B	6.9	GB601	370	Cmtr7
23		00-MC-201 B	6.9	GB602	1550	Cmtr7
24		00-MC-201 B	6.9	GB603	1360	Cmtr7
25		00-MC-201 B	6.9	GB605	520	Cmtr7
26		03-MC-201 B	6.9	EF1201I	220	Cmtr11
27		03-MC-201 B	6.9	EF1201J	220	Cmtr11
28		03-MC-201 B	6.9	EF1201K	220	Cmtr11
29		03-MC-201 B	6.9	EF1201L	220	Cmtr11
30		03-MC-201 B	6.9	EF1201M	220	Cmtr11
31		03-MC-201 B	6.9	EF1201N	220	Cmtr11
32		03-MC-201 B	6.9	EF1201O	220	Cmtr11
33		03-MC-201 B	6.9	EF1201P	220	Cmtr11
34	03-MC-201 B	6.9	CT-GB1811	500	Cmtr11	
35	03-MC-201 B	6.9	CL-GA1411B	850	Cmtr11	
36	Tanjung Harapan	STG-01	11	Mtr5	2150	N/A



**Tabel 3.4.** Data Beban Lump Pada PKT-5

No.	Plant	ID Bus	ID Lump	Motor Load (%)	Static Load (%)	Daya (kVA)
1	Kanibungan	Bus3	Lump2	80	20	960
2		Bus7	Lump3	80	20	960
3		Bus8	Lump4	80	20	1960
4		Bus9	Lump5	80	20	1960
5		bus53	Lump29	41	59	123
6	Tanjung Harapan	Bus 15	Lump10	80	20	400

### 3. 5. Sistem Proteksi

Sistem proteksi berfungsi untuk mengamankan peralatan-peralatan listrik dan mengisolasi gangguan yang terjadi. Sistem proteksi ini diharapkan dapat meningkatkan keandalan sistem pabrik. Untuk itu peralatan pengaman harus terkoordinasi dengan baik. Studi ini melakukan pengamanan pada jaringan distribusi sistem *ring* terhadap gangguan arus lebih. Jaringan distribusi ini harus dijaga karena paling sensitif, hal ini dikarenakan apabila gangguan tidak langsung diatasi maka dapat berakibat pada *plant* yang lain. Jenis peralatan yang akan dibahas adalah rele diferensial dan rele arus lebih gangguan ke tanah pada *bus*.

## **BAB IV**

### **SIMULASI DAN ANALISA**

#### **4.1. Permodelan Sistem Kelistrikan PT Pupuk Kalimantan Timur**

Pada bab ini akan dilakukan simulasi dan analisa pada sistem kelistrikan PT Pupuk Kalimantan Timur. Simulasi dilakukan dengan memodelkan sistem kelistrikan keseluruhan pabrik menggunakan *software* ETAP 7. Permodelan sistem kelistrikan dilakukan dengan cara pembuatan *single line diagram* terlebih dahulu berdasarkan data-data peralatan seperti data kabel, trnsformator, generator, motor, *bus*, rele eksisting dan sistem pantanahan.

Dengan dilakukan permodelan maka akan didapatkan sistem kelistrikan *eksisting* dan sistem pabrik baru. Langkah setelah permodelan telah dilakukan adalah melakukan analisa aliran daya (*load flow*) untuk mengetahui kondisi sistem pada saat *steady state*. Dengan analisa aliran dayan maka akan diketahui tengangan *bus*, pembebanan transformator, pembebanan *bus*. Rugi-rugi daya listrik, factor daya tiap *feeder*, dan aliran daya *eksisting* pada *single line diagram* yang dibuat.

Setelah melakukan analisa aliran daya (*load flow*) , langkah berikutnya adalah melakukan simulasi hubung singkat. Hubung singkat yang dilakukan adalah hubung singkat minimum 30*cycle* dan hubung singkat maksimum 1/2*cycle* pada setiap bus.

#### **4.2. Analisa Hubung Singkat**

Arus hubung singkat pada hasil simulasi akan digunakan untuk menghitung bentuk *setting* dari rele pengaman yang ada. Standar yang digunakan pada anilisa arus hubung singkat ini adalah ANSI *standard*. Untuk menghitung arus hubung singkat pada suatu sistem tenaga listrik diperlukan data-data sebagai berikut:

1. Generator
2. Kabel
3. Transformator
4. Beban

Setelah melakukan analisa aliran daya (*load flow*) , langkah berikutnya adalah melakukan simulasi hubung singkat. Hubung singkat

yang dilakukan adalah hubung singkat minimum 30*cycle* dan hubung singkat maksimum 1/2*cycle* pada setiap bus.

#### 4.2.1 Hubung Singkat Minimum 30 *Cycle*

Hubung singkat minimum adalah hubung singkat yang terjadi ketika sistem beroperasi pada kondisi pembangkitan minimum. Pada simulasi hubung singkat minimum 30*cycle* dilakukan pada setiap bus di sistem distribusi ring . hasil dari simulasi dapat dilihat pada Table 4.1

**Tabel 4.1** Arus Hubung Singkat Minimum

NO	BUS	Tegangan	Arus Hubung Singkat 30 <i>cycle</i>
1	00-SG-01	33 kV	10.72 kA
2	00-SG-02	33 kV	10.72 kA
3	00-SG-03	33 kV	10.72 kA
4	00-SG-04	33 kV	10.72 kA
5	00-SG-05	33 kV	10.72 A

#### 4.2.2 Hubung Singkat Maksimum ½ *Cycle*, 30 *Cycle* , dan 4 *Cycle*

Hubung singkat maksimum terjadi pada saat semua generator bekerja normal. Hubung singkat maksimum ½ *cycle* digunakan untuk *setting* rele diferensial, hubung singkat ini digunakan karena rele diferensial bekerja pada saat 1-3 *cycle*. Hubung singkat 4 *cycle* digunakan untuk *setting* rele dengan waktu kelambatan 0.08s-0.5s. sedangkan hubung singkat 30 *cycle* digunakan untuk mengatur rele dengan kelambatan waktu 0.6s dan seterusnya. Hubung singkat maksimum sebagai batas arus hubung singkat terbesar yang mungkin akan terjadi.

Hasil simulasi hubung singkat maksimum ½ *cycle*, 30 *cycle* , dan 4 *cycle* dapat dilihat pada Tabel 4.2, 4.3, dan 4.4

**Tabel 4.2** Data Hubung Singkat Maksimum  $\frac{1}{2}$  cycle

NO	BUS	Tegangan	Arus Hubung Singkat 1/2 cycle
1	00-SG-01	33 kV	22.12 kA
2	00-SG-02	33 kV	22.12 kA
3	00-SG-03	33 kV	22.12 kA
4	00-SG-04	33 kV	22.12 kA
5	00-SG-05	33 kV	22.12 kA

**Tabel 4.3** Data Hubung Singkat Maksimum 4 cycle

NO	BUS	Tegangan	Arus Hubung Singkat 4 cycle
1	00-SG-01	33 kV	22.01 kA
2	00-SG-02	33 kV	22.01 kA
3	00-SG-03	33 kV	22.01 kA
4	00-SG-04	33 kV	22.01 kA
5	00-SG-05	33 kV	22.01 kA

**Tabel 4.4** Data Hubung Singkat Maksimum 30 cycle

NO	BUS	Tegangan	Arus Hubung Singkat 30 cycle
1	00-SG-01	33 kV	22.01 kA
2	00-SG-02	33 kV	22.01 kA

NO	BUS	Tegangan	Arus Hubung Singkat 30 <i>cycle</i>
3	00-SG-03	33 kV	22.01 kA
4	00-SG-04	33 kV	22.01 kA
5	00-SG-05	33 kV	22.01 kA

#### 4.3. Hubung Singkat Gangguan Ke Tanah

Hubung singkat gangguan ke tanah digunakan untuk *setting* dari rele arus lebih gangguan ke tanah. Hasil dari simulasi hubung singkat gangguan ke tanah dapat dilihat pada Tabel 4.5:

**Tabel 4.5** Data Hubung Singkat Gangguan ke Tanah

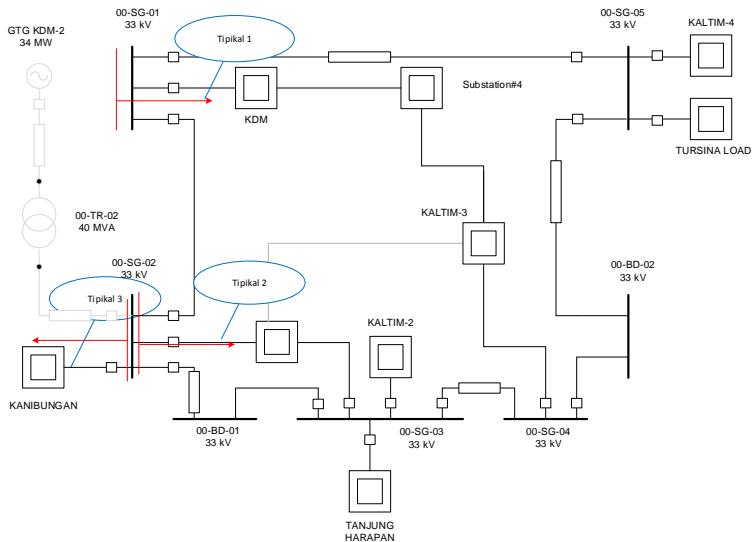
NO	BUS	Tegangan	Arus Hubung Singkat Gangguan Ke Tanah
1	00-SG-01	33 kV	0.009 kA
2	00-SG-02	33 kV	0.009 kA
3	00-SG-03	33 kV	0.009 kA
4	00-SG-04	33 kV	0.009 kA
5	00-SG-05	33 kV	0.009 kA

#### 4.4. Pemilihan Tipikal Koordinasi PT Pupuk Kalimantan Timur

Pemilihan tipikal pada studi kordinasi proteksi di sistem distribusi *ring* PT Pupuk Kaltim dilakukan di *bus* yang terhubung langsung dengan setiap plan. *Bus* tersebut merupakan daerah yang akan diamankan oleh rele diferensial. Untuk memudahkan dalam *setting* koordinasi rele, maka dipilih tipikal yang mewakili koordinasi pada sistem. Pemilihan tipikal ini dapat dilihat pada Gambar 4.1. uraian pemilihan tipika-tipikal ini sebagai berikut:

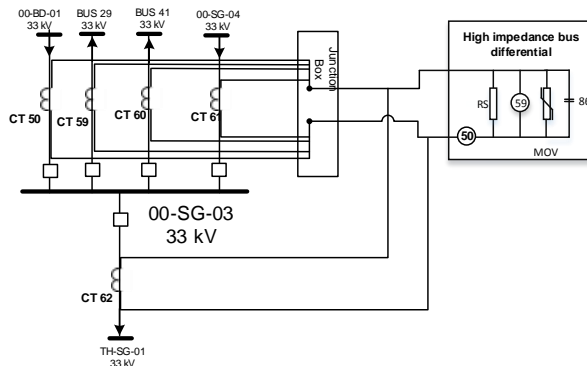
- 1) Pemasangan rele pengaman diferensial *bus* (87B) pada *bus* 00-SG-01, 00-SG-02, 00-SG-03, 00-SG-04, 00-SG-05.

- Pada perhitungan rele diferensial dilakukan simulasi hubung singkat internal dan eksternal untuk mensetting rele.
- 2) Rele arus lebih fasa sebagai *back up* rele diferensial apa bila terjadi kegagalan dalam mengamankan. Pada tuhas akhir ini hanya dilakukan perhitungan pada bus 00-SG-01 dan 00-SG-02 . Rele yang dikordinasi adalah
  - 3) Kordinasi rele arus lebih gangguan ke tanah sebagai *backup* rele diferensial apa bila terjadi kegagalan dalam mengamankan. Pada tugas akhir ini perhitungan dilakukan hanya pada bus 00-SG-01 dan 00-SG-02. Rele yang dikordinasikan adalah CP52, CP11\_1, INC11, CP11\_2, OUT21, CP21, SP21 dan INC71



**Gambar 4.1** Pemilihan Tipikal *Ground Fault* Pada Sistem Distribusi Ring PT Pupuk Kaltim

## 4.5. Analisa Setting Alat Proteksi



**Gambar 4.2** Pemasangan Relé Diferensial pada Bus 00-SG-03

Pada Gambar 4.2 merupakan skema dari rele diferensial impedansi tinggi pada bus 00-SG-03. Pada skema ini terdapat rele 50, rele 59 dan rele 86. Rele 59 adalah elemen tegangan tinggi lebih yang memberikan sinyal *trip* apabila terjadi gangguan internal pada diferensial bus. MOV digunakan sebagai pembatas tegangan pada rangkaian sampai level yang memungkinkan sampai *trip* rangkaian. Rele 86 digunakan sebagai pemberi sinyal *trip* pada breaker dan menghubungkan MOV untuk perlindungan dari tegangan tinggi yang mengakibatkan panas berlebih. Rele 50 digunakan untuk memberikan sinyal yang dibutuhkan selama mengalirnya arus diferensial

*Setting* diferensial impedansi tinggi membutuhkan data-data seperti nCT, RCT, dan RS. Nilai dari data tersebut dapat dilihat dari perhitungan berikut:

- nCT (rasio *Curen Transformer*)  
nilai CT untuk CT50, CT59, CT 60, CT 61, dan CT 62 adalah 1200/5
- RL (resistansi kabel)

Untuk menghubungkan rele dengan CT menggunakan kabel dengan spesifikasi sebagai berikut:

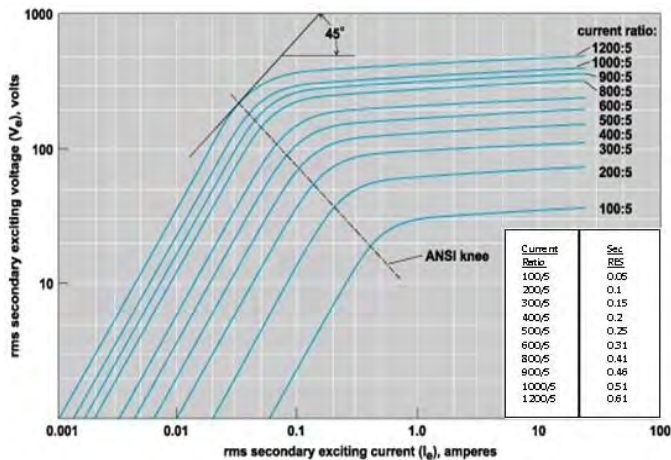
Penampang kabel	: 1.5 mm
Resistansi	: 12.1 Ω/km

Panjang kabel dari CT ke rele : 3 m  
Maka:

$$\text{Resistansi per meter} = \frac{12.1}{1000} = 0.0121 \Omega/\text{km}$$

$$\text{Sehingga: } R_L = 3 \times 0.0121 = 0.363 \Omega$$

- $R_{CT}$  (Resistansi sekunder CT)  
Dapat dilihat dari kurva eksitasi untuk transformator arus *Multi-ratio* kelas C dari Gambar 4.3 didapat sekunder CT.
- $R_S$  (*Stabilizing Resistance*)  
Nilai  $R_S$  pada skema impedansi ini adalah 2000  $\Omega$



Gambar 4.3 Kurva Eksitasi Untuk Transformator Arus Multi-Ratio Kelas C [6]

#### 4.6. Setting Rele Diferensial Impedansi Tinggi (*High Impedance*)

Untuk *setting* rele diferensial akan dilakukan analisa hubung singkat saat gangguan di internal dan eksternal *bus*. Gangguan hubung singkat yang dilakukan adalah gangguan 3 fasa dan 1 fasa ketanah.

##### 4.6.1. Setting Rele Diferensial Pada Bus 00-SG-01

- 1) Kondisi Gangguan Internal (gangguan pada bus 00-SG-01)



**Tabel 4.6** Arus Kontribusi Gangguan Maksimum 3 Fasa dan Gangguan 1 Fasa ke Tanah

Komponen	Arus Kontribusi Gangguan Mak 3 fasa(A)	Arus Kontribusi Gangguan Mak 1 fasa ke tanah(A)
I <sub>CT71</sub>	9.480	3
I <sub>CT72</sub>	2.880	4
I <sub>CT73</sub>	9.760	2

**Tabel 4.7** Arus Kontribusi Gangguan Minimum 3 Fasa dan Gangguan 1 Fasa ke Tanah

Komponen	Arus Kontribusi Gangguan Min 3fasa(A)	Arus Kontribusi Gangguan Min 1 fasa ke tanah(A)
I <sub>CT71</sub>	3.790	3
I <sub>CT72</sub>	1.920	4
I <sub>CT73</sub>	5.000	2

Dari Tabel 4.6 dan 4.7 dapat dihitung arus kontribusi total setiap gangguan di internal bus.

Arus gangguan maksimum 3 fasa:

$$I_{CT71} + I_{CT72} + I_{CT73} \\ 9.480 + 2880 + 9.760 = 22.120 \text{ A}$$

Arus gangguan maksimum 1 fasa ke tanah:

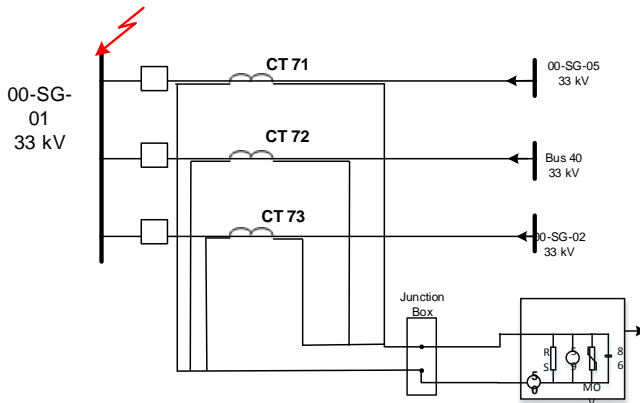
$$I_{CT71} + I_{CT72} + I_{CT73} \\ 3 + 4 + 2 = 9 \text{ A}$$

Arus gangguan minimum 3 fasa:

$$I_{CT71} + I_{CT72} + I_{CT73} \\ 3.790 + 1.920 + 5000 = 10.710 \text{ A}$$

Arus gangguan minimum 1 fasa ke tanah:

$$I_{CT71} + I_{CT72} + I_{CT73} \\ 3 + 4 + 2 = 9 \text{ A}$$



**Gambar 4.4** Gangguan Internal di Bus 00-SG-01

- 2) Kondisi Gangguan Eksternal (Gangguan Pada Bus 00-SG-02, 00-SG-05, dan Bus 40)
  - a. Gangguan Eksternal Terjadi Pada Bus 00-SG-02

**Tabel 4.8** Arus Kontribusi Gangguan Maksimum 3 Fasa dan gangguan 1 Fasa ke Tanah

Komponen	Arus Kontribusi Gangguan Mak 3 Fasa(A)	Arus Kontribusi Gangguan Mak 1 Fasa ke Tanah (A)
$I_{CT71}$	4.980	1
$I_{CT72}$	2.880	4
$I_{CT73}$	7.860	5

Dari Tabel 4.8 Maka dapat dihitung kontribusi total gangguan eksternal di bus 00-SG-02.

Arus gangguan maksimum 3 fasa:

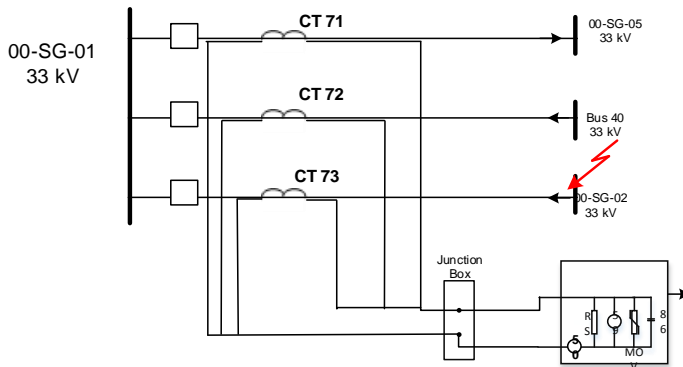
$$I_{CT71} + I_{CT72}$$

$$4.980 + 2.880 = 7.860 \text{ A}$$

Arus gangguan maksimum 1 fasa ke tanah:

$$I_{CT71} + I_{CT72}$$

$$1 + 4 = 5 \text{ A}$$



**Gambar 4.5** Gangguan Eksternal di Bus 00-SG-02

b. Gangguan Terjadi Pada Bus 00-SG-05

**Tabel 4.9** Arus Kontribusi Gangguan Maksimum 3 Fasa dan 1 Fasa ke Tanah

Komponen	Arus Kontribusi Gangguan Mak 3 Fasa(A)	Arus Kontribusi Gangguan Mak 1 Fasa ke Tanah(A)
$I_{CT71}$	8.150	4
$I_{CT72}$	2.880	4
$I_{CT73}$	5.270	0

Dari Tabel 4.9 Maka dapat dihitung kontribusi total gangguan eksternal di bus 00-SG-05

Arus gangguan maksimum 3 fasa:

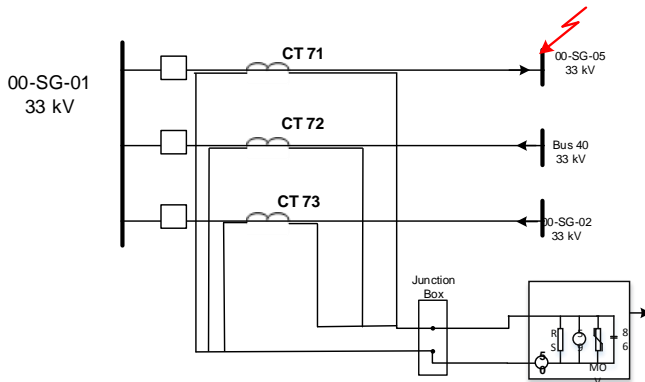
$$I_{CT72} + I_{CT73}$$

$$2.880 + 5.270 = 8.150 \text{ A}$$

Arus gangguan maksimum 1 fasa ke Tanah:

$$I_{CT72} + I_{CT73}$$

$$4 + 0 = 4 \text{ A}$$



**Gambar 4.6** Gangguan Eksternal di Bus 00-SG-05

c. Gangguan Terjadi Pada Bus 40

**Tabel 4.10** Arus Kontribusi Gangguan Maksimum 3 Fasa dan 1 Fasa ke Tanah

Komponen	Arus Kontribusi Gangguan Mak 3 Fasa(A)	Arus Kontribusi Gangguan Mak 1 Fasa ke Tanah(A)
$I_{CT71}$	9.450	3
$I_{CT72}$	19.19	4
$I_{CT73}$	9.740	2

Dari Tabel 4.10 Maka dapat dihitung kontribusi total gangguan eksternal di bus 40

Arus gangguan maksimum 3 fasa:

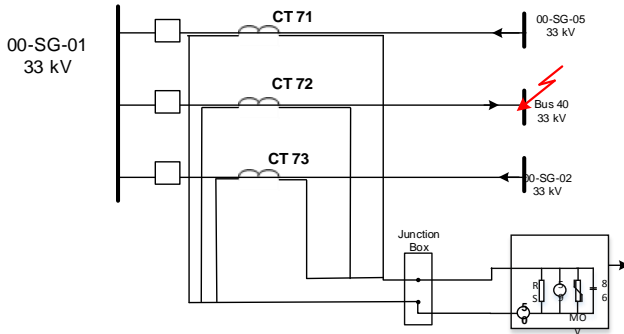
$$I_{CT71} + I_{CT73}$$

$$9.450 + 9.740 = 19.190 \text{ A}$$

Arus gangguan maksimum 1 fasa ke tanah:

$$I_{CT71} + I_{CT73}$$

$$3 + 2 = 5 \text{ A}$$



**Gambar 4.7** Gangguan Eksternal di Bus 40

### 3) Stabilitas Pada Gangguan Eksternal

Gangguan eksternal terjadi pada bus 00-SG-02, 00-SG-05, dan 40. Pada saat gangguan pada bus 00-SG-02 maka diasumsikan CT 73 mengalami saturasi dan tidak memberikan arus sekunder. Hal tersebut berlaku sama apabila gangguan terjadi pada bus 00-SG-05 dan 40. Sehingga terdangan terbangkit di rele diferensial ( $V_R$ ) adalah:

$$V_R = \frac{I_f}{N} (R_{CT} + R_L \cdot k)$$

Dimana  $K = 1$  untuk gangguan maksimum 3 fasa, dan  $K = 2$  untuk gangguan maksimum 1 fasa ke tanah. Untuk perhitungan tiap gangguan adlah sebagai berikut:

- Ganguan di Bus 00-SG-02

$$V_{R_{3PH}} = \frac{7860}{1200/\sqrt{5}} (0.2 + 0.0363 + 1)$$

$$V_{R_{3PH}} = 40.48 \text{ V}$$

$$V_{R_{SLG}} = \frac{5}{1200/\sqrt{5}} (0.2 + 0.0363 + 2)$$

$$V_{R_{SLG}} = 0.046 \text{ V}$$

- Gangguan di Bus 00-SG-05
 
$$V_{R_{3PH}} = \frac{8.150}{1200/5} (0.2 + 0.0363 + 1)$$

$$V_{R_{3PH}} = 38.15 \text{ V}$$

$$V_{R_{SLG}} = \frac{4}{1200/5} (0.2 + 0.0363 + 2)$$

$$V_{R_{SLG}} = 0.037 \text{ V}$$
- Gangguan di Bus 40
 
$$V_{R_{3PH}} = \frac{19.190}{1200/5} (0.2 + 0.0363 + 1)$$

$$V_{R_{3PH}} = 98.85 \text{ V}$$

$$V_{R_{SLG}} = \frac{5}{1200/5} (0.2 + 0.0363 + 2)$$

$$V_{R_{SLG}} = 0.046 \text{ V}$$

Pada perhitungan di atas, didapat nilai tegangan tertinggi pada gangguan *bus* eksternal adalah 98.5 V. dengan asumsi margin perlindungan pengaman adalah 1.6, maka *setting pickup* pada akuator tegangan (59) adalah:

$$V_{PKP} = 1.6 \times 98.85 = 158.16 \text{ V}$$

Sedangkan untuk *setting pickup* pada akuator arus (50) bernilai dibawah arus gangguan minimum dengan margin 0.5, maka:

$$I_{pkp} = 0.5 \frac{9}{240} = 0.019 \text{ A}$$

#### 4) Sentivitas Pada Gangguan Internal

Untuk mendapatkan sensitivitas pada gangguan internal diperlukan operasi minimum dalam *primary ampere*. Perhitungannya adalah sebagai berikut:

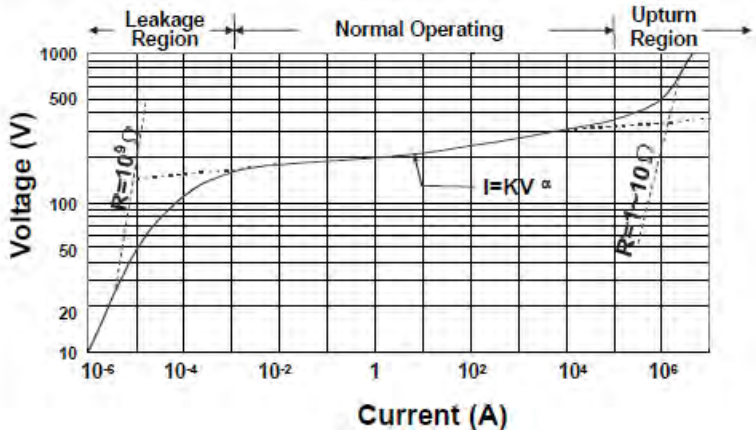
- Eksitasi arus pada pengaturan tegangan yang terdapat pada kurva eksitasi CT pada Gambar 4.3 didapatkan pada tegangan 158.16 V adalah 0.02A. Karena terdapat 3 CTs, maka:

$$I_{EX} = 3 \times 0.02 A = 0.06$$

- Arus MOV pada pengaturan tegangan didapat pada karakteristik MOV. Karakteristik tersebut dalam besaran peak, sehingga nilai tegangan RMS harus di konversi terlebih dahulu. Perhitungannya sebagai berikut:

$$158.16 \times \sqrt{2} = 223.67 V$$

Pada kurva karakteristik MOV sesuai Gambar 4.8, dengan tegangan 223.67 V nilai arus MOV sangat kecil.



Gambar 4.8 Kurva Karakteristik MOV[13]

- Impedansi beban arus pengaturan tegangan adalah 158.16 / 2000Ω. Karena terdapat NGR pada sistem maka direkomendasikan menggunakan zCT dengan rasio 50/5 untuk perhitungan I<sub>op</sub> karena arus gangguan yang kecil.

$$I_{OP} = \left( I_{EX} + I_{MOV} + \frac{V_S}{R_S} \right) \times N$$

$$= \left( 0.06 + 0.01 + \frac{158.16}{2000} \right) \times \frac{50}{5} = 1.5 A$$

Dengan arus gangguan minimum sebesar 10.710 A pada gangguan 3 fasa dan 9 A pada gangguan 1 fasa ke tanah, maka kriteria keandalan terpenuhi.

5) *Setting Waktu*

Berdasarkan rekomendasi IEEE, rele diferensial bekerja dari 1-3 *cycle*. Pada *setting* waktu diferensial ini pada saat 2 *cycle* atau 0.04s. sehingga apabila terjadi gangguan internal rele akan bekerja saat 0.04s

4.6.2. *Setting Rele Diferensial Pada Bus 00-SG-02*

1) *Kondisi Gangguan Internal (Gangguan Pada Bus 00-SG-02)*

**Tabel 4.11** Arus Kontribusi Gangguan Maksimum 3 Fasa dan 1 Fasa ke Tanah

Komponen	Arus Kontribusi Gangguan Mak 3 Fasa(A)	Arus Kontribusi Gangguan Mak 1 Fasa ke Tanah(A)
I <sub>CT52</sub>	7.860	5
I <sub>CT53</sub>	1.050	0
I <sub>CT54</sub>	10.100	4
I <sub>CT56</sub>	3.110	0

**Tabel 4.12** Arus Kontribusi Gangguan Minimum 3 Fasa dan 1 Fasa ke Tanah

Komponen	Arus Kontribusi Gangguan Min 3 Fasa(A)	Arus Kontribusi Gangguan Min 1 Fasa ke Tanah(A)
I <sub>CT52</sub>	3.540	5
I <sub>CT53</sub>	774	0
I <sub>CT54</sub>	4.720	4
I <sub>CT56</sub>	1.680	0

Dari Tabel 4.11 dan 4.12 dapat dihitung arus kontribusi total gangguan di Internal *bus*



Arus gangguan maksimum 3 fasa:

$$I_{CT52} + I_{CT53} + I_{CT54} + I_{CT56}$$

$$7.860 + 1.050 + 10.100 + 3.110 = 22.120 \text{ A}$$

Arus gangguan maksimum single L-G

$$I_{CT52} + I_{CT53} + I_{CT54} + I_{CT55} + I_{CT56}$$

$$5 + 0 + 4 + 0 = 9 \text{ A}$$

Arus gangguan mainimum 3phasa :

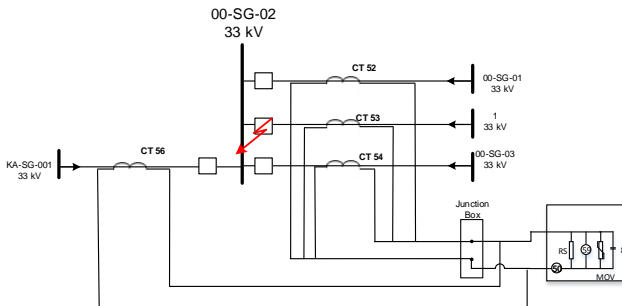
$$I_{CT52} + I_{CT53} + I_{CT54} + I_{CT55} + I_{CT56}$$

$$3.540 + 774 + 4.720 + 1.680 = 9.380 \text{ A}$$

Arus gangguan minimum single L-G :

$$I_{CT52} + I_{CT53} + I_{CT54} + I_{CT55} + I_{CT56}$$

$$5 + 0 + 4 + 0 = 9 \text{ A}$$



**Gambar 4.9** Gangguan Internal di Bus 00-SG-02

- 2) Kondisi Gangguan Eksternal ( Gangguan Pada Bus 00-SG-01,00-SG-03, 1, dan KA-SG-001)
  - a. Kondisi Gangguan Eksternal Terjadi di Bus 00-SG-01

**Tabel 4.13** Arus Kontribusi Gangguan Maksimum 3 Fasa dan 1 Fasa ke Tanah

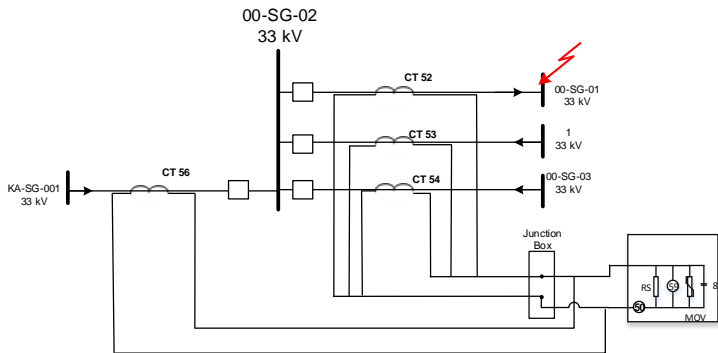
Komponen	Arus Kontribusi Gangguan Mak 3 Fasa(A)	Arus Kontribusi Gangguan Mak 1 Fasa ke Tanah(A)
$I_{CT52}$	9.760	2
$I_{CT53}$	1.050	0
$I_{CT54}$	5.600	2
$I_{CT56}$	3.110	0

Dari Tabel 4.3 dapat dihitung arus kontribusi total gangguan eksternal di bus 00-SG-01

Arus gangguan maksimum 3 phasa :

$$I_{CT53} + I_{CT54} + I_{CT56}$$

$$1.050 + 5.600 + 3.110 = 9.760 \text{ A}$$



**Gambar 4.10** Gangguan Eksternal di Bus 00-SG-01

- b. Kondisi Gangguan Eksternal Terjadi di Bus 00-SG-03

**Tabel 4.14** Arus Kontribusi Gangguan Maksimum 3 Fasa dan 1 Fasa ke Tanah

Komponen	Arus Kontribusi Gangguan Mak 3 Fasa (A)	Arus Kontribusi Gangguan Mak 1 Fasa ke Tanah(A)
I <sub>CT52</sub>	3.730	4
I <sub>CT53</sub>	1.050	0
I <sub>CT54</sub>	7.890	4
I <sub>CT56</sub>	3.110	0

Dari Tabel 4.14 dapat dihitung arus kontribusi total gangguan eksternal di bus 00-SG-03.

Arus gangguan maksimum 3 fasa :

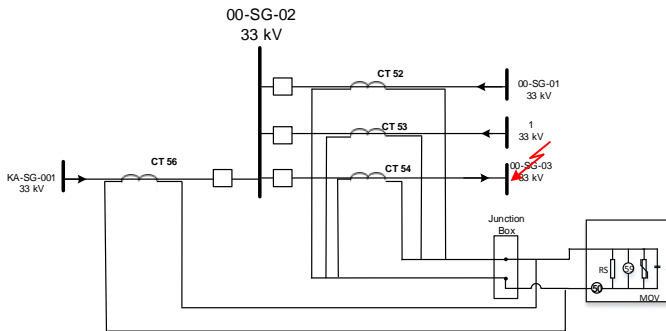
$$I_{CT52} + I_{CT53} + I_{CT56}$$

$$3.230 + 1.050 + 3.110 = 7.890 \text{ A}$$

Arus Gangguan maksimum 1 fasa ketanah :

$$I_{CT52} + I_{CT53} + I_{CT56}$$

$$2 + 1 + 1 = 4 \text{ A}$$



**Gambar 4.11** Gangguan Eksternal di Bus 00-SG-03

c. Kondisi Gangguan Eksternal Terjadi di Bus 1

**Tabel 4.15** Arus Kontribusi Gangguan Maksimum 3 Fasa dan 1 Fasa ke Tanah

Komponen	Arus Kontribusi Gangguan Mak 3 Fasa(A)	Arus Kontribusi Gangguan Mak 1 Fasa ke Tanah (A)
I <sub>CT52</sub>	7.370	5

Komponen	Arus Kontribusi Gangguan Mak 3 Fasa(A)	Arus Kontribusi Gangguan Mak 1 Fasa ke Tanah (A)
$I_{CT53}$	19.770	9
$I_{CT54}$	9.480	4
$I_{CT56}$	2.920	0

Dari Tabel 4.15 dapat dihitung arus kontribusi total gangguan eksternal di bus 1.

Arus gangguan maksimum 3 fasa:

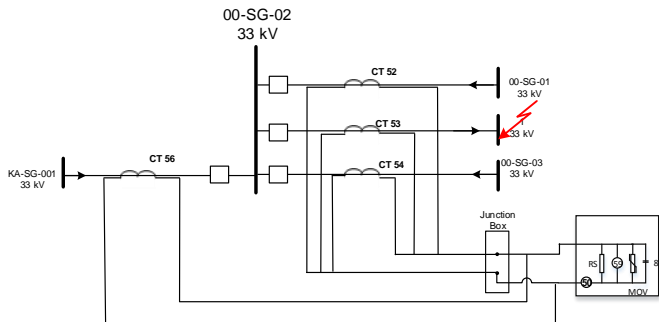
$$I_{CT52} + I_{CT54} + I_{CT56}$$

$$7.370 + 9.480 + 2.920 = 19.770 \text{ A}$$

Arus gangguan maksimum 1 fasa ke tanah:

$$I_{CT52} + I_{CT54} + I_{CT56}$$

$$5 + 4 + 0 = 9 \text{ A}$$



**Gambar 4.12** Gangguan Eksternal di Bus 1

d. Kondisi Gangguan Eksternal Terjadi di Bus KA-SG-001

**Tabel 4.16** Arus Kontribusi Gangguan Maksimum 3 Fasa dan 1 Fasa ke Tanah

Komponen	Arus Kontribusi Gangguan Max 3 Fasa(A)	Arus Kontribusi Gangguan Mak 1 Fasa ke Tanah(A)
$I_{CT52}$	7.860	5
$I_{CT53}$	1.050	0
$I_{CT54}$	10.100	4
$I_{CT56}$	19.010	9

Dari Tabel 4.16 dapat dihitung arus kontribusi total gangguan eksternal di bus KA-SG-001

Arus gangguan maksimal 3 fasa:

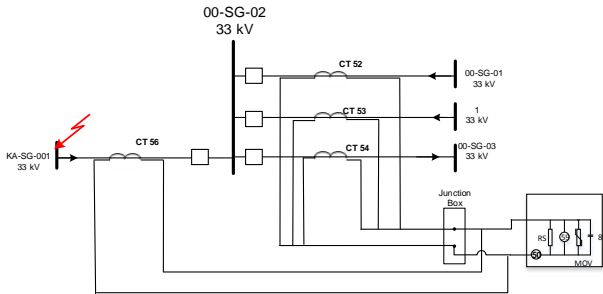
$$I_{CT52} + I_{CT53} + I_{CT54}$$

$$7.860 + 1.050 + 10.100 = 19.010A$$

Arus gangguan maksimal single L-G:

$$I_{CT52} + I_{CT53} + I_{CT54}$$

$$5 + 4 + 0 + 1 = 9 A$$



**Gambar 4.13** Gangguan Eksternal di Bus KA-SG-001

### 3) Stabilitas Pada Gangguan Eksternal

Gangguan eksternal terjadi pada bus 00-SG-01, 00-SG-03,1, dan KA-SG-001. Pada saat terjadi gangguan pada bus 00-SG-01 maka diasumsikan CT 52 mengalami saturasi dan tidak memberikan arus sekunder. Hal tersebut berlaku sama apabila gangguan terjadi pada bus 00-SG-03,1 dan KA-SG-001. Sehingga terganggan terbangkit di rele diferensial ( $V_R$ ) adalah:

$$V_R = \frac{I_f}{N} (R_{CT} + R_L \cdot k)$$

Dimana  $K = 1$  untuk gangguan maksimum 3 fasa, dan  $K = 2$  untuk gangguan maksimum 1 fasa ke tanah. Untuk perhitungan tiap gangguan adlah sebagai berikut:

- Gangguan di Bus 00-SG-01

$$V_{R_{3PH}} = \frac{9.760}{1200/\sqrt{3}} (0.2 + 0.0363 + 1)$$

$$V_{R_{3PH}} = 50.27 \text{ V}$$

$$V_{R_{SLG}} = \frac{2}{1200/5} (0.2 + 0.0363 + 2)$$

$$V_{R_{SLG}} = 0.001 \text{ V}$$

- Gangguan di Bus 00-SG-03

$$V_{R_{3PH}} = \frac{7.890}{1200/5} (0.2 + 0.0363 + 1)$$

$$V_{R_{3PH}} = 40.64 \text{ V}$$

$$V_{R_{SLG}} = \frac{4}{1200/5} (0.2 + 0.0363 + 2)$$

$$V_{R_{SLG}} = 0.037 \text{ V}$$

- Gangguan di Bus 1

$$V_{R_{3PH}} = \frac{19.770}{1200/5} (0.2 + 0.0363 + 1)$$

$$V_{R_{3PH}} = 101.84 \text{ V}$$

$$V_{R_{SLG}} = \frac{9}{1200/5} (0.2 + 0.0363 + 2)$$

$$V_{R_{SLG}} = 0.083 \text{ V}$$

- Gangguan di Bus KA-SG-001

$$V_{R_{3PH}} = \frac{19.010}{1200/5} (0.2 + 0.0363 + 1)$$

$$V_{R_{3PH}} = 97.92 \text{ V}$$

$$V_{R_{SLG}} = \frac{9}{1200/5} (0.2 + 0.0363 + 2)$$

$$V_{R_{SLG}} = 0.083 \text{ V}$$

Pada perhitungan di atas, didapat nilai tegangan tertinggi pada gangguan bus eksternal adalah 101.84 V. dengan asumsi margin

perlindungan pengaman adalah 1.6, maka *setting pick up* pada akuator tegangan (59) adalah:

$$V_{PKP} = 1.6 \times 101.84 = 162.94V$$

Sedangkan untuk *setting pickup* pada akuator arus (50) bernilai dibawah arus gangguan minimum dengan margin 0.5, maka:

$$I_{pkp} = 0.5 \frac{9}{240} = 0.019 A$$

#### 4) Sentivitas Pada Gangguan Internal

Untuk mendapatkan sensitivitas pada gangguan internal diperlukan operasi minimum dalam *primary ampere*. Perhitungannya adalah sebagai berikut:

- Eksitasi arus pada pengaturan tegangan yang terdapat pada kurva eksitasi CT pada Gambar 4.3 didapatkan pada tegangan 162.94 V adalah 0.02A. Karena terdapat 4 CTs, maka:

$$I_{EX} = 4 \times 0.03 A = 0.012$$

- Arus MOV pada pengaturan tegangan didapat pada karakteristik MOV. Karakteristik tersebut dalam besaran peak, sehingga nilai tegangan RMS harus di konversi terlebih dahulu. Perhitungannya sebagai berikut:

$$162.95X \sqrt{2} = 230.43 V$$

Pada kurva karakteristik MOV sesuai Gambar 4.8, dengan tegangan 230.43 V nilai arus MOV sangat kecil.

- Impedansi beban arus pengaturan tegangan adalah 162.95 / 2000Ω. Karena terdapat NGR pada sistem maka direkomendasikan menggunakan zCT dengan rasio 50/5 untuk perhitungan Iop karena arus gangguan yang kecil.

$$\begin{aligned} I_{OP} &= \left( I_{EX} + I_{MOV} + \frac{V_S}{R_S} \right) \times N \\ &= \left( 0.012 + 0.01 + \frac{162.94}{2000} \right) \times \frac{50}{5} = 2.1 A \end{aligned}$$

Dengan arus gangguan minimum sebesar 9.380 A pada gangguan 3 fasa dan 9 A pada gangguan 1 fasa ke tanah, maka kriteria keandalan terpenuhi.

5) *Setting Waktu*

Berdasarkan rekomendasi IEEE, rele diferensial bekerja dari 1-3 *cycle*. Pada *setting* waktu diferensial ini pada saat 2 *cycle* atau 0.04s. sehingga apabila terjadi gangguan internal rele akan bekerja saat 0.04s.

4.6.3. *Setting Rele Diferensial Pada Bus 00-SG-03*

1) *Kondisi Gangguan Internal ( Gangguan Pada Bus 00-SG-03)*

**Tabel 4.17** Arus Kontribusi Gangguan Maksimum 3 Fasa dan 1 Fasa ke Tanah

Komponen	Arus Kontribusi Gangguan Mak 3 Fasa(A)	Arus Kontribusi Gangguan Mak 1 Fasa ke Tanah(A)
I <sub>CT50</sub>	7.890	4
I <sub>CT59</sub>	173	0
I <sub>CT60</sub>	2.630	0
I <sub>CT61</sub>	7.310	5
I <sub>CT62</sub>	4.130	0

**Tabel 4.18** Arus Kontribusi Gangguan Minimum 3 Fasa dan 1 Fasa ke Tanah

Komponen	Arus Kontribusi Gangguan Min 3phasa(A)	Arus Kontribusi Gangguan Min Single L-G(A)
I <sub>CT50</sub>	3.990	4
I <sub>CT59</sub>	774	0
I <sub>CT60</sub>	1.830	0
I <sub>CT61</sub>	3.270	5
I <sub>CT62</sub>	1.620	0



Dari Tabel 4.17 dan 4.18 dapat dihitung arus kontribusi total gangguan internal pada bus.

Arus gangguan maksimal 3 fasa:

$$I_{CT50} + I_{CT59} + I_{CT60} + I_{CT61} + I_{CT62}$$

$$7.890 + 173 + 2.630 + 7.810 + 4.130 = 22.130 \text{ A}$$

Arus gangguan maksimal 1 fasa ke tanah:

$$I_{CT50} + I_{CT59} + I_{CT60} + I_{CT61} + I_{CT62}$$

$$4 + 0 + 0 + 5 + 0 = 9 \text{ A}$$

Arus gangguan minimum 3 fasa :

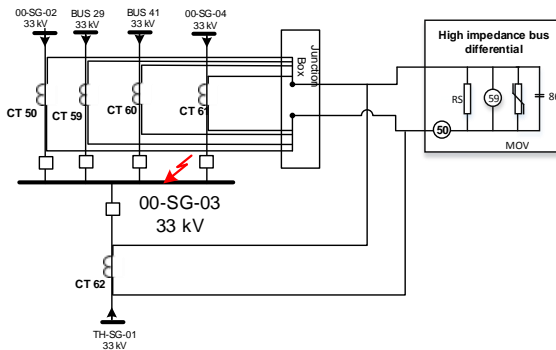
$$I_{CT50} + I_{CT59} + I_{CT60} + I_{CT61} + I_{CT62}$$

$$3.990 + 774 + 1.830 + 3.270 + 1.620 = 11.484 \text{ A}$$

Arus gangguan minimum 1 fasa ke tanah:

$$I_{CT50} + I_{CT59} + I_{CT60} + I_{CT61} + I_{CT62}$$

$$4 + 0 + 0 + 5 + 0 = 9 \text{ A}$$



**Gambar 4.14** Gangguan Internal di Bus 00-SG-03

## 2) Kondisi Gangguan Eksternal

### a. Kondisi Gangguan Terjadi di Bus 00-SG-02

**Tabel 4.19** Arus Kontribusi Gangguan Maksimum 3 Fasa dan 1 Fasa ke Tanah

Komponen	Arus Kontribusi Gangguan Mak 3 Fasa(A)	Arus Kontribusi Gangguan Mak 1 Fasa ke Tanah (A)
$I_{CT50}$	14.230	5

$I_{CT59}$	173	0
$I_{CT60}$	2.630	0
$I_{CT61}$	7.310	5
$I_{CT62}$	4.130	0

Dari Tabel 4.19 dapat dihitung arus kontribusi total gangguan eksternal di bus 00-SG-02.

Arus gangguan maksimal 3 fasa :

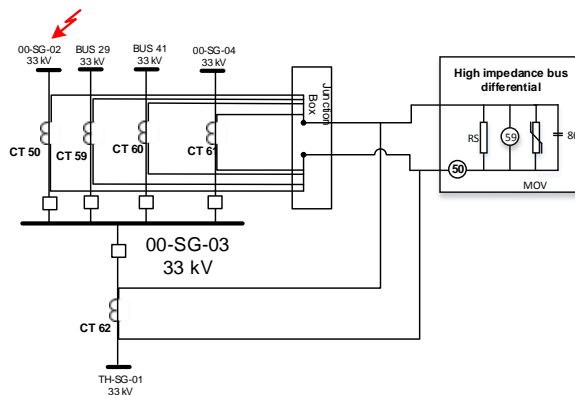
$$I_{CT59} + I_{CT60} + I_{CT61} + I_{CT62}$$

$$173 + 2.630 + 7.810 + 4.130 = 14.230 \text{ A}$$

Arus gangguan maksimum 1 fasa ke tanah:

$$I_{CT59} + I_{CT60} + I_{CT61} + I_{CT62}$$

$$0+0+5+0 = 5 \text{ A}$$



**Gambar 4.15** Gangguan Eksternal di Bus 00-SG-02

b. Kondisi Gangguan Terjadi di Bus 29

**Table 4.20** Arus Kontribusi Gangguan Maksimum 3 Fasa dan 1 Fasa ke Tanah

Komponen	Arus Kontribusi Gangguan Mak 3 Fasa(A)	Arus Kontribusi Gangguan Mak 1 Fasa ke Tanah(A)
$I_{CT50}$	7.380	4
$I_{CT59}$	20.540	9

$I_{CT60}$	2.460	0
$I_{CT61}$	6.840	5
$I_{CT62}$	3.860	0

Dari Tabel 4.20 dapat dihitung arus kontribusi total gangguan eksternal di bus 29.

Arus gangguan maksimal 3 Fasa:

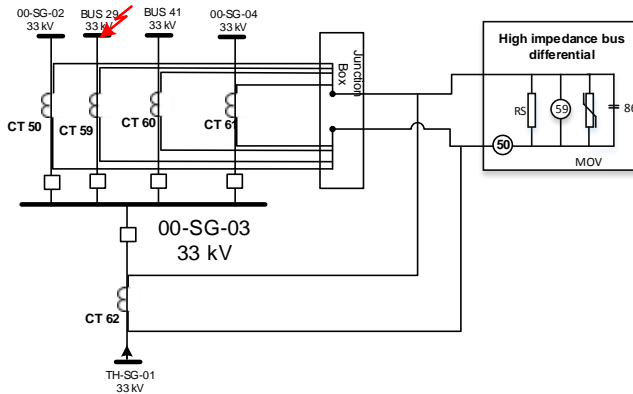
$$I_{CT50} + I_{CT60} + I_{CT61} + I_{CT62}$$

$$7.380 + 2.460 + 6.840 + 3.860 = 20.540 \text{ A}$$

Arus gangguan maksimal 1 fasa ke tanah:

$$I_{CT50} + I_{CT60} + I_{CT61} + I_{CT62}$$

$$4 + 0 + 5 + 0 = 9 \text{ A}$$



**Gambar 4.16** Gangguan Eksternal di Bus 29

c. Kondisi Gangguan Terjadi di Bus 41

**Table 4.21** Arus Kontribusi Gangguan Maksimum 3 Fasa dan 1 Fasa ke Tanah

Komponen	Arus Kontribusi Gangguan Mak 3 Fasa(A)	Arus Kontribusi Gangguan Mak 1 Fasa ke Tanah(A)
$I_{CT50}$	7.710	4
$I_{CT59}$	169	0
$I_{CT60}$	19.050	9

$I_{CT61}$	7.140	5
$I_{CT62}$	4.030	0

Dari Tabel 4.21 dapat dihitung arus kontribusi total gangguan eksternal di bus 41.

Arus gangguan maksimum 3 fasa:

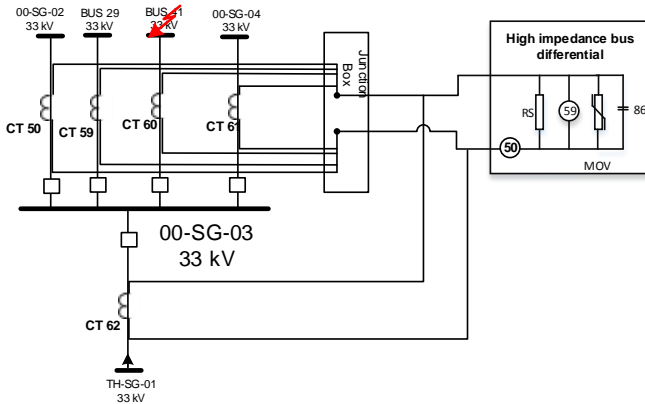
$$I_{CT50} + I_{CT59} + I_{CT61} + I_{CT62}$$

$$7.710 + 169 + 7.140 + 4.030 = 19.050 \text{ A}$$

Arus gangguan maksimum 1 fasa ke tanah:

$$I_{CT50} + I_{CT59} + I_{CT61} + I_{CT62}$$

$$4 + 0 + 5 + 0 = 9 \text{ A}$$



**Gambar 4.17** Gangguan Eksternal di Bus 41

d. Kondisi Gangguan Terjadi di Bus TH-SG-01

**Table 4.22** Arus Kontribusi Gangguan Maksimum 3 Fasa dan 1 Fasa ke Tanah

Komponen	Arus Kontribusi Mak Gangguan 3 fasa	Arus Kontribusi Gangguan Mak 1 Fasa ke Tanah(A)
$I_{CT50}$	7.890	4
$I_{CT59}$	173	0
$I_{CT60}$	2.630	0

$I_{CT61}$	7.310	5
$I_{CT62}$	18.000	9

Dari Tabel 4.22 dapat dihitung arus kontribusi total gangguan eksternal di bus TH-SG-01.

Arus gangguan maksimum 3 fasa

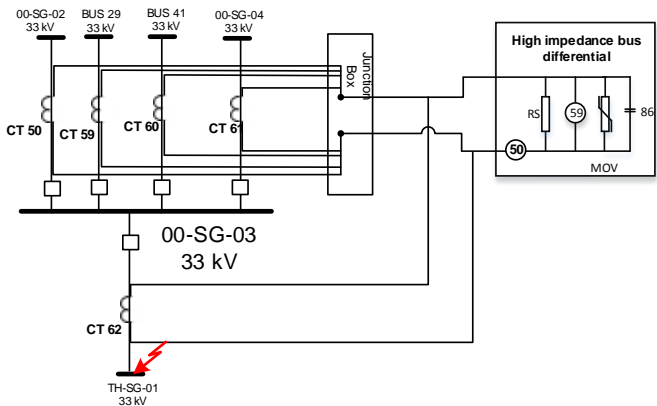
$$I_{CT50} + I_{CT59} + I_{CT60} + I_{CT61}$$

$$7.890 + 173 + 2.630 + 7.310 = 18.003 \text{ A}$$

Arus gangguan maksimum 1 fasa ke tanah:

$$I_{CT50} + I_{CT59} + I_{CT61} + I_{CT62}$$

$$4 + 0 + 0 + 5 = 9 \text{ A}$$



**Gambar 4.18** Gangguan Eksternal di Bus TH-SG-01

e. Kondisi Gangguan Terjadi di Bus 00-SG-04

**Table 1.23** Arus Kontribusi Gangguan Maksimum 3 Fasa dan 1 Fasa ke Tanah

Komponen	Arus Kontribusi Gangguan Mak 3 Fasa(A)	Arus Kontribusi Gangguan Mak 1 Fasa ke Tanah(A)
$I_{CT50}$	3.390	2
$I_{CT59}$	173	0

$I_{CT60}$	2.630	0
$I_{CT61}$	10.310	2
$I_{CT62}$	4.130	0

Dari Tabel 4.23 dapat dihitung arus kontribusi total gangguan eksternal di bus 00-SG-04.

Arus gangguan maksimum 3 fasa

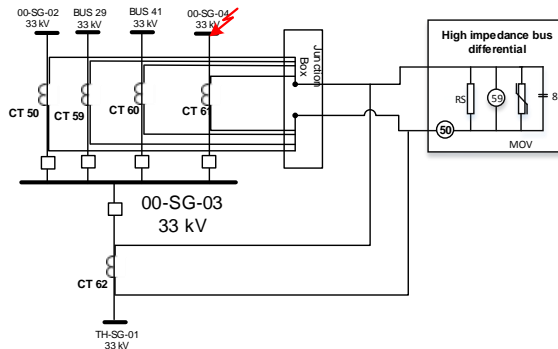
$$I_{CT50} + I_{CT59} + I_{CT60} + I_{CT62}$$

$$3.390 + 173 + 2.630 + 4.130 = 10.323 \text{ A}$$

Arus gangguan maksimum 1 fasa ke tanah.

$$I_{CT50} + I_{CT59} + I_{CT60} + I_{CT62}$$

$$2 + 0 + 0 + 0 = 2 \text{ A}$$



**Gambar 4.19** Gangguan Eksternal di Bus 00-SG-04

### 3) Stabilitas Gangguan Eksternal

Gangguan eksternal terjadi pada bus 00-SG-02, 00-SG-04, 29, 41 dan TH-SG-01. Pada saat terjadi gangguan pada bus 00-SG-02 maka diasumsikan CT 50 mengalami saturasi dan tidak memberikan arus sekunder. Hal tersebut berlaku sama apabila gangguan terjadi pada bus 00-SG-03, 00-SG-04, 29, 41 dan TH-SG-01. Sehingga terganggan terbangkit di rele diferensial ( $V_R$ ) adalah:

$$V_R = \frac{I_f}{N} (R_{CT} + R_L \cdot k)$$

Dimana  $K = 1$  untuk gangguan maksimum 3 fasa, dan  $K = 2$  untuk gangguan maksimum 1 fasa ke tanah. Untuk perhitungan tiap gangguan adalah sebagai berikut:

- Ganguan di Bus 00-SG-02

$$V_{R_{3PH}} = \frac{14.230}{1200/5} (0.2 + 0.0363 + 1)$$

$$V_{R_{3PH}} = 73.3 \text{ V}$$

$$V_{R_{SLG}} = \frac{5}{1200/5} (0.2 + 0.0363 + 2)$$

$$V_{R_{SLG}} = 0.046 \text{ V}$$

- Ganguan di Bus Bus 29

$$V_{R_{3PH}} = \frac{20.540}{1200/5} (0.2 + 0.0363 + 1)$$

$$V_{R_{3PH}} = 105.8 \text{ V}$$

$$V_{R_{SLG}} = \frac{9}{1200/5} (0.2 + 0.0363 + 2)$$

$$V_{R_{SLG}} = 0.083 \text{ V}$$

- Ganguan di Bus 41

$$V_{R_{3PH}} = \frac{19.050}{1200/5} (0.2 + 0.0363 + 1)$$

$$V_{R_{3PH}} = 98.13 \text{ V}$$

$$V_{R_{SLG}} = \frac{9}{1200/5} (0.2 + 0.0363 + 2)$$

$$V_{R_{SLG}} = 0.083 \text{ V}$$

- Ganguan di Bus TH-SG-01

$$V_{R_{3PH}} = \frac{18.003}{1200/5} (0.2 + 0.0363 + 1)$$

$$V_{R_{3PH}} = 92.73 \text{ V}$$

$$V_{R_{SLG}} = \frac{9}{1200/5} (0.2 + 0.0363 + 2)$$

$$V_{R_{SLG}} = 0.083 V$$

- Gangguan di Bus 00-SG-04

$$V_{R_{3PH}} = \frac{10.323}{1200/\sqrt{3}} (0.2 + 0.0363 + 1)$$

$$V_{R_{3PH}} = 53.17 V$$

$$V_{R_{SLG}} = \frac{2}{1200/\sqrt{3}} (0.2 + 0.0363 + 2)$$

$$V_{R_{SLG}} = 0.018 V$$

Pada perhitungan di atas, didapat nilai tegangan tertinggi pada gangguan bus eksternal adalah 105.8 V. dengan asumsi margin perlindungan pengaman adalah 1.6, maka *setting pickup* pada akuator tegangan (59) adalah:

$$V_{PKP} = 1.6 \times 105.8 = 1169.28 V$$

Sedangkan untuk *setting pickup* pada akuator arus (50) bernilai dibawah arus gangguan minimum dengan margin 0.5, maka:

$$I_{pkp} = 0.5 \frac{9}{240} = 0.018 A$$

#### 4) Sensitivitas Pada Gangguan Internal

Untuk mendapatkan sensitivitas pada gangguan internal diperlukan operasi minimum dalam *primary ampere*. Perhitungannya adalah sebagai berikut:

- Eksitasi arus pada pengaturan tegangan yang terdapat pada kurva eksitasi CT pada Gambar 4.3 didapatkan pada tegangan 169.28 V adalah 0.03A. Karena terdapat 5 CTs, maka:

$$I_{EX} = 5 \times 0.03 A = 0.015$$

- Arus MOV pada pengaturan tegangan didapat pada karakteristik MOV. Karakteristik tersebut dalam besaran peak,



sehingga nilai tegangan RMS harus di konversi terlebih dahulu. Perhitungannya sebagai berikut:

$$169.25X \sqrt{2} = 239.29 \text{ V}$$

Berdasarkan kurva karakteristik MOV sesuai Gambar 4.8, dengan tegangan 230.43 V nilai arus MOV sangat kecil.

- Impedansi beban arus pengaturan tegangan adalah  $162.95 / 2000\Omega$ . Karena terdapat NGR pada sistem maka direkomendasikan menggunakan zCT dengan rasio 50/5 untuk perhitungan Iop karena arus gangguan yang kecil.

$$\begin{aligned} I_{OP} &= \left( I_{EX} + I_{MOV} + \frac{V_S}{R_S} \right) \times N \\ &= \left( 0.015 + 0.03 + \frac{169.25}{2000} \right) \times \frac{50}{5} = 2.41 \text{ A} \end{aligned}$$

Dengan arus gangguan minimum sebesar 11.484 A pada gangguan 3 fasa dan 9 A pada gangguan 1 fasa ke tanah, maka kriteria keandalan terpenuhi.

#### 5) *Setting* Waktu

Berdasarkan rekomendasi IEEE, rele diferensial bekerja dari 1-3 *cycle*. Pada *setting* waktu diferensial ini pada saat 2 *cycle* atau 0.04s. sehingga apabila terjadi gangguan internal rele akan bekerja saat 0.04s.

#### 4.6.4. *Setting* Rele Diferensial Pada Bus 00-SG-04

##### 1) Kondisi Gangguan Internal (Gangguan di *Bus* 00-SG-04)

**Table 4.24** Arus Kontribusi Gangguan Fasa dan 1 Fasa ke Tanah

Komponen	Arus Kontribusi Gangguan Mak 3Fasa(A)	Arus Kontribusi Gangguan Mak 1 Fasa ke Tanah(A)
I <sub>CT76</sub>	10.310	2
I <sub>CT64</sub>	2.800	4
I <sub>CT65</sub>	9.010	3

**Tabel 4.25** Arus Kontribusi Gangguan Fasa dan 1 Fasa ke Tanah

Komponen	Arus Kontribusi Gangguan Min 3 Fsa(A)	Arus Kontribusi Gangguan Min 1 Fasa ke Tanah (A)
I <sub>CT76</sub>	5.270	2
I <sub>CT64</sub>	1.720	4
I <sub>CT65</sub>	3.730	3

Dari Tabel 4.24 dan 4.25 dapat dihitung arus kontribusi total gangguan internal *bus*.

Arus gangguan maksimum 3 fasa:

$$I_{CT76} + I_{CT64} + I_{CT65}$$

$$10.310 + 2.800 + 10.600 = 22.120 \text{ A}$$

Arus gangguan maksimum 1 fasa ke tanah:

$$I_{CT76} + I_{CT64} + I_{CT65}$$

$$2 + 4 + 3 = 9 \text{ A}$$

Arus gangguan minimum 3 fasa:

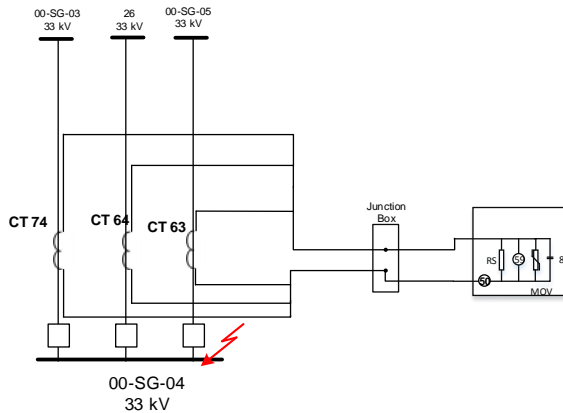
$$I_{CT76} + I_{CT64} + I_{CT65}$$

$$5.270 + 1.720 + 3.730 = 10.720 \text{ A}$$

Arus gangguan minimum 1 fasa ke tanah:

$$I_{CT76} + I_{CT64} + I_{CT65}$$

$$2 + 4 + 3 = 9 \text{ A}$$



**Gambar 4.20** Gangguan Internal di Bus 00-SG-04

- 2) Kondisi Gangguan Eksternal
  - a. Kondisi Gangguan Eksternal di Bus 00-SG-03

**Tabel 4.26** Arus Kontribusi Gangguan Maksimum 3 Fasa dan 1 Fasa ke Tanah

Komponen	Arus Kontribusi Gangguan Mak 3 Fasa(A)	Arus Kontribusi Gangguan Mak 1 Fasa ke Tanah(A)
$I_{CT76}$	7.310	5
$I_{CT64}$	2.800	4
$I_{CT65}$	4.510	1

Dari Tabel 4.26 dapat dihitung arus kontribusi total gangguan eksternal di bus 00-SG-03

Arus gangguan maksimum 3 fasa:

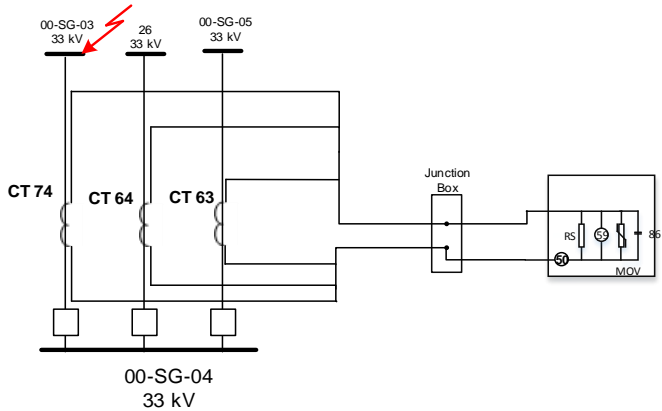
$$I_{CT64} + I_{CT65}$$

$$2.800 + 4.510 = 7.310 \text{ A}$$

Arus gangguan maksimum 1 fasa ke tanah:

$$I_{CT64} + I_{CT65}$$

$$4 + 1 = 5 \text{ A}$$



**Gambar 4.21** Ganggun Eksternal di Bus 00-SG-03

b. Kondisi Gangguan Eksternal di Bus 26

**Tabel 4.27** Arus Kontribusi Gangguan Maksimum 3 Fasa dan 1 Fasa ke Tanah

Komponen	Arus Kontribusi Gangguan Mak 3 Fasa(A)	Arus Kontribusi Gangguan Mak 1 Fasa ke Tanah(A)
$I_{CT76}$	10.180	2
$I_{CT64}$	19.070	4
$I_{CT65}$	8.890	3

Dari Tabel 4.27 dapat dihitung arus kontribusi total gangguan eksternal di bus 26.

Arus gangguan maksimum 3 fasa:

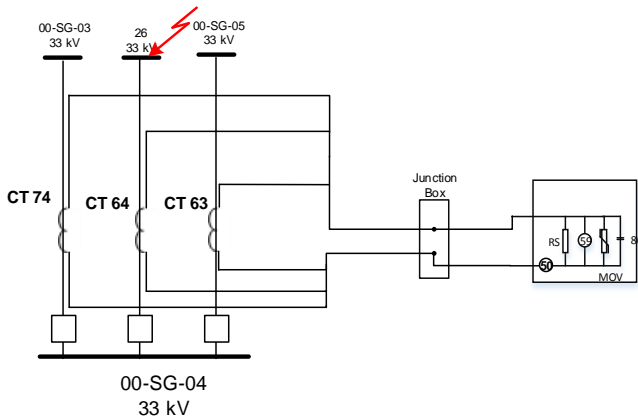
$$I_{CT76} + I_{CT65}$$

$$10.180 + 8.890 = 19.070 \text{ A}$$

Arus Gangguan maksimum 1 fasa ke tanah:

$$I_{CT76} + I_{CT65}$$

$$2 + 3 = 5 \text{ A}$$



**Gambar 4.22** Gangguan Eksternal di Bus 26

c. Kondisi Gangguan Eksternal di Bus 00-SG-05

**Tabel 4.28** Arus Kontribusi Gangguan Maksimum 3 Fasa dan 1 Fasa ke Tanah

Komponen	Arus Kontribusi Gangguan Mak 3 Fasa(A)	Arus Kontribusi Gangguan Mak 1 Fasa ke Tanah(A)
$I_{CT76}$	5.820	0
$I_{CT64}$	2.800	4
$I_{CT65}$	8.610	4

Dari Tabel 4.28 dapat dihitung arus kontribusi total gangguan eksternal di bus 00-SG-05.

Arus kontribusi gangguan maksimum 3 fasa:

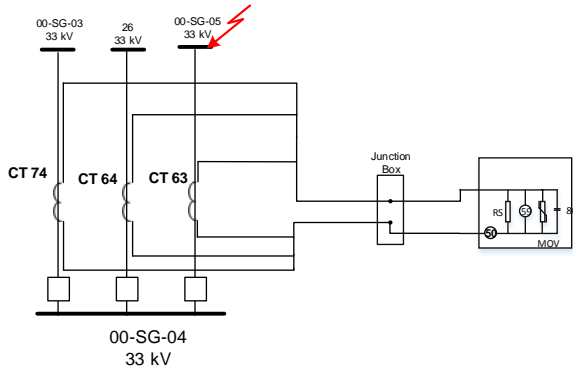
$$I_{CT76} + I_{CT65}$$

$$5.820 + 2.800 = 8.610 \text{ A}$$

Arus kontribusi gangguan maksimum 1 fasa ke tanah:

$$I_{CT76} + I_{CT65}$$

$$0 + 4 = 4 \text{ A}$$



**Gambar 4.23** Gangguan Eksternal di Bus 00-SG-05

### 3) Stabilitas Pada Gangguan Eksternal

Gangguan eksternal terjadi pada bus 00-SG-03,26 dan 00-SG-05. Pada saat terjadi gangguan pada bus 00-SG-03 maka diasumsikan CT 74 mengalami saturasi dan tidak memberikan arus sekunder. Hal tersebut berlaku sama apabila gangguan terjadi pada bus 00-SG-05 dan 26. Sehingga terganggan terbangkit di rele diferensial ( $V_R$ ) adalah:

$$V_R = \frac{I_f}{N} (R_{CT} + R_L \cdot k)$$

Dimana  $K = 1$  untuk gangguan maksimum 3 fasa, dan  $K = 2$  untuk gangguan maksimum 1 fasa ke tanah. Untuk perhitungan tiap gangguan adalah sebagai berikut:

- Gangguan di Bus 00-SG-03

$$V_{R_{3PH}} = \frac{7.310}{1200/\sqrt{5}} (0.2 + 0.0363 + 1)$$

$$V_{R_{3PH}} = 37.65 \text{ V}$$

$$V_{R_{SLG}} = \frac{5}{1200/\sqrt{5}} (0.2 + 0.0363 + 2)$$

$$V_{R_{SLG}} = 0.046 \text{ V}$$

- Gangguan di Bus 26

$$V_{R\_3PH} = \frac{19.070}{1200/5} (0.2 + 0.0363 + 1)$$

$$V_{R\_3PH} = 98.23 \text{ V}$$

$$V_{R\_SLG} = \frac{5}{1200/5} (0.2 + 0.0363 + 2)$$

$$V_{R\_SLG} = 0.046$$

- Gangguan di Bus 00-SG-05

$$V_{R\_3PH} = \frac{8.610}{1200/5} (0.2 + 0.0363 + 1)$$

$$V_{R\_3PH} = 44.35 \text{ V}$$

$$V_{R\_SLG} = \frac{4}{1200/5} (0.2 + 0.0363 + 2)$$

$$V_{R\_SLG} = 0.037 \text{ V}$$

Pada perhitungan di atas, didapat nilai tegangan tertinggi pada gangguan bus eksternal adalah 98.23 V. dengan asumsi margin perlindungan pengaman adalah 1.6, maka *setting pick up* pada akuator tegangan (59) adalah:

$$V_{PKP} = 1.6 \times 98.23 = 157.68V$$

Sedangkan untuk *setting pickup* pada akuator arus (50) bernilai dibawah arus gangguan minimum dengan margin 0.5, maka:

$$I_{pkp} = 0.5 \frac{9}{240} = 0.018 \text{ A}$$

#### 4) Sensitivitas Gangguan Internal

Untuk mendapatkan sensitivitas pada gangguan internal diperlukan operasi minimum dalam *primary ampere*. Perhitungannya adalah sebagai berikut:

- Eksitasi arus pada pengaturan tegangan yang terdapat pada kurva eksitasi CT pada Gambar 4.3 didapatkan pada

tegangan 157.68 V adalah 0.02A. Karena terdapat 3 CTs, maka:

$$I_{EX} = 3 \times 0.02 A = 0.06$$

- Arus MOV pada pengaturan tegangan didapat pada karakteristik MOV. Karakteristik tersebut dalam besaran peak, sehingga nilai tegangan RMS harus di konversi terlebih dahulu. Perhitungannya sebagai berikut:

$$157.68 \times \sqrt{2} = 222.99 V$$

Pada kurva karakteristik MOV sesuai Gambar 4.8, dengan tegangan 22.99 V nilai arus MOV sangat kecil.

- Impedansi beban arus pengaturan tegangan adalah 157.68 / 2000Ω. Karena terdapat NGR pada sistem maka direkomendasikan menggunakan zCT untuk perhitungan Iop karena arus gangguan yang kecil.

$$\begin{aligned} I_{OP} &= \left( I_{EX} + I_{MOV} + \frac{V_S}{R_S} \right) \times N \\ &= \left( 0.06 + 0.01 + \frac{157.68}{2000} \right) \times \frac{50}{5} = 1.48 A \end{aligned}$$

Dengan arus gangguan minimum sebesar 10.720 A pada gangguan 3 fasa dan 9 A pada gangguan 1 fasa ke tanah, maka kriteria keandalan terpenuhi.

#### 5) *Setting Waktu*

Berdasarkan rekomendasi IEEE, rele diferensial bekerja dari 1-3 *cycle*. Pada *setting* waktu diferensial ini pada saat 2 *cycle* atau 0.04s. sehingga apabila terjadi gangguan internal rele akan bekerja saat 0.04s.

### 4.6.5. *Setting Rele Diferensial Pada Bus 00-SG-05*

#### 1) Kondisi Gangguan Internal di *Bus 00-SG-05*



**Tabel 4.29** Arus Kontribusi Gangguan Maksimum 3 Fasa dan 1 Fasa ke Tanah

Komponen	Arus Kontribusi Gangguan Mak 3 Fasa(A)	Arus Kontribusi Gangguan Mak 1 Fasa ke Tanah(A)
I <sub>CT66</sub>	8.610	4
I <sub>CT67</sub>	3.740	0
I <sub>CT69</sub>	1.630	0
I <sub>CT70</sub>	8.150	4

**Tabel 4.30** Arus Kontribusi Gangguan Minimum 3 Fasa dan 1 Fasa ke Tanah

Komponen	Arus Kontribusi Gangguan Min 3 Fasa(A)	Arus Kontribusi Gangguan Min 1 Fasa ke Tanah(A)
I <sub>CT66</sub>	4.810	4
I <sub>CT67</sub>	0	0
I <sub>CT69</sub>	1.160	0
I <sub>CT70</sub>	4.750	4

Dari Tabel 4.29 dan 4.30 dapat dihitung arus kontribusi total gangguan Internal di *bus*.

Arus gangguan maksimum 3 fasa:

$$I_{CT66} + I_{CT67} + I_{CT69} + I_{CT70}$$

$$8.610 + 3.740 + 1.630 + 8.150 = 22130 \text{ A}$$

Arus gangguan maksimum 1 fasa ke tanah:

$$I_{CT66} + I_{CT67} + I_{CT69} + I_{CT70}$$

$$4 + 0 + 4 = 8 \text{ A}$$

Arus gangguan minimum 3 fasa:

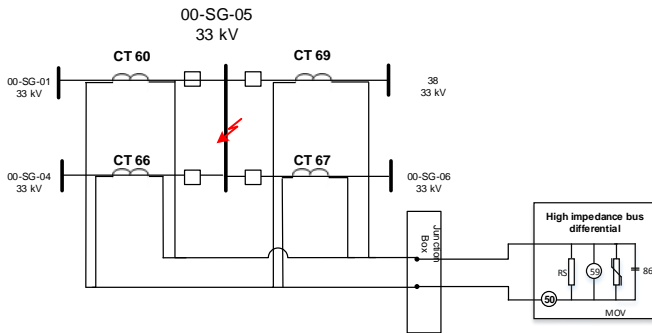
$$I_{CT66} + I_{CT67} + I_{CT69} + I_{CT70}$$

$$4.810 + 1.160 + 0 + 4.750 = 10.720 \text{ A}$$

Arus gangguan minimum 1 Fasa ke tanah:

$$I_{CT66} + I_{CT67} + I_{CT69} + I_{CT70}$$

$$4 + 4 = 8 \text{ A}$$



**Gambar 4.24** Gangguan Internal di Bus 00-SG-05

2) Kondisi Gangguan Eksternal

a. Kondisi Gangguan Eksternal di Bus 00-SG-04

**Tabel 4.31** Arus Kontribusi Gangguan Maksimum 3 Fasa dan 1 Fasa ke Tanah

Komponen	Arus Kontribusi Gangguan Mak 3 Fasa(A)	Arus Kontribusi Gangguan Mak 1 Fasa ke Tanah(A)
$I_{CT66}$	9.010	3
$I_{CT67}$	3.740	0
$I_{CT69}$	1.630	0
$I_{CT70}$	3.650	3

Dari Tabel 4.31 dapat dihitung arus kontribusi total gangguan eksternal di bus 00-SG-04.

Arus gangguan maksimum 3 fasa:

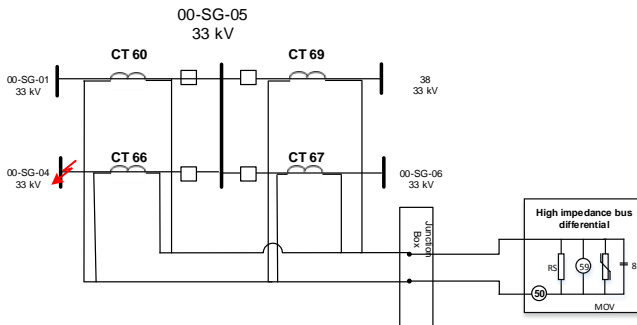
$$I_{CT67} + I_{CT69} + I_{CT70}$$

$$3.740 + 1.630 + 3.650 = 9.020 \text{ A}$$

Arus gangguan maksimum 1 fasa ke tanah:

$$I_{CT67} + I_{CT69} + I_{CT70}$$

$$3 + 0 = 3 \text{ A}$$



**Gambar 4.25** Gangguan Eksternal di Bus 00-SG-04

b. Kondisi Gangguan Eksternal di Bus 00-SG-06

**Tabel 4.32** Arus Kontribusi Gangguan Maksimum 3 Fasa dan 1 Fasa ke Tanah

Komponen	Arus Kontribusi Gangguan Mak 3 Fasa(A)	Arus Kontribusi Gangguan Mak 1 Fas ke Tanah (A)
$I_{CT66}$	7.860	4
$I_{CT67}$	16.770	9
$I_{CT69}$	1.490	0
$I_{CT70}$	7.430	4

Dari Tabel 4.32 dapat dihitung arus kontribusi total gangguan eksternal di bus 00-SG-06.

Arus gangguan maksimum 3fasa:

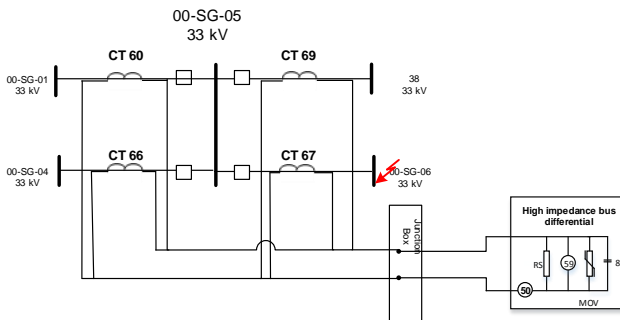
$$I_{CT66} + I_{CT69} + I_{CT70}$$

$$7.860 + 1.490 + 7.430 = 16.780A$$

Arus gangguan maksimum 1 fasa ke tanah:

$$I_{CT66} + I_{CT69} + I_{CT70}$$

$$4 + 4 = 8 A$$



**Gambar 4.26** Gangguan Eksternal di Bus 00-SG-06

c. Kondisi Gangguan Eksternal di Bus 38

**Tabel 3.33** Arus Kontribusi Gangguan Maksimum 3 Fasa dan 1 Fasa ke Tanah

Komponen	Arus Kontribusi Gangguan Mak 3 Fasa(A)	Arus Kontribusi Gangguan Mak 1 Fasa ke Tanah(A)
$I_{CT66}$	7.620	4
$I_{CT67}$	3.310	0
$I_{CT69}$	18.140	9
$I_{CT70}$	7.210	4

Dari Tabel 4.31 dapat dihitung arus kontribusi total gangguan eksternal di bus 38.

Arus gangguan maksimum 3 fasa:

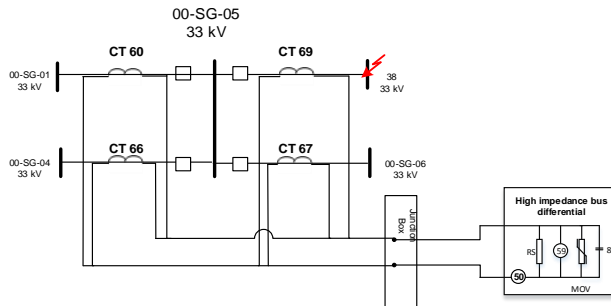
$$I_{CT66} + I_{CT67} + I_{CT70}$$

$$7.620 + 3.310 + 7.210 = 18.140 \text{ A}$$

Arus gangguan maksimum 1 fasa ke tanah:

$$I_{CT66} + I_{CT67} + I_{CT70}$$

$$4 + 0 + 4 = 8 \text{ A}$$



**Gambar 4.27** Gangguan Eksternal di Bus 38

d. Kondisi Gangguan Eksternal di Bus 00-SG-01

**Tabel 4.34** Arus Kontribusi Gangguan Maksimum 3 Fasa dan 1 Fasa ke Tanah

Komponen	Arus Kontribusi Gangguan Mak 3 Fasa(A)	Arus Kontribusi Gangguan Mak 1 Fasa ke Tanah(A)
$I_{CT66}$	4.120	2
$I_{CT67}$	3.740	1
$I_{CT69}$	1.630	0
$I_{CT70}$	9.480	3

Dari Tabel 4.33 dapat dihitung arus kontribusi total gangguan eksternal di 00-SG-01.

Arus gangguan maksimum 3fasa:

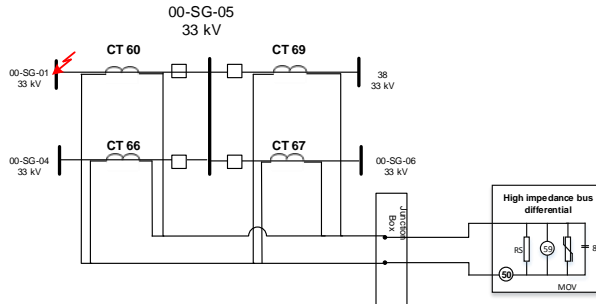
$$I_{CT66} + I_{CT67} + I_{CT69}$$

$$4.120 + 3.740 + 1.630 = 9.490 \text{ A}$$

Arus gangguan maksimum 1 fasa ke tanah:

$$I_{CT66} + I_{CT67} + I_{CT69}$$

$$2 + 1 = 3 \text{ A}$$



**Gambar 4.28** Gangguan Eksternal di Bus 00-SG-01

### 3) Stabilitas Pada Gangguan Eksternal

Gangguan eksternal terjadi pada bus 00-SG-01, 00-SG-04, 38, dan 00-SG-06. Pada saat terjadi gangguan pada bus 00-SG-01 maka diasumsikan CT 60 mengalami saturasi dan tidak memberikan arus sekunder. Hal tersebut berlaku sama apabila gangguan terjadi pada bus 00-SG-04, 38 dan 00-SG-06. Sehingga terganggan terbangkit di rele diferensial ( $V_R$ ) adalah:

$$V_R = \frac{I_f}{N} (R_{CT} + R_L \cdot k)$$

Dimana  $K = 1$  untuk gangguan maksimum 3 fasa, dan  $K = 2$  untuk gangguan maksimum 1 fasa ke tanah. Untuk perhitungan tiap gangguan adlah sebagai berikut:

- Gangguan di Bus 00-SG-04

$$V_{R_{3PH}} = \frac{9.020}{1200/\sqrt{5}} (0.2 + 0.0363 + 1)$$

$$V_{R_{3PH}} = 46.46 \text{ V}$$

$$V_{R_{SLG}} = \frac{3}{1200/\sqrt{5}} (0.2 + 0.0363 + 2)$$

$$V_{R_{SLG}} = 0.027 \text{ V}$$

- Gangguan di Bus 00-SG-06

$$V_{R_{3PH}} = \frac{16.780}{1200/\sqrt{5}} (0.2 + 0.0363 + 1)$$

$$V_{R_{3PH}} = 86.43 \text{ V}$$

$$V_{R\_SLG} = \frac{8}{1200/5} (0.2 + 0.0363 + 2)$$

$$V_{R\_SLG} = 0.074 \text{ V}$$

- Gangguan di Bus 38

$$V_{R\_3PH} = \frac{18.140}{1200/5} (0.2 + 0.0363 + 1)$$

$$V_{R\_3PH} = 93.44 \text{ V}$$

$$V_{R\_SLG} = \frac{8}{1200/5} (0.2 + 0.0363 + 2)$$

$$V_{R\_SLG} = 0.074 \text{ V}$$

- Gangguan di Bus 00-SG-01

$$V_{R\_3PH} = \frac{9.490}{1200/5} (0.2 + 0.0363 + 1)$$

$$V_{R\_3PH} = 48.44 \text{ V}$$

$$V_{R\_SLG} = \frac{3}{1200/5} (0.2 + 0.0363 + 2)$$

$$V_{R\_SLG} = 0.027 \text{ V}$$

Pada perhitungan di atas, didapat nilai tegangan tertinggi pada gangguan *bus* eksternal adalah 93.44 V. dengan asumsi margin perlindungan pengaman adalah 1.6, maka *setting pick up* pada akuator tegangan (59) adalah:

$$V_{PKP} = 1.6 \times 93.44 = 149.5 \text{ V}$$

Sedangkan untuk *setting pickup* pada akuator arus (50) bernilai dibawah arus gangguan minimum dengan margin 0.5, maka:

$$I_{pkp} = 0.5 \frac{8}{240} = 0.016 \text{ A}$$

#### 4) Sensitivitas Pada Gangguan Internal

Untuk mendapatkan sensitivitas pada gangguan internal diperlukan operasi minimum dalam *primary ampere*. Perhitungannya adalah sebagai berikut:

- Eksitasi arus pada pengaturan tegangan yang terdapat pada kurva eksitasi CT pada Gambar 4.3 didapatkan pada

tegangan 149.5 V adalah 0.03A. Karena terdapat 4 CTs, maka:

$$I_{EX} = 4 \times 0.03 A = 0.12$$

- Arus MOV pada pengaturan tegangan didapat pada karakteristik MOV. Karakteristik tersebut dalam besaran *peak*, sehingga nilai tegangan RMS harus di konversi terlebih dahulu. Perhitungannya sebagai berikut:

$$149.5 V \times \sqrt{2} = 225.56 V$$

Pada kurva karakteristik MOV sesuai Gambar 4.8, dengan tegangan 230.43 V nilai arus MOV sangat kecil.

- Impedansi beban arus pengaturan tegangan adalah 149.5 / 2000Ω. Karena terdapat NGR pada sistem maka direkomendasikan menggunakan zCT untuk perhitungan Iop karena arus gangguan yang kecil.

$$\begin{aligned} I_{OP} &= \left( I_{EX} + I_{MOV} + \frac{V_S}{R_S} \right) \times N \\ &= \left( 0.08 + 0 + \frac{149.5}{2000} \right) \times \frac{50}{5} = 1.54 A \end{aligned}$$

Dengan arus gangguan minimum sebesar 10.720 A pada gangguan 3 fasa dan 8 A pada gangguan 1 fasa ke tanah, maka kriteria keandalan terpenuhi.

#### 5) Setting Waktu

Berdasarkan rekomendasi IEEE, rele diferensial bekerja dari 1-3 *cycle*. Pada *setting* waktu diferensial ini pada saat 2 *cycle* atau 0.04s. sehingga apabila terjadi gangguan internal rele akan bekerja saat 0.04s.

### 4.7. Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa

Koordinasi rele arus lebih gangguan fasa adalah pemeliharaan pada peralatan pengaman yang bertujuan hanya untuk mengisolasi sistem



yang terjadi gangguan arus lebih saja. Gangguan dapat berupa beban labih atau hubung singkat.

Pada sistem koordinasi ini akan dilakukan *setting* arus dan waktu rele arus lebih(50/51). Pada perhitungan *setting* rele arus lebih ini akan dihitung nilai *low set*, *high set*, dan *time dial*. Sedangkan *time delay* dipilih *grading time paling besar* 0.5s

#### 4.7.1 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 1

Tipikal ini bertujuan untuk mengamankan bus 00-SG-01 saat rele diferensial gagal bekerja. Pada tipikal ini dilakukan perhitungan secara manual, dari perhitungan tersebut didapat sebagai berikut:

- **Rele INC11**

<i>Manufacturer</i>	: Merlin gerin
<i>Model</i>	: Sepam 1000
<i>Curve Type</i>	: <i>Standard Inverse</i>
FLA primer trafo T8	: 437.4 A
<i>CT Ratio</i>	: 600 / 5
Isc kontribusi min	: 2.75 kA (33 kV)
Isc kontribusi max	: 2.88 kA (33 kV)

*Time Overcurrent Pickup*

$$1.05I_n \times \text{FLA primer trafo T8} < I_{set} < 1.4I_n \times \text{FLA}$$

$$1.05 I_n \times 437.4 < I_{set} < 1.4 I_n \times 437.4$$

$$459.27 I_n < I_{set} < 612.4I_n$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{CT_{primary}} = \frac{459.27I_n}{600} = 0.76I_n$$

(maka dipilih tap 0.9I<sub>n</sub>)

*Time Dial*

Dipilih waktu operasi (t<sub>d</sub>) = 0.5 s

$$t_d = \frac{0,14 \times K}{2,97 \times \left[ \left( \frac{1}{IEB} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$K = \frac{t_d \times 2,97 \times \left[ \left( \frac{1}{IEB} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$K = \frac{t_d \times 2,97 \times \left[ \left( \frac{I_{sc \text{ kontribusi Max}}}{\text{tap} \times CT_{primary}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$K = \frac{0.9 \times 2.97 \times \left[ \left( \frac{2888}{0.9 \times 600} \right)^{0.02} - 1 \right]}{0.14}$$

$$K = 0.4s$$

Instantaneous Pickup

Iset < 0,8 In × Isc kontribusi Min

Iset < 0,8 In × 2750

Iset < 2200In

Dipilih Iset = 2200 In

$$\text{Tap} = \frac{\text{Iset}}{\text{CT primary}} = \frac{2200 \text{ In}}{600} = 3.6\text{In}$$

Time Delay

Dipilih time delay = 0.25s

▪ **Rele CP 52**

*Manufacturer* : Merlin gerin

*Model* : Sepam 2000

*Curve Type* : *Standard Inverse*

FLA Kabel : 450A

*CT Ratio* : 1200 / 5

Isc kontribusi min : 8.5 kA (33 kV)

Isc kontribusi max : 11.06 kA (33 kV)

Time Overcurrent Pickup

1.05 In × FLA kabel < Iset < 1.4 In × FLA

1.05 In × 450 < Iset < 1.4In × 450

472.5 In < Iset < 630 In

Dipilih Iset = 472.5In

$$\text{Tap} = \frac{\text{Iset}}{\text{CT primary}} = \frac{472.25 \text{ In}}{1200} = 0.39 \text{ In}$$

(maka dipilih tap 0.5 In)

Time Dial

Dipilih waktu operasi (td) = 0.9 s

$$t_d = \frac{0.14 \times K}{2.97 \times \left[ \left( \frac{1}{\sqrt{IEB}} \right)^{0.02} - 1 \right]}$$

$$K = \frac{t_d \times 2.97 \times \left[ \left( \frac{I}{I_{EB}} \right)^{0.02} - 1 \right]}{0.14}$$

$$K = \frac{t_d \times 2.97 \times \left[ \left( \frac{I_{sc} \text{ kontribusi Max}}{\text{tap} \times CT \text{ primary}} \right)^{0.02} - 1 \right]}{0.14}$$

$$K = \frac{0.5 \times 2.97 \times \left[ \left( \frac{22000}{(0.5 \times 1200)} \right)^{0.02} - 1 \right]}{0.14}$$

$$K = 0.5s$$

### Instantaneous Pickup

Iset < 0,8 In × Isc kontribusi Min

Iset < 0,8 In × 8500

Iset < 2200 In

Dipilih Iset = 2200In

$$\text{Tap} = \frac{\text{Iset}}{CT \text{ primary}} = \frac{2200\text{In}}{1200} = 3.6 \text{ In}$$

(maka dipilih tap 5.6In)

### Time Delay

Dipilih *time delay* = 0.4s

## ▪ Rele CP11\_1

<i>Manufacturer</i>	: Merlin gerin
<i>Model</i>	: Sepam 2000
<i>Curve Type</i>	: <i>Standard Inverse</i>
FLA Kabel	: 450A
<i>CT Ratio</i>	: 1200 / 5
Isc kontribusi min	: 8.5 kA (33 kV)
Isc kontribusi max	: 11.06 kA (33 kV)

### Time Overcurrent Pickup

1.05 In × FLA kabel < Iset < 1.4 In × FLA

1.0.5 In × 450 < Iset < 1.4 In × 450

472.5 In < Iset < 630In

Dipilih Iset = 472.5 In

$$\text{Tap} = \frac{\text{Iset}}{CT \text{ primary}} = \frac{472.5 \text{ In}}{1200} = 0.36 \text{ In}$$

(maka dipilih tap 0.5In)

### Time Dial

Dipilih waktu operasi ( $t_d$ ) = 0.9 s

$$t_d = \frac{0,14 \times K}{2,97 \times \left[ \left( \frac{1}{IEB} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$K = \frac{t_d \times 2,97 \times \left[ \left( \frac{1}{IEB} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$K = \frac{t_d \times 2,97 \times \left[ \left( \frac{I_{sc} \text{ kontribusi Max}}{\text{tap} \times CT \text{ primary}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$K = \frac{0,5 \times 2,97 \times \left[ \left( \frac{11060}{0,5 \times 1200} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$K = 0,5$$

### Instantaneous Pickup

Iset < 0,8 In × Isc kontribusi Min

Iset < 0,8 In × 8500

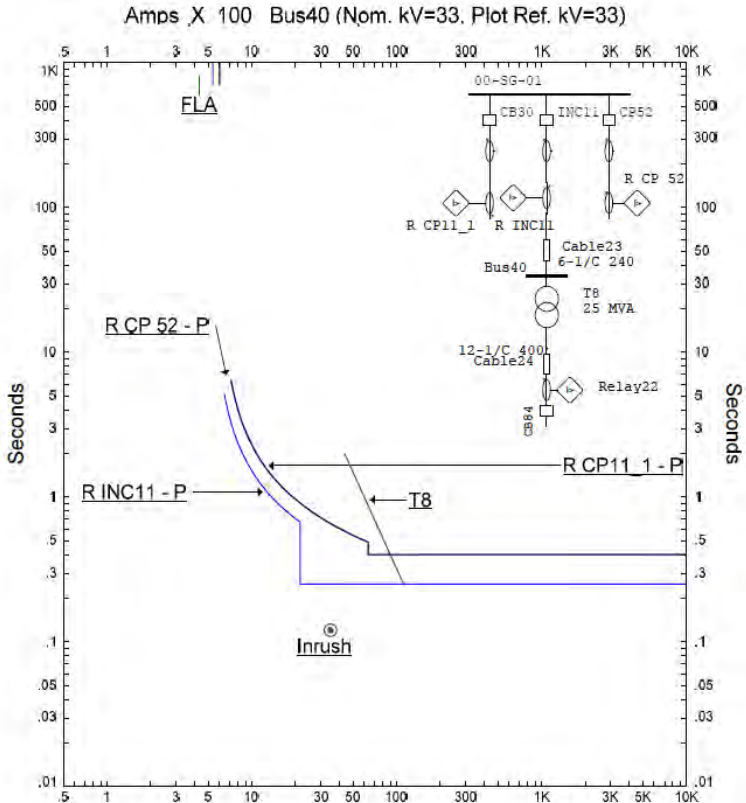
Iset < 2200 In

Dipilih Iset = 2200 In

$$\text{Tap} = \frac{\text{Iset}}{CT \text{ primary}} = \frac{2200 \text{ In}}{1200} = 3,6 \text{ In}$$

(maka dipilih 5.6In)

Dengan menggunakan hasil perhitungan diatas, maka dapat di *plot* menggunakan *Time current curve* pada *Star-Protective Device Coordination* yang terdapat pada ETAP. Dan hasilnya adalah seperti Gambar 4.29



**Gambar 4.29** Hasil Plot Rele CP52, CP 11\_1 , dan CP INC11

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

Tipikal ini bertujuan untuk mengamankan bus 00-SG-02 sampai bus 29 saat rele diferensial gagal bekerja. Pada tipikal ini dilakukan perhitungan secara manual, dari perhitungan tersebut didapat sebagai berikut:

▪ **Rele OUT21**

*Manufacturer* : Merlin gerin  
*Model* : Sepam 1000  
*Curve Type* : *Standard Inverse*  
 FLA primer trafo T9 : 262.4 A  
*CT Ratio* : 600 / 5  
 Isc kontribusi min : 1 kA (33 kV)  
 Isc kontribusi max : 1.05 kA (33 kV)

*Time Overcurrent Pickup*

$$1.05I_n \times FLA < I_{set} < 1.4I_n \times FLA$$

$$1.05I_n \times 262.4 < I_{set} < 1.4I_n \times 262.4$$

$$275.52I_n < I_{set} < 341I_n$$

$$\text{Dipilih } I_{set} = 275.2 I_n$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{CT \text{ primary}} = \frac{275.52I_n}{600} = 0.45I_n$$

(maka dipilih tap 0.5In)

*Time Dial*

Dipilih waktu operasi ( $t_d$ ) = 0.6 s

$$t_d = \frac{0,14 \times K}{2,97 \times \left[ \left( \frac{1}{I_{EB}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$K = \frac{t_d \times 2,97 \times \left[ \left( \frac{1}{I_{EB}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$K = \frac{t_d \times 2,97 \times \left[ \left( \frac{I_{sc \text{ kontribusi Max}}}{\text{tap} \times CT \text{ primary}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$K = \frac{0,5 \times 2,97 \times \left[ \left( \frac{1050}{0,5 \times 600} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$K = 0.1s$$

*Instantaneous Pickup*

$$I_{set} < 0,8 I_n \times I_{sc \text{ kontribusi Min}}$$

$$I_{set} < 0,8 I_n \times 1000$$

$$I_{set} < 800 I_n$$

$$\text{Dipilih } I_{set} = 800 I_n$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{CT_{primary}} = \frac{800I_n}{600} = 3.6I_n$$

### Time Delay

Dipilih *time delay* = 0.1s

#### ▪ **Rele CP21**

<i>Manufacturer</i>	: Merlin gerin
<i>Model</i>	: Sepam 2000
<i>Curve Type</i>	: <i>Standard Inverse</i>
FLA Kabel	: 450A
<i>CT Ratio</i>	: 1200 / 5
Isc kontribusi min	: 8.5 kA (33 kV)
Isc kontribusi max	: 22 kA (33 kV)

### Time Overcurrent Pickup

$$1.05I_n \times \text{FLA kabel} < I_{set} < 1.4I_n \times \text{FLA}$$

$$1.0.5I_n \times 450 < I_{set} < 1.4I_n \times 450$$

$$472.5I_n < I_{set} < 630I_n$$

Dipilih  $I_{set} = 472.5 I_n$

$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{CT_{primary}} = \frac{472.5I_n}{1200} = 0.39I_n$$

(maka dipilih tap 0.5In)

### Time Dial

Dipilih waktu operasi ( $t_d$ ) = 0.7 s

$$t_d = \frac{0,14 \times K}{2,97 \times \left[ \left( \frac{I}{I_{EB}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$K = \frac{t_d \times 2,97 \times \left[ \left( \frac{I}{I_{EB}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$K = \frac{t_d \times 2,97 \times \left[ \left( \frac{I_{sc \text{ kontribusi Max}}}{\text{tap} \times CT_{primary}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$K = \frac{0,5 \times 2,97 \times \left[ \left( \frac{11060}{0,5 \times 1200} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$K = 0.4s$$

Instantaneous Pickup

Iset < 0,8 In × Isc kontribusi Min

Iset < 0,8In × 8500

Iset < 2200In

Dipilih Iset = 2200In

$$\text{Tap} = \frac{\text{Iset}}{\text{CT primary}} = \frac{2200\text{In}}{1200} = 3.6\text{In}$$

(maka dipilih tap 5.6In)

Time Delay

Dipilih *time delay* = 0.2s

▪ Rele CP11\_2

*Manufacturer* : Merlin gerin

*Model* : Sepam 2000

*Curve Type* : *Standard Inverse*

FLA Kabel : 450A

*CT Ratio* : 1200 / 5

Isc kontribusi min : 8.5 kA (33 kV)

Isc kontribusi max : 22 kA (33 kV)

Time Overcurrent Pickup

1.05In × FLA kabel < Iset < 1.4 Inx FLA

1.0.5In × 450 < Iset < 1.4In x 450

472.5In < Iset < 630In

Dipilih Iset = 472.5In

$$\text{Tap} = \frac{\text{Iset}}{\text{CT primary}} = \frac{472.5\text{In}}{1200} = 0.39\text{In}$$

(maka dipilih tap 0.5In)

Time Dial

Dipilih waktu operasi (td) = 0.7 s

$$t_d = \frac{0,14 \times K}{2,97 \times \left[ \left( \frac{1}{\text{IEB}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$K = \frac{t_d \times 2,97 \times \left[ \left( \frac{1}{\text{IEB}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$



$$K = \frac{t_d \times 2.97 \times \left[ \left( \frac{I_{sc} \text{ kontribusi Max.}}{\text{tap} \times CT_{primary}} \right)^{0.02} - 1 \right]}{0.14}$$

$$K = \frac{0.5 \times 2.97 \times \left[ \left( \frac{11060}{0.5 \times 1200} \right)^{0.02} - 1 \right]}{0.14}$$

$$K = 0.4s$$

#### Instantaneous Pickup

$$I_{set} < 0.8 \times I_{sc} \text{ kontribusi Min}$$

$$I_{set} < 0.8 \times 8500$$

$$I_{set} < 2200$$

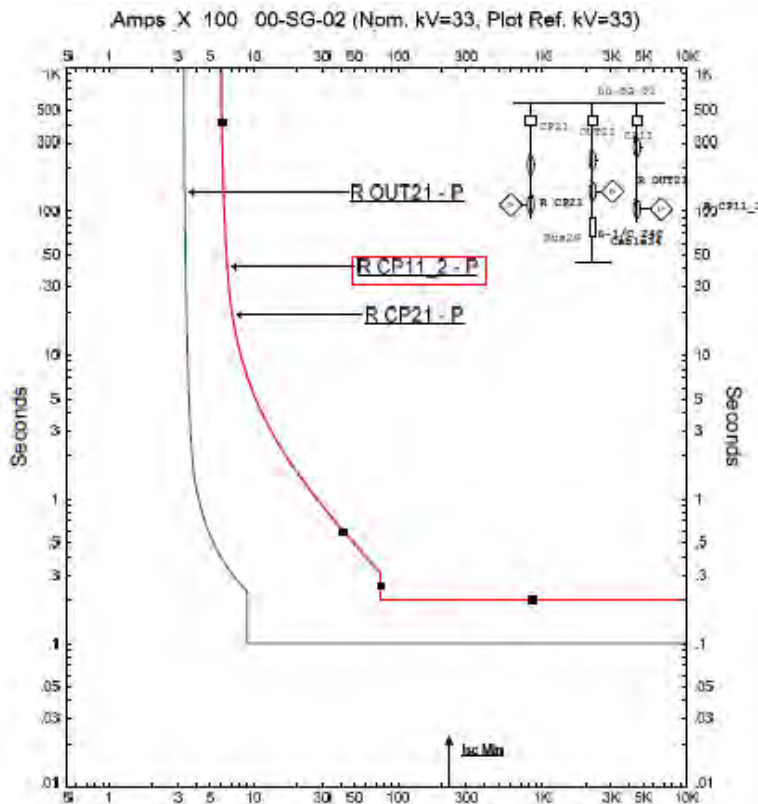
$$\text{Dipilih } I_{set} = 6800 \text{ A}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{CT_{primary}} = \frac{6800}{1200} = 5.6$$

#### Time Delay

$$\text{Dipilih } time \text{ delay} = 0.2s$$

Dengan menggunakan hasil perhitungan diatas, maka dapat di *plot* menggunakan *Time current curve* pada *Star-Protective Device Coordination* yang terdapat pada ETAP. Dan hasilnya adalah seperti Gambar 4.30



**Gambar 3.30** Hasil Plot Rele CP11\_2, CP21, dan OUT21

#### 4.7.3 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 3

Tipikal ini bertujuan untuk mengamankan bus 00-SG-02 sampai bus 29 saat rele diferensial gagal bekerja. Pada tipikal ini dilakukan perhitungan secara manual, dari perhitungan tersebut didapat sebagai berikut:

- Rele SP21  
*Manufacturer* : Merlin gerin  
*Model* : Sepam 1000  
*Curve Type* : Standard Inverse

FLA primer trafo T9 : 656.1 A  
 CT Ratio : 600 / 5  
 Isc kontribusi min : 2.9 kA (33 kV)  
 Isc kontribusi max : 3.11 kA (33 kV)

Time Overcurrent Pickup

$$1.05 I_n \times FLA < I_{set} < 1.4 I_n \times FLA$$

$$1.05 I_n \times 656.1 < I_{set} < 1.4 I_n \times 656.1$$

$$688.9 I_n < I_{set} < 918.5 I_n$$

Dipilih Iset = 688.9 I\_n

$$Tap = \frac{I_{set}}{CT_{primary}} = \frac{688.9 I_n}{600} = 1.1 I_n$$

(maka dipilih tap 1.2 I\_n)

Time Dial

Dipilih waktu operasi (t<sub>d</sub>) = 0.5 s

$$t_d = \frac{0.14 \times K}{2.97 \times \left[ \left( \frac{1}{I_{EB}} \right)^{0.02} - 1 \right]}$$

$$K = \frac{t_d \times 2.97 \times \left[ \left( \frac{1}{I_{EB}} \right)^{0.02} - 1 \right]}{0.14}$$

$$K = \frac{t_d \times 2.97 \times \left[ \left( \frac{I_{sc \text{ kontribusi Max}}}{tap \times CT_{primary}} \right)^{0.02} - 1 \right]}{0.14}$$

$$K = \frac{0.5 \times 2.97 \times \left[ \left( \frac{3110}{0.5 \times 600} \right)^{0.02} - 1 \right]}{0.14}$$

$$K = 0.1 s$$

Instantaneous Pickup

Iset < 0,8 I\_n × Isc kontrbusi Min

Iset < 0,8 I\_n × 2900

Iset < 2320 I\_n

Dipilih Iset = 2320 I\_n

$$Tap = \frac{I_{set}}{CT_{primary}} = \frac{2320 I_n}{600} = 3.86 I_n$$

### Time Delay

Dipilih *time delay* = 0.075s

#### ▪ Rele CP21

*Manufacturer* : Merlin gerin  
*Model* : Sepam 2000  
*Curve Type* : *Standard Inverse*  
FLA Kabel : 450A  
*CT Ratio* : 1200 / 5  
Isc kontribusi min : 8.5 kA (33 kV)  
Isc kontribusi max : 22 kA (33 kV)

### Time Overcurrent Pickup

$1.05 I_n \times \text{FLA kabel} < I_{set} < 1.4 I_n \times \text{FLA}$

$1.05 I_n \times 450 < I_{set} < 1.4 I_n \times 450$

$472.5 I_n < I_{set} < 630 I_n$

Dipilih  $I_{set} = 472.5 I_n$

$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{CT_{primary}} = \frac{472.5 I_n}{1200} = 0.39 I_n$$

(maka dipilih tap 0.5I<sub>n</sub>)

### Time Dial

Dipilih waktu operasi ( $t_d$ ) = 0.7 s

$$t_d = \frac{0,14 \times K}{2,97 \times \left[ \left( \frac{I}{IEB} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$K = \frac{t_d \times 2,97 \times \left[ \left( \frac{I}{IEB} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$K = \frac{t_d \times 2,97 \times \left[ \left( \frac{I_{sc} \text{ kontribusi Max}}{\text{tap} \times CT_{primary}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$K = \frac{0,5 \times 2,97 \times \left[ \left( \frac{11060}{0,5 \times 1200} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

K = 0.4s

### Instantaneous Pickup

$I_{set} < 0,8 I_n \times \text{Isc kontribusi Min}$

$$I_{set} < 0,8I_n \times 8500$$

$$I_{set} < 2200I_n$$

$$\text{Dipilih } I_{set} = 2200I_n$$

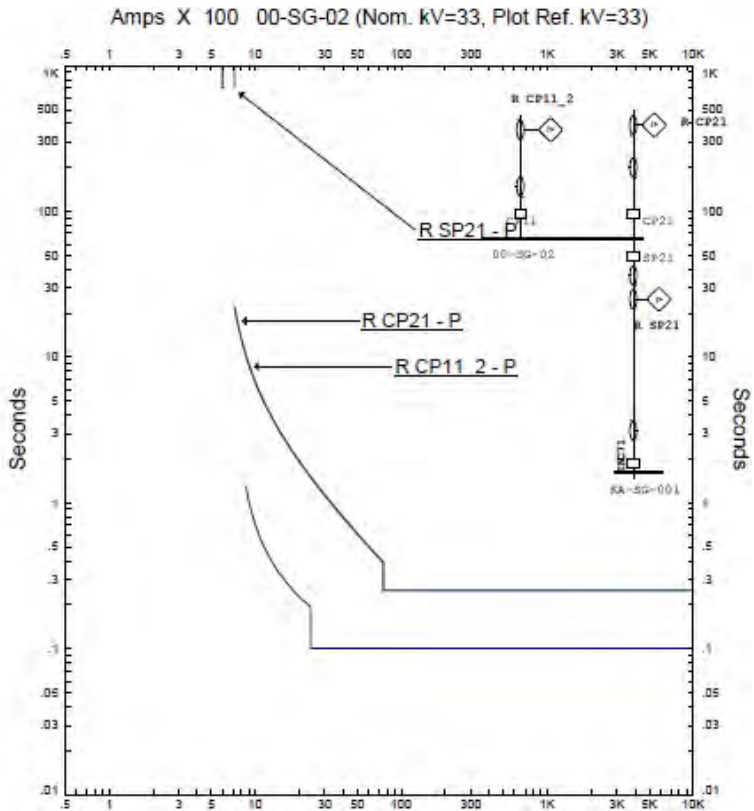
$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{CT_{primary}} = \frac{2200I_n}{1200} = 3.6I_n$$

(maka dipilih tap 5.6In)

### Time Delay

$$\text{Dipilih } time\ delay = 0.2s$$

Dengan menggunakan hasil perhitungan diatas, maka dapat di *plot* menggunakan *Time current curve* pada *Star-Protective Device Coordination* yang terdapat pada ETAP. Dan hasilnya adalah seperti Gambar 4.31



**Gambar 4.31** Hasil Plot Rele CP21, CP11\_2, dan SP21

#### 4.8. Kordinasi Rele Arus Lebih Gangguan ke Tanah

Gangguan fasa ke tanah merupakan gangguan yang seri terjadi pada sistem tenaga listrik. Untuk itu diperlukan koordinasi rele arus lebih gangguan ke tanah dengan tujuan tercapainya keandalan sistem dalam penyaluran tenaga listrik dan keselamatan jiwa user.

Pada koordinasi rele arus lebih gangguan ke tanah dilakukan perhitungan ke tanah dilakukan perhitungan terhadap *Instantaneous Pickup* dan pemilihan pada *time delay* saja. *Setting* arus untuk arus lebih

gangguan ke tanah juga dapat diamankan. Pada perhitungan ini dipilih *setting* arus 2.5A. waktu di *grading* sebesar 0.1 detik.

#### 4.8.1 Kordinasi Rele Arus Lebih Gangguan ke Tanah Tipikal 1

Pada tipikal ini dilakukan perhitungan secara manual, dari perhitungan tersebut didapat sebagai berikut:

- **Rele INC11**

*Manufacturer* : Merlin Gerin  
*Model* : Sepam 1000  
*Curve Type* : *Definite Time*  
*CT Ratio* : 600 / 5  
Isc L-G 00-SG-01 : 9 A (3.3 kV)

*Instantaneous Pickup*

$5-10\% \times \text{Isc L-G} \leq \text{Iset} \leq 50\% \times \text{Isc L-G}$

$5-10\% \times 9 < \text{Iset} < 50\% \times 9$

$0.9 < \text{Iset} < 4.5$

Dipilih Iset = 2.5 In

*Time Delay*

Dipilih *time delay* = 0.1s

- **RELE CP52**

*Manufacturer* : Merlin Gerin  
*Model* : Sepam 2000  
*Curve Type* : *Standart inverse*  
*CT Ratio* : 1200 / 5  
Isc L-G 00-SG-01 : 9 A (3.3 kV)

*Instantaneous Pickup*

$5-10\% \times \text{Isc L-G} \leq \text{Iset} \leq 50\% \times \text{Isc L-G}$

$5-10\% \times 9 < \text{Iset} < 50\% \times 9$

$0.9 < \text{Iset} < 4.5$

Dipilih Iset = 2.5 In

*Time Delay*

Dipilih *time delay* = 0.5s

- **RELE CP11\_1**

*Manufacturer* : Merlin Gerin  
*Model* : Sepam 2000

*Curve Type* : *Standart inverse*

*CT Ratio* : 1200 / 5

Isc L-G 00-SG-01 : 9 A (3.3 kV)

*Instantaneous Pickup*

$5-10\% \times \text{Isc L-G} \leq \text{Iset} \leq 50\% \times \text{Isc L-G}$

$5-10\% \times 9 < \text{Iset} < 50\% \times 9$

$0.9 < \text{Iset} < 4.5$

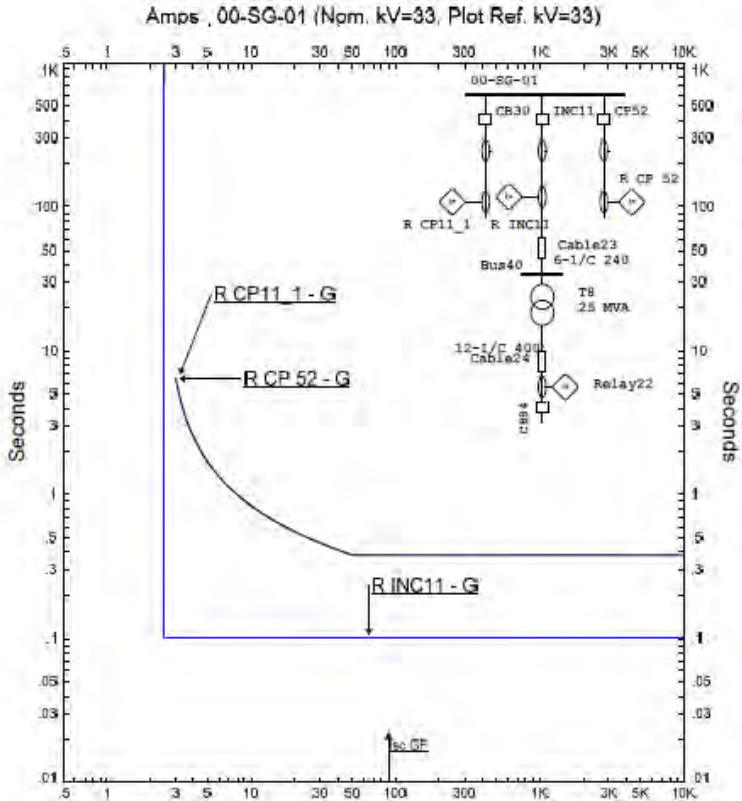
Dipilih Iset = 2.5 A

*Time Delay*

Dipilih *time delay* = 0.5In

Dengan menggunakan hasil perhitungan diatas, dapat diplot menggunakan *time current curve* pada *Star-Protective Device Coordination* pada ETAP. Gambar 4.32 merupakan hasil dari *plot* tersebut.





**Gambar 4.32** Hasil Plot Setting Rele INC11, CP52 dan CP11\_1

4.8.2 Kordinasi Rele Arus Lebih Gangguan ke Tanah Tipikal 2  
 Pada tipikal ini dilakukan perhitungan secara manual, dari perhitungan tersebut didapat sebagai berikut:

- **Rele OUT21**  
*Manufacturer* : Merlin Gerin  
*Model* : Sepam 1000  
*Curve Type* : Definite Time  
*CT Ratio* : 600 / 5  
*Isc L-G 00-SG-02* : 9 A (3.3 kV)  
*Instantaneous Pickup*

$$5-10\% \times I_{sc} \text{ L-G} \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{sc} \text{ L-G}$$

$$5-10\% \times 9 < I_{set} < 50\% \times 9$$

$$0.9 < I_{set} < 4.5$$

$$\text{Dipilih } I_{set} = 2.5 \text{ In}$$

Time Delay

$$\text{Dipilih } time \text{ delay} = 0.1s$$

- **Rele CP21**

*Manufacturer* : Merlin Gerin

*Model* : Sepam 2000

*Curve Type* : Standart inverse

*CT Ratio* : 1200 / 5

Isc L-G 00-SG-02 : 9 A (3.3 kV)

Instantaneous Pickup

$$5-10\% \times I_{sc} \text{ L-G} \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{sc} \text{ L-G}$$

$$5-10\% \times 9 < I_{set} < 50\% \times 9$$

$$0.9 < I_{set} < 4.5$$

$$\text{Dipilih } I_{set} = 2.5 \text{ In}$$

Time Delay

$$\text{Dipilih } time \text{ delay} = 0.5s$$

- **Rele CP11\_2**

*Manufacturer* : Merlin Gerin

*Model* : Sepam 2000

*Curve Type* : Standart inverse

*CT Ratio* : 1200 / 5

Isc L-G 00-SG-02 : 9 A (3.3 kV)

Instantaneous Pickup

$$5-10\% \times I_{sc} \text{ L-G} \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{sc} \text{ L-G}$$

$$5-10\% \times 9 < I_{set} < 50\% \times 9$$

$$0.9 < I_{set} < 4.5$$

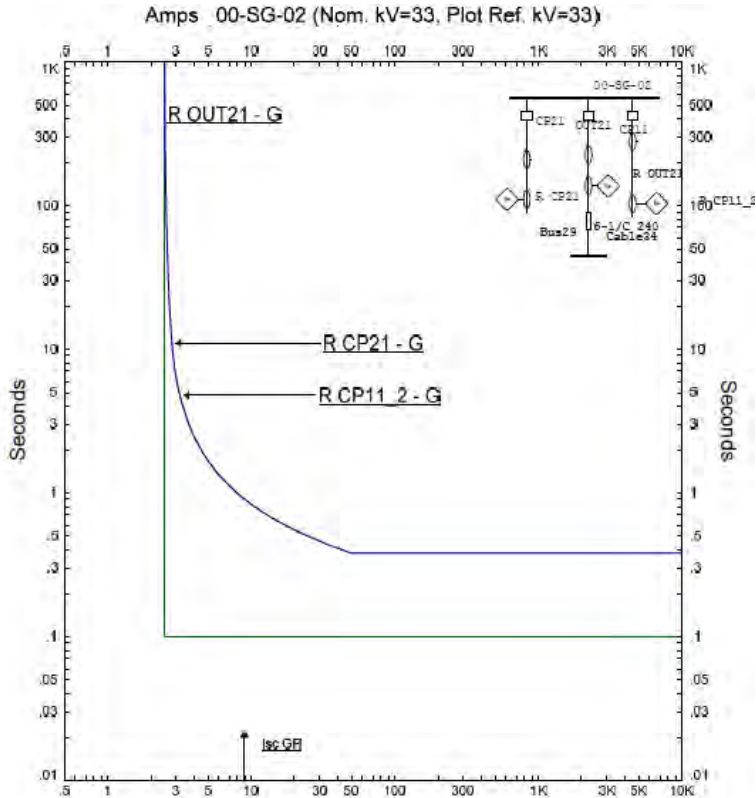
$$\text{Dipilih } I_{set} = 2.5 \text{ In}$$

Time Delay

$$\text{Dipilih } time \text{ delay} = 0.5s$$

Dengan menggunakan hasil perhitungan diatas, dapat diplot menggunakan *time current curve* pada *Star-Protective*

*Device Coordination* pada ETAP. Gambar 4.33 merupakan hasil dari *plot* tersebut.



**Gambar 4.33** Hasil *Plot Setting* Rele OUT21, CP21,CP11\_2

#### 4.8.3 Kordinasi Rele Arus Lebih Gangguan ke Tanah Tipikal 3

- **Rele SP21**

*Manufacturer* : Merlin Gerin  
*Model* : Sepam 1000  
*Curve Type* : *Definite Time*  
*CT Ratio* : 600 / 5

Isc L-G 00-SG-02 : 9 A (3.3 kV)

Instantaneous Pickup

$5-10\% \times \text{Isc L-G} \leq \text{Iset} \leq 50\% \times \text{Isc L-G}$

$5-10\% \times 9 < \text{Iset} < 50\% \times 9$

$0.9 < \text{Iset} < 4.5$

Dipilih Iset = 2.5 In

Time Delay

Dipilih *time delay* = 0.1s

• **Rele CP21**

*Manufacturer* : Merlin Gerin

*Model* : Sepam 1000

*Curve Type* : *Definite Time*

*CT Ratio* : 600 / 5

Isc L-G 00-SG-02 : 9 A (3.3 kV)

Instantaneous Pickup

$5-10\% \times \text{Isc L-G} \leq \text{Iset} \leq 50\% \times \text{Isc L-G}$

$5-10\% \times 9 < \text{Iset} < 50\% \times 9$

$0.9 < \text{Iset} < 4.5$

Dipilih Iset = 2.5 In

Time Delay

Dipilih *time delay* = 0.1s

• **CP21**

*Manufacturer* : Merlin Gerin

*Model* : Sepam 2000

*Curve Type* : *Standart inverse*

*CT Ratio* : 1200 / 5

Isc L-G 00-SG-02 : 9 A (3.3 kV)

Instantaneous Pickup

$5-10\% \times \text{Isc L-G} \leq \text{Iset} \leq 50\% \times \text{Isc L-G}$

$5-10\% \times 9 < \text{Iset} < 50\% \times 9$

$0.9 < \text{Iset} < 4.5$

Dipilih Iset = 2.5 In

Time Delay

Dipilih *time delay* = 0.5s

• **Rele CP11\_2**

*Manufacturer* : Merlin Gerin  
*Model* : Sepam 2000  
*Curve Type* : *Standart inverse*  
*CT Ratio* : 1200 / 5  
Isc L-G 00-SG-02 : 9 A (3.3 kV)

*Instantaneous Pickup*

$5-10\% \times \text{Isc L-G} \leq \text{Iset} \leq 50\% \times \text{Isc L-G}$

$5-10\% \times 9 < \text{Iset} < 50\% \times 9$

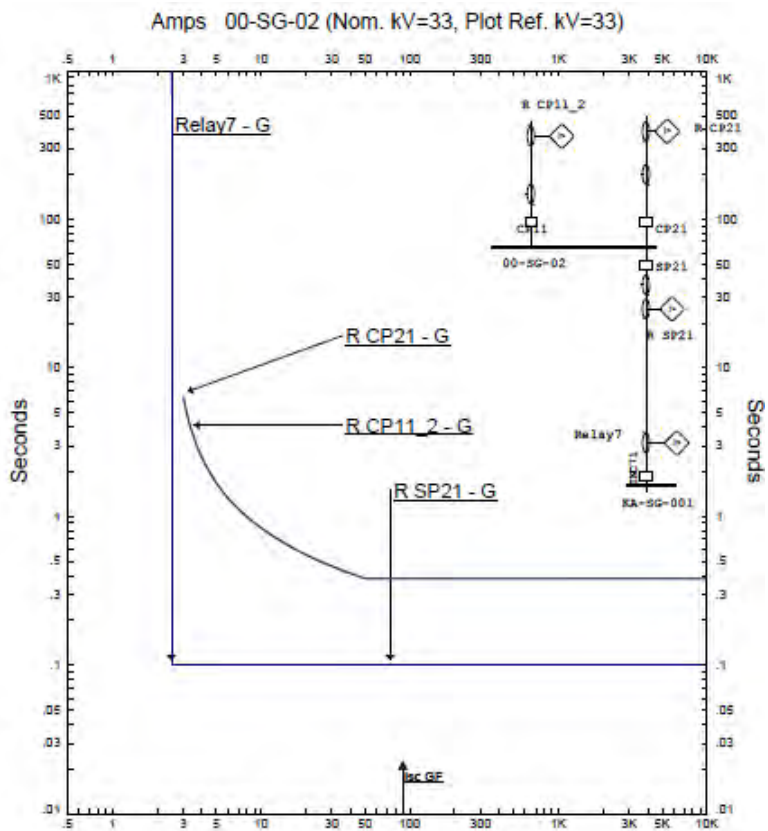
$0.9 < \text{Iset} < 4.5$

Dipilih Iset = 2.5 In

*Time Delay*

Dipilih *time delay* = 0.5s

Dengan menggunakan hasil perhitungan diatas, dapat diplot menggunakan *time current curve* pada *Star-Protective Device Coordination* pada ETAP. Gambar 4.34 merupakan hasil dari *plot* tersebut.



Gambar 4.34 Hasil Plot Relé SP21, 7, CP21, dan CP11\_2

*(Halaman Ini Sengaja di Kosongkan)*

## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil *setting* koordinasi rele pengamanan pada PT Pupuk Kaltim yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dengan adanya penambahan pabrik baru yaitu PKT-5 dan terhubung integrasi dengan sistim distribusi *ring* 33kV, maka arus hubung singkat akan bertambah. Peningkatan nilai arus hubung singkat terjadi karena bertambahnya jumlah pembangkit dan beban yang memberikan arus kontribusi.
2. Pada perhitungan rele diferensial *bus* 00-SG-01 didapatkan nilai arus operasi (Iop) yaitu sebesar 1.5 A. setelah dilakukan pengecekan menggunakan sensitivitas pada gangguan internal, nilai arus operasi lebih kecil dari arus gangguan minimum 1 fasa dan 3 fasa. Sehingga kriteria keandalan terpenuhi. Untuk stabilitas gangguan eksternal telah dipertimbangkan, sehingga apabila terjadi gangguan di luar *bus* rele diferensial tidak akan bekerja. Untuk *Setting* waktu dipilih 40ms.
3. Pada *setting* rele arus lebih gangguan ke tanah tipikal 1, telah dilakukan *setting* koordinasi rele arus lebih gangguan ke tanah pada *bus*00-SG-01. Rele-rele ini dikoordinasikan berdasarkan tipe pentanahan belitan pada trafo dan generator. Arus hubung singkat gangguan ke tanah setiap *bus* di sistem distribusi sebesar 9 A. dengan perhitungan pengamanan didapat arus *pick up* untuk rele INC11 sebesar 2.5A dan *grading time* 0.1s. dengan pemilihan waktu yang lebih lama dari rele diferensial diharapkan rele ground fault dapat melindungi sistem apabila bila rele diferensial gagal dalam mengamankan.
4. Pada *setting* arus lebih gangguan ke tanah tipikal 1, telah dilakukan *setting* koordinasi untuk rele CP52 dan CP11\_1. Rele-rele itu didapatkan arus *pick up* sebesar 2.5 A dengan *grading time* lebih lambat dari rele INC11 yaitu 0.5s. dipilih waktu yang lebih lambat bertujuan agar apa bila rele INC11 gagal mengamankan sistem maka rele CP52 dan CP11\_1 dapat mengamankan agar tidak terjadi kerusakan ke plant yang lain.



## 5.2 Saran

Secara keseluruhan studi sistem pengaman pada sistem distribusi *ring* ter integrasi 33kV PT Pupuk Kaltim sudah cukup aman. Untuk gangguan hubung singkat antar fasa digunakan hubung singkat 4 *cycle*. Jika menggunakan hubung singkat 30 arus gangguan akan sangat kecil dan rele tidak dapat mensensing gangguan. Namun kelebihan menggunakan hubung singkat 4 *cycle* adalah waktu pengamanan akan lebih cepat yaitu 0.6s

## 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] Saadat, Hadi, ”Power System Analysis 2nd Edition”, McGraw-Hill, Inc, Singapore, 2004.
- [3] Cahier Technique No. 158, “*Calculation of Short-circuit Currents*”, Schneider Electric, 2005
- [4] Anderson, P.M, “*Power System Protection*”, John Wiley & Sons, Inc., Canada, Ch. 3, 1998
- [5] Phadke, Arun G, dan Thorp, James S, “*Computer Relaying for Power System*”, John Wiley and Sons, Ltd., England, Ch. 2, 2009
- [6] Gers, Juan M., dan Holmes, Edward J., “*Protection of Electrical Distribution Network 2<sup>nd</sup> Edition*”, The Institution of Electrical Engineers, London, Ch. 5, 2004
- [7] Prévé, Christophe, “*Protection of Electrical Networks*”, ISTE Ltd., London, Ch. 7, 9, 2006
- [8] Gurevich, Vladimir, “*Electric Relays, Principle and Application*”, CRC Press, USA, Ch. 10, 2006
- [9] Trip Curve, “*IEC-SIT-SIT-A-10PU\_1*”, Schneider Electric, 2008
- [10] Padjaitan, Bonar, Praktik-praktik Proteksi Sistem Tenaga Listrik, Andi Offset, Yogyakarta, 2012
- [11] *IEEE Guide for Protective Relay Application to Power System Buses*, IEEE Standard C37.234-2009.
- [12] Electrical Network Protection, Sepam 1000 *Use Commissioning*, Merlin Gerin 2007
- [13] *Metal Oxide Varistor: Introduction*, 2014

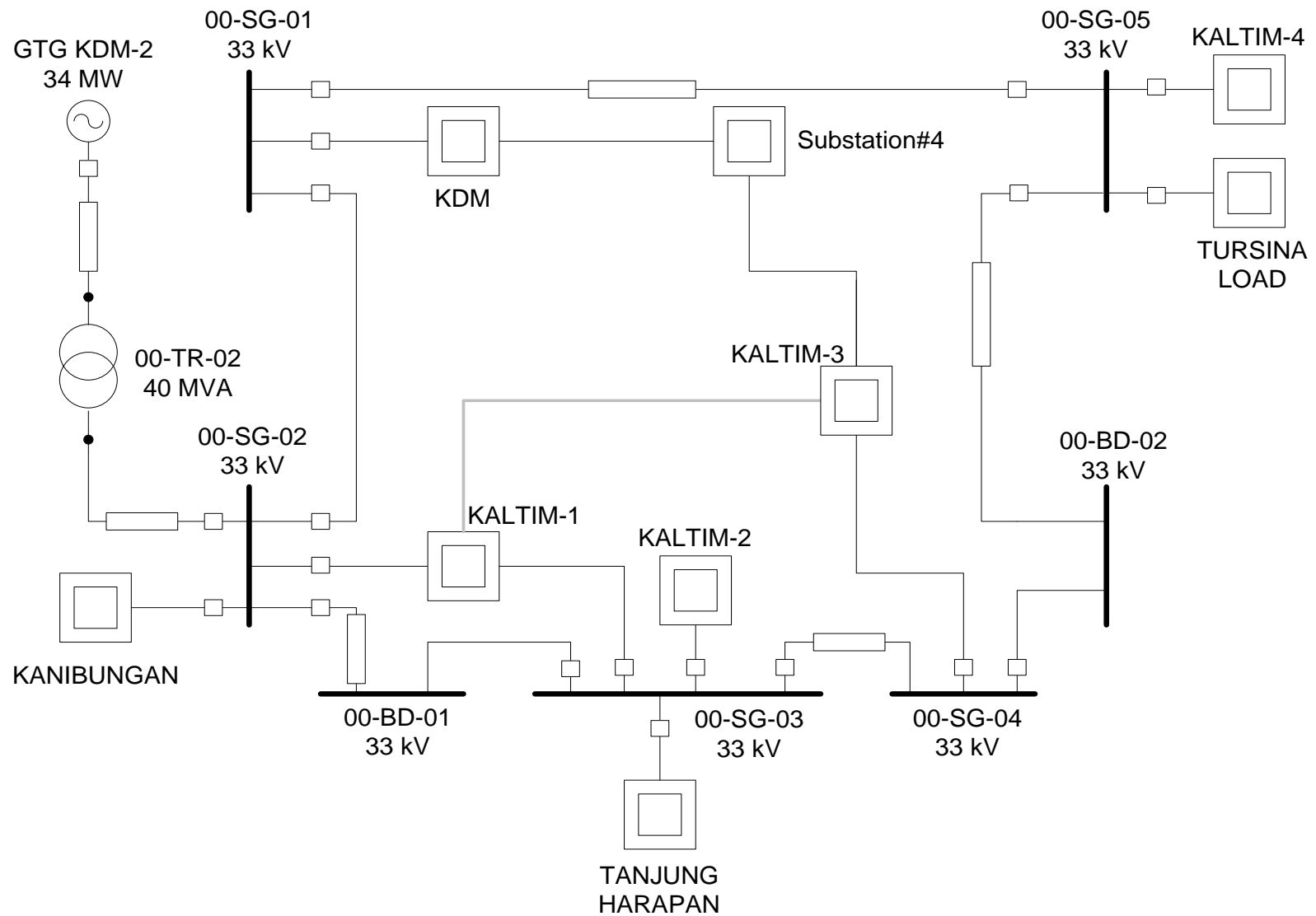
*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BIODATA PENULIS**



Rizky Adam Abdullah, lahir di Sidoarjo pada tanggal 18 Januari 1991. Penulis merupakan anak pertama dari 5 bersaudara. Penulis menempuh pendidikan di SDN 007, SMPIT Ummul Quro, SMA PU Albayan dan melanjutkan pendidikan lanjut di Teknik Elektro ITS Surabaya dengan bidang studi Teknik Sistem Tenaga. Selain pengurus Divisi Artwork periode 2010-2012, penulis juga aktif menjadi ketua Studi Ekskursi pada tahun 2013.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



Bus Integrasi 33 kV keseluruhan *plant* PT Pupuk Kalimantan Timur

