



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - EE 184801**

**EVALUASI PROTEKSI PADA SISTEM TEGANGAN  
MENENGAH DI PT. INDUSTRI GULA GLENMORE  
DENGAN MEMPERTIMBANGKAN *ARC FLASH*  
MENGUNAKAN METODE PERHITUNGAN YANG  
DIMODIFIKASI**

Andre Roberto Sianipar  
NRP 07111745000068

Dosen Pembimbing 1  
Dr.Ir.Margo Pujiantara, MT.

Dosen Pembimbing 2  
I.G.N. Satriyadi Hernanda, ST., MT.

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





**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**FINAL PROJECT - EE 184801**

***PROTECTION EVALUATION IN MEDIUM VOLTAGE  
SYSTEM ON PT. INDUSTRI GULA GLENMORE WITH  
CONSIDERING ARC FLASH USING A MODIFIED  
CALCULATION METHOD***

Andre Roberto Sianipar  
NRP 07111745000068

Advisor 1  
Dr.Ir.Margo Pujiantara, MT.

Advisor 2  
I.G.N. Satriyadi Hernanda, ST., MT.

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



## PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul "**Evaluasi Proteksi Pada Sistem Tegangan Menengah di PT. Industri Gula Glenmore dengan Mempertimbangkan Arc flash Menggunakan Metode Perhitungan yang Dimodifikasi**" adalah benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri. Semua referensi yang dikutip maupun yang dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juni 2019



Andre Roberto Sianipar  
NRP 0711174500068



**EVALUASI PROTEKSI PADA SISTEM TEGANGAN MENENGAH  
DI PT. INDUSTRI GULA GLENMORE DENGAN  
MEMPERTIMBANGKAN *ARC FLASH* MENGGUNAKAN  
METODE PERHITUNGAN YANG DIMODIFIKASI**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

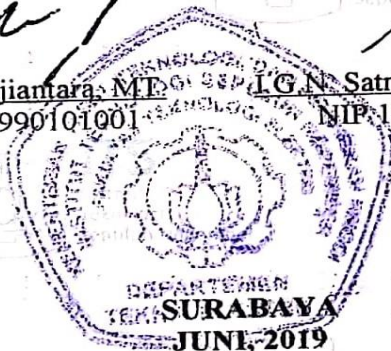
**Pada  
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga  
Departemen Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Menyetujui :**

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

**Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT, ST, I, G, N, Satriyadi Hernanda, ST., MT.**  
**NIP. 196603181990101001 NIP. 197301232002121001**







# **EVALUASI PROTEKSI PADA SISTEM TEGANGAN MENENGAH DI PT. INDUSTRI GULA GLENMORE DENGAN MEMPERTIMBANGKAN *ARC FLASH* MENGUNAKAN METODE PERHITUNGAN YANG DIMODIFIKASI**

**Nama** : Andre Roberto Sianipar  
**Pembimbing I** : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
**Pembimbing II** : I.G.N. Satriyadi Hernanda, ST., MT.

## **ABSTRAK**

Sistem kelistrikan industri membutuhkan kontinuitas dan keandalan yang tinggi untuk menjamin keberlangsungan kegiatan produksi. Bila terjadi gangguan pada sistem kelistrikan permasalahan yang muncul adalah kontinuitas penyediaan listrik terhenti, menyebabkan kerusakan peralatan dan timbulnya insiden energi *arc flash* yang sangat membahayakan keselamatan pekerja. Pada PT. Industri Gula Glenmore, Banyuwangi, setting *existing* pengaman *relay* arus lebih belum terkoordinasi dengan tepat sesuai standar. Dari hasil evaluasi proteksi *relay* arus lebih kondisi *existing*, kesalahan setting *relay* yang paling sering dilakukan adalah dalam *grading relay*. *Relay* beroperasi bersamaan dan kurva *relay* saling memotong satu sama lain. Hal ini menyebabkan koordinasi *relay* menjadi tidak tepat dan tidak selektif.

Untuk itu pada tugas akhir ini, dilakukan resetting pada *relay* arus lebih untuk mendapatkan koordinasi yang tepat dengan *grading* yang sesuai standar IEEE 242 yaitu 0,2 detik-0,4 detik. Hal ini menyebabkan peningkatan waktu pemutusan gangguan, yang dampaknya meningkatkan energi *arc flash*. Sehingga pada kondisi *resetting* energi *arc flash* yang dihasilkan lebih besar dari kondisi *existing*. Metode perhitungan energi *arc flash* yang digunakan adalah metode perhitungan modifikasi yang mempertimbangkan berkurangnya arus kontribusi tiap domain waktu sehingga hasil yang didapat lebih akurat dibandingkan dengan perhitungan standar IEEE 1584-2002. Setelah diketahui energi *arc flash* kondisi *resetting*, maka dapat ditentukan jarak aman bagi pekerja serta *Personal Protective Equipment* (PPE) untuk melindungi pekerja dari bahaya *arc flash* yang mengacu pada standar NFPA 70E 2015.

**Kata kunci** : *relay* , *arc flash* , koordinasi

-Halaman ini sengaja dikosongkan-

# **PROTECTION EVALUATION IN MEDIUM VOLTAGE SYSTEM ON PT. INDUSTRI GULA GLENMORE WITH CONSIDERING ARC FLASH USING A MODIFIED CALCULATION METHOD**

**Name** : Andre Roberto Sianipar  
**Advisor I** : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
**Advisor II** : I.G.N. Satriyadi Hernanda, ST., MT.

## **ABSTRACT**

*The Industrial electrical system requires continuity and high support to ensure the sustainability of production activities. When there is a disruption in the electrical system the problem that arises is the continuity of the electricity supply being interrupted, causing damage to equipment and the emergence of arc flash energy that is very dangerous for the safety of workers. On PT. Glenmore Sugar Industry, Banyuwangi, the setting of existing relays is not coordinated accord to standards. From the results of overcurrent relay protection evaluations of existing conditions, the most common mistake relay settings are in grading relays. Relays operate together then relay curves intersect each other. This causes the coordination of the relay to be inappropriate and not selective.*

*Therefore, in this final project, the resetting overcurrent relays are done to get the proper coordination with grading according to the IEEE 242 standard, which is 0.2 seconds-0.4 seconds. This condition causes an increase in fault clearing time, which increases incident energy of arc flash. Therefore in resetting relays condition, the incident energy arc flash is greater than the existing conditions. The calculation method of incident energy arc flash used modified calculation method based on the decaying fault current contribution of each time domain, so the results obtained are more accurate than the calculation of the IEEE 1584-2002 standard. Understanding the arc flash energy of resetting condition, then it can be determined the safety distance for workers and Personal Protective Equipment (PPE) for protective workers from arc flash hazards that conform to the 2015 NFPA 70E standard.*

**Keyword : relay, arc flash, coordination**

-Halaman ini sengaja dikosongkan-

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa karena atas anugerah dan berkat-Nya penulis mampu menyelesaikan tugas akhir dengan judul **“Evaluasi Proteksi pada Sistem Tegangan Menengah di PT. Industri Gula Glenmore dengan Mempertimbangkan Arc Flash Menggunakan Metode Perhitungan yang Dimodifikasi”**.

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan jenjang Pendidikan S1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas selesainya tugas akhir ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua Orangtua saya, kakak serta adik saya yang selalu mendukung dan mendoakan saya.
2. Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT. dan I Gusti Ngurah Satriyadi, ST., MT. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan arahan dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
3. Bapak M. Iqbal Redha selaku Responsibility Centre Dept. Listrik PT. Industri Gula Glenmore, yang telah banyak memberikan bantuan serta arahan.
4. Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng. selaku Kepala Departemen Teknik Elektro.
5. Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D. selaku Ketua Program Studi.
6. Seluruh dosen dan staf pengajar Jurusan Teknik Elektro ITS.
7. Seluruh teman-teman yang bersedia memberikan masukan dan dukungan, khususnya mahasiswa/i Jurusan Teknik Elektro Lintas Jalur ITS.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini. Akhir kata semoga Tugas Akhir ini bermanfaat.

Surabaya, Juni 2019

Penulis

-Halaman ini sengaja dikosongkan-

# DAFTAR ISI

## JUDUL

<b>LEMBAR PERNYATAAN</b> .....	v
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	vii
<b>ABSTRAK</b> .....	ix
<b>ABSTRACT</b> .....	xi
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	xiii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xix
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xxi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 Permasalahan .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Metodologi .....	3
1.6 Sistematika Penulisan .....	5
1.7 Relevansi .....	5
<b>BAB II KOORDINASI PROTEKSI &amp; ARC FLASH</b> .....	7
2.1. <i>Relay</i> Arus Lebih ( <i>Overcurrent Relay</i> ).....	7
2.1.1. <i>Relay</i> Arus Lebih <i>Instantaneous</i> .....	8
2.1.2. <i>Relay</i> Arus Lebih <i>Definite Time</i> .....	9
2.1.3. <i>Relay</i> Arus Lebih <i>Inverse Time</i> .....	9
2.2. <i>Relay</i> Pengaman Gangguan Tanah .....	10
2.3. Setting dan Koordinasi <i>Relay</i> Pengaman.....	10
2.3.1. Setting <i>Relay</i> Pengaman Arus Lebih .....	10
2.3.2. Setting <i>Relay</i> Gangguan Tanah .....	12

2.3.3.	Koordinasi <i>Relay</i> Berdasarkan Arus dan Waktu .....	12
2.4.	<i>Arc flash</i> .....	12
2.5.	Perhitungan Energi <i>Arc flash</i> .....	14
2.5.1.	Metode Perhitungan Standar IEEE 1584-2002 .....	14
2.5.2.	Perhitungan Energi <i>Arc flash</i> dengan Metode Modifikasi .....	15
2.6.	Perhitungan <i>Flash protection boundary</i> .....	17
2.7.	Penentuan Personal Protective Equipment (PPE).....	19
2.8.	Pemberian Label <i>Arc Flash</i> .....	22
<b>BAB III SISTEM KELISTRIKAN PT. INDUSTRI GULA GLENMORE</b> .....		23
3.1.	Sistem Kelistrikan PT. Industri Gula Glenmore .....	23
3.2.	Data Kelistrikan PT. Industri Gula Glenmore .....	24
3.2.1.	Rating Tegangan .....	24
3.2.2.	Data Generator .....	24
3.2.3.	Data Transformator .....	25
3.2.4.	Data Beban .....	25
<b>BAB IV SIMULASI DAN ANALISA BUSUR API DI PT. INDUSTRI GULA GLENMORE</b> .....		29
4.1.	Hasil Simulasi dan Analisa Energi Busur Api Kondisi <i>Existing</i> .....	29
4.2.	Evaluasi Koordinasi <i>Relay</i> Arus Lebih Gangguan Fasa .....	30
4.2.1.	Koordinasi <i>Relay</i> Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 1. ....	31
4.2.2.	Koordinasi <i>Relay</i> Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 2. ....	45
4.2.3.	Koordinasi <i>Relay</i> Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 3. ....	51
4.2.4.	Koordinasi <i>Relay</i> Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 4. ....	57
4.2.5.	Koordinasi <i>Relay</i> Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 5. ....	63
4.3.	Evaluasi Koordinasi <i>Relay</i> Arus Lebih Gangguan Fasa Ke Tanah .....	69



4.4.	Hasil Simulasi Energi Busur Api Kondisi <i>Resetting</i> .....	76
4.4.1.	Perhitungan Energi Busur Api <i>Resetting</i> Menggunakan Standar IEEE 1584-2002.....	76
4.4.2.	Perhitungan Energi Busur Api <i>Resetting</i> Menggunakan Metode yang Dimodifikasi .....	79
4.5.	Perhitungan <i>Flash protection boundary</i> (FPB) .....	84
4.5.1.	Hasil Simulasi <i>Flash protection boundary</i> Kondisi <i>Existing</i> Menggunakan Standar IEEE 1584-2002 .....	85
4.5.2.	Hasil Simulasi <i>Flash protection boundary</i> Kondisi <i>Resetting</i> Menggunakan Standar IEEE 1584-2002 .....	88
4.5.3.	Perhitungan <i>Flash protection boundary</i> Kondisi <i>Resetting</i> Menggunakan Hasil Perhitungan Modifikasi .....	91
4.6.	Perbandingan Besar Energi Busur Api Kondisi <i>Existing</i> dan <i>Resetting</i> (Berdasarkan Standar IEEE 1584-2002 dan Metode Perhitungan Modifikasi) .....	93
4.7.	Perbandingan <i>Flash protection boundary</i> Kondisi <i>Existing</i> , <i>Resetting</i> Berdasarkan Standar IEEE 1584-2002, dan Metode Perhitungan Modifikasi.....	95
4.8.	<i>Personal Protective Equipment</i> (PPE) yang Harus Digunakan .....	96
4.9.	<i>Labelling</i> .....	98
<b>BAB V PENUTUP</b> .....		103
5.1.	Kesimpulan.....	103
5.2.	Saran.....	104
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....		105
<b>LAMPIRAN 1</b> .....		<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>LAMPIRAN 2</b> .....		108
<b>BIODATA PENULIS</b> .....		109

-Halaman ini sengaja dikosongkan-

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b>	Skema Operasi Relay Pengaman .....	7
<b>Gambar 2. 2</b>	Karakteristik kurva relay arus lebih waktu seketika .....	8
<b>Gambar 2. 3</b>	Karakteristik kurva relay arus lebih waktu tertentu .....	9
<b>Gambar 2. 4</b>	Karakteristik kurva relay arus lebih waktu terbalik .....	10
<b>Gambar 2. 5</b>	Perbedaan Bolted Fault dan Arcing Fault .....	13
<b>Gambar 2. 6</b>	Fenomena Arc flash .....	13
<b>Gambar 2. 7</b>	Bentuk kontribusi arus gangguan hubung singkat .....	16
<b>Gambar 2. 8</b>	Jarak Aman Pekerja dengan Peralatan Bertegangan ....	18
<b>Gambar 2. 9</b>	Peralatan Perlindungan diri atau PPE .....	22
<b>Gambar 2. 10</b>	Standar Label Arc Flash .....	22
<b>Gambar 3. 1</b>	Single Line Diagram PT. Industri Gula Glenmore .....	23
<b>Gambar 4. 1</b>	Existing Tipikal 1 .....	31
<b>Gambar 4. 2</b>	Kurva TCC Existing Tipikal 1 .....	33
<b>Gambar 4. 3</b>	Kurva TCC Resetting Tipikal 1 .....	44
<b>Gambar 4. 4</b>	Existing Tipikal 2 .....	45
<b>Gambar 4. 5</b>	Kurva TCC Existing Tipikal 2 .....	46
<b>Gambar 4. 6</b>	Plot Kurva TCC Hasil Resetting Tipikal 2 .....	50
<b>Gambar 4. 7</b>	Existing Tipikal 3 .....	51
<b>Gambar 4. 8</b>	Kurva TCC Existing Tipikal 3 .....	52
<b>Gambar 4. 9</b>	Kurva TCC Resetting Tipikal 3 .....	56
<b>Gambar 4. 10</b>	Existing Tipikal 4 .....	57
<b>Gambar 4. 11</b>	Kurva TCC Existing Tipikal 4 .....	58
<b>Gambar 4. 12</b>	Plot Kurva TCC Resetting Tipikal 4 .....	62
<b>Gambar 4. 13</b>	Existing Tipikal 5 .....	63
<b>Gambar 4. 14</b>	Kurva TCC Existing Tipikal 5 .....	64
<b>Gambar 4. 15</b>	Kurva TCC Resetting Tipikal 5 .....	68
<b>Gambar 4. 16</b>	Tipikal Untuk Gangguan Fasa ke Tanah .....	69
<b>Gambar 4. 17</b>	TCC Gangguan Fasa ke Tanah Kondisi <i>Existing</i> .....	71
<b>Gambar 4. 18</b>	Plot Kurva TCC <i>Resetting</i> Groundfault .....	75
<b>Gambar 4. 19</b>	Label Arc Flash Pada bus 1 section 3000 A .....	99
<b>Gambar 4. 20</b>	Label Arc Flash Pada bus 2 section 3000 A .....	99
<b>Gambar 4. 21</b>	Label Arc Flash Pada bus 3 1000 A .....	100
<b>Gambar 4. 22</b>	Label Arc Flash Pada bus 4 1500 A .....	100
<b>Gambar 4. 23</b>	Label Arc Flash Pada bus 45 3,3 kV .....	101
<b>Gambar 4. 24</b>	Label Arc Flash Pada bus 34 0,4kV .....	101
<b>Gambar 4. 25</b>	Label Arc Flash Pada bus 35 0,69 kV .....	102
<b>Gambar 4. 26</b>	Label Arc Flash Pada bus 37 0,69 kV .....	102

-Halaman ini sengaja dikosongkan-

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2. 1</b>	Standar Kurva IEC .....	11
<b>Tabel 2. 2</b>	Eksponen Faktor Perhitungan.....	15
<b>Tabel 2. 3</b>	Pengelompokkan Domain Waktu Metode Modifikasi .....	17
<b>Tabel 2. 4</b>	Pengelompokkan Kategori sesuai NFPA 70 E 2015 .....	19
<b>Tabel 3. 1</b>	Data Generator .....	25
<b>Tabel 3. 2</b>	Data Transformator .....	25
<b>Tabel 3. 3</b>	Data Beban Motor .....	26
<b>Tabel 3. 4</b>	Data Lumped Load .....	27
<b>Tabel 3. 5</b>	Data Static Load .....	27
<b>Tabel 4. 1</b>	Data Hasil Simulasi Energi Busur Api Kondisi <i>Existing</i> ..	30
<b>Tabel 4. 2</b>	Data Setting <i>Existing</i> Tipikal 1.....	32
<b>Tabel 4. 3</b>	Data Setting <i>Existing</i> Ground .....	70
<b>Tabel 4. 4</b>	Data Hasil Simulasi Energi Busur Api Kondisi <i>Resetting</i> . 76	
<b>Tabel 4. 5</b>	Data <i>Flash protection boundary</i> Hasil Simulasi <i>Existing</i> .	85
<b>Tabel 4. 6</b>	Data <i>FPB Hasil Simulasi Kondisi Resetting</i> .....	88
<b>Tabel 4. 7</b>	Data Perbandingan Energi Busur Api Standar IEEE 1584	93
<b>Tabel 4. 8</b>	Data Perbandingan Energi Busur Api Hasil Modifikasi....	94
<b>Tabel 4. 9</b>	Perbandingan <i>Flash protection boundary</i> .....	95
<b>Tabel 4. 10</b>	PPE Berdasarkan Kategori Bahaya Hasil <i>Resetting</i> .....	97

-Halaman ini sengaja dikosongkan-

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

PT. Industri Gula Glenmore adalah perusahaan yang berlokasi di Banyuwangi, bergerak di bidang produksi gula. Perusahaan ini dibangun sejak tahun 2012, dan beroperasi resmi sejak tahun 2016. PT. Industri Gula Glenmore ini dibangun dengan tujuan untuk memenuhi kebutuhan produksi gula dalam negeri. Perusahaan ini mempunyai target produksi mencapai 6000 sampai dengan 8000 ton tebu per hari. Keberlangsungan proses kegiatan produksi sangat erat kaitannya dengan keandalan sistem kelistrikan di industri tersebut. Sementara itu pada sebuah industri, permasalahan kelistrikan sering terjadi. Permasalahan kelistrikan yang sering terjadi yaitu seperti gangguan beban lebih atau overload, serta gangguan hubung singkat yang dapat menyebabkan terjadinya pelepasan energi insiden *arc flash* atau busur api. Energi insiden *arc flash* ini berupa energi radiasi panas yang suhunya sangat tinggi, yaitu dapat mencapai 20.000 °C sehingga sangat membahayakan keselamatan pekerja serta dapat merusak peralatan yang berada di sekitarnya. Permasalahan tersebut memberikan kerugian yang besar terhadap industri. Tidak hanya menghambat kegiatan produksi, tetapi juga mengancam keselamatan pekerja.

Sejak awal resmi beroperasi, pada PT. Industri Gula Glenmore belum pernah dilakukan evaluasi koordinasi proteksi dengan mempertimbangkan level energi insiden *arc flash* atau busur api. Sehingga untuk mengantisipasi kerugian akibat gangguan kelistrikan, serta mewujudkan misi perusahaan dalam mencapai target produksinya, diperlukan sistem kelistrikan yang tidak hanya andal, tetapi juga dengan mempertimbangkan keselamatan bagi pekerja. Untuk itu pada tugas akhir ini akan dilakukan evaluasi proteksi di sistem tegangan menengah dengan mempertimbangkan level energi insiden *arc flash*. Standar yang digunakan untuk menentukan besar *arc flash* adalah IEEE 1584-2002. Namun pada standar ini besar energi *arc flash* dihitung tanpa mempertimbangkan dua faktor yang menentukan besar energi tersebut, yaitu berkurangnya kontribusi arus hubung singkat tiap satuan waktu dan waktu pemutusan masing-masing *circuit breaker* saat gangguan dilokalisasi. Sehingga untuk hasil yang lebih akurat maka metode yang digunakan adalah metode perhitungan modifikasi, Metode modifikasi

sudah mempertimbangkan kedua faktor di atas dalam menentukan besar energi insiden *arc flash* yang terjadi. Setelah dilakukan evaluasi, maka dapat ditentukan jarak aman operator dalam bekerja dan juga *Personal Protective Equipment* (PPE) yang akan digunakan oleh operator ketika bekerja dengan mengacu pada standar *National Fire Protection Association* (NFPA) 70E.

## **1.2 Permasalahan**

Perumusan masalah pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Menentukan besar level energi busur api pada kondisi *existing* berdasarkan simulasi sesuai standar IEEE 1584-2002.
2. Menentukan koordinasi *relay* arus lebih yang tepat sesuai standar dan level energi busur api setelah dilakukan *resetting* menggunakan standar IEEE 1584-2002.
3. Menghitung besar energi busur api pada kondisi setelah dilakukan *resetting* menggunakan metode perhitungan yang dimodifikasi.
4. Melakukan perbandingan hasil energi busur api kondisi *existing*, dan setelah *resetting* antara IEEE 1584-2002 dengan metode modifikasi.
5. Menentukan dan membandingkan jarak aman bagi pekerja pada kondisi *existing* dan setelah dilakukan *resetting*, antara standar IEEE 1584-2002 dan modifikasi.
6. Menentukan peralatan perlindungan personal PPE yang tepat bagi pekerja sesuai dengan kategori energi busur api yang dihasilkan dengan mengacu pada standar NFPA 70E 2015.

## **1.3 Batasan Masalah**

1. Simulasi serta analisa dilakukan dengan menggunakan *software* ETAP 12.6.
2. Evaluasi setting *relay* hanya dilakukan pada *overcurrent relay* dan *groundfault.relay*.



## 1.4 Tujuan

Tujuan yang hendak dicapai dari tugas akhir ini adalah:

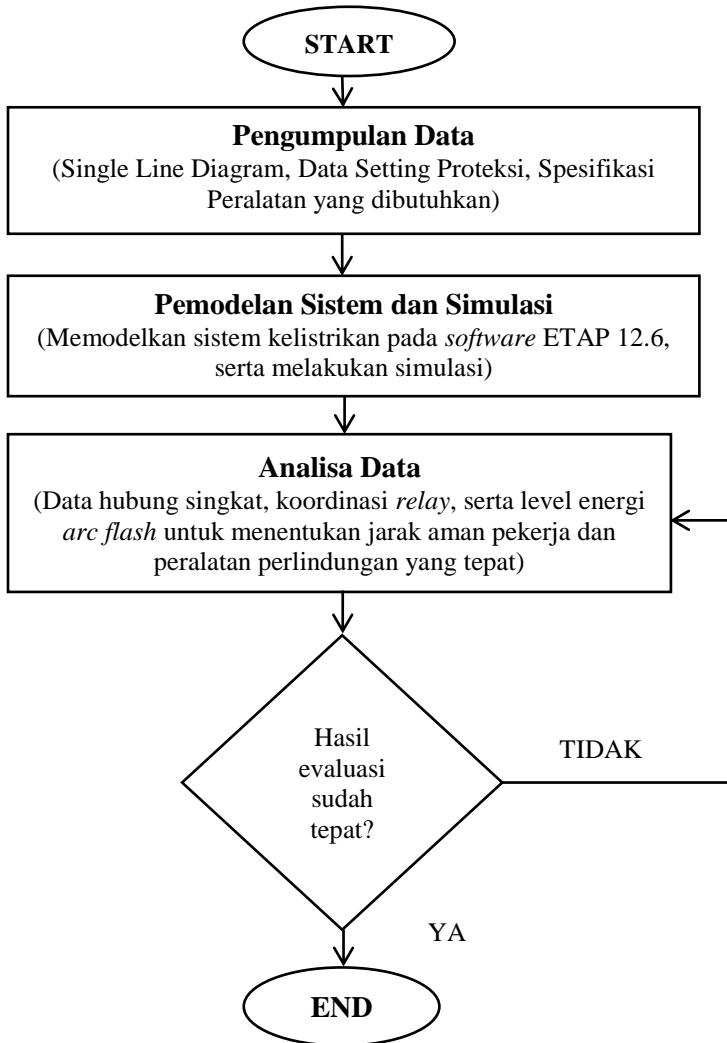
1. Untuk mendapatkan *setting* proteksi *relay* arus lebih yang terkoordinasi dengan tepat, sehingga ketika terjadi gangguan, proteksi dapat langsung melokalisir daerah gangguan secara selektif.
2. Untuk mengetahui level insiden energi *arc flash* sehingga dapat menentukan *personal protective equipment* yang sesuai bagi pekerja.
3. Untuk menentukan jarak yang aman bagi pekerja.

## 1.5 Metodologi

Proses pengerjaan tugas akhir ini menggunakan metode sebagai berikut:

1. Studi Literatur  
Mempelajari literatur yang berkaitan dengan studi hubung singkat, studi koordinasi untuk *relay* arus lebih, studi level insiden busur api dengan acuan IEEE 1584-2002, termasuk studi tentang metode perhitungan modifikasi, jarak aman pekerja dan peralatan perlindungan yang aman bagi pekerja dengan mengacu pada standar NFPA 70E 2015.
2. Pengumpulan Data  
Melakukan pengumpulan data yang diperlukan berkaitan tentang sistem kelistrikan perusahaan, seperti *single line diagram*, *setting* proteksi *relay* pada perusahaan terkait, spesifikasi peralatan yang dibutuhkan, dan lainnya.
3. Pemodelan dan Simulasi Sistem  
Tahap selanjutnya melakukan pemodelan dalam *software* simulasi ETAP 12. 6, untuk segera disimulasikan dan mendapatkan data-data yang diinginkan.
4. Analisa Data  
Pada tahap ini, akan diketahui koordinasi proteksi pada sistem dan level insiden energi busur api pada sistem, baik kondisi *existing* maupun *resetting*, baik dengan metode standar IEEE 1584-2002, maupun dengan metode perhitungan modifikasi, sehingga kemudian dapat ditentukan jarak aman bagi pekerja, dan peralatan perlindungan yang sesuai bagi pekerja.

5. Penulisan Buku Tugas Akhir  
Penulisan buku tugas akhir sebagai laporan tentang apa yang telah dikerjakan, juga mencakup kesimpulan dan saran yang di dapat dari hasil pengerjaan.



## 1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan buku tugas akhir ini terbagi dalam 5 bab, dengan uraian sistematika penulisan sebagai berikut:

### **Bab I : Pendahuluan**

Bab ini berisi latar belakang masalah, permasalahan, batasan masalah, tujuan, metodologi, sistematika penulisan, relevansi atau manfaat dari tugas akhir

### **Bab II : Koordinasi Proteksi Relay Arus Lebih dan Arc flash**

Bab ini membahas tentang teori-teori yang berkaitan dengan pengerjaan tugas akhir seperti, setting *relay* pengamanan arus lebih serta koordinasinya. Juga membahas teori energi busur api serta perhitungannya sesuai standar IEEE 1584-2002 dan metode perhitungan yang dimodifikasi, serta peralatan perlindungan diri sesuai NFPA 70E 2015.

### **Bab III : Sistem Kelistrikan pada PT. Industri Gula Glenmore**

Bab ini membahas tentang sistem kelistrikan di PT. Industri Gula Glenmore, seperti konfigurasi jaringan, spesifikasi peralatan, serta pola operasi sistem.

### **Bab IV : Simulasi dan Analisa Energi Busur Api di PT. Industri Gula Glenmore**

Bab ini membahas tentang hasil simulasi koordinasi proteksi serta perhitungan energi busur api, perbandingan besar energi busur api saat sebelum dan sesudah *resetting*, perbedaan metode perhitungan standar IEEE 1584-2002 dengan metode modifikasi, serta perhitungan jarak aman bagi pekerja dan perlengkapan perlindungan diri sesuai NFPA 70E 2015.

### **Bab V : Penutup**

Bab ini berisi kesimpulan dan saran sebagai hasil pembahasan secara keseluruhan dari Tugas Akhir.

## 1.7 Relevansi

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

1. Dapat menjadi referensi dan rekomendasi bagi PT. Industri Gula Glenmore dalam menjaga keandalan sistem kelistrikan serta keselamatan pekerja.
2. Dapat menjadi referensi bagi pembaca yang membahas topik yang sama.

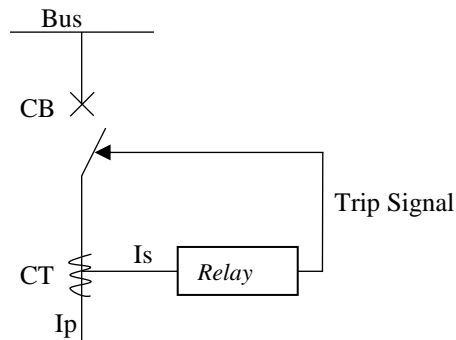
-Halaman ini sengaja dikosongkan-

## BAB II

### KOORDINASI PROTEKSI & ARC FLASH

#### 2.1. Relay Arus Lebih (*Overcurrent Relay*)

*Relay* pengamanan arus lebih merupakan pengamanan yang bekerja dengan melakukan *sensing* besaran arus pada saluran. Relay arus lebih akan bekerja jika besar aliran arus pada saluran, sudah melampaui batas yang diijinkan atau disebut dengan nilai arus *pick up* nya. Dapat dilihat pada gambar 2.1, terdapat *Current Transformer* (CT) yang digunakan untuk menurunkan arus agar arus yang besar pada saluran dapat direpresentasikan dalam nilai yang lebih kecil, sehingga *relay* hanya perlu bekerja dalam rating arus yang kecil. Sisi primer CT terhubung dengan saluran sehingga arus primer CT atau  $I_p$  adalah arus yang mengalir pada saluran. Untuk sisi sekunder CT terhubung dengan *relay*, sehingga arus yang dirasakan *relay* adalah arus sekunder  $I_s$  dan merupakan representasi dari arus saluran dalam nilai yang lebih kecil.



**Gambar 2. 1** Skema Operasi *Relay* Pengaman

Ketika terjadi gangguan arus lebih, arus pada saluran akan meningkat, dan arus yang dirasakan oleh *relay* juga akan meningkat. Selama nilai arus yang dirasakan oleh *relay* masih di bawah batas yang diijinkan maka *relay* tidak akan menganggap kondisi tersebut sebagai kondisi gangguan. Tetapi ketika arus yang mengalir pada sistem sudah melebihi batas yang diijinkan maka *relay* akan mendeteksi arus sebagai arus gangguan, sehingga *relay* akan beroperasi dan mengirimkan trip signal ke *circuit breaker* atau CB agar CB membuka memutuskan saluran.

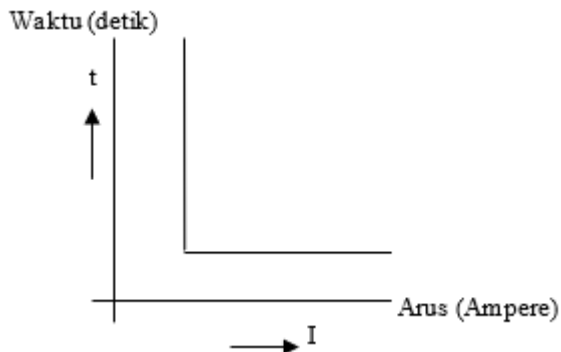
Untuk menjamin keandalan, *relay* arus lebih harus memenuhi syarat sebagai berikut :

- a. Sensitif, yaitu *relay* harus memiliki kemampuan untuk bisa memberikan respon ketika merasakan gangguan seminimum mungkin.
- b. Selektif, yaitu *relay* harus memiliki kemampuan untuk menentukan lokasi terjadinya gangguan dan segera memberikan perintah untuk membuka *circuit breaker* terdekat.
- c. Koordinatif, yaitu *relay* harus mampu bekerja secara koordinatif, agar tidak terjadi trip yang bersamaan antara *relay* primer dan *relay back up*.

Berdasarkan karakteristik kurvanya, *relay* pengaman arus lebih dikelompokkan dalam beberapa jenis seperti *relay* arus lebih *instantaneous*, *definit time*, dan *inverse time*. Masing-masing jenis memiliki karakteristik kurva yang berbeda.

### 2.1.1. *Relay* Arus Lebih *Instantaneous*

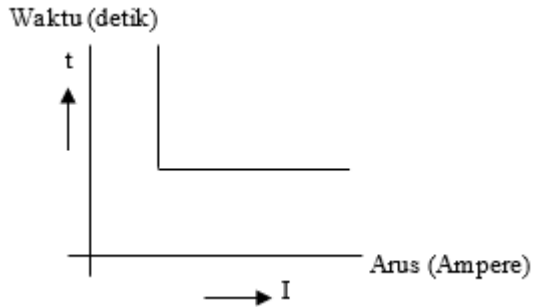
Pada *relay* arus lebih *instantaneous* atau waktu seketika, jika arus yang mengalir sudah melebihi sedikit saja dari batas arus yang diijinkan, maka *relay* akan langsung bekerja atau trip tanpa adanya penundaan waktu. Untuk *setting* hanya dapat dilakukan dari arus sesuai nilai *pick up* yang ditentukan dari perhitungan. Karakteristik kurva dapat dilihat pada gambar 2.2.



**Gambar 2. 2** Karakteristik kurva *relay* arus lebih waktu seketika

### 2.1.2. *Relay Arus Lebih Definite Time*

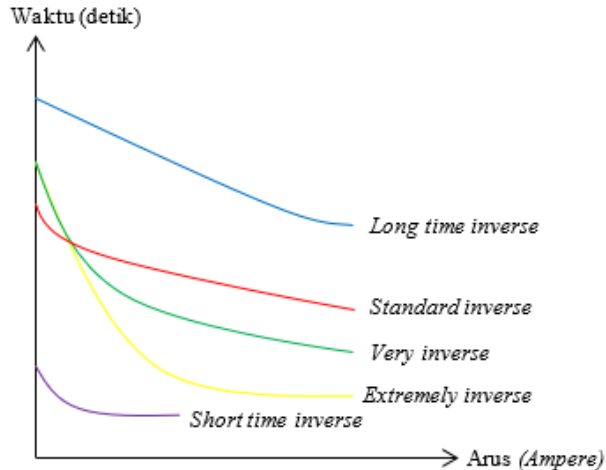
*Relay* arus lebih *definite* atau waktu tertentu adalah *relay* yang akan bekerja dengan waktu tunda tertentu. Apabila terjadi arus gangguan yang melebihi nilai arus *pick up*, maka *relay* akan menunggu terlebih dahulu selama waktu tunda yang diatur, kemudian *relay* akan bekerja mengamankan gangguan. Karakteristik kurva dapat dilihat pada gambar 2.3.



**Gambar 2. 3** Karakteristik kurva *relay* arus lebih waktu tertentu

### 2.1.3. *Relay Arus Lebih Inverse Time*

*Relay* arus lebih *inverse time* atau waktu terbalik adalah *relay* yang waktu bekerjanya berbanding terbalik dengan besar arusnya. Semakin besar arus gangguan yang dirasakan *relay*, maka akan semakin cepat *relay* bekerja. Tetapi jika arus gangguan yang dirasakan oleh *relay* kecil, maka akan semakin lama waktu yang dibutuhkan agar *relay* bekerja. *Relay* arus lebih waktu terbalik memiliki beberapa jenis kurva karakteristik, di antaranya, *short time inverse*, *standard inverse*, *very inverse*, *extremely inverse*, dan *long time inverse*. Karakteristik kurva dapat dilihat pada gambar 2.4.



**Gambar 2. 4** Karakteristik kurva relay arus lebih waktu terbalik

## 2.2. Relay Pengaman Gangguan Tanah

Relay pengaman gangguan tanah adalah relay pengaman arus lebih yang dilengkapi dengan *zero sequence current filter* atau filter arus urutan nol. Relay ini berfungsi untuk mendeteksi adanya aliran arus urutan nol, bila terdapat arus urutan nol yang melebihi batas *pick up relay* tersebut maka relay pengaman gangguan tanah akan langsung bekerja. Saat ini relay arus lebih sudah dilengkapi dengan dengan *zero sequence current filter* sehingga dalam satu relay arus lebih sudah dapat digunakan untuk mengamankan gangguan fasa dan juga gangguan ke tanah.

## 2.3. Setting dan Koordinasi Relay Pengaman

### 2.3.1. Setting Relay Pengaman Arus Lebih

Untuk setting relay pengaman arus lebih secara umum dilakukan dengan menentukan arus *pick up* dan waktu relay bekerja. Setting yang dilakukan pada relay berbeda-beda, tergantung jenis yang digunakan.

#### 2.3.1.1. Setting Relay Arus Lebih Waktu Inverse

Setting pada relay arus lebih waktu *inverse* dilakukan dengan dua bagian yaitu setting arus *pick up* dan *setting time dial* atau waktu relay bekerja. Untuk setting arus *pick up* dibuat melebihi nilai arus beban penuh dari peralatan yang diamankan. Hal ini dilakukan agar peralatan dapat bekerja sampai pada batas beban penuh sesuai kemampuan masing-



masing peralatan, tanpa harus menyebabkan *relay* bekerja. Berdasarkan standar British BS 142 batas setting arus *pick up* adalah  $1.05 I_{fla} < I_{set} < 1.4 I_{fla}$ .  $I_{set}$  merupakan arus *pick up* dalam satuan Ampere, dan  $I_{fla}$  adalah arus beban penuh atau disebut juga *full load Ampere* dari peralatan.

Untuk setting *time dial* pada *relay inverse*, bergantung jenis karakteristik kurva yang dihasilkan, serta manufaktur *relay*. Salah satu *relay* karakteristik kurva menggunakan standar kurva IEC. Untuk perhitungan *time dial relay*nya dilakukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$t = T \times \left( \frac{K}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1} + L \right) \quad (2.1)$$

- t : waktu operasi *relay*
- K : faktor (lihat table)
- I : nilai arus yang terukur pada saluran
- $I_s$  : nilai arus *pick up*
- $\alpha$  : faktor (lihat table)
- L : konstanta ANSI/IEC (bernilai 0 untuk IEC)
- T : Pengali waktu (*time multiplier*)

**Tabel 2. 1** Standar Kurva IEC

Tipe Kurva	Standar	K-faktor	$\alpha$ -faktor	L-faktor
<i>Standard Inverse</i>	IEC	0,14	0,02	0
<i>Very Inverse</i>	IEC	13,5	1	0
<i>Extremely inverse</i>	IEC	80	2	0

### 2.3.1.2. Setting Relay Arus Lebih Waktu Tertentu

Pada *relay* arus lebih waktu tertentu atau *definite*, setting yang dilakukan adalah dengan menentukan batas arus *pick up relay* dengan pengaturan sebagai berikut:

$$1.6 I_n \leq I_{set} \leq 0.8. I_{SC \min} \quad (2.2)$$

Dimana

- $I_n$  : arus nominal dari peralatan,
- $I_{SC \min}$  : arus hubung singkat minimum

### 2.3.2. Setting Relay Gangguan Tanah

Untuk setting *relay* gangguan tanah atau *groundfault relay*, dilakukan

dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$5-10\% \times I_{SC\ L-G} \leq I_{set} \leq 50\% I_{SC\ L-G} \quad (2.3)$$

$I_{SC\ L-G}$  : arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah.

### 2.3.3. Koordinasi Relay Berdasarkan Arus dan Waktu

Pada pengoperasian *relay* pengaman, dibutuhkan koordinasi yang tepat antar *relay* yang terpasang, *relay primer* dan *relay back up* tidak boleh bekerja dalam waktu yang sama namun diberikan waktu tunda operasi. Tujuannya agar ketika terjadi gangguan, *relay* yang bekerja hanya *relay* yang berada di lokasi yang terdekat dengan gangguan. Sehingga kontinuitas pelayanan listrik di bagian yang tidak mengalami gangguan dapat tetap berlangsung. Pengaturan waktu tunda *relay* ini biasa disebut juga dengan *grading time*. Berdasarkan standar IEEE 242, waktu tunda *relay* beroperasi diatur sebesar 0,2-0,4 s [2]. Hal ini sudah memperhitungkan waktu yang dibutuhkan *relay* pengaman mulai dari *sensing* sampai dengan *clearing*. Dengan spesifikasi sebagai berikut:

Waktu buka CB : 0,04-0,1 detik (2-5 cycle)

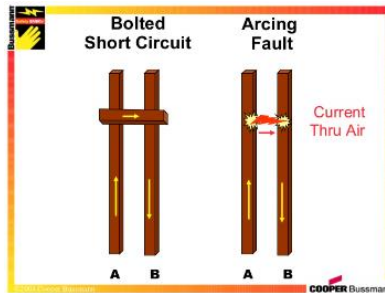
*Overtravel relay* : 0,1 detik

Faktor keamanan : 0,12-0,22 detik

Pada *relay* pengaman yang sudah berbasis *microprocessor*, waktu *overtravel relay* dapat diabaikan.

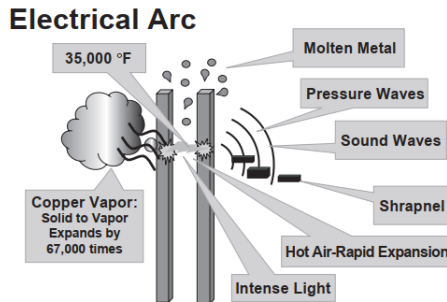
## 2.4. Arc flash

*Arc flash* atau busur api adalah pelepasan energi akibat terjadinya gangguan pada sistem kelistrikan yang sering dikenal dengan istilah *arc fault* dan *bolted fault* [3]. *Arc fault* adalah arus gangguan yang mengalir melalui udara, antara konduktor dengan konduktor maupun konduktor ke tanah. Sedangkan *bolted fault* adalah arus gangguan yang mengalir akibat terjadinya kontak langsung melalui perantara. Untuk perbedaan antara *arc fault* dan *bolted fault* dapat dilihat pada gambar 2.5.



**Gambar 2. 5 Perbedaan Bolted Fault dan Arcing Fault**

*Arc fault* maupun *bolted fault* dapat disebabkan oleh banyak hal, di antaranya debu, benda yang terjatuh, kontak langsung yang tidak disengaja terhadap bagian bertegangan, korosi, kondensasi, dan kegagalan bahan isolasi [4]. Faktor di atas membentuk jalur konduktif pada dua titik yang memiliki beda potensial sehingga terjadi gangguan hubung singkat yang menyebabkan pelepasan energi busur api. Fenomena *arc flash* dapat dilihat pada gambar 2.6.



**Gambar 2. 6 Fenomena Arc flash**

Energi listrik yang menghasilkan energi busur api dikonversikan ke dalam beberapa bentuk energi seperti radiasi panas, kebisingan (noise), ledakan yang besar melalui udara akibat energi panas yang tinggi dan melelehnya peralatan logam di sekitar daerah terjadinya busur api [5]. Ledakan dengan tekanan yang tinggi menghasilkan radiasi panas hingga mencapai suhu 20.000°C (35.000°F) [4]. Efek yang ditimbulkan *arc flash* ini tidak hanya dapat merusak peralatan bahkan dapat sampai mengancam keselamatan pada manusia yang berada di sekitar lokasi terjadinya busur api.

## 2.5. Perhitungan Energi Arc flash

### 2.5.1. Metode Perhitungan Standar IEEE 1584-2002

Mengacu pada standar IEEE 1584-2002, sebelum menghitung besar energi *arc flash* atau busur api, terlebih dahulu perhitungan arus *arcing* dilakukan dengan [3]:

Untuk sistem  $\geq 1000$  V:

$$\lg I_a = 0,00402 + 0,983 \lg I_{bf} \quad (2.4)$$

Untuk sistem  $\leq 1000$  V:

$$\lg I_a = K + 0,662 \lg I_{bf} + 0,0966 V + 0,000526 G + 0,5588 V \lg I_{bf} - 0,00304 G \lg I_{bf} \quad (2.5)$$

Dimana:

$\lg$  :  $\log_{10}$ ,

$I_a$  : arus *arcing* dalam satuan kilo Ampere (kA),

$I_{bf}$  : arus gangguan tiga fasa (*bolted fault*), satuan kilo Ampere (kA)

Kemudian dapat dihitung insiden energi normalisasi sebagai berikut:

$$\lg E_n = K_1 + K_2 + 1,081 \lg I_a + 0,0011G \quad (2.6)$$

Dimana:

$E_n$  : insiden energi normalisasi dalam satuan cal/cm<sup>2</sup>,

$K$  : -0,153 untuk peralatan dengan konfigurasi terbuka, dan  
- 0,097 untuk konfigurasi box

$K_1$  : senilai -0,792 untuk peralatan dengan konfigurasi terbuka, dan  
senilai -0,555 jika peralatan tertutup atau konfigurasi box

$K_2$  : senilai 0 pada peralatan yang tidak diketanahkan atau dengan sistem pentanahan yang memiliki resistansi tinggi, serta senilai -0,113 jika sistem diketanahkan.

$G$  : *Gap* atau jarak antar penghantar dalam satuan mm.

Setelah energi insiden normalisasi dan arus *arcing* dihitung, maka untuk perhitungan insiden energi *arc flash* pada sistem di bawah 15 kV digunakan persamaan sebagai berikut :

$$E = 4,184 \cdot C_f \cdot E_n \cdot \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610^x}{D^x}\right) \quad (2.7)$$

Untuk sistem tegangan di atas 15 kV, maka persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$E = 2,142 \cdot 10^6 \cdot V \cdot I_{bf} \cdot \left(\frac{t}{D^2}\right) \quad (2.8)$$

Dimana:

$E$  : insiden energi dalam satuan J/cm<sup>2</sup>,

- $C_f$  : faktor perhitungan, senilai 1 untuk tegangan di atas 1 kilo Volt (kV), dan  
 senilai 1,5 jika tegangan di bawah 1 kilo Volt,  
 $t$  : waktu terjadinya busur api dalam satuan detik,  
 $D$  : jarak dari tempat yang memungkinkan terjadinya busur api ke pekerja,  
 $x$  : faktor eksponen untuk jarak dan  
 $V$  : tegangan sistem dalam satuan kV [3].

Adapun data eksponen jarak yang digunakan untuk perhitungan energi busur api dapat dilihat pada tabel berikut:

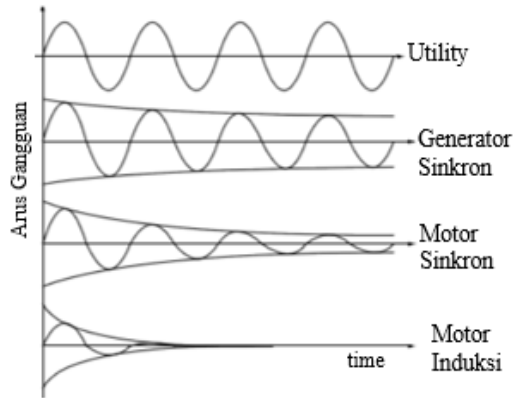
**Tabel 2. 2** Eksponen Faktor Perhitungan

System Voltage (kV)	Equipment Type	Typical Distance x Factor
0,208-1	Open air	2
	Switchgear	1,473
	MCC and panels	1,641
	Cable	2
>1-5	Open air	2
	Switchgear	0,973
	Cable	2
>5-15	Open air	2
	Switchgear	0,973
	Cable	2

### 2.5.2. Perhitungan Energi Arc flash dengan Metode Modifikasi

Metode perhitungan yang dimodifikasi, adalah hasil pengembangan dari metode perhitungan energi *arc flash* yang ada pada standar IEEE1584-2002. Pada metode perhitungan yang dimodifikasi, perhitungan energi *arc flash* dilakukan dengan mempertimbangkan berkurangnya arus kontribusi hubung singkat berdasarkan periode waktu, serta waktu pemutusan dari masing-masing *circuit breaker* pada lokasi yang memberikan kontribusi arus hubung singkat menuju lokasi gangguan [6].

Pada sistem kelistrikan, kontribusi arus hubung singkat berasal dari utilitas, generator sinkron, motor sinkron dan motor induksi [6]. Pada industri dengan level tegangan menengah, mayoritas kontribusi berasal dari generator sinkron, dan motor induksi. Masing-masing peralatan memberikan karakteristik yang berbeda ketika terjadi hubung singkat. Karakteristik tersebut dapat dilihat pada gambar 2.7.



**Gambar 2.7** Bentuk kontribusi arus gangguan hubung singkat

Dari gambar 2.7 terlihat bentuk arus kontribusi dari utilitas tidak mengalami penurunan, sementara yang lainnya mengalami penurunan [6]. Pada mesin sinkron, ketika terjadi hubung singkat reaktansi mesin sinkron berubah terhadap waktu, sehingga kontribusi arus hubung singkat yang dihasilkan berubah mengikuti perubahan reaktansinya [9]. Ada tiga bagian dalam perubahan reaktansi mesin sinkron, di antaranya reaktansi sub transien, transien dan steady state [6]. Untuk motor induksi, kontribusi arus hubung singkatnya hanya bertahan sampai 4 *cycle* sementara pada kondisi steady state yaitu 30 *cycle* motor induksi sudah tidak memberikan kontribusi arus hubung singkat [6]. Teori inilah yang mendasari metode modifikasi pada perhitungan energi busur api.

Pada perhitungan, akan dikelompokkan peralatan yang memberikan kontribusi arus hubung singkat berdasarkan domain waktu. Pengelompokan tersebut dapat dilihat pada table berikut [6]:

**Tabel 2.3** Pengelompokan Domain Waktu Untuk Perhitungan Modifikasi

Domain Waktu (detik)	Fasa Peralihan	Peralatan yang memberikan arus kontribusi hubung singkat
0-0,035	<i>Subtransient</i>	Utilitas, Generator dan motor sinkron, Motor induksi dengan rating di atas 1000 HP, Motor induksi dengan rating 50 HP sampai dengan 1000 HP, dan Motor induksi dengan rating di bawah 50 HP.
0,035-0,067	<i>Transient</i>	Utilitas, Generator dan motor sinkron, Motor Induksi dengan rating di atas 1000 HP, Motor Induksi dengan rating 50 sampai dengan 1000 HP
0,067-0,8	<i>Transient</i>	Utilitas, Generator dan motor sinkron, Motor Induksi dengan rating di atas 1000 HP
0,8-0,83	<i>Steady State</i>	Utilitas, Generator Sinkron
0,83-t (Waktu pemadaman busur api)	<i>Steady State</i>	Generator Sinkron

Kemudian untuk perhitungan energi busur api pada metode modifikasi dilakukan dengan menjumlahkan energi insiden pada tiap domain waktu, dapat dirumuskan sebagai berikut:

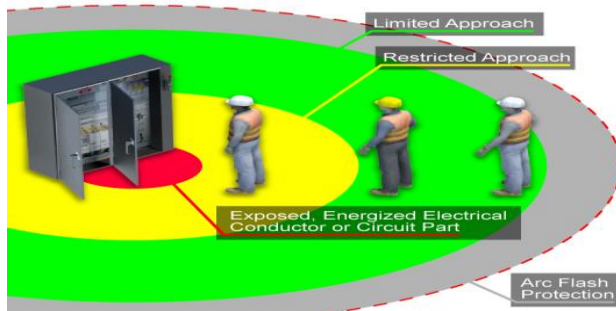
$$E_{total} = E_{0,035\ sec} + E_{0,08\ sec} + E_{0,8\ sec} + E_{t\ sec} \quad (2.9)$$

## 2.6. Perhitungan *Flash protection boundary*

Jarak aman yang ditentukan bagi pekerja digolongkan dalam batasan sebagai berikut:

- a. *Flash protection boundary*  
*Flash boundary protection* adalah jarak terjauh yang ditetapkan dari area sumber energi. Energi *arc flash* yang dihasilkan pada batasan ini dapat menyebabkan luka bakar apabila pekerja tidak menggunakan peralatan pelindung.
- b. *Limit Approach Boundary*  
 Pada batasan ini, dapat terjadi bahaya sengatan listrik dari konduktor.
- c. *Restricted Approach*  
 Pada batasan area ini hanya pekerja yang sudah berpengalaman yang diijinkan masuk. Pekerja tersebut boleh memasuki area ini dengan syarat menggunakan peralatan *safety*, seperti sarung tangan isolasi. Resiko bahaya tersengat listrik lebih besar dibandingkan jarak *limit approach boundary*.
- d. *Prohibited Approach* (batasan dalam)  
 Pada batasan ini pekerja dianggap sama dengan melakukan kontak langsung terhadap peralatan konduktor dimana energi *arc flash* terjadi.

Batasan-batasan ini untuk lebih jelasnya dideskripsikan pada gambar 2.8.



**Gambar 2. 8** Pendekatan Batasan yang Mengatur Jarak Aman Pekerja dengan Peralatan Bertegangan

Untuk perhitungan batasan yang aman bagi pekerja, dengan sistem tegangan dibawah 15 kV digunakan persamaan:



$$D_B = \left[ 4,184 \cdot C_f \cdot E_n \cdot \left( \frac{t}{0,2} \right) \left( \frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}} \quad (2.10)$$

Sedangkan untuk sistem tegangan di atas 15 kV, perhitungan batasan yang aman bagi pekerja adalah:

$$D_B = \sqrt{2,142 \cdot 10^6 \cdot V \cdot I_{bf} \cdot \left( \frac{t}{E_B} \right)} \quad (2.11)$$

Dimana

$D_B$  : jarak dari titik terjadinya busur api dalam milimeter,

$T$  : waktu dalam satuan detik,

$E_B$  : insiden energi dalam  $J/cm^2$  pada jarak batasan, senilai  $5 J/cm^2$  pada peralatan tanpa isolasi

## 2.7. Penentuan Personal Protective Equipment (PPE)

Setelah dapat menentukan besar energi *arc flash* atau busur api, energi tersebut dikelompokkan dalam kategori masing-masing, mengacu pada standar NFPA 70E 2015. Berikut ini pada tabel 2.4 menampilkan peralatan aman yang digunakan, baik *Personal Protective Clothing* (PPC) maupun peralatannya (PPE), sesuai kelompok kategori energi busur api yang dihasilkan [7] :

**Tabel 2.4** Pengelompokkan Kategori Resiko serta *Personal Protective Equipment* (PPE) sesuai NFPA 70 E 2015

Kategori Resiko	Level minimum energi busur api ( $Cal/cm^2$ )	PPE serta PPC yang digunakan
1	$4 \leq$	PPC: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kemeja lengan panjang dan celana yang tahan api atau penutup seluruh tubuh yang tahan api,</li> <li>• Jaket yang tahan api.</li> </ul> PPE: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Helm <i>safety</i>,</li> <li>• Sepatu <i>safety</i></li> <li>• Kacamata <i>safety</i>,</li> </ul>

**Tabel 2.4** Pengelompokan Kategori Resiko serta *Personal Protective Equipment* (PPE) sesuai NFPA 70 E 2015

Kategori Resiko	Level minimum energi busur api (Cal/cm <sup>2</sup> )	PPE serta PPC yang digunakan
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pelindung pendengaran,</li> <li>• Sarung tangan <i>safety</i></li> </ul>
2	8≤	<p>PPC:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kemeja lengan panjang dan celana yang tahan api atau penutup seluruh tubuh, pelindung wajah, dan balaclava.</li> <li>• Jaket yang tahan api.</li> </ul> <p>PPE :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Helm <i>safety</i>,</li> <li>• Kacamata <i>safety</i>,</li> <li>• Pelindung pendengaran,</li> <li>• Sarung tangan <i>safety</i></li> <li>• Sepatu <i>safety</i>.</li> </ul>
3	25≤	<p>PPC:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kemeja lengan panjang tahan api, celana yang tahan api, penutup seluruh tubuh yang tahan api, pelindung wajah yang tahan api,</li> <li>• Jaket yang tahan api.</li> </ul> <p>PPE :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Helm <i>safety</i>,</li> <li>• Kacamata <i>safety</i>,</li> <li>• Pelindung pendengaran,</li> <li>• Sepatu <i>safety</i>.</li> <li>• Sarung tangan <i>safety</i></li> </ul>

**Tabel 2.4** Pengelompokan Kategori Resiko serta *Personal Protective Equipment* (PPE) sesuai NFPA 70 E 2015

Kategori Resiko	Level minimum energi busur api (Cal/cm <sup>2</sup> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PPE serta PPC yang digunakan</li> </ul>
4	40≤	<p>PPC:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kemeja lengan panjang tahan api, celana yang tahan api, penutup seluruh tubuh yang tahan api,</li> <li>• Sarung tangan yang tahan api,</li> <li>• Jaket yang tahan api.</li> </ul> <p>PPE :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Helm safety, Kacamata safety,</li> <li>• Pelindung pendengaran, dan</li> <li>• Sepatu <i>safety</i>.</li> <li>• Sarung tangan.<i>safety</i></li> </ul>

Berikut ini pada gambar 2.9 menampilkan contoh perlengkapan perlindungan diri PPE yang disesuaikan dengan kategori level energi busur api.



(a) Kategori 1



(b) Kategori 2



(c) Kategori 3






(d) Kategori 4

**Gambar 2. 9** Peralatan Perlindungan diri atau *Personal Protective Equipment* (PPE) berdasarkan kategori energi, (a) kategori 1, (b) kategori 2, (c) kategori 3, (d) kategori 4

## 2.8. Pemberian Label *Arc Flash*

Pemberian label *arc flash* ini penting sebagai tanda peringatan bahaya akan adanya potensi busur api bagi para pekerja. Berikut ini, pada gambar 2.10, adalah contoh standar label *arc flash*:

 <b>DANGER</b>			
	<b>Arc Flash and Shock Hazard</b>		
	Arc Flash Boundary		m
	Incident Energy(cal/cm <sup>2</sup> )		
	Working Distance		cm
	Category PPE		
Shock Hazard Voltage	V AC		
Limited Approach	m		
Restricted Approach	m		
Equipment		05-26-2019	

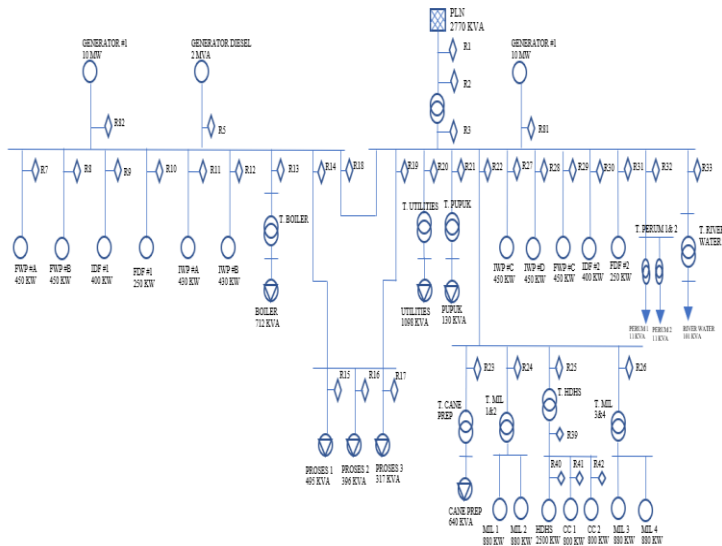
**Gambar 2. 10** Standar Label Arc Flash

# BAB III

## SISTEM KELISTRIKAN PT. INDUSTRI GULA GLENMORE

### 3.1. Sistem Kelistrikan PT. Industri Gula Glenmore

Untuk menjalankan kegiatan produksinya, PT. Industri Gula Glenmore mendesain sistem kelistrikannya dengan konfigurasi jaringan radial seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.1.



**Gambar 3. 1** Single Line Diagram PT. Industri Gula Glenmore

Pada PT. Industri Gula Glenmore, terdapat beberapa suplai daya listrik di antaranya dari PLN, 2 unit STG (*Steam Turbine Generator*), dan satu unit generator bahan bakar diesel. Dalam proses produksi gula terdapat dua musim, yaitu dikenal dengan istilah dalam musim giling tebu dan luar musim giling tebu. Dalam musim giling tebu artinya pabrik melakukan kegiatan produksi gula. Musim ini terjadi biasanya pada bulan Mei sampai November. Pada musim ini, 2 unit STG beroperasi untuk menyuplai daya listrik ke pabrik, sementara PLN dan generator diesel tidak beroperasi. Sementara itu di luar musim giling tebu pabrik tidak

melakukan kegiatan produksi gula, tetapi melakukan maintenance terhadap peralatan produksinya dan ini biasanya terjadi pada bulan Desember sampai dengan April. Sehingga saat luar musim tebu 2 unit STG tidak beroperasi melainkan, kebutuhan listrik pabrik hanya disuplai dari PLN dan generator diesel diatur dalam kondisi *stand by* sebagai *back up* apabila terjadi pemadam dari PLN. Saat hendak memasuki musim giling tebu, suplai dari PLN digunakan untuk penyalaan awal boiler, kemudian suplai PLN dihentikan dan digantikan oleh 2 unit STG kembali.

## **3.2. Data Kelistrikan PT. Industri Gula Glenmore**

### **3.2.1. Rating Tegangan**

Pada sistem kelistrikan PT. Industri Gula Glenmore, terdapat beberapa rating tegangan, di antaranya:

1. Tegangan 6,3 kV

Tegangan ini digunakan pada generator 1 dan generator 2, untuk menyuplai hampir seluruh beban yang ada di *plant*. Seluruh beban motor yang disuplai langsung dari bus 1 dan bus 2, tanpa melalui trafo, semuanya menggunakan tegangan 6,3 kV.

2. Tegangan 3,3 kV

Tegangan ini digunakan pada trafo HDHS & CUTTER. Trafo ini menyuplai 3 beban motor, yaitu HDHS, CC1, dan CC2.

3. Tegangan 0,69 kV

Tegangan ini digunakan dari 2 buah trafo yaitu Trafo MILL 1& 2 dan Trafo MILL 3& 4. Masing-masing trafo ini menyuplai 2 beban motor, yaitu motor MILL1, MILL 2 dan motor MILL 3, MILL 4.

4. Tegangan 0,4 kV

Tegangan ini digunakan pada beban *lumped load* maupun *static load* seperti boiler, utilities, pupuk, perum 1, perum 2, proses 1, proses 2, proses 3, serta *cane prep*.

### **3.2.2. Data Generator**

Ada 2 sumber penyuplai daya listrik utama yang terdapat pada PT. Industri Gula Glenmore, yaitu 2 unit STG (*Steam Turbine Generator*). Keduanya ini beroperasi pada saat musim giling tebu atau saat produksi

gula. Tabel 3.1 berikut ini menunjukkan kapasitas dari masing-masing generator.

**Tabel 3. 1** Data Generator

No	ID Generator	Kapasitas Pembangkitan	kV	% PF
1	Gen Shinko 1	10 MW	6,3	80
2	Gen Shinko 2	10 MW	6,3	80

### 3.2.3. Data Transformator

Terdapat beberapa level tegangan yang disediakan transformator yang terpasang di PT. Industri Gula Glenmore, serta memiliki kapasitas yang berbeda-beda. Tabel 3.2 berikut menunjukkan data transformator yang digunakan.

**Tabel 3. 2** Data Transformator

No	ID Trafo	Power Rating	kV
1	T.OLTC	8 MVA	20/6,3
2	T.Boiler	3 MVA	6,3/0,4
3	T.Utilities	1,6 MVA	6,3/0,4
4	T.Pupuk	630 kVA	6,3/0,4
5	T.Perum 1	250 kVA	6,3/0,4
6	T.Perum 2	250 kVA	6,3/0,4
7	T.Perum River Water	250 kVA	6,3/0,4
8	T.Proses 1	2,5 MVA	6,3/0,4
9	T.Proses 2	2 MVA	6,3/0,4
10	T.Proses 3	1,6 MVA	6,3/0,4
11	T.CANE PREP	3,5 MVA	6,3/0,4
12	T.MILL 1&2	3 MVA	6,3/0,69
13	T.HDHS & CUTTER	6 MVA	6,3/3,3
14	T.MILL 3&4	3 MVA	6,3/0,69

### 3.2.4. Data Beban

Pada PT. Industri Gula Glenmore, beban-beban yang terpasang memiliki kapasitas yang beragam. Dalam tugas akhir ini, beban-beban tersebut dikelompokkan dalam 3 kelompok yaitu, beban motor untuk yang memiliki kapasitas besar, beban *lumped load* untuk motor dengan

kapasitas yang kecil, dan beban *static load* untuk beban perumahan dan kantor

### 3.2.4.1. *Beban Motor*

Untuk kelompok beban motor merupakan kategori motor dengan kapasitas yang besar dan digunakan untuk keperluan produksi. Berikut ini adalah table 3.3 yang menampilkan kapasitas beban motor yang digunakan.

**Tabel 3. 3** Data Beban Motor

No	ID MOTOR	Kapasitas	Rating Tegangan (kV)
1	FEED WATER PUMP #A	450 KW	6,3
2	FEED WATER PUMP #B	450 KW	6,3
3	INDUSCHE DRAFT FAN #1	400 KW	6,3
4	FORCE DRAFT FAN #1	250 KW	6,3
5	INJECTION WATER PUMP #A	450 KW	6,3
6	INJECTION WATER PUMP #B	450 KW	6,3
7	INJECTION WATER PUMP #C	450 KW	6,3
8	INJECTION WATER PUMP #D	450 KW	6,3
9	FEED WATER PUMP #C	450 KW	6,3
10	INDUSCHE DRAFT FAN #2	400KW	6,3
11	FORCE DRAFT FAN #2	250 KW	6,3
12	MILL 1	880 KW	0,69
13	MILL 2	880 KW	0,69
14	HDHS	2500KW	3,3
15	CC1	800KW	3,3
16	CC2	800KW	3,3
17	MILL 3	880KW	0,69
18	MILL 4	880KW	0,69

### 3.2.4.2. *Lumped Load*

Yang termasuk dalam kategori *lumped load* adalah beban-beban motor dengan kapasitas yang kecil.

Berikut ini adalah table 3.4, yang menunjukkan kapasitas dari beban - beban yang termasuk *lumped load*.



**Tabel 3. 4** Data Lumped Load

No	ID Peralatan	Jenis Peralatan	Rating Tegangan (kV)	Rating Daya (kVA)
1	<i>Boiler</i>	<i>Lumped Load</i>	0,4	712
2	<i>Utilities</i>	<i>Lumped Load</i>	0,4	1098
3	<i>Pupuk</i>	<i>Lumped Load</i>	0,4	130
4	Proses 1	<i>Lumped Load</i>	0,4	495
5	Proses 2	<i>Lumped Load</i>	0,4	396
6	Proses 3	<i>Lumped Load</i>	0,4	317
7	<i>Cane Prep</i>	<i>Lumped Load</i>	0,4	640

**3.2.4.3. Static Load**

Beban *static load* adalah beban-beban seperti kantor maupun perumahan yang disuplai dari PT. Industri Gula Glenmore.

Berikut ini adalah data table 3.5 yang menunjukkan kapasitas beban *static load*.

**Tabel 3. 5** Data Static Load

No	ID Peralatan	Jenis Peralatan	Rating Tegangan (kV)	Rating Daya (kVA)
1	Perum 1	<i>Static Load</i>	0,4	11
2	Perum 2	<i>Static Load</i>	0,4	11
3	Perum River Water	<i>Static Load</i>	0,4	101

-Halaman ini sengaja dikosongkan-

## **BAB IV**

### **SIMULASI DAN ANALISA BUSUR API DI PT. INDUSTRI GULA GLENMORE**

Pada bab ini akan dibahas tentang setting koordinasi *relay* arus lebih pada kondisi *existing* dan insiden energi busur api yang ditimbulkan pada tegangan 6,3 kV, 3,3 kV, 0,69 kV dan 0,4 kV. Kemudian setting *relay* arus lebih kondisi *existing* dievaluasi, dan dilakukan tindakan *resetting* agar *relay* arus lebih dapat terkoordinasi dengan tepat. Kemudian dilakukan simulasi untuk mendapatkan besar energi busur api setelah dilakukan *resetting*. Energi busur api hasil simulasi dihitung menggunakan standar IEEE 1584-2002. Tetapi untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat, pada tugas akhir ini metode yang digunakan untuk menghitung insiden energi busur api adalah metode perhitungan yang dimodifikasi. Setelah itu akan ditentukan jarak aman bagi pekerja dan peralatan perlindungan yang tepat sesuai standar NFPA 70E 2015.

#### **4.1. Hasil Simulasi dan Analisa Energi Busur Api Kondisi *Existing***

Simulasi energi busur api dilakukan menggunakan *software* ETAP 12.6, yang mengacu pada standar IEEE 1584-2002. Sedangkan untuk pengelompokan kategori level busur api serta peralatan perlindungan diri atau PPE menggunakan standar NFPA 70E 2015. Simulasi dilakukan pada level tegangan 6,3 kV, 3,3 kV, 0,4 kV dan level tegangan 0,69 kV. Parameter simulasi yang akan ditampilkan pada sub bab ini berupa ID bus, nilai arus *bolted fault* yang dihasilkan, nilai arus *arc fault*, nilai *Fault Clearing Time* atau FCT, nilai insiden energi yang dihasilkan serta kategori level busur api. Untuk *working distance* atau jarak titik *arc flash* terhadap pekerja ditentukan sesuai tipikal pada standar IEEE 1584-2002, dimana untuk level tegangan 3,3 kV dan 6,3 kV yaitu 91,44 cm, sedangkan untuk level tegangan 0,4 kV dan 0,69 kV yaitu 45,72 cm. Berikut ini adalah data hasil simulasi energi busur api kondisi *existing* PT. Industri Gula Glenmore menggunakan *software* ETAP 12.6

**Tabel 4. 1** Data Hasil Simulasi Energi Busur Api Kondisi *Existing* di PT. Industri Gula Glenmore

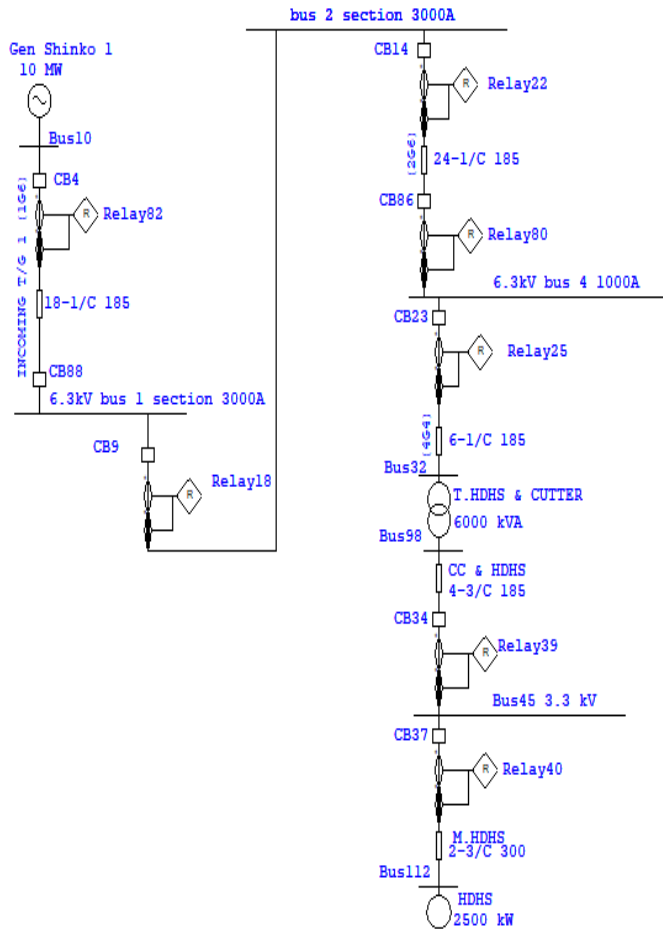
Bus ID	Arus Arcing (kA)	Arus Bolted (kA)	FCT (s)	Insiden Energi (cal/cm <sup>2</sup> )	Kategori
Bus 1 section 3000 A	19,16	19,98	0,12	3,297	N/A
Bus 2 section 3000 A	19,16	19,98	0,12	3,297	N/A
Bus 3 1000 A	18	18,75	0,12	3,081	N/A
Bus 4 1500 A	19,03	19,84	0,12	3,272	N/A
Bus 45 3,3 kV	15,92	16,55	1,356	25,22	3
Bus 34 0,4 kV	19,21	62,16	0,06	4,299	1
Bus 35 0,69 kV	33,58	40,82	0,45	56,047	4
Bus 37 0,69 kV	33,55	40,79	0,45	56,005	4

Berdasarkan hasil simulasi yang ditampilkan pada table 4.1, terdapat beberapa bus yang memiliki nilai insiden energi busur api yang tinggi yaitu dalam kategori 4 tetapi ada juga yang memiliki energi busur api yang sangat rendah di bawah kategori 1 yaitu N/A. Untuk itu perlu dilakukan evaluasi koordinasi *relay* arus lebih untuk mengetahui apakah koordinasi *relay* arus lebih sudah sesuai standar sekaligus dapat mempertimbangkan energi busur api yang dihasilkan.

#### **4.2. Evaluasi Koordinasi Relay Arus Lebih Gangguan Fasa**

Evaluasi koordinasi *relay* arus lebih gangguan fasa digunakan untuk mengetahui waktu pemutusan CB saat terjadi gangguan hubung singkat yang menyebabkan terjadinya insiden energi busur api. Langkah awal dilakukan dengan memperlihatkan koordinasi *relay* arus lebih pada kondisi *existing*. Koordinasi *relay* arus lebih kondisi *existing* diperlihatkan dengan melakukan plot setting *relay* arus lebih *existing* ke dalam kurva TCC atau *Time Current Characteristic*. Perangkat lunak yang digunakan untuk melakukan plot kurva TCC yaitu ETAP 12.6. Dari hasil plot kurva TCC, kemudian dapat diketahui apakah setting *relay* arus lebih yang terpasang di PT. Industri Gula Glenmore sudah terkoordinasi dengan tepat sesuai dengan standar atau tidak terkoordinasi dengan baik.

#### 4.2.1. Koordinasi Relay Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 1



**Gambar 4.1** Existing Tipikal 1

Kondisi tipikal 1 yang dipilih yaitu mulai dari generator 1, hingga sampai ke beban motor HDHS seperti yang terlihat pada gambar 4.1. Terdapat 7 relay yang terpasang mulai dari sumber generator 1 sampai ke motor HDHS pada kondisi *existing*. Relay-relay tersebut adalah relay 40, relay 39, relay 25, relay 80, relay 22, relay 18 dan relay 82. Pada gambar

4.1 terlihat letak pemasangan *relay* serta menunjukkan peralatan-peralatan yang dilindungi oleh *relay-relay* tersebut. Kemudian dilakukan plot kurva TCC sesuai dengan data setting *existing* pada *relay-relay* tersebut.

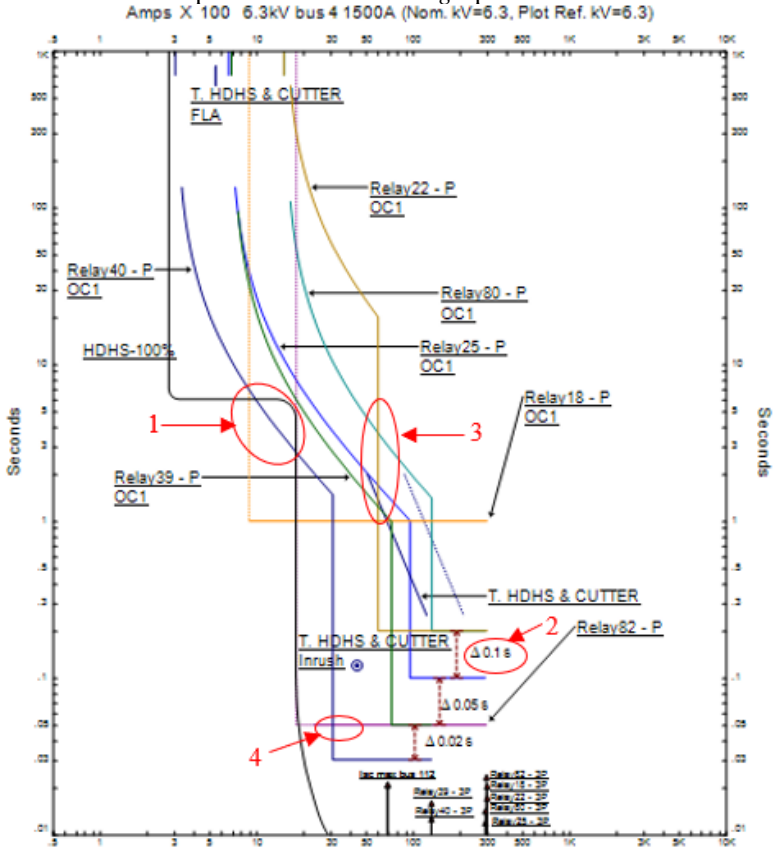
Data setting *relay existing* dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 4. 2** Data *Setting Existing* Tipikal 1

<b>Relay 40</b>	<b>Relay 39</b>	<b>Relay 25</b>
Siemens 7SJ80 CT Ratio 800/5 IEC Very Inverse <i>Pick up</i> = 3,44 (Sec-A) <i>Time dial</i> = 1 Instant =35 (Sec-A) <i>Time delay</i> =0,03 s	Siemens 7SJ80 CT Ratio 1250/5 IEC Very Inverse <i>Pick up</i> = 5,04 (Sec-A) <i>Time dial</i> = 0,7 Instant =53 (Sec-A) <i>Time delay</i> =0,05 s	Siemens 7SJ80 CT Ratio 600/5 IEC Very Inverse <i>Pick up</i> = 5,55 (Sec-A) <i>Time dial</i> = 1 Instant =80 (Sec-A) <i>Time delay</i> =0,1 s
<b>Relay 80</b>	<b>Relay 22</b>	<b>Relay 18</b>
Siemens 7SJ80 CT Ratio 1500/5 IEC Very Inverse <i>Pick up</i> = 5 (Sec-A) <i>Time dial</i> = 0,81 Instant =44 (Sec-A) <i>Time delay</i> =0,2 s	AREVA P127 CT Ratio 1500/5 IEC Long time <i>Pick up</i> = 1 (Prim-A) <i>Time dial</i> = 0,5 Instant = 4 (Prim -A) <i>Time delay</i> = 0,2 s	AREVA 142 CT Ratio 3000/5 Definite Time <i>Pick up</i> 0,3 (Prim-A) <i>Time dial</i> =1 Instant=1,2 (Prim-A) <i>Time delay</i> =1 s
<b>Relay 82</b>		
Mitsubishi CT Ratio 2000/5 Definite Time DT01 <i>Pick up</i> = 4,5 (Sec-A) <i>Time dial</i> = 0,25		

Pada table 4.2 dapat dilihat data setting *existing relay* serta manufaktur *relay* arus lebih yang digunakan oleh PT.Industri Gula Glenmore. Setelah data *existing* diinput ke dalam *software* ETAP 12.6, kemudian data setting *relay existing* diplot ke dalam kurva TCC.

Berikut ini adalah plot kurva TCC *existing* tipikal 1:



**Gambar 4. 2** Kurva TCC *Existing* Tipikal 1

Berdasarkan hasil plot kurva TCC *existing* tipikal 1 pada gambar 4.2, terdapat beberapa kesalahan pada setting *relay* arus lebih. Untuk lingkaran 1, terlihat bahwa kurva *relay* 40 memotong kurva starting motor. Hal ini akan mengganggu proses pengoperasian awal motor. Ketika hendak dilakukan starting pada motor HDHS, *relay* 40 akan bekerja dan menyebabkan trip pada motor HDHS. Untuk lingkaran 2, menunjukkan kesalahan dalam memberikan grading waktu operasi pada

*relay*. Grading waktu 0,1 s terlalu cepat dan tidak sesuai dengan standar yaitu 0,2-0,4 s.

Untuk lingkaran 3, dapat dilihat bahwa kurva *relay* 22 memotong kurva *relay* 80, serta *relay* lain yang ada di bawahnya. Begitu juga untuk lingkaran 4, dapat dilihat kurva *relay* generator 1 yaitu *relay* 82 memotong kurva *relay* 22, *relay* 18, dan *relay* 25. Hal ini dapat menyebabkan kesalahan urutan trip saat terjadi gangguan sehingga *relay* menjadi tidak selektif. Untuk itu perlu dilakukan *resetting* untuk mendapatkan koordinasi *relay* yang selektif dan sensitif dalam melokalisir gangguan dan sesuai dengan standar. Perhitungan *resetting* dilakukan sebagai berikut:

### ➤ **Relay 40**

<i>Manufacturer</i>	: <i>Siemens</i>
<i>Model</i>	: <i>7SJ80</i>
<i>Curve Type</i>	: <i>IEC Very Inverse</i>
FLA Motor HDHS	: 500 A
CT Rasio	: 800/5
Isc max saluran HDHS	: 11,87 kA
Isc min bus 112	: 7,43 kA

### **Time Overcurrent Pick up**

$$1,05 \times I \text{ FLA} < I \text{ set} < 1.4 \times I \text{ FLA}$$

$$1,05 \times 500 < I \text{ set} < 1.4 \times 500$$

$$525 \text{ A} < I \text{ set} < 700 \text{ A}$$

$$\frac{525}{n \text{ CT}} < I \text{ set} < \frac{700}{n \text{ CT}}$$

$$\frac{525}{800/5} < I \text{ set} < \frac{700}{800/5}$$

$$3,281 < I \text{ set} < 4,375$$

- Dipilih Tap: 3,44
- Dipilih Iset : 550,4 A

### **Time dial**

Waktu operasi ( $t_{op}$ ) : 0,1 s

$$T = \frac{t_{op} \times \left( \left( \frac{I_{sc \text{ max}}}{I_{pp}} \right) - 1 \right)}{13,5}$$



$$T = \frac{0,1x \left( \left( \frac{11870}{550,4} \right) - 1 \right)}{13,5} = 0,1523$$

Dipilih *Time dial* : 2.03

### **Instateuous**

1,6 x I FLA < Iset < 0,8 x Isc min

1,6 x 500 < I set < 0,8 x 7430

800 A < Iset < 5944 A

$\frac{800}{n CT} < Iset < \frac{5944}{n CT}$

$\frac{800}{800/5} < Iset < \frac{5944}{800/5}$

5 < Iset < 37,15

- Dipilih Tap: 22
- Dipilih Iset : 3520 A
- Dipilih *time delay* : 0,1 s

### ➤ **Relay 39**

<i>Manufacturer</i>	: SIEMENS
Model	: 7SJ80
<i>Curve Type</i>	: <i>IEC Very Inverse</i>
FLA Sekunder Trafo HDHS	: 1050 A
CT Rasio	: 1250/5 A
Isc max bus 45	: 10,28 kA
Isc min bus 45	: 7,47 kA

### **Time Overcurrent Pick up**

1,05 x I FLA < I set < 1.4 x I FLA

1,05 x 1050 A < I set < 1.4 x 1050 A

1102,5 A < Iset < 1470 A

$\frac{1102,5}{n CT} < Iset < \frac{1470}{n CT}$

$\frac{1102,5}{1250/5} < Iset < \frac{1470}{1250/5}$

4,41 < Iset < 5,88

- Dipilih Tap: 4,62
- Dipilih Iset : 1155 A

### Time dial

Waktu operasi ( $t_{op}$ ) =  $t_{op}$  relay 40+ waktu tunda

waktu tunda ( $\Delta t$ ) = 0,2 s

waktu operasi ( $t_{op}$ ) = 0,1 s + 0,2 s = 0,3 s

$$T = \frac{t_{op} \times \left( \left( \frac{I_{sc} \max}{I_{pp}} \right) - 1 \right)}{13,5}$$

$$T = \frac{0,3 \times \left( \left( \frac{10280}{1155} \right) - 1 \right)}{13,5} = 0,1755$$

Dipilih *Time dial* : 0.95

### Instantaneous

1,6 x I FLA < Iset < 0,8 x Isc min

1,6 x 1050 < I set < 0,8 x 7470

1680 A < Iset < 5976 A

$\frac{1680}{n CT} < Iset < \frac{5976}{n CT}$

$\frac{1680}{1250/5} < Iset < \frac{5976}{1250/5}$

6,72 < Iset < 23,904

- Dipilih Tap : 15,59
- Dipilih I set : 3898 A
- Dipilih *time delay* 0,3 s

### ➤ **Relay 25**

<i>Manufacturer</i>	: SIEMENS
Model	: 7SJ80
<i>Curve Type</i>	: IEC Very Inverse
FLA Primer Trafo HDHS	: 549,9 A
CT Rasio	: 600/5 A
Isc max bus 32	: 14,79 kA @6,3 kV
Isc min bus 32	: 8,1 kA @6,3 kV

Isc max bus 98  
Konversi ke HV

: 10,97 kA @3,3 kV  
:  $\frac{3,3}{6,3} \times 10,97 \text{ kA} = 5,74 \text{ kA}$

### Time Overcurrent Pick up

$$1,05 \times I \text{ FLA} < I \text{ set} < 1,4 \times I \text{ FLA}$$

$$1,05 \times 549,9 < I \text{ set} < 1,4 \times 549,9$$

$$577,395 \text{ A} < I \text{ set} < 769,86 \text{ A}$$

$$\frac{577,395}{\frac{n \text{ CT}}{600/5}} < I \text{ set} < \frac{769,86}{\frac{n \text{ CT}}{600/5}}$$

$$\frac{577,395}{600/5} < I \text{ set} < \frac{769,86}{600/5}$$

$$4,81 < I \text{ set} < 6,41$$

$$4,81 < I \text{ set} < 6,41$$

- Dipilih Tap : 5.17
- Dipilih Iset : 620.4 A

### Time dial

Waktu operasi ( $t_{op}$ ) dipilih 0,3 s.

$$T = \frac{t_{op} \times \left( \left( \frac{I_{sc \text{ max}}}{I_{pp}} \right) - 1 \right)}{13,5}$$

$$T = \frac{0,3 \times \left( \left( \frac{14790}{620,4} \right) - 1 \right)}{13,5} = 0,507$$

Dipilih *time dial* : 1,17

### Instantaneous

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

$$1,6 \times 549,9 < I \text{ set} < 0,8 \times 8100$$

$$879,84 \text{ A} < I \text{ set} < 6480 \text{ A}$$

$$\frac{879,84}{\frac{n \text{ CT}}{600/5}} < I \text{ set} < \frac{6480}{\frac{n \text{ CT}}{600/5}}$$

$$\frac{879,84}{600/5} < I \text{ set} < \frac{6480}{600/5}$$

$$7,33 < I \text{ set} < 54$$

$$7,33 < I \text{ set} < 54$$

- Dipilih Tap : 19.98
- Dipilih I set : 2398 A
- Dipilih *time delay* 0,3 s

➤ **Relay 80**

*Manufacturer* : SIEMENS  
*Model* : 7SJ80  
*Curve Type* : IEC Very Inverse  
*CT Rasio* : 1500/5 A  
*Isc max bus 4 1500 A* : 13.4 kA  
*Isc min bus 4 1500 A* : 4,07 kA

FLA feeder mil = FLA trafo cane prep + FLA trafo mil 1&2 +FLA trafo HDHS + FLA trafo mil 3&4

$$\text{FLA feeder mil} = \frac{(3500 + 3000 + 6000 + 3000) \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 6.3 \text{ kV}}$$

$$\text{FLA feeder mil} = 1420,46 \text{ A}$$

**Time Overcurrent Pick up**

$$I_{\text{set}} = 0.7 \times \text{FLA feeder mil}$$

$$I_{\text{set}} = 0,7 \times 1420,46 \text{ A}$$

$$I_{\text{set}} = 990 \text{ A}$$

$$I_{\text{set}} = \frac{990 \text{ A}}{990 \text{ A}}$$

$$I_{\text{set}} = \frac{nCT}{1500/5}$$

$$I_{\text{set}} = 3,3 \text{ A}$$

- Dipilih Tap : 3,3
- Dipilih I set : 990 A

**Time dial**

$$\text{Waktu operasi } (t_{\text{op}}) = t_{\text{op relay}} 25 + \text{waktu tunda}$$

$$\text{waktu tunda } (\Delta t) = 0,2 \text{ s}$$

$$\text{waktu operasi } (t_{\text{op}}) = 0,3 \text{ s} + 0,2 \text{ s} = 0,5 \text{ s}$$

$$T = \frac{t_{\text{op}} \times \left( \left( \frac{I_{\text{sc max}}}{I_{\text{pp}}} \right) - 1 \right)}{13,5}$$

$$T = \frac{0,5 \times \left( \left( \frac{13400}{990} \right) - 1 \right)}{13,5} = 0.46$$

Dipilih *Time dial* : 0.7

### Instantaneous

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

$$1,6 \times 1420,46 < I_{set} < 0,8 \times 4070$$

$$2272,8 \text{ A} < I_{set} < 3256 \text{ A}$$

$$\frac{2272,8}{\frac{n_{CT}}{2272,8}} < I_{set} < \frac{3256}{\frac{n_{CT}}{3256}}$$

$$\frac{1500/5}{1500/5} < I_{set} < \frac{1500/5}{1500/5}$$

$$7,572 < I_{set} < 10,853$$

- Dipilih Tap : 9
- Dipilih I set : 2700 A
- Dipilih *time delay* 0,5 s

### ➤ **Relay 22**

*Manufacturer* : AREVA

*Model* : MICOM P127

*Curve Type* : IEC Very Inverse

*CT Rasio* : 1500/5 A

*Isc max bus 4 1500 A* : 13,51 kA

*Isc min bus 4 1500 A* : 4,07 kA

FLA feeder mil = FLA trafo cane prep + FLA trafo mil 1&2 + FLA trafo HDHS + FLA trafo mil 3&4

$$\text{FLA feeder mil} = \frac{(3500 + 3000 + 6000 + 3000) \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 6,3 \text{ kV}} = 1420,46 \text{ A}$$

### Time Overcurrent Pick up

$$I_{set} = 0,7 \times \text{FLA feeder mil}$$

$$I_{set} = 0,7 \times 1420,46 \text{ A}$$

$$I_{set} = 990 \text{ A}$$

$$I_{set} = \frac{990 \text{ A}}{n_{CT}}$$

$$I_{set} = \frac{990 \text{ A}}{1500/CT \text{ sekunder}}$$

$$I_{set} = 0,66 \text{ A}$$

- Dipilih Tap : 0,66
- Dipilih I set : 990 A

### Time dial

Waktu operasi dipilih 0,5 s.

$$T = \frac{t_{op} \times \left( \left( \frac{I_{sc \max}}{I_{pp}} \right) - 1 \right)}{80}$$
$$T = \frac{0,5 \times \left( \left( \frac{13510}{990} \right) - 1 \right)}{13.5} = 0,468$$

Dipilih *Time dial* : 0,7

### Instantaneous

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

$1,6 \times 1420,46 < I_{set} < 0,8 \times 4070$

$2272,8 \text{ A} < I_{set} < 3256 \text{ A}$

$\frac{2272,8}{n \text{ CT}} < I_{set} < \frac{3256}{n \text{ CT}}$

$\frac{2272,8}{1500/\text{CT sekunder}} < I_{set} < \frac{3256}{1500/\text{CT sekunder}}$

$1.515 < I_{set} < 2.1706$

- Dipilih Tap : 1.8
- Dipilih I set : 2700 A
- Dipilih *time delay* 0,5 s

### ➤ **Relay 18**

*Manufacturer* : AREVA  
*Model* : MICOM P142  
*Curve Type* : IEC Standard Inverse  
*FLA Generator 1* : 1146 A  
*CT Rasio* : 3000/5 A  
*Isc max bus 1 section* : 9,73 kA  
*Isc min bus 2 section* : 4.08 kA

### Time Overcurrent Pick up

$1,05 \times I \text{ FLA} < I_{set} < 1,4 \times I \text{ FLA}$

$1,05 \times 1146 < I_{set} < 1,4 \times 1146$

$1203,3 \text{ A} < I_{set} < 1604,4 \text{ A}$

$$\frac{1203,3}{n CT} < Iset < \frac{1604,4}{n CT}$$

$$\frac{1203,3}{3000/CT \text{ sekunder}} < Iset < \frac{1604,4}{3000/CT \text{ sekunder}}$$

$$0,4 < Iset < 0,534$$

- Dipilih Tap : 0,41
- Dipilih Iset : 1230 A

### Time dial

Waktu operasi ( $t_{op}$ ) =  $t_{op \text{ relay } 22}$  + waktu tunda waktu tunda ( $\Delta t$ ) = 0,2 s

Waktu operasi = 0,5 s + 0,2 s = 0,7s

$$T = \frac{t_{op} \times \left( \left( \frac{I_{sc \text{ max}}}{I_{pp}} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14}$$

$$T = \frac{0,7 \times \left( \left( \frac{9730}{1230} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14} = 0,211$$

Dipilih *Time dial* : 0,9

### Instantaneous

1,6 x I FLA < Iset < 0,8 x Isc min

1,6 x 1146 A < I set < 0,8 x 4080

1833,6 A < Iset < 3264 A

$$\frac{1833,6}{n CT} < Iset < \frac{3264}{n CT}$$

$$\frac{1833,6}{3000/CT \text{ sekunder}} < Iset < \frac{3264}{3000/CT \text{ sekunder}}$$

$$0,61 < Iset < 1,088$$

- Dipilih Tap : 1,08
- Dipilih I set : 3240 A
- Dipilih *time delay* 0,7 s

### ➤ **Relay 82**

*Manufacturer* : MITSUBISHI

*Model* : C0C4-A02D1

Curve Type : Very Inverse VI01  
 FLA Feeder Mil : 1146 A  
 CT Rasio : 2000/5 A  
 I<sub>sc</sub> max bus 1 section : 6,02 kA  
 I<sub>sc</sub> min bus 1 section : 4,08 kA

**Time Overcurrent Pick up**

$$1,05 \times I_{FLA} < I_{set} < 1.4 \times I_{FLA}$$

$$1,05 \times 1146 < I_{set} < 1.4 \times 1146$$

$$1203,3 \text{ A} < I_{set} < 1604,4 \text{ A}$$

$$1203,3 < I_{set} < \frac{1604,4}{n_{CT}}$$

$$\frac{1203,3}{\frac{n_{CT}}{2000/5}} < I_{set} < \frac{1604,4}{\frac{n_{CT}}{2000/5}}$$

$$3 < I_{set} < 4,01$$

- Dipilih Tap : 3,15
- Dipilih Iset : 1260 A

**Time dial**

Waktu operasi ( $t_{op}$ ) =  $t_{op}$  relay 18 + waktu tunda

waktu tunda ( $\Delta t$ ) = 0,2 s

waktu operasi ( $t_{op}$ ) = 0,7 s + 0,2 s = 0,9 s

$$t_{op} = \frac{\left( \left( \frac{I_{sc \max}}{I_{pp}} \right) - 1 \right)}{13,5} \times \frac{M}{10}$$

$$M = \frac{t_{op} \times 10 \times \left( \left( \frac{I_{sc \max}}{I_{pp}} \right) - 1 \right)}{13,5}$$

$$M = \frac{0,9 \times 10 \times \left( \left( \frac{6020}{1260} \right) - 1 \right)}{13,5} = 2,518$$

Dipilih Time dial : 12

**Instantaneous**

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

$$1,6 \times 1146 \text{ A} < I_{set} < 0,8 \times 4080$$

$$1833,6 \text{ A} < I_{set} < 3264 \text{ A}$$



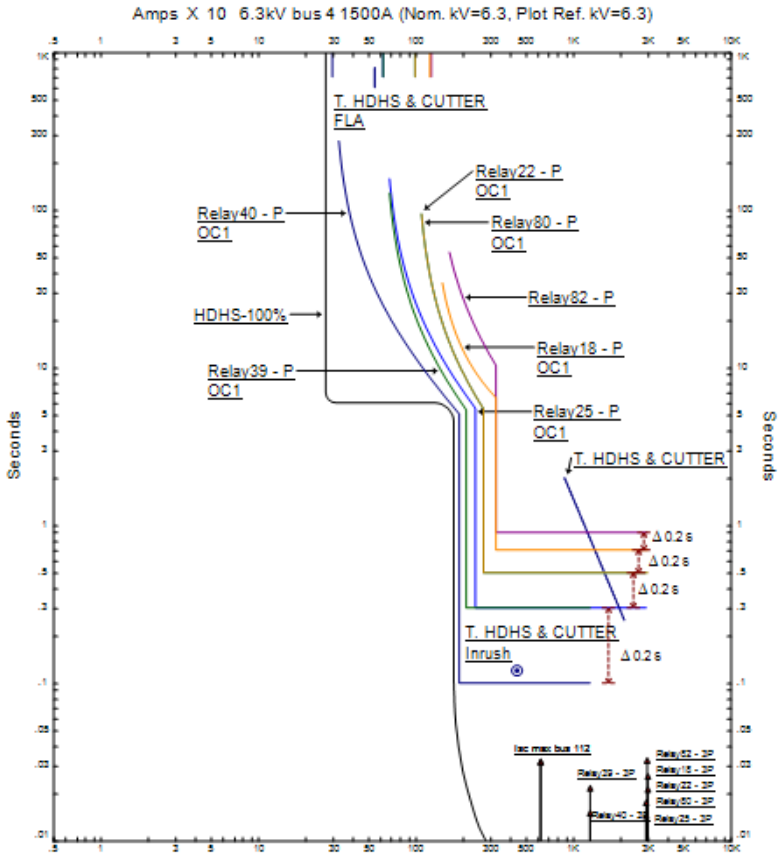
$$\frac{1833,6}{n_{CT}} < I_{set} < \frac{3264}{n_{CT}}$$

$$\frac{1833,6}{2000/5} < I_{set} < \frac{3264}{2000/5}$$

$$4,58 < I_{set} < 8,16$$

- Dipilih Tap : 8,1
- Dipilih I set : 3240 A
- Dipilih *time delay* 0,9 s

Hasil *resetting* relay kemudian diplot ke dalam kurva TCC, seperti pada gambar 4.3 berikut:



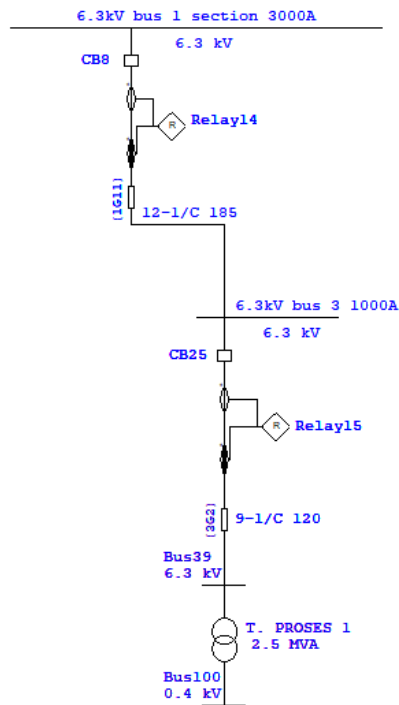
**Gambar 4. 3** Kurva TCC *Resetting* Tipikal 1

Pada gambar 4.3, terlihat bahwa kurva *relay* 40 sudah tidak lagi memotong kurva starting motor HDHS. Untuk *relay* 25 dan *relay* 39 berfungsi sebagai pelindung trafo HDHS dan bekerja pada waktu operasi yang sama yaitu 0,3 detik. Hal ini diperbolehkan karena *relay* 25 dan *relay* 39 berada pada satu saluran. Di sisi lain nilai arus hubung singkat maksimum di sisi tegangan rendah trafo HDHS memang lebih besar dari arus hubung singkat minimum di sisi tegangan tingginya, karena dalam pola operasinya harus menggunakan 2 sumber generator. Tetapi karena dibatasi oleh arus hubung singkat minimum dari masing-masing sumber

generator sehingga pada *relay* 25 tidak dapat dilakukan reset waktu operasi ke 0,1 detik, dan karena *relay* 25 dan *relay* 39 berada dalam satu saluran maka dipilih waktu operasi yang sama.

Untuk bagian *inrush trafo* HDHS berada di bawah kurva *relay* 25, artinya *relay* 25 tidak akan bekerja pada saat awal trafo diberi *energize*. Kemudian pada kurva *damage curve* trafo terlihat ada bagian yang tidak terlindungi oleh *relay* 25 dan *relay* 39, tetapi hal ini diperbolehkan karena bagian yang tidak terlindungi tersebut berada di luar daerah gangguan hubung singkat. Untuk *grading* waktu hasil *resetting* sudah memenuhi standar yaitu 0,2 detik, dan sudah tidak lagi terdapat kurva yang saling berpotongan. Dengan demikian *relay* dapat bekerja secara sensitif, selektif dan sesuai dengan urutan yang tepat.

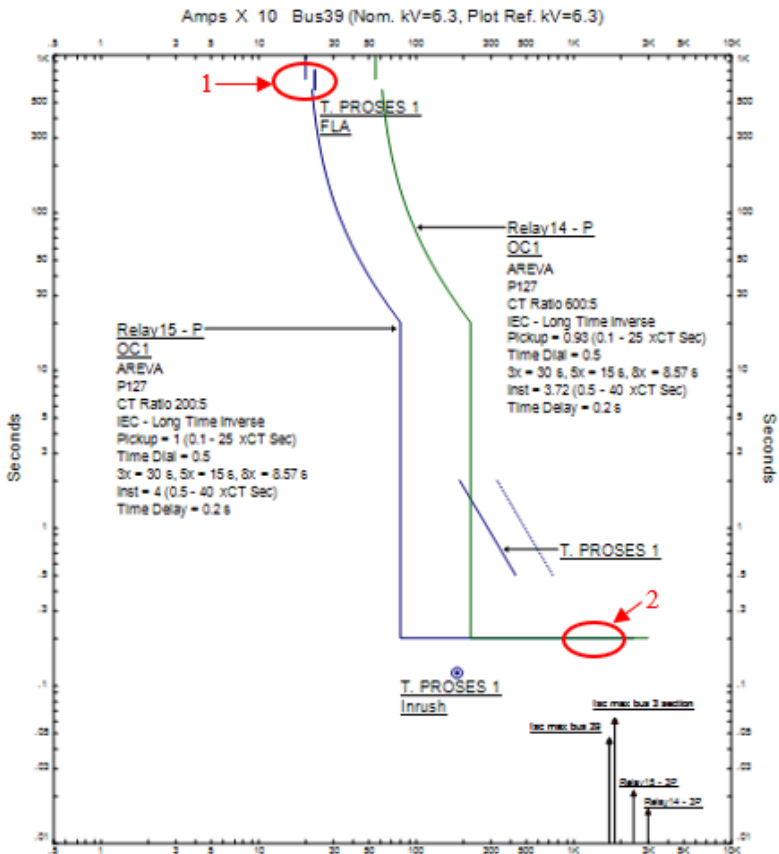
#### 4.2.2. Koordinasi Relay Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 2



Gambar 4. 4 Existing Tipikal 2

Untuk tipikal 2 ditampilkan pada gambar 4.4, dipilih mulai dari *feeder* to bus 3 atau 1G11, sampai ke trafo proses 1. Terdapat dua *relay* yang terpasang, yaitu *relay* 14 di bagian *feeder* 1G11, dan *relay* 15 di bagian *feeder* trafo proses 1 seperti yang ditunjukkan gambar 4.4. Setelah kedua *relay* tersebut disetting sesuai data *existing*, maka dilakukan plot kurva TCC.

Berikut ini adalah gambar 4.5, hasil plot kurva TCC *existing* tipikal 2:



Gambar 4. 5 Kurva TCC Existing Tipikal 2

Gambar 4.5 menunjukkan hasil plot kurva TCC pada *existing* tipikal 2, dan menampilkan data setting *relay* 14 dan 15. Terlihat beberapa kesalahan dalam setting *relay* 14 dan *relay* 15. Lingkaran 1, menunjukkan kurva *relay* 15 memotong FLA dari trafo proses 1. Sehingga apabila trafo proses 1 bekerja sesuai rating arus nominalnya maka *relay* 15 akan bekerja dan menyebabkan trip pada *feeder* proses 1. Lingkaran 2 menunjukkan kesalahan waktu operasi antara *relay* 14 dan *relay* 15. *Relay* 14 dan *relay* 15 bekerja pada waktu operasi yang sama yaitu 0,2 detik. Apabila terjadi gangguan di sisi *feeder* trafo proses 1, maka *relay* 14 juga akan langsung trip bersamaan dengan *relay* 15. Setting tersebut tidak tepat karena seharusnya *relay* 14 berfungsi sebagai pengaman *back up relay* 15. Dengan demikian *relay* 14 harus disetting menggunakan *grading* waktu sesuai standar yang ada. Untuk mendapatkan koordinasi yang tepat maka dilakukan *resetting* dengan perhitungan sebagai berikut:

### ➤ **Relay 15**

<i>Manufacturer</i>	: AREVA
Model	: MICOM P127
<i>Curve Type</i>	: IEC Standard Inverse
FLA Primer Trafo Proses 1:	229,1 A
CT Rasio	: 200/5 A
Isc max saluran 3G2	: 15,66 kA @6,3 kV
Isc min bus 39	: 3.96 kA @6,3 kV
Isc max bus 100	: 43,25 kA @0,4 kV
Konversi ke HV	: $\frac{0,4}{6,3} \times 43,25 \text{ kA} = 2,75 \text{ kA}$

### **Time Overcurrent Pick up**

$$1,05 \times I_{FLA} < I_{set} < 1.4 \times I_{FLA}$$

$$1,05 \times 229,1 < I_{set} < 1.4 \times 229,1$$

$$240,55 \text{ A} < I_{set} < 320,74 \text{ A}$$

$$\frac{240,55}{n \text{ CT}} < I_{set} < \frac{320,74}{n \text{ CT}}$$

$$\frac{240,55}{200/\text{CT sekunder}} < I_{set} < \frac{320,74}{200/\text{CT sekunder}}$$

$$1,2027 < I_{set} < 1,6037$$

- Dipilih Tap : 1,26
- Dipilih Iset : 252 A

### Time dial

Waktu operasi dipilih 0,1 s

$$T = \frac{t_{op} \times \left( \left( \frac{I_{sc \max}}{I_{pp}} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14}$$

$$T = \frac{0,1 \times \left( \left( \frac{15660}{252} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14} = 0,0615$$

Dipilih *Time dial* : 0,175

### Instantaneous

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

$1,6 \times 229,1 < I_{set} < 0,8 \times 3960$

$366,56 \text{ A} < I_{set} < 3168 \text{ A}$

$$\frac{366,56}{n \text{ CT}} < I_{set} < \frac{3168}{n \text{ CT}}$$

$$\frac{200/\text{CT sekunder}}{366,56} < I_{set} < \frac{3168}{200/\text{CT sekunder}}$$

$1,83 < I_{set} < 15,84$

- Dipilih Tap : 14,5
- Dipilih I set : 2900 A
- Dipilih *time delay* 0,1 s

### ➤ **Relay 14**

*Manufacturer* : AREVA

*Model* : MICOM P127

*Curve Type* : IEC Standard Inverse

*CT Rasio* : 600/5 A

*Isc max bus 3 1000 A* : 16,44 kA

*Isc min bus 3 1000 A* : 4.03 kA

*FLA = FLA trafo proses 1 + FLA trafo proses 2 + FLA trafo proses 3*

$$FLA = \frac{(2500 + 2000 + 1600) \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 6.3 \text{ kV}}$$

*FLA = 559 A*

### Time Overcurrent Pick up

$$1,05 \times I_{FLA} < I_{set} < 1,4 \times I_{FLA}$$

$$1,05 \times 559 < I_{set} < 1,4 \times 559$$

$$586,95 \text{ A} < I_{set} < 782,6 \text{ A}$$

$$\frac{586,95}{n \text{ CT}} < I_{set} < \frac{782,6}{n \text{ CT}}$$

$$\frac{586,95}{600/\text{CT sekunder}} < I_{set} < \frac{782,6}{600/\text{CT sekunder}}$$

$$0,98 < I_{set} < 1,304$$

- Dipilih Tap : 1,02
- Dipilih Iset : 612 A

### Time dial

$$\text{Waktu operasi } (t_{op}) = t_{op \text{ relay}} + \text{waktu tunda}$$

$$\text{waktu tunda } (\Delta t) = 0,2 \text{ s}$$

$$\text{waktu operasi } (t_{op}) = 0,1 \text{ s} + 0,2 \text{ s} = 0,3 \text{ s}$$

$$T = \frac{t_{op} \times \left( \left( \frac{I_{sc \text{ max}}}{I_{pp}} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14}$$

$$T = \frac{0,3 \times \left( \left( \frac{16440}{612} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14} = 0,1457$$

Dipilih *Time dial* : 0,5

### Instantaneous

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

$$1,6 \times 559 < I_{set} < 0,8 \times 4030$$

$$894,4 \text{ A} < I_{set} < 3224 \text{ A}$$

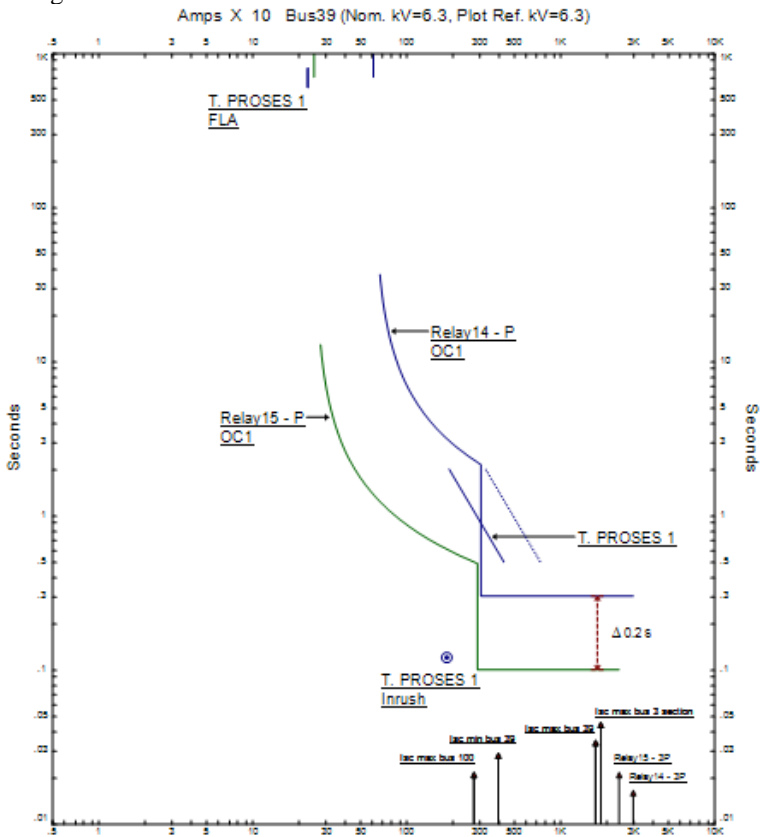
$$\frac{894,4}{n \text{ CT}} < I_{set} < \frac{3224}{n \text{ CT}}$$

$$\frac{894,4}{600/\text{CT sekunder}} < I_{set} < \frac{3224}{600/\text{CT sekunder}}$$

$$1,49 < I_{set} < 5,373$$

- Dipilih Tap : 5,1
- Dipilih I set : 3060 A
- Dipilih *time delay* 0,3 s

Setelah dilakukan *resetting* pada tipikal 2 maka dilakukan plot kurva TCC sebagai berikut:

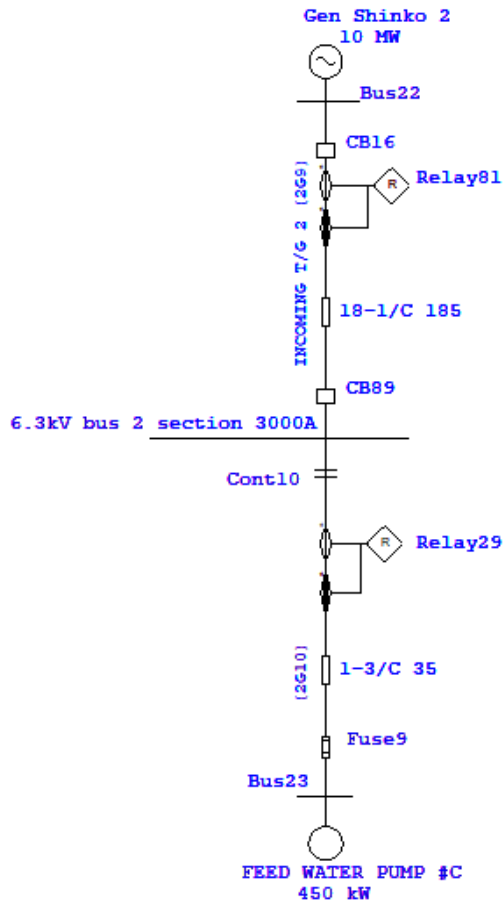


**Gambar 4. 6** Plot Kurva TCC Hasil *Resetting* Tipikal 2

Dari gambar 4.6, dapat dilihat bahwa *relay 15* sudah tidak lagi memotong FLA trafo proses 1. Waktu operasi antara *relay 15* dan *relay 14* tidak lagi beroperasi bersamaan tetapi sudah dikoordinasikan dengan grading sesuai standar yaitu 0,2 detik. Apabila terjadi gangguan di feeder trafo proses 1, *relay 14* dapat menjadi *back up* dari *relay 15*. Bagian *inrush* trafo proses 1, berada di bawah kurva *relay 15* sehingga tidak mengganggu *energize* awal trafo. Bagian *damage curve* trafo proses 1 juga sudah terlindungi oleh *relay 15*.

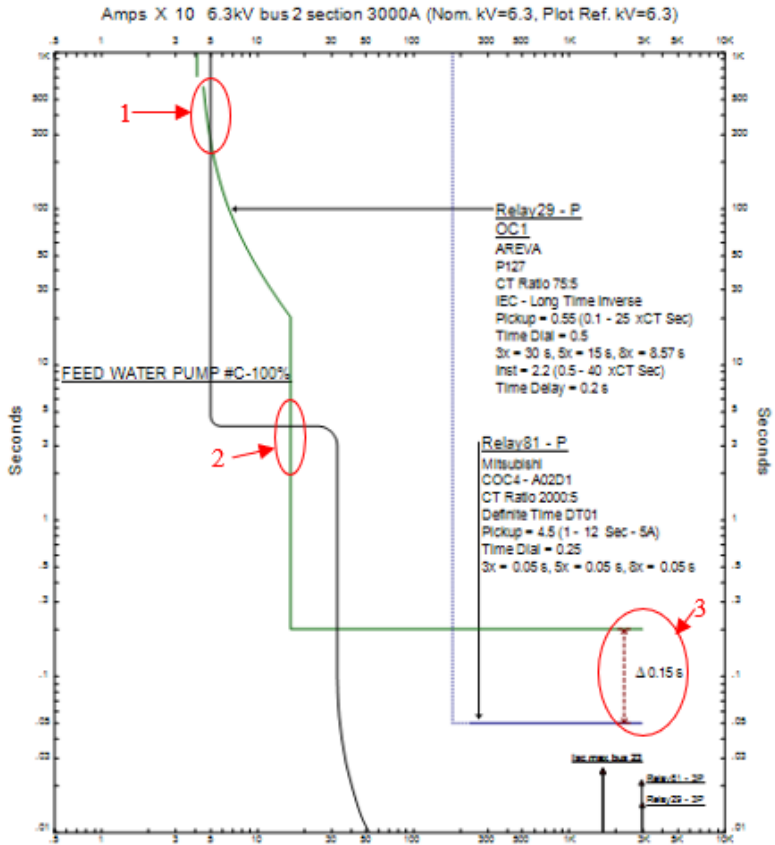


### 4.2.3. Koordinasi *Relay* Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 3



Gambar 4. 7 Existing Tipikal 3

Tipikal 3 merupakan kordinasi *relay* arus lebih mulai dari generator 2 hingga ke beban motor *feed water pump* #C seperti yang terlihat pada gambar 4.7. Terdapat 2 *relay* arus lebih yang terpasang yaitu *relay* 29, dan *relay* 81. Data setting *relay-relay* ini kemudian diplot ke dalam kurva TCC seperti berikut:



**Gambar 4. 8** Kurva TCC Existing Tipikal 3

Gambar 4.8 menunjukkan hasil plot kurva TCC pada *existing* tipikal 3, dan menampilkan data setting *existing relay* 29 dan *relay* 81. Dari hasil plot dapat dilihat beberapa kesalahan dalam setting *relay* arus lebih pada *existing* tipikal 3. Lingkaran 1 dan 2, menunjukkan bahwa kurva *relay* 29 tidak hanya memotong memotong FLA motor *feed water pump* #C tetapi juga kurva starting dari motor tersebut. Ini merupakan kesalahan dalam penyetingan *relay* arus lebih karena saat pengoperasian awal pada motor, *relay* 29 akan bekerja dan menyebabkan motor tidak dapat beroperasi. Tidak hanya mengganggu pengoperasian awal motor tetapi juga

mengganggu operasi *full load* dari motor sehingga motor tidak dapat beroperasi sesuai rating arus nominalnya .

Lingkar 3 menunjukkan bahwa kurva dari *relay* 81 memotong *relay* 29 dengan grating 0,15 detik. Hal ini menyebabkan *relay* menjadi tidak selektif dalam bekerja. Seperti yang terlihat pada gambar 4.8, *relay* 81 berada di sisi sumber generator 2, sedangkan *relay* 29 berada di sisi beban. Artinya jika terjadi gangguan di sisi feeder beban, maka *relay* yang pertama kali bekerja adalah *relay* 81 yang berada di generator 2. Hal ini merupakan kesalahan dalam penyetingan *relay*, yang menyebabkan urutan trip *relay* menjadi tidak tepat. Untuk itu perlu dilakukan *resetting* koordinasi *relay* arus lebih pada tipikal 3. *Resetting* dilakukan dengan perhitungan sebagai berikut:

➤ **Relay 29**

<i>Manufacturer</i>	: AREVA
Model	: MICOM P127
<i>Curve Type</i>	: IEC Standar Inverse
FLA	: 50,42 A
CT Rasio	: 75/5 A
Isc max saluran 2G10	: 16,48 kA
Isc min bus 23	: 3,98 kA

**Time Overcurrent Pick up**

$$1,05 \times I_{FLA} < I_{set} < 1.4 \times I_{FLA}$$

$$1,05 \times 50,42 < I_{set} < 1.4 \times 50,42$$

$$52,94 \text{ A} < I_{set} < 70,58 \text{ A}$$

$$\frac{52,94}{n \text{ CT}} < I_{set} < \frac{70,58}{n \text{ CT}}$$

$$\frac{52,94}{75/CT \text{ sekunder}} < I_{set} < \frac{70,58}{75/CT \text{ sekunder}}$$

$$0,706 < I_{set} < 0,941$$

- Dipilih Tap : 0,74
- Dipilih Iset : 55,5 A

**Time dial**

Waktu operasi dipilih 0,1 s

$$T = \frac{t_{op} \times \left( \left( \frac{I_{sc} \text{ max}}{I_{pp}} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14}$$

$$T = \frac{0,1 \times \left( \left( \frac{16480}{55,5} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14} = 0,0861$$

Dipilih *Time dial* : 1,05

### **Instantaneous : Disabled**

#### **Fuse**

Dipilih fuse dengan rating:

Setting pemilihan fuse:  $2x \text{ I FLA} < \text{Inominal fuse} < 5x \text{ I FLA}$

Inominal fuse =  $2,5 \times \text{I FLA motor feed water pump C}$

Inominal fuse =  $2,5 \times 50,42 = 126,05 \text{ A}$

Inominal fuse dipilih = 125 A

#### ➤ **Relay 81**

<i>Manufacturer</i>	: MITSUBISHI
<i>Model</i>	: C0C4-A02D1
<i>Curve Type</i>	: <i>Very Inverse VI01</i>
<i>FLA Feeder Mil</i>	: 1146 A
<i>CT Rasio</i>	: 2000/5 A
<i>Isc max</i>	: 6,02 kA
<i>Isc min</i>	: 4,08 kA

#### **Time Overcurrent Pick up**

$1,05 \times \text{I FLA} < \text{I set} < 1,4 \times \text{I FLA}$

$1,05 \times 1146 < \text{I set} < 1,4 \times 1146$

$1203,3 \text{ A} < \text{Iset} < 1604,4 \text{ A}$

$1203,3 < \text{Iset} < 1604,4$

$\frac{n \text{ CT}}{1203,3} < \text{Iset} < \frac{n \text{ CT}}{1604,4}$

$\frac{2000/5}{2000/5} < \text{Iset} < \frac{2000/5}{2000/5}$

$3 < \text{Iset} < 4,01$

- Dipilih Tap : 3,15
- Dipilih Iset : 1260 A

### Time dial

Waktu operasi ( $t_{op}$ ) =  $t_{op}$  relay 22 + waktu tunda

waktu tunda ( $\Delta t$ ) = 0,2 s

waktu operasi ( $t_{op}$ ) = 0,5 s + 0,2 s = 0,7 s

$$t_{op} = \frac{\left( \left( \frac{I_{sc} \max}{I_{pp}} \right) - 1 \right)}{13,5} \times \frac{M}{10}$$

$$M = \frac{t_{op} \times 10 \times \left( \left( \frac{I_{sc} \max}{I_{pp}} \right) - 1 \right)}{13,5}$$

$$M = \frac{0,7 \times 10 \times \left( \left( \frac{6020}{1260} \right) - 1 \right)}{13,5} = 1,959$$

Dipilih *Time dial* : 9

### Instantaneous

1,6 x I FLA < Iset < 0,8 x Isc min

1,6 x 1146 A < I set < 0,8 x 4080

1833,6 A < Iset < 3264 A

1833,6 < Iset < 3264

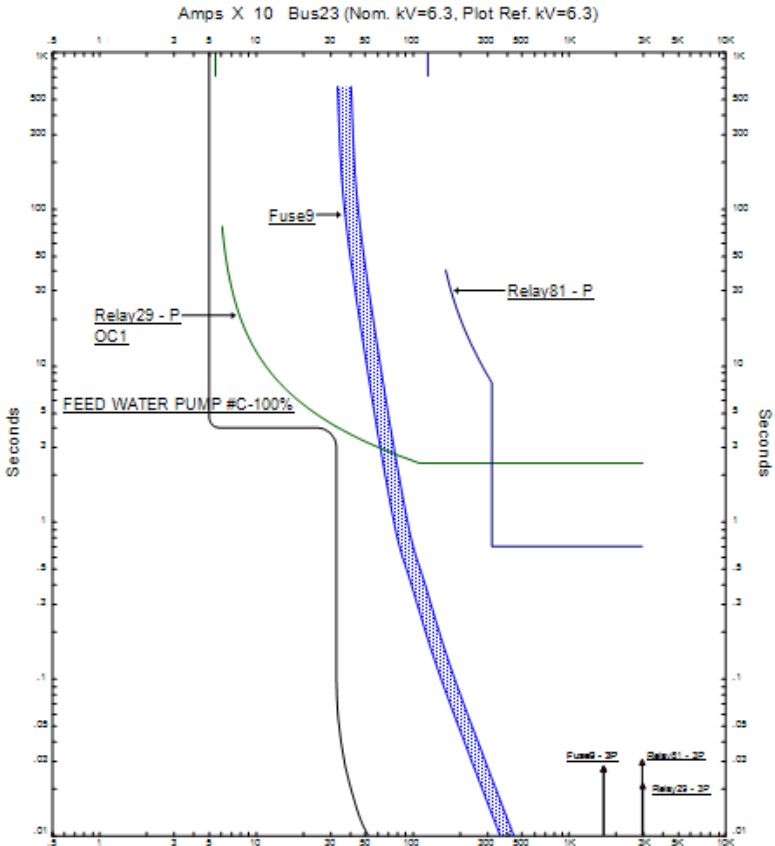
$\frac{n CT}{1833,6} < Iset < \frac{n CT}{3264}$

$\frac{2000/5} < Iset < \frac{2000/5}$

4,58 < Iset < 8,16

- Dipilih Tap : 8,1
- Dipilih I set : 3240 A
- Dipilih *time delay* 0,7 s

Hasil *resetting* dari tipikal 3 diplot dalam kurva TCC seperti gambar 4.9 berikut:

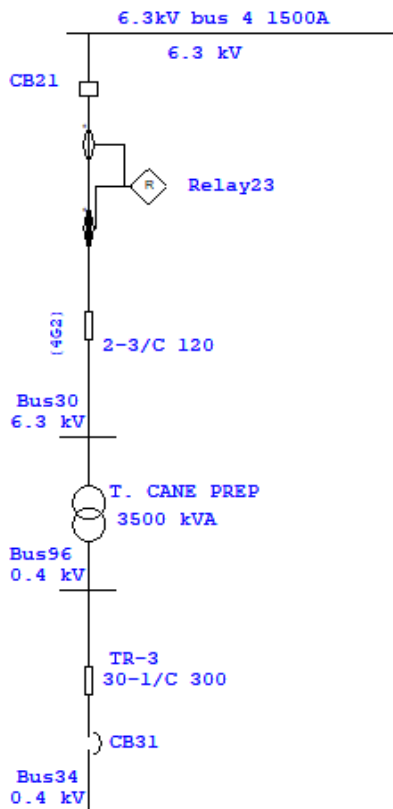


**Gambar 4.9** Kurva TCC *Resetting* Tipikal 3

Berdasarkan hasil plot kurva TCC yang ditunjukkan gambar 4.9, dapat dilihat bahwa kurva *relay* tidak lagi memotong FLA motor dan kurva starting motor *feed water pump #C*. Pada kondisi *existing*, di bagian feeder motor *feed water pump #C* tidak terdapat pengaman fuse dan hanya menggunakan kontaktor. Kontaktor tidak dapat digunakan untuk memutus arus gangguan hubung singkat, karena arus gangguan hubung singkat tersebut lebih besar dari kemampuan breaking dari kontaktor yang

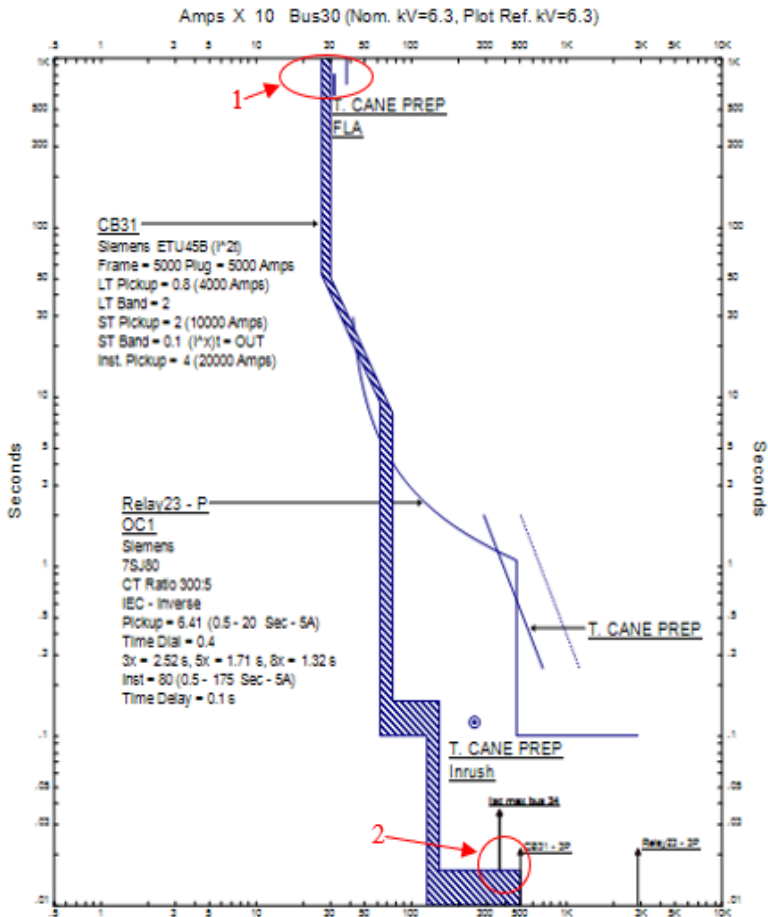
hanya sebesar 6 kA. Untuk itu dibutuhkan pengamanan tambahan untuk mengamankan gangguan hubung singkat, yaitu fuse. Fuse digunakan untuk mengamankan gangguan hubung singkat pada *feeder* motor sedangkan untuk pengamanan beban lebih atau *overload* pada motor, digunakan *relay* 29. Untuk *relay* 81 berfungsi sebagai pengamanan *back up* apabila gangguan pada *feeder motor feed water pump #C*, dan sebagai pengamanan utama untuk generator 2.

#### 4.2.4. Koordinasi Relay Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 4



Gambar 4. 10 Existing Tipikal 4

Gambar 4.10 menunjukkan *single line diagram* tipikal 4. Tipikal 4 dipilih mulai dari bus 4 1500 A, sampai ke bus 34 yang terdapat pada sisi sekunder trafo CANE PREP. Terdapat pengaman arus lebih yaitu *relay* 23 dan LVCB 31 yang hendak dikoordinasikan. Data setting *existing* yang ada pada *relay* 23 dan LVCB 31 diplot ke dalam kurva TCC seperti pada gambar 4.11 berikut:



Gambar 4. 11 Kurva TCC Existing Tipikal 4



Pada gambar 4.11 terlihat beberapa kesalahan dalam melakukan setting koordinasi pengaman arus lebih. Lingkaran 1 menunjukkan kesalahan setting pengaman arus lebih dimana setting arus *pick up* LVCB 31 memotong FLA trafo CANE PREP. Hal ini menyebabkan LVCB 31 akan bekerja ketika trafo CANE PREP beroperasi dalam rating arus nominalnya. Sehingga akan mengganggu operasi normal dari trafo CANE PREP. Kemudian pada lingkaran 2, terlihat LVCB 31 menggunakan *setting* instan yang akan beroperasi pada 0,01 detik ketika terjadi gangguan di bus 34. Waktu operasi 0,01 detik terlalu cepat dan tidak tepat diterapkan pada LVCB 31. LVCB 31 terletak di sisi sekunder trafo CANE PREP yang juga menjadi sisi incoming bagi beban CANE PREP. Artinya LVCB 31 bukan sebagai pengaman utama beban CANE PREP, sehingga waktu operasi 0,01 detik tidak tepat digunakan. Untuk itu perlu dilakukan *resetting* agar pengaman arus lebih dapat terkoordinasi dengan tepat. Perhitungan *resetting* dilakukan sebagai berikut:

➤ **LVCB 31**

<i>Manufacturer</i>	: SIEMENS
Model	: ETU45B
<i>Curve Type</i>	: <i>Long Time &amp; Short Time</i>
FLA Trafo Cane Prep	: 5052 A
Sensor	: 5000 A
Isc max bus 34	: 56,73 kA
Isc min bus 34	: 32,59 kA

**Time Overcurrent Pick up**

$$1,05 \times I_{FLA} < I_{set} < 1.4 \times I_{FLA}$$

$$1,05 \times 5052 < I_{set} < 1.4 \times 5052$$

$$5304,6 \text{ A} < I_{set} < 7072,8 \text{ A}$$

$$\frac{5304,6}{5000} < I_{set} < \frac{7072,8}{5000}$$

$$\frac{Sensor}{5304,6} < I_{set} < \frac{Sensor}{7072,8}$$

$$\frac{5000}{5000} < I_{set} < \frac{5000}{5000}$$

$$1,06 < I_{set} < 1,415$$

- Dipilih Tap : 1 (maksimal)
- Dipilih Iset : 5000 A
- Dipilih LT band : 2

### Instantaneous

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

$$1,6 \times 5052 \text{ A} < I_{set} < 0,8 \times 32590$$

$$8083,2 \text{ A} < I_{set} < 26072 \text{ A}$$

$$\frac{8083,2}{Sensor} < I_{set} < \frac{26072}{Sensor}$$

$$\frac{8083,2}{8083,2} < I_{set} < \frac{26072}{26072}$$

$$\frac{5000}{5000} < I_{set} < \frac{5000}{5000}$$

$$1,616 < I_{set} < 5,2144$$

- Dipilih Tap : 2
- Dipilih I set : 10000 A
- Dipilih ST band: 0,3 s

### ➤ **Relay 23**

<i>Manufacturer</i>	: SIEMENS
<i>Model</i>	: 7SJ80
<i>Curve Type</i>	: IEC Very Inverse
<i>FLA Trafo Cane Prep</i>	: 320,8 A
<i>CT Rasio</i>	: 300/5 A
<i>Isc max saluran 4G2</i>	: 16,4 kA @6,3 kV
<i>Isc min bus 30</i>	: 4,07 kA @6,3 kV
<i>Isc max bus 96</i>	: 63,57 @0,4 kV
<i>Konversi ke HV</i>	: $\frac{0,4}{6,3} \times 63,57 \text{ kA} = 4,04 \text{ kA}$

### Time Overcurrent Pick up

$$1,05 \times I_{FLA} < I_{set} < 1,4 \times I_{FLA}$$

$$1,05 \times 320,8 < I_{set} < 1,4 \times 320,8$$

$$336,84 \text{ A} < I_{set} < 449,12 \text{ A}$$

$$\frac{336,84}{n \text{ CT}} < I_{set} < \frac{449,12}{n \text{ CT}}$$

$$\frac{336,84}{300/5} < I_{set} < \frac{449,12}{300/5}$$

$$\frac{336,84}{300/5} < I_{set} < \frac{449,12}{300/5}$$

$$5,614 < I_{set} < 7,4853$$

- Dipilih Tap : 5,88
- Dipilih Iset : 352,8 A

### **Time dial**

Waktu operasi ( $t_{op}$ ) dipilih 0,3 s.

$$T = \frac{t_{op} \times \left( \left( \frac{I_{sc} \max}{I_{pp}} \right) - 1 \right)}{13,5}$$

$$T = \frac{0,3 \times \left( \left( \frac{16400}{352,8} \right) - 1 \right)}{13,5} = 1,01$$

Dipilih *time dial* : 1,2

### **Instantaneous**

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

$1,6 \times 320,8 \text{ A} < I_{set} < 0,8 \times 4070$

$513,28 \text{ A} < I_{set} < 3256 \text{ A}$

$513,28 < I_{set} < 3256$

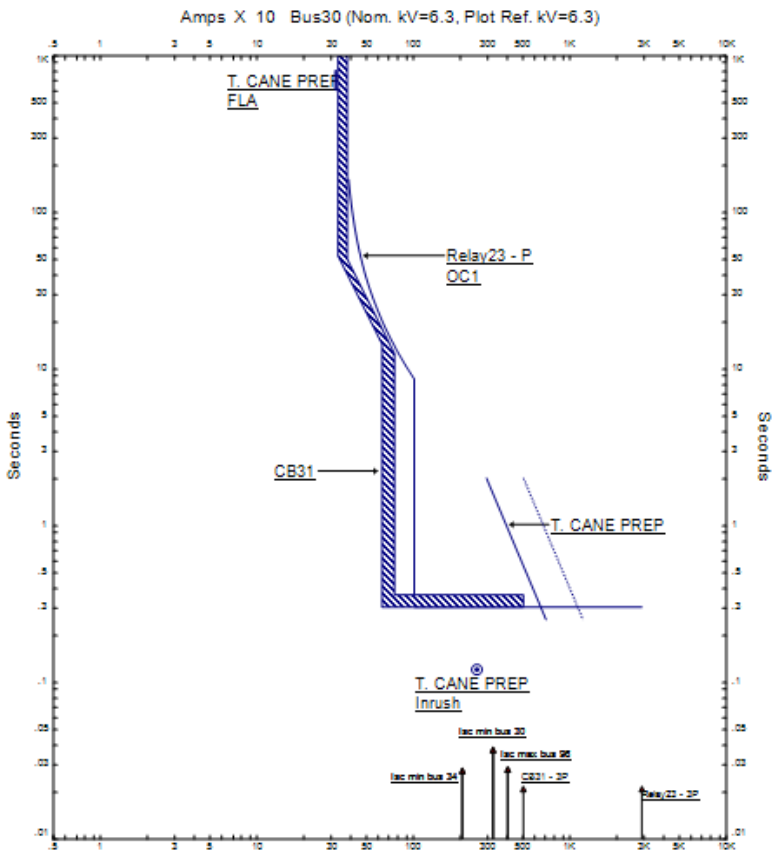
$\frac{n \text{ CT}}{513,28} < I_{set} < \frac{n \text{ CT}}{3256}$

$\frac{300/5} < I_{set} < \frac{300/5}$

$8,55 < I_{set} < 54,267$

- Dipilih Tap : 17
- Dipilih I set : 1020 A
- Dipilih *time delay* 0,3 s

Berikut ini adalah plot kurva TCC hasil *resetting* tipikal 4:

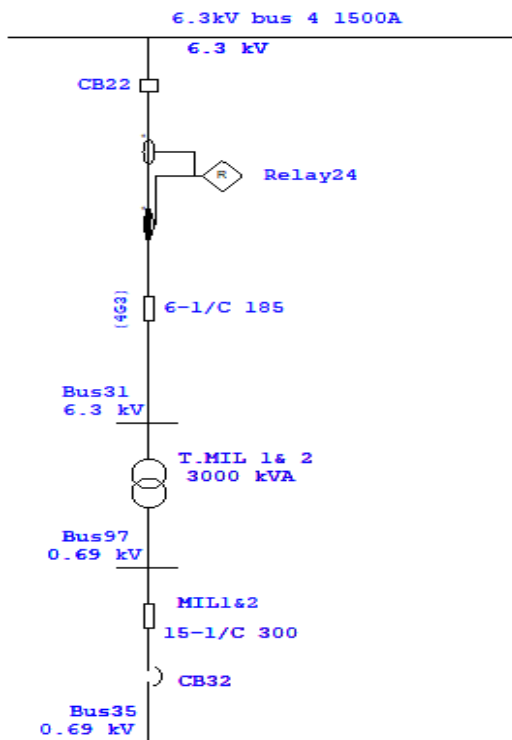


**Gambar 4. 12** Plot Kurva TCC *Resetting* Tipikal 4

Pada gambar 4.12 terlihat bahwa setting *long time pick up* LVCB 31 sangat berdekatan dengan FLA dari trafo CANE PREP. LVCB 31 menggunakan sensor 5000 A, sedangkan arus nominal trafo CANE PREP 5052 A, sehingga setting arus *pick up* dari LVCB 31 maksimal hanya dapat diset di 5000 A. Setting instan LVCB 31 juga sudah tidak digunakan, sehingga LVCB 31 dapat beroperasi sesuai waktu yang disetting. Untuk *relay* 23 disetting untuk bekerja di waktu 0,3 detik yaitu

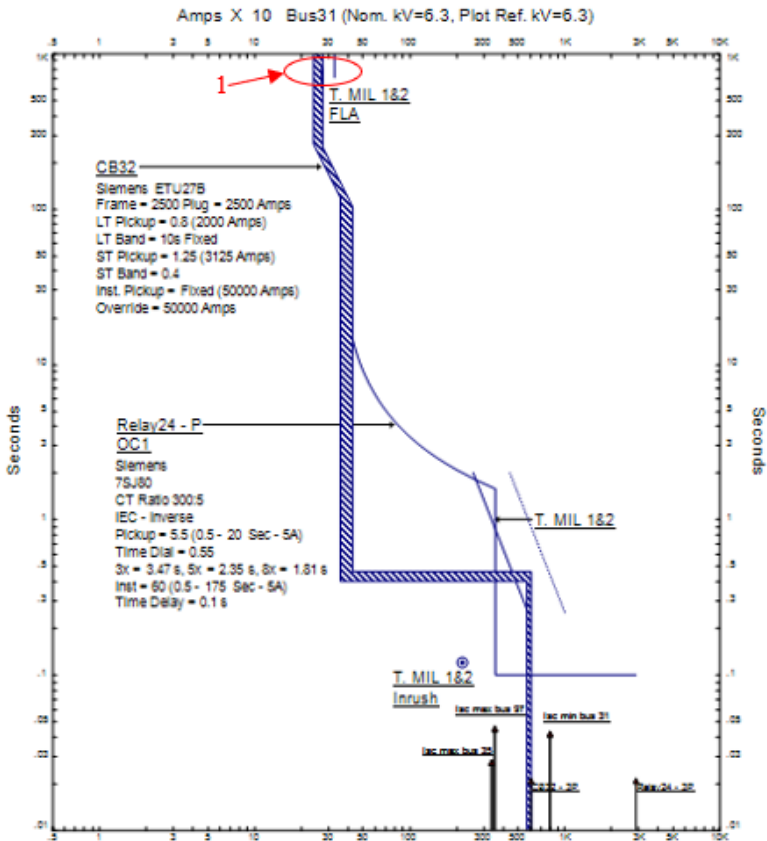
waktu yang sama dengan LVCB 31. Hal ini terjadi karena arus hubung singkat maksimum di sisi tegangan 0,4 kV trafo CANE PREP lebih besar dari 0,8 arus hubung singkat minimum pada sisi tegangan 6,3 kV trafo tersebut sehingga waktu operasi LVCB 31 dan *relay* 23 harus diset di waktu yang sama. Secara koordinasi hal ini juga diperbolehkan karena *relay* 23 dan LVCB 31 terletak dalam satu saluran. Kemudian pada gambar 4.12 terlihat juga bahwa ada bagian dari *damage curve* trafo CANE PREP yang tidak terlindungi oleh LVCB 31 dan *relay* 23. Tetapi hal ini juga diperbolehkan karena bagian tersebut sudah berada di luar daerah gangguan hubung singkat yang terjadi pada saluran tersebut.

#### 4.2.5. Koordinasi Relay Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 5



Gambar 4. 13 Existing Tipikal 5

Untuk tipikal 5 terlihat pada gambar 4.13, dipilih mulai dari bus 4 1500 A sampai ke bus 35 0,69 kV. Pada *single line diagram* tipikal 5, terdapat peralatan trafo MIL 1&2 dengan kapasitas 3000 kVA, beserta peralatan pengaman arus lebih yaitu *relay* 24 dan LVCB 32 yang melindungi saluran. Data setting *existing* pada *relay* 24 dan LVCB 32 diplot ke dalam kurva TCC untuk mengetahui koordinasi dari kedua peralatan pengaman tersebut.



**Gambar 4. 14** Kurva TCC *Existing* Tipikal 5

Gambar 4.14 menunjukkan kurva TCC *existing* tipikal 5 beserta data setting *existing relay* arus lebih untuk tipikal 5. Terlihat kesalahan dalam setting *existing* LVCB 32. Lingkaran 1 menunjukkan setting arus *pick up* pada LVCB 32 memotong FLA dari trafo MIL 1&2. Hal ini akan menyebabkan trafo MIL 1&2 tidak dapat beroperasi sesuai rating arus nominalnya, karena LVCB 32 akan langsung bekerja ketika trafo beroperasi sesuai rating arus nominalnya. Untuk itu perlu dilakukan *resetting*. Perhitungan *resetting* dilakukan sebagai berikut:

➤ **LVCB 32**

<i>Manufacturer</i>	: SIEMENS
Model	: ETU27B
<i>Curve Type</i>	: <i>Long Time &amp; Short Time</i>
FLA Trafo Cane Prep	: 2510 A
Sensor	: 2500 A
Isc max bus 35	: 29,98 kA
Isc min bus 35	: 22,95 kA

**Time Overcurrent Pick up**

$$1,05 \times I_{FLA} < I_{set} < 1,4 \times I_{FLA}$$

$$1,05 \times 2510 < I_{set} < 1,4 \times 2510$$

$$2635,5 \text{ A} < I_{set} < 3514 \text{ A}$$

$$\frac{2635,5}{\text{Sensor}} < I_{set} < \frac{3514}{\text{Sensor}}$$

$$\frac{2635,5}{2500} < I_{set} < \frac{3514}{2500}$$

$$1,0542 < I_{set} < 1,4056$$

- Dipilih Tap : 1 (maksimal)
- Dipilih Iset : 2500 A
- Dipilih LT band : 10 *fixed*

**Instantaneous**

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

$$1,6 \times 2510 \text{ A} < I_{set} < 0,8 \times 22950$$

$$4016 \text{ A} < I_{set} < 18360 \text{ A}$$

$$\frac{4016}{\text{Sensor}} < I_{set} < \frac{18360}{\text{Sensor}}$$

$$\frac{4016}{2500} < I_{set} < \frac{18360}{2500}$$

$$1,6064 < I_{set} < 7,344$$

- Dipilih Tap : 2
- Dipilih I set : 5000 A
- Dipilih ST band: 0,3 s

### ➤ **Relay 24**

<i>Manufacturer</i>	: SIEMENS
Model	: 7SJ80
<i>Curve Type</i>	: IEC Very Inverse
FLA Primer Trafo HDHS	: 274,9 A
CT Rasio	: 300/5 A
Isc max saluran 4G3	: 15,82 kA @6,3 kV
Isc min bus 31	: 8,1 kA @6,3 kV
Isc max bus 97	: 32,56 kA @0,69 kV
Konversi ke HV	: $\frac{0,69}{6,3} \times 32,56 \text{ kA} = 3,56 \text{ kA}$

### **Time Overcurrent Pick up**

$$1,05 \times I_{FLA} < I_{set} < 1,4 \times I_{FLA}$$

$$1,05 \times 274,9 < I_{set} < 1,4 \times 274,9$$

$$288,645 \text{ A} < I_{set} < 384,86 \text{ A}$$

$$\frac{288,645}{n \text{ CT}} < I_{set} < \frac{384,86}{n \text{ CT}}$$

$$\frac{288,645}{300/5} < I_{set} < \frac{384,86}{300/5}$$

$$4,81 < I_{set} < 6,41$$

- Dipilih Tap : 5.05
- Dipilih Iset : 303 A

### **Time dial**

Waktu operasi ( $t_{op}$ ) dipilih 0,3 s.

$$T = \frac{t_{op} \times \left( \left( \frac{I_{sc \text{ max}}}{I_{pp}} \right) - 1 \right)}{13,5}$$



$$T = \frac{0,3x \left( \left( \frac{15820}{303} \right) - 1 \right)}{13,5} = 1,138$$

Dipilih *time dial* : 1,17

**Instantaneous**

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

$$1,6 \times 274,9 < I_{set} < 0,8 \times 8100$$

$$439,84 \text{ A} < I_{set} < 6480 \text{ A}$$

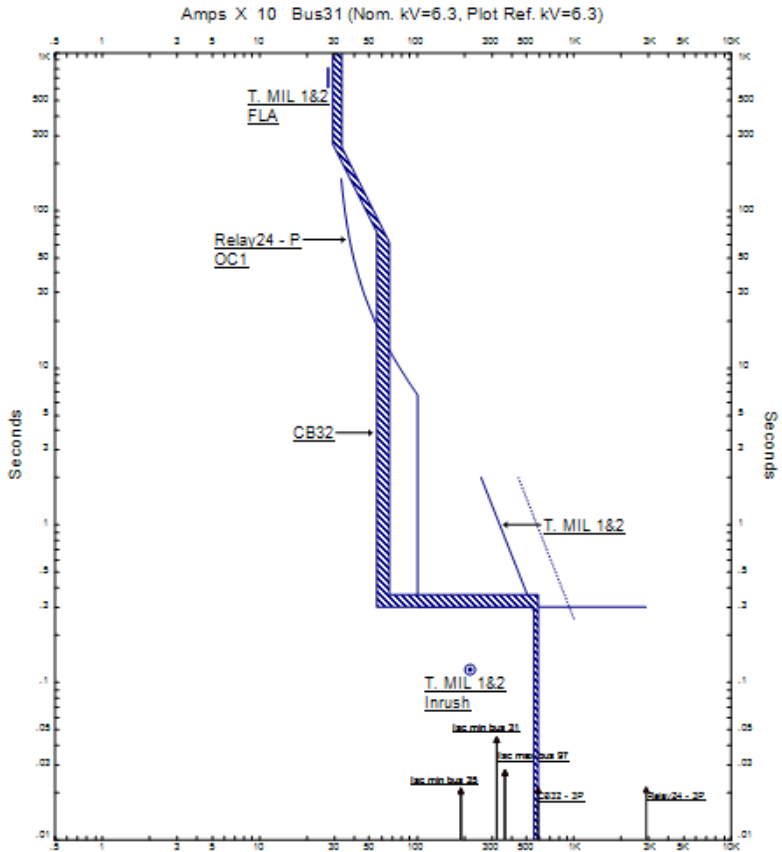
$$\frac{439,84}{\frac{n \text{ CT}}{300/5}} < I_{set} < \frac{6480}{\frac{n \text{ CT}}{300/5}}$$

$$\frac{439,84}{300/5} < I_{set} < \frac{6480}{300/5}$$

$$7,33 < I_{set} < 108$$

- Dipilih Tap : 17
- Dipilih I set : 1020 A
- Dipilih *time delay* 0,3 s

Kemudian data hasil *resetting* diplot ke dalam kurva TCC, seperti gambar 4.15 berikut:



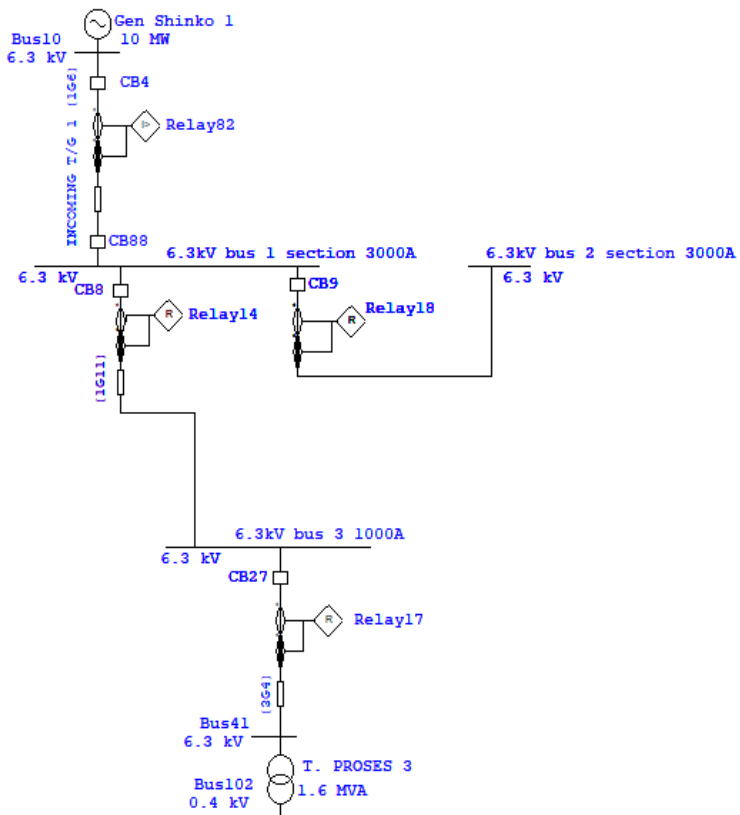
**Gambar 4. 15** Kurva TCC *Resetting* Tipikal 5

Pada gambar 4.15 terlihat bahwa LVCB 32 dan *relay* 24 disetting dengan waktu operasi yang sama yaitu 0,3 detik. Hal ini disebabkan karena nilai arus hubung singkat maksimum di sisi tegangan rendah lebih besar dari nilai arus hubung singkat minimum di sisi tegangan tinggi trafo MIL 1&2. Sehingga ketika terjadi gangguan hubung singkat di sisi tegangan rendah trafo maka *relay* 24 dan LVCB 32 akan trip bersamaan. Hal ini diperbolehkan karena *relay* 24 dan LVCB 32 berada pada satu saluran yang sama. Jika salah satu pengaman trip sama artinya dengan kedua pengaman trip. Sehingga koordinasi pengaman ini sudah tepat.

### 4.3. Evaluasi Koordinasi Relay Arus Lebih Gangguan Fasa Ke Tanah

Evaluasi koordinasi *relay* arus lebih gangguan fasa ke tanah dilakukan untuk mengetahui apakah *relay* pada kondisi *existing* sudah terkoordinasi dengan tepat ketika terjadi gangguan fasa ke tanah. Hal ini juga perlu diperhatikan karena gangguan fasa ke tanah, secara umum lebih sering terjadi dibandingkan dengan gangguan fasa.

Dalam hal ini dipilih tipikal mulai dari *feeder* trafo proses 3, *feeder* to bus 3, hingga ke sumber generator 1. *Single line diagram* tipikal yang dipilih dapat dilihat pada gambar 4.16 berikut:



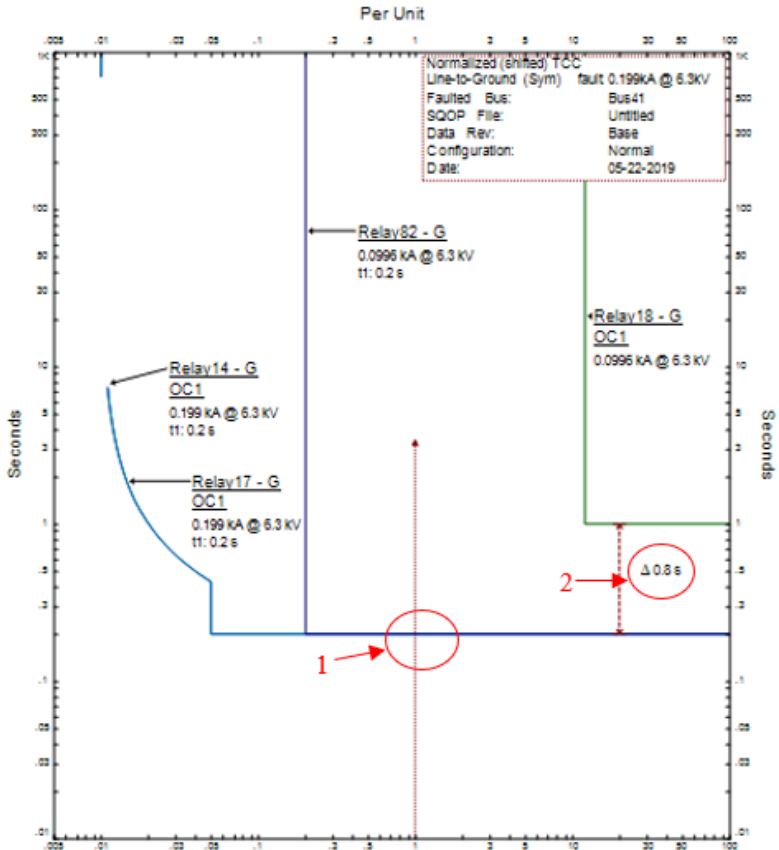
Gambar 4. 16 Tipikal Untuk Gangguan Fasa ke Tanah

Untuk data setting *existing* pada tipikal gangguan fasa ke tanah dapat dilihat pada tabel 4.3 berikut:

**Tabel 4. 3** Data Setting *Existing Groundfault*

<b>Relay 17</b>	<b>Relay 14</b>
AREVA MICOMP127 Z CT Ratio 50/5 IEC Standard Inverse <i>Pick up</i> = 0,04 (Prim-A) <i>Time dial</i> = 0,1 <i>Instateneous</i> =0,2 (Prim- A) <i>Time delay</i> =0,2 s	AREVA MICOM P127 Z CT Ratio 50/5 IEC Standard Inverse <i>Pick up</i> = 0,04 (Prim-A) <i>Time dial</i> = 0,1 <i>Instateneous</i> = 0,2 (Prim-A) <i>Time delay</i> = 0,2 s
<b>Relay 18</b>	<b>Relay 82</b>
AREVA 142 Z CT Ratio 3000/5 <i>Instateneous</i> = 0,4 (Prim-A) <i>Time delay</i> =1 s	Mitsubishi Z CT Ratio 2000/5 <i>Instantaneous</i> = 0,05 (Sec-A) <i>Time delay</i> = 0,2 s

Kemudian data setting pada tabel 4.3 diplot ke dalam kurva TCC. Hasil plot kurva TCC sebagai berikut:



**Gambar 4. 17** TCC Gangguan Fasa ke Tanah Kondisi *Existing*

Pada gambar 4.17 terlihat beberapa kesalahan dalam setting *relay* gangguan tanah pada kondisi *existing*. Lingkaran 1 menunjukkan kesalahan waktu operasi pada *relay*, dimana *relay* beroperasi dalam waktu bersamaan. Hal ini akan menyebabkan *relay* tidak selektif dalam bekerja. Untuk lingkaran 2 menunjukkan bahwa *grading* waktu pada *relay* 18 terlalu lama yaitu 0,8 detik. Setting arus *pick up relay* 18 juga terlalu besar sehingga *relay* ini tidak akan bekerja karena kurva *relay* 18 tidak memotong arus gangguan. Untuk itu perlu dilakukan *resetting* dengan perhitungan sebagai berikut:

➤ **Relay 17**

*Manufacturer* : AREVA  
*Model* : MICOM P127  
*Curve Type* : *Definite*  
*Z CT Rasio* : 50/5 A  
*I<sub>NGR</sub>* : 100 A

**Instantaneous**

$$0,1 \times I_{NGR} < I_{set} < 0,5 \times I_{NGR}$$

$$0,1 \times 100 < I_{set} < 0,5 \times 100$$

$$10 \text{ A} < I_{set} < 50 \text{ A}$$

$$\frac{10}{n \text{ CT}} < I_{set} < \frac{50}{n \text{ CT}}$$

$$\frac{10}{50/\text{CT sekunder}} < I_{set} < \frac{50}{50/\text{CT sekunder}}$$

$$0,2 < I_{set} < 1$$

- Dipilih Tap : 0,4
- Dipilih I set : 20 A
- Dipilih *time delay* 0,1 s

➤ **Relay 14**

*Manufacturer* : AREVA  
*Model* : MICOM P127  
*Curve Type* : *Definite*  
*Z CT Rasio* : 50/5 A  
*I<sub>NGR</sub>* : 100 A

**Instantaneous**

$$\text{Waktu operasi (t}_{op}\text{)} = t_{op} \text{ relay 17} + \text{waktu tunda}$$

$$\text{waktu tunda } (\Delta t) = 0,2 \text{ s}$$

$$\text{waktu operasi (t}_{op}\text{)} = 0,1 \text{ s} + 0,2 \text{ s} = 0,3 \text{ s}$$

$$0,1 \times I_{NGR} < I_{set} < 0,5 \times I_{NGR}$$

$$0,1 \times 100 < I_{set} < 0,5 \times 100$$

$$10 \text{ A} < I_{set} < 50 \text{ A}$$

$$\frac{10}{n CT} < I_{set} < \frac{50}{n CT}$$

$$\frac{10}{50/CT \text{ sekunder}} < I_{set} < \frac{50}{50/CT \text{ sekunder}}$$

$$0,2 < I_{set} < 1$$

- Dipilih Tap : 0,4
- Dipilih I set : 20 A
- Dipilih *time delay* 0,3 s

### ➤ **Relay 18**

<i>Manufacturer</i>	: AREVA
<i>Model</i>	: MICOM P127
<i>Curve Type</i>	: <i>Definite</i>
Z CT Rasio	: 3000/5 A
I <sub>NGR</sub>	: 100 A

#### **Instantaneous**

Waktu operasi ( $t_{op}$ ) =  $t_{op} \text{ relay 22} + \text{waktu tunda}$   
waktu tunda ( $\Delta t$ ) = 0,2 s  
waktu operasi ( $t_{op}$ ) = 0,5 s + 0,2 s = 0,7 s

$$0,1 \times I_{NGR} < I_{set} < 0,5 \times I_{NGR}$$

$$0,1 \times 100 < I_{set} < 0,5 \times 100$$

$$10 \text{ A} < I_{set} < 50 \text{ A}$$

$$\frac{10}{n CT} < I_{set} < \frac{50}{n CT}$$

$$\frac{10}{3000/CT \text{ sekunder}} < I_{set} < \frac{50}{3000/CT \text{ sekunder}}$$

$$0,0033 < I_{set} < 0,0167$$

- Dipilih Tap : 0,007
- Dipilih I set : 21 A
- Dipilih *time delay* 0,7 s

### ➤ **Relay 82**

<i>Manufacturer</i>	: AREVA
---------------------	---------

Model : MICOM P127  
 Curve Type : *Definite*  
 Z CT Rasio : 2000/5 A  
 $I_{NGR}$  : 100 A

**Instantaneous**

Waktu operasi ( $t_{op}$ ) =  $t_{op}$  relay 18+ waktu tunda  
 waktu tunda ( $\Delta t$ ) = 0,2 s  
 waktu operasi ( $t_{op}$ ) = 0,7 s + 0,2 s = 0,9 s

$$0,1 \times I_{NGR} < I_{set} < 0,5 \times I_{NGR}$$

$$0,1 \times 100 < I_{set} < 0,5 \times 100$$

$$10 \text{ A} < I_{set} < 50 \text{ A}$$

$$\frac{10}{n \text{ CT}} < I_{set} < \frac{50}{n \text{ CT}}$$

$$\frac{10}{2000/5} < I_{set} < \frac{50}{2000/5}$$

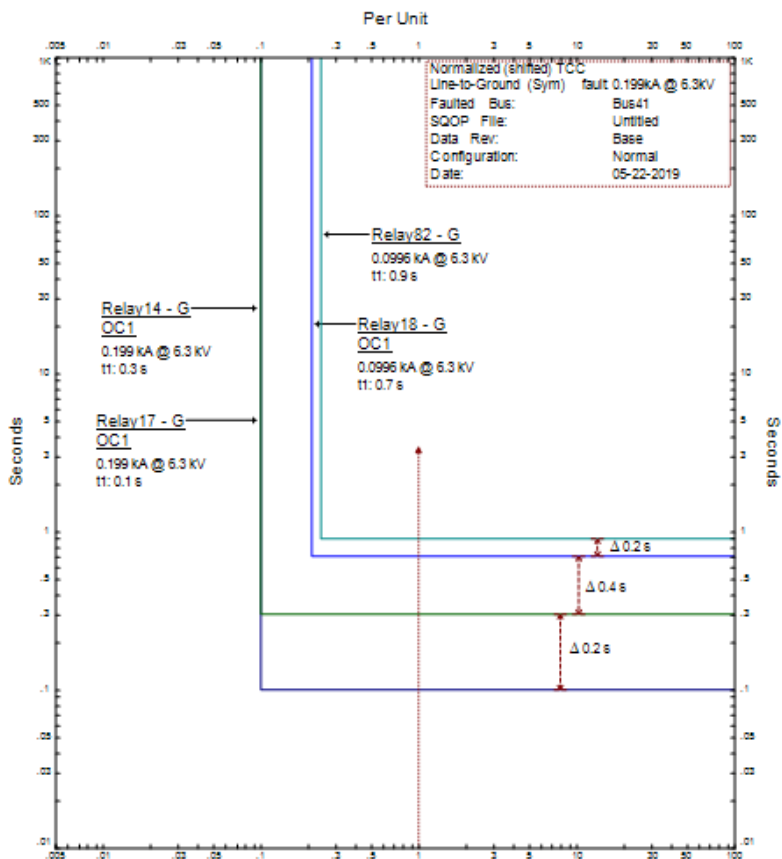
$$0,025 < I_{set} < 0,125$$

- Dipilih Tap : 0,06
- Dipilih I set : 24 A
- Dipilih *time delay* 0,9 s

Setelah dilakukan *resetting* groundfault maka data *resetting* diplot dalam kurva TCC.



Hasil plot kurva TCC *resetting groundfault* sebagai berikut:



**Gambar 4. 18** Plot Kurva TCC *Resetting* Groundfault

Dari gambar 4,18 yang menampilkan plot kurva TCC hasil *resetting groundfault*, dapat dilihat bahwa *relay-relay* sudah terkoordinasi dengan baik. *Grading* waktu yang digunakan juga sudah sesuai dengan standar, yaitu 0,2 s - 0,4 s. Setting kurva hanya menggunakan *definite*, karena nilai arus gangguan *fixed*, dan harus segera diamankan.

#### 4.4. Hasil Simulasi Energi Busur Api Kondisi *Resetting*

**Tabel 4. 4** Data Hasil Simulasi Energi Busur Api Kondisi *Resetting* di PT. Industri Gula Glenmore

Bus ID	Arus <i>Arcing</i> (kA)	Arus <i>Bolted</i> (kA)	FCT (s)	Insiden Energi (cal/cm <sup>2</sup> )	Kategori
Bus 1 section 3000 A	19,16	19,98	0,97	26,65	3
Bus 2 section 3000 A	19,16	19,98	0,77	21,153	2
Bus 3 1000 A	18	18,75	0,37	9,5	2
Bus 4 1500 A	19,03	19,84	0,57	15,54	2
Bus 45 3,3 kV	15,92	16,55	0,37	6,88	1
Bus 34 0,4 kV	19,21	62,16	0,35	25,076	3
Bus 35 0,69 kV	33,58	40,82	0,35	43,59	4
Bus 37 0,69 kV	33,55	40,79	0,35	43,56	4

Setelah dilakukan *resetting*, maka energi busur api dapat ditentukan kembali. Energi busur api kondisi *resetting* bisa didapat dari hasil simulasi menggunakan *software* ETAP 12.6, dimana *software* ini menggunakan standar 1584-2002 dalam melakukan simulasi perhitungan energi busur api. Dalam kondisi *resetting* banyak waktu operasi *relay* yang mengalami perubahan dari kondisi setting *existing* sehingga data energi busur api yang dihasilkan pun menjadi tidak sama. Perubahan waktu operasi *relay* ditentukan sesuai dengan standar yaitu menggunakan grading 0,2 detik sampai 0,4 detik, sehingga berdampak pada nilai insiden energi busur api yang dihasilkan.

Pada table 4.4 dapat dilihat bahwa masih terdapat insiden energi busur api yang tinggi yaitu mencapai kategori 4. Namun hal ini masih belum merepresentasikan nilai busur api yang akurat, karena metode perhitungannya belum mempertimbangkan berkurangnya arus kontribusi tiap domain waktu sehingga masih mungkin mengalami penurunan.

##### 4.4.1. Perhitungan Energi Busur Api *Resetting* Menggunakan Standar IEEE 1584-2002

Untuk perhitungan energi busur api menggunakan standar 1584-2002 dilakukan seperti berikut:

Untuk sistem 3,3 kV dan 6,3 kV, persamaan 2.4 dapat disederhanakan menjadi:

$$I_a = 1,01 \cdot I_{bf}^{0,983} \quad (4.1)$$

Persamaan 2.6 dapat diubah menjadi:

$$E_n = I_a^{1,081} \cdot 10^{(K_1+K_2+0,0011G)} \quad (4.2)$$

Sehingga persamaan 2.7 dapat diubah menjadi:

$$E = C_f \cdot I_a^{1,081} \cdot 10^{(K_1+K_2+0,0011G)} \cdot \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610^x}{D^x}\right) \quad (4.3)$$

Parameter-parameter konstanta untuk sistem 3,3 kV dan 6,3 kV ditentukan sebagai berikut:

$$\begin{array}{lll} C_f = 1 & ; & K_1 = -0,555 & ; & K_2 = -0,113 \\ x = 0,973 & ; & D = 914,4 \text{ mm} & & \end{array}$$

Untuk sistem 6,3 kV,  $G=175 \text{ mm}$

Untuk sistem 3,3 kV,  $G=100 \text{ mm}$

Parameter konstanta untuk masing-masing sistem diinput ke dalam persamaan 4.3, sehingga perhitungan energi busur api untuk masing-masing sistem dapat disederhanakan menjadi:

Untuk sistem 6,3 kV:

$$E = 1,1283 \cdot I_a^{1,081} \cdot t \quad (4.5)$$

Dengan melakukan substitusi persamaan 4.1 ke dalam persamaan 4.5 maka di dapat perhitungan energi sebagai berikut:

$$E = 1,1396 \cdot I_{bf}^{1,063} \cdot t \quad (4.6)$$

Untuk sistem 3,3 kV:

$$E = 0,933 \cdot I_a^{1,081} \cdot t \quad (4.7)$$

Dengan melakukan substitusi persamaan 4.1 ke dalam persamaan 4.7 maka didapat perhitungan energi busur api sebagai berikut:

$$E = 0,9424 \cdot I_{bf}^{1,063} \cdot t \quad (4.8)$$

Sedangkan untuk sistem 0,69 kV dan 0,4 kV, perhitungan energi busur api dilakukan dengan cara sebagai berikut:

Parameter-parameter konstanta sistem 0,69 kV dan 0,4 kV yaitu:

$$\begin{array}{lll} C_f = 1,5 & ; & K_1 = -0,555 & ; & K_2 = -0,113 \\ D = 457,2 \text{ mm} & ; & x = 1,641 & ; & K = -0,097 \end{array}$$

Untuk sistem 0,69 kV;  $G = 30 \text{ mm}$

Untuk sistem 0,4 kV;  $G = 50 \text{ mm}$

Sehingga dengan menginput parameter-parameter konstanta untuk sistem 0,69 kV dan 0,4 kV ke dalam persamaan 4.3 maka perhitungan energi busur api masing-masing sistem dapat disederhanakan sebagai berikut:

Untuk sistem 0,69 kV, persamaan perhitungan energi busur api menjadi

$$E = 2,7897 \cdot I_a^{1,081} \cdot t \quad (4.9)$$

Sesuai dengan parameter konstanta untuk sistem 0,69 kV, persamaan 2.5 disederhanakan menjadi:

$$I_a = 0,967 \cdot I_{bf}^{0,9564} \quad (4.10)$$

Kemudian dengan mensubstitusi persamaan 4.10 ke dalam persamaan 4.9, maka perhitungan energi busur api untuk sistem 0,69 kV menjadi:

$$E = 2,698 \cdot I_{bf}^{1,033} \cdot t \quad (4.11)$$

Dan untuk sistem 0,4 kV, persamaan perhitungan energi busur api dapat disederhanakan menjadi:

$$E = 2,9346 \cdot I_a^{1,081} \cdot t \quad (4.12)$$

Sesuai dengan parameter konstanta untuk sistem 0,4 kV, persamaan 2.5 disederhanakan menjadi:

$$I_a = 0,9288 \cdot I_{bf}^{0,73352} \quad (4.13)$$

Kemudian dilakukan substitusi persamaan 4.12 ke dalam persamaan 4.11, maka perhitungan energi busur api untuk sistem 0,4 kV menjadi:

$$E = 2,7256 \cdot I_{bf}^{0,7929} \cdot t \quad (4.14)$$

Perhitungan energi busur api menggunakan standar IEEE 1584 pada bus:

### **Bus 1 section 3000 A 6,3 kV**

$$I_{bf} = 19,98 \text{ kA} \quad ; t = 0,97 \text{ detik}$$

$$E = 1,1396 \cdot I_{bf}^{1,063} \cdot t$$

$$E = 1,1396 \cdot 19,98^{1,063} \cdot 0,97 = \mathbf{26,67 \text{ cal/cm}^2}$$

### **Bus 2 section 3000 A 6,3 kV**

$$I_{bf} = 19,98 \text{ kA} \quad ; t = 0,77 \text{ detik}$$

$$E = 1,1396 \cdot I_{bf}^{1,063} \cdot t$$

$$E = 1,1396 \cdot 19,98^{1,063} \cdot 0,77 = \mathbf{21,17 \text{ cal/cm}^2}$$

### **Bus 3 1000 A 6,3 kV**

$$I_{bf} = 18,75 \text{ kA} \quad ; t = 0,37 \text{ detik}$$

$$E = 1,1396 \cdot I_{bf}^{1,063} \cdot t$$

$$E = 1,1396 \cdot 18,75^{1,063} \cdot 0,37 = \mathbf{9,509 \text{ cal/cm}^2}$$

### **Bus 4 1500 A 6,3 kV**

$$I_{bf} = 19,84 \text{ kA} \quad ; t = 0,57 \text{ detik}$$

$$E = 1,1396 \cdot I_{bf}^{1,063} \cdot t$$

$$E = 1,1396 \cdot 19,84^{1,063} \cdot 0,57 = \mathbf{15,55 \text{ cal/cm}^2}$$

#### **Bus 45 3,3 kV**

$$I_{bf} = 16,55 \text{ kA} \quad ; t = 0,37 \text{ detik}$$

$$E = 0,9424 \cdot I_{bf}^{1,063} \cdot t$$

$$E = 0,9424 \cdot 16,55^{1,063} \cdot 0,37 = \mathbf{6,887 \text{ cal/cm}^2}$$

#### **Bus 34 0,4 kV**

$$I_{bf} = 62,16 \text{ kA} \quad ; t = 0,35 \text{ detik}$$

$$E = 2,7256 \cdot I_{bf}^{0,7929} \cdot t$$

$$E = 2,7256 \cdot (62,16)^{0,7929} \cdot 0,35 = \mathbf{25,21 \text{ cal/cm}^2}$$

#### **Bus 35 0,69 kV**

$$I_{bf} = 40,82 \text{ kA} \quad ; t = 0,35 \text{ detik}$$

$$E = 2,698 \cdot I_{bf}^{1,033} \cdot t$$

$$E = 2,698 \cdot 40,82^{1,033} \cdot 0,35 = \mathbf{43,56 \text{ cal/cm}^2}$$

#### **Bus 37 0,69 kV**

$$I_{bf} = 40,79 \text{ kA} \quad ; t = 0,35 \text{ detik}$$

$$E = 2,698 \cdot I_{bf}^{1,033} \cdot t$$

$$E = 2,698 \cdot 40,79^{1,033} \cdot 0,35 = \mathbf{43,53 \text{ cal/cm}^2}$$

Dari hasil perhitungan energi busur api menggunakan standar IEEE 1584-2002, didapat hasil yang sangat mendekati dengan hasil simulasi. Hal ini menunjukkan perhitungan energi busur api yang didapat telah sesuai

#### **4.4.2. Perhitungan Energi Busur Api *Resetting* Menggunakan Metode yang Dimodifikasi**

##### **Bus 1 section 3000 A 6,3 kV (FCT=0,97)**

- Domain waktu 0-0,035 detik
 
$$E = 1,1396 \cdot I_{bf \text{ kontribusi}}^{1,063} \cdot \Delta t$$

$$E = 1,1396 \cdot (6,01 + 0,272 + 0,272 + 0,259 + 0,162 + 0,269 + 0,269 + 0,223 + 0,386 + 11,89)^{1,063} \cdot (0,035)$$

$$E = 1,1396 \cdot (20,015)^{1,063} \cdot 0,035 = \mathbf{0,964 \text{ cal/cm}^2}$$

- Domain waktu 0,035-0,067  
 $E = 1,1396 \cdot I_{bf \text{ kontribusi}}^{1,063} \cdot \Delta t$   
 $E = 1,1396 \cdot (6,01 + 0,109 + 0,109 + 0,104 + 0,065 + 0,108 + 0,108 + 0,093 + 0,16 + 9,73)^{1,063} \cdot (0,032)$   
 $E = 1,1396 \cdot (16,596)^{1,063} \cdot 0,032 = \mathbf{0,722 \text{ cal/cm}^2}$
- Domain waktu 0,067-0,8  
 $E = 1,1396 \cdot I_{bf \text{ kontribusi}}^{1,063} \cdot \Delta t$   
 $E = 1,1396 \cdot (6,01 + 9,01)^{1,063} \cdot (0,733)$   
 $E = 1,1396 \cdot (15,02)^{1,063} \cdot 0,72 = \mathbf{14,88 \text{ cal/cm}^2}$
- Domain waktu 0,8-0,83  
 $E = 1,1396 \cdot I_{bf \text{ kontribusi}}^{1,063} \cdot \Delta t$   
 $E = 1,1396 \cdot (4,08 + 4,08)^{1,063} \cdot (0,03)$   
 $E = 1,1396 \cdot (8,16)^{1,063} \cdot 0,03 = \mathbf{0,318 \text{ cal/cm}^2}$
- Domain waktu 0,83-0,9  
 $E = 1,1396 \cdot I_{bf \text{ kontribusi}}^{1,063} \cdot \Delta t$   
 $E = 1,1396 \cdot (4,08 + 4,08)^{1,063} \cdot (0,07)$   
 $E = 1,1396 \cdot (8,16)^{1,063} \cdot 0,07 = \mathbf{0,743 \text{ cal/cm}^2}$

Total insiden energi busur api di bus 1 section 3000 A, 6,3 kV adalah:  
 $0,964 + 0,722 + 14,88 + 0,318 + 0,743 = \mathbf{17,63 \text{ cal/cm}^2}$

### Bus 2 section 3000 A 6,3 kV (FCT=0,77)

- Domain waktu 0-0,035 detik  
 $E = 1,1396 \cdot I_{bf \text{ kontribusi}}^{1,063} \cdot \Delta t$   
 $E = 1,1396 \cdot (8,09 + 0,325 + 0,042 + 4,3 + 0,27 + 0,27 + 0,272 + 0,259 + 0,162 + 6,01)^{1,063} \cdot (0,035)$   
 $E = 1,1396 \cdot (20)^{1,063} \cdot 0,035 = \mathbf{0,96 \text{ cal/cm}^2}$
- Domain waktu 0,035-0,067  
 $E = 1,1396 \cdot I_{bf \text{ kontribusi}}^{1,063} \cdot \Delta t$   
 $E = 1,1396 \cdot (6,85 + 0,145 + 0,017 + 3,08 + 0,108 + 0,108 + 0,109 + 0,104 + 0,065 + 6,01)^{1,063} \cdot (0,032)$   
 $E = 1,1396 \cdot (16,596)^{1,063} \cdot 0,032 = \mathbf{0,722 \text{ cal/cm}^2}$

- Domain waktu 0,067-0,77  
 $E = 1,1396 \cdot I_{bf \text{ kontribusi}}^{1,063} \cdot \Delta t$   
 $E = 1,1396 \cdot (6,01 + 3 + 6,01)^{1,063} \cdot (0,703)$   
 $E = 1,1396 \cdot (15,02)^{1,063} \cdot 0,703 = \mathbf{14,27 \text{ cal/cm}^2}$

Total insiden energi busur api di bus 2 section 3000 A, 6,3 kV adalah:  
 $0,96 + 0,722 + 14,27 = \mathbf{15,95 \text{ cal/cm}^2}$

### **Bus 3 1000 A 6,3 kV (FCT=0,37)**

- Domain waktu 0-0,035 detik  
 $E = 1,1396 \cdot I_{bf \text{ kontribusi}}^{1,063} \cdot \Delta t$   
 $E = 1,1396 \cdot (18,38 + 0,158 + 0,126 + 0,102)^{1,063} \cdot (0,035)$   
 $E = 1,1396 \cdot (18,766)^{1,063} \cdot 0,035 = \mathbf{0,9 \text{ cal/cm}^2}$
- Domain waktu 0,035-0,067  
 $E = 1,1396 \cdot I_{bf \text{ kontribusi}}^{1,063} \cdot \Delta t$   
 $E = 1,1396 \cdot (15,57 + 0,065 + 0,052 + 0,042)^{1,063} \cdot (0,032)$   
 $E = 1,1396 \cdot (15,729)^{1,063} \cdot 0,032 = \mathbf{0,682 \text{ cal/cm}^2}$
- Domain waktu 0,067-0,37  
 $E = 1,1396 \cdot I_{bf \text{ kontribusi}}^{1,063} \cdot \Delta t$   
 $E = 1,1396 \cdot (5,72 + 8,58)^{1,063} \cdot (0,303)$   
 $E = 1,1396 \cdot (14,3)^{1,063} \cdot 0,303 = \mathbf{5,83 \text{ cal/cm}^2}$

Total insiden energi busur api di bus 3 1000 A, 6,3 kV adalah:  
 $0,9 + 0,682 + 5,83 = \mathbf{7,41 \text{ cal/cm}^2}$

### **Bus 4 1500 A 6,3 kV (FCT=0,37)**

- Domain waktu 0-0,035 detik  
 $E = 1,1396 \cdot I_{bf \text{ kontribusi}}^{1,063} \cdot \Delta t$   
 $E = 1,1396 \cdot (15,53 + 0,207 + 0,898 + 2,32 + 0,897)^{1,063} \cdot (0,035)$   
 $E = 1,1396 \cdot (19,852)^{1,063} \cdot 0,035 = \mathbf{0,96 \text{ cal/cm}^2}$
- Domain waktu 0,035-0,067  
 $E = 1,1396 \cdot I_{bf \text{ kontribusi}}^{1,063} \cdot \Delta t$

$$E = 1,1396. (13,4 + 0,085 + 0,658 + 1,69 + 0,658)^{1,063}. (0,032)$$

$$E = 1,1396. (16,491)^{1,063}. 0,032 = \mathbf{0,72 \text{ cal/cm}^2}$$

- Domain waktu 0,067-0,57

$$E = 1,1396. I_{bf \text{ kontribusi}}^{1,063}. \Delta t$$

$$E = 1,1396. (11,93 + 0,658 + 1,69 + 0,658)^{1,063}. (0,503)$$

$$E = 1,1396. (14,94)^{1,063}. 0,503 = \mathbf{10,15 \text{ cal/cm}^2}$$

Total insiden energi busur api di bus 4 1500 A, 6,3 kV adalah:  
 $0,96 + 0,72 + 10,15 = \mathbf{11,83 \text{ cal/cm}^2}$

#### **Bus 45 3,3 kV (FCT=0,37)**

- Domain waktu 0-0,035 detik

$$E = 0,9424. I_{bf}^{1,063}. \Delta t$$

$$E = 0,9424. (10,93 + 3,24 + 1,19 + 1,19)^{1,063}. (0,035)$$

$$E = 0,9424. (16,55)^{1,063}. 0,035 = \mathbf{0,65 \text{ cal/cm}^2}$$

- Domain waktu 0,035-0,067

$$E = 0,9424. I_{bf}^{1,063}. \Delta t$$

$$E = 0,9424. (10,28 + 2,16 + 0,796 + 0,796)^{1,063}. (0,032)$$

$$E = 0,9424. (14,032)^{1,063}. 0,032 = \mathbf{0,5 \text{ cal/cm}^2}$$

- Domain waktu 0,067-0,37

$$E = 0,9424. I_{bf}^{1,063}. \Delta t$$

$$E = 0,9424. (9,84 + 2,16 + 0,796 + 0,796)^{1,063}. (0,303)$$

$$E = 0,9424. (13,592)^{1,063}. 0,303 = \mathbf{4,57 \text{ cal/cm}^2}$$

Total insiden energi busur api di bus 45, 3,3 kV adalah:  
 $0,65 + 0,5 + 4,57 = \mathbf{5,72 \text{ cal/cm}^2}$

#### **Bus 34 0,4 kV (FCT=0,35)**

- Domain waktu 0-0,035 detik

$$E = 2,7256. I_{bf}^{0,7929}. \Delta t$$

$$E = 2,7256. (58,85 + 3,41)^{0,7929}. (0,035)$$

$$E = 2,7256. (62,26)^{0,7929}. 0,035 = \mathbf{2,524 \text{ cal/cm}^2}$$



- Domain waktu 0,035-0,067  
 $E = 2,7256 \cdot I_{bf}^{0,7929} \cdot \Delta t$   
 $E = 2,7256 \cdot (56,73 + 1,36)^{0,7929} \cdot (0,032)$   
 $E = 2,7256 \cdot (58,09)^{0,7929} \cdot 0,032 = \mathbf{2,18 \text{ cal/cm}^2}$
- Domain waktu 0,067-0,35  
 $E = 2,7256 \cdot I_{bf}^{0,7929} \cdot \Delta t$   
 $E = 2,7256 \cdot (55,55)^{0,7929} \cdot (0,283)$   
 $E = 2,7256 \cdot (55,55)^{0,7929} \cdot 0,283 = \mathbf{18,65 \text{ cal/cm}^2}$

Total insiden energi busur api di bus 35 tegangan 3,3 kV adalah:  
 $2,524 + 2,18 + 18,65 = \mathbf{23,35 \text{ cal/cm}^2}$

#### **Bus 35 0,69 kV (FCT=0,35)**

- Domain waktu 0-0,035 detik  
 $E = 2,698 \cdot I_{bf}^{1,033} \cdot \Delta t$   
 $E = 2,698 \cdot (31,08 + 4,89 + 4,88)^{1,033} \cdot (0,035)$   
 $E = 2,698 \cdot (40,85)^{1,033} \cdot 0,035 = \mathbf{4,36 \text{ cal/cm}^2}$
- Domain waktu 0,035-0,067  
 $E = 2,698 \cdot I_{bf}^{1,033} \cdot \Delta t$   
 $E = 2,698 \cdot (29,98 + 3,35 + 3,35)^{1,033} \cdot (0,032)$   
 $E = 2,698 \cdot (36,68)^{1,033} \cdot 0,032 = \mathbf{3,56 \text{ cal/cm}^2}$
- Domain waktu 0,067-0,35  
 $E = 2,698 \cdot I_{bf}^{1,033} \cdot \Delta t$   
 $E = 2,698 \cdot (29,29 + 3,35 + 3,35)^{1,033} \cdot (0,283)$   
 $E = 2,698 \cdot (35,99)^{1,033} \cdot 0,283 = \mathbf{30,93 \text{ cal/cm}^2}$

Total insiden energi busur api di bus 35 tegangan 3,3 kV adalah:  
 $4,36 + 3,56 + 30,93 = \mathbf{38,85 \text{ cal/cm}^2}$

#### **Bus 37 0,69 kV (FCT=0,35)**

- Domain waktu 0-0,035 detik  
 $E = 2,698 \cdot I_{bf}^{1,033} \cdot \Delta t$   
 $E = 2,698 \cdot (31,05 + 4,88 + 4,88)^{1,033} \cdot (0,035)$

$$E = 2,698. (40,81)^{1,033} \cdot 0,035 = 4,35 \text{ cal/cm}^2$$

- Domain waktu 0,035-0,067

$$E = 2,698. I_{bf}^{1,033} \cdot \Delta t$$

$$E = 2,698. (29,94 + 3,35 + 3,35)^{1,033} \cdot (0,032)$$

$$E = 2,698. (36,64)^{1,033} \cdot 0,032 = 3,56 \text{ cal/cm}^2$$

- Domain waktu 0,067-0,35

$$E = 2,698. I_{bf}^{1,033} \cdot \Delta t$$

$$E = 2,698. (29,26 + 3,35 + 3,35)^{1,033} \cdot (0,283)$$

$$E = 2,698. (35,96)^{1,033} \cdot 0,283 = 30,9 \text{ cal/cm}^2$$

Total insiden energi busur api di bus 35 tegangan 3,3 kV adalah:  
 $4,35 + 3,56 + 30,9 = 38,81 \text{ cal/cm}^2$

#### 4.5. Perhitungan *Flash protection boundary* (FPB)

Setelah data dari energi busur api pada masing-masing level tegangan diketahui, maka data berikutnya yang perlu diketahui adalah data *Flash protection boundary* (FPB). *Flash Boundary Protection* ini merupakan jarak aman pekerja dari titik yang berpotensi sebagai tempat terjadinya busur api. Jarak aman ini adalah jarak dimana pekerja dapat tetap aman apabila terjadi busur api, tanpa menggunakan peralatan perlindungan diri atau PPE.

Untuk dapat menentukan *Flash protection boundary*, dapat dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan 2.13 berikut:

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot C_f \cdot E_n \cdot \left( \frac{t}{0,2} \right) \left( \frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

Dengan melakukan substitusi persamaan 4.3 ke dalam persamaan 2.13, maka persamaan perhitungan *Flash protection boundary* (FPB) dapat disederhanakan menjadi:

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot \frac{E}{E_B} D^x \right]^{\frac{1}{x}} \quad (4.15)$$

Dimana :  $D_B$  adalah jarak aman dari titik busur api

$D$  adalah jarak pekerja terhadap titik busur api

$E_B$  adalah insiden energi pada jarak batasan. Dapat diset 5 J/cm<sup>2</sup>

$E$  adalah total insiden energi yang dihasilkan

**4.5.1. Hasil Simulasi *Flash protection boundary* Kondisi *Existing* Menggunakan Standar IEEE 1584-2002**

Pada kondisi *existing*, data energi busur api pada masing-masing bus sesuai dengan level tegangan masing-masing sudah didapat melalui simulasi dan perhitungan. Kemudian dapat ditentukan jarak aman bagi pekerja atau *Flash protection boundary* pada masing-masing bus sesuai dengan kategori energi busur api yang dihasilkan.

Berikut tabel 4,5 menampilkan data hasil simulasi *flash protection boundary* pada kondisi *existing* menggunakan software ETAP 12.6:

**Tabel 4. 5** Data *Flash protection boundary* Hasil Simulasi *Existing*

Bus ID	Arus Bolted (kA)	FCT (s)	Insiden Energi (cal/cm <sup>2</sup> )	FPB Existing (m)
Bus 1 section 3000 A	19,98	0,12	3,297	2.583
Bus 2 section 3000 A	19,98	0,12	3,297	2.583
Bus 3 1000 A	18,75	0,12	3,081	2.41
Bus 4 1500 A	19,84	0,12	3,272	2.563
Bus 45 3,3 kV	16,55	1,356	25,22	20,91
Bus 34 0,4 kV	62,16	0,06	4,299	0,995
Bus 35 0,69 kV	40,82	0,45	56,047	4,757
Bus 37 0,69 kV	40,79	0,45	56,005	4,754

Berikut ini adalah perhitungan FPB untuk kondisi *existing*:

**Bus 1 section 3000 A 6,3 kV**

E= 3,297 cal/cm<sup>2</sup>

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot \frac{E}{E_B} D^x \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot \frac{3,297}{5} \cdot 914,4^{0,973} \right]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = 2,59 \text{ m}$$

**Bus 2 section 3000 A 6,3 kV**

$$E = 3,297 \text{ cal/cm}^2$$

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot \frac{E}{E_B} D^x \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot \frac{3,297}{5} \cdot 914,4^{0,973} \right]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = 2,59 \text{ m}$$

**Bus 3 1000 A 6,3 kV**

$$E = 3,081 \text{ cal/cm}^2$$

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot \frac{E}{E_B} D^x \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot \frac{3,081}{5} \cdot 914,4^{0,973} \right]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = 2,42 \text{ m}$$

**Bus 4 1500 A 6,3 kV**

$$E = 3,272 \text{ cal/cm}^2$$

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot \frac{E}{E_B} D^x \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot \frac{3,272}{5} \cdot 914,4^{0,973} \right]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = 2,575 \text{ m}$$

**Bus 45 3,3 kV**

$$E = 25,22 \text{ cal/cm}^2$$

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot \frac{E}{E_B} D^x \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[ 4,184. \frac{25,22}{5} . 914,4^{0,973} \right]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = 21 \text{ m}$$

**Bus 34 0,4 kV**

$$E = 4,299 \text{ cal/cm}^2$$

$$D_B = \left[ 4,184. \frac{E}{E_B} D^x \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[ 4,184. \frac{4,299}{5} . 457,2^{1,641} \right]^{\frac{1}{1,641}}$$

$$D_B = 0,9975 \text{ m}$$

**Bus 35 0,69 kV**

$$E = 56,047 \text{ cal/cm}^2$$

$$D_B = \left[ 4,184. \frac{E}{E_B} D^x \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[ 4,184. \frac{56,047}{5} . 457,2^{1,641} \right]^{\frac{1}{1,641}}$$

$$D_B = 4,769 \text{ m}$$

**Bus 35 0,69 kV**

$$E = 56,005 \text{ cal/cm}^2$$

$$D_B = \left[ 4,184. \frac{E}{E_B} D^x \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[ 4,184. \frac{56,005}{5} . 457,2^{1,641} \right]^{\frac{1}{1,641}}$$

$$D_B = 4,767 \text{ m}$$

Hasil perhitungan sudah sesuai dengan simulasi Flash Protection Boundary atau FPB kondisi *existing*.

#### 4.5.2. Hasil Simulasi *Flash protection boundary* Kondisi *Resetting* Menggunakan Standar IEEE 1584-2002

Pada kondisi *resetting* telah diketahui besar energi busur api yang dihasilkan pada bus sesuai dengan level tegangannya masing-masing. Kemudian tahapan selanjutnya yaitu menentukan *Flash Boundary Protection* atau jarak aman bagi pekerja. *Flash Boundary Protection* kondisi *resetting* dapat ditentukan dari simulasi menggunakan *software* ETAP 12.6, dimana *software* ini menggunakan metode sesuai standar IEEE 1584-2002. Berikut ini pada tabel 4.6 menampilkan data *Flash Boundary Protection* kondisi *resetting* menggunakan standar IEEE 1584-2002:

**Tabel 4.6** Data *Flash protection boundary* Hasil Simulasi Kondisi *Resetting*

Bus ID	Arus Bolted (kA)	FCT (s)	Insiden Energi (cal/cm <sup>2</sup> )	FPB <i>Resetting</i> (m)
Bus 1 section 3000 A	19,98	0,97	26,65	22,125
Bus 2 section 3000 A	19,98	0,77	21,153	17,45
Bus 3 1000 A	18,75	0,37	9,5	7,66
Bus 4 1500 A	19,84	0,57	15,54	12,71
Bus 45 3,3 kV	16,55	0,37	6,88	5,5
Bus 34 0,4 kV	62,16	0,35	25,076	2,914
Bus 35 0,69 kV	40,82	0,35	43,59	4,081
Bus 37 0,69 kV	40,79	0,35	43,56	4,079

Dari tabel 4,6 dapat dilihat nilai *flash protection boundary* hasil simulasi *software*. Simulasi *software* ETAP 12.6, menggunakan standar IEEE 1584-2002. Berikut ini adalah perhitungan *Flash protection boundary* menggunakan standar IEEE 1584-2002:

#### **Bus 1 section 3000 A 6,3 kV**

$$E = 26,65 \text{ cal/cm}^2$$

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot \frac{E}{E_B} D^x \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot \frac{26,65}{5} \cdot 914,4^{0,973} \right]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = 22,22 \text{ m}$$

### **Bus 2 section 3000 A 6,3 kV**

$$E = 21,153 \text{ cal/cm}^2$$

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot \frac{E}{E_B} D^x \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot \frac{21,153}{5} \cdot 914,4^{0,973} \right]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = 17,52 \text{ m}$$

### **Bus 3 1000 A 6,3 kV**

$$E = 9,5 \text{ cal/cm}^2$$

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot \frac{E}{E_B} D^x \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot \frac{9,5}{5} \cdot 914,4^{0,973} \right]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = 7,69 \text{ m}$$

### **Bus 4 1500 A 6,3 kV**

$$E = 15,54 \text{ cal/cm}^2$$

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot \frac{E}{E_B} D^x \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot \frac{15,54}{5} \cdot 914,4^{0,973} \right]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = 12,76 \text{ m}$$

### **Bus 45 3,3 kV**

$$E = 6,88 \text{ cal/cm}^2$$

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot \frac{E}{E_B} D^x \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot \frac{6,88}{5} \cdot 914,4^{0,973} \right]^{0,973}$$

$$D_B = 5,52 \text{ m}$$

### **Bus 34 0,4 kV**

$$E = 25,076 \text{ cal/cm}^2$$

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot \frac{E}{E_B} D^x \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot \frac{25,076}{5} \cdot 457,2^{1,641} \right]^{\frac{1}{1,641}}$$

$$D_B = 2,921 \text{ m}$$

### **Bus 35 0,69 kV**

$$E = 43,59 \text{ cal/cm}^2$$

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot \frac{E}{E_B} D^x \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot \frac{43,59}{5} \cdot 457,2^{1,641} \right]^{\frac{1}{1,641}}$$

$$D_B = 4,092 \text{ m}$$

### **Bus 37 0,69 kV**

$$E = 43,56 \text{ cal/cm}^2$$

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot \frac{E}{E_B} D^x \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot \frac{43,56}{5} \cdot 457,2^{1,641} \right]^{\frac{1}{1,641}}$$

$$D_B = 4,09 \text{ m}$$

Berdasarkan hasil perhitungan jarak aman yang didapat sudah sangat mendekati dengan hasil simulasi yang ditampilkan pada table 4.6.



Dengan demikian hasil perhitungan *Flash protection boundary* sudah sesuai dengan simulasi.

#### 4.5.3. Perhitungan *Flash protection boundary* Kondisi *Resetting* Menggunakan Hasil Perhitungan Modifikasi

Setelah mendapatkan data energi busur api kondisi *resetting* dengan menggunakan metode perhitungan yang dimodifikasi, kemudian data ini digunakan untuk melakukan perhitungan *Flash protection boundary* pada masing-masing level tegangan. Perhitungan dilakukan sebagai berikut:

##### Bus 1 section 3000 A 6,3 kV

$$E = 17,63 \text{ cal/cm}^2$$

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot \frac{E}{E_B} D^x \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot \frac{17,63}{5} \cdot 914,4^{0,973} \right]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = 14,53 \text{ m}$$

##### Bus 2 section 3000 A 6,3 kV

$$E = 15,95 \text{ cal/cm}^2$$

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot \frac{E}{E_B} D^x \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot \frac{15,95}{5} \cdot 914,4^{0,973} \right]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = 13,114 \text{ m}$$

##### Bus 3 1000 A 6,3 kV

$$E = 7,41 \text{ cal/cm}^2$$

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot \frac{E}{E_B} D^x \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot \frac{7,41}{5} \cdot 914,4^{0,973} \right]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = 5,964 \text{ m}$$

**Bus 4 1500 A 6,3 kV**

$$E = 11,83 \text{ cal/cm}^2$$

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot \frac{E}{E_B} D^x \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot \frac{11,83}{5} \cdot 914,4^{0,973} \right]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = 9,646 \text{ m}$$

**Bus 45 3,3 kV**

$$E = 5,72 \text{ cal/cm}^2$$

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot \frac{E}{E_B} D^x \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot \frac{5,72}{5} \cdot 914,4^{0,973} \right]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = 4,571 \text{ m}$$

**Bus 34 0,4 kV**

$$E = 23,35 \text{ cal/cm}^2$$

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot \frac{E}{E_B} D^x \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot \frac{23,35}{5} \cdot 457,2^{1,641} \right]^{\frac{1}{1,641}}$$

$$D_B = 2,797 \text{ m}$$

**Bus 35 0,69 kV**

$$E = 38,85 \text{ cal/cm}^2$$

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot \frac{E}{E_B} D^x \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot \frac{38,85}{5} \cdot 457,2^{1,641} \right]^{\frac{1}{1,641}}$$

$$D_B = 3,815 \text{ m}$$

**Bus 37 0,69 kV**

$$E = 38,81 \text{ cal/cm}^2$$

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot \frac{E}{E_B} \cdot D^x \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot \frac{38,81}{5} \cdot 457,2^{1,641} \right]^{\frac{1}{1,641}}$$

$$D_B = 3,812 \text{ m}$$

#### 4.6. Perbandingan Besar Energi Busur Api Kondisi *Existing* dan *Resetting* (Berdasarkan Standar IEEE 1584-2002 dan Metode Perhitungan Modifikasi)

Setelah dilakukan simulasi dan perhitungan untuk menentukan besar energi busur api yang terdapat pada PT. Industri Gula Glenmore baik kondisi *existing* maupun *resetting*, selanjutnya akan dilakukan perbandingan besar energi busur api pada kondisi *existing* maupun *resetting*, dapat dilihat pada tabel 4,7 dan tabel 4,8.

**Tabel 4.7** Data Perbandingan Besar Energi Insiden Busur Api Untuk Kondisi *Existing* dan *Resetting* Menggunakan IEEE 1584-2002

Bus ID	Insiden Energi <i>Existing</i> (cal/cm <sup>2</sup> )	Kategori	Insiden Energi <i>Resetting</i> (cal/cm <sup>2</sup> )	Kategori
Bus 1 section 3000 A	3,297	N/A	26,65	3
Bus 2 section 3000 A	3,297	N/A	21,153	2
Bus 3 1000 A	3,081	N/A	9,5	2
Bus 4 1500 A	3,272	N/A	15,54	2
Bus 45 3,3 kV	25,22	3	6,88	1
Bus 34 0,4 kV	4,299	1	25,076	3
Bus 35 0,69 kV	56,047	4	43,59	4
Bus 37 0,69 kV	56,005	4	43,56	4

**Tabel 4.8** Data Hasil Perbandingan Energi Busur Api Kondisi *Resetting* dan *Modifikasi*

Bus ID	Insiden Energi <i>Resetting</i> (cal/cm <sup>2</sup> )	Kategori	Insiden Energi <i>Modifikasi</i> (cal/cm <sup>2</sup> )	Kategori
Bus 1 section 3000 A	26,65	3	17,63	2
Bus 2 section 3000 A	21,153	2	15,95	2
Bus 3 1000 A	9,5	2	7,41	1
Bus 4 1500 A	15,54	2	11,83	2
Bus 45 3,3 kV	6,88	1	5,72	1
Bus 34 0,4 kV	25,076	3	23,35	2
Bus 35 0,69 kV	43,59	4	38,85	3
Bus 37 0,69 kV	43,56	4	38,81	3

Dari tabel 4.7 yang sudah ditampilkan terlihat bahwa nilai energi busur api yang dihasilkan pada kondisi *resetting* ada yang mengalami peningkatan dan ada juga yang mengalami penurunan dibandingkan dengan kondisi *existing*. Hal ini disebabkan karena pada kondisi *existing relay* arus lebih masih belum terkoordinasi sesuai dengan standar. Ada yang beroperasi terlalu cepat, tidak menggunakan *grading* waktu yang sesuai standar, ada yang beroperasi dalam waktu yang bersamaan, dan ada yang beroperasi terlalu lama. Setelah dilakukan *resetting* yang sesuai dengan standar, waktu operasi *relay* sudah dikoordinasikan sesuai dengan standar mulai dari sisi beban hingga ke sisi sumber sehingga dapat bekerja secara selektif. Dengan demikian secara mayoritas terjadi peningkatan waktu operasi *relay*, sehingga menyebabkan peningkatan energi busur api. Sementara bus 35 0,69 kV dan bus 37 0,69 kV, pada kondisi *resetting* waktu operasi *relay* nya mengalami penurunan sehingga energi busur api yang dihasilkan juga berkurang.

Dari tabel 4.8 menampilkan perbandingan data energi busur api untuk kondisi *resetting* yang dihitung menggunakan standar IEEE 1584-

2002, dan yang menggunakan perhitungan modifikasi. Terlihat bahwa besar energi busur api yang dihasilkan menggunakan perhitungan modifikasi lebih kecil dibandingkan perhitungan standar IEEE 1584-2002. Hal ini disebabkan karena perhitungan menggunakan metode modifikasi dilakukan berdasarkan domain waktu, baik dari awal gangguan terjadi kondisi  $\frac{1}{2}$  cycle hingga waktu gangguan diamankan 30 cycle. Dengan menggunakan arus kontribusi pada tiap domain waktu maka hasil energi busur api yang di dapat lebih kecil dan lebih akurat dibandingkan perhitungan menggunakan standar IEEE 1584-2002.

#### **4.7. Perbandingan *Flash protection boundary* Kondisi *Existing*, *Resetting* Berdasarkan Standar IEEE 1584-2002, dan Metode Perhitungan Modifikasi**

**Tabel 4.9** Perbandingan *Flash protection boundary* Kondisi *Existing*, *Resetting* Standar 1584-2002 dan *Resetting* Modifikasi

Bus ID	FPB <i>Existing</i> (m)	FPB <i>Resetting</i> IEEE 1584-2002 (m)	FPB <i>Resetting</i> Modifikasi (m)
Bus 1 section 3000 A	2.583	22,125	14,54
Bus 2 section 3000 A	2.583	17,45	13,114
Bus 3 1000 A	2.41	7,66	5,964
Bus 4 1500 A	2.563	12,71	9,646
Bus 45 3,3 kV	20,91	5,5	4,571
Bus 34 0,4 kV	0,995	2,914	2,797
Bus 35 0,69 kV	4,757	4,081	3,815
Bus 37 0,69 kV	4,754	4,079	3,812

Berdasarkan tabel 4.9 dapat dilihat perbandingan antara *Flash protection boundary* kondisi *existing*, dengan *resetting*, baik yang di dapat

dari simulasi yang menggunakan standar IEEE 1584-2002, dan dari metode perhitungan modifikasi. Terlihat bahwa untuk FPB *existing* bernilai lebih kecil dari FPB *resetting*. Dan FPB kondisi *resetting* yang dihitung menggunakan perhitungan modifikasi lebih kecil dibandingkan FPB *resetting* yang dihitung menggunakan standar IEEE 1584-2002. Hal itu sebanding dengan besar energi busur api yang dihasilkan antara kondisi *existing* dan *resetting*, dan antara kondisi *resetting* menggunakan standar IEEE 1584-2002 dan kondisi *resetting* menggunakan metode modifikasi. Jika nilai energi busur api yang dihasilkan lebih besar maka jarak aman yang dihasilkan akan semakin jauh, dan jika energi busur api yang dihasilkan lebih kecil maka jarak amannya juga akan semakin dekat.

#### **4.8. *Personal Protective Equipment (PPE) yang Harus Digunakan***

*Personal Protective Equipment* atau PPE adalah peralatan perlindungan diri yang harus digunakan ketika melakukan pekerjaan di daerah yang beresiko terkena busur api. Berdasarkan hasil analisa energi busur api untuk kondisi setelah *resetting*, energi busur api yang dihasilkan di PT. Industri Gula Glenmore beragam dan yang paling tinggi berada di kategori 3 sesuai dengan acuan standar NFPA 70E 2015.

Berdasarkan tabel 4.10 dapat dilihat bahwa jenis-jenis peralatan perlindungan diri sesuai dengan kategori level energi busur api. Bahan-bahan yang dikenakan harus memiliki ketahanan api yang disesuaikan dengan kategorinya. Semakin besar energi busur api yang dihasilkan semakin kompleks peralatan yang digunakan. Semua ini merupakan hal yang sangat penting diperhatikan karena menyangkut masalah keselamatan bagi para pekerja. Dengan demikian sangat penting untuk menganalisa energi busur api yang berpotensi terjadi, agar dapat menentukan jenis PPE yang tepat sehingga pekerja dapat terhindar dari resiko terkena dampak busur api. Jenis *personal protective equipment* (PPE), yang digunakan untuk kondisi setelah *resetting* dapat dilihat pada tabel 4.10.

**Tabel 4.10** Jenis PPE Berdasarkan Kategori Bahaya Busur Api Setelah *Resetting*

Bus ID	Insiden Energi <i>Resetting Modified</i> (cal/cm <sup>2</sup> )	Kategori	Jenis PPE
Bus 1 section 3000 A	17,63	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kemeja lengan panjang dan celana tahan api</li> <li>• penutup seluruh tubuh,</li> <li>• pelindung wajah,</li> <li>• balaclava.</li> <li>• Jaket yang tahan api.</li> <li>• Helm safety,</li> <li>• Kacamata safety,</li> <li>• Pelindung pendengaran,</li> <li>• Sarung tangan safety</li> <li>• Sepatu safety.</li> </ul>
Bus 2 section 3000 A	15,95		
Bus 4 1500 A	11,83		
Bus 34	23,35		
Bus 3 1000 A	7,41	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kemeja lengan panjang dan celana tahan api</li> <li>• Penutup seluruh tubuh yang tahan api,</li> <li>• Jaket yang tahan api.</li> <li>• Helm <i>safety</i>,</li> <li>• Pelindung wajah yang tahan api,</li> <li>• Kacamata <i>safety</i>,</li> <li>• Pelindung pendengaran,</li> <li>• Sarung tangan safety</li> <li>• Sepatu safety.</li> </ul>
Bus 45	5,72		

**Tabel 4.10** Jenis PPE Berdasarkan Kategori Bahaya Busur Api Setelah *Resetting*



Bus ID	Insiden Energi <i>Resetting Modified</i> (cal/cm <sup>2</sup> )	Kategori	Jenis PPE
Bus 35	38,85	3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kemeja lengan panjang dan celana panjang yang tahan api,</li> <li>• Penutup seluruh tubuh yang tahan api,,</li> <li>• Pelindung wajah yang tahan api,</li> <li>• Jaket yang tahan api</li> <li>• Helm safety,</li> <li>• Kacamata safety,</li> <li>• Pelindung pendengaran,</li> <li>• Sepatu safety.</li> </ul>
Bus 37	38,81		

#### 4.9. Labelling

Setelah mengetahui jarak aman bagi pekerja dan peralatan perlindungan yang tepat sesuai kategori energi *arc flash* atau busur api yang dihasilkan, maka kemudian langkah selanjutnya dapat diberikan label pada masing-masing peralatan panel bus, sebagai tanda peringatan bahaya *arc flash* pada panel tersebut. Berikut ini adalah label yang akan dipasang di masing-masing panel:





Bus 1 section 3000 A:

<b>! DANGER</b>		
	<b>Arc Flash and Shock Hazard</b>	
	Arc Flash Boundary	
	Incident Energy(cal/cm <sup>2</sup> )	17.7
	Working Distance	91 cm
	<b>Cat 2</b>	
	Shock Hazard Voltage	6300 VAC
	Limited Approach	1.5 m
	Restricted Approach	0.7 m
	Equipment	6.3kV bus 1 section 3000A
		05-27-2019

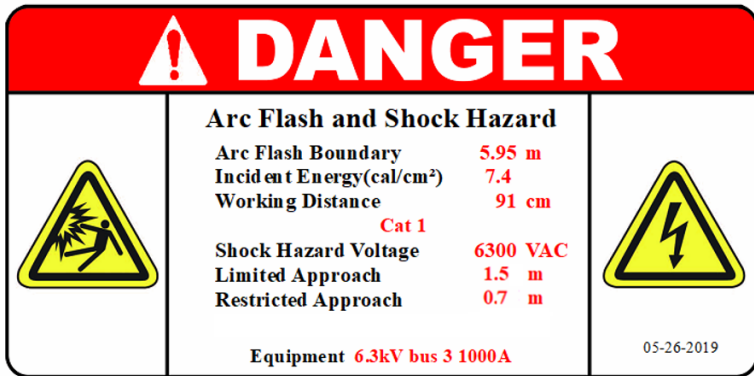
Gambar 4. 19 Label Arc Flash Pada bus 1 section 3000 A

Bus 2 section 3000 A :

<b>! DANGER</b>		
	<b>Arc Flash and Shock Hazard</b>	
	Arc Flash Boundary	
	Incident Energy(cal/cm <sup>2</sup> )	16.0
	Working Distance	91 cm
	<b>Cat 2</b>	
	Shock Hazard Voltage	6300 VAC
	Limited Approach	1.5 m
	Restricted Approach	0.7 m
	Equipment	6.3kV bus 2 section 3000A
		05-26-2019

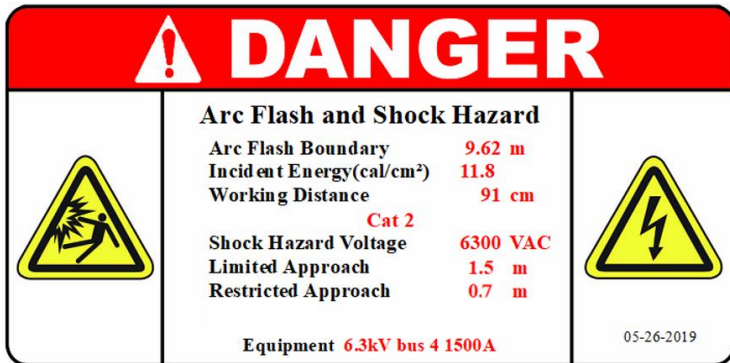
Gambar 4. 20 Label Arc Flash Pada bus 2 section 3000 A

**Bus 3 1000 A:**





**Gambar 4. 21** Label Arc Flash Pada bus 3 1000 A

**Bus 4 1500 A**





**Gambar 4. 22** Label Arc Flash Pada bus 4 1500 A

Bus 45 3,3 kV

<b>! DANGER</b>		
	<b>Arc Flash and Shock Hazard</b>	
	Arc Flash Boundary	
	Incident Energy(cal/cm <sup>2</sup> )	5.7
	Working Distance	91 cm
	<b>Cat 1</b>	
	Shock Hazard Voltage	3300 VAC
	Limited Approach	1.5 m
	Restricted Approach	0.7 m
	Equipment <b>Bus45 3.3 kV</b>	05-26-2019

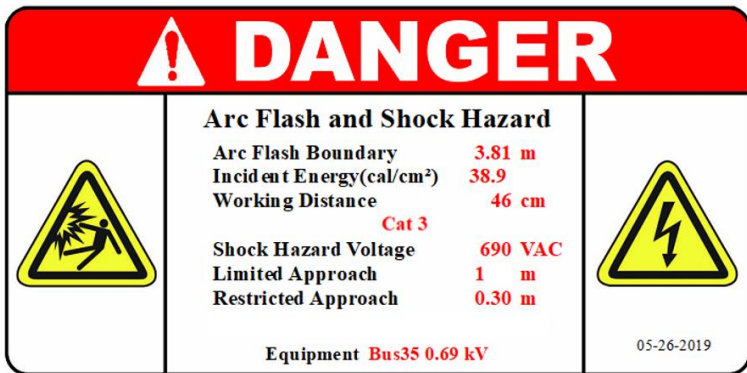
Gambar 4. 23 Label Arc Flash Pada bus 45 3,3 kV

Bus 34 0,4 kV

<b>! DANGER</b>		
	<b>Arc Flash and Shock Hazard</b>	
	Arc Flash Boundary	
	Incident Energy(cal/cm <sup>2</sup> )	23.4
	Working Distance	46 cm
	<b>Cat 2</b>	
	Shock Hazard Voltage	400 VAC
	Limited Approach	1 m
	Restricted Approach	0.30 m
	Equipment <b>Bus34 0.4 kV</b>	05-26-2019

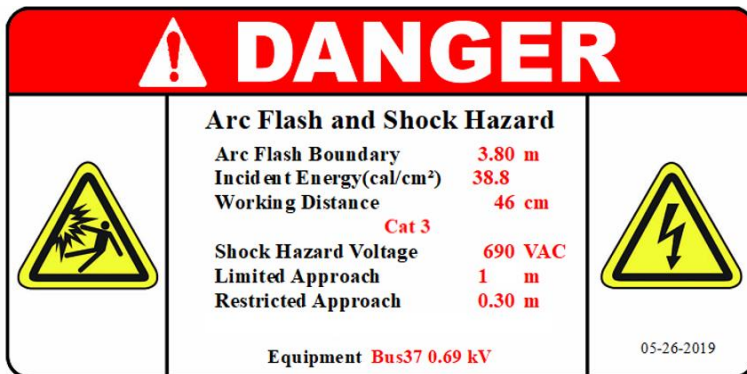
Gambar 4. 24 Label Arc Flash Pada bus 34 0,4kV

Bus 35 0,69 kV



Gambar 4. 25 Label Arc Flash Pada bus 35 0,69 kV

Bus 37 0,69 kV



Gambar 4. 26 Label Arc Flash Pada bus 37 0,69 kV

Perlu diperhatikan bahwa pemberian label sangat penting dilakukan sebagai peringatan bahaya bagi pekerja yang ada di area yang berpotensi menghasilkan energi *arc flash* atau busur api. Selain itu juga perlu untuk melakukan *update* kategori energi busur api sesuai standar NFPA 70E yang terbaru.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil evaluasi koordinasi proteksi dan busur api pada sistem kelistrikan PT. Industri Gula Glenmore, Banyuwangi, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil evaluasi *setting relay* arus lebih pada kondisi *existing* menyatakan bahwa *relay* belum terkoordinasi dengan baik. Sebagai contoh misalnya pada tipikal 2, yaitu koordinasi antara *relay* 14 dan *relay* 15. Terlihat bahwa *relay* 14 dan *relay* 15 beroperasi secara bersamaan. Sehingga *relay* bekerja dengan tidak selektif.
2. Pemberian *grading* waktu yang sesuai standar pada kondisi *resetting* mulai dari sisi beban hingga sisi sumber menyebabkan kenaikan energi insiden busur api. Dengan mengambil contoh pada bus 3 1000 A, energi insiden *existing* bus 3 1000 A sebesar 3,081 cal/cm<sup>2</sup>, tetapi setelah dilakukan *resetting* maka energi busur api meningkat menjadi 9,5 cal/cm<sup>2</sup>. Hal ini disebabkan karena waktu operasi *relay* yang meningkat sehingga energi busur api menjadi semakin besar karena waktu pemutusan meningkat yaitu menjadi 0,37 detik.
3. Metode perhitungan modifikasi yang digunakan untuk menghitung energi busur api, memberikan hasil perhitungan yang lebih akurat dalam merepresentasikan energi busur api yang aktual. Hal ini karena metode perhitungan modifikasi menggunakan perhitungan arus kontribusi berdasarkan domain waktu, sesuai dengan waktu pemutusan gangguan oleh masing-masing pengaman di lokasi gangguan. Sehingga hasil perhitungan energi busur api yang didapat dengan metode modifikasi lebih kecil dibandingkan dengan perhitungan standar IEEE 1584-2002. Sebagai contoh pada bus 3 1000 A, energi busur api kondisi setelah *resetting* yang didapat dari perhitungan standar IEEE 1584-2002 sebesar 9,5 cal/cm<sup>2</sup>, sedangkan dari perhitungan metode modifikasi sebesar 7,41 cal/cm<sup>2</sup>.

## 5.2. Saran

1. Pada kondisi *existing* tipikal 3 untuk *feeder* motor, hanya terdapat kontaktor tanpa ada pengaman untuk gangguan hubung singkat. Hal ini perlu diperhatikan karena arus gangguan hubung singkat di sisi feeder motor juga lebih besar dari kemampuan breaking dari kontaktor, sehingga bila terjadi hubung singkat di sisi feeder motor dapat menyebabkan kontaktor terbakar. Sebagai rekomendasi, perlu ditambahkan peralatan fuse yang pada masing-masing *feeder* motor sebagai pengaman hubung singkat pada *feeder* motor.
2. Pada trafo HDHS 6,3 kV/3,3 kV menggunakan solid grounding. Trafo HDHS ini digunakan untuk menyuplai 3 unit beban motor. Hal ini akan menyebabkan gangguan satu fasa ke tanah pada sisi beban bernilai sangat besar mendekati nilai gangguan 3 fasa. Untuk itu sebagai rekomendasi, trafo HDHS sebaiknya menggunakan NGR, untuk membatasi arus gangguan satu fasa ke tanah.

## DAFTAR PUSTAKA

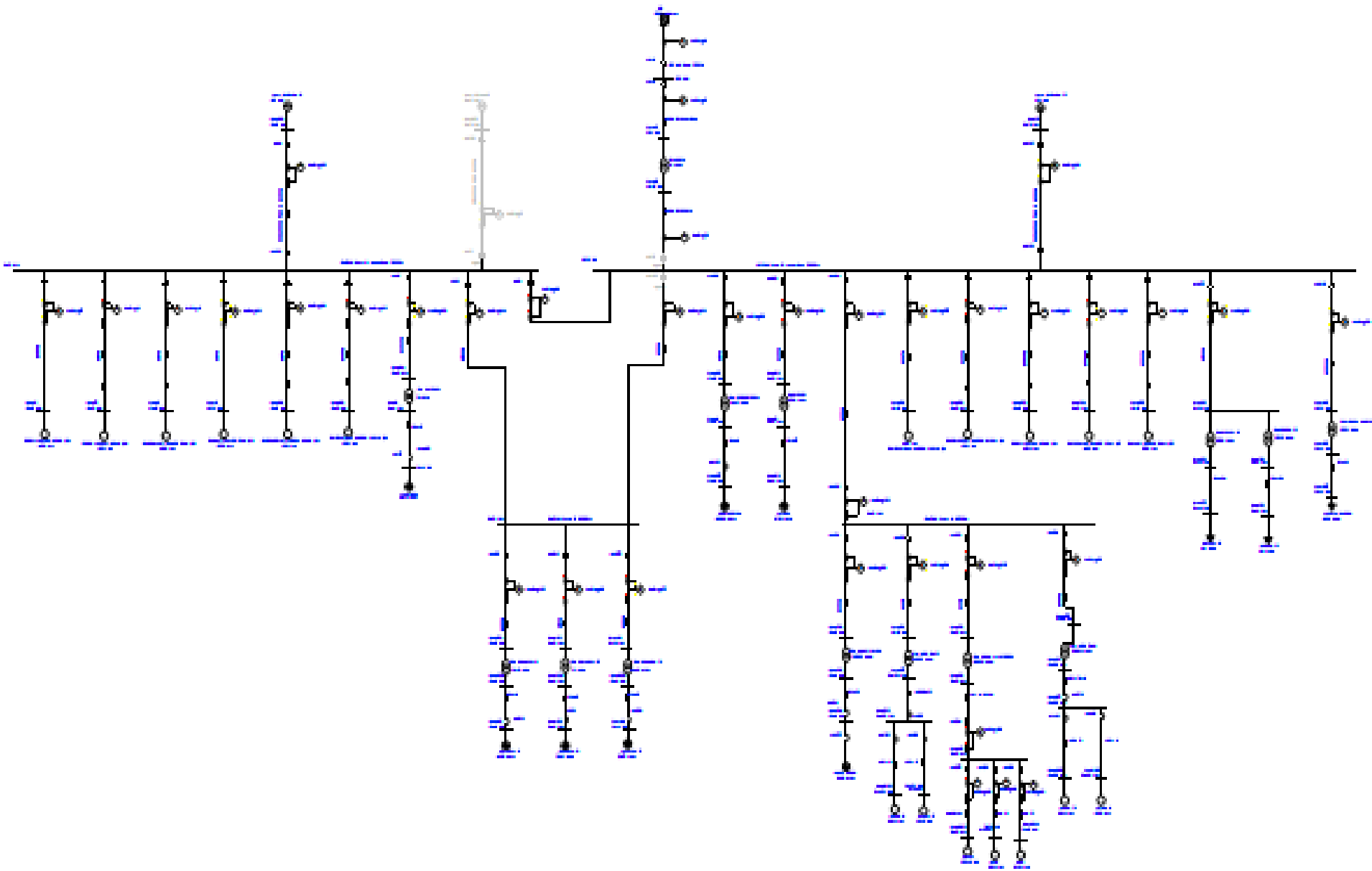
- [1] *International Standard IEC 60909, "Short Circuit Current In Three Phase A.C. System" First Edition 2001.*
- [2] IEEE Std 242-2001 *IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power System.*
- [3] IEEE Std 1584-2002 *IEEE Guide for Performing Arc Flash Hazard Calculation*
- [4] *Understanding Arc Flash*, Occupational Safety and Health Administration, US.
- [5] Xiaodong Liang., "*An Effective Approach to Reducing Arc Flash Hazard in Power System* IEEE Transactions on Industry Application, USA, 2016.
- [6] Wu, Alex Y., "*Modified Medium Voltage Arc flash Incident Energy Calculation Method*", IEEE Transactions on Industry Application, USA, 2010.
- [7] *Standard for Electrical Safety in the Workplace*, NFPA 70E, 2015.
- [8] Sleva F. Anthony. (2009), "*Protective Relay Principle*" (CRC Press ).
- [9] Lazar, Irwin., *Electrical System Analysis and Design For Industrial Plants.*, Mc Graw-Hill Book Company., New York.

-Halaman ini sengaja dikosongkan-



# One-Line Diagram - OLV1 (Short-Circuit Analysis)

---



## LAMPIRAN 2

### *Datasheet relay Micom P127*

The mathematical formula applicable to the first ten curves is:

$$t = T \times \left( \frac{K}{\left( \frac{I}{I_s} \right)^\alpha - 1} + L \right)$$

Where:

t Operation time

K Factor (see table)

I Value of measured current

I<sub>s</sub> Value of the programmed threshold (pick-up value)

α Factor (see table)

L ANS/MEEE constant (zero for IEC and RECT curves)

T Time multiplier setting from 0.025 to 1.5

Type of curve	Standard	K factor	α factor	L factor
Short time inverse	AREVA	0.05	0.04	0
Standard inverse	IEC	0.14	0.02	0
Very inverse	IEC	13.5	1	0
Extremely inverse	IEC	80	2	0
Long time inverse	AREVA	120	1	0
Short time inverse	C02	0.02394	0.02	0.01694
Moderately Inverse	ANS/MEEE	0.0515	0.02	0.114
Long time inverse	C08	5.95	2	0.18
Very inverse	ANS/MEEE	19.61	2	0.491
Extremely inverse	ANS/MEEE	28.2	2	0.1217
Rectifier protection	RECT	45900	5.6	0

## BIODATA PENULIS



### **Andre Roberto Sianipar**

Lahir di Medan, Sumatera Utara pada tanggal 21 Maret 1995, merupakan anak ke 3 dari 4 bersaudara. Penulis menyelesaikan pendidikan formal di SD. St. Antonius V Medan, SLTP ST. Maria, dan SMA Negeri 5 Medan. Kemudian melanjutkan studinya di D3- Teknik Listrik Politeknik Negeri Medan dan lulus pada tahun 2016. Selanjutnya pada tahun 2017, penulis melanjutkan pendidikan sarjana S-1 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya diterima

di Jurusan Teknik Elektro melalui Program Lintas Jalur.

Di Jurusan Teknik Elektro ITS penulis kemudian mengambil bidang studi Teknik Sistem Tenaga. Tugas akhir penulis lebih berfokus kepada sistem pengaman tenaga, dengan judul “**Evaluasi Proteksi Pada Sistem Tegangan Menengah di PT. Industri Gula Glenmore dengan Mempertimbangkan Arc Flash Menggunakan Metode Perhitungan yang Dimodifikasi**”. Penulis dapat dihubungi melalui email [andrerobertosianipar@gmail.com](mailto:andrerobertosianipar@gmail.com)