



TUGAS AKHIR - EE 184801

**STUDI SISTEM KOORDINASI PROTEKSI DAN PENCEGAHAN
BAHAYA ARC FLASH PT. LINDE CIKARANG**

**Prama Ladinosa Berkhi
NRP 0711144000013**

**Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Ir. Sjamsjul Anam, MT.**

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



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - EE 184801

**STUDI SISTEM KOORDINASI PROTEKSI DAN PENCEGAHAN
BAHAYA ARC FLASH PT. LINDE CIKARANG**

Prama Ladinosa Berkhi
NRP 0711144000013

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Ir. Sjamsjul Anam, MT.

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



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - EE 184801

***STUDY of PROTECTION COORDINATION SYSTEM and
PREVENTION of ARC FLASH HAZARD PT. LINDE
CIKARANG***

Prama Ladinosa Berkhi
NRP 0711144000013

Advisor
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Ir. Sjamsjul Anam, MT.

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

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul **Studi Sistem Koordinasi Proteksi dan Pencegahan Bahaya Arc Flash PT. Linde Cikarang**, adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

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

Surabaya, Juli 2019



Prama Ladinosa Berkhi
Nrp. 07111440000013

**STUDI SISTEM KOORDINASI PROTEKSI DAN
PENCEGAHAN BAHAYA ARC FLASH
PT. LINDE CIKARANG**

TUGAS AKHIR

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

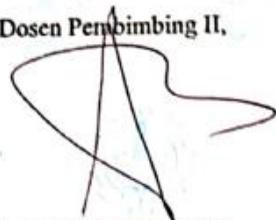
Menyetujui :

Dosen Pembimbing I,



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

Dosen Pembimbing II,



Ir. Sjamsjul Anam, MT.
NIP. 196307251990031002



Studi Sistem Koordinasi Proteksi dan Pencegahan Bahaya Arc Flash PT. Linde Cikarang

Nama : Prama Ladinosa Berkhi
Pembimbing 1 : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Pembimbing 2 : Ir. Sjamsjul Anam, MT.

ABSTRAK

Pada tugas akhir ini dilakukan analisis sistem pengaman terdiri dari *overcurrent relay (OCR)*, *ground fault relay (GFR)*, serta *differential relay*. Disisi lain untuk menunjang keselamatan pekerja analisis *arc flash* menggunakan metode NFPA 70E yang digunakan untuk menentukan *personal protective equipment (PPE)* dari bahaya busur api (*arc-flash*) dengan berdasarkan IEEE std. 1584-2002 dan *overcurrent protective device*. Persamaan dalam IEEE 1584 disesuaikan dengan NFPA 70E agar menemukan *personal protective equipment (PPE)* yang pantas dipakai oleh para pekerja. teknik analisis ini berpotensi dapat diterapkan untuk semua jenis perangkat pelindung arus lebih pada setiap sistem kelistrikan yang berada dalam jangkauan persamaan IEEE 1584.

Studi aktual mengenai analisa bahaya busur api (*arc-flash*) dilakukan pada PT. Linde Cikarang. Pada hasil akhir dari analisis busur api dengan menggunakan metode NFPA 70E sebagai penentuan kategori PPE standart dari perhitungan IEEE 1584-2002 menunjukkan hasil pada setiap tipikal 28,94 cal/cm² di level 4, 12,23 cal/cm² di level 3, 20,97 cal/cm² di level 3, dan 33,94 cal/cm² di level 4.

Kata Kunci :busur api, *overcurrent relay*, *groundfault relay*, *differential relay*, *personal protective equipment*.

----- *Halaman ini sengaja dikosongkan* -----

Study of Protection Coordination System and Prevention of Arc Flash Hazard PT.Linde Cikarang

Name of student : Prama Ladinosa Berkhi
1st Advisor : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
2nd Advisor : Ir. Sjamsjul Anam, MT.

ABSTRACT

In this final task, the analysis of the safety system consisted of an overcurrent relay (OCR), ground fault relay (GFR), and differential relay. On the other hand to show the safety of Arc Flash analysis workers using NFPA 70E method used to determine personal protective equipment (PPE) from the danger of arc-flash with IEEE std. 1584-2002 and Overcurrent and the protective device. The equation in IEEE 1584 is adapted to NFPA 70E in order to find personal protective equipment (PPE) that workers deserve to wear. This analysis technique can potentially be applied to all kinds of more current protective devices on any electrical system that is within range of the IEEE 1584 equation.

The actual study on ARC-flash analysis was conducted at PT. Linde Cikarang. In the final result of the Flame arc analysis using the NFPA 70E method as determination of the Standart PPE category of the calculation of IEEE 1584-2002 shows results on each typical 28.94 cal/cm² at level 4, 12.23 cal/cm² at level 3, 20.97 cal/cm² at level 3, and 33.94 cal/cm² at level 4.

Keywords: Arc Flash, overcurrent relay, Groundfault relay, differential relay, personal protective equipment.

----- *Halaman ini sengaja dikosongkan* -----

KATA PENGANTAR

Segala puji kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya kepada penulis dalam usaha dan kerja sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul :

“Studi Sistem Koordinasi Proteksi dan Pencegahan Bahaya Arc Flash PT. Linde Cikarang

Tugas Akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan untuk menyelesaikan studi di Bidang Studi Teknik Sitem Tenaga, Program Studi S1 Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini, penulis banyak mendapatkan bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis dengan tulus ikhlas menyampaikan banyak terima kasih kepada :

1. Allah SWT yang telah memberikan anugerah kesehatan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini hingga selesai.
2. Bapak Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT. dan Bapak Ir. Sjamsjul Anam, MT. selaku dosen pembimbing, atas segala kesabaran dan kesediaannya meluangkan waktu untuk membimbing serta memberi dukungan sehingga laporan ini dapat terselesaikan tepat waktu.
3. Ayah dan Ibu selaku kedua orang tua penulis atas do’a, semangat, kasih sayang, dan kepercayaan yang diberikan selama ini, serta dukungan baik moril maupun materiil.
4. Dan semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah memberi dorongan dan bantuan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini baik secara langsung maupun tidak langsung.

Kesalahan tak terpisahkan dari jalan kehidupan manusia. Karena itu, saya sebagai penulis meminta maaf apabila dalam pembuatan maupun penyusunan Tugas Akhir ini banyak terdapat kekurangan. Dengan segala kerendahan hati, semoga dengan terselesaikannya Tugas Akhir ini, dapat bermanfaat bagi kita semua sebagai pengembangan ilmu pengetahuan umumnya dimasa mendatang.

Surabaya, Juli 2019

Penulis

DAFTAR ISI

JUDUL	i
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	iii
PENGESAHAN	iv
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	1
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Tugas Akhir	2
1.5 Metodologi	2
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
1.7 Relevansi	4
BAB II. SISTEM PENGAMAN TENAGA LISTRIK DAN BUSUR API	
2.1 Gangguan pada Sistem Tenaga Listrik.....	5
2.1.1 Gangguan Hubung Singkat	5
2.1.1.1 Gangguan Hubung Singkat Simetri	5
2.1.1.2 Gangguan Hubung Singkat Asimetri	6
2.2 Rele Pengaman Sistem Tenaga Listrik	8
2.3 Rele Gangguan Satu Fasa ke Tanah	8
2.4 Rele Diferensial.....	8
2.4.1 Rele Diferensial Transformator	8
2.4.2 Prinsip Kerja Rele Diferensial Transformator	9
2.4.3 Setting Rele Diferensial	9
2.5 Rele Arus Lebih.....	10
2.5.1 Rele Arus Lebih Waktu <i>Inverse</i>	10
2.5.2 Rele Arus Lebih Waktu <i>Instant</i>	11
2.5.3 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu.....	12
2.5.4 Setting Rele Arus Lebih <i>Inverse</i>	13
2.5.5 Setting Rele Arus Lebih <i>Instant</i>	14
2.6 Busur Api (<i>Arc Flash</i>)	14
2.6.1 <i>Arcing Current</i>	14

2.6.2 Insiden Energi.....	15
2.6.3 Peerhitungan <i>Flash Protection Boundary</i>	16
2.6.4 Pengelompokan Insiden Energi dan Penentuan <i>Personal Protective Equipmen (PPE)</i>	18

BAB III. SISTEM KELISTRIKAN PT. LINDE INDONESIA CIKARANG

3.1 Sistem Kelistrikan PT. Linde Indonesia Cikarang.....	21
3.2 Sistem Pembangkitan PT. Linde Indoenesia Cikarang	22
3.3 Sistem Distribusi PT. Linde Indoenesia Cikarang.....	22
3.4 Beban di PT. Linde Indoenesia Cikarang	23
3.5 Beban Lump di PT. Linde Indoenesia Cikarang.....	23
3.6 Sistem Pengaman Arus Lebih	24

BAB IV. HASIL SIMULASI DAN ANALISA

4.1 Permodelan Sistem Kelistrikan PT. Linde Indonesia Cikarang.....	29
4.2 Pemilihan Koordinasi Proteksi PT. Linde Cikarang	29
4.3 Analisis Arus Gangguan Hubung Singkat.....	30
4.4 Koordinasi Proteksi Rele Arus Lebih	31
4.4.1 Koordinasi Rele Arus Lebih Tipikal 1	31
4.4.1.1 Rekomendasi <i>Setting</i> Rele Arus Lebih Tipikal 1	33
4.4.2 Koordinasi Rele Arus Lebih Tipikal 2	41
4.4.2.1 Rekomendasi <i>Setting</i> Rele Arus Lebih Tipikal 2	44
4.4.3 Koordinasi Rele Arus Lebih Tipikal 3	48
4.4.3.1 Rekomendasi <i>Setting</i> Rele Arus Lebih Tipikal 3	51
4.4.4 Koordinasi Rele Arus Lebih Tipikal 4	54
4.4.4.1 Rekomendasi <i>Setting</i> Rele Arus Lebih Tipikal 4	55
4.5 Koordinasi Rele Gangguan ke Tanah	65
4.5.1 <i>Setting</i> Rele Ground Fault Feeder 10,5 KV	66
4.6 Koordinasi Proteksi Rele Differensial.....	68
4.7 Perhitungan <i>Insident Energy Arc Flash</i>	75
4.7.1 Hasil Simulasi <i>Incident Energy Arc Flash</i>	75
4.7.2 Perhitunga <i>Incident Energy Arc Flash</i> Tipikal 1	76

4.7.3	Perhitunga <i>Incident Energy Arc Flash</i> Tipikal 2.... ..	78
4.7.4	Perhitunga <i>Incident Energy Arc Flash</i> Tipikal 3.... ..	80
4.7.5	Perhitunga <i>Incident Energy Arc Flash</i> Tipikal 4.... ..	82
4.8	Perbandingan Eksisting dan Resetting <i>Personal Protective Equipment</i> (PPE) Sesuai dengan NFPA 70E	84
BAB V. PENUTUP		
5.1	Kesimpulan.....	89
5.2	Saran	89
DAFTAR PUSTAKA	91
BIODATA PENULIS	93

———— *Halaman ini sengaja dikosongkan* ————

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Hubung Singkat Tiga Fasa	6
Gambar 2.2	Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah	6
Gambar 2.3	Hubung Singkat antar Fasa	7
Gambar 2.4	Hubung Singkat Dua Fasa ke Tanah.....	7
Gambar 2.5	Cara Kerja Rele Diferensial	9
Gambar 2.6	Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu <i>Inverse</i>	11
Gambar 2.7	Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu <i>Instant</i>	12
Gambar 2.8	Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu	12
Gambar 2.9	<i>Flash Protection Boundary</i>	17
Gambar 2.10	<i>Personal Protective Equipment</i>	18
Gambar 3.1	<i>Single Line Diagram</i> PT. Linde Cikarang.....	21
Gambar 4.1	<i>Single Line Diagram</i> Tipikal PT. Linde Cikarang	29
Gambar 4.2	<i>Single Line Diagram</i> Tipikal 1	32
Gambar 4.3	<i>Time Current Curve</i> Kondisi Eksisting 1	32
Gambar 4.4	<i>Time Current Curve</i> Kondisi Resetting 1	41
Gambar 4.5	<i>Single Line Diagram</i> Tipikal 2	42
Gambar 4.6	<i>Time Current Curve</i> Kondisi Eksisting 2	43
Gambar 4.7	<i>Time Current Curve</i> Kondisi Resetting 2.....	48
Gambar 4.8	<i>Single Line Diagram</i> Tipikal 3	49
Gambar 4.9	<i>Time Current Curve</i> Kondisi Eksisting 3	50
Gambar 4.10	<i>Time Current Curve</i> Kondisi Resetting 3.....	55
Gambar 4.11	<i>Single Line Diagram</i> Tipikal 4	56
Gambar 4.12	<i>Time Current Curve</i> Kondisi Eksisting 4	57
Gambar 4.13	<i>Time Current Curve</i> Kondisi Resetting 4.....	65
Gambar 4.14	Setting Rele Ground Fault pada sisi 10,5 KV.....	66
Gambar 4.15	Sistem Proteksi Rele Diferensial	68
Gambar 4.16	Kurva Karakteristik Rele Diferensial Trafo	75

————— *Halaman ini sengaja dikosongkan* —————

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Koefisien <i>Inverse</i> untuk <i>Time Dial</i>	26
Tabel 2.2	<i>Personal Protective Equipment</i>	17
Tabel 3.1	Data Sumber Daya Listrik PT. Linde Cikarang	22
Tabel 3.2	Data Kapasitas Transformator PT. Linde Cikarang	22
Tabel 3.3	Data Kapasitas Beban PT. Linde Cikarang.....	23
Tabel 3.4	Data Kapasitas Beban Lump PT. Linde Cikarang.....	23
Tabel 3.5	Spesifikasi LVCB 1 pada Kondisi Eksisting	24
Tabel 3.6	Spesifikasi LVCB 2 pada Kondisi Eksisting	24
Tabel 3.7	Spesifikasi <i>Relay</i> 1 pada Kondisi Eksisting.....	25
Tabel 3.8	Spesifikasi <i>Relay</i> 3 pada Kondisi Eksisting.....	25
Tabel 3.9	Spesifikasi <i>Relay</i> 4 pada Kondisi Eksisting.....	25
Tabel 3.10	Spesifikasi <i>Relay</i> 5 pada Kondisi Eksisting.....	26
Tabel 3.11	Spesifikasi <i>Relay</i> 6 pada Kondisi Eksisting.....	26
Tabel 3.12	Spesifikasi <i>Relay</i> 8 pada Kondisi Eksisting.....	26
Tabel 3.13	Spesifikasi <i>Relay</i> 10 pada Kondisi Eksisting.....	27
Tabel 4.1	Data Arus Hubung Singkat Tipikal 1	30
Tabel 4.2	Data Arus Hubung Singkat Tipikal 2	31
Tabel 4.3	Data Arus Hubung Singkat Tipikal 3	31
Tabel 4.4	Data Arus Hubung Singkat Tipikal 4	31
Tabel 4.5	Setting Rele pada Kondisi Eksisting Tipikal 1	33
Tabel 4.6	Setting Rele pada Kondisi Resetting Tipikal 1	38
Tabel 4.7	Setting Rele pada Kondisi Eksisting Tipikal 2	43
Tabel 4.8	Setting Rele pada Kondisi Resetting Tipikal 2	47
Tabel 4.9	Setting Rele pada Kondisi Eksisting Tipikal 3	51
Tabel 4.10	Setting Rele pada Kondisi Resetting Tipikal 3	54
Tabel 4.11	Setting Rele pada Kondisi Eksisting Tipikal 4	58
Tabel 4.12	Setting Rele pada Kondisi Resetting Tipikal 4	63
Tabel 4.13	Kondisi Simulasi pada Eksisting Tipikal 1	73
Tabel 4.14	Kondisi Simulasi pada Eksisting Tipikal 2.....	76
Tabel 4.15	Kondisi Simulasi pada Eksisting Tipikal 3.....	76
Tabel 4.16	Kondisi Simulasi pada Eksisting Tipikal 4.....	76
Tabel 4.17	Perbandingan Hasil Simulasi <i>Incident Energy Arc Flash</i> <i>dan Flash Protection Boundary</i> dengan perhitungan manual.....	83
Tabel 4.18	Perbandingan Eksisting/Resetting <i>Arc Flash</i> Tipikal 1	84
Tabel 4.19	Perbandingan Eksisting/Resetting <i>Arc Flash</i> Tipikal 2	85
Tabel 4.20	Perbandingan Eksisting/Resetting <i>Arc Flash</i> Tipikal 3	86

Tabel 4.21 Perbandingan Eksisting/Resetting *Arc Flash* Tipikal 4 86

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT. Linde Indonesia merupakan perusahaan yang bergerak dalam bidang *supplying* gas di Indonesia. Pada PT. Linde Indonesia mempunyai sistem kelistrikan yang perlu dilakukan analisa koordinasi proteksi dan *arc flash* khususnya pada bus switchgear dan feeder tegangan menengah.

Studi koordinasi proteksi ini meliputi hasil studi *short circuit* dan perhitungan relay yang terpasang di sistem kelistrikan tersebut. Hasil studi *short circuit* dan studi koordinasi proteksi tersebut sebagai acuan untuk dilakukannya studi analisa *arc flash*. Hasil perhitungan *arc flash* didapat dari perhitungan nilai fault arching current yang didapat melalui studi short circuit, clearing times dan studi koordinasi peralatan proteksi khususnya arus lebih. Insiden Energi adalah tujuan dari perhitungan analisa *arc flash*, dan mencakup durasi peristiwa terjadinya *arc flash*. Dari hasil analisa diatas yang menggunakan bantuan *software*, diharapkan syarat dan kategori besarnya energi *arc flash* dapat terpenuhi dan disesuaikan dengan adanya standar NFPA 70E, dengan melakukan setting ulang khususnya pada *relay overcurrent*. NFPA 70E adalah standar mengenai setting dan besarnya insiden energi yang disesuaikan dengan alat pelindung diri (APD), sehingga pekerja dapat terhindar dari bahaya kerusakan pada peralatan – peralatan kelistrikan industri.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah :

1. Koordinasi proteksi peralatan – peralatan pengaman pada sistem kelistrikan PT. Linde site Cikarang
2. Berapa besar insiden energi *arc flash* pada *switchgear* dan *feeder* tegangan menengah di PT. Linde Indonesia site Cikarang?

3. Alat pelindung diri apakah yang tepat untuk alat perlindungan diri terhadap *arc flash* yang terjadi?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada Tugas Akhir ini meliputi :

1. Setting rele meliputi OCR (*overcurrent relay*), GFR (*ground fault relay*), dan *differential relay*
2. Pengaturan koordinasi proteksi pada tegangan menengah dan tegangan rendah
3. Menghitung besar insiden energi pada tegangan menengah dan rendah
4. Penentuan *Personal Protective Equipment* (PPE) menggunakan standar NFPA 70E

1.4 Tujuan Tugas Akhir

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Memperbaiki serta mengkoordinasi ulang setting *rele* proteksi PT. Linde Cikarang
2. Mengetahui besar insiden energi *arc flash* di PT. Linde Indonesia site Cikarang
3. Alat pelindung diri apa yang tepat untuk alat pelindung diri terhadap *arc flash* yang terjadi

1.5 Metodologi

Metodologi yang akan digunakan penulis dalam proses penulisan Tugas Akhir ini adalah :

1. Pengumpulan Data dan Studi Literatur
Mengumpulkan data – data sistem kelistrikan di PT.Linde Cikarang sebagai acuan permodelan dan perhitungan dan mengumpulkan literatur yang sesuai dengan topik.
2. Simulasi dengan ETAP 12.6.0
Pada tahap ini dilakukan Simulasi pemodelan sistem kelistrikan PT Linde Cikarang menggunakan software ETAP versi 12.6.0. pemodelan sistem ini melakukan pengaturan koordinasi proteksi dan *arc flash*.
3. Analisa Data

Menganalisa data perhitungan dari hasil simulasi yang dibuat dengan program ETAP 12.6.0 serta mencocokkan dengan referensi yang berhubungan dengan topik.

4. Kesimpulan

Menyimpulkan hasil analisa dan perhitungan yang telah dibuat serta memberikan saran ataupun komentar terhadap topik.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan buku laporan tugas akhir ini berisi lima bab yang terdiri dari, pendahuluan, teori dasar, sistem kelistrikan, permodelan, analisa data, dan yang terakhir kesimpulan serta saran.

Bab 1. Pendahuluan

Bab ini berisi tentang latar belakang, permasalahan, batasan masalah, tujuan tugas akhir, metodologi, sistematika penulisan, dan relevansi.

Bab 2. Sistem pengamanan Tenaga Listrik dan Busur Api

Bab ini membahas mengenai dasar teori yang digunakan untuk menunjang penyusunan tugas akhir ini seperti perhitungan proteksi sistem kelistrikan dan busur api.

Bab 3. Sistem Kelistrikan PT. Linde Indonesia Cikarang

Bab ini menjelaskan kondisi sistem kelistrikan pada PT. Linde Indonesia Cikarang

Bab 4. Hasil simulasi dan Analisa

Bab ini membahas mengenai *setting* rele pada sistem kelistrikan seperti *overcurrent*, *differential*, *ground fault*, dan insiden energi busur api yang dihasilkan serta membandingkan hasil *eksisting-resetting*.

Bab 5. Penutup

Bab ini berisi mengenai kesimpulan dan saran dari pembahasan yang telah dilakukan.

1.7 Relevansi

Laporan Tugas Akhir ini diharapkan dapat menjadi rekomendasi dan referensi bagi PT.Linde Indonesia mengenai sistem kelistrikan, koordinasi proteksi, dan alat pelindung diri yang tepat mengatasi bahaya busur api. Tugas akhir ini juga dapat menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya.

----- *Halaman ini sengaja dikosongkan* -----

BAB 2

SISTEM PENGAMAN TENAGA LISTRIK DAN BUSUR API

2.1 Gangguan pada Sistem Tenaga Listrik

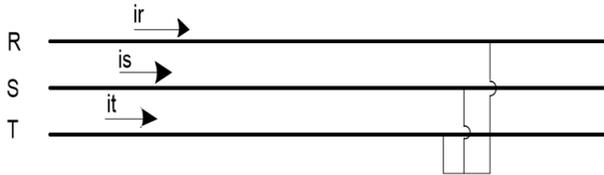
Keadaan dimana sistem mengalami gangguan ketika adanya ketidaknormalan pada sistem tenaga listrik tersebut. Asal muasal gangguan dapat terjadi dari dalam maupun luar sistem. Salah satu gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik adalah, gangguan hubung singkat

2.1.1 Gangguan Hubung Singkat

Hubung singkat atau biasa disebut *short circuit* adalah salah satu jenis gangguan sistem tenaga listrik. Penyebab terjadinya hubung singkat diantaranya adalah kerusakan pada isolasi peralatan, panas yang lebih, kerusakan mekanis pada peralatan distribusi, dan kerusakan peralatan listrik karena *overload*. Gangguan hubung singkat menimbulkan aliran arus dengan nilai yang besar menuju ke titik gangguan. Aliran arus yang besar tersebut merupakan jumlah dari arus kontribusi yang berasal dari generator serta beban berupa motor. Gangguan Hubung singkat dibagi menjadi dua kelompok, gangguan simetri dan asimetri.

2.1.1.1 Gangguan Hubung Singkat Simetri

Gangguan hubung singkat simetri adalah hubung singkat yang seimbang. Gangguan yang terjadi pada semua fasa dengan kondisi seimbang antara arus maupun tegangan. Kondisi pada gangguan hubung singkat seperti ini dapat dianalisa dengan komponen positif. Gambar 2.1 hubung singkat 3 fasa.



Gambar 2.1 Hubung Singkat Tiga Fasa

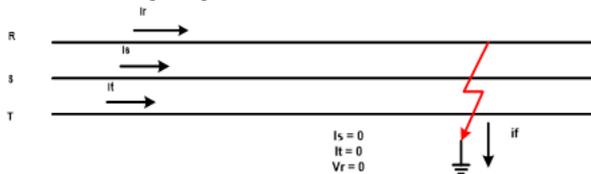
Hubung singkat ini terjadi anatar 3 fasa terhubung dengan tanah. Hubung singkat ini dapat dituliskan persamaan sebagai berikut :

$$I_{sc3\phi} = \frac{VLN}{Z_1} \dots\dots\dots(2.1)$$

2.1.1.2 Gangguan Hubung Singkat Asimetri

Gangguan hubung singkat asimetri adalah hubung singkat yang tidak seimbang. Gangguan yang terjadi pada setiap fasanya menunjukkan hasil yang berbeda antara arus maupun tegangan. Gangguan hubung singkat terbagi menjadi 3 yakni[1]:

- Hubung singkat 1 fasa ke tanah

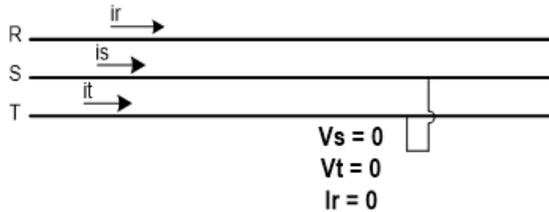


Gambar 2.2 Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

Hubung singkat ini terjadi ketika terhubungnya 1 fasa ke tanah, sistem pentanahan yang ada pada sistem. Hubung singkat ini dapat dituliskan persamaan sebagai berikut :

$$I_{scL-N} = \frac{3VLN}{Z_1+Z_2+Z_0} \dots\dots\dots(2.2)$$

- Hubung singkat antar fasa

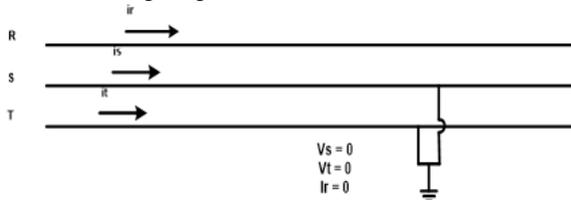


Gambar 2.3 Hubung Singkat antar Fasa

Hubung singkat ini terjadi antara 1 fasa dengan fasa lain nya saling terhubung tetapi tidak ada yang terhubung ke tanah. Hubung singkat ini dapat dituliskan persamaan sebagai berikut :

$$I_{scL-L} = \frac{V_{LL}}{Z_1 + Z_2} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{sc3\phi} \approx 0,86 I_{sc3\phi} \dots \dots \dots (2.3)$$

- Hubung singkat 2 fasa ke Tanah



Gambar 2.4 Hubung Singkat Dua Fasa ke Tanah

Hubung singkat ini terjadi ketika 2 fasa terhubung dengan tanah. Hubung singkat ini dapat dituliskan persamaan sebagai berikut :

$$I_{A1} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2 Z_0 / (Z_2 + Z_0)} \dots \dots \dots (2.4)$$

2.2 Rele Pengaman Sistem Tenaga Listrik

Rele merupakan bagian dari peralatan sistem tenaga listrik digunakan untuk memberikan sinyal kepada CB agar dapat memutuskan atau menghubungkan pada sistem tenaga listrik saat terjadi gangguan ataupun tidak.

2.3 Rele Gangguan Satu Fasa ke Tanah

Salah satu gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik adalah gangguan fasa ke tanah. Oleh karena itu perlu dipasang rele pengaman untuk mengamankan sistem dari terjadinya gangguan tersebut. Rele yang berfungsi untuk mengamankan ialah *Ground Fault Relay* (GFR). Rele gangguan ke tanah dapat digunakan pada sistem yang membatasi arus gangguan ke tanah, Misalnya sistem dengan pentanahan resistansi. Perhitungan sistem pentanahan seperti[2]:

$$10\% \times I_{NGR} < I_{set} < 50 \times I_{NGR} \dots \dots \dots (2.4)$$

$$Tap = \frac{I_{set}}{CT_{prim}} \dots \dots \dots (2.5)$$

2.4 Rele Differensial

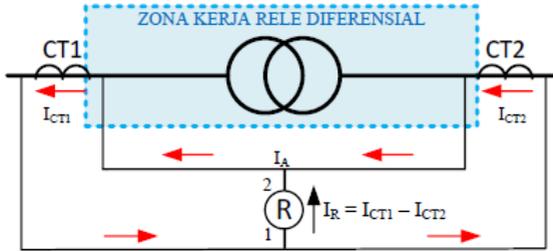
Prinsip kerja rele differensial mengacu pada hukum kirchoff yakni, keseimbangan jumlah arus antara jumlah arus yang masuk dan jumlah arus yang keluar pada satu titik. Rele diferensial hanya bekerja jika terjadi gangguan pada daerah yang di proteksi dan tidak terpengaruh dengan adanya gangguan akibat beban lebih. Rele diferensial digunakan sebagai pengaman utama karena sifatnya yang dapat bekerja dengan kecepatan tinggi serta sangat efektif untuk mengamankan gangguan. Proteksi diferensial ini digunakan salah satunya pada transformator.

2.4.1 Rele Diferensial Transformator

Transformator merupakan peralatan yang penting dalam sistem tenaga. peralatan inilah yang memungkinkan pengguna dapat mentransformasikan nominal tegangan yang digunakan pada sistem.

2.4.2 Prinsip Kerja Rele Diferensial Transformator

dalam kondisi normal, arus yang mengalir pada peralatan yang di amankan (transformator). Transformator arus terdiri dari I_{CT1} dan I_{CT2} bersikulasi melalui jalur I_A pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Cara Kerja Rele Diferensial

Jika terjadi gangguan di luar peralatan listrik yang diamankan (*External Fault*), maka arus yang mengalir akan bertambah besar, akan tetapi sirikulasinya akan tetap sama dengan → kondisi normal, sehingga rele tidak bekerja untuk gangguan luar.

Sebaliknya, jika terjadi di dalam daerah pengaman rele (*Intenal Fault*), maka sirkulasi arus akan terbalik, menyebabkan keseimbangan kondisi normal terganggu, sehingga I_{diff} akan mengalir melalui rele pengaman terminal 1 menuju terminal 2, sehingga rele bekerja untuk gangguan dalam.

2.4.3 Setting Rele Diferensial

- **Kondisi normal**
 $I_{CT1} = I_{CT2} \rightarrow$ Diam
- **Gangguan**
Intenal Fault → Trip
External Fault → Diam
- **Selisih Arus**
 $I_{diff} = |I_{CT1} - I_{CT2}| \dots \dots \dots (2.5)$

- **Restrain**

$$I_{Restrain} = \frac{I_{CT1} + I_{CT2}}{2} \dots\dots\dots(2.6)$$

- **Slope**

$$Slope (\%) = \frac{I_{diff}}{I_{Restrain}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.7)$$

$$Max. Slope Ex. Fault < Slope set. < Min. Slope In. Fault \dots(2.8)$$

$$Max. I_{diff} Ex. Fault < I_{diff} set. < Min. I_{diff} In. Fault \dots\dots\dots(2.9)$$

2.5 Rele Arus Lebih (*Over Current Relay*)

Rele arus lebih adalah salah satu rele yang mengamankan saat terjadinya hubung singkat. Rele arus lebih juga mendeteksi adanya beban lebih, serta mempunyai nomor seri 50/51.

Prinsip kerja rele arus lebih berdasarkan arus masukan, melebihi harga batasan atau tidak[2].

Ketika:	$I_f > I_{pp}$	rele bekerja
	$I_f < I_{pp}$	rele tidak bekerja

Dimana:

I_f = arus gangguan

I_{pp} = arus *pick up* (nilai setting)

Ketika I_{pp} yang merupakan arus *pick up* atau nilai setting yang ditentukan terlewati oleh I_f sebagai nilai arus gangguan, maka CB akan langsung terbuka. Selain kondisi ini rele tidak akan bekerja. Rele arus lebih dibagi menjadi tiga, yaitu rele arus lebih waktu *inverse*, rele arus lebih waktu instan, dan rele arus lebih waktu tertentu.

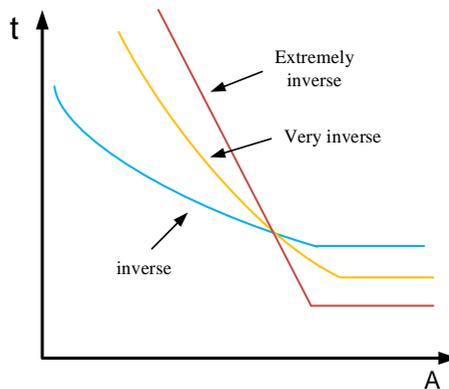
2.5.1 Rele Arus Lebih Waktu *Inverse*

Rele arus lebih waktu *invers* memiliki karakteristik pada waktu operasi yang berbanding terbalik dengan arus gangguan.

Sehingga semakin besar arus gangguan yang terdeteksi semakin cepat waktu operasi rele, begitu juga sebaliknya[3].

Pada rele arus lebih waktu *inverse* terdapat *time dial* sebagai waktu operasi rele bekerja. Semakin besar nilai *time dial* maka operasi bekerjanya rele akan semakin lama, begitupun sebaliknya.

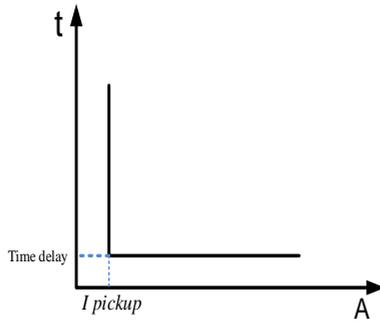
Rele arus lebih waktu invers dibagi menjadi beberapa jenis menurut gradien kurvanya. kurva *inverse* dibagi menjadi *standard inverse*, *very inverse*, dan *extremely inverse* seperti ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu *Inverse*

2.5.2 Rele Arus Lebih Waktu Instan

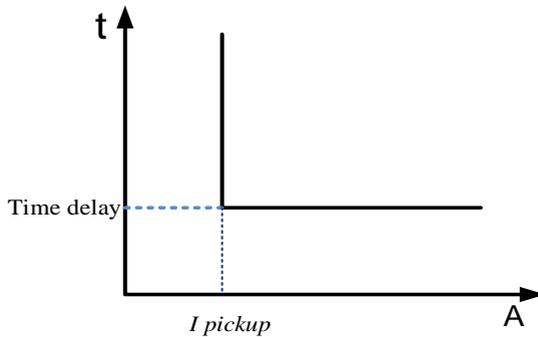
Rele arus lebih instan beroperasi seketika tanpa ada waktu jeda atau tunda. *Instantaneous Over Current Relay* ini biasanya beroperasi bersama rele arus lebih lainnya. Pada umumnya rele ini bekerja ketika arus yang mengalir melebihi nilai settingnya. Karakteristik rele arus lebih waktu instan ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Instan

2.5.3 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

Rele arus lebih waktu tertentu ini bekerja dengan pengaturan *time delay*. Semua nilai arus yang melewati batas tersebut akan diputus dalam waktu tersebut. Karakteristik rele arus lebih waktu tertentu ditunjukkan pada Gambar 2.8 berikut.



Gambar 2.8 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

2.5.4 Setting Rele Arus Lebih Waktu *Inverse*

Rele arus lebih waktu *inverse* tidak disarankan untuk beroperasi saat arus beban penuh, sehingga pengaturan rele ini harus lebih besar dari arus pada kondisi beban maksimum (*Full Load Ampere*). Menurut standart BS 142, batasan pengaturan bernilai antara $1,05I_{FL} - 1,3I_{FL}$.

Rele arus lebih waktu invers memiliki pengaturan *pick up* dan *time dial*. Pengaturan arus *pick up* ditentukan dengan pemilihan *tap*. Selain itu juga harus menentukan *time dial* yang ditunjukkan pada Persamaan berikut[4]:

$$Tap = \frac{I_{set}}{CT_{primary}} \dots \dots \dots (2.10)$$

$$1,05 I_{FLA} < I_{set} < 1,3 I_{FLA} \dots \dots \dots (2.11)$$

$$td = \frac{k \times T}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right]} \dots \dots \dots (2.12)$$

Keterangan :

- td = waktu operasi (detik)
- T = *time dial* (detik)
- I = nilai arus gangguan (Ampere)
- I_{set} = arus *pick up* (Ampere)
- k = koefisien *inverse* 1 (Tabel 2.1)
- α = koefisien *inverse* 2 (Tabel 2.1)
- β = koefisien *inverse* 3 (Tabel 2.1)

Tabel 2.1 Koefisien *Inverse* untuk *Time Dial*

Tipe Kurva	Koefisien		
	K	α	β
Standart Invers	0,14	0,02	2,97
Very Inverse	13,5	1	1,5
Extremly Inverse	80	2	0,808

2.5.5 Pengaturan Rele Arus Lebih Waktu Instan

Rele arus lebih waktu instan diatur untuk beroperasi seketika arus melebihi arus *pick up*. Dalam setting rele arus waktu instan harus mengatur setelan arus pickup. Rele arus lebih waktu instan ini menggunakan arus hubung singkat minimum (I_{scmin}) yaitu arus hubung singkat 2 fasa pada pembangkitan minimum. Nilai *Pick up set point* dan *tapp setting* didapatkan dari Persamaan berikut:

$$1,6 I_{FLA} \leq I_{set} \leq 0,8 I_{scmin} \dots \dots \dots (2.12)$$

$$T_{app} = \frac{I_{set}}{CT_{prim}} \dots \dots \dots (2.13)$$

2.6 Busur Api (*Arc Flash*)

Berdasarkan National Fire Protection Association (NFPA) 70E, Arc flash adalah kondisi yang berbahaya akibat adanya pelepasan energi yang disebabkan oleh bunga api listrik[5]. Penyebab adanya bunga api listrik tersebut karena adanya arus gangguan atau arcing fault pada sebuah sistem kelistrikan. Arus gangguan dapat disebabkan oleh beberapa masalah antara lain kegagalan mekanik, kegagalan isolasi, debu korosi, serta *human error*.

Ketika terjadinya *arc flash*, temperature yang diakibatkan akan tinggi, munculnya ledakan, atau bunga api yang dapat merusak area sekitar termasuk peralatan maupun celaka bagi pekerja. Oleh karena itu, insiden energi pada busur api dapat diminimalisir atau dicegah dengan mengikuti kategori-kategori apa yang sudah tertulis di NFPA 70E. Maka dapat ditentukan *personal protective equipment* (PPE) bagi pekerja

2.6.1 Arcing Current

Menurut standart IEEE 1584-2002, perhitungan *arc current* merupakan langkah awal dalam menentukan energi busur api. Nilai busur api ditentukan berdasarkan arus hubung singkat tiga fasa. Berikut persamaan perhitungan untuk mencari nilai *arc current* dibawah tegangan 1 kV dan diatas 1 KV hingga 15KV.[6]

Berikut persamaan untuk kurang dari 1 KV :

$$I_g I_a = K + 0,662 I_g I_{bf} + 0,0966 V + 0,00562 G + 0,5588 V(I_g \cdot I_{bf}) - 0,00304 G(I_g \cdot I_{bf}) \dots\dots (2.14)$$

Keterangan :

- Ig : log₁₀
- Ia : arus arcin (kA)
- K : -0.153 untuk konfigurasi terbuka dan -0.997 untuk konfigurasi box
- G : jarak antar konduktor(mm)
- V : tegangan sistem(kV)
- Ibf : bolted fault current di gangguan tiga fasa(kA)

Sedangkan untuk nilai arcin current diatas 1 kV :

$$I_g I_a = 0,00402 + 0,983 I_g I_{bf} \dots\dots\dots (2.15)$$

Dari persamaan ini dapat diturunkan menjadi :

$$I_g I_a - 0,983 I_g I_{bf} = 0,00402 \dots\dots\dots (2.16)$$

$$I_g I_a - I_g I_{bf}^{0,983} = 0,00402 \dots\dots\dots (2.17)$$

$$I_g (I_a / I_{bf}^{0,983}) = 0,0402 \dots\dots\dots (2.18)$$

$$\frac{I_a}{I_{bf}^{0,983}} = 10^{0,00402} \dots\dots\dots (2.19)$$

$$\frac{I_a}{I_{bf}^{0,983}} = 1,00929 \dots\dots\dots (2.20)$$

$$I_a = 1,00929 I_{bf}^{0,983} \dots\dots\dots (2.21)$$

2.6.2 Insiden Energi

Menurut standart IEEE 1584-2002, perhitungan untuk mencari nilai insiden energi busur api yang pertama menggunakan *log normalized*. Berdasarkan data *normalized* waktu arcin 0.2 detik dan jarak pekerja 610 mm. [6]

Berikut persamaannya :

$$I_g E_n = K_1 + K_2 + 1,081 I_g I_a + 0,0011 G \dots\dots\dots (2.22)$$

$$E_n = I_a^{1,081} 10^{(K_1 + K_2 + 1,081 I_g I_a + 0,0011 G)} \dots\dots\dots (2.23)$$

Keterangan :

- En : insiden energi (J/cm²) normalized untuk jarak dan waktu

- K₁ : -0.792 untuk konfigurasi terbuka dan -0.555 untuk konfigurasi box
- K₂ : 0 untuk sistem ungrounded and high-resistance grounded dan -0.113 untuk sistem grounded
- G : gap antar konduktor (mm)

Dengan adanya variabel waktu , (x) faktor dan jarak antara peralatan dengan pekerja akan menghasilkan jumlah energi yang dilepaskan di udara. Besarnya energi dapat dituliskan persamaan sebagai berikut :

$$E = 4,184 \times C_f E_n \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610}{D}\right)^x \dots\dots\dots(2.24)$$

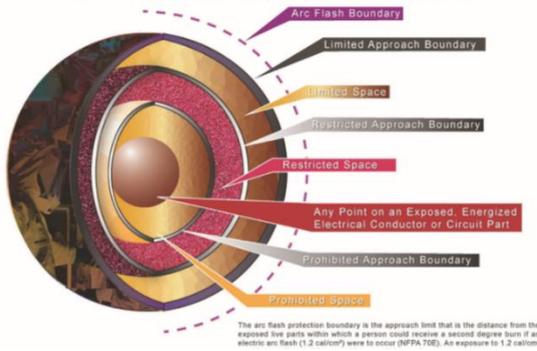
Dimana :

- E : insiden energi (J/cm²)
- Cf : faktor bernilai 1.0 untuk tegangan >1kV dan 1.5 untuk tegangan <1kV
- t : waktu arcing(s)
- D : jarak dari titik arc flash ke pekerja(mm)
- x : eksponen jarak

2.6.3 Perhitungan *Flash Protection Boundary*

Flash protection boundary batasan jarak perlinfungan terhadap titik *arc flash*. Titik dimana konduktor aktif yang dapat melukai pekerja jika kurang dari jarak batas tersebut. Jarak batas *arc flash* ini dikategorikan berdasarkan nilai insiden energi[7].

ARC FLASH PROTECTION BOUNDARY



Gambar 2.9 *Flash Protection Boundary*

- *Limited approach boundary*, batas terjauh dari jarak bertegangan peralatan yang berpotensi dengan adanya *arc flash*. Seseorang yang tidak terqualifikasi harus di dampingi oleh pekerja terqualifikasi.
- *Restricted approach boundary*, batas selanjutnya dari jarak bertegangan yang berpotensi adanya *arc flash* setelah *limited approach boundary*. Seseorang dengan jarak kesini harus mengenakan *personal protective equipment (PPE)*.
- *Prohibited approach boundary*, batas terakhir dari jarak bertegangan yang berpotensi adanya *arc flash*, pada jarak ini adalah jarak terdekat karena kontak langaugng dengan peralatan. Seseorang yang berada disini harus terqualifikasi dan memakai *personal protective equipment (PPE)*.

Perhitungan *flash protection boundary* dilakukan dengan Persamaan berikut.

$$D_B = \left[4.184 C_f E_n \left(\frac{t}{0.2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}} \dots\dots\dots(2.25)$$

Dimana:

D_B = jarak batas dari titik *arcing* (mm)

E_B = energi insiden dalam J/cm^2 pada jarak batasan

Untuk metode Lee, *flash protection boundary* dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan berikut.

$$D_B = \sqrt{2,142 \times 10^6 V I_{bf} \left(\frac{t}{E_B} \right)} \dots \dots \dots (2.26)$$

E_B dapat disetting 5.0 J/cm² untuk *bare skin (no hood)* atau rating dari PPE yang diajukan (5.0 J/cm² = 1.2 cal/cm²)

2.6.4 Pengelompokkan Insiden Energi dan Penentuan *Personal Protective Equipment (PPE)*

Pengelompokan kategori energi busur api dilakukan setelah mendapat nilai *incident energy*. Pengelompokan tersebut bertujuan untuk menentukan perlengkapan perlindungan yang tepat dan sesuai untuk dipakai pekerja di area tersebut. dalam versi 2009 dari standar ini, kategori APD diakui oleh peralatan nilai energi insiden; 0 - 2 kal/cm² adalah APD 0, 2 - 4 kal / cm² adalah APD 1, 4 - 8 cal / cm² adalah APD 2, 8 - 25 kal / cm² adalah APD 3 dan 25 - 40 kal / cm² adalah PPE 4. Angka-angka ini dapat dikalikan dengan 4,184 untuk mengkonversi dari kal / cm² ke J / cm². 8[8].

Tabel 2.2 *Personal Protective Equipment (PPE)*

Kategori Resiko Bahaya	Nilai Insiden Energi (E) maksimal (Cal/cm ²)	Perlengkapan Perlindungan
0	2	Pelindung Mata
		Pelindung Telinga
		Kemeja Lengan Panjang
		Celana Panjang
		Pelindung Mata
1	4	Pelindung Mata
		Pelindung Telinga

		Kemeja Lengan Panjang
		Celana Panjang
		Helm
2	8	Flash Suit Hood
		Pelindung Wajah dan Kepala
		Pakaian Tahan Api
		Pelindung Mata
		Pelindung Telinga
3	25	Flash Suit Hood
		Pelindung Wajah dan Kepala
		Pakaian Tahan Api
		Pelindung Mata
		Pelindung Telinga
		Celana Panjang
4	40	Up to 40 cal/cm ² Flash Suit Hood
		Pelindung Wajah dan Kepala
		Pakaian Tahan Api
		Pelindung Mata
		Pelindung Telinga
		Celana Panjang

Gambar 2.10 berikut merupakan tampilan visual dari *Personal Protective Equipment* (PPE) yang dibutuhkan sesuai dengan kategori bahaya.



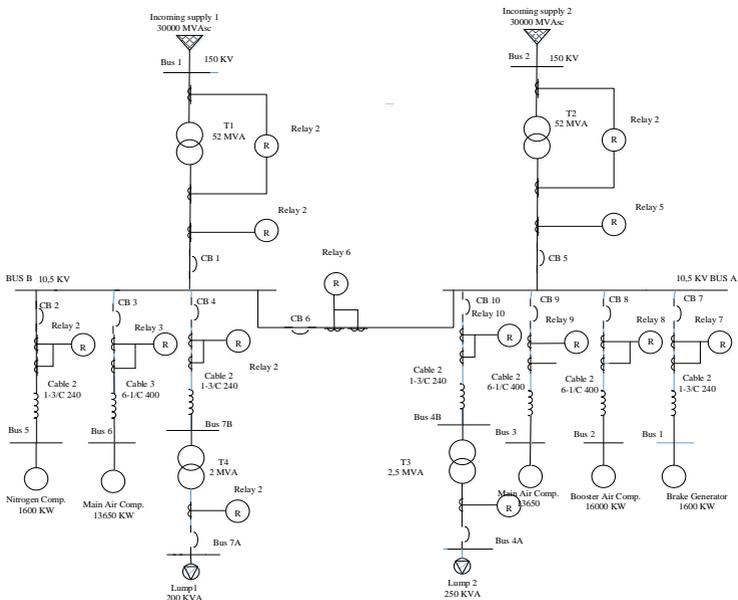
Gambar 2.10 *Personal Protective Equipment (PPE)*

BAB 3

SISTEM KELISTRIKAN PT. LINDE INDONESIA CIKARANG

3.1 Sistem Kelistrikan PT. Linde Indonesia Cikarang

PT. Linde Indonesia Cikarang merupakan anggota dari grup Linde Indonesia, adalah pemasok gas industri terkemuka di Indonesia sejak tahun 1971. PT. Linde Indonesia Cikarang merupakan industri yang memproduksi dan mendistribusikan gas-gas khusus medis dan menyediakan berbagai layanan instalasi peralatan gas, pipa, pada pabrik dan jasa rekayasa terkait. Pabrik ini menggunakan suplai dari PLN untuk memenuhi kebutuhan energi listrik mereka. Sistem distribusi yang digunakan adalah sistem distribusi radial yang menyuplai beban motor dan static. Tegangan yang digunakan ialah 150KV. Single Line Diagram di PT. Linde Indonesia Cikarang dapat dilihat dalam gambar.



Gambar 3.1 Single Line Diagram PT. Linde Cikarang

3.2 Sistem Pembangkitan PT. Linde Indonesia Cikarang

Pembangkitan pada PT. Linde Indonesia Cikarang ini mempunyai dua buah saluran listrik yang menggunakan *supply* listrik yang berasal dari PLN sebesar 150K KV. Pada Gambar 3.1 sudah terlihat jelas bagaimana saluran listrik berasal. Berikut data kapasitas pembangkitan pada sistem kelistrikan Pt. Linde Indonesai Cikarang :

Tabel 3.1 Data Sumber Daya Listrik PT. Linde Indonesia Cikarang

No	ID	MVA	KV
1	Incoming Supply_1	30.000	150
2	Incoming Supply_2	30.000	150

3.3 Sistem Distribusi PT. Linde Indonesia Cikarang

Sistem Distribusi pada PT. Linde Indonesia menggunakan sistem radial dengan tegangan bus utama yakni 10,5 KV pada tegangan tinggi, dan 0,45 KV pada tegangan rendah yang menyuplai pada beberapa beban lump. Pada sistem kelistrikan PT. Linde Indonesia Cikarang ditunjang dengan beberapa transformator sebelum masuk ke beban dengan menurunkan tegangan 150 KV menjadi 10,5 KV yang berasal dari suplai PLN, serta menurunkan tegangan daro 10,5 KV menjadi 0,45 KV pada tegangan rendah. Tabel 3.2 merupakan data transformator yang ada pada PT. Linde Indonesai Cikarang.

Tabel 3.2 Data Kapasitas Transformator PT. Linde Indonesia Cikarang

No	ID	MVA	KV	%Z	Hubungan
1	Side A "1"	52	150/10,5	11	Δ/Y
2	Side B "1"	52	150/10,5	11	Δ/Y
3	Side A "2"	2,5	10/0,45	7,5	Δ/Y
4	Side B "2"	2	10/0,45	6,25	Δ/Y

3.4 **Beban di PT. Linde Indonesia Cikarang**

Peralatan yang beroperasi di PT. Linde Indonesia Cikarang berupa motor-motor yang menunjang berlangsung nya proses untuk supplying gas seperti pada tabel berikut:

Tabel 3.3 Data Kapasitas Beban PT. Linde Indonesia Cikarang

No	ID	KW	KV	PF	IFL	BUS
1	Brake Generator "Side A"	2000	10,5	92,78	126	Bus 1
2	Booster Air Comp. "Side A"	16200	10,5	93,64	999,5	Bus 2
3	Main Air Comp. Motor "Side A"	13650	10,5	93,57	843,6	Bus 3
4	Main Air Comp. Motor "Side B"	13650	10,5	93,57	843,6	Bus 6
5	Nitrogen Comp. Motor "Side B"	1600	10,5	92,68	101	Bus 5

3.5 **Beban Lump Pt. Linde Indonesia Cikarang**

Pada distribusi tegangan rendah terdapat beban yang dapat dianggap sebagai beban lump, dengan persentasi lump load sebesar 100% statis, seperti tabel berikut:

Tabel 3.4 Data Kapasitas Beban Lump PT. Linde Indonesia Cikarang

No	ID	KW	KV	PF	IFL	BUS
1	Lump 1	170	0,45	85	256,6	Bus 7B
2	Lump 2	213	0,45	85	320,8	Bus 4B

3.6 Sistem Pengaman Arus Lebih

Sistem pengaman arus lebih diperlukan untuk melindungi sistem yang bekerja dari gangguan fasa arus lebih ataupun hubung singkat ke tanah, sehingga proses produksi tidak ada gangguan. Maka dari itu, koordinasi peralatan pengaman harus terkoordinasi dengan baik agar dapat mengamankan peralatan yang sedang bekerja secepat mungkin.

Peralatan – peralatan ini menggunakan rele arus lebih untuk mengamankan gangguan arus lebih pada PT. Linde Indonesia Cikarang. Berikut data LVCB dan *relay* kondisi eksisting dengan menggunakan *manufacturer* yang sama:

Tabel 3.5 Spesifikasi LVCB 1 pada kondisi eksisting

<i>Manufacturer</i>	ABB
<i>Model</i>	SACE PR112
<i>I sensor</i>	4000 A
<i>LT Pickup</i>	0,73
<i>LT Band</i>	3
<i>ST Pickup</i>	0,6
<i>ST Band</i>	0,4

Tabel 3.6 Spesifikasi LVCB 2 pada kondisi eksisting

<i>Manufacturer</i>	ABB
<i>Model</i>	SACE PR112
<i>I sensor</i>	3200 A
<i>LT Pickup</i>	0,4
<i>LT Band</i>	3
<i>ST Pickup</i>	0,6
<i>ST Band</i>	0,2

Tabel 3.7 Spesifikasi *Relay 1* pada kondisi eksisting

<i>Manufacturer</i>	ABB
<i>Model</i>	REF 610
<i>Curve Type</i>	<i>Normal Invers</i>
<i>CT ratio</i>	3150 / 1
<i>Overcurrent pickup</i>	0,5
<i>Time Dial</i>	0,29
<i>Instantaneous Pickup</i>	5,1
<i>Time delay</i>	0,07

Tabel 3.8 Spesifikasi *Relay 3* pada kondisi eksisting

<i>Manufacturer</i>	ABB
<i>Model</i>	REF 545
<i>Curve Type</i>	<i>Normal Invers</i>
<i>CT ratio</i>	1200 / 1
<i>Overcurrent pickup</i>	0,25
<i>Time Dial</i>	0,5
<i>Instantaneous Pickup</i>	1,95
<i>Time delay</i>	0,05

Tabel 3.9 Spesifikasi *Relay 4* pada kondisi eksisting

<i>Manufacturer</i>	ABB
<i>Model</i>	REF 545
<i>Curve Type</i>	<i>Normal Invers</i>
<i>CT ratio</i>	150/1
<i>Overcurrent pickup</i>	2,55
<i>Time Dial</i>	0,36
<i>Instantaneous Pickup</i>	6,35
<i>Time delay</i>	0,05

Tabel 3.10 Spesifikasi *Relay 5* pada kondisi eksisting

<i>Manufactuer</i>	ABB
<i>Model</i>	REF 545
<i>Curve Type</i>	<i>Normal Invers</i>
<i>CT ratio</i>	<i>3150 / 1</i>
<i>Overcurrent pickup</i>	0,25
<i>Time Dial</i>	0,5
<i>Instantaneous Pickup</i>	1,95
<i>Time delay</i>	0,05

Tabel 3.11 Spesifikasi *Relay 6* pada kondisi eksisting

<i>Manufactuer</i>	ABB
<i>Model</i>	REF 610
<i>Curve Type</i>	<i>Normal Invers</i>
<i>CT ratio</i>	<i>3150 / 1</i>
<i>Overcurrent pickup</i>	0,3
<i>Time Dial</i>	0,05
<i>Instantaneous Pickup</i>	5,3
<i>Time delay</i>	0,04

Tabel 3.12 Spesifikasi *Relay 8* pada kondisi eksisting

<i>Manufactuer</i>	ABB
<i>Model</i>	REF 545
<i>Curve Type</i>	<i>Normal Invers</i>
<i>CT ratio</i>	<i>1200 / 1</i>
<i>Overcurrent pickup</i>	2,85
<i>Time Dial</i>	0,3
<i>Instantaneous Pickup</i>	5,25
<i>Time delay</i>	0,1

Tabel 3.13 Spesifikasi *Relay 10* pada kondisi eksisting

<i>Manufactuer</i>	ABB
<i>Model</i>	REF 545
<i>Curve Type</i>	<i>Normal Invers</i>
<i>CT ratio</i>	<i>150 / 1</i>
<i>Overcurrent pickup</i>	<i>0,05</i>
<i>Time Dial</i>	<i>0,11</i>
<i>Instantaneous Pickup</i>	<i>0,27</i>
<i>Time delay</i>	<i>0,12</i>

----- *Halaman ini sengaja dikosongkan* -----

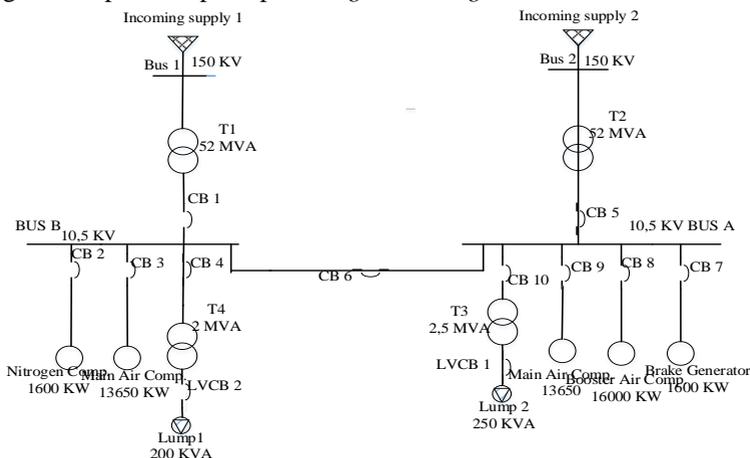
BAB 4 HASIL SIMULASI dan ANALISA

4.1 Permodelan Sistem Kelistrikan PT. Linde Indonesia Cikarang

Tugas akhir ini membahas tentang analisa proteksi dan arc flash yang terjadi pada sistem kelistrikan sehingga koordinasi proteksi lebih baik dan alat pelindung diri apa yang tepat untuk menangani *arc flash* yang terjadi di PT. Linde Cikarang. Single line diagram dari industri tersebut dimodelkan pada software ETAP 12.6, maka dari itu dibutuhkan data peralatan yang terdiri dari data generator, trafo, motor, beban statik, bus, dan sistem pentanahan. Kemudian akan dilakukan analisa arc flash pada bus atau switchgear tegangan menengah.

4.2 Pemilihan Koordinasi Proteksi Pt. Linde Cikarang

Pada pemilihan setting rele untuk koordinasi proteksi, dipilih beberapa tipikal pada *plant* PT. Linde Cikarang Indonesia. Berikut gambar tipikal – tipikal pada *single line diagram*.



Gambar 4.1 Single Line Diagram Tipikal PT. Linde Indonesia Cikarang

1. Tipikal 1 : dipilih beban terbesar (Main Air comp.) hingga bus B (HVCB 3, Rele OCR), menuju (HVCB 1, Rele OCR) transformator 1.
2. Tipikal 2 : Lump Load 1, (LVCB 2) 0,45 KV Bus 7B, transformator 2, (HVCB 4, Rele OCR) 10,5 KV.
3. Tipikal 3 : Lump Load 2, (LVCB 1) 0,45 KV Bus 4B, transformator 3, (HVCB 10, Rele OCR) 10,5 KV.
4. Tipikal 4 : dipilih beban terbesar (Booster Main comp.) hingga Bus A (HVCB 8, Rele OCR), menuju (HVCB 5, Rele OCR) Transformator 4.

4.3 Analisis Arus Gangguan Hubung Singkat

Analisis hubung singkat (*short circuit*), menggunakan simulasi ETAP 12.6.0 untuk menentukan *setting* rele arus lebih. Perhitungan ini menggunakan 2 parameter untuk menentantukan rele yakni hubung singkat minimum dan maksimum. Hubung singkat minimum adalah hubung singkat 2 fasa saat keadaan *steady state* (30 cycle), sedangkan hubung singkat maksimum adalah hubung singkat 3 fasa (1/2 cycle dan 4 cycle). Berikut data arus hubung singkat yang terjadi di setiap tipikal.

Tabel 4.1 Data Arus Hubung Singkat Tipikal 1.

No	BUS ID	Tegangan (KV)	Isc Max (1/2 cycle)	Isc Max (4 cycle)	Isc Min (30 cycle)
1	Bus 6	10,5	29,48	29,64	20,32
2	Bus B	10,5	31,63	27,47	21,1

Tabel 4.2 Data Arus Hubung Singkat Tipikal 2

No	BUS ID	Tegangan (KV)	Isc Max (1/2 cycle)	Isc Max (4 cycle)	Isc Min (30 cycle)
1	Bus 7B	0,45	38,6	38,01	32,45
2	Bus 7A	10,5	18,76	18,1	14,41

Tabel 4.3 Data Arus Hubung Singkat Tipikal 3

No	BUS ID	Tegangan (KV)	Isc Max (1/2 cycle)	Isc Max (4 cycle)	Isc Min (30 cycle)
1	Bus 4B	0,45	39,38	39,66	33,6
2	Bus 4A	10,5	20,17	19,05	13,99

Tabel 4.4 Data Arus Hubung Singkat Tipikal 4

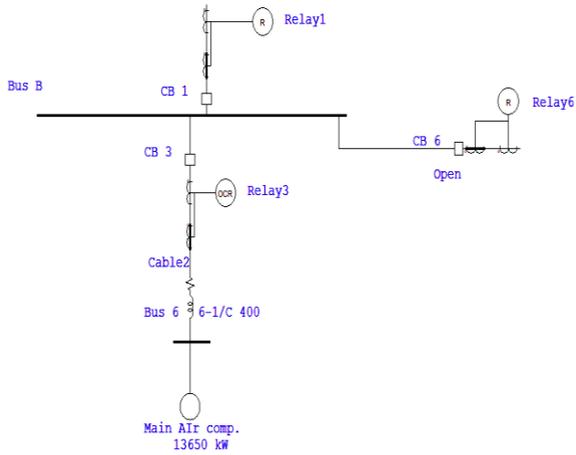
No	BUS ID	Tegangan (KV)	Isc Max (1/2 cycle)	Isc Max (4 cycle)	Isc Min (30 cycle)
1	Bus 2	10,5	31,92	28,39	18,28
2	Bus A	10,5	36,7	32,69	22,17

4.4 Koordinasi Proteksi Rele Arus Lebih

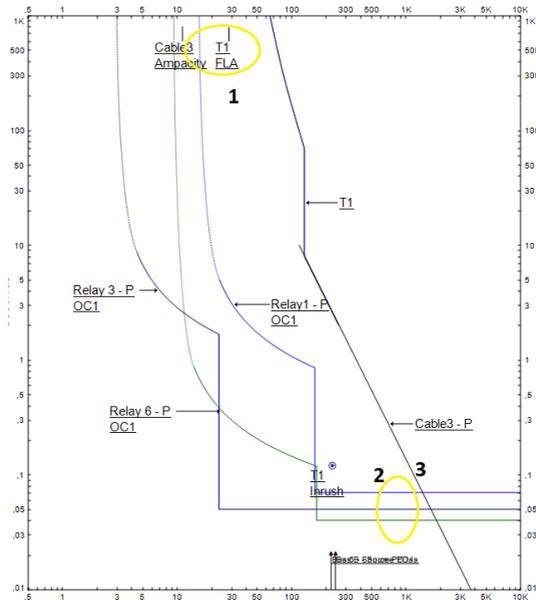
Pada koordinasi Proteksi Rele arus lebih bertujuan bagaimana menjaga sistem tetap berjalan meskipun adanya gangguan arus lebih yang terjadi pada suatu peralatan. Sehingga peralatan yang lain tidak ikut berdampak dan tetap berjalan sebagaimana merstinya.

4.4.1 Koordinasi Rele Arus Lebih Tipikal 1

Pada Tipikal 1 ini menggunakan beban yang terbesar pada saluran yang terhubung dengan BUS B 10,5 KV. Disini beban terbesar yakni *Main Air Comp*, terhubung dengan BUS 6, Relay 3, HVCB 3, BUS B, HVCB 1, dan Relay 1. Gambar berikut merupakan kondisi *existing* pada tipikal 1.



Gambar 4.2 Single Line Diagram Tipikal 1



Gambar 4.3 Time Current Curve Kondisi Eksisting 1

Pada koordinasi proteksi tipikal 1 terdapat beberapa koordinasi rele yang masih perlu diperbaiki. Tanda lingkaran pada gambar menunjukkan kesalahan yang perlu di perbaiki. Berikut Penjelasan kesalahan pada tipikal 1:

1. Pada kondisi ini nilai *overcurrent* lebih kecil dari beban penuh transformator T1, saat beban penuh relay ini seharusnya sebagai relay terakhir dan sudah open sebelum beban maksimal trafo.
2. Kesalahan ini lebih fatal yakni urutan pada relay yang tidak selaras urutan koordinasinya, karena Rele 3 yang lebih dekat dengan beban dan pada Rele 6 sebagai penghubung antara kedua bus dan akan menutup setelah ada gangguan sebagai penyambung sumber ketika Rele 1 pun ikut mati.
3. Pada kondisi 2 yang sudah dijelaskan, jarak waktu *instantaneous* seharusnya 0,2 s pada setiap urutannya.

4.4.1.1 Rekomendasi *Setting* Rele Arus Lebih Tipikal 1

Tabel 4.5 Setting Rele pada Kondisi Eksisting Tipikal 1

<i>Relay ID & Model</i>	<i>Setting</i>	
<i>Relay CB 3 ABB REF 545</i>	<i>Curve Type</i>	<i>Normal Invers</i>
	<i>Pick Up Range</i>	<i>0,1 - 5</i>
	<i>Pick Up</i>	<i>0,25</i>
	<i>Time Dial</i>	<i>0,5</i>
	<i>Relay Ampere</i>	<i>0,25/300</i>
	<i>Instantaneous</i>	
	<i>Pick Up Range</i>	<i>0,05 - 40</i>
	<i>Pick Up</i>	<i>1,95</i>

<i>Relay ID & Model</i>	<i>Setting</i>		
	<i>Relay Ampere</i>	<i>1,95/2340</i>	
	<i>Time Delay</i>	<i>0,05</i>	
<i>Relay CB 6 ABB REF 610</i>	<i>Curve Type</i>	<i>Normal Invers</i>	
	<i>Pick Up Range</i>	<i>0,3 - 5</i>	
	<i>Pick Up</i>	<i>0,3</i>	
	<i>Time Dial</i>	<i>0,05</i>	
	<i>Relay Ampere</i>	<i>0,3/945</i>	
	<i>Instantaneous</i>		
<i>Relay CB 6 ABB REF 610</i>	<i>Pick Up Range</i>	<i>0,5 - 35</i>	
	<i>Pick Up</i>	<i>5,3</i>	
	<i>Relay Ampere</i>	<i>5,3/16695</i>	
	<i>Time Delay</i>	<i>0,04</i>	
		<i>Curve Type</i>	<i>Normal Invers</i>
<i>Relay CB 1 ABB REF 610</i>	<i>Pick Up Range</i>	<i>0,3 - 5</i>	
	<i>Pick Up</i>	<i>0,5</i>	
	<i>Time Dial</i>	<i>0,29</i>	
	<i>Relay Ampere</i>	<i>0,5/1575</i>	
		<i>Instantaneous</i>	
		<i>Pick Up Range</i>	<i>0,5 - 35</i>

Relay ID & Model	Setting	
		Pick Up
	Relay Ampere	5,1/16065
	Time Delay	0,07

➤ **Rele CB 3**

Manufactur : ABB
 Model : REF 545
 Curve Type : Normaly Inverse
 Isc max 4 cycle 3Ø BUS6 : 27490 A
 Isc min 30 cycle 2Ø BUS6 : 20320 A
 FLA : 843,6 A

➤ Time Overcurrent Pickup

$1,05 \times \text{FLA} \leq \text{Iset} \leq 1,4 \times \text{FLA}$
 $1,05 \times 843,6 \leq \text{Iset} \leq 1,4 \times 843,6$
 $885,78 \leq \text{Iset} \leq 1181,04$

Dipilih Iset = 928 A

Dengan CT sebesar 1200/1, maka dapat dihitung tap = $\frac{928}{1200}$

Dipilih Tap = 0,77

➤ Time Dial

Dipilih waktu operasi (t) = 0,1 s

$$t_d = \frac{k}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1} \times \frac{T}{\beta}$$

$$t_d = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{sc,max}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1} \times \frac{T}{2,97}$$

$$T = \frac{t_d \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I_{sc,max}}{I_{set}}\right)^2 - 1\right]}{0,14}$$

$$T = 0,15$$

➤ Instantaneous Pickup

$$1,6 \times \text{FLA} \leq I_{\text{set}} \leq 0,8 \times I_{\text{sc min 30 cycle bus 6}}$$

$$1,6 \times 843,6 \leq I_{\text{set}} \leq 0,8 \times 27490$$

$$1349,76 \leq I_{\text{set}} \leq 21992$$

Dipilih Iset = 10000 A

Dengan CT sebesar 1200/1, maka dapat dihitung tap = $\frac{10000}{1200}$

Dipilih Tap = 8,33

➤ Time Delay

Dipilih time delay = 0,1 s

➤ **Rele CB 6**

Manufactur : ABB

Model : REF 610

Curve Type : *Normaly Inverse*

Isc max 4 cycle 3Ø BUS_{coupler}: 32700 A

Isc min 30cycle 2Ø BUS_{coupler}: 21100 A

FLA : 2859 A

➤ Time Overcurrent Pickup

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

$$1,05 \times 2859 \leq I_{\text{set}} \leq 1,4 \times 2859$$

$$3001,95 \leq I_{\text{set}} \leq 4002,6$$

Dipilih Iset = 3100A

Dengan CT sebesar 1200/1, maka dapat dihitung tap = $\frac{3100}{1200}$

Dipilih Tap = 0,99

➤ Time Dial

Dipilih waktu operasi (t) = 0,3 s

$$t_d = \frac{k}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1} \times \frac{T}{\beta}$$

$$t_d = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{sc,max}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1} \times \frac{T}{2,97}$$

$$T = \frac{t_d \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I_{sc,max}}{I_{set}}\right)^2 - 1\right]}{0,14}$$

$$T = 0,31$$

➤ Instantaneous Pickup

$$1,6 \times \text{FLA} \leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{scmin \text{ 30cycle Buscoupler}}$$

$$1,6 \times 2859 \leq I_{set} \leq 0,8 \times 32700$$

$$4574,4 \leq I_{set} \leq 26160$$

Dipilih Iset = 15000 A

Dengan CT sebesar 1200/1, maka dapat dihitung tap = $\frac{15000}{3150}$

Dipilih Tap = 4,76

➤ Time Delay

Dipilih time delay = 0,3 s

➤ **Rele CB 1**

Manufactur : ABB

Model : REF 610

Curve Type : *Normaly Inverse*

Isc max 4 cycle 3Ø BUS B : 29650 A

Isc min 30cycle 2Ø BUS B : 22170 A

FLA : 2859 A

➤ Time Overcurrent Pickup

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

$$1,05 \times 2859 \leq I_{set} \leq 1,4 \times 2859$$

$$3001,95 \leq I_{set} \leq 4002,6$$

Dipilih Iset = 3100A

Dengan CT sebesar 1200/1, maka dapat dihitung tap = $\frac{3100}{1200}$

Dipilih Tap = 0,99

➤ Time Dial

Dipilih waktu operasi (t) = 0,5 s

$$t_d = \frac{k}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1} \times \frac{T}{\beta}$$

$$t_d = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{sc,max}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1} \times \frac{T}{2,97}$$

$$T = \frac{t_d \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I_{sc,max}}{I_{set}}\right)^2 - 1\right]}{0,14}$$

T = 0,49

➤ Instantaneous Pickup

$$1,6 \times \text{FLA} \leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{scmin \text{ 30cycle BusB}}$$

$$1,6 \times 2859 \leq I_{set} \leq 0,8 \times 29650$$

$$4574,4 \leq I_{set} \leq 23720$$

Dipilih Iset = 12600 A

Dengan CT sebesar 1200/1, maka dapat dihitung tap = $\frac{15000}{3150}$

Dipilih Tap = 4

➤ Time Delay

Dipilih time delay = 0,5 s

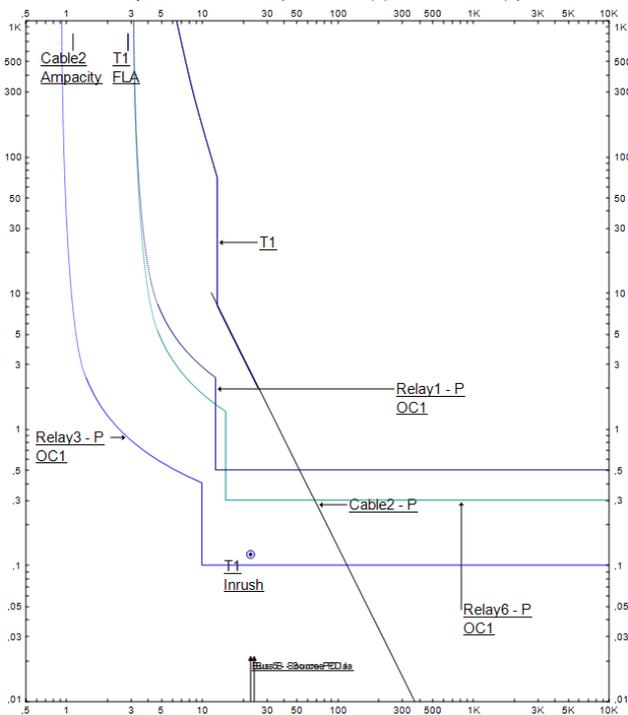
Tabel 4.6 Setting Rele pada Kondisi Resetting Tipikal 1

Relay ID & Model	Setting	
Relay CB 3 ABB REF 545	<i>Curve Type</i>	<i>Normal Invers</i>
	<i>Pick Up Range</i>	<i>0,1 - 5</i>
	<i>Pick Up</i>	<i>0,77</i>
	<i>Time Dial</i>	<i>0,1</i>

<i>Relay ID & Model</i>	<i>Setting</i>	
	<i>Relay Ampere</i>	<i>0,77/928</i>
	<i>Instantaneous</i>	
	<i>Pick Up Range</i>	<i>0,05 - 40</i>
	<i>Pick Up</i>	<i>8,33</i>
	<i>Relay Ampere</i>	<i>8,33/10000</i>
	<i>Time Delay</i>	<i>0,1</i>
<i>Relay CB 6 ABB REF 610</i>	<i>Curve Type</i>	<i>Normal Invers</i>
	<i>Pick Up Range</i>	<i>0,3 - 5</i>
	<i>Pick Up</i>	<i>0,99</i>
	<i>Time Dial</i>	<i>0,31</i>
	<i>Relay Ampere</i>	<i>0,99/3100</i>
	<i>Instantaneous</i>	
	<i>Pick Up Range</i>	<i>0,5 - 35</i>
	<i>Pick Up</i>	<i>4,76</i>
	<i>Relay Ampere</i>	<i>4,76/15000</i>
<i>Time Delay</i>	<i>0,3</i>	
<i>Relay CB 1 ABB REF 610</i>	<i>Curve Type</i>	<i>Normal Invers</i>
	<i>Pick Up Range</i>	<i>0,3 - 5</i>
	<i>Pick Up</i>	<i>0,99</i>
	<i>Time Dial</i>	<i>0,49</i>

<i>Relay ID & Model</i>	<i>Setting</i>	
	<i>Relay Ampere</i>	<i>0,99/3100</i>
	<i>Instantaneous</i>	
	<i>Pick Up Range</i>	<i>0,5 - 35</i>
	<i>Pick Up</i>	<i>4</i>
	<i>Relay Ampere</i>	<i>4/12600</i>
	<i>Time Delay</i>	<i>0,5</i>

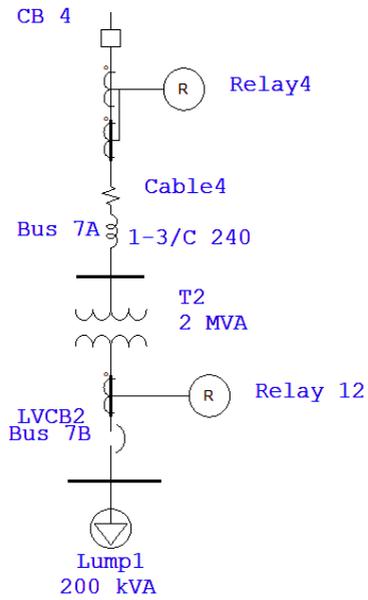
Gambar 4.4 berikut *Time Current Curve* setelah dilakukannya *resetting*.



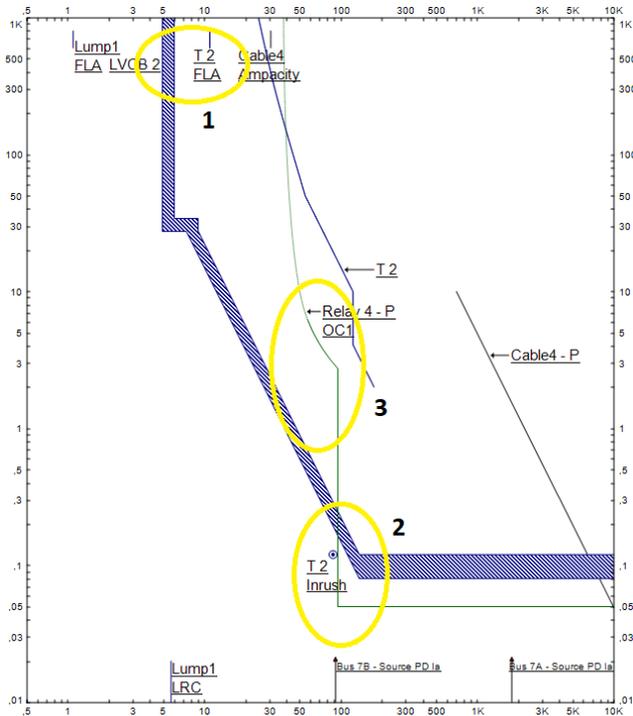
Gambar 4.4 Time Current Curve Kondisi Resetting 1

4.4.2 Koordinasi Rele Arus Lebih Tipikal 2

Pada Tipikal 2 ini menggunakan beban lump pada saluran yang terhubung dengan BUS 7B 0,45 KV. Disini beban lump , terhubung dengan BUS 7B, LVCB 2, Trafo T2, BUS 7A, HVCB 4, dan Relay 4. Gambar berikut merupakan kondisi *existing* pada tipikal 2.



Gambar 4.5 Single Line Diagram tipikal 2



Gambar 4.6 Time Current Curve Kondisi Eksisting 2

Pada koordinasi proteksi tipikal 2 terdapat beberapa koordinasi rele yang masih perlu diperbaiki. Tanda lingkaran pada gambar menunjukkan kesalahan yang perlu di perbaiki. Berikut Penjelasan kesalahan pada tipikal 2:

1. Pada hal ini terlihat saat Trafo bekerja pada beban maksimal LVCB LT pickup terlihat lebih kecil dibanding T2
2. Ketika terjadi gangguan adanya keterbalikan yang bekerja, seharusnya rele 4 menjadi *backup setelah* LVCB bekerja

3. Jarak waktu antara rele dan LVCB terlalu jauh selain adanya keterbalikan posisi trip seperti pada nomor 2.

4.4.2.1 Rekomendasi *Setting Rele Arus Lebih Tipikal 2*

Tabel 4.7 *Setting Rele pada Kondisi Eksisting Tipikal 2*

<i>Relay ID & Model</i>	<i>Setting</i>	
<i>LVCB 2 ABB SACE PR112</i>	<i>I sensor</i>	3200 A
	<i>LT Pickup</i>	0,4
	<i>LT Band</i>	3
	<i>ST Pickup</i>	0,6
	<i>ST Band</i>	0,2
	<i>Instantaneous</i>	<i>Disabled</i>
<i>Relay CB 4 ABB REF 545</i>	<i>Curve Type</i>	<i>Normal Invers</i>
	<i>Pick Up Range</i>	0,1 - 5
	<i>Pick Up</i>	2,55
	<i>Time Dial</i>	0,36
	<i>Relay Ampere</i>	2,55/382,5
	<i>Instantaneous</i>	
	<i>Pick Up Range</i>	0,05 - 40
	<i>Pick Up</i>	6,35
	<i>Relay Ampere</i>	6,35/952,5
	<i>Time Delay</i>	0,05

➤ **LVCB 2**

Manufactur : ABB
Model : SACE PR121
FLA sekunder T2 : 2566 A
Isensor : 3200 A

➤ Long Time Pickup

1,05 x FLA ≤ Iset ≤ 0,8 x I_{sc} min
1,05 x 2566 ≤ Iset ≤ 0,8 x 32450
2694,3 ≤ Iset ≤ 25960

Dipilih Iset = 2960 A

$$LT Pickup = \frac{Iset}{Isensor} = \frac{2960}{3200} = 0,925$$

Dipilih *LT Band* = 3,5

➤ Short Time Pickup

$$I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc} min$$

$$I_{set} \leq 0,8 \times 32450$$

$$I_{set} \leq 25960$$

Dipilih Iset = 4800 A

$$ST Pickup = \frac{IsetST}{IsetLT} = \frac{4800}{3200} = 1,5$$

Dipilih *ST Band* = 0,3

Instantaneous = Disabled

➤ **Rele CB 4**

Manufactur : ABB
Model : REF 545
Curve Type : Normaly Inverse
Isc max 4 cycle 3Ø BUS6 : 15940 A
Isc min 30 cycle 2Ø BUS6 : 14410 A
FLA : 110 A

➤ Time Overcurrent Pickup

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

$$1,05 \times 110 \leq Iset \leq 1,4 \times 110$$

$$115,5 \leq Iset \leq 154$$

Dipilih Iset = 145 A

Dengan CT sebesar 150/1, maka dapat dihitung tap = $\frac{145}{150}$

Dipilih Tap = 0,97

➤ Time Dial

Dipilih waktu operasi (t) = 0,1 s

$$t_d = \frac{k}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1} \times \frac{T}{\beta}$$

$$t_d = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{sc}max}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1} \times \frac{T}{2,97}$$

$$T = \frac{t_d \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I_{sc}max}{I_{set}}\right)^2 - 1\right]}{0,14}$$

T = 0,21

➤ Instantaneous Pickup

$$1,6 \times \text{FLA} \leq \text{Iset} \leq 0,8 \times I_{sc} \text{ min } 30 \text{ cycle bus } 6$$

$$1,6 \times 110 \leq \text{Iset} \leq 0,8 \times 14410$$

$$176 \leq \text{Iset} \leq 11528$$

Dipilih Iset = 2100 A

Dengan CT sebesar 1200/1, maka dapat dihitung tap = $\frac{2100}{150}$

Dipilih Tap = 14

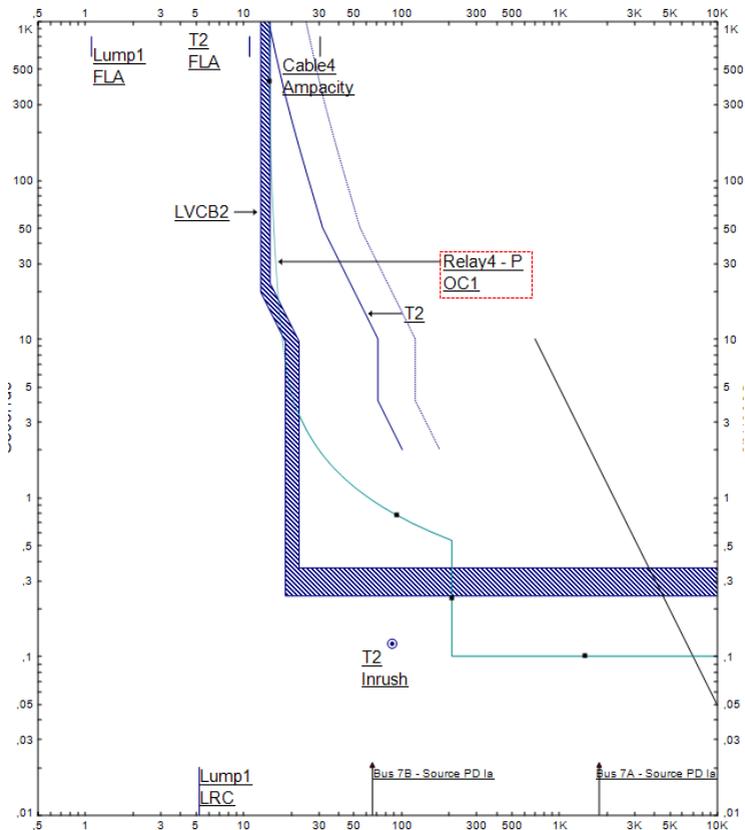
➤ Time Delay

Dipilih time delay = 0,1 s

Tabel 4.8 Setting Rele pada Kondisi Resetting Tipikal 2

<i>Relay ID & Model</i>	<i>Setting</i>	
<i>LVCB 2 ABB SACE PR112</i>	<i>I sensor</i>	<i>3200 A</i>
	<i>LT Pickup</i>	<i>0,925</i>
	<i>LT Band</i>	<i>3</i>
	<i>ST Pickup</i>	<i>1,5</i>
	<i>ST Band</i>	<i>0,3</i>
	<i>Instantaneous</i>	<i>Disabled</i>
<i>Relay CB 4 ABB REF 545</i>	<i>Curve Type</i>	<i>Normal Invers</i>
	<i>Pick Up Range</i>	<i>0,1 - 5</i>
	<i>Pick Up</i>	<i>0,97</i>
	<i>Time Dial</i>	<i>0,21</i>
	<i>Relay Ampere</i>	<i>0,97/145</i>
	<i>Instantaneous</i>	
	<i>Pick Up Range</i>	<i>0,05 - 40</i>
	<i>Pick Up</i>	<i>14</i>
	<i>Relay Ampere</i>	<i>14/2100</i>
	<i>Time Delay</i>	<i>0,1</i>

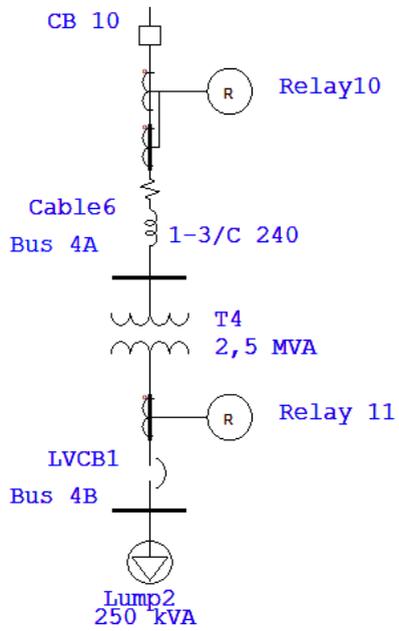
Gambar 4.7 berikut *Time Current Curve* setelah dilakukannya *resetting*.



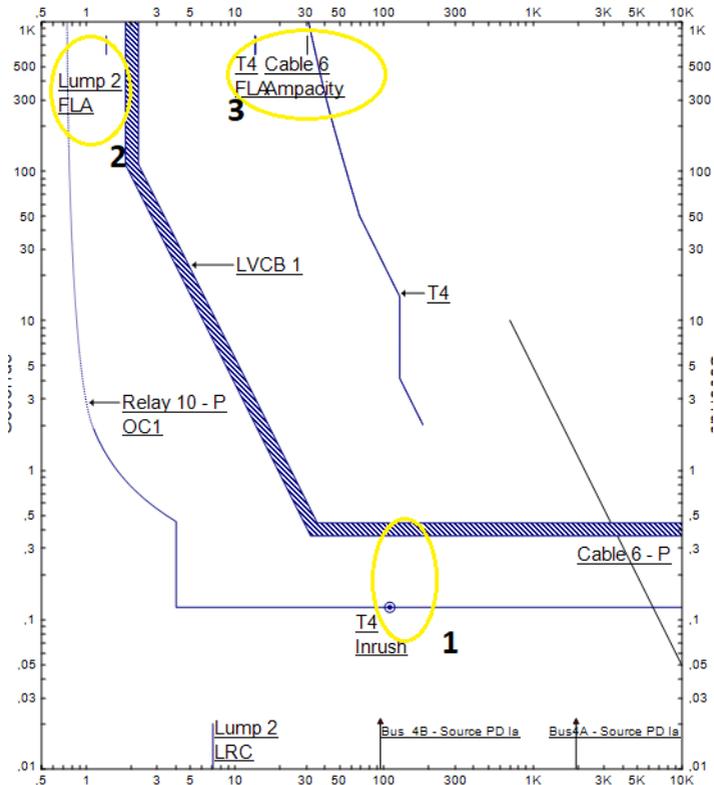
Gambar 4.7 Time Current Curve resettipikal 2

4.4.3 Koordinasi Rele Arus Lebih Tipikal 3

Pada Tipikal 3 ini menggunakan beban lump pada saluran yang terhubung dengan BUS 4B 0,45 KV. Disini beban lump , terhubung dengan BUS 4B, LVCB 1, Trafo T4, BUS 4A, HVCB 10, dan Relay 10. Gambar berikut merupakan kondisi *existing* pada tipikal 3.



Gambar 4.8 Single Line Diagram tipikal 3



Gambar 4.9 Time Current Curve Kondisi Eksisting 3

Pada koordinasi proteksi tipikal 3 terdapat beberapa koordinasi rele yang masih perlu diperbaiki. Tanda lingkaran pada gambar menunjukkan kesalahan yang perlu di perbaiki:

1. Pada kesalahan ini Letak *Instantaneous* pada LVCB terbalij dengan *Instantaneous* milik HVCB, ketika terjadi gangguan seharusnya HVCB rele 10 sebagai backup dari LVCB beban lump 2.

2. Pada kesalahan ini terlihat *overcurrent* pada rele 10 letak dibawah beban lump, dan ini menyanggung pada kesalahan nomor 3
3. Dan pada nomor 3, beban pada transformator T4 letak posisi paling kanan, menyambung pada nomor 2 , seharusnya pada sebelah kanan pada T4 ada *overcurrent* pada rele 10 yang seharusnya lebih besar.

4.4.3.1 Rekomendasi *Setting* Rele Arus Lebih Tipikal 3

Tabel 4.9 *Setting* Rele pada Kondisi Eksisting Tipikal 3

<i>Relay ID & Model</i>	<i>Setting</i>	
<i>LVCB 1 ABB SACE PR112</i>	<i>I sensor</i>	<i>4000 A</i>
	<i>LT Pickup</i>	<i>0,73</i>
	<i>LT Band</i>	<i>3</i>
	<i>ST Pickup</i>	<i>0,6</i>
	<i>ST Band</i>	<i>0,4</i>
	<i>Instantaneous</i>	<i>Disabled</i>
<i>Relay CB 10 ABB REF 545</i>	<i>Curve Type</i>	<i>Normal Invers</i>
	<i>Pick Up Range</i>	<i>0,1 - 5</i>
	<i>Pick Up</i>	<i>0,05</i>
	<i>Time Dial</i>	<i>0,11</i>
	<i>Relay Ampere</i>	<i>0,05/7,5</i>
	<i>Instantaneous</i>	

Relay ID & Model	Setting	
	<i>Pick Up Range</i>	0,05 - 40
	<i>Pick Up</i>	0,27
	<i>Relay Ampere</i>	0,27/40,5
	<i>Time Delay</i>	0.12

➤ **LVCB 1**

Manufactur : ABB
Model : SACE PR121
 FLA sekunder T : 3208 A
 Isensor : 4000 A

➤ Long Time Pickup

$$1,05 \times \text{FLA} \leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc \text{ min}}$$

$$1,05 \times 3208 \leq I_{set} \leq 0,8 \times 33600$$

$$3368,4 \leq I_{set} \leq 26880$$

Dipilih Iset = 3600 A

$$LT \text{ Pickup} = \frac{I_{set}}{I_{sensor}} = \frac{3600}{4000} = 0,9$$

Dipilih *LT Band* = 3

➤ Short Time Pickup

$$I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc \text{ min}}$$

$$I_{set} \leq 0,8 \times 33600$$

$$I_{set} \leq 26880$$

Dipilih Iset = 5200 A

$$ST \text{ Pickup} = \frac{I_{setST}}{I_{setLT}} = \frac{5200}{4000} = 1,3$$

Dipilih *ST Band* = 0,3

Instantaneous = Disabled

➤ **Rele CB 10**

Manufactur : ABB
Model : REF 545
Curve Type : *Normaly Inverse*
Isc max 4 cycle 3Ø BUS6 : 19050 A
Isc min 30 cycle 2Ø BUS6 : 13990 A
FLA : 137,5 A

➤ *Time Overcurrent Pickup*

1,05 x FLA ≤ Iset ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 137,5 ≤ Iset ≤ 1,4 x 37,5
144,38 ≤ Iset ≤ 192,5

Dipilih Iset = 180 A

Dengan CT sebesar 150/1, maka dapat dihitung tap = $\frac{180}{150}$

Dipilih Tap = 1,2

➤ *Time Dial*

Dipilih waktu operasi (t) = 0,1 s

$$t_d = \frac{k}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1} \times \frac{T}{\beta}$$

$$t_d = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{sc}max}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1} \times \frac{T}{2,97}$$

$$T = \frac{t_d \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I_{sc}max}{I_{set}}\right)^2 - 1\right]}{0,14}$$

T = 0,22

➤ *Instantaneous Pickup*

1,6 x FLA ≤ Iset ≤ 0,8 x I_{sc} min 30 cycle bus 6
1,6 x 137,5 ≤ Iset ≤ 0,8 x 13990
220 ≤ Iset ≤ 22384

Dipilih Iset = 2250 A

Dengan CT sebesar 1200/1, maka dapat dihitung tap = $\frac{2250}{150}$

Dipilih Tap = 15

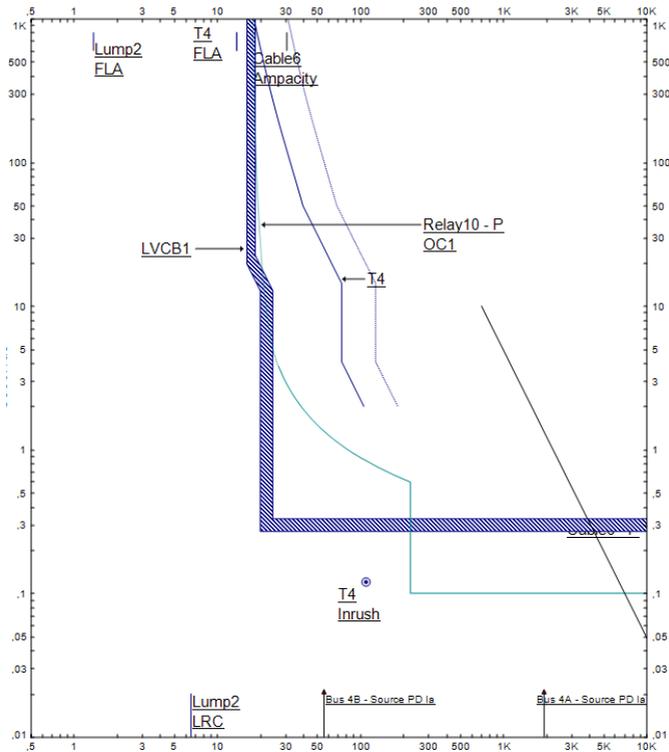
➤ Time Delay

Dipilih time delay = 0,1 s

Tabel 4.10 Setting Rele pada Kondisi Resetting Tipikal 3

<i>Relay ID & Model</i>	<i>Setting</i>	
<i>LVCB 1 ABB SACE PR112</i>	<i>I sensor</i>	<i>4000 A</i>
	<i>LT Pickup</i>	<i>0,9</i>
	<i>LT Band</i>	<i>3</i>
	<i>ST Pickup</i>	<i>1,3</i>
	<i>ST Band</i>	<i>0,3</i>
	<i>Instantaneous</i>	<i>Disabled</i>
<i>Relay CB 10 ABB REF 545</i>	<i>Curve Type</i>	<i>Normal Invers</i>
	<i>Pick Up Range</i>	<i>0,1 - 5</i>
	<i>Pick Up</i>	<i>1,2</i>
	<i>Time Dial</i>	<i>0,22</i>
	<i>Relay Ampere</i>	<i>1,2/180</i>
	<i>Instantaneous</i>	
	<i>Pick Up Range</i>	<i>0,05 - 40</i>
	<i>Pick Up</i>	<i>15</i>

Relay ID & Model	Setting	
	<i>Relay Ampere</i>	<i>15/2250</i>
	<i>Time Delay</i>	<i>0,1</i>

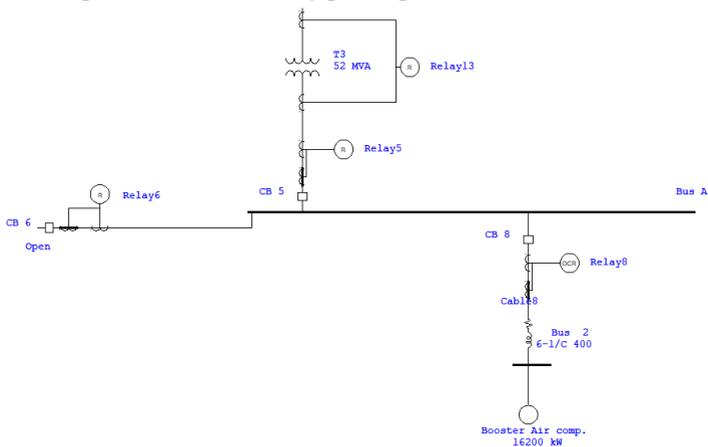


Gambar 4.10 Time Current Curve reseting tipikal 3

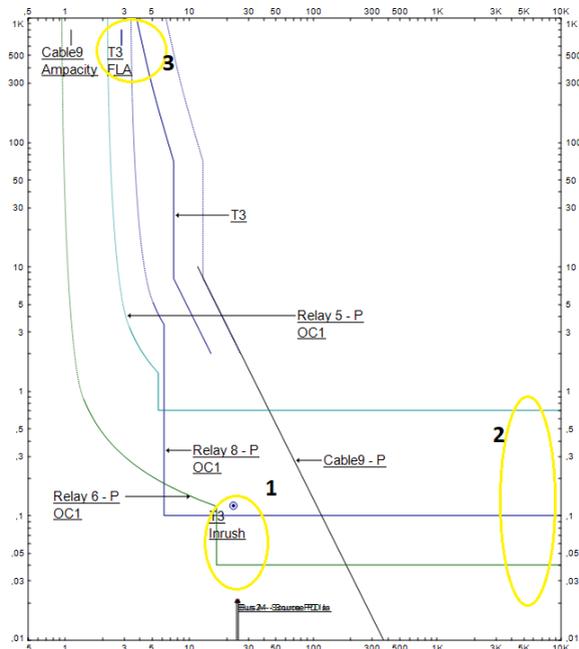
4.4.4 Koordinasi Rele Arus Lebih Tipikal 4

Pada Tipikal 4 ini menggunakan beban yang terbesar pada saluran yang terhubung dengan BUS A 10,5 KV. Disini beban terbesar yakni *Booster Air Comp*, terhubung dengan BUS 2, Relay

8, HVCB 8, BUS A, HVCB 5, dan Relay 5. Gambar berikut merupakan kondisi *existing* pada tipikal 4.



Gambar 4.11 Single Line Diagram Tipikal 4



Gambar 4.12 Time Current Curve Kondisi Eksisting 4

Pada koordinasi proteksi tipikal 4 terdapat beberapa koordinasi rele yang masih perlu diperbaiki. Tanda lingkaran pada gambar menunjukkan kesalahan yang perlu di perbaiki:

1. Kesalahan yang terjadi pada nomor 1 ini ada posisi terbaliknya *instantaneous* rele 8 dan 5, pada kondisi ini rele 5 sebagai backup dengan kondisi close sebagai penapan sumber ketika selanjutnya pada bagian rele 5 open.
2. Dilihat dari gambar, jarak antar waktu ketiga rele tersebut sangat jauh, dan seharusnya jarak rekomendasi antara setiap rele yakni 0,2 s
3. Pada posisi ini rele 5 memang seharusnya paling terakhir beroperasi tetapi dapat dilihat pada gambar kondisi T3 saat beban penuh akan membuatnya *open* , seharusnya nilai

overcurrent pada rele 5 lebih besar daripada beban maksimal pada transformator T3.

4.4.4.1 Rekomendasi Setting Rele Arus Lebih Tipikal 4

Tabel 4.11 Setting Rele pada Kondisi Eksisting Tipikal 4

<i>Relay ID & Model</i>	<i>Setting</i>	
<i>Relay CB 8 ABB REF 545</i>	<i>Curve Type</i>	<i>Normal Invers</i>
	<i>Pick Up Range</i>	<i>0,1 - 5</i>
	<i>Pick Up</i>	<i>2,85</i>
	<i>Time Dial</i>	<i>0,3</i>
	<i>Relay Ampere</i>	<i>2,85/3420</i>
<i>Instantaneous</i>		
<i>Relay CB 8 ABB REF 545</i>	<i>Pick Up Range</i>	<i>0,05 - 40</i>
	<i>Pick Up</i>	<i>5,25</i>
	<i>Relay Ampere</i>	<i>5,25/6300</i>
	<i>Time Delay</i>	<i>0,1</i>
<i>Relay CB 6 ABB REF 610</i>	<i>Curve Type</i>	<i>Normal Invers</i>
	<i>Pick Up Range</i>	<i>0,3 - 5</i>
	<i>Pick Up</i>	<i>0,3</i>
	<i>Time Dial</i>	<i>0,05</i>
	<i>Relay Ampere</i>	<i>0,3/945</i>
	<i>Instantaneous</i>	

<i>Relay ID & Model</i>	<i>Setting</i>	
	<i>Pick Up Range</i>	0,5 - 35
	<i>Pick Up</i>	5,3
	<i>Relay Ampere</i>	5,3/16695
	<i>Time Delay</i>	0,04
<i>Relay CB 5 ABB REF 610</i>	<i>Curve Type</i>	<i>Normal Invers</i>
	<i>Pick Up Range</i>	0,3 - 5
	<i>Pick Up</i>	0,7
	<i>Time Dial</i>	0,19
	<i>Relay Ampere</i>	0,7/2205
	<i>Instantaneous</i>	
	<i>Pick Up Range</i>	0,5 - 35
	<i>Pick Up</i>	1,8
	<i>Relay Ampere</i>	1,8/5670
	<i>Time Delay</i>	0,7

➤ **Rele CB 8**

Manufactur : ABB
Model : REF 545
Curve Type : *Normaly Inverse*
Isc max 4 cycle 3Ø BUS 2 : 28400 A
Isc min 30 cycle 2Ø BUS 2 : 18280 A
FLA : 999,5 A

➤ *Time Overcurrent Pickup*

$$\begin{aligned}
 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{set} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\
 1,05 \times 999,5 &\leq I_{set} \leq 1,4 \times 999,5 \\
 1049,4 &\leq I_{set} \leq 1399,3
 \end{aligned}$$

Dipilih Iset = 1099 A

Dengan CT sebesar 1200/1, maka dapat dihitung tap = $\frac{1099}{1200}$

Dipilih Tap = 0,916

➤ Time Dial

Dipilih waktu operasi (t) = 0,1 s

$$t_d = \frac{k}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1} \times \frac{T}{\beta}$$

$$t_d = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{sc} \max}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1} \times \frac{T}{2,97}$$

$$T = \frac{t_d \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I_{sc} \max}{I_{set}}\right)^2 - 1\right]}{0,14}$$

T = 0,14

➤ Instantaneous Pickup

$$\begin{aligned}
 1,6 \times \text{FLA} &\leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc} \text{ min } 30 \text{ cycle bus } 6 \\
 1,6 \times 999,5 &\leq I_{set} \leq 0,8 \times 18280 \\
 1599,2 &\leq I_{set} \leq 14624
 \end{aligned}$$

Dipilih Iset = 10000 A

Dengan CT sebesar 1200/1, maka dapat dihitung tap = $\frac{10000}{1200}$

Dipilih Tap = 8,33

➤ Time Delay

Dipilih time delay = 0,1 s

➤ **Rele CB 6**

Manufactur

: ABB

Model : REF 610
 Curve Type : *Normaly Inverse*
 Isc max 4 cycle 3Ø BUS_{coupler}: 32700 A
 Isc min 30cycle 2Ø BUS_{coupler}: 21100 A
 FLA : 2859 A

➤ Time Overcurrent Pickup

$1,05 \times \text{FLA} \leq \text{Iset} \leq 1,4 \times \text{FLA}$
 $1,05 \times 2859 \leq \text{Iset} \leq 1,4 \times 2859$
 $3001,95 \leq \text{Iset} \leq 4002,6$
 Dipilih Iset = 3100A

Dengan CT sebesar 1200/1, maka dapat dihitung tap = $\frac{3100}{1200}$

Dipilih Tap = 0,99

➤ Time Dial

Dipilih waktu operasi (t) = 0,3 s

$$t_d = \frac{k}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1} \times \frac{T}{\beta}$$

$$t_d = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{sc} \max}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1} \times \frac{T}{2,97}$$

$$T = \frac{t_d \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I_{sc} \max}{I_{set}}\right)^2 - 1\right]}{0,14}$$

T = 0,31

➤ Instantaneous Pickup

$1,6 \times \text{FLA} \leq \text{Iset} \leq 0,8 \times I_{sc \min 30 \text{ cycle Buscoupler}}$
 $1,6 \times 2859 \leq \text{Iset} \leq 0,8 \times 21100$
 $4574,4 \leq \text{Iset} \leq 16880$

Dipilih Iset = 15000 A

Dengan CT sebesar 1200/1, maka dapat dihitung tap = $\frac{15000}{3150}$

Dipilih Tap = 4,76

➤ Time Delay

Dipilih time delay = 0,3 s

➤ **Rele CB 5**

Manufactur : ABB
Model : REF 610
Curve Type : *Normaly Inverse*
Isc max 4 cycle 3Ø BUS A : 32700 A
Isc min 30cycle 2Ø BUS A : 21100 A
 FLA : 2859 A

➤ Time Overcurrent Pickup

1,05 x FLA ≤ Iset ≤ 1,4 x FLA
 1,05 x 2859 ≤ Iset ≤ 1,4 x 2859
 3001,95 ≤ Iset ≤ 4002,6

Dipilih Iset = 3100A

Dengan CT sebesar 3150/1, maka dapat dihitung tap = $\frac{3100}{3150}$

Dipilih Tap = 0,984

➤ Time Dial

Dipilih waktu operasi (t) = 0,5 s

$$t_d = \frac{k}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1} \times \frac{T}{\beta}$$

$$t_d = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{sc,max}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1} \times \frac{T}{2,97}$$

$$T = \frac{t_d \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I_{sc,max}}{I_{set}}\right)^2 - 1\right]}{0,14}$$

T = 0,51

➤ Instantaneous Pickup

1,6 x FLA ≤ Iset ≤ 0,8 x I_{scmin} 30cycle BusB
 1,6 x 2859 ≤ Iset ≤ 0,8 x 22170
 4574,4 ≤ Iset ≤ 17736

Dipilih Iset = 12600 A

Dengan CT sebesar 3150/1, maka dapat dihitung tap = $\frac{15000}{3150}$

Dipilih Tap = 4

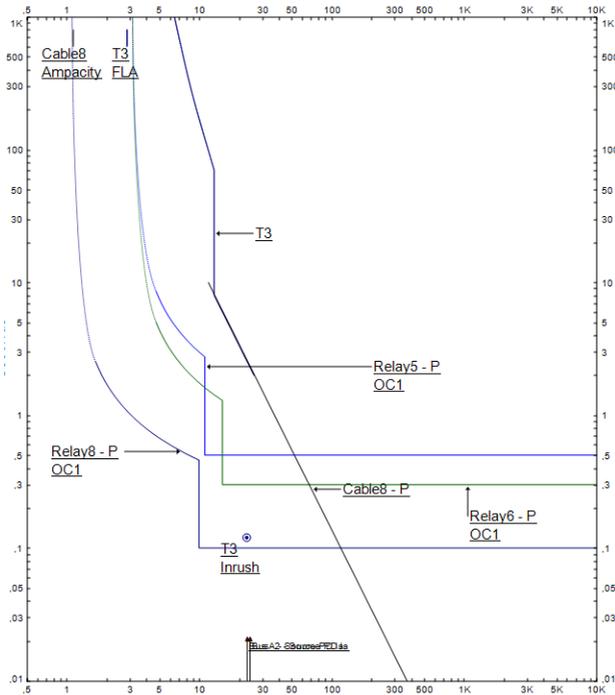
➤ Time Delay

Dipilih time delay = 0,5 s

Tabel 4.12 Setting Rele pada Kondisi Resetting Tipikal 4

<i>Relay ID & Model</i>	<i>Setting</i>	
<i>Relay CB 8 ABB REF 545</i>	<i>Curve Type</i>	<i>Normal Invers</i>
	<i>Pick Up Range</i>	<i>0,1 - 5</i>
	<i>Pick Up</i>	<i>0,916</i>
	<i>Time Dial</i>	<i>0,1</i>
	<i>Relay Ampere</i>	<i>0,916/1099</i>
	<i>Instantaneous</i>	
	<i>Pick Up Range</i>	<i>0,05 - 40</i>
	<i>Pick Up</i>	<i>8,33</i>
	<i>Relay Ampere</i>	<i>8,33/10000</i>
	<i>Time Delay</i>	<i>0,1</i>
<i>Relay CB 6 ABB REF 610</i>	<i>Curve Type</i>	<i>Normal Invers</i>
	<i>Pick Up Range</i>	<i>0,3 - 5</i>
	<i>Pick Up</i>	<i>0,99</i>
	<i>Time Dial</i>	<i>0,31</i>

<i>Relay ID & Model</i>	<i>Setting</i>	
	<i>Relay Ampere</i>	<i>0,99/3100</i>
	<i>Instantaneous</i>	
	<i>Pick Up Range</i>	<i>0,5 - 35</i>
	<i>Pick Up</i>	<i>4,76</i>
	<i>Relay Ampere</i>	<i>4,76/15000</i>
	<i>Time Delay</i>	<i>0,3</i>
<i>Relay CB 5 ABB REF 610</i>	<i>Curve Type</i>	<i>Normal Invers</i>
	<i>Pick Up Range</i>	<i>0,3 - 5</i>
	<i>Pick Up</i>	<i>0,984</i>
	<i>Time Dial</i>	<i>0,5</i>
	<i>Relay Ampere</i>	<i>0,99/3100</i>
	<i>Instantaneous</i>	
	<i>Pick Up Range</i>	<i>0,5 - 35</i>
	<i>Pick Up</i>	<i>4</i>
	<i>Relay Ampere</i>	<i>4/12600</i>
	<i>Time Delay</i>	<i>0,5</i>



Gambar 4.13 Time Current Curve resettig tipikal 4

4.5 Koordinasi Rele Gangguan ke Tanah (*Ground Fault Relay*)

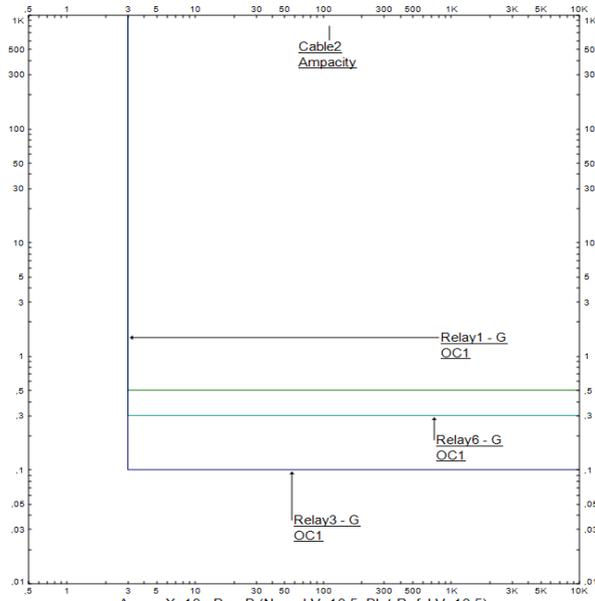
Sistem kelistrikan eksisting pada PT. Linde Cikarang dibedakan menjadi tiga level utama yaitu 150 KV, 10,5 KV, dan 0,45 KV, tetapi pada sistem pentanahan yang di gunakan hanya pada tegangan 10,5 KV dan 0,45 KV, seperti pada tabel berikut:

Berdasarkan pada tabel dapat diketahui bahwa koordinasi peralatan pengaman arus gangguan ke tanah dapat dipisahkan pada tiap level tegangan, karena jika terjadi gangguan pada satu level tegangan tertentu, pengaman yang berada pada tegangan berbeda tidak akan merasakan gangguan gubung singkat ke tanah. Pada koordinasi rele gangguan ke tanah ini akan di ambil

diambil tipikal koordinasi di level tegangan 10,5 kV yaitu pada tipikal 1 sebagai beban terbesar.

4.5.1 *Setting rele ground fault feeder 10,5 KV*

Transformator T1 mempunyai hubungan delta-wye dengan pentanahan resistan pada belitan sekundernya yaitu 100 A. Sehingga arus hubung singkat ketanah dibatasi hingga 100 A. Dengan adanya hubungan delwye maka bila terjadi singkat ke tanah di sisi bawah transformator T1, arus hubung singkat tidak bisa mengalir ke sisi primer transformator. Dengan demikian rele T1 dapat di setting lebih rendah daripada time delay rele pada sisi seknder trafo.



Gambar 4.14 Setting rele ground fault pada sisi 10,5 KV

➤ **Setting rele HVCB 3**

Manufactur

: ABB

Model : REF 545
CT Ratio : 60/1
I_{NGR} : 100 A

Instantaneous Pickup

$10\% \times I_{NGR} < I_{set} < 50\% \times I_{NGR}$
 $10\% \times 100 \text{ A} < I_{set} < 50\% \times 100 \text{ A}$
 $10 \text{ A} < I_{set} < 50 \text{ A}$

Dipilih $I_{set} = 30 \text{ A}$

Dengan CT sebesar 60/1, maka dapat dihitung $Tap = \frac{30}{60}$

Dipilih $Tap = 0,5$

Time delay

Dipilih time delay = 0,1 s

➤ **Setting rele HVCB 6**

Manufactur : ABB
Model : REF 610
CT Ratio : 100/1
I_{NGR} : 100 A

Instantaneous Pickup

$10\% \times I_{NGR} < I_{set} < 50\% \times I_{NGR}$
 $10\% \times 100 \text{ A} < I_{set} < 50\% \times 100 \text{ A}$
 $10 \text{ A} < I_{set} < 50 \text{ A}$

Dipilih $I_{set} = 30 \text{ A}$

Dengan CT sebesar 100/1, maka dapat dihitung $Tap = \frac{30}{100}$

Dipilih $Tap = 0,33$

Time delay

Dipilih time delay = 0,3 s

➤ **Setting Rele HVCB 1**

Manufactur : ABB
Model : REF 610

$CT\ Ratio$: 100/1
 I_{NGR} : 100 A

Instantaneous Pickup

$10\% \times I_{NGR} < I_{set} < 50\% \times I_{NGR}$
 $10\% \times 100\ A < I_{set} < 50\% \times 100\ A$
 $10\ A < I_{set} < 50\ A$

Dipilih $I_{set} = 30\ A$

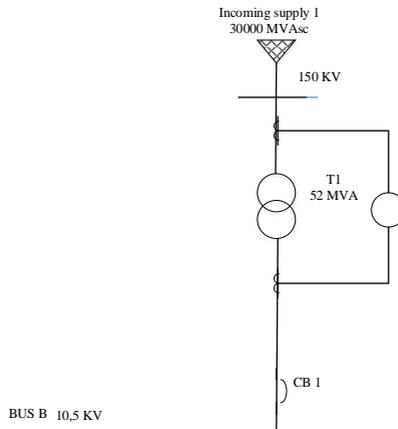
Dengan CT sebesar 100/1, maka dapat dihitung $Tap = \frac{30}{100}$

Dipilih $Tap = 0,33$

Time delay

Dipilih time delay = 0,5 s

4.6 Koordinasi Proteksi Rele differensial



Gambar 4.15 Sistem Proteksi Rele Differensial

Berdasarkan rekomendasi IEEE, rele differensial dapat beroperasi dalam kurun $1\ cycle$ hingga $3\ cycle$. Berikut merupakan *setting operation time differential relay* dengan frekuensi 50 Hz.

➤ Perhitungan 1 cycle

$$T = \text{cycle/frequency} = 1/50 = 0,02 \text{ s}$$

➤ Perhitungan 2 cycle

$$T = \text{cycle/frequency} = 2/50 = 0,04 \text{ s}$$

➤ Perhitungan 3 cycle

$$T = \text{cycle/frequency} = 3/50 = 0,06 \text{ s}$$

Dari perhitungan diatas setting waktu yg digunakan tergantung *minimum operation* pada rele yang akan digunakan. Semakin cepat pengoperasian, semakin cepat pula penangananya. Seperti pada umumnya rele diferensial di beroperasi selama 2cycle atau 0,04 s. Selain itu ada perhitungan lain mengenai rele differensial pada trafo T1 sebagai berikut:

➤ Perhitungan Rele Differensial Trafo T1

Logika rele : $I_1 = I_2$

$$\text{CT - 1 FLA} = 200,1 \text{ A}$$

$$\text{CT Ratio} = 300/1$$

$$\text{CT - 2 FLA} = 2859$$

$$\text{CT Rasio} = 3150/1$$

$$\text{Kondisi normal} \rightarrow I_p = \left(\frac{200,1}{300}\right) \times 1$$

$$= 0,667 \text{ A}$$

$$I_s = \left(\frac{2859}{3150}\right) \times 1$$

$$= 0,908 \text{ A}$$

$$I_{\text{Restrained}} = \left[\frac{I_p + I_s}{2} \right]$$

$$= \frac{0,667 + 0,908}{2}$$

$$= 0,788 \text{ A}$$

$$\begin{aligned}
I_{\text{diff}} &= |I_p - I_s| \\
&= |0,667 - 0,908| \\
&= 0,241
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Slope (\%)} &= \frac{I_{\text{selisih}}}{I_{\text{Restrain}}} \times 100\% \\
&= \frac{0,241}{0,788} \times 100\% \\
&= 30,6 \text{ \%}
\end{aligned}$$

➤ **BUS 1 ext.**

$$\begin{aligned}
3 \text{ phase fault ext} \rightarrow I_p &= \left(\frac{-344}{300}\right) \times 1 \\
&= -1,15 \text{ A}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\rightarrow I_s &= \left(\frac{-4920}{3150}\right) \times 1 \\
&= -1,56 \text{ A}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I_{\text{Restrain}} &= \left[\frac{I_p + I_s}{2} \right] \\
&= \left[\frac{-1,15 - 1,56}{2} \right] \\
&= 1,355 \text{ A}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I_{\text{diff}} &= |I_p - I_s| \\
&= |-1,15 + 1,56| \\
&= 0,41 \text{ A}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Slope (\%)} &= \frac{I_{\text{selisih}}}{I_{\text{Restrain}}} \times 100\% \\
&= \frac{0,41}{1,355} \times 100\% \\
&= 30,3 \text{ \%}
\end{aligned}$$

$$2 \text{ Phase Fault Ext.} \rightarrow I_p = \left(\frac{298}{300}\right) \times 1$$

$$= -0,99 \text{ A}$$

$$I_s = \left(\frac{-4920}{3150}\right) \times 1$$

$$= -1,56 \text{ A}$$

$I_{\text{Restrained}}$

$$= \left[\frac{I_p + I_s}{2} \right]$$

$$\left[\frac{-0,99 + (-1,56)}{2} \right] =$$

$$= 1,275 \text{ A}$$

I_{diff}

$$= |I_p - I_s|$$

$$= |-0,99 + 1,56|$$

$$= 0,57 \text{ A}$$

Slope (%)

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

$$= \frac{0,57 \text{ A}}{1,275 \text{ A}} \times 100\%$$

$$= 44,7 \%$$

➤ **BUS B ext.**

$$3 \text{ phase fault ext.} \rightarrow I_p = \left(\frac{1790}{300}\right) \times 1$$

$$= 5,97 \text{ A}$$

$$\rightarrow I_s = \left(\frac{25600}{3150}\right) \times 1$$

$$= 8,13 \text{ A}$$

$$\begin{aligned}
 I_{\text{Restrained}} &= \left[\frac{I_p + I_s}{2} \right] \\
 &= \left[\frac{5,97 + 8,13}{2} \right] \\
 &= 7,05 \text{ A} \\
 I_{\text{diff}} &= |I_p - I_s| \\
 &= |5,97 - 8,13| \\
 &= 2,16 \\
 \text{Slope (\%)} &= \frac{I_{\text{selisih}}}{I_{\text{Restrained}}} \times 100\% \\
 &= \frac{2,16}{7,05} \times 100\% \\
 &= 30,6 \text{ \%}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2 \text{ Phase Fault ext.} \rightarrow I_p &= \left(\frac{896}{300} \right) \times 1 \\
 &= 3,00 \text{ A} \\
 I_s &= \left(\frac{22170}{3150} \right) \times 1 \\
 &= 7,04 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{\text{Restrained}} &= \left[\frac{I_p + I_s}{2} \right] \\
 &= \left[\frac{3,00 + 7,04}{2} \right] \\
 &= 5,02 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{\text{diff}} &= |I_p - I_s| \\
 &= |3,00 - 7,04| \\
 &= 4,04 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Slope (\%)} &= \frac{I_{\text{selisih}}}{I_{\text{Restrain}}} \times 100\% \\
 &= \frac{4,04 \text{ A}}{5,02 \text{ A}} \times 100\% \\
 &= 80,5 \text{ \%}
 \end{aligned}$$

➤ **Internal Trafo**

$$\begin{aligned}
 3 \text{ phase fault ext.} \rightarrow I_p &= \left(\frac{1790}{300}\right) \times 1 \\
 &= 5,97 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rightarrow I_s &= \left(\frac{-6070}{3150}\right) \times 1 \\
 &= -1,93 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{\text{Restrain}} &= \left[\frac{I_p + I_s}{2} \right] \\
 &= \left[\frac{5,97 - 1,93}{2} \right] \\
 &= 2,02 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{\text{diff}} &= |I_p - I_s| \\
 &= |5,97 + 1,93| \\
 &= 7,9
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Slope (\%)} &= \frac{I_{\text{selisih}}}{I_{\text{Restrain}}} \times 100\% \\
 &= \frac{7,9}{2,02} \times 100\% \\
 &= 391 \text{ \%}
 \end{aligned}$$

$$2 \text{ Phase Fault ext.} \rightarrow I_p = \left(\frac{896}{300}\right) \times 1$$

$$\begin{aligned}
 &= 3,00 \text{ A} \\
 I_s &= \left(\frac{-5260}{3150}\right) \times 1 \\
 &= -1,67 \text{ A} \\
 I_{\text{Restrained}} &= \left[\frac{I_p + I_s}{2}\right] \\
 &= \left[\frac{3,00 - 1,67}{2}\right] \\
 &= 0,665 \text{ A} \\
 I_{\text{diff}} &= |I_p - I_s| \\
 &= |3,00 + 1,67| \\
 &= 4,67 \text{ A} \\
 \text{Slope (\%)} &= \frac{I_{\text{selisih}}}{I_{\text{Restrained}}} \times 100\% \\
 &= \frac{4,67 \text{ A}}{0,665 \text{ A}} \times 100\% \\
 &= 702 \text{ \%}
 \end{aligned}$$

➤ **Logika setting rele diferensial**

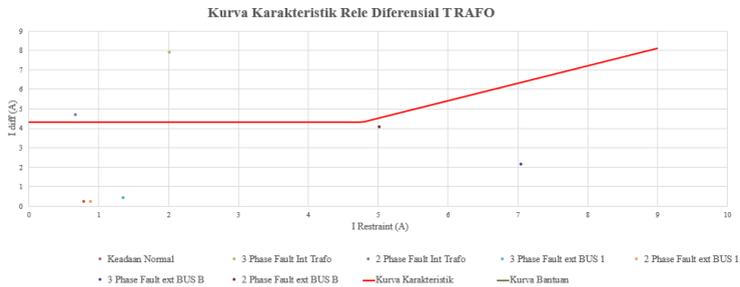
$$\begin{aligned}
 \text{Max. Slope Ex. Fault} &< \text{Slope set.} < \text{Min. Slope In. Fault} \\
 80,5 &< \text{Slope set.} < 391 \text{ \%}
 \end{aligned}$$

Dipilih slope set 90%

$$\begin{aligned}
 \text{Max. } I_{\text{diff}} \text{ Ex. Fault} &< I_{\text{diff}} \text{ set.} < \text{Min. } I_{\text{diff}} \text{ In. Fault} \\
 4,04 \text{ A} &< I_{\text{diff}} \text{ set.} < 4,67 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Dipilih I_{diff} set 4,3 A

Pada hasil analisa perhitungan slope yang di rekomendasikan untuk pemasangan rele differensial pada trafo sebesar 90% dan I_{diff} 4,3 A.



Gambar 4.16 Kurva Karaketristik Rele Diferensial Trafo

Keterangan :

- Daerah dibawah kurva setting slope, rele differensial tidak bekerja
- Daerah diatas kurva setting slope , rele diferensial bekerja

4.7 Perhitungan Incident Energy *Arc Flash*

4.7.1 Hasil Simulasi Incident Energy *Arc Flash*

Setelah dilakukan simulasi maka didapatkan nilai *incident energy arc flash* dan kategori level yang disesuaikan dengan *Personal Protective Equipment* (PPE) dengan standart NFPA 70E-2009. Data berikut sudah di kelompokkan sesuai tipikal koordinasi proteksinya.

Tabel 4.13 Kondisi Simulasi pada Eksisting Tipikal 1

BUS ID	Arus bolted faulf (KA)	Arus arching (KA)	FCT (s)	Insiden Energi (cal/cm ²)	kategori
BUS 6	29,48	28,12	0,097	9,16	3
BUS B	31,63	30,14	0,097	9,88	3

Tabel 4.14 kondisi simulasi pada eksisting tipikal 2

BUS ID	Arus bolted faulf (KA)	Arus arching (KA)	FCT (s)	Insiden Energi (cal/cm ²)	kategori
BUS 7B	38,67	21,91	0,105	8,76	3
BUS 7A	18,76	18,02	0,105	6,13	2

Tabel 4.15 kondisi simulasi pada eksisting tipikal 3

BUS ID	Arus bolted faulf (KA)	Arus arching (KA)	FCT (s)	Insiden Energi (cal/cm ²)	kategori
BUS 4B	40,56	22,84	0,135	11,78	3
BUS 4A	20,5	19,65	0,135	6,67	2

Tabel 4.16 kondisi simulasi pada eksisting tipikal 4

BUS ID	Arus bolted faulf (KA)	Arus arching (KA)	FCT (s)	Insiden Energi (cal/cm ²)	kategori
BUS 2	31,74	30,21	0,819	64,4	>4
BUS A	37,99	36,04	1,4	133,3	>4

4.7.2 Perhitungan Incident Energy Arc Flash Tipikal 1

Tipikal 1 terdapat dua BUS yang dapat di analisa energi busur apinya, yaitu Bus 6 dan Bus B. Analisa perhitungan sebagai berikut:

- **BUS6**
Ibf : 29,51 KA
FCT : 0,155 s

Berdasarkan data tersebut, maka :

➤ **Besaran Incident Energy Arc Flash**

$$\begin{aligned} I_a &= 1,01 \times I_{bf}^{0,983} \\ &= 28,13 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_n &= I_a^{1,081} \times 10^{(K1+K2+0,0011 G)} \\ &= (28,13)^{1,081} \times 10^{(-0,555+0+0,0011 \times 153)} \\ &= 15,13 \text{ J/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E &= C_f \times E_n \times \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610}{D}\right)^x \\ &= 1 \times 15,13 \times \left(\frac{0,155}{0,2}\right) \left(\frac{610}{457}\right)^{0,973} \\ &= 15,53 \end{aligned}$$

➤ **Besaran Flash Protection Boundary**

$$\begin{aligned} D_b &= [4,184 \cdot C_f \cdot E_n \cdot \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610^x}{E_b}\right)^{\frac{1}{x}}] \\ &= [4,184 \cdot C_f \cdot E_n \cdot \left(\frac{0,155}{0,2}\right) \left(\frac{610^{0,973}}{5}\right)^{\frac{1}{0,973}}] \\ &= 4694,19 \text{ mm} \\ &= 4,694 \text{ m} \end{aligned}$$

• **BUS B**

I_{bf} : 31,66 KA

FCT : 0,527 s

Berdasarkan data tersebut, maka :

➤ **Besaran Incident Energy Arc Flash**

$$\begin{aligned} I_a &= 1,01 \times I_{bf}^{0,983} \\ &= 30,15 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_n &= I_a^{1,081} \times 10^{(K1+K2+0,0011 G)} \\ &= (30,15)^{1,081} \times 10^{(-0,555+0+0,0011 \times 153)} \\ &= 16,3 \text{ J/cm}^2 \end{aligned}$$

$$E = C_f \times E_n \times \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610}{D}\right)^x$$

$$= 1 \times 16,3 \times \left(\frac{0,527}{0,2}\right) \left(\frac{610}{910}\right)^{0,973}$$

$$= 28,98$$

➤ **Besaran *Flash Protection Boundary***

$$\text{Db} = [4,184 \cdot Cf \cdot En \cdot \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610^x}{Eb}\right)]^{\frac{1}{x}}$$

$$= [4,184 \cdot 1 \cdot 16,3 \cdot \left(\frac{0,527}{0,2}\right) \left(\frac{610^{0,973}}{5}\right)]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$= 20966 \text{ mm}$$

$$= 20,96 \text{ m}$$

4.7.3 Perhitungan Incident Energy Arc Flash Tipikal 2

Tipikal 3 terdapat dua BUS yang dapat di analisa energi busur apinya, yaitu Bus 7A dan Bus 7B. Analisa perhitungan sebagai berikut:

- **BUS 7B**

I_{bf} : 38,6 KA

FCT : 0,31 s

Berdasarkan data tersebut, maka :

➤ **Besaran Incident Energy Arc Flash**

$$I_g I_a = K + 0,663 I_g I_{bf} + 0,0966 V + 0,000526 G$$

$$+ 0,5588 V(I_g I_{bf}) - 0,00304 G(I_g I_{bf})$$

$$= -0,097 + (0,662 \times I_g 38,6) + (0,0966 \times 0,45)$$

$$+ (0,000526 \times 25) + \{(0,5588 \times 0,48)(I_g 38,6)\}$$

$$- \{(0,00304 \times 25)(I_g 38,6)\}$$

$$I_g I_a = 1,288$$

$$I_a = 10^{I_g I_a}$$

$$I_a = 10^{1,288}$$

$$= 19,41 \text{ KA}$$

$$I_g E_n = K1 + K2 + 1,081 I_g I_a + 0,0011 G$$

$$= -0,555 - 0,113 + (1,081 \times 1,288)$$

$$+ (0,0011 \times 25)$$

$$I_g E_n = 0,731$$

$$E_n = 5,382 \text{ J/cm}^2$$

$$\begin{aligned}
 E &= Cf \times En \times \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610}{D}\right)^x \\
 &= 1,5 \times 5,382 \times \left(\frac{0,31}{0,2}\right) \left(\frac{610}{457}\right)^{1,641} \\
 &= 12,26 \text{ cal/cm}^2
 \end{aligned}$$

➤ **Besaran Flash Protection Boundary**

$$\begin{aligned}
 Db &= [4,184 \cdot Cf \cdot En \cdot \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610^x}{Eb}\right)]^{\frac{1}{x}} \\
 &= [4,184 \cdot 1,5 \cdot 5,382 \cdot \left(\frac{0,31}{0,2}\right) \left(\frac{610^{1,641}}{5}\right)]^{\frac{1}{1,641}} \\
 &= 11976,9 \text{ mm} \\
 &= 11,98 \text{ m}
 \end{aligned}$$

• **BUS 7A**

Ibf : 18,76 KA

FCT : 0,11 s

Berdasarkan data tersebut, maka :

➤ **Besaran Incident Energy Arc Flash**

$$\begin{aligned}
 Ia &= 1,01 \times Ibf^{0,983} \\
 &= 18,03
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 En &= Ia^{1,081} \times 10^{(K1+K2+0,0011 G)} \\
 &= (18,03)^{1,081} \times 10^{(-0,555+0+0,0011 \times 153)} \\
 &= 9,35 \text{ J/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E &= Cf \times En \times \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610}{D}\right)^x \\
 &= 1 \times 9,35 \times \left(\frac{0,11}{0,2}\right) \left(\frac{610}{457}\right)^{0,973} \\
 &= 6,81 \text{ cal/cm}^2
 \end{aligned}$$

➤ **Besaran Flash Protection Boundary**

$$\begin{aligned}
 Db &= [4,184 \cdot Cf \cdot En \cdot \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610^x}{Eb}\right)]^{\frac{1}{x}} \\
 &= [4,184 \cdot 1 \cdot 6,81 \cdot \left(\frac{0,31}{0,2}\right) \left(\frac{610^{0,973}}{5}\right)]^{\frac{1}{0,973}} \\
 &= 5152,7 \text{ mm} \\
 &= 5,15 \text{ m}
 \end{aligned}$$

4.7.4 Perhitungan Incident Energy Arc Flash Tipikal 3

Tipikal 2 terdapat dua BUS yang dapat di analisa energi busur apinya, yaitu Bus 4A dan Bus 4B. Analisa perhitungan sebagai berikut:

- **BUS 4B**

I_{bf} : 40,43 KA

FCT : 0,31 s

Berdasarkan data tersebut, maka :

➤ **Besaran Incident Energy Arc Flash**

$$I_g I_a = K + 0,663 I_g I_{bf} + 0,0966 V + 0,000526 G$$

$$+ 0,5588 V(I_g I_{bf}) - 0,00304 G(I_g I_{bf})$$

$$= -0,097 + (0,662 \times I_g 40,4) + (0,0966 \times 0,45)$$

$$+ (0,000526 \times 25) + \{(0,5588 \times 0,48)(I_g 40,4)\}$$

$$- \{(0,00304 \times 25)(I_g 40,4)\}$$

$$I_g I_a = 1,305$$

$$I_a = 10^{I_g I_a}$$

$$I_a = 10^{1,305}$$

$$= 20,18 \text{ KA}$$

$$I_g E_n = K1 + K2 + 1,081 I_g I_a + 0,0011 G$$

$$= -0,555 - 0,113 + (1,081 \times 1,305)$$

$$+ (0,0011 \times 25)$$

$$I_g E_n = 0,75$$

$$E_n = 10^{0,75}$$

$$E_n = 5,623 \text{ J/cm}^2$$

$$\begin{aligned} E &= Cf \times En \times \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610}{D}\right)^x \\ &= 1,5 \times 5,62 \times \left(\frac{0,31}{0,2}\right) \left(\frac{610}{457}\right)^{1,641} \\ &= 20,99 \text{ cal/cm}^2 \end{aligned}$$

➤ **Besaran Flash Protection Boundary**

$$\begin{aligned} Db &= [4,184 \cdot Cf \cdot En \cdot \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610^x}{Eb}\right)^{\frac{1}{x}}] \\ &= [4,184 \cdot 1,5 \cdot 5,62 \cdot \left(\frac{0,527}{0,2}\right) \left(\frac{610^{1,641}}{5}\right)^{\frac{1}{1,641}}] \\ &= 12506,6 \text{ mm} \\ &= 12.51 \text{ m} \end{aligned}$$

• **BUS 4A**

Ibf : 20,17 KA

FCT : 0,155 s

Berdasarkan data tersebut, maka :

➤ **Besaran Incident Energy Arc Flash**

$$\begin{aligned} Ia &= 1,01 \times Ibf^{0,983} \\ &= 19,35 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} En &= Ia^{1,081} \times 10^{(K1+K2+0,0011 G)} \\ &= (19,35)^{1,081} \times 10^{(-0,555+0+0,0011 \times 153)} \\ &= 10,09 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E &= Cf \times En \times \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610}{D}\right)^x \\ &= 1 \times 10,09 \times \left(\frac{0,155}{0,2}\right) \left(\frac{610}{457}\right)^{0,973} \\ &= 10,35 \end{aligned}$$

➤ **Besaran Flash Protection Boundary**

$$\begin{aligned} Db &= [4,184 \cdot Cf \cdot En \cdot \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610^x}{Eb}\right)^{\frac{1}{x}}] \\ &= [4,184 \cdot 1 \cdot 10,09 \cdot \left(\frac{0,155}{0,2}\right) \left(\frac{610^{0,973}}{5}\right)^{\frac{1}{0,973}}] \end{aligned}$$

$$= 3817,23 \text{ mm}$$

$$= 3,82 \text{ m}$$

4.7.5 Perhitungan Incident Energy Arc Flash Tipikal 4

Tipikal 4 terdapat dua BUS yang dapat di analisa energi busur apinya, yaitu Bus 2 dan Bus A . Analisa perhitungan sebagai berikut:

- **BUS 2**

Ibf : 31,95 KA

FCT : 0,155 s

Berdasarkan data tersebut, maka :

➤ **Besaran Incident Energy Arc Flash**

$$Ia = 1,01 \times Ibf^{0,983}$$

$$= 30,4$$

$$En = Ia^{1,081} \times 10^{(K1+K2+0,0011 G)}$$

$$= (30,4)^{1,081} \times 10^{(-0,555+0+0,0011 \times 153)}$$

$$= 16,45 \text{ J/cm}^2$$

$$E = Cf \times En \times \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610}{D}\right)^x$$

$$= 1 \times 16,45 \times \left(\frac{0,155}{0,2}\right) \left(\frac{610}{457}\right)^{0,973}$$

$$= 16,88$$

➤ **Besaran Flash Protection Boundary**

$$Db = [4,184 \cdot Cf \cdot En \cdot \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610^x}{Eb}\right)]^{\frac{1}{x}}$$

$$= [4,184 \cdot 1 \cdot 16,45 \cdot \left(\frac{0,155}{0,2}\right) \left(\frac{610^{0,973}}{5}\right)]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$= 6223,3 \text{ mm}$$

$$= 6,22 \text{ m}$$

- **BUS A**

Ibf : 36,74 KA

FCT : 0,527 s

Berdasarkan data tersebut, maka :

➤ **Besaran Incident Energy Arc Flash**

$$\begin{aligned} I_a &= 1,01 \times I_b f^{0,983} \\ &= 34,9 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_n &= I_a^{1,081} \times 10^{(K1+K2+0,0011 G)} \\ &= (34,9)^{1,081} \times 10^{(-0,555+0+0,0011 \times 153)} \\ &= 19,1 \text{ J/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E &= C_f \times E_n \times \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610}{D}\right)^x \\ &= 1 \times 19,1 \times \left(\frac{0,527}{0,2}\right) \left(\frac{610}{910}\right)^{0,973} \\ &= 34,1 \end{aligned}$$

➤ **Besaran Flash Protection Boundary**

$$\begin{aligned} D_b &= [4,184 \cdot C_f \cdot E_n \cdot \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610^x}{E_b}\right)]^{\frac{1}{x}} \\ &= [4,184 \cdot 1 \cdot 19,1 \cdot \left(\frac{0,527}{0,2}\right) \left(\frac{610^{0,973}}{5}\right)]^{\frac{1}{0,973}} \\ &= 24567,98 \text{ mm} \\ &= 24,57 \text{ m} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas, pengukuran jarak aman dari setiap pekerja dalam bekerja sangatlah penting. Jarak itulah yang menjadi batasan dimana para pekerja harus mengenakan *Personal Protective Equipment* (PPE) atau tidak. Selanjutnya setelah dilakukan analisis perhitungan *resetting* insiden energi pada setiap tipikalnya secara manual hasilnya tidak jauh beda dengan hasil *resetting* simulasinya. Hanya saja pembulatan angka dibelakang koma yang membutanya ada perbedaan sedikit.

Tabel 4.17 Perbandingan hasil simulasi *Inciden Energy Arc Flash* dan *Flash Protection Boundary* dengan perhitungan manual

BUS ID	Hasil Simulasi Incident Energy (cal/cm ²)	Hasil Simulasi <i>Flash Protection Boundary</i> (m)	Hasil Perhitungan Incident Energy (cal/cm ²)	Hasil Perhitungan <i>Flash Protection Boundary</i> (m)
BUS A	33,94	24,53	34,1	24,57
BUS B	28,97	20,94	28,98	20,96
BUS 2	16,88	6,21	16,89	6,22
BUS 6	15,52	4,68	15,53	4,69
BUS 4A	9,88	3,5	10,09	3,51
BUS4B	20,97	12,5	20,99	12,51
BUS 7A	6,62	5,13	6,81	5,15
BUS 7B	12,23	11,98	12,26	11,98

4.8 Perbandingan Eksisting dan Resetting *Personal Protective Equipment (PPE)* Sesuai dengan NFPA 70E

Dari hasil perbandingan nilai insiden energy *arc flash* pada eksisting dan resetting maka dari hasil keduanya di lanjutkan dengan pengelompokan *Personal Protective Equipment (PPE)* menurut NFPA 70E.

Tabel 4.18 Perbandingan eksisting/resetting *incident energy arc flash* tipikal 1

BUS ID	<i>Incident Energy Arc Flash</i>					
	<i>Existing</i> (cal/cm ²)	<i>Level</i>	<i>PPE</i>	<i>Resetting</i> (cal/cm ²)	<i>Level</i>	<i>PPE</i>
BUS 6	9,16	3	 Hazard Risk Category 3	15,52	3	 Hazard Risk Category 3

BUS ID	<i>Incident Energy Arc Flash</i>					
	<i>Existing</i> (cal/cm ²)	<i>Level</i>	<i>PPE</i>	<i>Resetting</i> (cal/cm ²)	<i>Level</i>	<i>PPE</i>
BUS B	9,88	3	 Hazard Risk Category 3	28,97	4	 Hazard Risk Category 4

Tabel 4.19 Perbandingan *incident energy arc flash* tipakal 2

BUS ID	<i>Incident Energy Arc Flash</i>					
	<i>Existing</i> (cal/cm ²)	<i>Level</i>	<i>PPE</i>	<i>Resetting</i> (cal/cm ²)	<i>Level</i>	<i>PPE</i>
BUS 7B	11,78	3	 Hazard Risk Category 3	12,23	3	 Hazard Risk Category 3

BUS ID	<i>Incident Energy Arc Flash</i>					
	<i>Existing</i> (cal/cm ²)	<i>Level</i>	<i>PPE</i>	<i>Resetting</i> (cal/cm ²)	<i>Level</i>	<i>PPE</i>
BUS 7A	6,67	2	 Hazard Risk Category 2	6,62	2	 Hazard Risk Category 2

Tabel 4.20 Perbandingan *incident energy arc flash* tipakal 3

BUS ID	<i>Incident Energy Arc Flash</i>					
	<i>Existing</i> (cal/cm ²)	<i>Level</i>	<i>PPE</i>	<i>Resetting</i> (cal/cm ²)	<i>Level</i>	<i>PPE</i>
BUS 4B	8,76	3	 Hazard Risk Category 3	20,97	4	 Hazard Risk Category 4
BUS 4A	6,13	3	 Hazard Risk Category 3	9,88	3	 Hazard Risk Category 3

Tabel 4.21 Perbandingan *incident energy arc flash* tipakal 4

BUS ID	<i>Incident Energy Arc Flash</i>					
	<i>Existing</i> (cal/cm ²)	<i>Level</i>	<i>PPE</i>	<i>Resetting</i> (cal/cm ²)	<i>Level</i>	<i>PPE</i>
BUS 2	64,4	4	 Hazard Risk Category 4	16,88	3	 Hazard Risk Category 3

BUS ID	<i>Incident Energy Arc Flash</i>					
	<i>Existing</i> (cal/cm ²)	<i>Level</i>	<i>PPE</i>	<i>Resetting</i> (cal/cm ²)	<i>Level</i>	<i>PPE</i>
BUS A	133,3	>4	 Hazard Risk Category 4	33,94	4	 Hazard Risk Category 4

———— *Halaman ini sengaja dikosongkan* ————

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil Studi Sistem Koordinasi Proteksi dan Pencegahan Bahaya Arc Flash PT. Linde Cikarang, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada kondisi eksisting sistem kelistrikan PT. Linde Indonesia Cikarang, koordinasi proteksi yang dimiliki belum cukup baik sehingga perlu dilakukan *resetting* terlebih dahulu sebelum melakukan analisis busur api. Resetting ini menggunakan perhitungan analisa setiap tipikal terdiri dari, HVCB 1, HVCB 3, HVCB 4, HVCB 5, HVCB 6, HVCB 8, HVCB 10, LVCB 1, dan LVCB 2.
2. Hasil setelah melakukan *resetting* proteksi dan insiden energi, pada setiap tipikal yang terdiri dari *Bus* switchgear dan *MCC* ada insiden energi yang naik maupun turun karena perbaikan proteksi. Pada tipikal 1 insiden energi terbesar 9,88 cal/cm² menjadi 28,94 cal/cm², pada tipikal 2 insiden energi terbesar 11,78 cal/cm² menjadi 12,23 cal/cm², pada tipikal 3 insiden energi terbesar 8,76 cal/cm² menjadi 20,97 cal/cm², dan pada tipikal 4 insiden energi terbesar 133,3 cal/cm² menjadi 33,94 cal/cm².
3. Pengklasifikasian kategori dan alat perlindungan diri setelah *resetting* akan memberikan rasa aman dan nyaman pada pekerja, karena pakaian pelindung diri sudah sesuai daripada sebelumnya.

5.2 Saran

Dengan mempertimbangkan hasil studi yang telah dilakukan pada tugas akhir ini, diharapkan dapat menjadi masukan untuk PT. Linde Indonesia Cikarang kedepannya, yaitu sebagai berikut :

1. Berdasarkan setting rele pengaman yang di dapat dari hasil analisa dan perhitungan yang baru dapat dijadikan pertimbangan dan reserensi.
2. Pada kondisi eksisting pengaman pada trafo 52 MVA belum ada dan menurut analisa seharusnya ada rele differensial yang mengamankannya sesuai perhitungan yang telah dilakukan.

----- *Halaman ini sengaja dikosongkan* -----

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Cahier Technique NO.158, "Calculation of short-circuit current
- [2] P. Anderson, "Power System Protection." John Wiley., Canada, 1998
- [3] Gers, Juan M., dan Holmes, Edward J., "*Protection of Electrical Distribution Network 2nd Edition*", The Institution of Electrical Engineers, London, Ch. 5, 2004
- [4] IEEE Std 242-2001TM, "*IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems*", The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, Ch. 15, 2001.
- [5] NFPA 70E-2004, *Workplace, Electrical safety requirement for employed.* 2004
- [6] IEEE Std 1584TM – 2002, "*IEEE Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculation*", The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, 2002.
- [7] K. R. Shah, Life Senior Member, A. Cinsavich, P. De Silva, "*Impact of Arc Flash Hazards on Medium Voltage Switchgear.*"
- [8] *NFPA 70E: standard for electrical safety in the workplace.* 2009.

———— *Halaman ini sengaja dikosongkan* ————

RIWAYAT HIDUP PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Prama Ladinosa Berkhi. Penulis lahir di Surabaya pada tanggal 17 Februari 1996. Penulis mulai menempuh pendidikan di SD Islam Supriyadi Semarang pada tahun 2002, kemudian melanjutkan pendidikan di SMPN 3 Semarang pada tahun 2008. Setelah lulus dari SMPN 3 Semarang, penulis melanjutkan pendidikannya ke SMAN 1 Semarang pada Tahun 2011 dan hanya selama 1 tahun. Selanjutnya melanjutkan ke SMAN 1 Boyolangu Tulungaung pada tahun 2012. Lulus dari sekolah menengah atas pada tahun 2014, penulis melanjutkan pendidikan di jurusan

Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh November (ITS) dengan mengambil bidang studi Sistem Tenaga. Penulis berdomisili di Surabaya dan dapat dihubungi melalui email pram.ladinosa@gmail.com.

----- *Halaman ini sengaja dikosongkan* -----