



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - EE 184801

**STUDI KOORDINASI PROTEKSI DENGAN
MEMPERHITUNGGAN ARC FLASH PADA SISTEM
KELISTRIKAN PT PERTAMINA (PERSERO) JAKARTA**

Stephani Mutiara
NRP 07111540000122

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.
Dr.Eng Ardyono Priyadi, ST, M.Eng

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh NOPEMBER
Surabaya 2019



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - EE 184801

**STUDI KOORDINASI PROTEKSI DENGAN
MEMPERHITUNGKAN ARC FLASH PADA SISTEM
KELISTRIKAN PT PERTAMINA (PERSERO) JAKARTA**

Stephani Mutiara
NRP 07111540000122

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.
Dr.Eng Ardyono Priyadi, ST, M.Eng

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



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - EE 184801

***PROTECTION COORDINATION STUDY BY
CALCULATING ARC FLASH IN THE ELECTRICAL
SYSTEM OF PT PERTAMINA (PERSERO) JAKARTA***

Stephani Mutiara
NRP 07111540000122

Advisor Lecturer
Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.
Dr.Eng Ardyono Priyadi, ST, M.Eng

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

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan “**Studi Koordinasi Proteksi dengan Memperhitungkan Arc Flash pada Sistem Kelistrikan PT Pertamina (Persero) Jakarta**” 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



Stephani Mutiara
0711154000122



**STUDI KOORDINASI PROTEKSI DENGAN
MEMPERHITUNGKAN ARC FLASH PADA SISTEM
KELISTRIKAN PT PERTAMINA (PERSERO) JAKARTA**

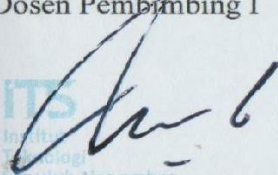
TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada

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

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I



Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.
NIP. 1966 03 18 1990 10 1001

Dosen Pembimbing II



Dr. Eng Ardyono Priyadi, ST, M.Eng
NIP. 1973 09 27 1998 03 1004







Studi Koordinasi Proteksi dengan Memperhitungkan Arc Flash pada Sistem Kelistrikan PT Pertamina (Persero) Jakarta

Nama Mahasiswa : Stephani Mutiara
NRP : 07111540000122
Dosen Pembimbing : 1. Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.
2. Dr.Eng Ardyono Priyadi, ST, M.Eng
NIP : 1. 196603181990101001
2. 197309271998031004

Abstrak

Pertamina adalah perusahaan energi nasional yang sahamnya 100% dimiliki oleh Pemerintah Republik Indonesia melalui kementerian Badan usaha milik negara (BUMN) selaku pemegang saham. PT. PERTAMINA (Persero) adalah sebuah BUMN yang bertugas mengelola penambangan minyak dan gas bumi di Indonesia. Untuk menghindari terjadinya blackout bila terjadi gangguan sistem kelistrikan serta menjaga kontinuitas daya listrik, diperlukan koordinasi proteksi untuk meminimalisir dampak yang ditimbulkan agar tidak menyebabkan kerugian yang besar. Salah satu dampak yang ditimbulkan adalah adanya busur api (*arc flash*). Arc flash merupakan ledakan panas, gas panas, dan logam cair yang diakibatkan oleh *short circuit* (arus pendek) pada peralatan. Karena itu, perlu dilakukan studi koordinasi proteksi untuk menentukan energi yang kemungkinan terjadi selama peristiwa *arc flash* serta lama waktu terjadinya agar tidak melampaui standard yang diizinkan. Analisis busur api dilakukan dengan menggunakan perhitungan standar IEEE 1584-2002 dan dilakukan dengan menggunakan simulasi perangkat lunak ETAP 12.6.0. Tingkat bahaya *arc flash* dikategorikan dalam level A-E. Nilai kategori bahayanya akan dapat menentukan pakaian dan perlengkapan perlindungan diri dari bahaya *arc flash* dalam bekerja agar dapat menghindari resiko kecelakaan bagi pekerja. Hasil yang didapat dari penelitian ini yaitu besar energi busur api (*arc flash*) yang dihasilkan harus lebih rendah dari perhitungan standar IEEE 1584-2002 agar sistem bekerja dengan baik.

Kata Kunci : Hubung singkat, sistem pengaman, bahaya *arc flash*



--Halaman ini sengaja dikosongkan--

Protection Coordination Study by Calculating Arc Flash in the electrical system of PT Pertamina (Persero) Jakarta

Name of Student : Stephani Mutiara
NRP : 07111540000122
Advisor Lecturer : 1. Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.
2. Dr.Eng Ardyono Priyadi, ST, M.Eng
NIP : 1. 196603181990101001
2. 197309271998031004

Abstract

Pertamina is a national energy company whose shares are 100% owned by the Government of the Republic of Indonesia through the ministry of state-owned enterprises (BUMN) as shareholders. PT. PERTAMINA (Persero) is a BUMN that has the task of managing oil and gas mining in Indonesia. To avoid blackout if there is a disruption of the electrical system and maintain continuity of electric power, protection coordination is needed to minimize the impact caused so as not to cause large losses. One of the impacts caused is the arc flash. Arc flash is a blast of heat, hot gas, and molten metal caused by short circuits on the equipment. Therefore, coordination protection studies are needed to determine the energy that is likely to occur during the arc flash event and the length of time it takes to not exceed the permitted standard. Arc analysis is carried out using the calculation of the IEEE 1584-2002 standard and carried out using ETAP 12.6.0 software simulation. The arc flash danger level is categorized as A-E level. The value of the hazard category will be able to determine the clothing and protective equipment from the arc flash hazards at work in order to avoid the risk of accidents for workers. The results obtained from this study are that the amount of arcing energy (arc flash) produced must be lower than the calculation of the IEEE 1584-2002 standard so that the system works properly.

Kata Kunci : *Short Circuit, protection system, arc flash hazard*



--Halaman ini sengaja dikosongkan--

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus yang telah melimpahkan segala kasih karunia-Nya dan memampukan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “**Studi Koordinasi Proteksi dengan Memperhitungkan Arc Flash pada Sistem Kelistrikan PT Pertamina (Persero) Jakarta**”. Penulisan Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk mendapatkan gelar sarjana teknik pada bidang studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya.

Terimakasih kepada kedua orang tuaku Ir. Rorlina Purba Siboro dan Pudji Santosa S.E. yang sudah bekerja keras untuk mencukupkan kebutuhan penulis dan dengan kasih sayang mebesarkan penulis serta memberikan pendidikan yang terbaik bagi penulis. Lalu, penulis ucapkan terima kasih juga untuk kakak dan adik penulis, Veronica Debora dan Josephin Violeta, yang teramat penulis sayangi atas doa, perhatian, semangat, dan dukungan yang selalu diberikan kepada penulis. Selain itu, untuk keluarga besar papa dan mama, terima kasih selalu mendukung dan mendoakan penulis tanpa henti.

Dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, penulis mengucapkan terima kasih atas masukan, bantuan, dorongan, saran, bimbingan dan motivasi yang diberikan baik secara langsung ataupun tidak langsung dalam pelaksanaan Kerja Praktek kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T. dan Bapak Dr.Eng Ardyono Priyadi, ST, M.Eng selaku Dosen Pembimbing yang telah membimbing, memberikan kritik dan saran serta bantuannya.
2. Om Simson Panjaitan, selaku Senior Manajer Pertamina Corporate University dan Pak Purwanto yang telah membantu dalam mendapatkan data untuk penyelesaian Tugas akhir ini.
3. Pak Keynan Haqie dan Pak Adrian Fathur Rohmi dari Pertamina kantor pusat yang telah membimbing serta membantu dalam pengambilan data dan bersedia membagi ilmunya kepada penulis.
4. Semua Asisten lab LIPIST B204 yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini khususnya Ngurah Adi Bram, Almira Atha dan Aprilia Rahmayanti
5. Seluruh keluarga besar Teknik Eektro ITS, para dosen, karyawan, mahasiswa, serta rekan-rekan lainnya atas dukungan, masukan dan kerjasamanya selama masa kuliah dan proses pengerjaan Tugas Akhir.

- 
6. Serta semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu-persatu yang turut membantu dan memperlancar penyelesaian Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam perancangan dan pembuatan Tugas Akhir ini. Besar harapan penulis untuk menerima saran dan kritik dari para pembaca. Semoga buku Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi para pembaca, khususnya bagi penulis sendiri.

Surabaya, Juli 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN

JUDUL	
LEMBAR PERNYATAAN	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1...Latar Belakang.....	1
1.2...Permasalahan.....	2
1.3...Batasan Masalah.....	2
1.4...Tujuan Tugas Akhir.....	2
1.5...Metodologi.....	3
1.6...Sistematika Penulisan.....	4
1.7...Relevansi.....	4

BAB 2 GANGGUAN HUBUNG SINGKAT, PENGAMAN, DAN ARC FLASH (BUSUR API) PADA SISTEM TENAGA LISTRIK

2.1...Gangguan Hubung Singkat pada Sistem Tenaga Listrik.....	5
2.2...Pengaman pada Sistem Tenaga Listrik 3 Fasa.....	9
2.3...Rele Arus Lebih.....	12
2.4...Arc Flash (Busur Api).....	18
2.4.1. Perhitungan Energi Busur Api Berdasarkan Standar IEEE 1584-2002.....	18
2.4.2. <i>Lee Method</i>	21
2.4.3. <i>Flash Protection Boundary</i>	21
2.4.4. Pengelompokan Tingkatan Energi Busur Api Sesuai dengan <i>Personel Protective Equipment (PPE)</i>	23

BAB 3 METODOLOGI DAN SISTEM KELISTRIKAN PT PERTAMINA (PERSERO) JAKARTA

3.1...Metode Pengerjaan.....	25
------------------------------	----

3.2...	Sistem Kelistrikan PT Pertamina (Persero) Jakarta.....	26
3.3...	Data <i>Cable</i> Sistem Kelistrikan PT Pertamina (Persero) Jakarta.....	27
3.4...	Data Beban Kelistrikan pada Tegangan 0,63 kV di PT Pertamina (Persero) Jakarta.....	28
3.5...	Data <i>Capacitor Bank</i> pada Tegangan 0,63 kV di PT Pertamina (Persero) Jakarta.....	31

BAB 4 ANALISIS SERTA HASIL SIMULASI KOORDINASI DAN ARC FLASH (BUSUR API) DI PT PERTAMINA (PERSERO) JAKARTA

4.1.	Pemodelan Sistem Kelistrikan di PT Pertamina (Persero) Jakarta.....	33
4.2...	Analisis Sistem Eksisting Pengaman.....	33
4.2.1.	Setting Koordinasi Sistem Pengaman Eksisting Tipikal 1.....	34
4.2.2.	Setting Koordinasi Sistem Pengaman Eksisting Tipikal 2.....	37
4.2.3.	Setting Koordinasi Sistem Pengaman Eksisting Tipikal 3.....	40
4.3...	Analisis <i>Arc Flash</i> Saat Kondisi Eksisting.....	43
4.3.1.	Analisis <i>Arc Flash</i> Kondisi Tipikal 1.....	43
4.3.2.	Analisa <i>Arc Flash</i> Kondisi Tipikal 2.....	44
4.3.3.	Analisa <i>Arc Flash</i> Kondisi Tipikal 3.....	45
4.4...	Analisis Koordinasi Proteksi setelah <i>Resetting</i>	45
4.4.1.	<i>Resetting</i> Sistem Koordinasi Pengaman Tipikal 1.....	46
4.4.2.	<i>Resetting</i> Sistem Koordinasi Pengaman Tipikal 2.....	53
4.4.3.	<i>Resetting</i> Sistem Koordinasi Pengaman Tipikal 3.....	61
4.4.4.	Perhitungan Analisis <i>Resetting</i> Koordinasi Sistem Pengaman.....	70
4.5...	Analisis <i>Arc Flash</i> Pada Kondisi <i>Resetting</i>	91
4.5.1.	Analisis <i>Arc Flash</i> Pada Kondisi <i>Resetting</i> Tipikal 1.....	91
4.5.2.	Analisis <i>Arc Flash</i> Pada Kondisi <i>Resetting</i> Tipikal 2.....	92
4.5.3.	Analisis <i>Arc Flash</i> Pada Kondisi <i>Resetting</i> Tipikal 3.....	93
4.5.4.	Analisis Perhitungan <i>Arc Flash</i> Pada Kondisi <i>Resetting</i>	95
4.6...	Analisis Pakaian dan PPE (<i>Personel Protective Equipment</i>).....	113

BAB 5 PENUTUP

5.1...	Kesimpulan.....	119
5.2...	Saran.....	119

DAFTAR PUSTAKA..... 121


INDEKS

LAMPIRAN

BIODATA PENULIS

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Representasi <i>logic</i> dari sebuah Rele Proteksi.....	1
Gambar 2.2	Kurva karakteristik rele arus lebih seketika.....	14
Gambar 2.3	Kurva karakteristik rele arus lebih waktu tertentu.....	14
Gambar 2.4	Kurva karakteristik rele arus lebih waktu terbalik.....	15
Gambar 2.5	Macam Kurva karakteristik rele arus lebih waktu terbalik.....	16
Gambar 2.6	Ilustrasi Batas Aman dari Konduktor Bertegangan.....	22
Gambar 2.7	Klasifikasi Alat Pelindung diri berdasarkan Kategori.....	24
Gambar 3.1	<i>Flow Chart</i> Metodologi.....	25
Gambar 3.2	<i>Single Line Diagram</i> Sistem Kelistrikan PT Pertamina (Persero) Jakarta.....	29
Gambar 4.1	Model <i>single line diagram</i> sistem pengaman eksisting tipikal 1.....	34
Gambar 4.2	Hasil plot setting rele eksisting tipikal 1.....	36
Gambar 4.3	Model <i>single line diagram</i> sistem pengaman eksisting tipikal 2.....	37
Gambar 4.4	Hasil plot setting rele eksisting tipikal 2.....	39
Gambar 4.5	Model <i>single line diagram</i> sistem pengaman eksisting tipikal 3.....	40
Gambar 4.6	Hasil plot setting rele eksisting tipikal 3.....	42
Gambar 4.7	<i>Single Line Diagram</i> Tipikal 1a, 1b, 1c, 1d, 1e (dari kiri ke kanan).....	48
Gambar 4.8	Kurva hasil reseting koordinasi pengaman tipikal 1a.....	49
Gambar 4.9	Kurva hasil reseting koordinasi pengaman tipikal 1b.....	50
Gambar 4.10	Kurva hasil reseting koordinasi pengaman tipikal 1c.....	51
Gambar 4.11	Kurva hasil reseting koordinasi pengaman tipikal 1d.....	52
Gambar 4.12	Kurva hasil reseting koordinasi pengaman tipikal 1e.....	53
Gambar 4.13	<i>Single Line Diagram</i> Tipikal 2a, 2b, 2c, 2d, 2e (dari kiri ke kanan).....	56
Gambar 4.14	Kurva hasil reseting koordinasi pengaman tipikal 2a.....	57
Gambar 4.15	Kurva hasil reseting koordinasi pengaman tipikal 2b.....	58
Gambar 4.16	Kurva hasil reseting koordinasi pengaman tipikal 2c.....	59
Gambar 4.17	Kurva hasil reseting koordinasi pengaman tipikal 2d.....	60
Gambar 4.18	Kurva hasil reseting koordinasi pengaman tipikal 2e.....	61
Gambar 4.19	<i>Single Line Diagram</i> Tipikal 3a, 3b, 3c, 3d, 3e, 3f (dari kiri ke kanan).....	64

- 
- Gambar 4.20 Kurva hasil resetting koordinasi pengaman tipikal 3a.....65
 - Gambar 4.21 Kurva hasil resetting koordinasi pengaman tipikal 3b.....66
 - Gambar 4.22 Kurva hasil resetting koordinasi pengaman tipikal 3c.....67
 - Gambar 4.23 Kurva hasil resetting koordinasi pengaman tipikal 3d.....68
 - Gambar 4.24 Kurva hasil resetting koordinasi pengaman tipikal 3e.....69
 - Gambar 4.25 Kurva hasil resetting koordinasi pengaman tipikal 3f.....70

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Gambar rangkaian dan persamaan gangguan hubung singkat.....	7
Tabel 2.2	Koefisien Inverse Time Dial.....	17
Tabel 2.3	Tipikal Gap antar bus.....	20
Tabel 2.4	Tipikal jarak kerja.....	20
Tabel 2.5	Faktor peralatan.....	20
Tabel 2.6	Pengelompokan Ketentuan Pakaian dan PPE (<i>Personel Protective Equipment</i>) sesuai Kategori Bahaya dan Besar Energinya.....	23
Tabel 3.1	Data Power Grid PT Pertamina (Persero) Jakarta.....	27
Tabel 3.2	Data Genset PT Pertamina (Persero) Jakarta.....	27
Tabel 3.3	Data Busbar PT Pertamina (Persero) Jakarta.....	27
Tabel 3.4	Data Trafo PT Pertamina (Persero) Jakarta.....	28
Tabel 3.5	Data <i>Cable</i> PT Pertamina (Persero) Jakarta.....	30
Tabel 3.6	Data Beban Busbar 0,63 kV PT Pertamina (Persero) Jakarta.....	31
Tabel 3.7	Data Capacitor Bank PT Pertamina (Persero) Jakarta.....	31
Tabel 4.1	Data Setelan Rele saat kondisi eksisting tipikal 1.....	35
Tabel 4.2	Data Setelan Rele saat kondisi eksisting tipikal 2.....	38
Tabel 4.3	Data Setelan Rele saat kondisi eksisting tipikal 3.....	41
Tabel 4.4	Hasil simulasi arc flash pada koordinasi tipikal 1.....	43
Tabel 4.5	Hasil simulasi arc flash pada koordinasi tipikal 2.....	44
Tabel 4.6	Hasil simulasi arc flash pada koordinasi tipikal 3.....	45
Tabel 4.7	Hasil resetting koordinasi pengaman tipikal 1a,1b,1c,1c,1d,1e.....	46
Tabel 4.8	Hasil resetting koordinasi pengaman tipikal 2a,2b,2c,2d,2e.....	54
Tabel 4.9	Hasil resetting koordinasi pengaman tipikal 3a,3b,3c,3d,3e.....	62
Tabel 4.10	Hasil simulasi arc flash pada sistem pengaman resetting tipikal 1.....	91
Tabel 4.11	Hasil simulasi arc flash pada sistem pengaman resetting tipikal 2.....	92
Tabel 4.12	Hasil simulasi arc flash pada sistem pengaman resetting tipikal 3.....	93



Tabel 4.13 <i>Bolted Fault Current</i>	95
Tabel 4.14 Standar Pakaian dan PPE pada tiap Bus.....	113

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pertamina adalah perusahaan energi nasional yang sahamnya 100% dimiliki oleh Pemerintah Republik Indonesia melalui kementerian Badan usaha milik negara (BUMN) selaku pemegang saham. PT. PERTAMINA (Persero) adalah sebuah BUMN yang bertugas mengelola penambangan minyak dan gas bumi di Indonesia. Pertamina adalah hasil gabungan dari perusahaan Pertamina dengan Permina yang didirikan pada tanggal 10 Desember 1957. Penggabungan ini terjadi pada 1968. Kegiatan Pertamina dalam menyelenggarakan usaha di bidang energi dan petrokimia, terbagi ke dalam sektor Hulu dan Hilir, serta ditunjang oleh kegiatan anak-anak perusahaan dan perusahaan patungan. Perusahaan ini juga mengoperasikan 7 kilang minyak dengan kapasitas total 1.051,7 MBSD, pabrik petrokimia dengan kapasitas total 1,5 juta ton per tahun dan pabrik LPG dengan kapasitas total 102,3 juta ton per tahun.

Karena perusahaan ini merupakan perusahaan yang cukup besar maka dalam menghindari terjadinya *blackout* bila terjadi gangguan sistem kelistrikan serta menjaga kontinuitas daya listrik, diperlukan koordinasi proteksi untuk meminimalisir dampak yang ditimbulkan agar tidak menyebabkan kerugian yang besar. Selain itu, gangguan pada sistem kelistrikan baik teknis maupun non-teknis dapat memicu percikan api hingga terjadi kebakaran yang dapat mengancam jiwa sehingga perlu diperhatikan juga faktor keselamatan dari para pekerja yang bekerja disekitarnya. Salah satu penyebab dari hal tersebut adalah adanya busur api (*arc flash*). *Arc flash* merupakan ledakan panas, gas panas, dan logam cair yang diakibatkan oleh *short circuit* (arus pendek) pada peralatan.

Oleh sebab itu, perlu dilakukan studi koordinasi proteksi untuk mengetahui energi yang kemungkinan terjadi selama peristiwa *arc flash* agar dapat menentukan perlengkapan keselamatan yang harus dikenakan sesuai standard yang diizinkan. Dengan sistem proteksi seperti ini diharapkan dapat membantu mencegah terjadinya kerusakan pada peralatan agar tidak menimbulkan kerugian yang besar serta dapat menghindari jatuhnya korban jiwa apabila terjadi gangguan dan juga dapat bermanfaat bagi yang membaca tugas akhir ini nantinya.

1.2. Permasalahan

Permasalahan yang akan dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah :

1. Bagaimana sistem kelistrikan yang digunakan di PT. PERTAMINA (PERSERO) JAKARTA
2. Bagaimana koordinasi rele pengaman yang terpasang pada sistem kelistrikan PT. PERTAMINA (PERSERO) JAKARTA.
3. Analisis bahaya *arc flash* pada sistem kelistrikan PT. PERTAMINA (PERSERO) JAKARTA.
4. Bagaimana *resetting* dan koordinasi rele pengaman pada sistem kelistrikan PT. PERTAMINA (PERSERO) JAKARTA dengan memperhitungkan *arc flash*.

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah pada Tugas Akhir ini meliputi:

1. Analisis *arc flash* meliputi penentuan arus *arcing*, *incident energy* dan *flash-protection boundary*.
2. Perhitungan *arc flash* dilakukan pada bus *switchgear* tegangan 20 kV dan 0,63 kV
3. *Resetting* koordinasi rele arus lebih meliputi LVCB (*low voltage circuit breaker*) dan Rele arus lebih (*Overcurrent Relay*).

1.4. Tujuan Tugas Akhir

Tujuan dari Tugas Akhir ini diharapkan sebagai berikut :

1. Mengetahui besar *incident energy* dan nilai bahaya *arc flash* pada sistem kelistrikan PT. PERTAMINA (PERSERO) JAKARTA dan dijadikan sebagai rekomendasi.
2. Menentukan kategori pakaian dan *Personel Protective Equipment* (PPE) pada sistem kelistrikan PT. PERTAMINA (PERSERO) JAKARTA.
3. Menentukan *resetting* dan koordinasi rele pengaman dengan memperhitungkan bahaya *arc flash* yang terjadi dan digunakan sebagai rekomendasi dalam perancangan sistem kelistrikannya.

1.5. Metodologi

Metodologi yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. Persiapan dan Studi Literatur
Studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan teori penunjang berupa buku, jurnal atau paper yang berhubungan dengan tugas akhir. Teori-teori penunjang mengenai studi analisis koordinasi proteksi dan *arc flash analysis*.
2. Pengumpulan Data
Pengumpulan data pada desain sistem kelistrikan PT Pertamina (Persero) Jakarta adalah pengumpulan data peralatan yang dibutuhkan dalam analisis tugas akhir. Data peralatan yang dibutuhkan yaitu sebagai berikut: data beban, *single line diagram* serta proteksinya. Data tersebut digunakan untuk dasar mendesain sistem kelistrikkannya.
3. Pemodelan desain sistem menggunakan *software* ETAP 12.6.0
Pemodelan ini dilakukan untuk mengetahui apakah konfigurasi atau desain koordinasi proteksi pada sistem kelistrikan PT Pertamina (Persero) Jakarta sudah sesuai (benar) atau belum.
4. Simulasi sistem
Simulasi ini dilakukan untuk mengetahui apakah konfigurasi atau desain dapat menyuplai beban yang ada walau diberi *arc flash* pada sistem kelistrikan PT Pertamina (Persero) Jakarta. Simulasi dilakukan pada analisis aliran daya pada ETAP.
5. Analisis Data
Dari simulasi, akan dianalisa apakah konfigurasi telah dapat menyuplai beban yang ada walau diberi *arc flash* pada sistem kelistrikan PT Pertamina (Persero) Jakarta. Dari data tersebut apabila terjadi blackout maka akan dilakukan desain ulang sampai dapat menyuplai beban yang ada pada PT Pertamina (Persero) Jakarta. Kemudian konfigurasi yang baru tadi disimulasikan pada ETAP untuk dianalisis kembali.
6. Penyusunan Laporan Tugas Akhir
Penyusunan laporan dilakukan dari awal melakukan studi literatur hingga analisis data serta mendapat kesimpulan dari desain sistem kelistrikan PT Pertamina (Persero) Jakarta.

1.6. Sistematika Penulisan

Dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini disusun menjadi beberapa bab dan diuraikan dengan pembahasan sesuai daftar isi. Sistematika penyusunan laporannya adalah sebagai berikut :

BAB 1 PENDAHULUAN

Pendahuluan menguraikan tentang latar belakang, permasalahan, batasan masalah, tujuan tugas akhir, sistematika penulisan serta relevansi.

BAB 2 LANDASAN TEORI

Bab ini membahas teori-teori tentang gangguan, pengamanan, dan busur api listrik sistem tenaga listrik, serta dasar-dasar perhitungan yang digunakan pada analisis data.

BAB 3 METODOLOGI DAN SISTEM KELISTRIKAN PT. PERTAMINA (PERSERO) JAKARTA

Bab ini membahas tentang metodologi pengerjaan dan sistem kelistrikan PT Pertamina (Persero) Jakarta.

BAB 4 HASIL SIMULASI DAN ANALISIS

Bab ini menjelaskan mengenai analisa sistem pengamanan dan analisis bahaya *arc-flash* pada sistem kelistrikan PT Pertamina (Persero) Jakarta.

BAB 5 PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dan saran.

1.7. Relevansi

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

1. Dapat mengetahui bahaya *arc flash* dan cara menanggulangi bahaya *arc flash*.
2. Mendapatkan setting peralatan pengamanan yang tepat dengan memperhitungkan bahaya *arc flash*.
3. Dapat menjadi referensi bagi PT Pertamina (Persero) Jakarta ketika melakukan perbaikan pada proteksi sistem kelistrikannya.
4. Dapat digunakan sebagai referensi atau masukan untuk penyelesaian kasus yang sama bagi mahasiswa lain pada tugas akhirnya.

BAB 2

GANGGUAN HUBUNG SINGKAT, PENGAMAN, DAN ARC FLASH (BUSUR API) PADA SISTEM TENAGA LISTRIK

2.1. Gangguan Hubung Singkat pada Sistem Tenaga Listrik

Hubung singkat merupakan gangguan yang paling sering terjadi dalam sistem tenaga listrik. Gangguan hubung singkat dapat disebabkan oleh adanya sambaran petir, kegagalan isolasi ataupun gangguan akibat ranting pohon dan binatang. Tujuan dari analisis hubung singkat yang dilakukan adalah untuk menentukan arus dan tegangan maksimum & minimum pada bagian-bagian atau titik-titik tertentu dari suatu sistem tenaga listrik untuk jenis-jenis gangguan yang mungkin terjadi, sehingga dapat ditentukan pola pengaman relay dan pemutus (*circuit breaker*) untuk mengamankan sistem dari keadaan abnormal dalam waktu yang seminimal mungkin. [6]

Jenis hubung singkat yang paling umum dalam sistem tiga fase adalah konduktor tunggal ke gangguan pentanahan. Hubung singkat jenis ini terjadi ketika salah satu konduktor dalam suatu sirkuit bersentuhan dengan bumi.

Jenis hubung singkat paling umum berikutnya adalah fase ke fase atau konduktor ke gangguan konduktor. Hubung singkat jenis ini terjadi ketika dua konduktor dalam suatu sirkuit bersentuhan satu sama lain.

Berikutnya adalah fasa ganda atau ganda konduktor ke pentanahan. Hubung singkat ini jenis terjadi ketika dua dari dua konduktor dalam suatu sirkuit masing-masing secara bersamaan bersentuhan dengan bumi.

Dan yang terakhir, jenis hubung singkat yang paling tidak umum adalah kesalahan tiga fasa atau tiga konduktor yang seimbang. Hubung singkat jenis ini terjadi ketika ketiga konduktor bersentuhan dengan bumi. Walaupun hal ini merupakan hal yang tidak biasa tetapi hal itu bisa terjadi. Dalam semua kasus, gangguan ini adalah hubung singkat dengan jalur resistansi paling rendah yaitu karena kesalahan, dan bukan karena peralatan. [12]

Berikut ini merupakan sumber atau hal yang menyebabkan terjadinya hubung singkat :

1. Sumber Utility
2. Generator Sinkron

Generator menghasilkan tegangan yang menyebabkan munculnya arus hubung singkat yang besar. Kejadian ini dibatasi oleh reaktansi yang nilainya berubah terhadap waktu. Untuk menghitung arus gangguan tersebut, reaktansi mesin sinkron dapat dibedakan sebagai:

a. X_d'' : Reaktansi Sub-Peralihan

Reaktansi ini untuk menentukan arus gangguan selama cycle pertama setelah gangguan terjadi dalam waktu 0.05 – 0.1 detik.

Jika nilai X_d'' bertambah besar, akan menjadi →

b. X_d' : Reaktansi Peralihan

Reaktansi ini untuk menentukan arus gangguan setelah beberapa cycle setelah gangguan terjadi dalam waktu 0.2 – 2 detik.

Jika nilai X_d' bertambah besar, akan menjadi →

c. X_d : Reaktansi Sinkron

Reaktansi ini untuk menentukan arus gangguan setelah keadaan steady state dicapai.

3. Motor Sinkron

Ketika terjadi gangguan dan tegangan sistem menjadi turun dengan nilai yang sangat rendah maka motor sinkron akan berhenti mengambil daya dari sistem untuk memutar beban dan mulai melambat. Tetapi inersia beban mencegah motor untuk melambat sehingga motor bertindak sebagai generator yang menyuplai arus hubung singkat selama beberapa *cycle* setelah hubung singkat terjadi.

4. Motor Induksi

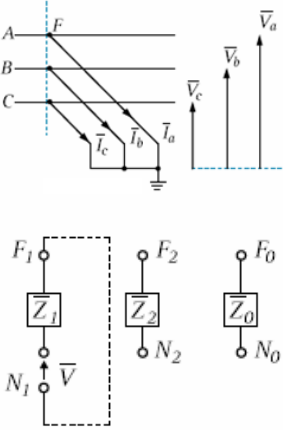
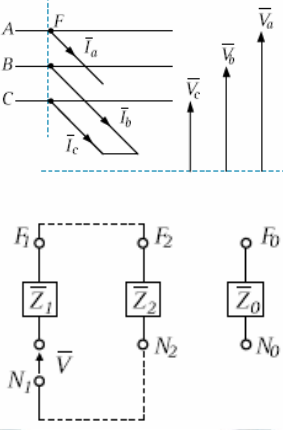
Arus gangguan yang berasal dari motor induksi biasanya diabaikan.

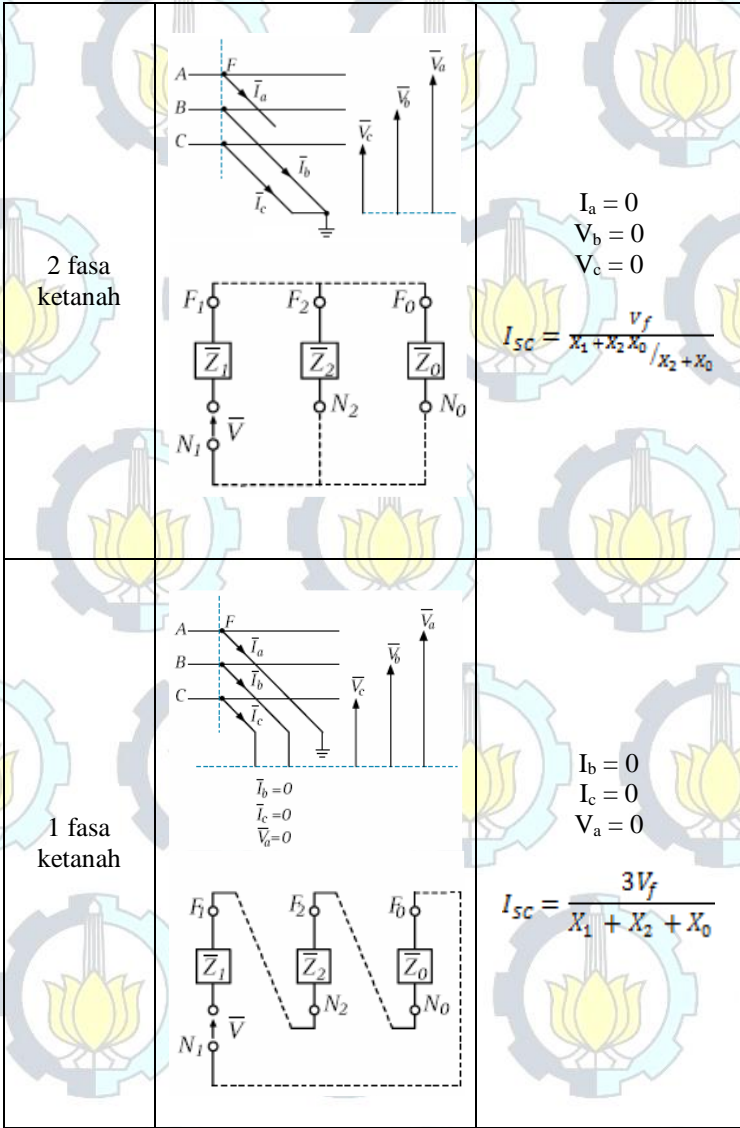
5. Transformator

Arus gangguan yang melewati transformator tergantung pada rating dari tegangan sekunder dan presentasi reaktansinya. Biasanya tahanan seri dari saluran transmisi dan trafo diabaikan. [14]

Untuk Lebih jelasnya tentang rangkaian dan persamaan rumusnya dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Gambar rangkaian dan persamaan gangguan hubung singkat [12]

Gangguan Hubung Singkat	Rangkaian Hubung Singkat dan Rangkaian Ekuivalen	Persamaan
<p>3 fasa ketanah</p>		$V_{a0} = 0$ $V_{a2} = 0$ $I_{a0} = 0$ $I_{a2} = 0$ $I_{sc} = \frac{V_f}{X_1}$
<p>Antar Fasa</p>		$I_a = 0$ $I_b = -I_c$ $V_b = V_c$ $I_{sc} = \left \frac{+j \frac{\sqrt{3}V_f}{X_1 + X_2}} \right $



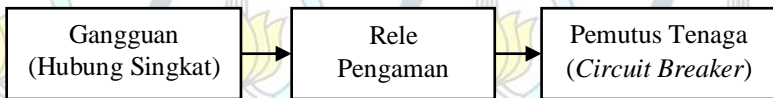
2.2. Pengaman pada Sistem Tenaga Listrik 3 Fasa

Proteksi adalah *science*, *skill* dan seni dalam aplikasi dan setting rele untuk mendapatkan sensitivitas maksimum dalam mendeteksi kondisi yang tidak normal, tetapi tetap beroperasi pada kondisi normal atau kondisi yang masih dapat ditolerir.

Pada sistem tenaga listrik 3 fasa, peralatan yang digunakan biasanya adalah *circuit breaker* (CB). Dalam menggerakkan *circuit breaker* diperlukan rele yang dirancang untuk mengoperasikan atau memberi sinyal untuk *circuit breaker trip* bila terjadi gangguan.

Gangguan yang terjadi umumnya mengakibatkan perubahan yang cukup berarti pada besaran sistem, sehingga dapat digunakan untuk membedakan antara kondisi yang dapat ditolerir atau tidak dapat ditolerir. Perubahan besaran ini meliputi: arus lebih, tegangan lebih atau kurang, daya, faktor daya atau sudut fasa, impedansi frekuensi, temperatur, tekanan dan besaran lainnya. Indikator umum yang menunjukkan adanya gangguan adalah perubahan arus yang terjadi secara tiba-tiba, sehingga proteksi arus lebih adalah jenis proteksi yang paling luas penggunaannya.

Tipikal representasi *logic* dari rele diberikan dalam **gambar 2.1**. Komponen-komponen sistem dapat berupa elektromekanik, solid state, atau kombinasi keduanya. Fungsi *logic* yang digunakan sangat umum, sehingga dalam setiap unit dapat berupa kombinasi keseluruhan atau dalam banyak kasus tidak dibutuhkan keseluruhannya. [12]



Gambar 2.1 Representasi *logic* dari sebuah Rele Pengaman [12]

Pentingnya mempertahankan tingkat keandalan sistem tenaga elektrik pada sistem pengaman perlu dilakukan agar sistem dapat bekerja dengan optimal. Kesalahan operasi pada suatu sistem tenaga elektrik dapat terjadi disebabkan oleh salah satu dari keadaan berikut: [12]

1. Kesalahan desain

Hal ini merupakan sesuatu yang sangat penting. Keadaan sebuah sistem tenaga elektrik harus dipahami dengan baik untuk menghasilkan sebuah desain yang baik. Pengujian secara komprehensif sangat dibutuhkan, dan pengujian ini harus mencakup semua aspek dari suatu sistem proteksi sedekat mungkin

sebagaimana kondisi sesungguhnya. Untuk sistem proteksi umumnya, sangat perlu untuk melakukan pengujian pada rele, transformator arus dan peralatan bantu lainnya. Pengujian harus dapat mensimulasikan kondisi gangguan yang mungkin terjadi.

2. Kesalahan Instalasi

Instalasi sebuah sistem proteksi yang baik sangat dibutuhkan, tetapi kompleksitas rangkaian dalam sebuah instalasi sistem proteksi akan menyulitkan dalam melakukan pemeriksaan dan pengujian sistem. Pengujian menjadi hal yang mutlak diperlukan untuk menguji apakah instalasi terpasang secara benar dan seluruh komponen sistem bekerja sesuai dengan fungsinya. Mengingat sangat sulit untuk mensimulasikan seluruh kondisi gangguan secara benar, pengujian ini harus dilaksanakan untuk melihat kondisi instalasi sistem. Inilah gunanya pengujian ditempat, yang dapat dilakukan secara terbatas dan sederhana dan langsung guna membuktikan bahwa koneksi yang dilakukan telah benar dan bebas dari kemungkinan kerusakan peralatan.

3. Penuaan

Setelah bagian-bagian sistem diinstal dengan sempurna, penuaanpun dapat terjadi sejalan dengan waktu yang akan mengganggu fungsi sistem. Sebagai contoh, kontak-kontak mungkin menjadi rusak dan atau terbakar akibat seringnya beroperasi atau akibat kontaminasi dari lingkungan sekitar. Koil atau bagian lain dari rangkaian menjadi terbuka, komponen-komponen bantu mungkin gagal dan sistem mekanis tertutup dengan debu atau mengalami korosi yang akan menghambat pergerakan sistem. Salah satu kesulitan dalam sebuah sistem proteksi adalah menentukan kapan sebuah sistem dibutuhkan, dan hal ini baru dapat diketahui saat sistem mengalami kegagalan dalam merespon gangguan yang terjadi pada sistem tenaga tersebut. Karena alasan inilah maka rele proteksi harus selalu diuji dari waktu ke waktu untuk menjamin agar sistem tetap dapat bekerja pada saat dibutuhkan.

Pengujian sistem proteksi dilaksanakan tanpa harus mengganggu hubungan-hubungan permanen rangkaian. Hal ini dapat dilakukan dengan cara melakukan pengujian perblok atau pengalihan. Bila diperlukan pemutusan temporer, maka untuk menghindari kesalahan penyambungan ulang digunakan bendera penanda yang diletakkan pada titik-titik atau terminal penyambungan. Kualitas pekerja yang

melaksanakan pengujian juga sangat menentukan. Pekerja tersebut harus benar-benar menguasai tugasnya dan memiliki kompetensi yang dibutuhkan dan bekerja mengikuti standar kerja yang diharuskan. Peralatan-peralatan yang penting, khususnya yang sensitif (mudah rusak) harus dipantau secara terus-menerus seperti Pemutus Tenaga (*circuit breaker*) dan peralatan pengendalinya. [12]

Proteksi disusun dalam zona operasi tertentu, yang mencakup keseluruhan sistem tenaga elektrik tanpa terkecuali sehingga tidak ada daerah yang tidak terlindungi. Bila terjadi gangguan, sistem proteksi dibutuhkan untuk memilih dan memutuskan Pemutus Tenaga yang terdekat dengan titik gangguan. Sifat pemutusan yang selektif ini dikenal juga dengan sebutan diskriminasi yang dapat dicapai dengan dua metoda, yaitu: [12]

1. Sistem Tingkatan Waktu

Sistem proteksi pada zona yang berdekatan diatur untuk beroperasi dengan tingkatan waktu operasi yang berbeda-beda melalui pengaturan urutan kerja peralatan, sehingga pada saat terjadi gangguan, meski sejumlah peralatan proteksi akan beroperasi merespon adanya gangguan, namun hanya peralatan proteksi yang relevan dengan zona gangguan yang akan menyelesaikan keseluruhan urutan proses pemutusan, sedangkan sistem lain tidak akan menyelesaikan urutan pemutusannya dan akan kembali keposisi awalnya.

2. Sistem Unit

Dimungkinkan untuk mendesain sistem proteksi yang hanya akan merespon kondisi gangguan yang berada dalam zona yang didefinisikan. Proteksi seperti ini atau daerah proteksi ini dapat diterapkan dalam suatu sistem tenaga elektrik, mengingat bahwa operasi sistem tidak dipengaruhi oleh waktu, maka operasi sistem dapat lebih cepat. Unit Proteksi umumnya dicapai dengan membandingkan besaran-besaran sistem dalam batasan daerah operasi tertentu. Beberapa sistem proteksi diturunkan dari sifat 'keterbatasan' dari konfigurasi sistem tenaga dan mungkin saja dapat diklasifikasikan sebagai proteksi unit. [12]

Metoda manapun yang digunakan harus selalu diingat bahwa selektifitas bukanlah bagian dari desain rele, hal ini merupakan suatu fungsi penerapan koordinasi yang benar antara Transformator Arus (CT) dan rele dengan suatu pilihan penyetelan yang tepat dengan

mempertimbangkan beberapa hal, seperti arus gangguan, arus beban maksimum, impedansi sistem dan sebagainya sesuai dengan kebutuhan. Pada *circuit breaker* terdapat 2 hal mengenai arus hubung singkat yang perlu dipertimbangkan, yaitu : [12]

1. *Momentary Rating*

Perhitungan ini diperlukan untuk menghitung kemampuan *circuit breaker* saat menutup dan ketahanan terhadap tekanan mekanik dan suhu dari arus hubung singkat maksimum 1,5 cycle.

2. *Interrupting Duty Rating*

Perhitungan ini diperlukan untuk menghitung kemampuan *circuit breaker* meng-interrupt aliran arus hubung singkat setelah 4,5, atau 8 cycle berdasarkan tipe *breakernya*. [12]

2.3. Rele Arus Lebih

Pengaman terhadap arus lebih merupakan sebuah sistem pengaman yang pertama dipergunakan. Darisini dikembangkan prinsip-prinsip tingkatan arus lebih, yaitu suatu pemisahan proteksi gangguan. Hal ini seharusnya tidak dibingungkan dengan proteksi beban lebih, yang umumnya menggunakan rele dengan waktu operasi didasarkan atas derajat kapabilitas termis dari elemen yang diproteksi. Sedangkan pengaman arus lebih secara langsung akan mengisolir gangguan, meski penyetelan umumnya tetap mengadopsi pengukuran dari proteksi beban lebih. [12]

Agar aplikasi rele arus dapat dilakukan secara benar diperlukan pengetahuan mengenai besarnya arus gangguan yang dapat mengalir pada setiap bagian dari jaringan sistem tenaga. Mengingat bahwa pengujian skala besar umumnya tidak dilakukan karena alasan praktis, maka digunakan analisis sistem. Pada umumnya dalam analisis sistem tenaga pemodelan menggunakan reaktansi transien dari mesin-mesin elektrik X_d' dan bekerja pada arus simetris sesaat. Data yang dibutuhkan dalam studi penyetelan rele, antara lain: [12]

- i. Diagram segaris dari sistem yang menunjukkan rating dan tipe peralatan proteksi serta CT yang dipergunakan.
- ii. Impedansi dalam besaran ohmik, persen atau pu dari Transformator Daya, mesin-mesin berputar dan sirkit penyulang.
- iii. Besar arus gangguan minimum dan maksimum yang mungkin akan mengalir pada masing-masing peralatan proteksi.
- iv. Arus pengasutan dari Motor dan arus pengasutan serta waktu stalling dari Motor induksi.

- v. Arus beban puncak maksimum yang akan melalui peralatan proteksi.
- vi. Kurva kinerja Transformator Arus (CT)

Penyetelan Rele ditentukan pertama kali agar dapat memberikan waktu operasi pemutusan terpendek pada level gangguan maksimum dan kemudian diperiksa apakah operasi ini juga dapat memuaskan untuk arus gangguan minimum yang mungkin terjadi. Disarankan untuk selalu menggambarkan kurva Rele dan peralatan proteksi lainnya, seperti Fuse yang beroperasi secara seri pada skala yang sama. Umumnya lebih mudah bila dipergunakan suatu skala yang berhubungan dengan kemungkinan arus yang terjadi pada dasar tegangan yang rendah atau menggunakan dasar tegangan yang dominan. Alternatif lain adalah dalam MVA_{dasar} yang sama atau skala arus yang berbeda untuk setiap tegangan sistem. Aturan dasar untuk mendapatkan koordinasi rele yang benar dapat dinyatakan sebagai berikut:

- i. Bila memungkinkan, gunakan rele yang memiliki karakteristik operasi yang sama bila rele terpasang secara seri.
- ii. Yakinkan bahwa rele terjauh dari sumber memiliki setelan arus yang sama atau lebih rendah dari rele dibelakangnya, mengingat arus primer yang dibutuhkan untuk mengoperasikan rele didepan adalah sama atau lebih kecil dari arus primer yang diperlukan untuk mengoperasikan rele berikutnya. [12]

Rele arus lebih akan bekerja apabila arus yang mengalir pada saluran lebih besar dari setting arus pada rele, syarat rele dapat bekerja yaitu :

$$I_f > I_p \quad \text{rele bekerja (trip)}$$

$$I_f < I_p \quad \text{rele tidak bekerja}$$

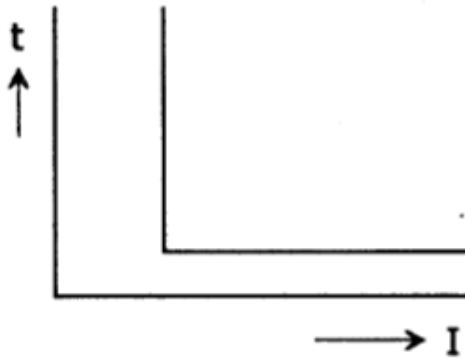
I_f merupakan besarnya arus saat gangguan terjadi dan arus ini akan dideteksi oleh transformator arus (CT) yang kemudian akan diperiksa rele apakah arus tersebut merupakan arus gangguan atau bukan. Sedangkan I_{pickup} (I_p) merupakan arus kerja yang dinyatakan menurut belitan sekunder dari transformator arus (CT). [14]

Pada rele pengamanan ada beberapa jenis kurva yang dapat digolongkan menjadi beberapa karakteristik sebagai berikut : [12]

- 1. Arus lebih seketika (*instantaneous*)

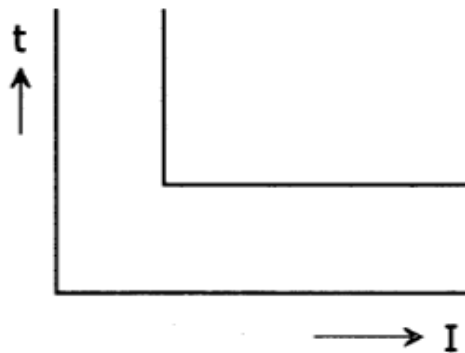
Prinsip kerja dari rele jenis ini adalah tanpa penundaan waktu atau bekerja seketika bila terjadi gangguan yang melebihi batas arus yang diinginkan, tetapi masih bekerja dengan waktu cepat yang besarnya 0,5 – 2 cycle atau 10 - 40 mili detik. Rele ini juga biasa disebut sebagai rele setelan instan dan biasa dikombinasikan dengan

karakteristik rele arus lebih lain. Kurva karakteristik rele arus lebih seketika ditunjukkan pada **gambar 2.2**.



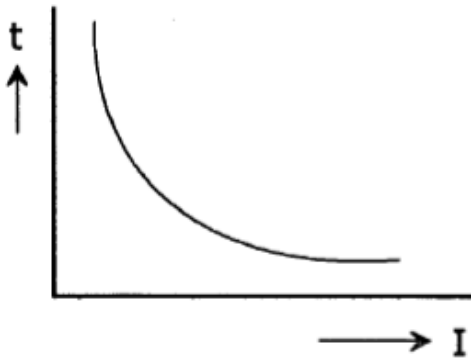
Gambar 2.2 Kurva karakteristik rele arus lebih seketika

2. Arus lebih waktu tertentu (*definite time*)
Setelan rele pengaman dengan menggunakan karakteristik waktu tertentu pada rele ini disetel dengan mengatur waktu operasi berdasarkan level arus. Rele jenis ini akan beroperasi saat ada arus gangguan yang melebihi pick-up set point dari rele tersebut dengan waktu yang telah ditentukan. Dengan kata lain, semua level arus yang melebihi pickup set pointnya akan diputuskan dalam waktu yang sama. Kurva karakteristik rele arus lebih waktu tertentu ditunjukkan pada **gambar 2.3**.

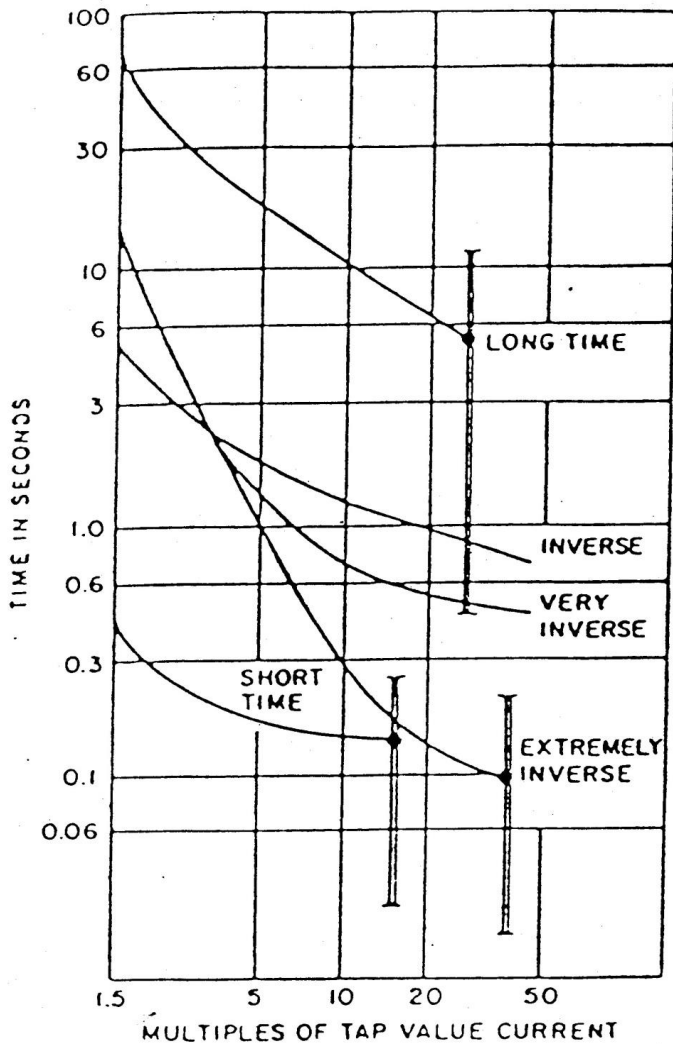


Gambar 2.3 Kurva karakteristik rele arus lebih waktu tertentu

3. Arus lebih dengan waktu terbalik (*inverse time*)
Rele jenis ini memiliki karakteristik bila semakin besar arus gangguan maka rele akan beroperasi dalam waktu yang semakin cepat. Sebaliknya, bila arus gangguan semakin kecil maka waktu tunda operasi rele akan lebih lama.



Gambar 2.4 Kurva karakteristik rele arus lebih waktu terbalik
Menurut standard IEC 60255-3 dan BS 142, ada beberapa karakteristik kurva *inverse* yaitu *long time inverse*, *short time inverse*, *standard inverse*, *very inverse* dan *extremely inverse*. Tiap kurva memiliki perbedaan bentuk kurva dan yang membedakannya adalah tingkat kemiringan kurva.



Gambar 2.5 Macam Kurva karakteristik rele arus lebih waktu terbalik [12]

Dalam setting rele arus lebih harus memiliki batasan besarnya arus yaitu ketika beban maksimum walaupun arusnya sangat besar, rele tidak boleh bekerja. Oleh karena itu arus setting pada rele harus lebih besar dari arus beban maksimum. Setting pada rele arus lebih waktu terbalik (*inverse*) menggunakan setting pick up dan time dial. Batas dari setting pick up adalah sebagai berikut : [12]

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

Untuk cara penyetelan dengan menggunakan tap pada rele digunakan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{\text{Rasio CT}}$$

Dimana :

I_{set} = Arus setting pick up

I_{FLA} = Arus full load (beban maksimum)

Rasio CT = besar Rasio primer CT [12]

Sedangkan setting time dial untuk menentukan waktu operasi rele. Untuk penentuan time dial dari masing masing kurva karakteristik rele digunakan persamaan berikut : [12]

$$t = \frac{K \times Td}{\left(\frac{I}{I_{set}}\right)^\alpha - 1}$$

Dimana :

t = waktu operasi (detik)

Td = time dial (detik)

I = nilai arus (Ampere)

I_{set} = arus pick up (Ampere)

K = koefisien 1

α = koefisien 2 [12]

Tabel 2.2 Koefisien Inverse Time Dial [12]

Tipe Kurva	Koefisien	
	K	α
<i>Standard Inverse</i>	0,14	0,02
<i>Very Inverse</i>	13,5	1
<i>Extremely Inverse</i>	80	2

Dalam penyetelan rele arus lebih perlu juga memperhatikan kondisi *instantaneous*. Setting yang digunakan adalah setting *pick up* instan dengan menggunakan nilai arus short circuit minimum dan karakteristik peralatan. Untuk batas penyetelannya adalah sebagai berikut :[12]

$$1,6 I_{FLA} \leq I_{set} \leq 1,4 I_{SC \text{ min bus}}$$

2.4. Arc Flash (Busur Api)

Berdasarkan *National Fire Protection Association* (NFPA) 70E, *arc flash* (busur api) adalah kondisi yang berbahaya akibat adanya pelepasan energi yang disebabkan oleh bunga api listrik. Bunga api listrik tersebut timbul karena adanya arus gangguan atau arcing fault pada sebuah sistem kelistrikan. Jadi, *Arc Flash* merupakan fenomena dimana *Flash Over* arus listrik meninggalkan jalurnya dan perjalanan melalui udara (Konsleting) dari satu konduktor ke yang lain atau ke tanah (ground). *Arc flash* berupa ledakan panas, gas panas, dan logam cair yang diakibatkan oleh *short circuit* (arus pendek) pada peralatan. [2]

Terjadinya *arc flash* diakibatkan dari adanya *arcing-fault* maupun *bolted fault*. *Arcing-fault* sendiri dapat didefinisikan sebagai busur api yang diakibatkan oleh arus gangguan yang mengalir melalui udara antara konduktor dengan konduktor atau konduktor dengan tanah. Arus tersebut menciptakan sebuah plasma busur listrik dan melepaskan sejumlah energi yang berbahaya. Sedangkan *bolted fault* terjadi akibat adanya perantara konduktor sebagai jalur arus gangguannya. Umumnya terjadinya *bolted fault* diakibatkan adanya kegagalan mekanik, kegagalan isolasi, debu dan korosi, serta kesalahan operator. Besar *arcing fault* biasanya lebih rendah dari *bolted fault*. [4]

Jumlah energi yang dihasilkan *arc flash* dipengaruhi oleh arus hubung singkat maksimum, level tegangan pada titik gangguan, waktu yang dibutuhkan pengaman untuk menghilangkan gangguan, jarak antar konduktor, dan jarak pekerja dengan titik arcing. Hasil ketika manusia sering di dekat *arc flash* bisa menyebabkan manusia tersebut cedera serius atau bahkan kematian. [3]

2.4.1. Perhitungan Energi Busur Api Berdasarkan Standar IEEE 1584-2002 [1]

Berdasarkan standar IEEE 1584-2002, perhitungan *arcing current* merupakan langkah awal dalam perhitungan level energi *arc flash* (busur

api). Nilai *arcing current* diperoleh berdasarkan arus hubung singkat tiga fasa. Perhitungan Nilai *arcing current* tergantung pada besarnya level tegangan. Berikut adalah persamaannya : [9]

1. Untuk level tegangan bus kurang dari atau sama dengan 1 kV

$$\log I_a = K + 0.662 \log I_{bf} + 0.0966 V + 0.000526 G + 0.5588 V (\log I_{bf}) - 0.00304 G (\log I_{bf})$$

2. Untuk level tegangan 1 kV – 15 kV

$$\log I_a = 0,00402 + 0,983 (\log I_{bf})$$

Dimana :

$$\log = \log_{10}$$

I_a = Arus busur api / *arcing current* (kA)

I_{bf} = *Bolted three-phase fault at the bus symmetrical rms* (kA)

K = -0.153 untuk konfigurasi terbuka dan -0.097 untuk konfigurasi tertutup

V = Tegangan sistem (kV)

G = Jarak antar konduktor (mm) [9]

Setelah nilai *arcing current* didapatkan, maka nilai insiden energi *arc flash* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut: [5]

$$\log E_n = K_1 + K_2 + 1,081 \log I_a + 0,0011 G$$

Dimana :

E_n = *Incident energy normalized* dalam J/cm²

K_1 = -0.792 untuk konfigurasi terbuka dan -0.555 untuk konfigurasi tertutup

K_2 = 0 untuk tidak diketanahkan dan sistem HRG dan -0.133 untuk sistem diketanahkan

I_a = *Magnitude* arus busur api

G = Jarak antar konduktor (mm) [5]

Bila nilai E_n sudah didapatkan, maka selanjutnya dapat menghitung nilai insiden energi E dengan persamaan sebagai berikut: [7]

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

Dimana :

E = *Incident energy* (J/cm²)

C_f = Faktor kalkulasi (1.0 untuk tegangan dibawah 1 kV dan 1.5 untuk diatas 1 kV)

E_n = *Incident energy normalized* dalam J/cm²

t = Durasi busur api (arcing)

D = Jarak busur api ke pekerja (mm)

X = Jarak eksponen [7]

Dalam perhitungan nilai *arcing fault* dan *incident energy* perlu diperhatikan mengenai tipikal gap antar bus, tipikal jarak kerja, faktor peralatan pada tiap level tegangan sesuai dengan standard IEEE 1584-2002. Tipikal gap, jarak kerja, dan faktor peralatan dapat dilihat pada tabel 2.3, tabel 2.4, dan tabel 2.5 dibawah ini. [10]

Tabel 2.3 Tipikal Gap antar bus [10]

Kelas Peralatan	Tipikal Gap Antar Bus (mm)
15 kV <i>Switchgear</i>	152
5 kV <i>Switchgear</i>	104
<i>Low-voltage Switchgear</i>	32
<i>Low-voltage MCC & Panelboards</i>	25
Kabel	13
Lainnya	Tidak Tersedia

Tabel 2.4 Tipikal jarak kerja [10]

Kelas Peralatan	Tipikal Jarak Kerja (mm)
15 kV <i>Switchgear</i>	914,4
5 kV <i>Switchgear</i>	914,4
<i>Low-voltage Switchgear</i>	609,6
<i>Low-voltage MCC & Panelboards</i>	457,2
Kabel	457,2
Lainnya	Tidak Tersedia

Tabel 2.5 Faktor peralatan [10]

Tegangan Sistem (kV)	Kelas Peralatan	Tipikal Gap Antar Bus (mm)	Jarak Faktor X
0,208 to 1	<i>Open-air switchgear</i>	10-40	2.000
	<i>MCCs and panelboards</i>	32	1.473
	<i>cables</i>	25	1.641
	<i>cables</i>	13	2.000
> 1 to 5	<i>Open-air switchgear</i>	102	2.000
	<i>switchgear</i>	13-102	0.973
	<i>cables</i>	13	2.000

> 5 to 15	<i>Open-air</i>	13-153	2.000
	<i>switchgear</i>	153	0.973
	<i>cables</i>	13	2.000

2.4.2. *Lee Method*

Untuk perhitungan *incident energy* yang memiliki *level* tegangan lebih dari 15 kV atau gap yang lebih dari range, dapat menggunakan teori *Lee Method* yang termasuk dalam IEEE Std. 1584-2002. Persamaan *Lee Method* sebagai berikut : [11]

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

Dimana :

E = *Incident energy* (J/cm²)

V = Tegangan sistem (kV)

t = Durasi busur api (*arcing*)

D = Jarak busur api ke pekerja (mm)

I_{bf} = *Bolted three-phase fault at the bus symmetrical rms* (kA) [11]

2.4.3. *Flash Protection Boundary*

Flash protection boundary adalah batas jarak untuk orang dari bagian konduktor aktif dimana jika terjadi ledakan busur api listrik, maka orang pada jarak tersebut dapat terpapar luka bakar tingkat dua. Dari pendekatan tersebut, *National Fire Protection Association* (NFPA) telah menetapkan batasan perlindungan sebagai berikut : [11]

1. *Limited Approach Boundary*

Batas pendekatan jarak dari bagian konduktor listrik yang bertegangan dimana terdapat bahaya sengatan listrik.

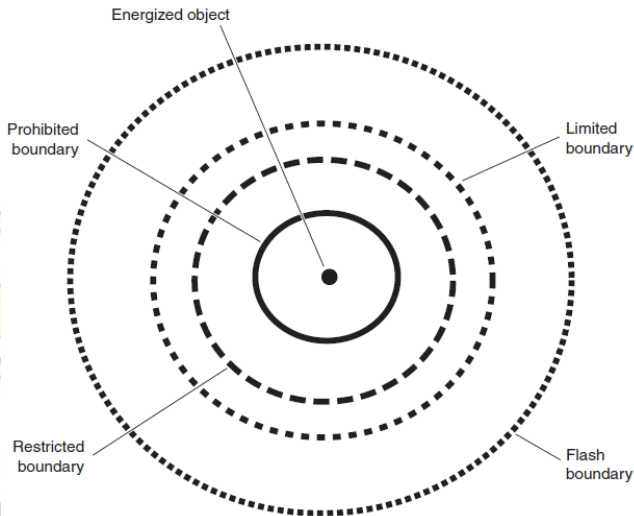
2. *Restricted Approach Boundary*

Batas pendekatan jarak dari bagian konduktor listrik yang bertegangan dimana terdapat peningkatan resiko shock yang terjadi karena busur api dikombinasikan dengan gerakan tidak sengaja pekerja.

3. *Prohibited Approach Boundary*

Batas pendekatan jarak dari konduktor listrik yang bertegangan dimana pekerja dianggap seperti melakukan kontak langsung dengan konduktor tersebut.

Untuk lebih jelasnya mengenai batasan *flash protection boundary* dapat dilihat pada gambar 2.6. [11]



Gambar 2.6 Ilustrasi Batas Aman dari Konduktor Bertegangan [11]
Flash Protection Boundary dapat dihitung menggunakan Persamaan sebagai berikut. [11]

1. Standar IEEE 1584-2002

$$D_B = (4,184 \times C_f \times E_n \times \frac{t}{0,2} \times (\frac{610^X}{E_b}))^{\frac{1}{X}}$$

2. Lee Method

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

Dimana :

D_B = Jarak batasan dari titik arcng (mm)

C_f = Faktor kalkulasi (1.0 untuk tegangan dibawah 1 kV dan 1.5 untuk diatas 1 kV)

E_n = *Incident energy normalized* dalam J/cm^2

t = Durasi busur api (detik)

X = Jarak eksponen

E = *Incident energy* dalam J/cm^2 pada jarak batasan (diset pada nilai 5 J/cm^2) [11]

2.4.4. Pengelompokan Tingkatan Energi Busur Api Sesuai dengan *Personel Protective Equipment (PPE)*

Menurut *National Fire Protection Association (NFPA) 70E-2012*, terdapat ketentuan pakaian dan PPE (*Personel Protective Equipment*) sesuai kategori bahaya dan besar energinya. Kategorinya adalah sebagai berikut. [13]

Tabel 2.6 Pengelompokan Ketentuan Pakaian dan PPE (*Personel Protective Equipment*) sesuai Kategori Bahaya dan Besar Energinya [3]

Kategori Bahaya	Besar Energi (cal/cm ²)	Pakaian dan PPE (<i>Personel Protective Equipment</i>)
A	0 - 2	Pakaian Pelindung: Kemeja dan celana dengan bahan katun yang memiliki ketebalan 4,5 oz/yd ² . Peralatan Pelindung: Kacamata pelindung dan sepatu.
B	2 - 4	Pakaian Pelindung: Kemeja lengan panjang dan celana panjang atau baju terusan tahan api. Peralatan pelindung: Helm pelindung, kacamata pelindung, penutup telinga, sepatu proyek.
C	5 - 8	Pakaian Pelindung: Kemeja lengan panjang dan celana panjang atau baju terusan yang tahan api, jaket dan celana busur listrik, pelindung wajah dan balaclava atau tudung wajah busur listrik, sarung tangan busur listrik. Peralatan Pelindung: Helm pelindung, kacamata pelindung, penutup telinga, sarung tangan kulit, sepatu proyek.
D	8 - 25	Pakaian Pelindung: Kemeja lengan panjang, celana panjang, dan baju terusan yang tahan api, jaket dan celana busur listrik, tudung wajah busur listrik, sarung tangan busur listrik dan balaclava jika diperlukan.

		<p>Peralatan Pelindung: Helm pelindung, kacamata pelindung, penutup telinga, sarung tangan kulit, sepatu proyek.</p>
E	25 - 40	<p>Pakaian Pelindung: Kemeja lengan panjang, celana panjang, dan baju terusan yang tahan api, jaket dan celana busur listrik, tudung wajah busur listrik, sarung tangan busur listrik dan balaclava jika diperlukan. Peralatan Pelindung: Helm pelindung, kacamata pelindung, penutup telinga, sarung tangan kulit, sepatu proyek.</p>



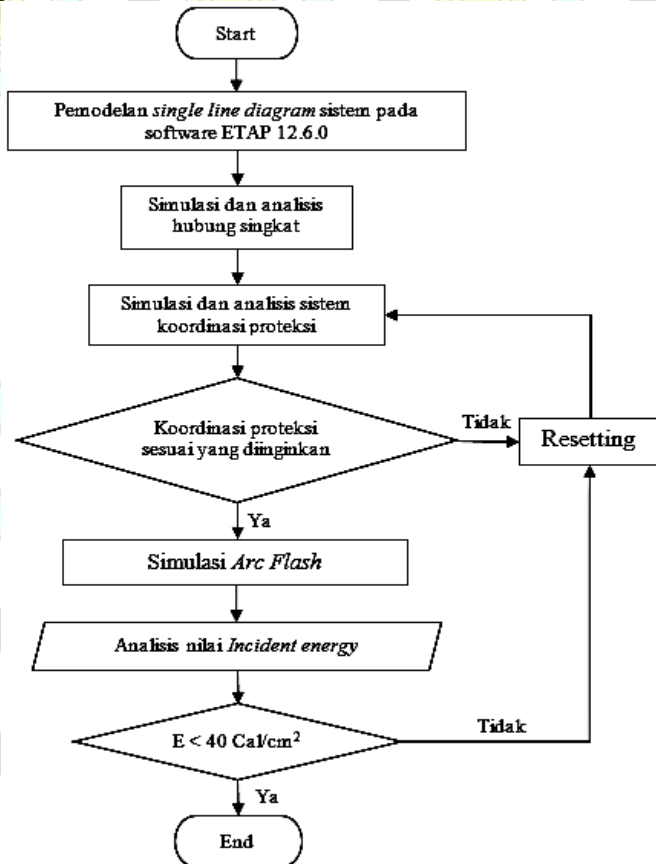
Gambar 2.7 Klasifikasi Alat pelindung diri berdasarkan Kategori [2]

BAB 3

METODOLOGI DAN SISTEM KELISTRIKAN PT PERTAMINA (PERSERO) JAKARTA

3.1. Metode Pengerjaan

Metodologi yang digunakan untuk melakukan analisis terhadap sistem koordinasi proteksi dan *arc flash* pada sistem kelistrikan di PT Pertamina (Persero) Jakarta dapat digambarkan dalam *flow chart* sebagai berikut.



Gambar 3.1 Flow Chart Metodologi

Pada tugas akhir ini, hal yang pertama kali perlu dilakukan adalah memodelkan *single line diagram* sesuai dengan data-data sistem kelistrikan PT Pertamina (Persero) Jakarta yang telah didapatkan pada software ETAP 12.6.0. Setelah itu, melakukan simulasi dan analisis hubung singkat dari sistem kelistrikan PT Pertamina (Persero) yang telah dimodelkan. Hasil dari analisis hubung singkat ini akan digunakan sebagai parameter dalam melakukan simulasi dan analisis koordinasi proteksi dari peralatan pengaman yang digunakan. Bila kerja dari peralatan pengaman telah sesuai dengan yang diinginkan maka langkah selanjutnya adalah melakukan simulasi *arc flash*, namun bila peralatan pengaman tidak bekerja dengan baik atau sesuai yang diinginkan maka perlu dilakukan resetting terhadap kerja dari peralatan pengaman.

Setelah melakukan simulasi *arc flash* maka selanjutnya akan melakukan analisis terhadap besarnya nilai *incident energy* dari *arc flash* yang terjadi. Bila nilai *incident energy* lebih dari 40 Cal/cm^2 , maka perlu dilakukan resetting terhadap koordinasi proteksi dari peralatan pengaman. Namun, bila nilai *incident energy* kurang dari atau sama dengan 40 Cal/cm^2 sesuai standar yang ada maka selanjutnya adalah melakukan analisis terhadap peralatan pelindung diri dan pakaian yang perlu digunakan serta jarak aman yang disarankan sesuai standar dari tingkat kejadian *arc flash* agar didapatkan sistem yang baik dan aman. Terakhir, langkah yang perlu dilakukan adalah mengambil kesimpulan terhadap analisis-analisis yang telah dilakukan pada langkah-langkah sebelumnya yang kemudian akan berlanjut ke pembuatan laporan tugas akhir.

3.2. Sistem Kelistrikan PT Pertamina (Persero) Jakarta

PT Pertamina (Persero) Jakarta adalah sebuah BUMN yang bertugas mengelola penambangan minyak dan gas bumi di Indonesia. Kantor Pusat PT Pertamina (Persero) Jakarta terletak di kota Jakarta Pusat. Kantor Pusat PT Pertamina (Persero) Jakarta memiliki beberapa gedung yang dibagi menjadi 2 *single line diagram*, yaitu gedung utama A dan gedung utama B. *Single line diagram* yang dianalisis pada tugas akhir ini adalah gedung utama B.

Kantor Pusat PT Pertamina (Persero) Jakarta pada gedung utama B dalam operasionalnya di suplai oleh satu power grid dengan kapasitas 500 MVAsc dan satu genset cadangan dengan kapasitas 2000 kVA. Total beban di gedung utama B PT Pertamina (Persero) Jakarta pada operasi normal antara range 2,5 MW sampai dengan 3 MW. Jika dilihat

dari *single line diagram*nya, secara keseluruhan sistem kelistrikan PT Pertamina (Persero) Jakarta pada gedung B memiliki 2 level tegangan yaitu 20 kV dan 0,63 kV dengan frekuensi sistem 50 Hz.

Pada sistem kelistrikan PT Pertamina (Persero) Jakarta di gedung B memiliki 4 busbar utama dengan 1 busbar utama dibagian primer trafo dan 3 busbar utama dibagian sekunder trafo yang saling interkoneksi dan disambung oleh sebuah *circuit breaker* yang normalnya bekerja secara *open*, namun apabila ada gangguan pada salah satu busbar maka *circuit breaker* tersebut akan *closed* dan busbar lainnya menyuplai beban pada busbar yang mengalami gangguan. Selain itu, bila dilihat pada *single line diagram* terdapat satu genset cadangan yang terletak hanya pada salah satu busbar yang bila pada power grid terjadi kerusakan atau berhenti menyuplai bebannya, maka *circuit breaker* yang menghubungkan setiap busbar akan *closed* dan setiap busbar akan saling interkoneksi sehingga beban tetap bisa disuplai.

Tabel 3.1 Data Power Grid PT Pertamina (Persero) Jakarta

Nama	Kapasitas	Keterangan
Power Grid	500 MVA _{sc}	Rated kV : 20 kV (Swing)

Tabel 3.2 Data Genset PT Pertamina (Persero) Jakarta

Nama	Kapasitas	Keterangan
Genset	2000 kVA	Merk : CUMMINS 0,63kV; pf=80%; eff=95%; Voltage Control

Tabel 3.3 Data Busbar PT Pertamina (Persero) Jakarta

No.	ID BUS	TEGANGAN (kV)
1.	Bus 1 (Merk : Merlin Gerin)	20 kV
2.	Bus 1a (Merk : Merlin Gerin)	20 kV
3.	Bus 1b (Merk : Merlin Gerin)	20 kV
4.	Bus 1c (Merk : Merlin Gerin)	20 kV
5.	Bus 2 (Merk : Merlin Gerin)	0,63 kV
6.	Bus 2a (Merk : Merlin Gerin)	0,63 kV
7.	Bus 2b (Merk : Merlin Gerin)	0,63 kV
8.	Bus 2c (Merk : Merlin Gerin)	0,63 kV
9.	Bus 2d (Merk : Merlin Gerin)	0,63 kV
10.	Bus 2e (Merk : Merlin Gerin)	0,63 kV
11.	Bus 3 (Merk : Merlin Gerin)	0,63 kV

12.	Bus 3a (Merk : Merlin Gerin)	0,63 kV
13.	Bus 3b (Merk : Merlin Gerin)	0,63 kV
14.	Bus 3c (Merk : Merlin Gerin)	0,63 kV
15.	Bus 3d (Merk : Merlin Gerin)	0,63 kV
16.	Bus 3e (Merk : Merlin Gerin)	0,63 kV
17.	Bus 4 (Merk : Merlin Gerin)	0,63 kV
18.	Bus 4a (Merk : Merlin Gerin)	0,63 kV
19.	Bus 4b (Merk : Merlin Gerin)	0,63 kV
20.	Bus 4c (Merk : Merlin Gerin)	0,63 kV
21.	Bus 4d (Merk : Merlin Gerin)	0,63 kV
22.	Bus 4e (Merk : Merlin Gerin)	0,63 kV
23.	Bus 4f (Merk : Merlin Gerin)	0,63 kV

Tabel 3.4 Data Trafo PT Pertamina (Persero) Jakarta

No.	TRANSFORMATOR	PRIMER	SEKUNDER	KVA
1.	T1 (Merk : TRAFINDO)	20 kV	0,63 kV	2000
2.	T2 (Merk : TRAFINDO)	20 kV	0,63 kV	2000
3.	T3 (Merk : TRAFINDO)	20 kV	0,63 kV	2000

Dalam Pendistribusian daya dari *power grid* PT Pertamina (Persero) Jakarta di gedung B memiliki 3 transformator utama sebagai penyalur daya ke beban. Beban-beban yang dimiliki PT Pertamina (Persero) Jakarta di gedung B yaitu lump load yang terbagi menjadi 80% beban motor dan 20% beban statis. Beban-beban ini terletak pada busbar yang terbagi menjadi 3 bagian pada 3 busbar yang berbeda di level tegangan 0,63 kV semua.

Berikut ini merupakan *single line diagram* PT Pertamina (Persero) Jakarta di gedung B yang dapat dilihat pada **gambar 3.2**.

3.3. Data *Cable* Sistem Kelistrikan PT Pertamina (Persero) Jakarta

Cable berfungsi sebagai penghubung antar peralatan yang terpisah cukup jauh sehingga perlu peralatan lain untuk mengkoneksikan antar peralatan tersebut. Berikut adalah data *cable* yang digunakan pada sistem kelistrikan PT Pertamina (Persero) Jakarta

Tabel 3.5 Data *Cable* PT Pertamina (Persero) Jakarta

ID	Jenis	Panjang (m)
<i>Cable</i> 1	NY Y (2×300 mm ²)	100
<i>Cable</i> 2	NY Y (1×300 mm ²)	100
<i>Cable</i> 3	NY Y (1×300 mm ²)	100
<i>Cable</i> 4	NY Y (1×300 mm ²)	100
<i>Cable</i> 5	NY Y (1×300 mm ²)	100
<i>Cable</i> 6	NY Y (1×300 mm ²)	100
<i>Cable</i> 7	NY Y (1×300 mm ²)	100
<i>Cable</i> 8	NY Y (2×300 mm ²)	100
<i>Cable</i> 9	NY Y (1×300 mm ²)	100
<i>Cable</i> 10	NY Y (1×300 mm ²)	100
<i>Cable</i> 11	NY Y (1×300 mm ²)	100
<i>Cable</i> 12	NY Y (1×300 mm ²)	100
<i>Cable</i> 13	NY Y (1×300 mm ²)	100
<i>Cable</i> 14	NY Y (2×300 mm ²)	100
<i>Cable</i> 15	NY Y (1×300 mm ²)	100
<i>Cable</i> 16	NY Y (1×300 mm ²)	100
<i>Cable</i> 17	NY Y (1×300 mm ²)	100
<i>Cable</i> 18	NY Y (1×300 mm ²)	100
<i>Cable</i> 19	NY Y (1×300 mm ²)	100

3.4. Data Beban Kelistrikan pada Tegangan 0,63 kV di PT Pertamina (Persero) Jakarta

Pada busbar utama dengan tegangan 0,63 kV memiliki beban total berupa 13 lump load yang didistribusi oleh 3 busbar utama dengan pendistribusiannya sebagai berikut.

Tabel 3.6 Data Beban Busbar 0,63 kV PT Pertamina (Persero) Jakarta

ID	Bus Utama	Rating	FLA	PF
Lump 1	Bus 2	220 kVA	201,6 A	0,854
Lump 2	Bus 2	160 kVA	146,6 A	0,844
Lump 3	Bus 2	305 kVA	279,5 A	0,856
Lump 4	Bus 2	350 kVA	320,8 A	0,857
Lump 5	Bus 3	200 kVA	183,3 A	0,860
Lump 6	Bus 3	210 kVA	192,5 A	0,852
Lump 7	Bus 3	500 kVA	458,2 A	0,866
Lump 8	Bus 3	470 kVA	430,7 A	0,851
Lump 9	Bus 4	200 kVA	183,3 A	0,860
Lump 10	Bus 4	185 kVA	169,5 A	0,851
Lump 11	Bus 4	345 kVA	316,17 A	0,857
Lump 12	Bus 4	345 kVA	316,17 A	0,853
Lump 13	Bus 4	280 kVA	297,8 A	0,861

3.5. Data Capacitor Bank pada Tegangan 0,63 kV di PT Pertamina (Persero) Jakarta

PT Pertamina (Persero) Jakarta pada gedung B ini memiliki 3 buah capacitor bank. *Capacitor bank* berfungsi untuk memperbaiki nilai pf pada sistem kelistrikan. Berikut adalah data-data *capacitor bank* yang digunakan pada sistem kelistrikan.

Tabel 3.7 Data *Capacitor Bank* PT Pertamina (Persero) Jakarta

No.	Kapasitor	kvar	Keterangan
1.	C1	100	Grounding : Δ
2.	C2	100	Grounding : Δ
3.	C3	100	Grounding : Δ



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 4

ANALISIS SERTA HASIL SIMULASI KOORDINASI DAN *ARC FLASH* (BUSUR API) DI PT PERTAMINA (PERSERO) JAKARTA

4.1. Pemodelan Sistem Kelistrikan di PT Pertamina (Persero) Jakarta

Tugas akhir ini membahas mengenai analisis sistem pengaman dan *arc flash* (busur api) pada sistem kelistrikan PT Pertamina (Persero) Jakarta yaitu terutama pada analisis sistem kelistrikan yang meliputi peralatan pada bus-bus yang terdapat pada sistem. Sedangkan untuk analisis mengenai *arc flash* (busur api) meliputi penentuan arus arcing, *incident energy*, *flash protection boundary*, kategori personal protective equipment (PPE), dan cara penanggulangan bahaya *arc flash* (busur api).

Sistem kelistrikan PT Pertamina (Persero) Jakarta dimodelkan dalam bentuk *Single Line Diagram* (SLD) dengan menggunakan ETAP 12.6.0. Simulasi yang dilakukan terhadap sistem ini meliputi aliran daya (*load flow*), hubung singkat (*short circuit*), koordinasi peralatan pengaman (*Protective Device Coordination*), dan *arc flash* (busur api). Sistem pengaman kelistrikan yang dianalisa meliputi CT (*Current Relay*), rele arus lebih (*Overcurrent Relay*) dan LVCB (*Low Voltage Circuit Breaker*) yang terintegrasi pada peralatan lainnya seperti pembangkit (*power grid* dan genset), busbar, trafo, beban, cable, dan CB (*Circuit Breaker*).

4.2. Analisis Sistem Eksisting Pengaman

Analisa sistem pengaman eksisting dilakukan dengan memasukkan data-data yang telah dilakukan oleh perusahaan. Sistem kelistrikan PT Pertamina (Persero) Jakarta dapat dianalisa dengan dibagi menjadi beberapa bagian tipikal sistem operasi yaitu :

1. Tipikal 1 : Koordinasi sistem pengaman dari Power Grid dengan kapasitas 500 MVAsc sampai dengan Bus2. Pada Bus2 ini terdapat 4 buah Lump Load dengan daya masing-masing 220 kVA, 160 kVA, 305 kVA dan 350 kVA serta 1 buah kapasitor bank dengan kapasitas 100 kvar.
2. Tipikal 2 : Koordinasi sistem pengaman dari Power Grid dengan kapasitas 500 MVAsc sampai dengan Bus3. Pada Bus3 ini terdapat

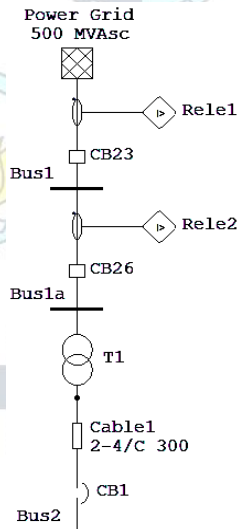
4 buah Lump Load dengan daya masing-masing 200 kVA, 210 kVA, 500 kVA dan 470 kVA serta 1 buah kapasitor bank dengan kapasitas 100 kvar.

3. Tipikal 3 : Koordinasi sistem pengaman dari Power Grid dengan kapasitas 500 MVAsc sampai dengan Bus4. Pada Bus4 ini terdapat 5 buah Lump Load dengan daya masing-masing 200 kVA, 185 kVA, 350 kVA, 350 kVA dan 280 kVA serta 1 buah kapasitor bank dengan kapasitas 100 kvar.

Hal ini perlu dilakukan dengan tujuan untuk memeriksa bagaimana koordinasi sistem pengamanyang telah dibuat oleh perusahaan dan untuk mengetahui seberapa besar bahaya arc flash yang terjadi pada kondisi eksisting ini.

4.2.1. Setting Koordinasi Sistem Pengaman Eksisting Tipikal 1

Gambar 4.1 merupakan gambar *Single Line Diagram* koordinasi sistem pengaman eksisting tipikal 1 yang terdiri dari 2 *overcurrent relay* (rele arus lebih) yaitu rele 1 dan rele 2. Rele 1 yang mengontrol CB 23 berfungsi sebagai pengaman *overcurrent power grid*. Sedangkan rele 2 yang mengontrol CB 26 berfungsi sebagai pengaman *overcurrent* pada trafo T1.



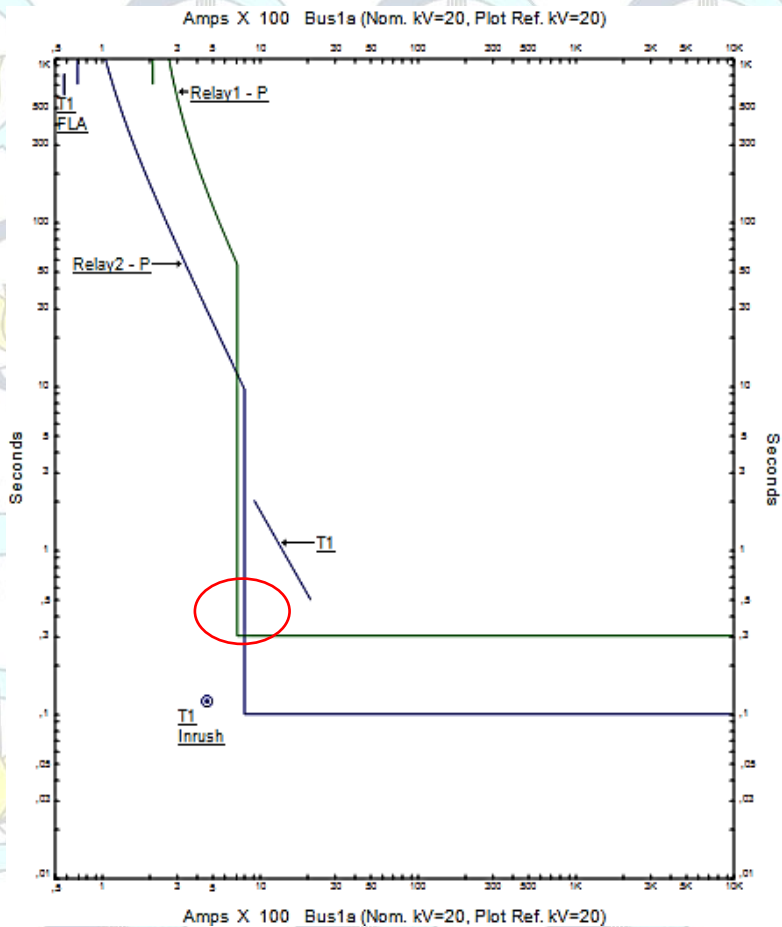
Gambar 4.1 Model *single line diagram* sistem pengaman eksisting tipikal 1

Data setting rele pada sistem pengamanan eksisting untuk tipikal 1 ditunjukkan pada **tabel 4.1** sebagai berikut.

Tabel 4.1 Data Setelan Rele saat kondisi eksisting tipikal 1

Relay ID & Model	CT Ratio	Setting	
Relay 1 Model : Merlin Gerin Sepam 1000	150/5	Curve Type	Extremely Inverse
		Overcurrent	
		Pickup Range \times CT Sec	0,3 – 2,4 \times CT Sec
		Pickup	1,4
		Dial	4,8
		Instantaneous	
		Pickup Range \times CT Sec	1 – 24 \times CT Sec
		Pickup	6
		Delay	0,3
Relay 2 Model : Merlin Gerin Sepam 1000	50/5	Curve Type	Extremely Inverse
		Overcurrent	
		Pickup Range \times CT Sec	0,3 – 2,4 \times CT Sec
		Pickup	1,4
		Dial	12,5
		Instantaneous	
		Pickup Range \times CT Sec	1 – 24 \times CT Sec
		Pickup	16
		Delay	0,1

Dari data setting rele pada sistem pengamanan eksisting untuk tipikal 1 yang didapat, selanjutnya dilakukan plot kurva kerja peralatan pengamanan dengan menggunakan *software* ETAP 12.6.0 (*Star – Protective Device Coordination*). Hasil dari plot setelan peralatan pengamanan eksisting tipikal 1 dapat dilihat pada **gambar 4.2**.



Gambar 4.2 Hasil plot setting rele eksisting tipikal 1

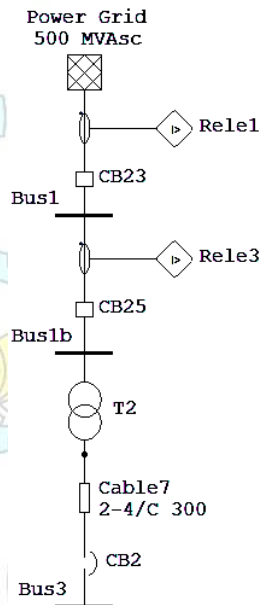
Dari hasil plot kurva kerja pengaman eksisting tipikal 1 dapat dilihat bahwa terdapat kesalahan dalam mengkoordinasikan kerja peralatan pengaman. Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut.

1. Rele 1 dan 2 yang digunakan sudah sesuai untuk melindungi peralatan tetapi rele 2 memiliki time dial yang terlalu lama dibanding rele 1.

2. Rele 2 yang digunakan sudah sesuai dengan spesifikasi peralatan yang digunakan. Namun terdapat ketidaktepatan dalam menentukan Time Dial. Berdasarkan Single Line Diagram, hal ini dapat mengakibatkan trip CB 23 terlebih dahulu daripada CB 26. Oleh karena itu, hal ini perlu dievaluasi lebih lanjut.

4.2.2. Setting Koordinasi Sistem Pengaman Eksisting Tipikal 2

Gambar 4.3 merupakan gambar Single Line Diagram koordinasi sistem pengaman eksisting tipikal 2 yang terdiri dari 2 overcurrent relay (rele arus lebih) yaitu rele 1 dan rele 3. Rele 1 yang mengontrol CB 23 berfungsi sebagai pengaman overcurrent power grid. Sedangkan rele 3 yang mengontrol CB 25 berfungsi sebagai pengaman overcurrent pada trafo T2.



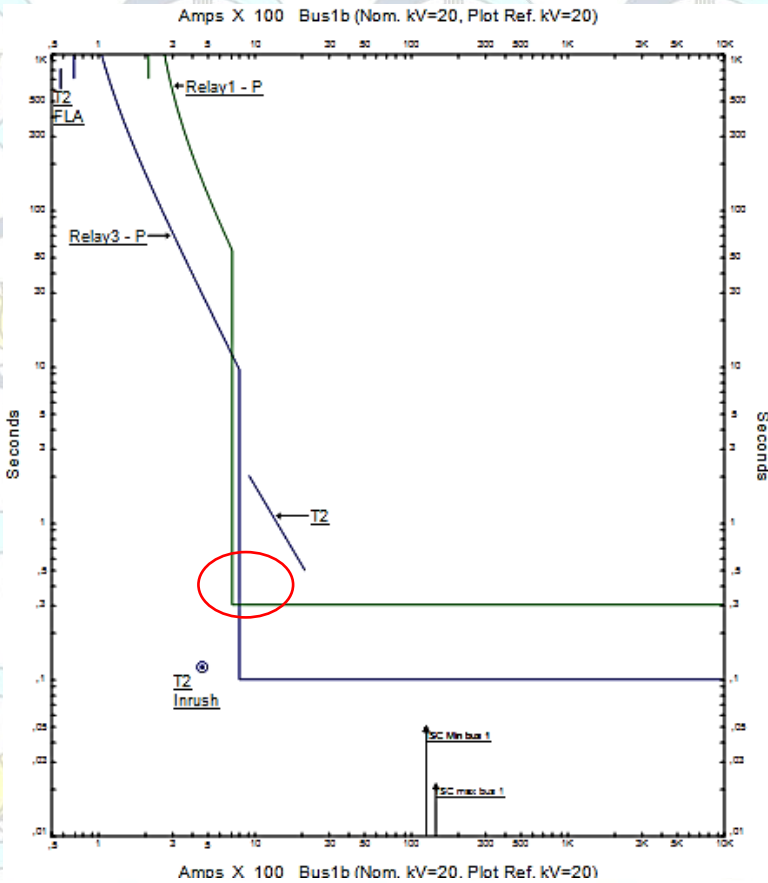
Gambar 4.3 Model *single line diagram* sistem pengaman eksisting tipikal 2

Data setting rele pada sistem pengaman eksisting untuk tipikal 2 ditunjukkan pada **tabel 4.2** sebagai berikut.

Tabel 4.2 Data Setelan Rele saat kondisi eksisting tipikal 2

Relay ID & Model	CT Ratio	Setting	
Rele 1 Model : Merlin Gerin Sepam 1000	150/5	Curve Type	Extremely Inverse
		Overcurrent	
		Pickup Range \times CT Sec	0,3 – 2,4 \times CT Sec
		Pickup	1,4
		Dial	4,8
		Instantaneous	
		Pickup Range \times CT Sec	1 – 24 \times CT Sec
		Pickup	6
Rele 2 Model : Merlin Gerin Sepam 1000	50/5	Delay	0,3
		Curve Type	Extremely Inverse
		Overcurrent	
		Pickup Range \times CT Sec	0,3 – 2,4 \times CT Sec
		Pickup	1,4
		Dial	12,5
		Instantaneous	
		Pickup Range \times CT Sec	1 – 24 \times CT Sec
Pickup	16		
		Delay	0,1

Dari data setting rele pada sistem pengaman eksisting untuk tipikal 2 yang didapat, selanjutnya dilakukan plot kurva kerja peralatan pengaman dengan menggunakan *software* ETAP 12.6.0 (Star – Protective Device Coordination). Hasil dari plot setelan peralatan pengaman eksisting tipikal 2 dapat dilihat pada **gambar 4.4**.



Gambar 4.4 Hasil plot setting rele eksisting tipikal 2

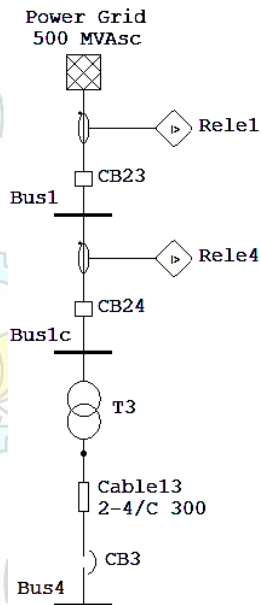
Dari hasil plot kurva kerja pengaman eksisting tipikal 2 dapat dilihat bahwa terdapat kesalahan dalam mengkoordinasikan kerja peralatan pengaman. Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut.

1. Rele 1 dan 3 yang digunakan sudah sesuai untuk melindungi peralatan tetapi rele 3 memiliki time dial yang terlalu lama dibanding rele 1.

2. Rele 3 yang digunakan sudah sesuai dengan spesifikasi peralatan yang digunakan. Namun terdapat ketidaktepatan dalam menentukan Time Dial. Berdasarkan Single Line Diagram, hal ini dapat mengakibatkan trip CB 23 terlebih dahulu daripada CB 25. Oleh karena itu, hal ini perlu dievaluasi lebih lanjut.

4.2.3. Setting Koordinasi Sistem Pengaman Eksisting Tipikal 3

Gambar 4.5 merupakan gambar Single Line Diagram koordinasi sistem pengaman eksisting tipikal 2 yang terdiri dari 2 overcurrent relay (rele arus lebih) yaitu rele 1 dan rele 4. Rele 1 yang mengontrol CB 23 berfungsi sebagai pengaman overcurrent power grid. Sedangkan rele 4 yang mengontrol CB 24 berfungsi sebagai pengaman overcurrent pada trafo T3.



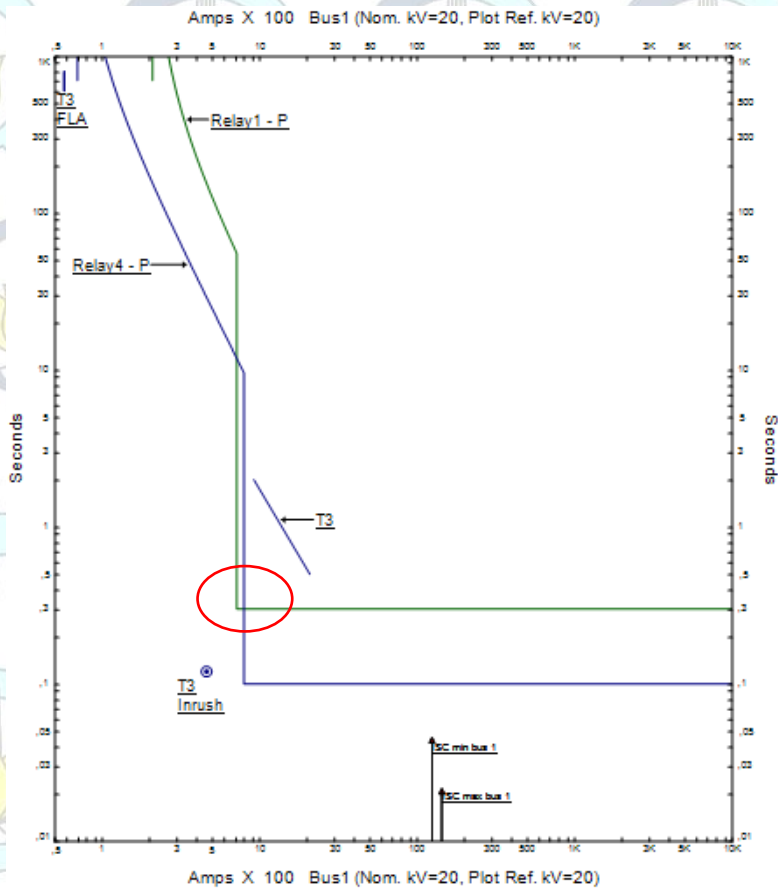
Gambar 4.5 Model *single line diagram* sistem pengaman eksisting tipikal 3

Data setting rele pada sistem pengamanan eksisting untuk tipikal 3 ditunjukkan pada **tabel 4.3** sebagai berikut.

Tabel 4.3 Data Setelan Rele saat kondisi eksisting tipikal 3

Relay ID & Model	CT Ratio	Setting	
Rele 1 Model : Merlin Gerin Sepam 1000	150/5	Curve Type	Extremely Inverse
		Overcurrent	
		Pickup Range ×CT Sec	0,3 – 2,4 ×CT Sec
		Pickup	1,4
		Dial	4,8
		Instantaneous	
		Pickup Range ×CT Sec	1 – 24 ×CT Sec
		Pickup	6
		Delay	0,3
Rele 2 Model : Merlin Gerin Sepam 1000	50/5	Curve Type	Extremely Inverse
		Overcurrent	
		Pickup Range ×CT Sec	0,3 – 2,4 ×CT Sec
		Pickup	1,4
		Dial	12,5
		Instantaneous	
		Pickup Range ×CT Sec	1 – 24 ×CT Sec
		Pickup	16
		Delay	0,1

Dari data setting rele pada sistem pengamanan eksisting untuk tipikal 3 yang didapat, selanjutnya dilakukan plot kurva kerja peralatan pengamanan dengan menggunakan software ETAP 12.6.0 (Star – Protective Device Coordination). Hasil dari plot setelan peralatan pengamanan eksisting tipikal 3 dapat dilihat pada **gambar 4.6**.



Gambar 4.6 Hasil plot setting rele eksisting tipikal 3

Dari hasil plot kurva kerja pengaman eksisting tipikal 3 dapat dilihat bahwa terdapat kesalahan dalam mengkoordinasikan kerja peralatan pengaman. Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut.

1. Rele 1 dan 4 yang digunakan sudah sesuai untuk melindungi peralatan tetapi rele 4 memiliki time dial yang terlalu lama dibanding rele 1.

2. Rele 4 yang digunakan sudah sesuai dengan spesifikasi peralatan yang digunakan. Namun terdapat ketidaktepatan dalam menentukan Time Dial. Berdasarkan *Single Line Diagram*, hal ini dapat mengakibatkan *trip* CB 23 terlebih dahulu daripada CB 24. Oleh karena itu, hal ini perlu dievaluasi lebih lanjut.

4.3. Analisis Arc Flash Saat Kondisi Eksisting

Analisa *arc flash* ini dilakukan untuk mengetahui tingkat bahaya dan besar energi *arc flash* yang terjadi pada kondisi tipikal setelah dilakukan koordinasi pengaman pada sistem eksisting. Simulasi *arc flash* dengan menggunakan *software* ETAP 12.6.0 yaitu dengan analisa *arc flash* pada menu *short circuit analysis*. Dalam analisis ini, standar *arc flash* yang digunakan adalah IEEE 1584/NFPA 70E yaitu meliputi penentuan *arc current*, *incident energy*, klasifikasi kategori, *personal protective equipment* (PPE) dan juga *flash protection boundary*.

4.3.1. Analisis Arc Flash Kondisi Tipikal 1

Analisa *arc flash* ini berfungsi untuk mengetahui besarnya *arc flash* yang mungkin terjadi pada koordinasi sistem pengaman tipikal 1 dengan setelan rele eksisting seperti pada tabel 4.1. pada koordinasi tipikal 1 ini ada 3 bus yang di analisa *arc flash*nya yaitu bus 1, bus 1a, dan bus 2. Setelah dilakukan simulasi dengan menggunakan *software* ETAP 12.6.0 yaitu dengan analisa *arc flash* pada menu *short circuit analysis* maka didapatkan hasil seperti pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil simulasi *arc flash* pada koordinasi tipikal 1

ID	kV	Total Energy (cal/cm ²)	FPB (m)	Hazard Category	FCT (sec)	Ia (kA)
Bus1	20	61,34	8,73	Level F	0,6	14,84
Bus1a	20	36,35	5,04	Level E	0,2	14,84
Bus2	0,63	14,83	3,36	Level D	0,35	19,08

Dari tabel hasil simulasi *arc flash* diatas dapat dianalisa dengan setelan rele eksisting tipikal 1 juga terjadi *fault* (hubung singkat) di Bus1 (20 kV) maka total energi dari *arc flash* tersebut adalah 61,34 cal/cm². Energi sebesar 61,34 cal/cm² berdasarkan NFPA 70E 2012 tergolong kedalam level F dimana pada level ini tidak ada peralatan pelindung diri yang dapat digunakan. Oleh karena itu perlu dilakukan pengkajian dan setting ulang terhadap koordinasinya.

Bila terjadi *fault* (hubung singkat) di Bus1a (20 kV) maka total energi dari *arc flash* tersebut adalah 36,35 cal/cm². Energi sebesar 36,35 cal/cm² berdasarkan NFPA70E 2012 tergolong kedalam *level* E. Kemudian Bila terjadi *fault* (hubung singkat) di Bus2 (0,63 kV) maka total energi dari *arc flash* tersebut adalah 14,83 cal/cm². Energi sebesar 14,83 cal/cm² berdasarkan NFPA70E 2012 tergolong kedalam *level* D.

4.3.2. Analisis Arc Flash Kondisi Tipikal 2

Analisis *arc flash* ini berfungsi untuk mengetahui besarnya *arc flash* yang mungkin terjadi pada koordinasi sistem pengamanan tipikal 2 dengan setelan rele eksisting seperti pada tabel 4.1. Pada koordinasi tipikal 2 ini ada 3 bus yang di analisa *arc flash*nya yaitu bus 1, bus 1b, dan bus 3. Setelah dilakukan simulasi dengan menggunakan *software* ETAP 12.6.0 yaitu dengan analisa *arc flash* pada menu *short circuit analysis* maka didapatkan hasil seperti pada **tabel 4.5**.

Tabel 4.5 Hasil simulasi arc flash pada koordinasi tipikal 2

ID	kV	Total Energy (cal/cm ²)	FPB (m)	Hazard Category	FCT (sec)	Ia (kA)
Bus1	20	61,34	8,73	Level F	0,6	14,84
Bus1b	20	36,35	5,04	Level E	0,2	14,84
Bus3	0,63	15,44	3,45	Level D	0,35	19,81

Dari tabel hasil simulasi *arc flash* diatas dapat dianalisa dengan setelan rele eksisting tipikal 2 juga terjadi *fault* (hubung singkat) di Bus1 (20 kV) maka total energi dari *arc flash* tersebut adalah 61,34 cal/cm². Energi sebesar 61,34 cal/cm² berdasarkan NFPA70E 2012 tergolong kedalam level F dimana pada *level* ini tidak ada peralatan pelindung diri yang dapat digunakan. Oleh karena itu perlu dilakukan pengkajian dan setting ulang terhadap koordinasinya.

Bila terjadi *fault* (hubung singkat) di Bus1b (20 kV) maka total energi dari *arc flash* tersebut adalah 36,35 cal/cm². Energi sebesar 36,35 cal/cm² berdasarkan NFPA 70E 2012 tergolong kedalam level E. Kemudian Bila terjadi *fault* (hubung singkat) di Bus3 (0,63 kV) maka total energi dari *arc flash* tersebut adalah 15,44 cal/cm². Energi sebesar 15,44 cal/cm² berdasarkan NFPA70E 2012 tergolong kedalam level D.

4.3.3. Analisis Arc Flash Kondisi Tipikal 3

Analisis *arc flash* ini berfungsi untuk mengetahui besarnya *arc flash* yang mungkin terjadi pada koordinasi sistem pengamanan tipikal 3 dengan setelan rele eksisting seperti pada tabel 4.6. Pada koordinasi tipikal 3 ini ada 3 bus yang di analisa *arc flash*nya yaitu bus 1, bus 1c, dan bus 4. Setelah dilakukan simulasi dengan menggunakan *software* ETAP 12.6.0 yaitu dengan analisa *arc flash* pada menu *short citcuit analysis* maka didapatkan hasil seperti pada **tabel 4.6**.

Tabel 4.6 Hasil simulasi arc flash pada koordinasi tipikal 3

ID	kV	Total Energy (cal/cm ²)	FPB (m)	Hazard Category	FCT (sec)	Ia (kA)
Bus1	20	61,34	8,73	Level F	0,6	14,84
Bus1c	20	36,35	5,04	Level E	0,2	14,84
Bus4	0,63	14,53	3,47	Level D	0,35	19,91

Dari tabel hasil simulasi *arc flash* diatas dapat dianalisa dengan setelan rele eksisting tipikal 1 juga terjadi *fault* (hubung singkat) di Bus1 (20 kV) maka total energi dari *arc flash* tersebut adalah 61,34 cal/cm². Energi sebesar 61,34 cal/cm² berdasarkan NFPA70E 2012 tergolong kedalam *level F* dimana pada level ini tidak ada peralatan pelindung diri yang dapat digunakan. Oleh karena itu perlu dilakukan pengkajian dan setting ulang terhadap koordinasinya.

Bila terjadi *fault* (hubung singkat) di Bus1c (20 kV) maka total energi dari *arc flash* tersebut adalah 36,35 cal/cm². Energi sebesar 36,35 cal/cm² berdasarkan NFPA70E 2012 tergolong kedalam *level E*. Kemudian Bila terjadi *fault* (hubung singkat) di Bus4 (0,63 kV) maka total energi dari *arc flash* tersebut adalah 14,53 cal/cm². Energi sebesar 14,53 cal/cm² berdasarkan NFPA70E 2012 tergolong kedalam *level D*.

4.4. Analisis Koordinasi Proteksi setelah Resetting

Resetting ini dilakukan dengan tujuan untuk memperbaiki setting dari peralatan pengamanan kondisi eksisting yang tidak sesuai dengan standar yang ada. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa koordinasi sistem pengamanan pada tipikal kondisi eksisting masih terdapat kesalahan-kesalahan. Oleh karena itu resetting koordinasi sistem pengamanan perlu dilakukan.

Ressetting yang dilakukan dibagi menjadi beberapa tipikal seperti berikut ini,

4.4.1. Resetting Sistem Koordinasi Pengaman Tipikal 1

Hasil resetting pada tipikal 1 dibagi menjadi tipikal 1a,b,c,d,e yang dilakukan dapat dilihat pada tabel 4.7 dibawah ini, sedangkan hasil kurva kerja peralatan pengaman dapat dilihat pada gambar 4.8, gambar 4.9, gambar 4.10, gambar 4.11, gambar 4.12.

Tabel 4.7 Hasil resetting koordinasi pengaman tipikal 1a,1b,1c,1c,1d,1e

Relay ID & Model	CT Ratio	Setting	
Rele 1 Model : Merlin Gerin Sepam 1000	150/5	Curve Type	<i>Standard Inverse</i>
		Overcurrent	
		Pickup Range ×CT Sec	0,3 – 2,4 ×CT Sec
		Pickup	1,25
		Dial	0,195
		Instantaneous	
		Pickup Range ×CT Sec	1 – 24 ×CT Sec
		Pickup	3,5
Rele 2 Model : Merlin Gerin Sepam 1000	50/5	Curve Type	<i>Standard Inverse</i>
		Overcurrent	
		Pickup Range ×CT Sec	0,3 – 2,4 ×CT Sec
		Pickup	1,25
		Dial	0,15
		Instantaneous	
		Pickup Range ×CT Sec	1 – 24 ×CT Sec
		Pickup	12
LVCB ID & Model	Sensor ID	Setting	
		Type	STR35GE
		Long-Time	
		LT Pickup	875 Amps
		LT Band	15
		Short-Time	
		ST Pickup	1750 Amps
		ST Band	0,3
CB 1 Model : Merlin Gerin C1251H	1250 Amps	i _t	OUT
		Type	STR22GE
		Long-Time	
		LT Pickup	100 Amps
CB 5 Model : Merlin Gerin NS100H	100 Amps	LT Band	<i>Fixed</i>

		Short-Time	
		ST Pickup	300 Amps
		ST Band	<i>Fixed</i>
		Instantaneous	
		Inst. Pickup	1100 Amps
		Type	STR22GE
		Long-Time	
		LT Pickup	100 Amps
		LT Band	<i>Fixed</i>
		Short-Time	
		ST Pickup	300 Amps
		ST Band	<i>Fixed</i>
		Instantaneous	
		Inst. Pickup	1100 Amps
		Type	STR23SE
		Long-Time	
		LT Pickup	252 Amps
		LT Band	<i>Fixed</i>
		Short-Time	
		ST Pickup	504 Amps
		ST Band	<i>Fixed</i>
		Instantaneous	
		Inst. Pickup	6930 Amps
		Type	STR23SE
		Long-Time	
		LT Pickup	252 Amps
		LT Band	<i>Fixed</i>
		Short-Time	
		ST Pickup	504 Amps
		ST Band	<i>Fixed</i>
		Instantaneous	
		Inst. Pickup	6930 Amps
		Type	STR23SE
		Long-Time	
		LT Pickup	252 Amps
		LT Band	<i>Fixed</i>
		Short-Time	
		ST Pickup	504 Amps
		ST Band	<i>Fixed</i>
		Instantaneous	
		Inst. Pickup	6930 Amps

CB 6
Model :
Merlin Gerin
NS100H

100
Amps

CB 7
Model :
Merlin Gerin
NS630H

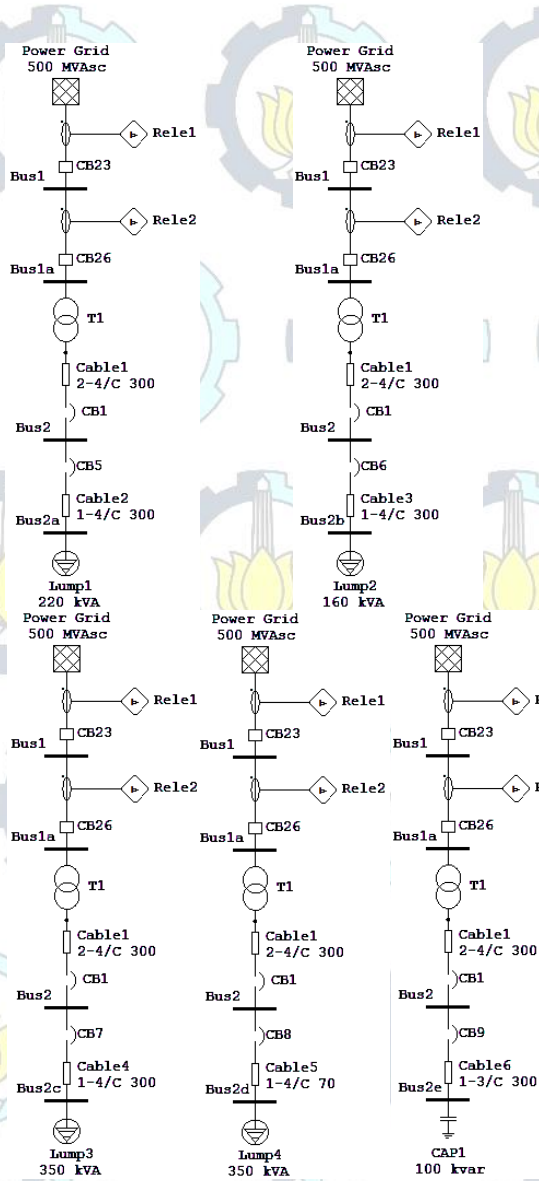
630
Amps

CB 8
Model :
Merlin Gerin
NS630H

630
Amps

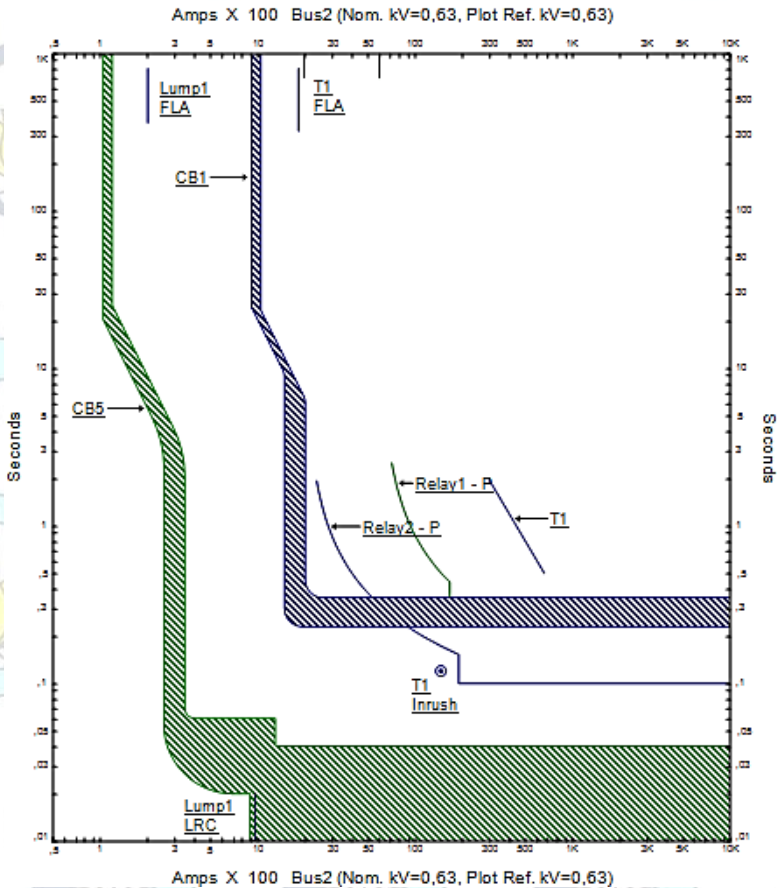
CB 9
Model :
Merlin Gerin
NS630H

630
Amps

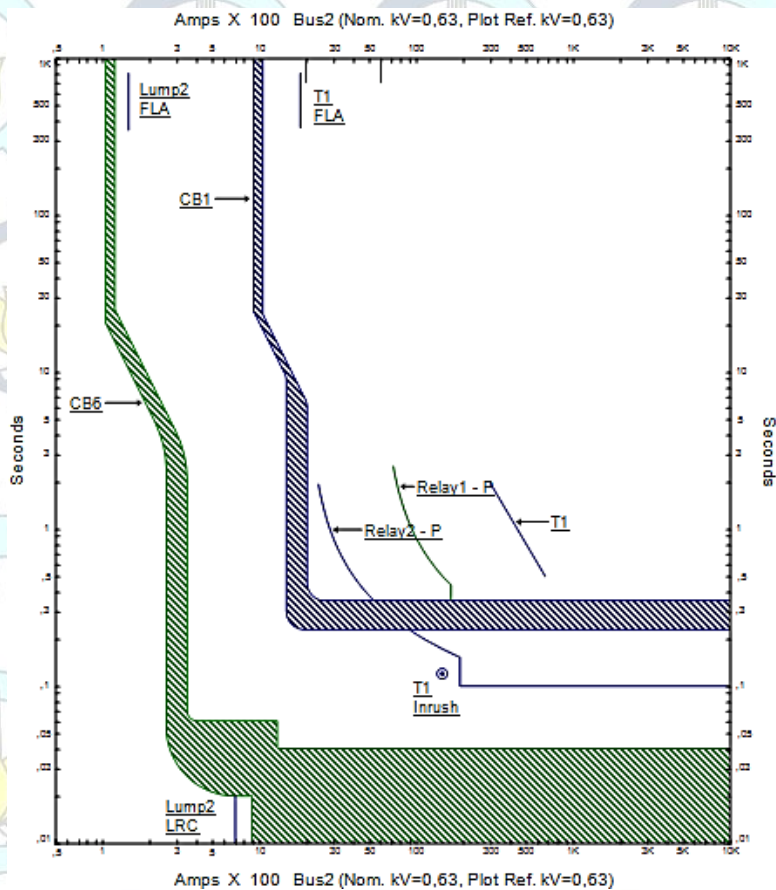


Gambar 4.7 Single Line Diagram Tipikal 1a, 1b, 1c, 1d, 1e (dari kiri atas ke kanan bawah)

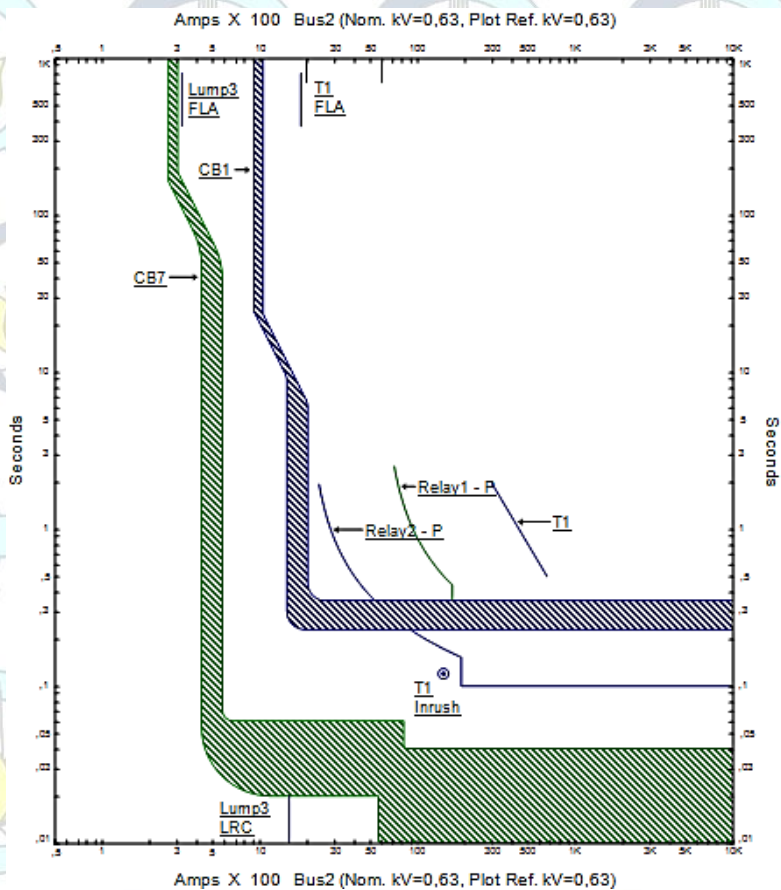
Setelah dilakukan resetting ini maka saat terjadi gangguan rele 2 bekerja terlebih dahulu dibanding rele 1. Karena time dial pada rele 2 sudah diperbaiki menjadi tidak terlalu lama dibanding rele 1. Hasil kurvanya dapat dilihat pada gambar dibawah untuk tipikal 1a,b,c,d,e.



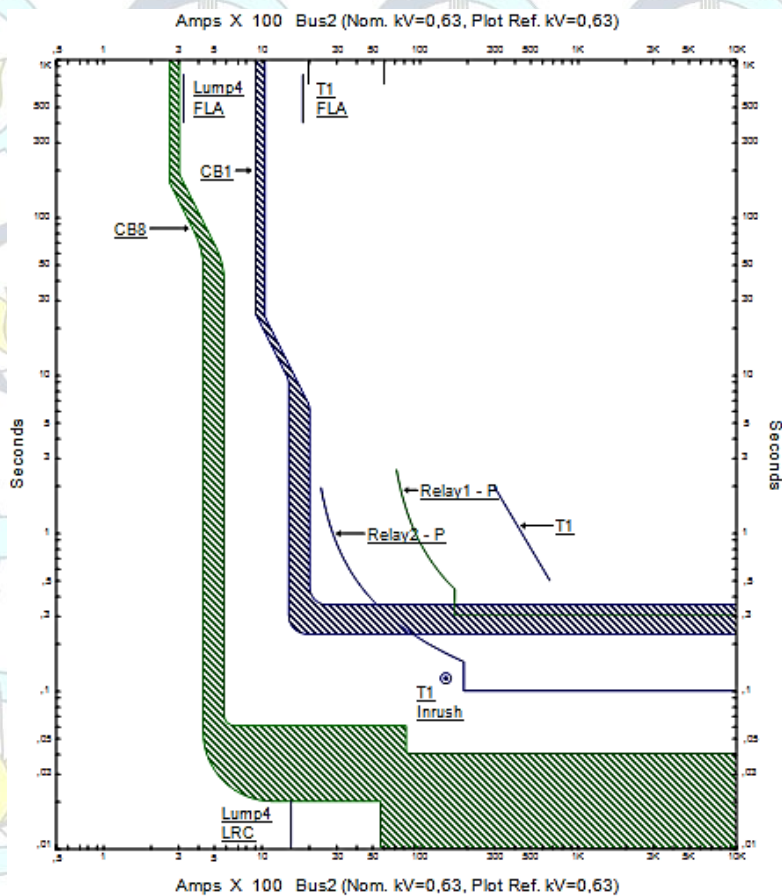
Gambar 4.8 Kurva hasil resetting koordinasi pengaman tipikal 1a



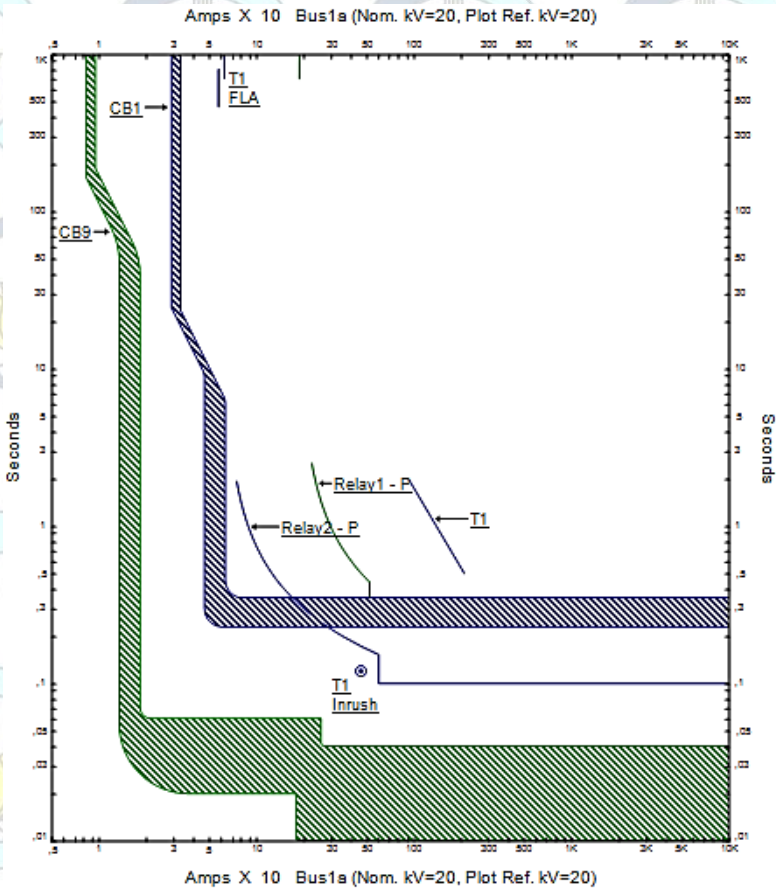
Gambar 4.9 Kurva hasil resetting koordinasi pengaman tipikal 1b



Gambar 4.10 Kurva hasil resetting koordinasi pengaman tipikal 1c



Gambar 4.11 Kurva hasil resetting koordinasi pengaman tipikal 1d



Gambar 4.12 Kurva hasil resetting koordinasi pengaman tipikal 1e

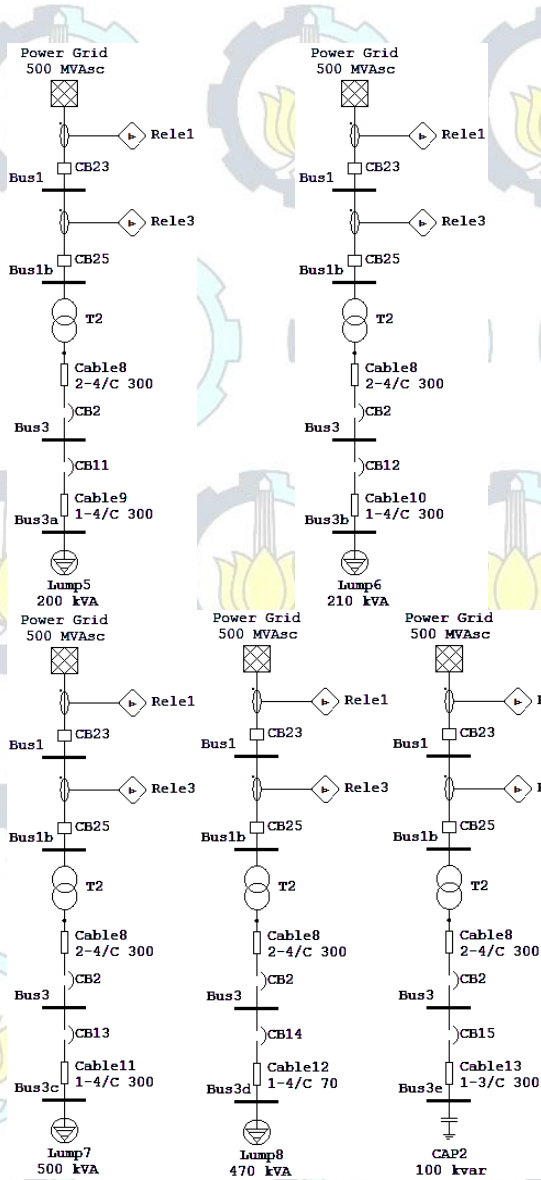
4.4.2. Resetting Sistem Koordinasi Pengaman Tipikal 2

Hasil resetting pada tipikal 2 dibagi menjadi tipikal 2a, 2b, 2c, 2d, 2e yang dilakukan dapat dilihat pada tabel 4.8 dibawah ini, sedangkan hasil kurva kerja peralatan pengaman dapat dilihat pada gambar 4.14, gambar 4.15, gambar 4.16, gambar 4.17, gambar 4.18.

Tabel 4.8 Hasil resetting koordinasi pengaman tipikal 2a,2b,2c,2d,2e

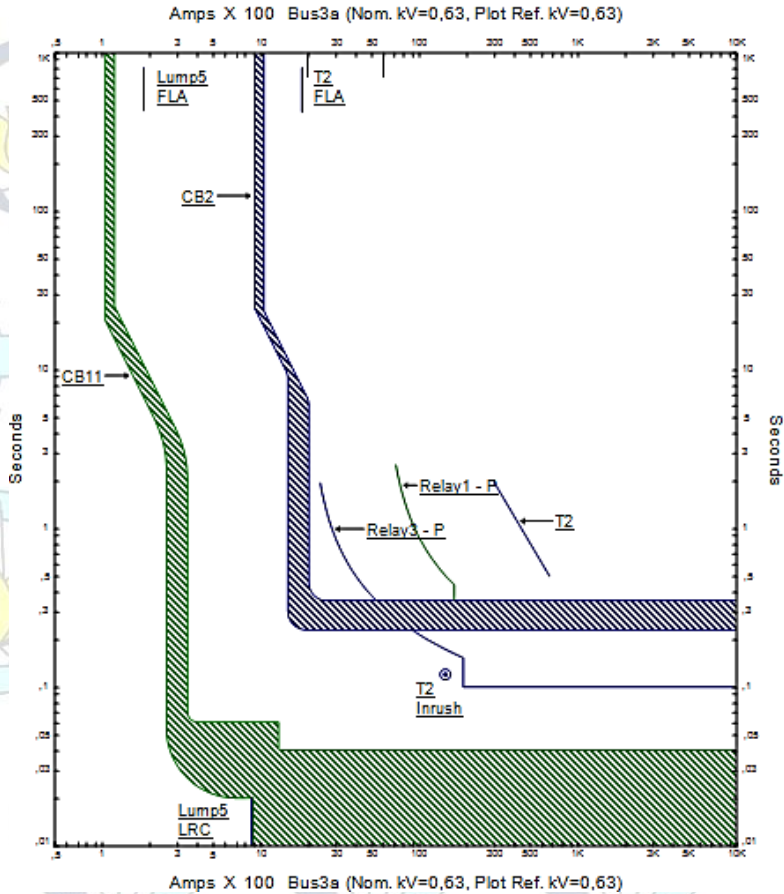
Relay ID & Model	CT Ratio	Setting	
Rele 1 Model : Merlin Gerin Sepam 1000	150/5	Curve Type	<i>Standard Inverse</i>
		Overcurrent	
		Pickup Range ×CT Sec	0,3 – 2,4 ×CT Sec
		Pickup	1,25
		Dial	0,195
		Instantaneous	
		Pickup Range ×CT Sec	1 – 24 ×CT Sec
		Pickup	3,5
Rele 3 Model : Merlin Gerin Sepam 1000	50/5	Delay	0,3
		Curve Type	<i>Standard Inverse</i>
		Overcurrent	
		Pickup Range ×CT Sec	0,3 – 2,4 ×CT Sec
		Pickup	1,25
		Dial	0,15
		Instantaneous	
		Pickup Range ×CT Sec	1 – 24 ×CT Sec
Pickup	12		
Delay	0,1		
LVCB ID & Model	Sensor ID	Setting	
CB 2 Model : Merlin Gerin C1251H	1250 Amps	Type	STR35GE
		Long-Time	
		LT Pickup	875 Amps
		LT Band	15
		Short-Time	
		ST Pickup	1750 Amps
		ST Band	0,3
		i ² t	OUT
CB 11 Model : Merlin Gerin NS100H	100 Amps	Type	STR22GE
		Long-Time	
		LT Pickup	100 Amps
		LT Band	<i>Fixed</i>
		Short-Time	
		ST Pickup	300 Amps
		ST Band	<i>Fixed</i>
		Instantaneous	
Inst. Pickup	1100 Amps		

CB 12 Model : Merlin Gerin NS100H	100 Amps	Type	STR22GE
		Long-Time	
		LT Pickup	100 Amps
		LT Band	<i>Fixed</i>
		Short-Time	
		ST Pickup	300 Amps
		ST Band	<i>Fixed</i>
		Instantaneous	
		Inst. Pickup	1100 Amps
CB 13 Model : Merlin Gerin NS630H	630 Amps	Type	STR23SE
		Long-Time	
		LT Pickup	252 Amps
		LT Band	<i>Fixed</i>
		Short-Time	
		ST Pickup	504 Amps
		ST Band	<i>Fixed</i>
		Instantaneous	
		Inst. Pickup	6930 Amps
CB 14 Model : Merlin Gerin NS630H	630 Amps	Type	STR23SE
		Long-Time	
		LT Pickup	252 Amps
		LT Band	<i>Fixed</i>
		Short-Time	
		ST Pickup	504 Amps
		ST Band	<i>Fixed</i>
		Instantaneous	
		Inst. Pickup	6930 Amps
CB 15 Model : Merlin Gerin NS630H	630 Amps	Type	STR23SE
		Long-Time	
		LT Pickup	252 Amps
		LT Band	<i>Fixed</i>
		Short-Time	
		ST Pickup	504 Amps
		ST Band	<i>Fixed</i>
		Instantaneous	
Inst. Pickup	6930 Amps		

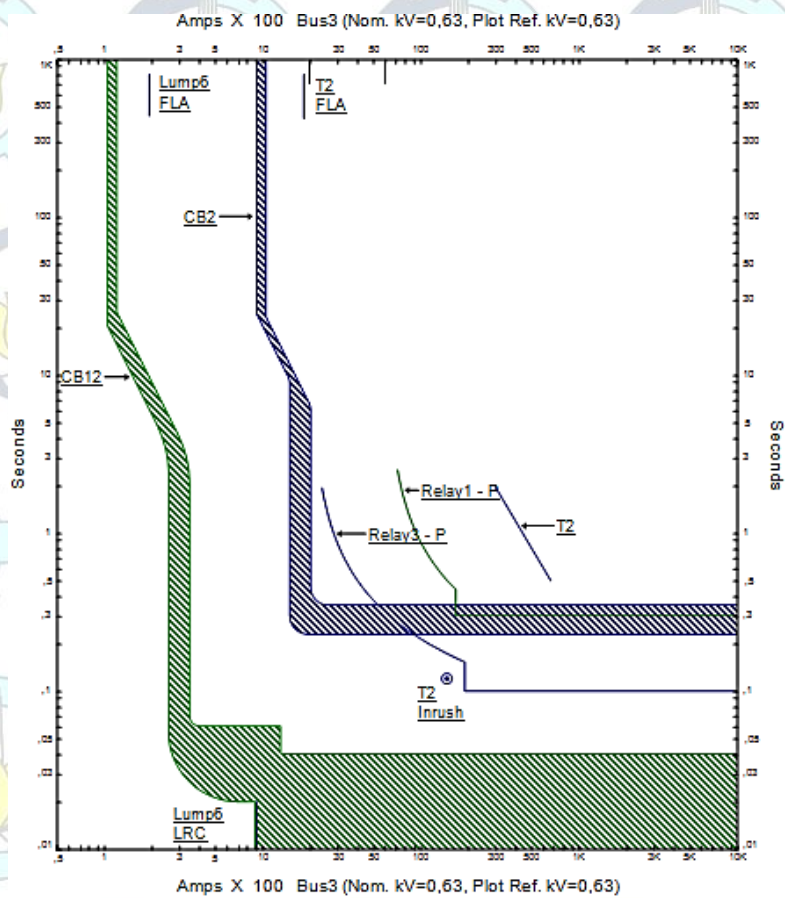


Gambar 4.13 Single Line Diagram Tipikal 2a, 2b, 2c, 2d, 2e (dari kiri atas ke kanan bawah)

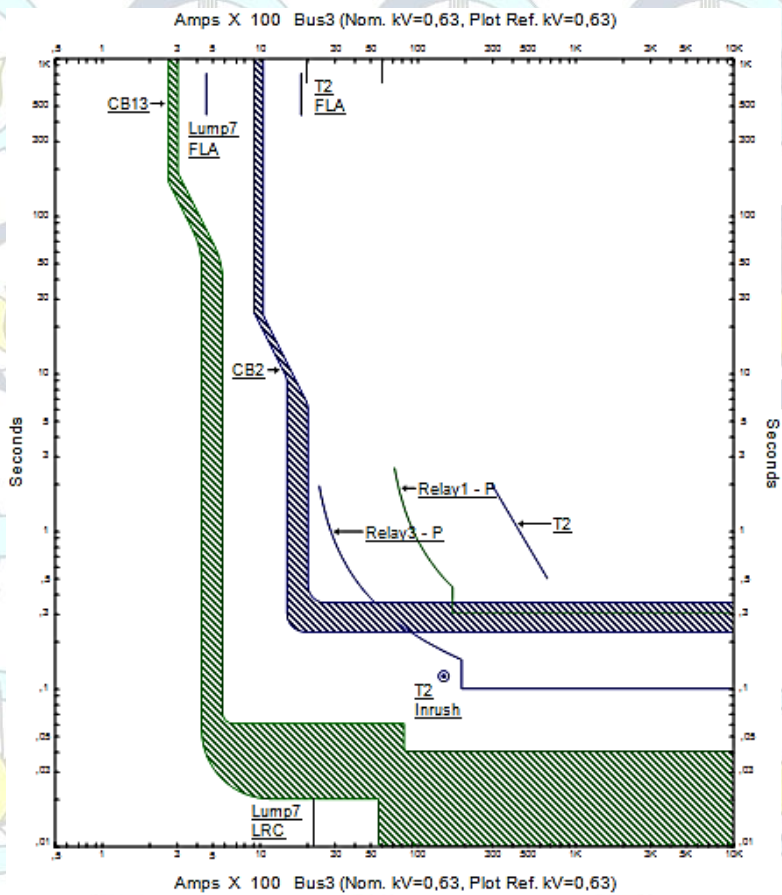
Setelah dilakukan resetting ini maka saat terjadi gangguan rele 2 bekerja terlebih dahulu dibanding rele 1. Karena time dial pada rele 2 sudah diperbaiki menjadi tidak terlalu lama dibanding rele 1. Hasil kurvanya dapat dilihat pada gambar dibawah untuk tipikal 2a,b,c,d,e.



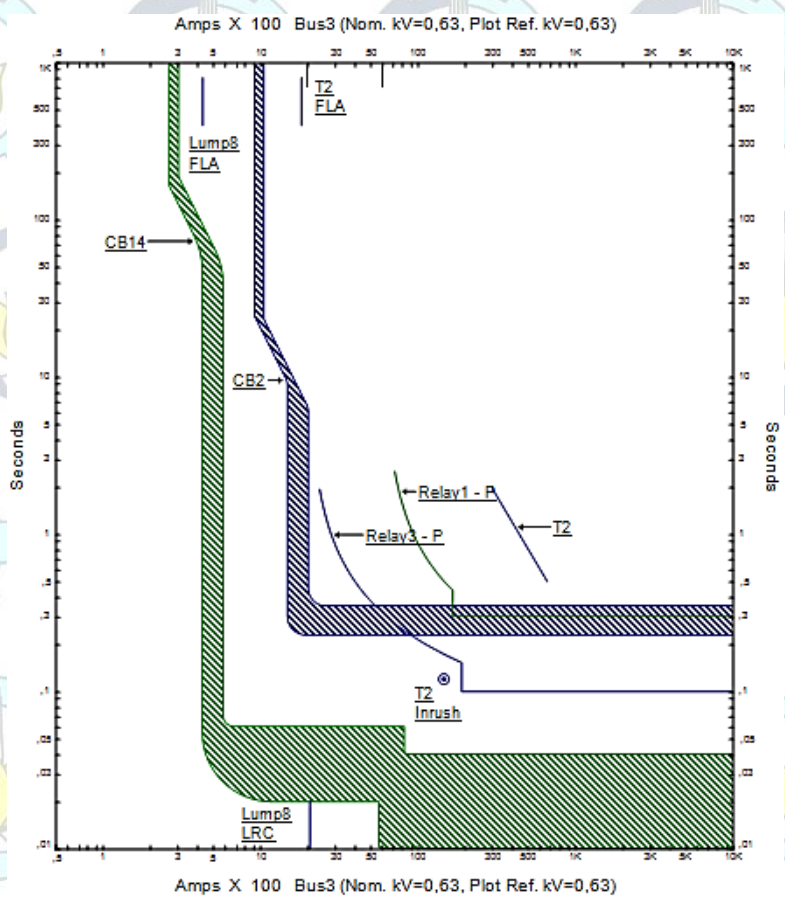
Gambar 4.14 Kurva hasil resetting koordinasi pengaman tipikal 2a



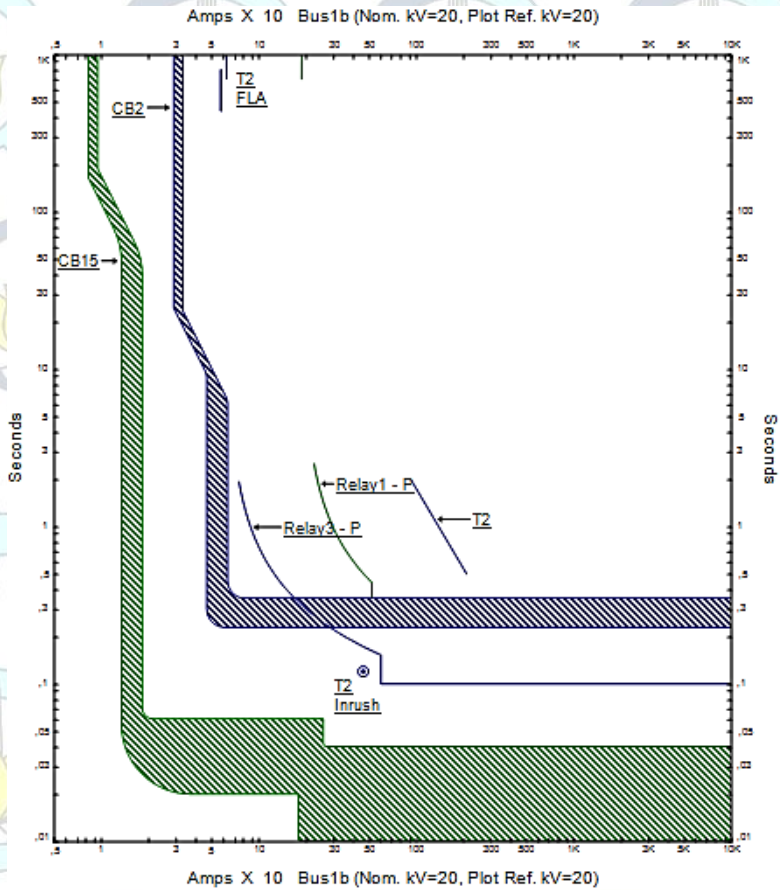
Gambar 4.15 Kurva hasil resetting koordinasi pengaman tipikal 2b



Gambar 4.16 Kurva hasil reseting koordinasi pengaman tipikal 2c



Gambar 4.17 Kurva hasil reseting koordinasi pengaman tipikal 2d



Gambar 4.18 Kurva hasil resetting koordinasi pengaman tipikal 2e

4.4.3. Resetting Sistem Koordinasi Pengaman Tipikal 3

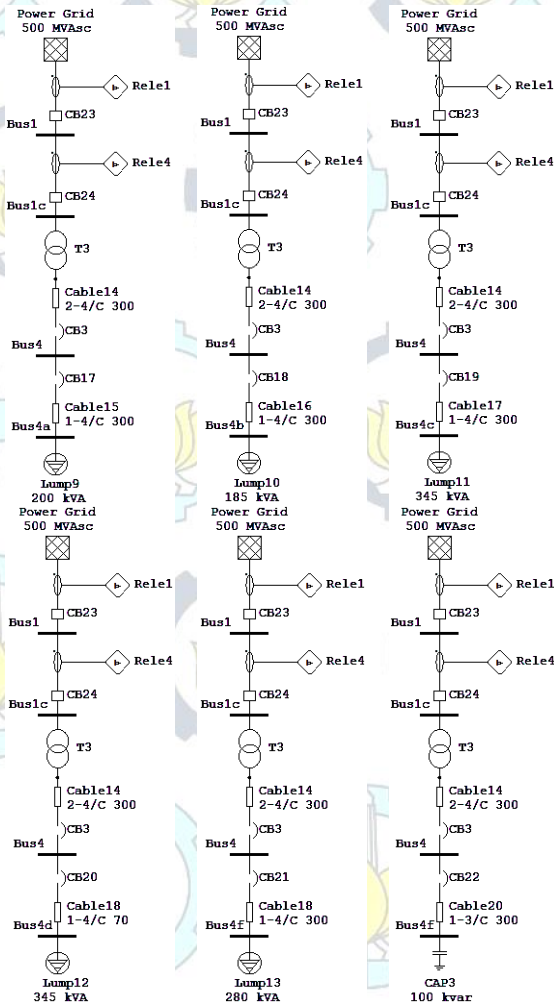
Hasil resetting pada tipikal 3 dibagi menjadi tipikal 3a, 3b, 3c, 3d, 3e yang dilakukan dapat dilihat pada tabel 4.9 dibawah ini, sedangkan hasil kurva kerja peralatan pengaman dapat dilihat pada gambar 4.19, gambar 4.20, gambar 4.21, gambar 4.22, gambar 4.23.

Tabel 4.9 Hasil resetting koordinasi pengaman tipikal 3a,3b,3c,3d,3e

Relay ID & Model	CT Ratio	Setting	
Rele 1 Model : Merlin Gerin Sepam 1000	150/5	Curve Type	<i>Standard Inverse</i>
		Overcurrent	
		Pickup Range ×CT Sec	0,3 – 2,4 ×CT Sec
		Pickup	1,25
		Dial	0,195
		Instantaneous	
		Pickup Range ×CT Sec	1 – 24 ×CT Sec
		Pickup	3,5
Rele 4 Model : Merlin Gerin Sepam 1000	50/5	Curve Type	<i>Standard Inverse</i>
		Overcurrent	
		Pickup Range ×CT Sec	0,3 – 2,4 ×CT Sec
		Pickup	1,25
		Dial	0,15
		Instantaneous	
		Pickup Range ×CT Sec	1 – 24 ×CT Sec
		Pickup	12
Delay	0,1		
LVCB ID & Model	Sensor ID	Setting	
CB 3 Model : Merlin Gerin C1251H	1250 Amps	Type	STR35GE
		Long-Time	
		LT Pickup	875 Amps
		LT Band	15
		Short-Time	
		ST Pickup	1750 Amps
		ST Band	0,3
i ^t	OUT		
CB 17 Model : Merlin Gerin NS100H	100 Amps	Type	STR22GE
		Long-Time	
		LT Pickup	100 Amps
		LT Band	<i>Fixed</i>
		Short-Time	
		ST Pickup	300 Amps
		ST Band	<i>Fixed</i>
Instantaneous			
CB 18	100	Inst. Pickup	1100 Amps
		Type	STR22GE

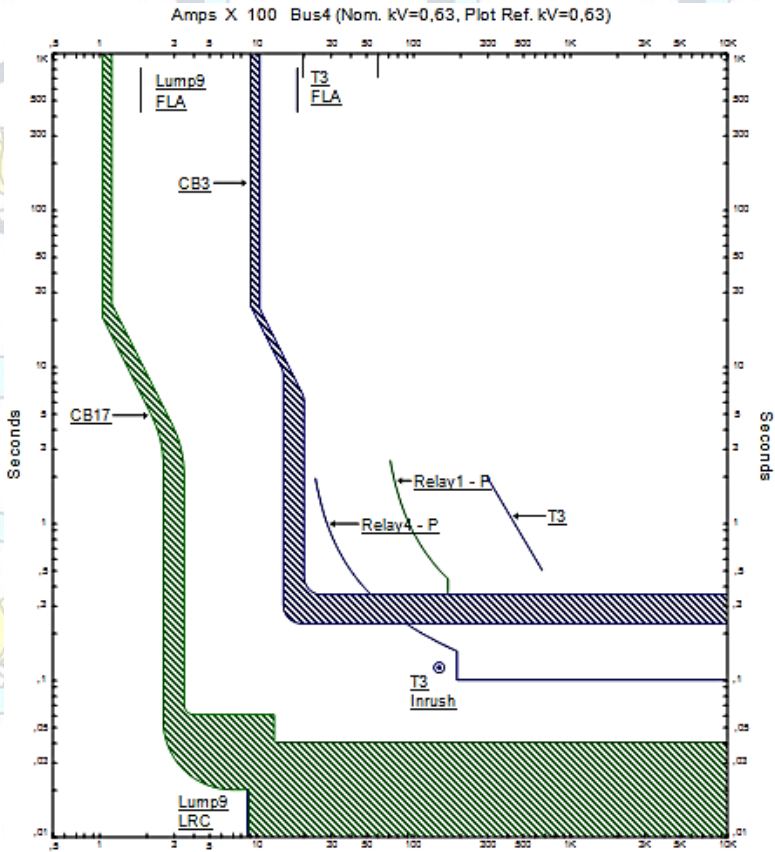
Model : Merlin Gerin NS100H	Amps	Long-Time	
		LT Pickup	100 Amps
		LT Band	<i>Fixed</i>
		Short-Time	
		ST Pickup	300 Amps
		ST Band	<i>Fixed</i>
		Instantaneous	
CB 19 Model : Merlin Gerin NS630H	630 Amps	Type	STR23SE
		Long-Time	
		LT Pickup	252 Amps
		LT Band	<i>Fixed</i>
		Short-Time	
		ST Pickup	504 Amps
		ST Band	<i>Fixed</i>
CB 20 Model : Merlin Gerin NS630H	630 Amps	Instantaneous	
		Inst. Pickup	6930 Amps
		Type	STR23SE
		Long-Time	
		LT Pickup	252 Amps
		LT Band	<i>Fixed</i>
		Short-Time	
CB 21 Model : Merlin Gerin NS630H	630 Amps	ST Pickup	504 Amps
		ST Band	<i>Fixed</i>
		Instantaneous	
		Inst. Pickup	6930 Amps
		Type	STR23SE
		Long-Time	
		LT Pickup	252 Amps
CB 22 Model : Merlin Gerin NS630H	630 Amps	LT Band	<i>Fixed</i>
		Short-Time	
		ST Pickup	504 Amps
		ST Band	<i>Fixed</i>
		Instantaneous	
		Inst. Pickup	6930 Amps
CB 21 Model : Merlin Gerin NS630H	630 Amps	Type	STR23SE
		Long-Time	
		LT Pickup	252 Amps
		LT Band	<i>Fixed</i>
		Short-Time	
		ST Pickup	504 Amps

	ST Band	<i>Fixed</i>
	Instantaneous	
	Inst. Pickup	6930 Amps

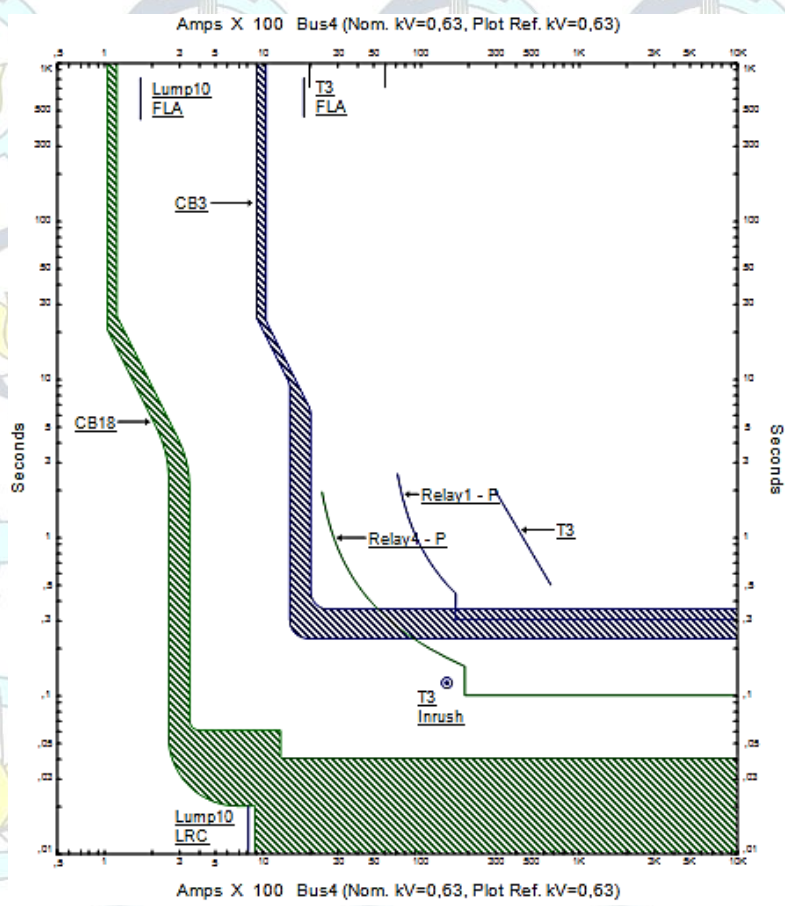


Gambar 4.19 Single Line Diagram Tipikal 3a, 3b, 3c, 3d, 3e, 3f (dari kiri atas ke kanan bawah)

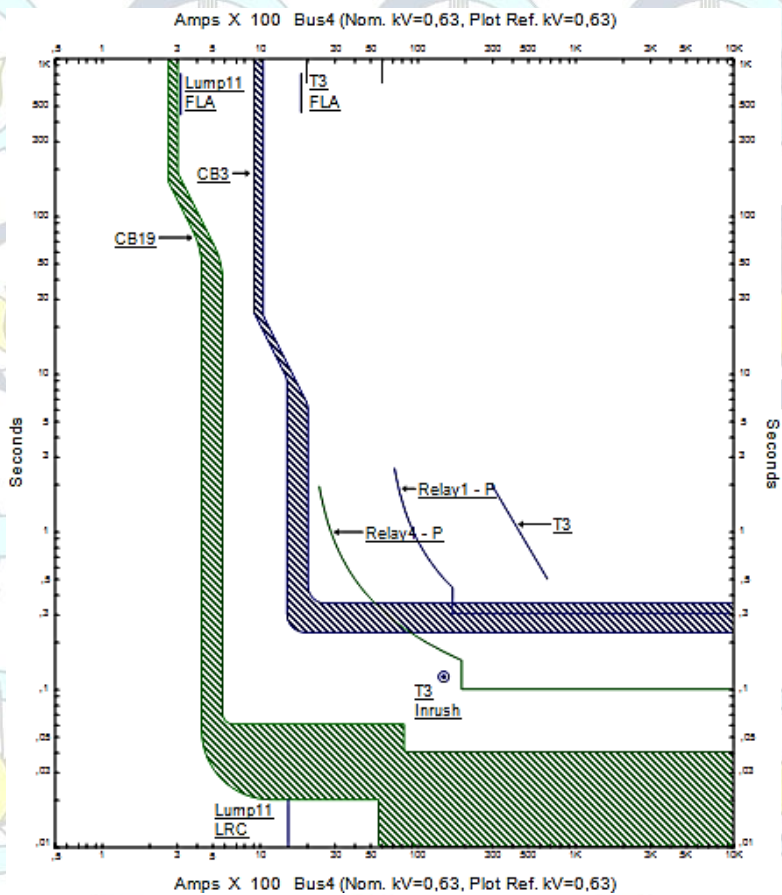
Setelah dilakukan resetting ini maka saat terjadi gangguan rele 2 bekerja terlebih dahulu dibanding rele 1. Karena time dial pada rele 2 sudah diperbaiki menjadi tidak terlalu lama dibanding rele 1. Hasil kurvanya dapat dilihat pada gambar dibawah untuk tipikal 3a,b,c,d,e.



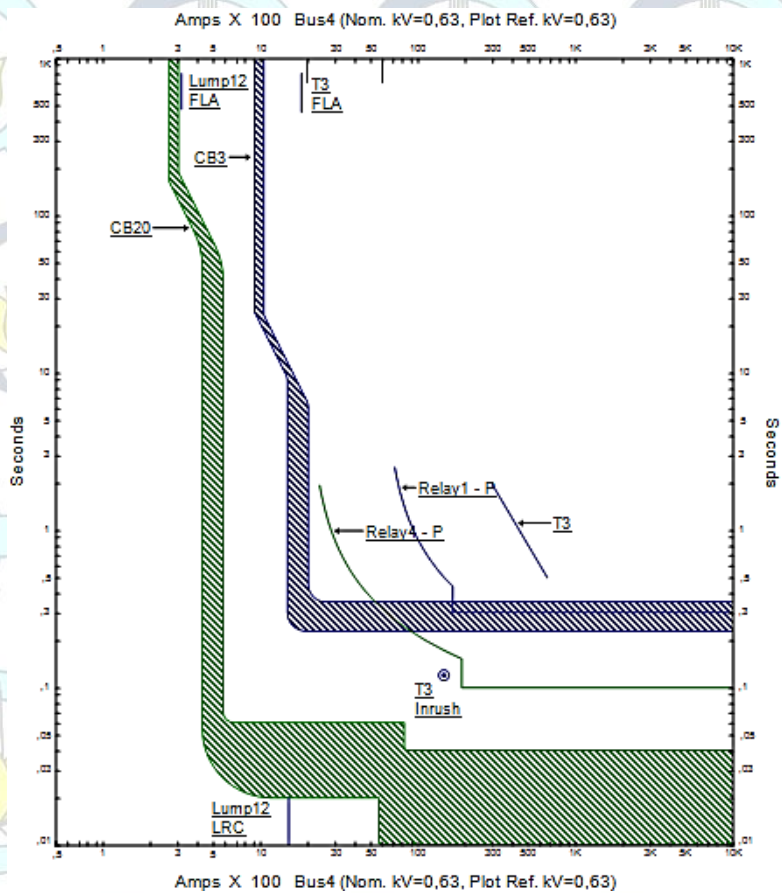
Gambar 4.20 Kurva hasil resetting koordinasi pengaman tipikal 3a



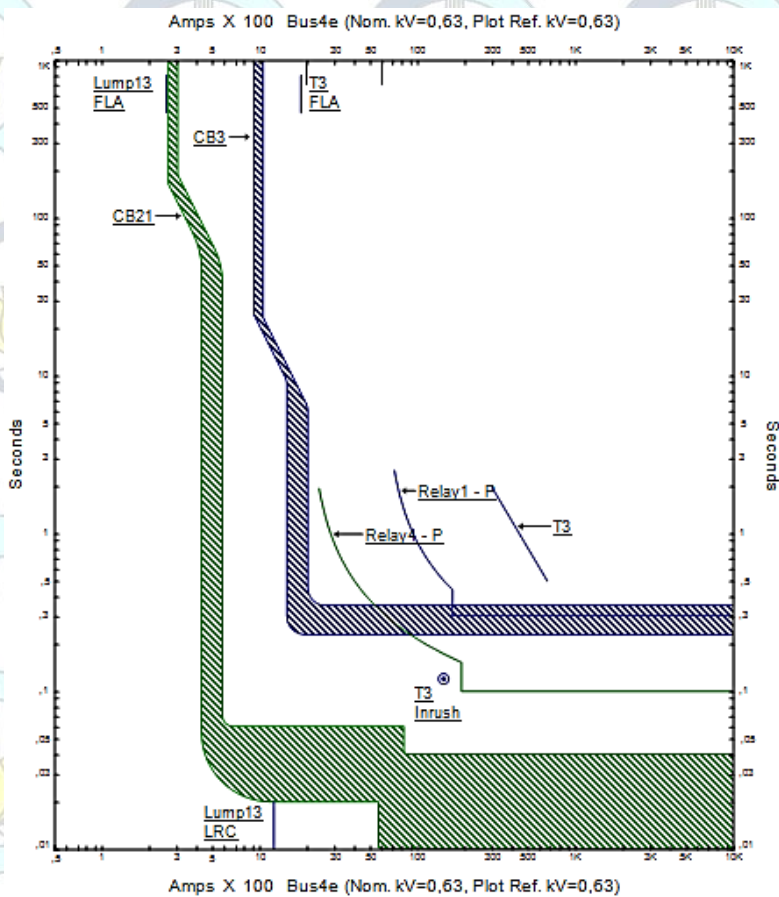
Gambar 4.21 Kurva hasil resetting koordinasi pengaman tipikal 3b



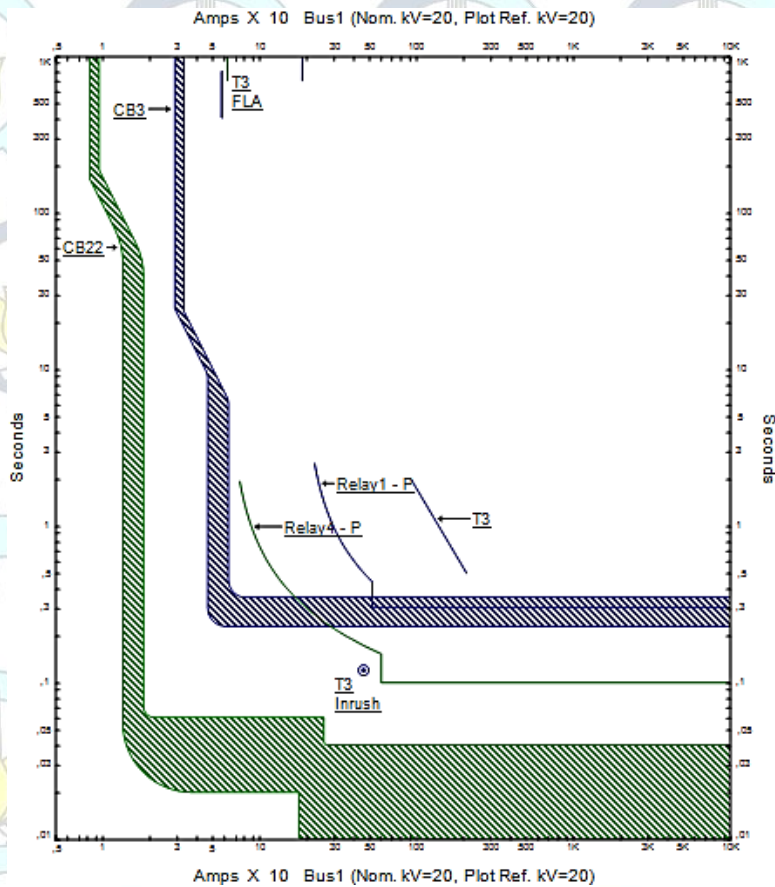
Gambar 4.22 Kurva hasil reseting koordinasi pengaman tipikal 3c



Gambar 4.23 Kurva hasil resetting koordinasi pengaman tipikal 3d



Gambar 4.24 Kurva hasil reseting koordinasi pengaman tipikal 3e



Gambar 4.25 Kurva hasil reseting koordinasi pengaman tipikal 3f

4.4.4. Perhitungan Analisis *Reseting* Koordinasi Sistem Pengaman

Perhitungan analisis *reseting* koordinasi sistem pengaman pada PT Pertamina (Persero) Jakarta adalah sebagai berikut.

Setting Rele

1. Rele 1

Manufacturer : Merlin Gerin

Model : Sepam 1000

Tipe kurva : *Standard Inverse*

CT : 150/5

I_{SC} Max bus 1 : 14,43 kA

I_{SC} Min bus 1 : 12,5 kA

$$I_{FL} = \frac{3 \times 2000}{20 \times \sqrt{3}} = 173,2 \text{ Amp}$$

Time Overcurrent Pick Up (I>)

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

$$1,05 \times 173,2 < I_{set} < 1,4 \times 173,2$$

$$\frac{181,86}{150} < I_{set} < \frac{242,48}{150}$$

$$1,21 < \text{Tap} < 1,61$$

Dipilih Tap = 1,25 (dengan Iset = 187,5 A)

Time Dial

Standard Inverse

$$\text{Delay} = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{SC \text{ Max}}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1} \times T$$

$$0,3 = \frac{0,14}{\left(\frac{14430}{187,5}\right)^{0,02} - 1} \times T$$

$$T = \frac{0,3}{1,54} = 0,195$$

(Range : 0 sampai 100, dengan step 0,01)

Time Dial = 0,195 s

Instantaneous Pick Up (I>>)

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

$$1,6 \times 173,2 < I_{set} \leq 0,8 \times 12,5 \text{ kA}$$

$$\frac{277,12}{150} < I_{set} \leq \frac{10000}{150}$$

$$1,85 < \text{Tap} \leq 66,67$$

Dipilih Tap = 3,5 (dengan Iset = 525 A)

Time Delay

Time Delay = 0,3 s

2. Rele 2

Manufactur : Merlin Gerin

Model : Sepam 1000

Tipe kurva : *Standard Inverse*

CT : 50/5

I_{SC} Max bus 1a : 14,73 kA

I_{SC} Min bus 1a : 12,75 kA

$$I_{FL} T1 = \frac{2000}{20 \times \sqrt{3}} = 57,735 \text{ Amp}$$

Time Overcurrent Pick Up ($I >$)

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

$$1,05 \times 57,735 < I_{set} < 1,4 \times 57,735$$

$$\frac{60,62}{50} < I_{set} < \frac{80,83}{50}$$

$$1,21 < \text{Tap} < 1,62$$

Dipilih Tap = 1,25 (dengan I_{set} = 62,5 A)

Time Dial

Standard Inverse

$$\text{Delay} = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{SC} \text{ Max}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1} \times T$$

$$0,3 = \frac{0,14}{\left(\frac{14730}{62,5}\right)^{0,02} - 1} \times T$$

$$T = \frac{0,1}{1,21} = 0,083$$

(Range : 0 sampai 100, dengan step 0,01)

Time Dial = 0,15 s

Instanaeous Pick Up ($I >>$)

$$1,6 \times I_{FL} < I_{set} \leq 0,8 \times I_{SC} \text{ min bus 1a}$$

$$1,6 \times 57,735 < I_{set} \leq 0,8 \times 12,73 \text{ KA}$$

$$\frac{92,376}{50} < I_{set} \leq \frac{10184}{50}$$

$$1,85 < \text{Tap} \leq 203,68$$

Dipilih Tap = 12 (dengan Iset = 600 A)

Time Delay

Time Delay = 0,1 s

3. Rele 3

Manufactur : Merlin Gerin

Model : Sepam 1000

Tipe kurva : *Standard Inverse*

CT : 50/5

I_{SC} Max bus 1b : 14,7 kA

I_{SC} Min bus 1b : 12,73 kA

$$I_{FL} T2 = \frac{2000}{20 \times \sqrt{3}} = 57,735 \text{ Amp}$$

Time Overcurrent Pick Up (I>)

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

$$1,05 \times 57,735 < I_{set} < 1,4 \times 57,735$$

$$\frac{60,62}{50} < I_{set} < \frac{80,92}{50}$$

$$1,21 < Tap < 1,62$$

Dipilih Tap = 1,25 (dengan I_{set} = 62,5 A)

Time Dial

Standard Inverse

$$\text{Delay} = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{SC} \text{ Max}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1} \times T$$

$$0,3 = \frac{0,14}{\left(\frac{14700}{62,5}\right)^{0,02} - 1} \times T$$

$$T = \frac{0,1}{1,21} = 0,083$$

(Range : 0 sampai 100, dengan step 0,01)

Time Dial = 0,15 s

Instantaneous Pick Up (I>>)

$$1,6 \times I_{FL} < I_{set} \leq 0,8 \times I_{SC} \text{ min bus 1a}$$

$$1,6 \times 57,735 < I_{set} \leq 0,8 \times 12,73 \text{ KA}$$

$$\frac{92,376}{50} < I_{set} \leq \frac{10194}{50}$$

$$1,85 < Tap \leq 203,68$$

Dipilih Tap = 12 (dengan I_{set} = 600 A)

Time Delay

Time Delay = 0,1 s

4. Rele 4

Manufaktur : Merlin Gerin

Model : Sepam 1000

Tipe kurva : *Standard Inverse*

CT : 50/5

I_{SC} Max bus 1c : 14,7 kA

I_{SC} Min bus 1c : 12,73 kA

$$I_{FL} T2 = \frac{2000}{20 \times \sqrt{3}} = 57,735 \text{ Amp}$$

Time Overcurrent Pick Up (I>)

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

$$1,05 \times 57,735 < I_{set} < 1,4 \times 57,735$$

$$\frac{60,62}{50} < I_{set} < \frac{80,83}{50}$$

$$1,21 < \text{Tap} < 1,62$$

Dipilih Tap = 1,25 (dengan I_{set} = 62,5 A)

Time Dial

Standard Inverse

$$\text{Delay} = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{SC} \text{ Max}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1} \times T$$

$$0,3 = \frac{0,14}{\left(\frac{14700}{62,5}\right)^{0,02} - 1} \times T$$

$$T = \frac{0,1}{1,21} = 0,083$$

(Range : 0 sampai 100, dengan step 0,01)

Time Dial = 0,15 s

Instaneous Pick Up (I>>)

$$1,6 \times I_{FL} < I_{set} \leq 0,8 \times I_{SC} \text{ min bus 1a}$$

$$1,6 \times 57,735 < I_{set} \leq 0,8 \times 12,73 \text{ KA}$$

$$\frac{92,376}{50} < I_{set} \leq \frac{10184}{50}$$

$$1,85 < \text{Tap} \leq 203,68$$

Dipilih Tap = 12 (dengan I_{set} = 600 A)

Time Delay

Time Delay = 0,1 s

Setting pada LVCB

1. CB 1

Manufactur : Merlin Gerin
Model : C 1251 H (STR 35 GE)
Sensor ID : 1250 A
ISC Max bus 2 : 21,66 kA
ISC Min bus 2 : 18,76 kA

$$I_N T2 = \frac{2000}{0,63 \times \sqrt{3}} = 1832,86 \text{ Amp}$$

Long Time Pick Up (I_r)

$$0,4 \times I_N < I_r \leq 1 \times I_N$$

$$0,4 \times 1832,86 < I_r \leq 1 \times 1832,86$$

$$\frac{732,9}{1250} < I_r \leq \frac{1832,86}{1250}$$

$$0,586 < \text{Tap} \leq 1,4$$

Dipilih Tap = 0,7 (dengan $I_r = 875 \text{ A}$)

Time Dial

LT Band = 15 s

Short Time Pick Up (I_m)

$$1,5 \times I_r < I_m \leq 10 \times I_r$$

$$1,5 \times 875 < I_m \leq 10 \times 875$$

$$\frac{1312,5}{1250} < I_m \leq \frac{8750}{1250}$$

$$1,05 < \text{Tap} \leq 10$$

Dipilih Tap = 1,4 (dengan $I_m = 1750 \text{ A}$)

Time Delay

ST Band = 0,3 s

2. CB 2

Manufactur : Merlin Gerin
Model : C 1251 H (STR 35 GE)

Sensor ID : 1250 A
ISC Max bus 3 : 21,66 kA
ISC Min bus 3 : 18,75 kA

$$I_N T2 = \frac{2000}{0,63 \times \sqrt{3}} = 1832,86 \text{ Amp}$$

Long Time Pick Up (I_r)

$$0,4 \times I_N < I_r \leq 1 \times I_N$$

$$0,4 \times 1832,86 < I_r \leq 1 \times 1832,86$$

$$\frac{732,9}{1250} < I_r \leq \frac{1832,86}{1250}$$

$$0,586 < \text{Tap} \leq 1,4$$

Dipilih Tap = 0,7 (dengan $I_r = 875 \text{ A}$)

Time Dial

$$\text{LT Band} = 15 \text{ s}$$

Short Time Pick Up (I_m)

$$1,5 \times I_r < I_m \leq 10 \times I_r$$

$$1,5 \times 875 < I_m \leq 10 \times 875$$

$$\frac{1312,5}{1250} < I_m \leq \frac{8750}{1250}$$

$$1,05 < \text{Tap} \leq 10$$

Dipilih Tap = 1,4 (dengan $I_m = 1750 \text{ A}$)

Time Delay

$$\text{ST Band} = 0,3 \text{ s}$$

3. CB 3

Manufaktur : Merlin Gerin

Model : C 1251 H (STR 35 GE)

Sensor ID : 1250 A

ISC Max bus 4 : 21,65 kA

ISC Min bus 4 : 18,75 kA

$$I_N T2 = \frac{2000}{0,63 \times \sqrt{3}} = 1832,86 \text{ Amp}$$

Long Time Pick Up (I_r)

$$0,4 \times I_N < I_r \leq 1 \times I_N$$

$$0,4 \times 1832,86 < I_r \leq 1 \times 1832,86$$

$$\frac{732,8}{1250} < I_r \leq \frac{1832,86}{1250}$$

$$0,586 < \text{Tap} \leq 1,4$$

Dipilih Tap = 0,7 (dengan $I_r = 875 \text{ A}$)

Time Dial

LT Band = 15 s

Short Time Pick Up (I_m)

$$1,5 \times I_r < I_m \leq 10 \times I_r$$

$$1,5 \times 875 < I_m \leq 10 \times 875$$

$$\frac{1312,5}{1250} < I_m \leq \frac{8750}{1250}$$

$$1,05 < \text{Tap} \leq 10$$

Dipilih Tap = 1,4 (dengan $I_m = 1750 \text{ A}$)

Time Delay

ST Band = 0,3 s

4. CB 4

Manufactur : Merlin Gerin

Model : C 1251 H (STR 35 GE)

Sensor ID : 1250 A

Kondisi : Open

5. CB 5

Manufactur : Merlin Gerin

Model : NS 100 H (STR 22 GE)

Sensor ID : 100 A

ISC Max bus 2a : 14,55 kA

ISC Min bus 2a : 12,6 kA

$$I_N \text{ Lump1} = \frac{220}{0,63 \times \sqrt{3}} = 201,61 \text{ Amp}$$

Long Time Pick Up (I_r)

$$0,4 \times I_N < I_r \leq 1 \times I_N$$

$$0,4 \times 201,61 < I_r \leq 1 \times 201,61$$

$$\frac{90,176}{100} < I_r \leq \frac{201,61}{100}$$

$$0,902 < \text{Tap} \leq 2,02$$

Dipilih Tap = 1 (dengan $I_r = 100$ A)

Time Dial

LT Band = Fixed

Short Time Pick Up (I_m)

$$2 \times I_r < I_m \leq 10 \times I_r$$

$$2 \times 100 < I_m \leq 10 \times 100$$

$$\frac{200}{100} < I_m \leq \frac{1000}{100}$$

$$2 < \text{Tap} \leq 10$$

Dipilih Tap = 3 (dengan $I_m = 300$ A)

Time Delay

ST Band = Fixed

Instaneous Pick Up

Inst. Pickup = 1100 A

6. CB 6

Manufactur : Merlin Gerin

Model : NS 100 H (STR 22 GE)

Sensor ID : 100 A

ISC Max bus 2b : 14,63 kA

ISC Min bus 2b : 12,67 kA

$$I_N \text{ Lump2} = \frac{160}{0,63 \times \sqrt{3}} = 146,63 \text{ Amp}$$

Long Time Pick Up (I_r)

$$0,4 \times I_N < I_r \leq 1 \times I_N$$

$$0,4 \times 146,63 < I_r \leq 1 \times 146,63$$

$$\frac{58,65}{100} < I_r \leq \frac{146,63}{100}$$

$$0,59 < \text{Tap} \leq 1,47$$

Dipilih Tap = 1 (dengan $I_r = 100$ A)

Time Dial

LT Band = Fixed

Short Time Pick Up (I_m)

$$2 \times I_r < I_m \leq 10 \times I_r$$

$$2 \times 100 < I_m \leq 10 \times 100$$

$$\frac{200}{100} < I_m \leq \frac{1000}{100}$$

$$2 < \text{Tap} \leq 10$$

Dipilih Tap = 3 (dengan $I_m = 300 \text{ A}$)

Time Delay

ST Band = *Fixed*

Instantaneous Pick Up

Inst. Pickup = 1100 A

7. CB 7

Manufactur : Merlin Gerin

Model : NS 630 H (STR 23 SE)

Sensor ID : 630 A

ISC Max bus 2c : 14,37 kA

ISC Min bus 2c : 12,44 kA

$$I_N \text{ Lump3} = \frac{350}{0,63 \times \sqrt{3}} = 320,75 \text{ Amp}$$

Long Time Pick Up (I_r)

$$0,4 \times I_N < I_r \leq 1 \times I_N$$

$$0,4 \times 320,75 < I_r \leq 1 \times 320,75$$

$$\frac{128,3}{630} < I_r \leq \frac{320,75}{630}$$

$$0,2 < \text{Tap} \leq 0,51$$

Dipilih Tap = 0,4 (dengan $I_r = 252 \text{ A}$)

Time Dial

LT Band = *Fixed*

Short Time Pick Up (I_m)

$$2 \times I_r < I_m \leq 10 \times I_r$$

$$2 \times 252 < I_m \leq 10 \times 252$$

$$\frac{378}{630} < I_m \leq \frac{2520}{630}$$

$$0,6 < \text{Tap} \leq 4$$

Dipilih Tap = 0,8 (dengan $I_m = 504 \text{ A}$)

Time Delay

ST Band = Fixed

Instantaneous Pick Up

Inst. Pickup = 6930 A

8. CB 8

Manufactur : Merlin Gerin

Model : NS 630 H (STR 23 SE)

Sensor ID : 630 A

ISC Max bus 3d : 7,32 kA

ISC Min bus 3d : 6,34 kA

$$I_N \text{ Lump3} = \frac{350}{0,63 \times \sqrt{3}} = 320,75 \text{ Amp}$$

Long Time Pick Up (I_r)

$$0,4 \times I_N < I_r \leq 1 \times I_N$$

$$0,4 \times 320,75 < I_r \leq 1 \times 320,75$$

$$\frac{128,3}{630} < I_r \leq \frac{320,75}{630}$$

$$0,2 < \text{Tap} \leq 0,51$$

Dipilih Tap = 0,4 (dengan $I_r = 252 \text{ A}$)

Time Dial

LT Band = Fixed

Short Time Pick Up (I_m)

$$2 \times I_r < I_m \leq 10 \times I_r$$

$$2 \times 252 < I_m \leq 10 \times 252$$

$$\frac{378}{630} < I_m \leq \frac{2520}{630}$$

$$0,6 < \text{Tap} \leq 4$$

Dipilih Tap = 0,8 (dengan $I_m = 504 \text{ A}$)

Time Delay

ST Band = Fixed

Instantaneous Pick Up

Inst. Pickup = 6930 A

9. CB 9

Manufactur : Merlin Gerin
Model : NS 630 H (STR 23 SE)
Sensor ID : 630 A
ISC Max bus 2e : 14,86 kA
ISC Min bus 2e : 12,87 kA

$$I_N C1 = \frac{100}{0,63 \times \sqrt{3}} = 91,643 \text{ Amp}$$

Long Time Pick Up (I_r)

$$0,4 \times I_N < I_r \leq 1 \times I_N$$

$$0,4 \times 91,643 < I_r \leq 1 \times 91,643$$

$$\frac{36,66}{630} < I_r \leq \frac{91,643}{630}$$

$$0,06 < \text{Tap} \leq 0,145$$

Dipilih Tap = 0,4 (dengan $I_r = 252 \text{ A}$)

Time Dial

LT Band = *Fixed*

Short Time Pick Up (I_m)

$$2 \times I_r < I_m \leq 10 \times I_r$$

$$2 \times 252 < I_m \leq 10 \times 252$$

$$\frac{378}{630} < I_m \leq \frac{2520}{630}$$

$$0,6 < \text{Tap} \leq 4$$

Dipilih Tap = 0,8 (dengan $I_m = 504 \text{ A}$)

Time Delay

ST Band = *Fixed*

Instantaneous Pick Up

Inst. Pickup = 6930 A

10. CB 10

Manufactur : Merlin Gerin
Model : C 1251 H (STR 35 GE)
Sensor ID : 1250 A
Kondisi : Open

11. CB 11

Manufactur : Merlin Gerin
Model : NS 100 H (STR 22 GE)
Sensor ID : 100 A
ISC Max bus 3a : 14,93 kA
ISC Min bus 3a : 12,93 kA

$$I_N \text{ Lump5} = \frac{200}{0,63 \times \sqrt{3}} = 183,3 \text{ Amp}$$

Long Time Pick Up (I_r)

$$0,4 \times I_N < I_r \leq 1 \times I_N$$

$$0,4 \times 183,3 < I_r \leq 1 \times 183,3$$

$$\frac{73,32}{100} < I_r \leq \frac{183,3}{100}$$

$$0,733 < \text{Tap} \leq 1,833$$

Dipilih Tap = 1 (dengan $I_r = 100 \text{ A}$)

Time Dial

LT Band = *Fixed*

Short Time Pick Up (I_m)

$$2 \times I_r < I_m \leq 10 \times I_r$$

$$2 \times 100 < I_m \leq 10 \times 100$$

$$\frac{200}{100} < I_m \leq \frac{1000}{100}$$

$$2 < \text{Tap} \leq 10$$

Dipilih Tap = 3 (dengan $I_m = 300 \text{ A}$)

Time Delay

ST Band = *Fixed*

Instantaneous Pick Up

Inst. Pickup = 1100 A

12. CB 12

Manufactur : Merlin Gerin
Model : NS 100 H (STR 22 GE)
Sensor ID : 100 A
ISC Max bus 3b : 14,92 kA
ISC Min bus 3b : 12,92 kA

$$I_N \text{ Lump6} = \frac{210}{0,63 \times \sqrt{3}} = 192,45 \text{ Amp}$$

Long Time Pick Up (I_r)

$$0,4 \times I_N < I_r \leq 1 \times I_N$$

$$0,4 \times 192,45 < I_r \leq 1 \times 192,45$$

$$\frac{76,98}{100} < I_r \leq \frac{192,45}{100}$$

$$0,77 < \text{Tap} \leq 1,9245$$

Dipilih Tap = 1 (dengan $I_r = 100 \text{ A}$)

Time Dial

LT Band = Fixed

Short Time Pick Up (I_m)

$$2 \times I_r < I_m \leq 10 \times I_r$$

$$2 \times 100 < I_m \leq 10 \times 100$$

$$\frac{200}{100} < I_m \leq \frac{1000}{100}$$

$$2 < \text{Tap} \leq 10$$

Dipilih Tap = 3 (dengan $I_m = 300 \text{ A}$)

Time Delay

ST Band = Fixed

Instantaneous Pick Up

Inst. Pickup = 1100 A

13. CB 13

Manufactur : Merlin Gerin

Model : NS 630 H (STR 23 SE)

Sensor ID : 630 A

ISC Max bus 3c : 14,54 kA

ISC Min bus 3c : 12,59 kA

$$I_N \text{ Lump7} = \frac{500}{0,63 \times \sqrt{3}} = 458,21 \text{ Amp}$$

Long Time Pick Up (I_r)

$$0,4 \times I_N < I_r \leq 1 \times I_N$$

$$0,4 \times 458,21 < I_r \leq 1 \times 458,21$$

$$\frac{193,28}{630} < I_r \leq \frac{458,21}{630}$$

$$0,291 < \text{Tap} \leq 0,73$$

Dipilih Tap = 0,4 (dengan $I_r = 252 \text{ A}$)

Time Dial

LT Band = *Fixed*

Short Time Pick Up (I_m)

$$2 \times I_r < I_m \leq 10 \times I_r$$

$$2 \times 252 < I_m \leq 10 \times 252$$

$$\frac{378}{630} < I_m \leq \frac{2520}{630}$$

$$0,6 < \text{Tap} \leq 4$$

Dipilih Tap = 0,8 (dengan $I_m = 504 \text{ A}$)

Time Delay

ST Band = *Fixed*

Instantaneous Pick Up

Inst. Pickup = 6930 A

14. CB 14

Manufacturer : Merlin Gerin

Model : NS 630 H (STR 23 SE)

Sensor ID : 630 A

ISC Max bus 3d : 7,36 kA

ISC Min bus 3d : 6,37 kA

$$I_N \text{ Lump8} = \frac{470}{0,63 \times \sqrt{3}} = 430,72 \text{ Amp}$$

Long Time Pick Up (I_r)

$$0,4 \times I_N < I_r \leq 1 \times I_N$$

$$0,4 \times 430,72 < I_r \leq 1 \times 430,72$$

$$\frac{172,29}{630} < I_r \leq \frac{430,72}{630}$$

$$0,27 < \text{Tap} \leq 0,68$$

Dipilih Tap = 0,4 (dengan $I_r = 252 \text{ A}$)

Time Dial

LT Band = *Fixed*

Short Time Pick Up (I_m)

$$2 \times I_r < I_m \leq 10 \times I_r$$

$$2 \times 252 < I_m \leq 10 \times 252$$

$$\frac{378}{630} < I_m \leq \frac{2520}{630}$$

$$0,6 < \text{Tap} \leq 4$$

Dipilih Tap = 0,8 (dengan $I_m = 504$ A)

Time Delay

ST Band = *Fixed*

Instantaneous Pick Up

Inst. Pickup = 6930 A

15. CB 15

Manufactur : Merlin Gerin

Model : NS 630 H (STR 23 SE)

Sensor ID : 630 A

ISC Max bus 3e : 15,2 kA

ISC Min bus 3e : 13,16 kA

$$I_N C2 = \frac{100}{0,63 \times \sqrt{3}} = 91,643 \text{ Amp}$$

Long Time Pick Up (I_r)

$$0,4 \times I_N < I_r \leq 1 \times I_N$$

$$0,4 \times 91,643 < I_r \leq 1 \times 91,643$$

$$\frac{36,66}{630} < I_r \leq \frac{91,643}{630}$$

$$0,06 < \text{Tap} \leq 0,145$$

Dipilih Tap = 0,4 (dengan $I_r = 252$ A)

Time Dial

LT Band = *Fixed*

Short Time Pick Up (I_m)

$$2 \times I_r < I_m \leq 10 \times I_r$$

$$2 \times 252 < I_m \leq 10 \times 252$$

$$\frac{378}{630} < I_m \leq \frac{2520}{630}$$

$$0,6 < \text{Tap} \leq 4$$

Dipilih Tap = 0,8 (dengan $I_m = 504 \text{ A}$)

Time Delay

ST Band = *Fixed*

Instantaneous Pick Up

Inst. Pickup = 6930 A

16. CB 16

Manufactur : Merlin Gerin

Model : C 1251 H (STR 35 GE)

Sensor ID : 1250 A

Kondisi : Open

17. CB 17

Manufactur : Merlin Gerin

Model : NS 100 H (STR 22 GE)

Sensor ID : 100 A

ISC Max bus 4a : 14,96 kA

ISC Min bus 4a : 12,95 kA

$$I_N \text{ Lump9} = \frac{200}{0,63 \times \sqrt{3}} = 183,3 \text{ Amp}$$

Long Time Pick Up (I_r)

$$0,4 \times I_N < I_r \leq 1 \times I_N$$

$$0,4 \times 183,3 < I_r \leq 1 \times 183,3$$

$$\frac{73,32}{100} < I_r \leq \frac{183,3}{100}$$

$$0,733 < \text{Tap} \leq 1,833$$

Dipilih Tap = 1 (dengan $I_r = 100 \text{ A}$)

Time Dial

LT Band = *Fixed*

Short Time Pick Up (I_m)

$$2 \times I_r < I_m \leq 10 \times I_r$$

$$2 \times 100 < I_m \leq 10 \times 100$$

$$\frac{200}{100} < I_m \leq \frac{1000}{100}$$

$$2 < \text{Tap} \leq 10$$

Dipilih Tap = 3 (dengan $I_m = 300$ A)

Time Delay

ST Band = Fixed

Instantaneous Pickup

Inst. Pickup = 1100 A

18. CB 18

Manufactur : Merlin Gerin

Model : NS 100 H (STR 22 GE)

Sensor ID : 100 A

ISC Max bus 4b : 14,98 kA

ISC Min bus 4b : 12,97 kA

$$I_N \text{ Lump}10 = \frac{185}{0,63 \times \sqrt{3}} = 169,54 \text{ Amp}$$

Long Time Pickup (I_r)

$$0,4 \times I_N < I_r \leq 1 \times I_N$$

$$0,4 \times 169,54 < I_r \leq 1 \times 169,54$$

$$\frac{76,98}{100} < I_r \leq \frac{169,54}{100}$$

$$0,77 < \text{Tap} \leq 1,9245$$

Dipilih Tap = 1 (dengan $I_r = 100$ A)

Time Dial

LT Band = Fixed

Short Time Pickup (I_m)

$$2 \times I_r < I_m \leq 10 \times I_r$$

$$2 \times 100 < I_m \leq 10 \times 100$$

$$\frac{200}{100} < I_m \leq \frac{1000}{100}$$

$$2 < \text{Tap} \leq 10$$

Dipilih Tap = 3 (dengan $I_m = 300$ A)

Time Delay

ST Band = Fixed

Instantaneous Pickup

Inst. Pickup = 1100 A

19. CB 19

Manufactur : Merlin Gerin
Model : NS 630 H (STR 23 SE)
Sensor ID : 630 A
ISC Max bus 4c : 14,72 kA
ISC Min bus 4c : 12,79 kA

$$I_N \text{ Lump11} = \frac{345}{0,63 \times \sqrt{3}} = 316,168 \text{ Amp}$$

Long Time Pick Up (I_r)

$$0,4 \times I_N < I_r \leq 1 \times I_N$$

$$0,4 \times 316,168 < I_r \leq 1 \times 316,168$$

$$\frac{126,47}{630} < I_r \leq \frac{314,5}{630}$$

$$0,2 < \text{Tap} \leq 0,502$$

Dipilih Tap = 0,4 (dengan $I_r = 252 \text{ A}$)

Time Dial

LT Band = *Fixed*

Short Time Pick Up (I_m)

$$2 \times I_r < I_m \leq 10 \times I_r$$

$$2 \times 252 < I_m \leq 10 \times 252$$

$$\frac{378}{630} < I_m \leq \frac{2520}{630}$$

$$0,6 < \text{Tap} \leq 4$$

Dipilih Tap = 0,8 (dengan $I_m = 504 \text{ A}$)

Time Delay

ST Band = *Fixed*

Instantaneous Pick Up

Inst. Pickup = 6930 A

20. CB 20

Manufactur : Merlin Gerin
Model : NS 630 H (STR 23 SE)
Sensor ID : 630 A
ISC Max bus 4d : 7,39 kA

ISC Min bus 4d : 6,4 kA

$$I_N \text{ Lump12} = \frac{345}{0,63 \times \sqrt{3}} = 316,168 \text{ Amp}$$

Long Time Pick Up (I_r)

$$0,4 \times I_N < I_r \leq 1 \times I_N$$

$$0,4 \times 316,168 < I_r \leq 1 \times 316,168$$

$$\frac{126,47}{630} < I_r \leq \frac{334,5}{630}$$

$$0,2 < \text{Tap} \leq 0,502$$

Dipilih Tap = 0,4 (dengan $I_r = 252 \text{ A}$)

Time Dial

LT Band = Fixed

Short Time Pick Up (I_m)

$$2 \times I_r < I_m \leq 10 \times I_r$$

$$2 \times 252 < I_m \leq 10 \times 252$$

$$\frac{378}{630} < I_m \leq \frac{2520}{630}$$

$$0,6 < \text{Tap} \leq 4$$

Dipilih Tap = 0,8 (dengan $I_m = 504 \text{ A}$)

Time Delay

ST Band = Fixed

Instantaneous Pick Up

Inst. Pickup = 6930 A

21. CB 21

Manufactur : Merlin Gerin

Model : NS 630 H (STR 23 SE)

Sensor ID : 630 A

ISC Max bus 4e : 14,85 kA

ISC Min bus 4e : 12,86 kA

$$I_N \text{ Lump13} = \frac{280}{0,63 \times \sqrt{3}} = 256,6 \text{ Amp}$$

Long Time Pick Up (I_r)

$$0,4 \times I_N < I_r \leq 1 \times I_N$$

$$0,4 \times 256,6 < I_r \leq 1 \times 256,6$$

$$\frac{102,64}{630} < I_r \leq \frac{297,84}{630}$$

$$0,163 < \text{Tap} \leq 0,4073$$

Dipilih Tap = 0,4 (dengan $I_r = 252 \text{ A}$)

Time Dial

LT Band = *Fixed*

Short Time Pick Up (I_m)

$$2 \times I_r < I_m \leq 10 \times I_r$$

$$2 \times 252 < I_m \leq 10 \times 252$$

$$\frac{378}{630} < I_m \leq \frac{2520}{630}$$

$$0,6 < \text{Tap} \leq 4$$

Dipilih Tap = 0,8 (dengan $I_m = 504 \text{ A}$)

Time Delay

ST Band = *Fixed*

Instantaneous Pick Up

Inst. Pickup = 6930 A

22. CB 22

Manufaktur : Merlin Gerin

Model : NS 630 H (STR 23 SE)

Sensor ID : 630 A

ISC Max bus 4f : 15,23 kA

ISC Min bus 4f : 13,19 kA

$$I_N C3 = \frac{100}{0,63 \times \sqrt{3}} = 91,643 \text{ Amp}$$

Long Time Pick Up (I_r)

$$0,4 \times I_N < I_r \leq 1 \times I_N$$

$$0,4 \times 91,643 < I_r \leq 1 \times 91,643$$

$$\frac{36,66}{630} < I_r \leq \frac{91,643}{630}$$

$$0,06 < \text{Tap} \leq 0,145$$

Dipilih Tap = 0,4 (dengan $I_r = 252 \text{ A}$)

Time Dial

LT Band = Fixed

Short Time Pick Up (I_m)

$$2 \times I_r < I_m \leq 10 \times I_r$$

$$2 \times 252 < I_m \leq 10 \times 252$$

$$\frac{378}{630} < I_m \leq \frac{2520}{630}$$

$$0,6 < \text{Tap} \leq 4$$

Dipilih Tap = 0,8 (dengan $I_m = 504$ A)

Time Delay

ST Band = Fixed

Instantaneous Pick Up

Inst. Pickup = 6930 A

4.5. Analisis Arc Flash Pada Kondisi Resetting

Analisis *arc flash* ini diperlukan untuk memeriksa atau mengetahui bagaimana *arc flash* yang mungkin terjadi dengan setelan rele yang sudah diperbaharui atau pada kondisi resetting. Berikut ini merupakan bahaya *arc flash* setelah dilakukan resetting terhadap sistem koordinasi pengaman disetiap bus yang ada. Analisis ini dibagi menjadi beberapa tipikal sebagai berikut.

4.5.1. Analisis Arc Flash Pada Kondisi Resetting Tipikal 1

Hasil simulasi *arc flash* pada kondisi resetting tipikal 1 bisa dilihat pada tabel 4.10.

Tabel 4.10 Hasil simulasi *arc flash* pada sistem pengaman resetting tipikal 1

ID	kV	Total Energy (cal/cm ²)	FPB (m)	Hazard Category	FCT (sec)	Ia (kA)
Bus1	20	20,39	7,55	Level D	0,6	14,85
Bus1a	20	9,09	5,04	Level D	0,2	14,85
Bus2	0,63	6,26	2,81	Level C	0,267	19,21
Bus2a	0,63	1,54	0,54	Level A	0,04	11,83
Bus2b	0,63	1,53	0,54	Level A	0,04	11,70
Bus2c	0,63	1,58	0,55	Level A	0,04	12,11
Bus2d	0,63	1,28	0,48	Level A	0,06	6,86
Bus2e	0,63	1,48	0,53	Level A	0,04	11,35

Dari tabel hasil simulasi *arc flash* di atas dapat dibandingkan dengan hasil simulasi *arc flash* pada kondisi eksisting bahwa pada tiap bus setelah resetting, tingkat bahaya *arc flash* yang terjadi menurun semua. Hal ini dikarenakan waktu koordinasi sistem pengamanan yang digunakan berkebalikan dengan tingkat bahaya *arc flash*. Jadi untuk mengurangi tingkat bahaya *arc flash* maka kerja pengamanan yang digunakan harus secepat mungkin.

Pada bus 1 jika terjadi *fault* maka total energi *arc flash* adalah 20,39 cal/cm². Energi sebesar ini berdasarkan NFPA70E 2012 tergolong kedalam level D. Pada bus 1a jika terjadi *fault* maka total energi *arc flash* adalah 9,09 cal/cm². Energi sebesar ini berdasarkan NFPA70E 2012 tergolong kedalam level D. Pada bus 2 jika terjadi *fault* maka total energi *arc flash* adalah 6,26 cal/cm². Energi sebesar ini berdasarkan NFPA70E 2012 tergolong kedalam level C. Pada bus 2a jika terjadi *fault* maka total energi *arc flash* adalah 1,54 cal/cm². Energi sebesar ini berdasarkan NFPA70E 2012 tergolong kedalam level A. Pada bus 2b jika terjadi *fault* maka total energi *arc flash* adalah 1,53 cal/cm². Energi sebesar ini berdasarkan NFPA70E 2012 tergolong kedalam level A. Pada bus 2c jika terjadi *fault* maka total energi *arc flash* adalah 1,58 cal/cm². Energi sebesar ini berdasarkan NFPA70E 2012 tergolong kedalam level A. Pada bus 2d jika terjadi *fault* maka total energi *arc flash* adalah 1,28 cal/cm². Energi sebesar ini berdasarkan NFPA70E 2012 tergolong kedalam level A. Pada bus 2e jika terjadi *fault* maka total energi *arc flash* adalah 1,48 cal/cm². Energi sebesar ini berdasarkan NFPA70E 2012 tergolong kedalam level A.

Level kategori pada bus-bus ini nantinya akan menentukan pakaian dan personel protective equipment (PPE) yang harus digunakan.

4.5.2. Analisis Arc Flash Pada Kondisi Resetting Tipikal 2

Hasil simulasi *arc flash* pada kondisi resetting tipikal 2 bisa dilihat pada tabel 4.11.

Tabel 4.11 Hasil simulasi *arc flash* pada sistem pengamanan resetting tipikal 2

ID	kV	Total Energy (cal/cm ²)	FPB (m)	Hazard Category	FCT (sec)	Ia (kA)
Bus1	20	20,39	7,55	Level D	0,6	14,85
Bus1b	20	9,09	5,04	Level D	0,2	14,85
Bus3	0,63	6,54	2,89	Level C	0,267	19,99

Bus3a	0,63	1,57	0,55	Level A	0,04	12,03
Bus3b	0,63	1,58	0,55	Level A	0,04	12,05
Bus3c	0,63	1,67	0,57	Level A	0,04	12,69
Bus3d	0,63	1,36	0,50	Level A	0,06	7,22
Bus3e	0,63	1,51	0,53	Level A	0,04	11,59

Dari tabel hasil simulasi *arc flash* di atas dapat dibandingkan dengan hasil simulasi *arc flash* pada kondisi eksisting bahwa pada tiap bus setelah resetting, tingkat bahaya *arc flash* yang terjadi menurun semua. Hal ini dikarenakan waktu koordinasi sistem pengaman yang digunakan berkebalikan dengan tingkat bahaya *arc flash*. Jadi untuk mengurangi tingkat bahaya *arc flash* maka kerja pengaman yang digunakan harus secepat mungkin.

Pada bus 1 jika terjadi *fault* maka total energi *arc flash* adalah 20,39 cal/cm². Energi sebesar ini berdasarkan NFPA70E 2012 tergolong kedalam *level D*. Pada bus 1b jika terjadi *fault* maka total energi *arc flash* adalah 9,09 cal/cm². Energi sebesar ini berdasarkan NFPA70E 2012 tergolong kedalam *level D*. Pada bus 3 jika terjadi *fault* maka total energi *arc flash* adalah 6,54 cal/cm². Energi sebesar ini berdasarkan NFPA70E 2012 tergolong kedalam *level C*. Pada bus 3a jika terjadi *fault* maka total energi *arc flash* adalah 1,57 cal/cm². Energi sebesar ini berdasarkan NFPA70E 2012 tergolong kedalam *level A*. Pada bus 3b jika terjadi *fault* maka total energi *arc flash* adalah 1,58 cal/cm². Energi sebesar ini berdasarkan NFPA70E 2012 tergolong kedalam *level A*. Pada bus 3c jika terjadi *fault* maka total energi *arc flash* adalah 1,67 cal/cm². Energi sebesar ini berdasarkan NFPA70E 2012 tergolong kedalam *level A*. Pada bus 3d jika terjadi *fault* maka total energi *arc flash* adalah 1,36 cal/cm². Energi sebesar ini berdasarkan NFPA70E 2012 tergolong kedalam *level A*. Pada bus 3e jika terjadi *fault* maka total energi *arc flash* adalah 1,51 cal/cm². Energi sebesar ini berdasarkan NFPA70E 2012 tergolong kedalam *level A*.

Level kategori pada bus-bus ini nantinya akan menentukan pakaian dan personel protective equipment (PPE) yang harus digunakan.

4.5.3. Analisis Arc Flash Pada Kondisi Resetting Tipikal 3

Hasil simulasi *arc flash* pada kondisi resetting tipikal 3 bisa dilihat pada tabel 4.12.

Tabel 4.12 Hasil simulasi arc flash pada sistem pengamanan resetting tipikal 3

ID	kV	Total Energy (cal/cm ²)	FPB (m)	Hazard Category	FCT (sec)	Ia (kA)
Bus1	20	20,39	7,55	Level D	0,6	14,85
Bus1c	20	9,09	5,04	Level D	0,2	14,85
Bus4	0,63	6,56	2,89	Level C	0,267	20,03
Bus4a	0,63	1,58	0,55	Level A	0,04	12,05
Bus4b	0,63	1,57	0,55	Level A	0,04	12,02
Bus4c	0,63	1,62	0,56	Level A	0,04	12,37
Bus4d	0,63	1,29	0,48	Level A	0,06	6,89
Bus4e	0,63	1,60	0,56	Level A	0,04	12,23
Bus4f	0,63	1,51	0,54	Level A	0,04	11,61

Dari tabel hasil simulasi *arc flash* di atas dapat dibandingkan dengan hasil simulasi *arc flash* pada kondisi eksisting bahwa pada tiap bus setelah resetting, tingkat bahaya *arc flash* yang terjadi menurun semua. Hal ini dikarenakan waktu koordinasi sistem pengamanan yang digunakan berkebalikan dengan tingkat bahaya *arc flash*. Jadi untuk mengurangi tingkat bahaya *arc flash* maka kerja pengamanan yang digunakan harus secepat mungkin.

Pada bus 1 jika terjadi *fault* maka total energi *arc flash* adalah 20,39 cal/cm². Energi sebesar ini berdasarkan NFPA70E 2012 tergolong kedalam *level D*. Pada bus 1b jika terjadi *fault* maka total energi *arc flash* adalah 9,09 cal/cm². Energi sebesar ini berdasarkan NFPA70E 2012 tergolong kedalam *level D*. Pada bus 4 jika terjadi *fault* maka total energi *arc flash* adalah 6,56 cal/cm². Energi sebesar ini berdasarkan NFPA70E 2012 tergolong kedalam *level C*. Pada bus 4a jika terjadi *fault* maka total energi *arc flash* adalah 1,58 cal/cm². Energi sebesar ini berdasarkan NFPA70E 2012 tergolong kedalam *level A*. Pada bus 4b jika terjadi *fault* maka total energi *arc flash* adalah 1,57 cal/cm². Energi sebesar ini berdasarkan NFPA70E 2012 tergolong kedalam *level A*. Pada bus 4c jika terjadi *fault* maka total energi *arc flash* adalah 1,62 cal/cm². Energi sebesar ini berdasarkan NFPA70E 2012 tergolong kedalam *level A*. Pada bus 4d jika terjadi *fault* maka total energi *arc flash* adalah 1,29 cal/cm². Energi sebesar ini berdasarkan NFPA70E 2012 tergolong kedalam *level A*. Pada bus 4e jika terjadi *fault* maka total energi *arc flash* adalah 1,60 cal/cm². Energi sebesar ini berdasarkan NFPA70E 2012 tergolong kedalam *level A*. Pada bus 4f jika terjadi *fault*

maka total energi *arc flash* adalah $1,51 \text{ cal/cm}^2$. Energi sebesar ini berdasarkan NFPA70E 2012 tergolong kedalam *level A*. Level kategori pada bus-bus ini nantinya akan menentukan pakaian dan personel protective equipment (PPE) yang harus digunakan.

4.5.4. Analisis Perhitungan Arc Flash Pada Kondisi Resetting

Perhitungan *arc flash* ini digunakan untuk membandingkan hasil hitungan secara teori dengan hasil simulasi yang didapat dari software ETAP 12.6.0 yaitu meliputi *arcing current*, *incident energy*, dan *flash protection boundary*. Dalam perhitungan ini terlebih dahulu harus mengetahui besarnya *bolted fault current*, yaitu arus hubung singkat tiga fasa. Analisis perhitungan arc flash pada kondisi resetting dapat dihitung sebagai berikut.

Tabel 4.13 Bolted Fault Current

BUS		Isc Bolted
ID	kV	kA
Bus 1	20	14,85
Bus 1a	20	14,85
Bus 1b	20	14,85
Bus 1c	20	14,85
Bus 2	0,63	26,37
Bus 2a	0,63	15,53
Bus 2b	0,63	15,35
Bus 2c	0,63	15,94
Bus 2d	0,63	8,57
Bus 2e	0,63	14,86
Bus 3	0,63	27,54
Bus 3a	0,63	15,82
Bus 3b	0,63	15,86
Bus 3c	0,63	16,78
Bus 3d	0,63	9,07
Bus 3e	0,63	15,20
Bus 4	0,63	27,6
Bus 4a	0,63	15,85
Bus 4b	0,63	15,81

Bus 4c	0,63	16,32
Bus 4d	0,63	8,62
Bus 4e	0,63	16,11
Bus 4f	0,63	15,23

1. BUS 1

Perhitungan Ia

$$I_a = I_{bf}$$

$$I_a = 14,85 \text{ kA}$$

Perhitungan Incident Energy

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

$$E = 2,142 \times 10^6 \times 20 \times 14,82 \times \left(\frac{0,448}{1828,8^2}\right)$$

$$E = 2,142 \times 10^6 \times 20 \times 14,82 \times 1,34 \times 10^{-7}$$

$$E = 85,25 \text{ J/cm}^2 = 20,39 \text{ cal/cm}^2$$

Perhitungan Flash Protection Boundary

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

$$D_B = \sqrt{2,142 \times 10^6 \times 20 \times 14,82 \times \left(\frac{0,448}{5}\right)}$$

$$D_B = \sqrt{2,142 \times 10^6 \times 20 \times 14,82 \times 0,0896}$$

$$D_B = 7550 \text{ mm} = 7,555 \text{ m}$$

2. BUS 1a

Perhitungan Ia

$$I_a = I_{bf}$$

$$I_a = 14,85 \text{ kA}$$

Perhitungan Incident Energy

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

$$E = 2,142 \times 10^6 \times 20 \times 14,85 \times \left(\frac{0,2}{1828,8^2}\right)$$

$$E = 2,142 \times 10^6 \times 20 \times 14,85 \times 5,98 \times 10^{-8}$$

$$E = 38 \text{ J/cm}^2 = 9,09 \text{ cal/cm}^2$$

Perhitungan Flash Protection Boundary

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

$$D_B = \sqrt{2,142 \times 10^6 \times 20 \times 14,85 \times \left(\frac{0,2}{5}\right)}$$

$$D_B = \sqrt{2,142 \times 10^6 \times 20 \times 14,85 \times 0,04}$$

$$D_B = 5044 \text{ mm} = 5,044 \text{ m}$$

3. BUS 1b

Perhitungan Ia

$$I_a = I_{bf}$$

$$I_a = 14,85 \text{ kA}$$

Perhitungan Incident Energy

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

$$E = 2,142 \times 10^6 \times 20 \times 14,85 \times \left(\frac{0,2}{1028,8^2}\right)$$

$$E = 2,142 \times 10^6 \times 20 \times 14,85 \times 5,98 \times 10^{-8}$$

$$E = 38 \text{ J/cm}^2 = 9,09 \text{ cal/cm}^2$$

Perhitungan Flash Protection Boundary

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

$$D_B = \sqrt{2,142 \times 10^6 \times 20 \times 14,85 \times \left(\frac{0,2}{5}\right)}$$

$$D_B = \sqrt{2,142 \times 10^6 \times 20 \times 14,85 \times 0,04}$$

$$D_B = 5044 \text{ mm} = 5,044 \text{ m}$$

4. BUS 1c

Perhitungan Ia

$$I_a = I_{bf}$$

$$I_a = 14,85 \text{ kA}$$

Perhitungan Incident Energy

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

$$E = 2,142 \times 10^6 \times 20 \times 14,85 \times \left(\frac{0,2}{1828,8^2}\right)$$

$$E = 2,142 \times 10^6 \times 20 \times 14,85 \times 5,98 \times 10^{-8}$$

$$E = 38 \text{ J/cm}^2 = 9,09 \text{ cal/cm}^2$$

Perhitungan Flash Protection Boundary

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

$$D_B = \sqrt{2,142 \times 10^6 \times 20 \times 14,85 \times \left(\frac{0,2}{5}\right)}$$

$$D_B = \sqrt{2,142 \times 10^6 \times 20 \times 14,85 \times 0,04}$$

$$D_B = 5044 \text{ mm} = 5,044 \text{ m}$$

5. BUS 2

Perhitungan Ia

$$\text{Log } I_a = K + 0.662 \log I_{bf} + 0.0966 V + 0.000526 G + 0.5588 V$$

$$(\log I_{bf}) - 0.00304 G (\log I_{bf})$$

$$\text{Log } I_a = -0.097 + 0.662 (\log 26,37) + 0.0966 (0,63) + 0.000526 (32)$$

$$+ 0.5588 \times 0,63 \times (\log 26,37) - 0.00304 \times 32 \times (\log 26,37)$$

$$\text{Log } I_a = -0.097 + 0.941 + 0.06086 + 0,01683 + 0,5 - 0.138$$

$$\text{Log } I_a = 1,2837$$

$$I_a = 19,21 \text{ kA}$$

Perhitungan Incident Energy

$$\text{Log } E_n = K1 + K2 + 1.081 (\log I_a) + 0.0011 G$$

$$\text{Log } E_n = -0.555 + (-0.113) + 1.081 (\log 19,21) + 0.0011 (32)$$

$$\text{Log } E_n = -0.555 - 0.113 + 1,3875 + 0,0352$$

$$\text{Log } E_n = 0,7547$$

$$E_n = 5,6846 \text{ J/cm}^2$$

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

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 5,6846 \times \frac{0,267}{0,2} \times \left(\frac{610^{1,473}}{914,4^{1,473}}\right)$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 5,6846 \times 1,335 \times 0,55$$

$$E = 26,1955 \text{ J/cm}^2 = 6,26 \text{ cal/cm}^2$$

Perhitungan Flash Protection Boundary

$$D_B = (4,184 \times C_f \times E_n \times \frac{t}{0,2} \times (\frac{610^X}{Eb}))^{\frac{1}{X}}$$

$$D_B = (4,184 \times 1,5 \times 5,6846 \times \frac{0,267}{0,2} \times (\frac{610^{1,473}}{5}))^{\frac{1}{1,473}}$$

$$D_B = (4,184 \times 1,5 \times 5,6846 \times 1,335 \times 2534,083)^{\frac{1}{1,473}}$$

$$D_B = 2817 \text{ mm} = 2,817 \text{ m}$$

6. BUS 2a

Perhitungan Ia

$$\text{Log Ia} = K + 0,662 \log I_{bf} + 0,0966 V + 0,000526 G + 0,5588 V$$

$$(\log I_{bf}) - 0,00304 G (\log I_{bf})$$

$$\text{Log Ia} = -0,097 + 0,662 (\log 15,53) + 0,0966 (0,63) + 0,000526 (32)$$

$$+ 0,5588 \times 0,63 \times (\log 15,53) - 0,00304 \times 32 \times (\log 15,53)$$

$$\text{Log Ia} = -0,097 + 0,7885 + 0,06086 + 0,01683 + 0,4193 - 0,1159$$

$$\text{Log Ia} = 1,0726$$

$$I_a = 11,82 \text{ kA}$$

Perhitungan Incident Energy

$$\text{Log } E_n = K1 + K2 + 1,081 (\log I_a) + 0,0011 G$$

$$\text{Log } E_n = -0,555 + (-0,113) + 1,081 (\log 11,82) + 0,0011 (32)$$

$$\text{Log } E_n = -0,555 - 0,113 + 1,1595 + 0,0352$$

$$\text{Log } E_n = 0,5267$$

$$E_n = 3,3628 \text{ J/cm}^2$$

$$E = K_{Cf} \times C_f \times E_n \times \frac{t}{0,2} \times (\frac{610^X}{D^X})$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 3,3628 \times \frac{0,04}{0,2} \times (\frac{610^{1,473}}{457,2^{1,473}})$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 3,3628 \times 0,2 \times 1,53$$

$$E = 6,4581 \text{ J/cm}^2 = 1,54 \text{ cal/cm}^2$$

Perhitungan Flash Protection Boundary

$$D_B = (4,184 \times C_f \times E_n \times \frac{t}{0,2} \times (\frac{610^X}{Eb}))^{\frac{1}{X}}$$

$$D_B = (4,184 \times 1,5 \times 3,3628 \times \frac{0,04}{0,2} \times (\frac{610^{1,473}}{5}))^{\frac{1}{1,473}}$$

$$D_B = (4,184 \times 1,5 \times 3,3628 \times 0,2 \times 2534,083)^{\frac{1}{1,473}}$$

$$D_B = 544 \text{ mm} = 0,544 \text{ m}$$

7. BUS 2b

Perhitungan Ia

$$\text{Log } I_a = K + 0.662 \log I_{bf} + 0.0966 V + 0.000526 G + 0.5588 V$$

$$(\log I_{bf}) - 0.00304 G (\log I_{bf})$$

$$\text{Log } I_a = -0.097 + 0.662 (\log 15,35) + 0.0966 (0,63) + 0.000526 (32)$$

$$+ 0.5588 \times 0,63 \times (\log 15,35) - 0.00304 \times 32 \times (\log 15,35)$$

$$\text{Log } I_a = -0.097 + 0.7852 + 0.06086 + 0,01683 + 0,4176 - 0.1154$$

$$\text{Log } I_a = 1,0681$$

$$I_a = 11,7 \text{ kA}$$

Perhitungan Incident Energy

$$\text{Log } E_n = K1 + K2 + 1.081 (\log I_a) + 0.0011 G$$

$$\text{Log } E_n = -0.555 + (-0.113) + 1.081 (\log 11,7) + 0.0011 (32)$$

$$\text{Log } E_n = -0.555 - 0.113 + 1,1547 + 0,0352$$

$$\text{Log } E_n = 0,5219$$

$$E_n = 3,3258 \text{ J/cm}^2$$

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

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 3,3258 \times \frac{0,04}{0,2} \times \left(\frac{610^{1,473}}{457,2^{1,473}} \right)$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 3,3258 \times 0,2 \times 1,53$$

$$E = 6,387 \text{ J/cm}^2 = 1,53 \text{ cal/cm}^2$$

Perhitungan Flash Protection Boundary

$$D_B = (4,184 \times C_f \times E_n \times \frac{t}{0,2} \times \left(\frac{610^X}{E_b} \right))^{\frac{1}{X}}$$

$$D_B = (4,184 \times 1,5 \times 3,3628 \times \frac{0,04}{0,2} \times \left(\frac{610^{1,473}}{5} \right))^{\frac{1}{1,473}}$$

$$D_B = (4,184 \times 1,5 \times 3,3628 \times 0,2 \times 2534,083)^{\frac{1}{1,473}}$$

$$D_B = 544 \text{ mm} = 0,544 \text{ m}$$

8. BUS 2c

Perhitungan Ia

$$\text{Log } I_a = K + 0.662 \log I_{bf} + 0.0966 V + 0.000526 G + 0.5588 V$$

$$(\log I_{bf}) - 0.00304 G (\log I_{bf})$$

$$\text{Log } I_a = -0.097 + 0.662 (\log 15,94) + 0.0966 (0,63) + 0.000526 (32)$$

$$+ 0.5588 \times 0,63 \times (\log 15,94) - 0.00304 \times 32 \times (\log 15,94)$$

$$\text{Log } I_a = -0.097 + 0.796 + 0.06086 + 0,01683 + 0,4233 - 0.117$$

$$\text{Log } I_a = 1,083$$

$$I_a = 12,1 \text{ kA}$$

Perhitungan Incident Energy

$$\text{Log } E_n = K1 + K2 + 1.081 (\log I_a) + 0.0011 G$$

$$\text{Log } E_n = -0.555 + (-0.113) + 1.081 (\log 12,1) + 0.0011 (32)$$

$$\text{Log } E_n = -0.555 - 0.113 + 1,1705 + 0,0352$$

$$\text{Log } E_n = 0,5377$$

$$E_n = 3,45 \text{ J/cm}^2$$

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

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 3,45 \times \frac{0,04}{0,2} \times \left(\frac{610^{1,473}}{457,2^{1,473}} \right)$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 3,45 \times 0,2 \times 1,53$$

$$E = 6,6256 \text{ J/cm}^2 = 1,58 \text{ cal/cm}^2$$

Perhitungan Flash Protection Boundary

$$D_B = (4,184 \times C_f \times E_n \times \frac{t}{0,2} \times \left(\frac{610^X}{E_b} \right))^{\frac{1}{X}}$$

$$D_B = (4,184 \times 1,5 \times 3,45 \times \frac{0,04}{0,2} \times \left(\frac{610^{1,473}}{5} \right))^{\frac{1}{1,473}}$$

$$D_B = (4,184 \times 1,5 \times 3,45 \times 0,2 \times 2534,083)^{\frac{1}{1,473}}$$

$$D_B = 544 \text{ mm} = 0,544 \text{ m}$$

9. BUS 2d

Perhitungan Ia

$$\text{Log } I_a = K + 0.662 \log I_{bf} + 0.0966 V + 0.000526 G + 0.5588 V$$

$$(\log I_{bf}) - 0.00304 G (\log I_{bf})$$

$$\text{Log } I_a = -0.097 + 0.662 (\log 8,57) + 0.0966 (0,63) + 0.000526 (32)$$

$$+ 0.5588 \times 0,63 \times (\log 8,57) - 0.00304 \times 32 \times (\log 8,57)$$

$$\text{Log } I_a = -0.097 + 0.6176 + 0.06086 + 0,01683 + 0,3284 - 0.0908$$

$$\text{Log } I_a = 0,8359$$

$$I_a = 6,85 \text{ kA}$$

Perhitungan Incident Energy

$$\begin{aligned} \text{Log } E_n &= K1 + K2 + 1.081 (\log I_a) + 0.0011 G \\ \text{Log } E_n &= -0.555 + (-0.113) + 1.081 (\log 6,85) + 0.0011 (32) \\ \text{Log } E_n &= -0.555 - 0.113 + 0,9034 + 0,0352 \\ \text{Log } E_n &= 0,2706 \\ E_n &= 1,8647 \text{ J/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E &= K_{CJ} \times C_f \times E_n \times \frac{t}{0,2} \times \left(\frac{610^X}{D^X} \right) \\ E &= 4,184 \times 1,5 \times 1,8647 \times \frac{0,06}{0,2} \times \left(\frac{610^{1,473}}{457,2^{1,473}} \right) \\ E &= 4,184 \times 1,5 \times 1,8647 \times 0,3 \times 1,53 \\ E &= 5,3716 \text{ J/cm}^2 = 1,28 \text{ cal/cm}^2 \end{aligned}$$

Perhitungan Flash Protection Boundary

$$\begin{aligned} D_B &= (4,184 \times C_f \times E_n \times \frac{t}{0,2} \times \left(\frac{610^X}{E_b} \right))^{\frac{1}{X}} \\ D_B &= (4,184 \times 1,5 \times 1,8647 \times \frac{0,06}{0,2} \times \left(\frac{610^{1,473}}{5} \right))^{\frac{1}{1,473}} \\ D_B &= (4,184 \times 1,5 \times 1,8647 \times 0,3 \times 2534,083)^{\frac{1}{1,473}} \\ D_B &= 48 \text{ mm} = 0,48 \text{ m} \end{aligned}$$

10. BUS 2e

Perhitungan Ia

$$\begin{aligned} \text{Log } I_a &= K + 0.662 \log I_{br} + 0.0966 V + 0.000526 G + 0.5588 V \\ &\quad (\log I_{br}) - 0.00304 G (\log I_{br}) \\ \text{Log } I_a &= -0.097 + 0.662 (\log 14,86) + 0.0966 (0,63) + 0.000526 (32) \\ &\quad + 0.5588 \times 0,63 \times (\log 14,86) - 0.00304 \times 32 \times (\log 14,86) \\ \text{Log } I_a &= -0.097 + 0.7759 + 0.06086 + 0,01683 + 0,4126 - 0.114 \\ \text{Log } I_a &= 1,0552 \\ I_a &= 11,35 \text{ kA} \end{aligned}$$

Perhitungan Incident Energy

$$\begin{aligned} \text{Log } E_n &= K1 + K2 + 1.081 (\log I_a) + 0.0011 G \\ \text{Log } E_n &= -0.555 + (-0.113) + 1.081 (\log 11,35) + 0.0011 (32) \\ \text{Log } E_n &= -0.555 - 0.113 + 1,1404 + 0,0352 \\ \text{Log } E_n &= 0,5076 \\ E_n &= 3,2181 \text{ J/cm}^2 \end{aligned}$$

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

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 3,2181 \times \frac{0,04}{0,2} \times \left(\frac{610^{1,473}}{457,2^{1,473}} \right)$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 3,2181 \times 0,2 \times 1,53$$

$$E = 6,1802 \text{ J/cm}^2 = 1,48 \text{ cal/cm}^2$$

Perhitungan Flash Protection Boundary

$$D_B = (4,184 \times C_f \times E_n \times \frac{t}{0,2} \times \left(\frac{610^X}{E_b} \right))^{\frac{1}{X}}$$

$$D_B = (4,184 \times 1,5 \times 3,2181 \times \frac{0,04}{0,2} \times \left(\frac{610^{1,473}}{5} \right))^{\frac{1}{1,473}}$$

$$D_B = (4,184 \times 1,5 \times 3,2181 \times 0,2 \times 2534,083)^{\frac{1}{1,473}}$$

$$D_B = 528 \text{ mm} = 0,528 \text{ m}$$

11. BUS 3

Perhitungan Ia

$$\text{Log Ia} = K + 0.662 \log I_{bf} + 0.0966 V + 0.000526 G + 0.5588 V \\ (\log I_{bf}) - 0.00304 G (\log I_{bf})$$

$$\text{Log Ia} = -0.097 + 0.662 (\log 27,54) + 0.0966 (0,63) + 0.000526 (32) \\ + 0.5588 \times 0,63 \times (\log 27,54) - 0.00304 \times 32 \times (\log 27,54)$$

$$\text{Log Ia} = -0.097 + 0.953 + 0.06086 + 0,01683 + 0,507 - 0.14$$

$$\text{Log Ia} = 1,3007$$

$$I_a = 19,98 \text{ kA}$$

Perhitungan Incident Energy

$$\text{Log } E_n = K1 + K2 + 1.081 (\log I_a) + 0.0011 G$$

$$\text{Log } E_n = -0.555 + (-0.113) + 1.081 (\log 19,98) + 0.0011 (32)$$

$$\text{Log } E_n = -0.555 - 0.113 + 1,406 + 0,0352$$

$$\text{Log } E_n = 0,7732$$

$$E_n = 5,932 \text{ J/cm}^2$$

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

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 5,932 \times \frac{0,267}{0,2} \times \left(\frac{610^{1,473}}{914,4^{1,473}} \right)$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 5,932 \times 1,335 \times 0,55$$

$$E = 27,3356 \text{ J/cm}^2 = 6,53 \text{ cal/cm}^2$$

Perhitungan Flash Protection Boundary

$$D_B = (4,184 \times C_f \times E_n \times \frac{t}{0,2} \times (\frac{610^X}{Eb}))^{\frac{1}{X}}$$

$$D_B = (4,184 \times 1,5 \times 5,932 \times \frac{0,267}{0,2} \times (\frac{610^{1,473}}{5}))^{\frac{1}{1,473}}$$

$$D_B = (4,184 \times 1,5 \times 5,932 \times 1,335 \times 2534,083)^{\frac{1}{1,473}}$$

$$D_B = 2900 \text{ mm} = 2,9 \text{ m}$$

12. BUS 3a

Perhitungan Ia

$$\text{Log } I_a = K + 0.662 \log I_{bf} + 0.0966 V + 0.000526 G + 0.5588 V$$

$$(\log I_{bf}) - 0.00304 G (\log I_{bf})$$

$$\text{Log } I_a = -0.097 + 0.662 (\log 15,82) + 0.0966 (0,63) + 0.000526 (32)$$

$$+ 0.5588 \times 0,63 \times (\log 15,82) - 0.00304 \times 32 \times (\log 15,82)$$

$$\text{Log } I_a = -0.097 + 0.7939 + 0.06086 + 0,01683 + 0,4222 - 0.1166$$

$$\text{Log } I_a = 1,0802$$

$$I_a = 12,03 \text{ kA}$$

Perhitungan Incident Energy

$$\text{Log } E_n = K1 + K2 + 1.081 (\log I_a) + 0.0011 G$$

$$\text{Log } E_n = -0.555 + (-0.113) + 1.081 (\log 12,03) + 0.0011 (32)$$

$$\text{Log } E_n = -0.555 - 0.113 + 1,1678 + 0,0352$$

$$\text{Log } E_n = 0,535$$

$$E_n = 3,4277 \text{ J/cm}^2$$

$$E = K_{CJ} \times C_f \times E_n \times \frac{t}{0,2} \times (\frac{610^X}{D^X})$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 3,4277 \times \frac{0,04}{0,2} \times (\frac{610^{1,473}}{457,2^{1,473}})$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 3,4277 \times 0,2 \times 1,53$$

$$E = 6,5827 \text{ J/cm}^2 = 1,57 \text{ cal/cm}^2$$

Perhitungan Flash Protection Boundary

$$D_B = (4,184 \times C_f \times E_n \times \frac{t}{0,2} \times (\frac{610^X}{Eb}))^{\frac{1}{X}}$$

$$D_B = (4,184 \times 1,5 \times 3,4277 \times \frac{0,04}{0,2} \times (\frac{610^{1,473}}{5}))^{\frac{1}{1,473}}$$

$$D_B = (4,184 \times 1,5 \times 3,4277 \times 0,2 \times 2534,083)^{\frac{1}{1,473}}$$

$$D_B = 550 \text{ mm} = 0,55 \text{ m}$$

13. BUS 3b

Perhitungan Ia

$$\text{Log Ia} = K + 0.662 \log I_{bf} + 0.0966 V + 0.000526 G + 0.5588 V \\ (\log I_{bf}) - 0.00304 G (\log I_{bf})$$

$$\text{Log Ia} = -0.097 + 0.662 (\log 15,86) + 0.0966 (0,63) + 0.000526 (32) \\ + 0.5588 \times 0,63 \times (\log 15,86) - 0.00304 \times 32 \times (\log 15,86)$$

$$\text{Log Ia} = -0.097 + 0.7986 + 0.06086 + 0,01683 + 0,4225 - 0.1168$$

$$\text{Log Ia} = 1,085$$

$$Ia = 12,16 \text{ kA}$$

Perhitungan Incident Energy

$$\text{Log } E_n = K1 + K2 + 1.081 (\log Ia) + 0.0011 G$$

$$\text{Log } E_n = -0.555 + (-0.113) + 1.081 (\log 12,16) + 0.0011 (32)$$

$$\text{Log } E_n = -0.555 - 0.113 + 1,1728 + 0,0352$$

$$\text{Log } E_n = 0,54$$

$$E_n = 3,4674 \text{ J/cm}^2$$

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

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 3,4674 \times \frac{0,04}{0,2} \times \left(\frac{610^{1,473}}{457,2^{1,473}} \right)$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 3,4674 \times 0,2 \times 1,53$$

$$E = 6,659 \text{ J/cm}^2 = 1,59 \text{ cal/cm}^2$$

Perhitungan Flash Protection Boundary

$$D_B = (4,184 \times C_f \times E_n \times \frac{t}{0,2} \times \left(\frac{610^X}{E_b} \right))^{\frac{1}{X}}$$

$$D_B = (4,184 \times 1,5 \times 3,4674 \times \frac{0,04}{0,2} \times \left(\frac{610^{1,473}}{5} \right))^{\frac{1}{1,473}}$$

$$D_B = (4,184 \times 1,5 \times 3,4674 \times 0,2 \times 2534,083)^{\frac{1}{1,473}}$$

$$D_B = 555 \text{ mm} = 0,555 \text{ m}$$

14. BUS 3c

Perhitungan Ia

$$\text{Log Ia} = K + 0.662 \log I_{bf} + 0.0966 V + 0.000526 G + 0.5588 V \\ (\log I_{bf}) - 0.00304 G (\log I_{bf})$$

$$\text{Log Ia} = -0.097 + 0.662 (\log 16,78) + 0.0966 (0,63) + 0.000526 (32) \\ + 0.5588 \times 0,63 \times (\log 16,78) - 0.00304 \times 32 \times (\log 16,78)$$

$$\text{Log } I_a = -0.097 + 0.81 + 0.06086 + 0,01683 + 0,4312 - 0.119$$

$$\text{Log } I_a = 1,1029$$

$$I_a = 12,67 \text{ kA}$$

Perhitungan Incident Energy

$$\text{Log } E_n = K1 + K2 + 1.081 (\log I_a) + 0.0011 G$$

$$\text{Log } E_n = -0.555 + (-0.113) + 1.081 (\log 12,67) + 0.0011 (32)$$

$$\text{Log } E_n = -0.555 - 0.113 + 1,1921 + 0,0352$$

$$\text{Log } E_n = 0,5593$$

$$E_n = 3,625 \text{ J/cm}^2$$

$$E = K_{CJ} \times C_f \times E_n \times \frac{r}{0,2} \times \left(\frac{610^X}{D^X} \right)$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 3,625 \times \frac{0,04}{0,2} \times \left(\frac{610^{1,473}}{457,2^{1,473}} \right)$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 3,625 \times 0,2 \times 1,53$$

$$E = 6,6256 \text{ J/cm}^2 = 1,58 \text{ cal/cm}^2$$

Perhitungan Flash Protection Boundary

$$D_B = (4,184 \times C_f \times E_n \times \frac{r}{0,2} \times \left(\frac{610^X}{E_b} \right))^{\frac{1}{X}}$$

$$D_B = (4,184 \times 1,5 \times 3,625 \times \frac{0,04}{0,2} \times \left(\frac{610^{1,473}}{5} \right))^{\frac{1}{1,473}}$$

$$D_B = (4,184 \times 1,5 \times 3,625 \times 0,2 \times 2534,083)^{\frac{1}{1,473}}$$

$$D_B = 572 \text{ mm} = 0,572 \text{ m}$$

15. BUS 3d

Perhitungan Ia

$$\text{Log } I_a = K + 0.662 \log I_{br} + 0.0966 V + 0.000526 G + 0.5588 V (\log I_{br}) - 0.00304 G (\log I_{br})$$

$$\text{Log } I_a = -0.097 + 0.662 (\log 9,07) + 0.0966 (0,63) + 0.000526 (32) + 0.5588 \times 0,63 \times (\log 9,07) - 0.00304 \times 32 \times (\log 9,07)$$

$$\text{Log } I_a = -0.097 + 0.6339 + 0.06086 + 0,01683 + 0,3371 - 0.0931$$

$$\text{Log } I_a = 0,8586$$

$$I_a = 7,22 \text{ kA}$$

Perhitungan Incident Energy

$$\text{Log } E_n = K1 + K2 + 1.081 (\log I_a) + 0.0011 G$$

$$\text{Log } E_n = -0.555 + (-0.113) + 1.081 (\log 7,22) + 0.0011 (32)$$

$$\text{Log } E_n = -0.555 - 0.113 + 0,928 + 0,0352$$

$$\text{Log } E_n = 0,2952$$

$$E_n = 1,9733 \text{ J/cm}^2$$

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

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 1,9733 \times \frac{0,06}{0,2} \times \left(\frac{610^{1,473}}{457,2^{1,473}} \right)$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 1,9733 \times 0,3 \times 1,53$$

$$E = 5.6844 \text{ J/cm}^2 = 1,36 \text{ cal/cm}^2$$

Perhitungan Flash Protection Boundary

$$D_B = (4,184 \times C_f \times E_n \times \frac{t}{0,2} \times \left(\frac{610^X}{E_b} \right))^{\frac{1}{X}}$$

$$D_B = (4,184 \times 1,5 \times 1,9733 \times \frac{0,06}{0,2} \times \left(\frac{610^{1,473}}{5} \right))^{\frac{1}{1,473}}$$

$$D_B = (4,184 \times 1,5 \times 1,9733 \times 0,3 \times 2534,083)^{\frac{1}{1,473}}$$

$$D_B = 498 \text{ mm} = 0,498 \text{ m}$$

16. BUS 3e

Perhitungan Ia

$$\text{Log Ia} = K + 0.662 \log I_{bf} + 0.0966 V + 0.000526 G + 0.5588 V$$

$$(\log I_{bf}) - 0.00304 G (\log I_{bf})$$

$$\text{Log Ia} = -0.097 + 0.662 (\log 15,2) + 0.0966 (0,63) + 0.000526 (32)$$

$$+ 0.5588 \times 0,63 \times (\log 15,2) - 0.00304 \times 32 \times (\log 15,2)$$

$$\text{Log Ia} = -0.097 + 0.7824 + 0.06086 + 0,01683 + 0,416 - 0.115$$

$$\text{Log Ia} = 1,0641$$

$$Ia = 11,59 \text{ kA}$$

Perhitungan Incident Energy

$$\text{Log } E_n = K1 + K2 + 1.081 (\log Ia) + 0.0011 G$$

$$\text{Log } E_n = -0.555 + (-0.113) + 1.081 (\log 11,59) + 0.0011 (32)$$

$$\text{Log } E_n = -0.555 - 0.113 + 1,1503 + 0,0352$$

$$\text{Log } E_n = 0,5175$$

$$E_n = 3,2923 \text{ J/cm}^2$$

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

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 3,2923 \times \frac{0,04}{0,2} \times \left(\frac{610^{1,473}}{457,2^{1,473}} \right)$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 3,2923 \times 0,2 \times 1,53$$

$$E = 6,3227 \text{ J/cm}^2 = 1,51 \text{ cal/cm}^2$$

Perhitungan Flash Protection Boundary

$$D_B = (4,184 \times C_f \times E_n \times \frac{r}{0,2} \times \left(\frac{610^X}{E_b}\right))^{\frac{1}{X}}$$

$$D_B = (4,184 \times 1,5 \times 3,2181 \times \frac{0,04}{0,2} \times \left(\frac{610^{1,473}}{5}\right))^{\frac{1}{1,473}}$$

$$D_B = (4,184 \times 1,5 \times 3,2181 \times 0,2 \times 2534,083)^{\frac{1}{1,473}}$$

$$D_B = 528 \text{ mm} = 0,528 \text{ m}$$

17. BUS 4

Perhitungan Ia

$$\text{Log } I_a = K + 0,662 \log I_{bf} + 0,0966 V + 0,000526 G + 0,5588 V \\ (\log I_{bf}) - 0,00304 G (\log I_{bf})$$

$$\text{Log } I_a = -0,097 + 0,662 (\log 27,6) + 0,0966 (0,63) + 0,000526 (32) \\ + 0,5588 \times 0,63 \times (\log 27,6) - 0,00304 \times 32 \times (\log 27,6)$$

$$\text{Log } I_a = -0,097 + 0,954 + 0,06086 + 0,01683 + 0,507 - 0,14$$

$$\text{Log } I_a = 1,3017$$

$$I_a = 20,03 \text{ kA}$$

Perhitungan Incident Energy

$$\text{Log } E_n = K1 + K2 + 1,081 (\log I_a) + 0,0011 G$$

$$\text{Log } E_n = -0,555 + (-0,113) + 1,081 (\log 20,03) + 0,0011 (32)$$

$$\text{Log } E_n = -0,555 - 0,113 + 1,407 + 0,0352$$

$$\text{Log } E_n = 0,7742$$

$$E_n = 5,9456 \text{ J/cm}^2$$

$$E = K_{CJ} \times C_f \times E_n \times \frac{r}{0,2} \times \left(\frac{610^X}{D^X}\right)$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 5,9456 \times \frac{0,267}{0,2} \times \left(\frac{610^{1,473}}{914,4^{1,473}}\right)$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 5,9456 \times 1,335 \times 0,55$$

$$E = 27,398 \text{ J/cm}^2 = 6,55 \text{ cal/cm}^2$$

Perhitungan Flash Protection Boundary

$$D_B = (4,184 \times C_f \times E_n \times \frac{r}{0,2} \times \left(\frac{610^X}{E_b}\right))^{\frac{1}{X}}$$

$$D_B = (4,184 \times 1,5 \times 5,9456 \times \frac{0,267}{0,2} \times \left(\frac{610^{1,473}}{5}\right))^{\frac{1}{1,473}}$$

$$D_B = (4,184 \times 1,5 \times 5,9456 \times 1,335 \times 2534,083)^{\frac{1}{1,473}}$$

$$D_B = 2904 \text{ mm} = 2,904 \text{ m}$$

18. BUS 4a

Perhitungan Ia

$$\text{Log Ia} = K + 0.662 \log I_{bf} + 0.0966 V + 0.000526 G + 0.5588 V$$

$$(\log I_{bf}) - 0.00304 G (\log I_{bf})$$

$$\text{Log Ia} = -0.097 + 0.662 (\log 15,85) + 0.0966 (0,63) + 0.000526 (32)$$

$$+ 0.5588 \times 0,63 \times (\log 15,85) - 0.00304 \times 32 \times (\log 15,85)$$

$$\text{Log Ia} = -0.097 + 0.7944 + 0.06086 + 0,01683 + 0,4225 - 0.1167$$

$$\text{Log Ia} = 1,0809$$

$$I_a = 12,05 \text{ kA}$$

Perhitungan Incident Energy

$$\text{Log } E_n = K1 + K2 + 1.081 (\log I_a) + 0.0011 G$$

$$\text{Log } E_n = -0.555 + (-0.113) + 1.081 (\log 12,05) + 0.0011 (32)$$

$$\text{Log } E_n = -0.555 - 0.113 + 1,1685 + 0,0352$$

$$\text{Log } E_n = 0,5357$$

$$E_n = 3,4332 \text{ J/cm}^2$$

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

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 3,4332 \times \frac{0,04}{0,2} \times \left(\frac{610^{1,473}}{457,2^{1,473}} \right)$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 3,4332 \times 0,2 \times 1,53$$

$$E = 6,5933 \text{ J/cm}^2 = 1,58 \text{ cal/cm}^2$$

Perhitungan Flash Protection Boundary

$$D_B = \left(4,184 \times C_f \times E_n \times \frac{t}{0,2} \times \left(\frac{610^X}{E_b} \right) \right)^{\frac{1}{X}}$$

$$D_B = \left(4,184 \times 1,5 \times 3,4332 \times \frac{0,04}{0,2} \times \left(\frac{610^{1,473}}{5} \right) \right)^{\frac{1}{1,473}}$$

$$D_B = \left(4,184 \times 1,5 \times 3,4332 \times 0,2 \times 2534,083 \right)^{\frac{1}{1,473}}$$

$$D_B = 551 \text{ mm} = 0,551 \text{ m}$$

19. BUS 4b

Perhitungan Ia

$$\text{Log Ia} = K + 0.662 \log I_{bf} + 0.0966 V + 0.000526 G + 0.5588 V$$

$$(\log I_{bf}) - 0.00304 G (\log I_{bf})$$

$$\begin{aligned} \text{Log } I_a &= -0.097 + 0.662 (\log 15,81) + 0.0966 (0,63) + 0.000526 (32) \\ &\quad + 0.5588 \times 0,63 \times (\log 15,81) - 0.00304 \times 32 \times (\log 15,81) \end{aligned}$$

$$\text{Log } I_a = -0.097 + 0.7939 + 0.06086 + 0,01683 + 0,422 - 0.1166$$

$$\text{Log } I_a = 1,08$$

$$I_a = 12,02 \text{ kA}$$

Perhitungan Incident Energy

$$\text{Log } E_n = K1 + K2 + 1.081 (\log I_a) + 0.0011 G$$

$$\text{Log } E_n = -0.555 + (-0.113) + 1.081 (\log 12,02) + 0.0011 (32)$$

$$\text{Log } E_n = -0.555 - 0.113 + 1,1674 + 0,0352$$

$$\text{Log } E_n = 0,5346$$

$$E_n = 3,4245 \text{ J/cm}^2$$

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

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 3,4245 \times \frac{0,04}{0,2} \times \left(\frac{610^{1,473}}{457,2^{1,473}} \right)$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 3,4245 \times 0,2 \times 1,53$$

$$E = 6,5766 \text{ J/cm}^2 = 1,57 \text{ cal/cm}^2$$

Perhitungan Flash Protection Boundary

$$D_B = \left(4,184 \times C_f \times E_n \times \frac{t}{0,2} \times \left(\frac{610^X}{E_b} \right) \right)^{\frac{1}{X}}$$

$$D_B = \left(4,184 \times 1,5 \times 3,4245 \times \frac{0,04}{0,2} \times \left(\frac{610^{1,473}}{5} \right) \right)^{\frac{1}{1,473}}$$

$$D_B = \left(4,184 \times 1,5 \times 3,4245 \times 0,2 \times 2534,083 \right)^{\frac{1}{1,473}}$$

$$D_B = 550 \text{ mm} = 0,55 \text{ m}$$

20. BUS 4c

Perhitungan Ia

$$\text{Log } I_a = K + 0.662 \log I_{bf} + 0.0966 V + 0.000526 G + 0.5588 V$$

$$(\log I_{bf}) - 0.00304 G (\log I_{bf})$$

$$\text{Log } I_a = -0.097 + 0.662 (\log 16,32) + 0.0966 (0,63) + 0.000526 (32)$$

$$+ 0.5588 \times 0,63 \times (\log 16,32) - 0.00304 \times 32 \times (\log 16,32)$$

$$\text{Log } I_a = -0.097 + 0.8028 + 0.06086 + 0,01683 + 0,4269 - 0.118$$

$$\text{Log } I_a = 1,0924$$

$$I_a = 12,37 \text{ kA}$$

Perhitungan Incident Energy

$$\text{Log } E_n = K1 + K2 + 1.081 (\log I_a) + 0.0011 G$$

$$\text{Log } E_n = -0.555 + (-0.113) + 1.081 (\log 12,37) + 0.0011 (32)$$

$$\text{Log } E_n = -0.555 - 0.113 + 1,1808 + 0,0352$$

$$\text{Log } E_n = 0,548$$

$$E_n = 3,5318 \text{ J/cm}^2$$

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

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 3,5318 \times \frac{0,04}{0,2} \times \left(\frac{610^{1,473}}{457,2^{1,473}} \right)$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 3,5318 \times 0,2 \times 1,53$$

$$E = 6,7827 \text{ J/cm}^2 = 1,62 \text{ cal/cm}^2$$

Perhitungan Flash Protection Boundary

$$D_B = (4,184 \times C_f \times E_n \times \frac{t}{0,2} \times \left(\frac{610^X}{E_b} \right))^{\frac{1}{X}}$$

$$D_B = (4,184 \times 1,5 \times 3,5318 \times \frac{0,04}{0,2} \times \left(\frac{610^{1,473}}{5} \right))^{\frac{1}{1,473}}$$

$$D_B = (4,184 \times 1,5 \times 3,5318 \times 0,2 \times 2534,083)^{\frac{1}{1,473}}$$

$$D_B = 562 \text{ mm} = 0,562 \text{ m}$$

21. BUS 4d

Perhitungan Ia

$$\text{Log } I_a = K + 0.662 \log I_{br} + 0.0966 V + 0.000526 G + 0.5588 V$$
$$(\log I_{br}) - 0.00304 G (\log I_{br})$$

$$\text{Log } I_a = -0.097 + 0.662 (\log 8,619) + 0.0966 (0,63) + 0.000526 (32)$$
$$+ 0.5588 \times 0,63 \times (\log 8,619) - 0.00304 \times 32 \times (\log 8,619)$$

$$\text{Log } I_a = -0.097 + 0.6193 + 0.06086 + 0,01683 + 0,3293 - 0.091$$

$$\text{Log } I_a = 0,8383$$

$$I_a = 6,89 \text{ kA}$$

Perhitungan Incident Energy

$$\text{Log } E_n = K1 + K2 + 1.081 (\log I_a) + 0.0011 G$$

$$\text{Log } E_n = -0.555 + (-0.113) + 1.081 (\log 6,89) + 0.0011 (32)$$

$$\text{Log } E_n = -0.555 - 0.113 + 0,906 + 0,0352$$

$$\text{Log } E_n = 0,2732$$

$$E_n = 1,8758 \text{ J/cm}^2$$

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

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 1,8758 \times \frac{0,06}{0,2} \times \left(\frac{610^{1,473}}{457,2^{1,473}} \right)$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 1,8758 \times 0,3 \times 1,53$$

$$E = 5.4036 \text{ J/cm}^2 = 1,29 \text{ cal/cm}^2$$

Perhitungan Flash Protection Boundary

$$D_B = (4,184 \times C_f \times E_n \times \frac{t}{0,2} \times \left(\frac{610^X}{E_b} \right))^{\frac{1}{X}}$$

$$D_B = (4,184 \times 1,5 \times 1,8758 \times \frac{0,06}{0,2} \times \left(\frac{610^{1,473}}{5} \right))^{\frac{1}{1,473}}$$

$$D_B = (4,184 \times 1,5 \times 1,8758 \times 0,3 \times 2534,083)^{\frac{1}{1,473}}$$

$$D_B = 481 \text{ mm} = 0,481 \text{ m}$$

22. BUS 4e

Perhitungan Ia

$$\text{Log } I_a = K + 0,662 \log I_{br} + 0,0966 V + 0,000526 G + 0,5588 V$$

$$(\log I_{br}) - 0,00304 G (\log I_{br})$$

$$\text{Log } I_a = -0,097 + 0,662 (\log 16,11) + 0,0966 (0,63) + 0,000526 (32)$$

$$+ 0,5588 \times 0,63 \times (\log 16,11) - 0,00304 \times 32 \times (\log 16,11)$$

$$\text{Log } I_a = -0,097 + 0,7991 + 0,06086 + 0,01683 + 0,4249 - 0,1174$$

$$\text{Log } I_a = 1,0873$$

$$I_a = 12,23 \text{ kA}$$

Perhitungan Incident Energy

$$\text{Log } E_n = K1 + K2 + 1,081 (\log I_a) + 0,0011 G$$

$$\text{Log } E_n = -0,555 + (-0,113) + 1,081 (\log 12,23) + 0,0011 (32)$$

$$\text{Log } E_n = -0,555 - 0,113 + 1,1755 + 0,0352$$

$$\text{Log } E_n = 0,5427$$

$$E_n = 3,489 \text{ J/cm}^2$$

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

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 3,489 \times \frac{0,04}{0,2} \times \left(\frac{610^{1,473}}{457,2^{1,473}} \right)$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 3,489 \times 0,2 \times 1,53$$

$$E = 6,7005 \text{ J/cm}^2 = 1,6 \text{ cal/cm}^2$$

Perhitungan Flash Protection Boundary

$$D_B = (4,184 \times C_f \times E_n \times \frac{t}{0,2} \times \left(\frac{610^X}{E_b} \right))^{\frac{1}{X}}$$

$$D_B = (4,184 \times 1,5 \times 3,489 \times \frac{0,04}{0,2} \times \left(\frac{610^{1,473}}{5}\right))^{\frac{1}{1,473}}$$

$$D_B = (4,184 \times 1,5 \times 3,489 \times 0,2 \times 2534,083)^{\frac{1}{1,473}}$$

$$D_B = 557 \text{ mm} = 0,557 \text{ m}$$

23. BUS 4f

Perhitungan Ia

$$\text{Log } I_a = K + 0.662 \log I_{bf} + 0.0966 V + 0.000526 G + 0.5588 V$$

$$(\log I_{bf}) - 0.00304 G (\log I_{bf})$$

$$\text{Log } I_a = -0.97 + 0.662 (\log 15,23) + 0.0966 (0,63) + 0.000526 (32)$$

$$+ 0.5588 \times 0,63 \times (\log 15,23) - 0.00304 \times 32 \times (\log 15,23)$$

$$\text{Log } I_a = -0.97 + 0.7829 + 0.06086 + 0,01683 + 0,4164 - 0.115$$

$$\text{Log } I_a = 1,065$$

$$I_a = 11,61 \text{ kA}$$

Perhitungan Incident Energy

$$\text{Log } E_n = K1 + K2 + 1.081 (\log I_a) + 0.0011 G$$

$$\text{Log } E_n = -0.555 + (-0.113) + 1.081 (\log 11,61) + 0.0011 (32)$$

$$\text{Log } E_n = -0.555 - 0.113 + 1,1511 + 0,0352$$

$$\text{Log } E_n = 0,5183$$

$$E_n = 3,2984 \text{ J/cm}^2$$

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

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 3,2984 \times \frac{0,04}{0,2} \times \left(\frac{610^{1,473}}{457,2^{1,473}}\right)$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 3,2984 \times 0,2 \times 1,53$$

$$E = 6,3344 \text{ J/cm}^2 = 1,51 \text{ cal/cm}^2$$

Perhitungan Flash Protection Boundary

$$D_B = (4,184 \times C_f \times E_n \times \frac{t}{0,2} \times \left(\frac{610^X}{E_B}\right))^{\frac{1}{X}}$$

$$D_B = (4,184 \times 1,5 \times 3,2984 \times \frac{0,04}{0,2} \times \left(\frac{610^{1,473}}{5}\right))^{\frac{1}{1,473}}$$

$$D_B = (4,184 \times 1,5 \times 3,2984 \times 0,2 \times 2534,083)^{\frac{1}{1,473}}$$

$$D_B = 536 \text{ mm} = 0,536 \text{ m}$$

4.6. Analisa Pakaian dan PPE (*Personel Protective Equipment*)

Setelah mendapatkan kategori tingkat bahaya energi dari masing-masing bus maka dapat diketahui standar pakaian dan PPE (*Personel Protective Equipment*) yang harus digunakan sebagai berikut.


Tabel 4.14 Standar Pakaian dan PPE pada tiap Bus

ID BUS	Kategori	Pakaian dan PPE
BUS 1	Level D	<p>Pakaian Pelindung: Kemeja lengan panjang, celana panjang, dan baju terusan yang tahan api, jaket dan celana busur listrik, tudung wajah busur listrik, sarung tangan busur listrik dan balaclava jika diperlukan.</p> <p>Peralatan Pelindung: Helm pelindung, kacamata pelindung, penutup telinga, sarung tangan kulit, sepatu proyek.</p>
BUS 1a	Level D	<p>Pakaian Pelindung: Kemeja lengan panjang, celana panjang, dan baju terusan yang tahan api, jaket dan celana busur listrik, tudung wajah busur listrik, sarung tangan busur listrik dan balaclava jika diperlukan.</p> <p>Peralatan Pelindung: Helm pelindung, kacamata pelindung, penutup telinga, sarung tangan kulit, sepatu proyek.</p>
BUS 1b	Level D	<p>Pakaian Pelindung: Kemeja lengan panjang, celana panjang, dan baju terusan yang tahan api, jaket dan celana busur listrik, tudung wajah busur listrik, sarung tangan busur listrik dan balaclava jika diperlukan.</p> <p>Peralatan Pelindung: Helm pelindung, kacamata pelindung, penutup telinga, sarung tangan kulit, sepatu proyek.</p>
BUS 1c	Level D	<p>Pakaian Pelindung: Kemeja lengan panjang, celana panjang, dan</p>

		<p>baju terusan yang tahan api, jaket dan celana busur listrik, tudung wajah busur listrik, sarung tangan busur listrik dan balaclava jika diperlukan.</p> <p>Peralatan Pelindung: Helm pelindung, kacamata pelindung, penutup telinga, sarung tangan kulit, sepatu proyek.</p>
BUS 2	Level C	<p>Pakaian Pelindung: Kemeja lengan panjang dan celana panjang atau baju terusan yang tahan api, jaket dan celana busur listrik, pelindung wajah dan balaclava atau tudung wajah busur listrik, sarung tangan busur listrik.</p> <p>Peralatan Pelindung: Helm pelindung, kacamata pelindung, penutup telinga, sarung tangan kulit, sepatu proyek.</p>
BUS 2a	Level A	<p>Pakaian Pelindung: Kemeja dan celana dengan bahan katun yang memiliki ketebalan 4,5 oz/yd².</p> <p>Peralatan Pelindung: Kacamata pelindung dan sepatu.</p>
BUS 2b	Level A	<p>Pakaian Pelindung: Kemeja dan celana dengan bahan katun yang memiliki ketebalan 4,5 oz/yd².</p> <p>Peralatan Pelindung: Kacamata pelindung dan sepatu.</p>
BUS 2c	Level A	<p>Pakaian Pelindung: Kemeja dan celana dengan bahan katun yang memiliki ketebalan 4,5 oz/yd².</p> <p>Peralatan Pelindung: Kacamata pelindung dan sepatu.</p>
BUS 2d	Level A	<p>Pakaian Pelindung: Kemeja dan celana dengan bahan katun yang memiliki ketebalan 4,5 oz/yd².</p> <p>Peralatan Pelindung: Kacamata pelindung dan sepatu.</p>
BUS	Level A	<p>Pakaian Pelindung:</p>

2e		<p>Kemeja dan celana dengan bahan katun yang memiliki ketebalan 4,5 oz/yd². Peralatan Pelindung: Kacamata pelindung dan sepatu.</p>
BUS 3	Level C	<p>Pakaian Pelindung: Kemeja lengan panjang dan celana panjang atau baju terusan yang tahan api, jaket dan celana busur listrik, pelindung wajah dan balaclava atau tudung wajah busur listrik, sarung tangan busur listrik. Peralatan Pelindung: Helm pelindung, kacamata pelindung, penutup telinga, sarung tangan kulit, sepatu proyek.</p>
BUS 3a	Level A	<p>Pakaian Pelindung: Kemeja dan celana dengan bahan katun yang memiliki ketebalan 4,5 oz/yd². Peralatan Pelindung: Kacamata pelindung dan sepatu.</p>
BUS 3b	Level A	<p>Pakaian Pelindung: Kemeja dan celana dengan bahan katun yang memiliki ketebalan 4,5 oz/yd². Peralatan Pelindung: Kacamata pelindung dan sepatu.</p>
BUS 3c	Level A	<p>Pakaian Pelindung: Kemeja dan celana dengan bahan katun yang memiliki ketebalan 4,5 oz/yd². Peralatan Pelindung: Kacamata pelindung dan sepatu.</p>
BUS 3d	Level A	<p>Pakaian Pelindung: Kemeja dan celana dengan bahan katun yang memiliki ketebalan 4,5 oz/yd². Peralatan Pelindung: Kacamata pelindung dan sepatu.</p>
BUS 3e	Level A	<p>Pakaian Pelindung: Kemeja dan celana dengan bahan katun yang memiliki ketebalan 4,5 oz/yd². Peralatan Pelindung: Kacamata pelindung dan sepatu.</p>

BUS 4	Level C	<p>Pakaian Pelindung: Kemeja lengan panjang dan celana panjang atau baju terusan yang tahan api, jaket dan celana busur listrik, pelindung wajah dan balaclava atau tudung wajah busur listrik, sarung tangan busur listrik.</p> <p>Peralatan Pelindung: Helm pelindung, kacamata pelindung, penutup telinga, sarung tangan kulit, sepatu proyek.</p>
BUS 4a	Level A	<p>Pakaian Pelindung: Kemeja dan celana dengan bahan katun yang memiliki ketebalan 4,5 oz/yd².</p> <p>Peralatan Pelindung: Kacamata pelindung dan sepatu.</p>
BUS 4b	Level A	<p>Pakaian Pelindung: Kemeja dan celana dengan bahan katun yang memiliki ketebalan 4,5 oz/yd².</p> <p>Peralatan Pelindung: Kacamata pelindung dan sepatu.</p>
BUS 4c	Level A	<p>Pakaian Pelindung: Kemeja dan celana dengan bahan katun yang memiliki ketebalan 4,5 oz/yd².</p> <p>Peralatan Pelindung: Kacamata pelindung dan sepatu.</p>
BUS 4d	Level A	<p>Pakaian Pelindung: Kemeja dan celana dengan bahan katun yang memiliki ketebalan 4,5 oz/yd².</p> <p>Peralatan Pelindung: Kacamata pelindung dan sepatu.</p>
BUS 4e	Level A	<p>Pakaian Pelindung: Kemeja dan celana dengan bahan katun yang memiliki ketebalan 4,5 oz/yd².</p> <p>Peralatan Pelindung: Kacamata pelindung dan sepatu.</p>
BUS 4f	Level A	<p>Pakaian Pelindung: Kemeja dan celana dengan bahan katun yang memiliki ketebalan 4,5 oz/yd².</p> <p>Peralatan Pelindung:</p>



		Kacamata pelindung dan sepatu.
--	--	--------------------------------

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB 5 PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Pada sistem pengaman eksisting masih terdapat beberapa kesalahan dalam koordinasi sistem proteksinya. Jika ditinjau dari bahaya *arc flash*, tidak ada bus yang memiliki kategori bahaya yang melebihi batas yang diijinkan (melebihi level E).
2. Setting rele sistem pengaman resetting sudah benar dalam koordinasinya sehingga jika terjadi gangguan maka sistem pengaman dapat bekerja dengan benar.
3. Dengan setting rele seperti pada sistem pengaman *resetting* maka kategori bahaya *arc flash* tidak ada yang melebihi level E. Tetapi ada 4 bus yang memiliki kategori bahaya dengan level D yaitu bus 1, bus 1a, bus 1b, dan bus 1c.
4. PPE yang digunakan untuk bus pada sistem harus sesuai dengan standar NFPA 70E. Pada bus 1,1a,1b,1c memiliki level D, pada bus 2,3,4 memiliki level C, dan pada bus 2a,b,c,d,e; 3a,b,c,d,e; 4a,b,c,d,e,f memiliki level A perlu mengenakan pakaian pelindung serta peralatan pelindung yang sesuai dengan standar tersebut.

5.2. Saran

Hal yang disarankan untuk dilakukan setelah melakukan simulasi dan analisis yaitu :

1. Untuk setting dari peralatan pengaman yang digunakan disarankan menggunakan rekomendasi dari hasil perhitungan dan analisis tugas akhir ini.
2. Penggunaan pakaian dan PPE disarankan menggunakan rekomendasi dari hasil analisis dan simulasi yang telah dilakukan pada tugas akhir ini untuk melindungi pekerja dari dampak buruk bahaya *arc flash* bila terjadi hubung singkat.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

Daftar Pustaka

- [1] IEEE Std. 1584-2002, "IEEE Guide for Performing Arc flash Hazard Calculation", Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc 2002.

- [2] NFPA 70E., “Electrical Safety Requirements for Employee Workplaces 2009 Edition”, NFPA 70E-2009.
- [3] MODEL NFPA 70E, "Electrical Safety In The Workplace", 2009 Revision.
- [4] JURNAL TEKNIK ITS Vol. 5, No. 2, 2016, Jumaras Situngkir, Ardyono Priyadi, Margo Pujiantara, “Analisa Arc flash Pada Sistem Tegangan Menengah Di PT. Semen Padang Dengan Menggunakan Metode Perhitungan Yang Dimodifikasi”, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [5] JURNAL TEKNIK ITS Vol. 1, Sept 2012, Rahmat Riyadi, Rony Seto Wibowo, Margo Pujiantara, “Analisa Sistem Proteksi dengan Metode Perhitungan Arc-Flash yang Dimodifikasi untuk Diaplikasikan pada Sistem Tegangan Menengah di PT. Pupuk Kaltim Unit I (PKT I)”, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [6] JURNAL TEKNIK ITS Vol. 6, No. 1, 2017, Dhimas Oktavian Andryana, Ontoseno Penangsang, Rony Seto Wibowo , “Studi Perencanaan Koordinasi Proteksi Mempertimbangkan Busur Api pada Sistem Kelistrikan PT. Semen Indonesia Aceh Menggunakan Standar IEEE 1584-2002”, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [7] JURNAL TEKNIK POMITS Vol. 1, No. 1, 2012, Firman Aji Prasongko, Dr. Ir . Margo Pujiantara, MT, Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.d, “Analisis Dan Reduksi Bahaya Arc Flash Pada Sistem Kelistrikan”, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [8] Frank Anthony Audioré (Tony), Sam Viskovic, Chin Choo, “Electrical Arc Flash Hazard Analysis and Mitigation for Taranaki Combined Cycle Power Station”, IDC Technologies.
- [9] Mission Critical Magazine, Revision 0 11/09, Karl A. Homburg, “Short-Circuit, Coordination, and Arc-Flash Studies for Data Centers:

Best Practices and Pitfalls”, PE, Staff Power Systems Engineer, Square D Engineering Services.

[10] Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), “Arc Flash Studies : Arc Flash Analysis and Hazard Assessment”, e-Hazard.

[11] Atika Rahma H., Drs. Ir. Moch. Dhofir, M.T., Dr. Ir. Harry Soekotjo D., M.Sc., “ANALISIS RESIKO BAHAYA BUSUR LISTRIK PADA SISTEM INSTALASI TEGANGAN RENDAH DI PT. KEBON AGUNG KOTA MALANG”, Teknik Elektro, Universitas Brawijaya.

[12] Cadick, John, Mary Capelli-Schellpfeffer, Dennis Neitzel, 2006, “*Electrical Safety Handbook*”, Third Edition, McGRAW-HILL.

[13] Yudha, Hendra Marta, 2008, “Rele Proteksi : Prinsip dan Aplikasi”, Inderalaya.

[14] Littelfuse, “Electrical Safety Hazard Handbook”.

[15] Penangsang, Ontoseno, 2006, “Diktat Kuliah Analisis Sistem Tenaga Jilid 2” Teknik Elektro ITS, Surabaya.

LAMPIRAN



Gambar Genset (2000 kVA) Pada kantor Pertamina Pusat Jakarta

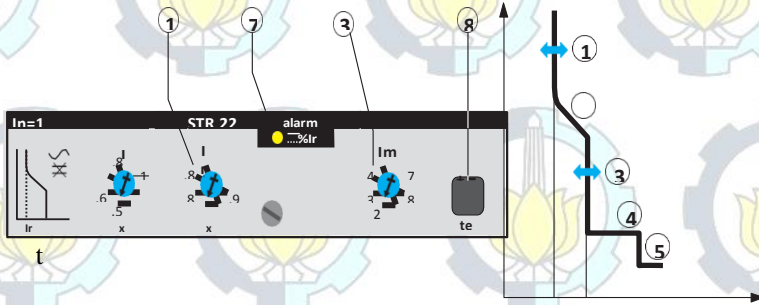


Gambar Trafo Pada Kantor Pertamina Pusat Jakarta

Compact: functions and characteristics

protection of low-voltage distribution networks trip units for Compact NS100 to NS250 (cont.)

electronic trip unit STR22SE and STR22GE



0 Ir Im I

protection

- c LT (long time) overload protection with adjustable Ir threshold (1), based on the actual rms values of the current, as per IEC 947-2, appendix F;
- c ST (short time) short-circuit protection:
 - v with adjustable Im threshold (3);
 - v with fixed time delay (4);

c INST (instantaneous) short-circuit protection, with fixed threshold (5).

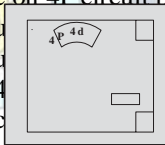
c on 4P circuit breakers, neutral protection is selected

u 3-position setting: 4P 3d (neutral

u 3d +N/2 (neutral protection at 0.5 Ir),

4 protection at Ir), where Ir is the trip unit

c



trip units for		STR22SE				STR22GE			
Compact NS100 to NS250									
rating (A)	In 20 to 70 □ C (*)	40	100	160	250(*)	40	100	160	250(*)
for circuit breaker	Compact NS100 N/H/L	c	c			c	c		
	Compact NS160 N/H/L	c	c	c		c	c	c	
	Compact NS250 N/H/L	c	c	c	c	c	c	c	c
overload protection (long-time)									
tripping threshold(A) Ir		adjustable (48 settings) 0.4...1 x In				adjustable (48 settings) 0.4...1 x In			
tripping time (s)	at 1.5 x Ir	120...180				12...15			
	at 6 x Ir	5...7.5				-			
	at 7.2 x Ir	3.2...5.0				-			
neutral protection	4P 4d	1 x Ir				-			
	4P 3d +N/2	0.5 x Ir				-			
	4P 3d	no protection				-			
short-circuit protection (short-time)									
tripping threshold Im (A)		adjustable (8 settings) 2...10 x Ir				adjustable (8 settings) 2...10 x Ir			

	accuracy	$\pm 15\%$	$\pm 15\%$
time delay (ms)	maximum overcurrent time before tripping	fixed i 40	fixed i 40
	total breaking time	i 60	i 60
	short-circuit protection (instantaneous)		
tripping threshold (A) I_m		fixed u 11 x I_n	fixed u 11 x I_n

(*) If the STR22SE or the STR22GE 250 A is used at high operating temperature, the setting must take into account the thermal limits of the circuit breaker: the overload protection setting cannot exceed 0.95 at 60 °C or 0.90 at 70 °C.

trip unit for	STR23SE				
Compact NS400 and NS630					
rating (A)	I_n 20 to 70	150	250	400	630

for circuit breaker	Compact NS400 N/H/L	c	c	c
	Compact NS630 N/H/L	c		

overload protection (long time)

tripping threshold (A)	I_r	20 to 70°C	adjustable (48 settings) 0.4...1 x I_n
adjustable neutral protection	4P 3d		no protection
	4P 4d		1 x I_r
	4P 3d + N/2		0.5 x I_r
tripping time (s) (min...max)			fixed
		at 1.5 x I_r	120...180
		at 6 x I_r	5...7.5
		at 7.2 I_r	3.2...5.0

short-circuit protection (short time)

tripping threshold (A)	I_m	adjustable (8 settings) 2...10 x I_r
	accuracy	± 15 %
time delay (ms)	max. overcurrent time before tripping	fixed i 40

total breaking time	$i \leq 60$
short-circuit protection (instantaneous)	
tripping threshold (A)	fixed $u \leq 11 \times I_n$
other functions	
indication of type of fault	
zone selective interlocking (ZSI)	
communication (COM)	
built-in ammeter (I)	
"earth-fault" protection (T)	

(*): If the STR23SE/STR53UE, are used at high operating temperature, the setting must take into account the thermal limits of the circuit breaker; the overload protection setting cannot exceed 0.95 at 60 °C and 0.90 at 70 °C for the Compact NS400, and 0.95 at 50 °C, 0.90 at 60 °C and 0.85 at 70 °C for the Compact NS630.

trip units	STR35GE	
for Compact	C801...1251N/H	c
	C801...1001L	c
overload protection (long time)		
tripping threshold	I_r	adjustable (32 settings)

		0.4...1 x I _n
thermal memory		
OFF position		
neutral protection	4P 3d	no protection
	4P 4d	1 x I _r
	4P 3d + Nr	500 A
tripping time (s)	type	fixed
(min...max)	at 1.5 x I _r	12...15
	at 6 x I _r	0.75...0.94
	at 7.2 x I _r	0.50...0.65
short-circuit protection (short time)		
tripping threshold (A)	I_m	adjustable
	accuracy	1.5...10 x I _r (*)
		±15 %
time delay (ms)	max. overcurrent time before tripping	adjustable (4 settings)
	total breaking time	0 i60 i140 i230
		i60 i140 i230 i350

BIODATA PENULIS



Penulis Tugas Akhir berjudul “STUDI KOORDINASI PROTEKSI DENGAN MEMPERHITUNGKAN ARC FLASH PADA SISTEM KELISTRIKAN PT PERTAMINA (PERSERO) JAKARTA” bernama Stephani Mutiara dengan jenis kelamin perempuan dan lahir di Bekasi pada tanggal 16 Oktober 1997. Alamat asal penulis adalah Bekasi Selatan. Penulis merupakan putri kedua dari tiga bersaudara. Penulis memiliki golongan darah O. Penulis memiliki hobi menyanyi dan bermain bulutangkis. Penulis kuliah S1 jurusan teknik elektro di ITS (Institut Teknologi Sepuluh Nopember). Selama berkuliah di ITS, penulis mendapatkan ilmu pengetahuan dan sosial dari perkuliahan, kegiatan, dan organisasi yang tersedia di kampus tersebut.