



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - EE 184801**

**STUDI KOORDINASI PROTEKSI PLTU PACITAN DENGAN  
MEMPERHITUNGKAN *ARC-FLASH* SESUAI STANDART IEEE  
1584-2002**

Firman Restu Fauzi  
NRP 07111440000198

Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
Dimas Fajar Uman Putra ,ST., MT.

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



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**FINAL PROJECT - EE184801**

**STUDY *ARC-FLASH* COORDINATION ON PACITAN POWER  
PLANT WITH STANDART IEEE 1584-2002 CONSIDERATION**

Firman Restu Fauzi  
NRP 07111440000198

Supervisors  
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
Dimas Fajar Uman Putra ,ST., MT.

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 judul “ **Studi Koordinasi Proteksi PLTU Pacitan dengan memperhitungkan *arc-flash* sesuai standart IEEE 1584-2002** ” 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, Januari 2019

Firman Restu Fauzi  
NRP. 0711144000198

**STUDI KOORDINASI PROTEKSI PLTU PACITAN  
DENGAN MEMPERHITUNGKAN ARC-FLASH  
SESUAI STANDART IEEE 1584-2002**

**TUGAS AKHIR**

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

**Menyetujui,**

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

**Dr. Ir. Margo Pujiatara, MT.**  
NIP. 196603181990101001

**Dimas Fajar Uman Putra, ST., MT.**  
NIP. 198811082012121001



# STUDI KOORDINASI PROTEKSI PLTU PACITAN DENGAN MEMPERHITUNGGAN *ARC-FLASH* SESUAI STANDART IEEE 1584-2002

**Nama** : Firman Restu Fauzi  
**Pembimbing I** : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
**Pembimbing II** : Dimas Fajar Uman Putra ,ST., MT.

## ABSTRAK

Koordinasi proteksi merupakan hal yang sangat penting bagi sebuah pembangkit sistem tenaga listrik agar tidak mengalami *blackout*. Sistem proteksi dapat memutuskan arus jika terjadi gangguan serta dapat mengamankan daerah yang tidak mengalami gangguan. Sehingga kontinuitas listrik dapat terjaga. Adanya sistem proteksi tersebut berfungsi untuk melindungi peralatan dari kerusakan dan pemadaman akibat adanya arus gangguan serta mencegah pekerja tidak terkena dampak dari busur api (*arc-flash*). Karena busur api merupakan kondisi yang berbahaya karena adanya pelepasan energi bunga api listrik. *Arc-Flash* adalah total energi yang dilepaskan ketika terjadi gangguan hubung singkat. Berdasarkan standar IEEE 1584-2002 yang mengatur tentang analisis bahaya busur api pada sistem tegangan rendah dan menengah, pengguna dapat dengan mudah menentukan batas keamanan untuk para pekerja. Diantaranya ialah nilai energi *arc-flash* akan besar apabila dihitung dengan menggunakan arus *bolted three phase fault*, sedangkan dari sudut *arc clearing time* yang didapat dari waktu dimana arus gangguan saat itu terjadi akan menghasilkan nilai energi busur api yang lebih rendah. Untuk hasil yang didapat pada tugas akhir ini adalah pada tipikal 1 nilai insiden energi tertinggi 199.6 cal/cm<sup>2</sup> turun menjadi 27.31 cal/cm<sup>2</sup>, pada tipikal 2 nilai insiden energi tertinggi 26.8 cal/cm<sup>2</sup> turun menjadi 17.45 cal/cm<sup>2</sup>, pada tipikal 3 nilai insiden energinya mengalami penurunan yaitu dari 26.8 cal/cm<sup>2</sup> menjadi 17.45 cal/cm<sup>2</sup>, pada tipikal 3 nilai insiden energinya mengalami penurunan yaitu dari 27.56 cal/cm<sup>2</sup> menjadi 16.12 cal/cm<sup>2</sup>.

*Kata Kunci* — Koordinasi sistem proteksi, rele arus lebih fasa, Arc Flash, Arc clearing time, Arus bolted three phase fault.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# ***STUDY ARC FLASH COORDINATION ON PACITAN POWER PLANT WITH IEEE 1584-2002 CONSIDERATION***

**Name** : Firman Restu Fauzi  
**Advisor I** : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
**Advisor II** : Dimas Fajar Uman Putra ,ST., MT.

## ***ABSTRACT***

*Protection coordination is very important for a power generation system so that it does not experience a power outage. The protection system can cut off current if it occurs also can secure areas that cannot be disturbed. Damage and suppression of the provisions of the current and pause of the arc flash. Because the arc becomes a dangerous condition because of the release of energy electric sparks. Arc Flash is the total energy that is carried out which causes a short circuit. Based on the IEEE 1584-2002 standard which regulates hazard analysis in low and medium systems, it can easily determine the magnitude calculated using a current which is made up of three error phases, while from a time angle clearing that can be obtained from the time at which the fault current occurs will result in lower energy values. For the results obtained in this final assignment, the typical 1 highest number of energy is 199.6 kal / cm<sup>2</sup> down to 27.31 cal / cm<sup>2</sup>, in typical 2 The highest value of energy 26.8 cal / cm<sup>2</sup> drops to 17.45 cal / cm<sup>2</sup>, in typical 3 The value of the energy incident. The price decrease from 26.8 cal / cm<sup>2</sup> to 17.45 cal / cm<sup>2</sup>, in typical 3 The value of the energy incident is a decrease which is from 27.56 cal / cm<sup>2</sup> to 16.12 cal / cm<sup>2</sup>*

*Key words - Coordination of protection systems, overcurrent phase relay, Arc flash, Arc clearing time, Three phase fault bolted current.*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## KATA PENGANTAR

*Alhamdulillah Robbil 'Alamin*, terucap syukur kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, berkah dan karuniaNya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “ **Studi Koordinasi Proteksi PLTU Pacitan dengan memperhitungkan Arc-flash sesuai standart IEEE 1584-2002** ”. Tujuan dari penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai salah satu persyaratan untuk mendapatkan gelar sarjana teknik pada bidang studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam kesempatan yang berbahagia ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah berjasa dalam proses penyusunan tugas akhir ini, yaitu :

1. Allah SWT atas karunia, berkah dan rahmatnya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Kedua orang tua penulis serta kakak dan adik penulis atas segala dukungan, dorongan semangat dan doa untuk keberhasilan penulis.
3. Bapak Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT. Dan bapak Dimas Fajar Uman Putra ,ST. ,MT. Selaku dosen pembimbing yang dengan sabar telah memberikan saran, masukan serta bimbingannya.
4. Teman-teman e54 dan teman teman Lab LIPIST yang senantiasa memberikan penulis beberapa bantuan yang sangat berarti.
5. Segenap civitas akademika Departemen Teknik Elektro ITS dan keluarga besar Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro atas dukungan, kerja sama, doa dan masukannya selama proses perkuliahan maupun pengerjaan tugas akhir.

Besar harapan penulis agar buku ini dapat memberikan manfaat bagi banyak pihak, sehingga penulis sangat mengharapkan kritik dan saran membangun dari seluruh pembaca.

Surabaya, Januari 2019

Penulis

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR ISI

### JUDUL

### LEMBAR PERNYATAAN

### LEMBAR PENGESAHAN

<b>ABSTRAK</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	iii
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL .....	xiii

### BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang.....	1
1.2 Perumusan masalah.....	2
1.3 Batasan masalah.....	2
1.4 Tujuan .....	2
1.5 Metodologi.....	2
1.6 Sistematika penulisan.....	3

### BAB II PENGERTIAN *ARC-FLASH* DAN GANGGUAN SISTEM TENAGA LISTRIK

2.1 Pengertian busur api ( <i>arc-flash</i> ).....	5
2.2 Perhitungan Insiden busur api .....	5
2.3 <i>Flash protection boundary</i> .....	7
2.4 Pengelompokan tingkatan energi busur api dengan perlengkapan keselamatan diri sesuai standart NFPA 70E .....	9
2.5 Gangguan Hubung Singkat .....	11
2.6 Rele Arus Lebih (Overcurrent Relay) .....	12
2.6.1 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu .....	12
2.6.2 Rele Arus Lebih Waktu Invers .....	12
2.6.3 Setting Rele Arus Lebih Waktu (Invers) .....	13
2.6.4 Setting Rele Arus Lebih Waktu Tertentu .....	14

### BAB III SISTEM KELISTRIKAN PLTU PACITAN

3.1 Sistem Kelistrikan PLTU .....	15
-----------------------------------	----

3.2 Kapasitas PLTU .....	15
3.3 Sistem Distribusi PLTU Pacitan .....	16
3.4 Beban Tenaga Listrik PLTU Pacitan Tegangan menengah.....	17
3.5 Beban Lump Load pada PLTU Pacitan.....	19

## **BAB IV ANALISA DAN SIMULASI**

4.1 Pemodelan Sistem Kelistrikan di PLTU Pacitan.....	21
4.2 Pemilihan Tipikal Koordinasi Setting Rele Pengaman pada PLTU Pacitan.....	21
4.3 Analisis Arus Gangguan Hubung Singkat.....	22
4.4 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa .....	24
4.4.1 Analisis Tipikal 1 .....	23
4.4.1.1 Analisis Existing Tipikal 1 .....	23
4.4.1.2 Rekomendasi Setelan Rele Arus Lebih Tipikal 1 .....	28
4.4.2 Analisis Tipikal 2.....	31
4.4.2.1 Analisis Existing Tipikal 2.....	31
4.4.2.2 Rekomendasi Setelan Rele Arus Lebih Tipikal 2 .....	36
4.4.3 Analisis Tipikal 3.....	42
4.4.3.1 Analisis Existing Tipikal 3.....	42
4.4.3.2 Rekomendasi Setelan Rele Arus Lebih Tipikal 3 .....	47
4.4.4 Analisis Tipikal 4.....	51
4.4.4.1 Analisis Existing Tipikal 4.....	51
4.4.4.2 Rekomendasi Setelan Rele Arus Lebih Tipikal 4 .....	56
4.5 Hasil Simulasi Incident Energy <i>Arc-Flash</i> .....	60
4.6 Perhitungan Incident Energy <i>Arc- flash</i> .....	64
4.6.1 Perhitungan Incident Energy <i>Arc Flash</i> Tipikal 1.....	64
4.6.2 Perhitungan Incident Energy <i>Arc Flash</i> Tipikal 2.....	65
4.6.3 Perhitungan Incident Energy <i>Arc Flash</i> Tipikal 3.....	67
4.6.4 Perhitungan Incident Energy <i>Arc Flash</i> Tipikal 4.....	70
4.7 Perbandingan pengelompokan perlengkapan keselamatan diri sesuai standart NFPA 70E.....	72

## **BAB V KESIMPULAN**

5.1 Kesimpulan .....	75
----------------------	----

5.2 Saran ..... 75

**DAFTAR PUSTAKA ..... 77**

**LAMPIRAN**

**RIWAYAT TERTULIS**

*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*

## DAFTAR GAMBAR

HALAMAN

<b>Gambar 2.1</b> Jarak dari konduktor aktif bertegangan .....	8
<b>Gambar 2.2</b> Karakteristik rele arus lebih waktu tertentu.....	12
<b>Gambar 2.3</b> Karakteristik rele arus lebih waktu <i>Invers</i> .....	13
<b>Gambar 4.1</b> Pemilihan tipikal koordinasi setting rele.....	22
<b>Gambar 4.2</b> Koordinasi rele tipikal 1 .....	24
<b>Gambar 4.3</b> Kurva koordinasi waktu existing tipikal 1 .....	26
<b>Gambar 4.4</b> Kurva koordinasi waktu resetting tipikal 1 .....	27
<b>Gambar 4.5</b> Koordinasi rele tipikal 2. ....	31
<b>Gambar 4.6</b> Kurva koordinasi waktu existing tipikal 2. ....	35
<b>Gambar 4.7</b> Kurva koordinasi waktu resetting tipikal 2 .....	36
<b>Gambar 4.8</b> Koordinasi rele tipikal 3. ....	43
<b>Gambar 4.9</b> Kurva koordinasi waktu existing tipikal 3 .....	46
<b>Gambar 4.10</b> Koordinasi rele resetting tipikal 3.....	47
<b>Gambar 4.11</b> Koordinasi rele tipikal 4 .....	52
<b>Gambar 4.12</b> Koordinasi rele existing tipikal 4.....	55
<b>Gambar 4.13</b> Koordinasi rele resetting tipikal 4.....	56

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## DAFTAR TABEL

HALAMAN

<b>Tabel 2.1</b>	Pengelompokan tingkatan energi busur api dengan perlengkapan keselamatan diri sesuai standart NFPA 70E...9
<b>Tabel 2.2</b>	Koefisien <i>Invers Time Dial</i> ..... 14
<b>Tabel 3.1</b>	Data Kapasitas Pembangkitan PLTU Pacitan ..... 16
<b>Tabel 3.2</b>	Data Kapasitas Transformator Pada PLTU Pacitan ..... 16
<b>Tabel 3.3</b>	Data Beban Motor Tegangan Menengah di PLTU Pacitan. 17
<b>Tabel 3.4</b>	Data Beban Lump Load tegangan rendah di PLTU Pacitan.19
<b>Tabel 4.1</b>	Data Hubung Singkat Bus pada Tipikal 1..... 23
<b>Tabel 4.2</b>	Data Hubung Singkat Bus pada Tipikal 2. .... 23
<b>Tabel 4.3</b>	Data Hubung Singkat Bus pada Tipikal 3..... 23
<b>Tabel 4.4</b>	Data Hubung Singkat Bus pada Tipikal 4..... 24
<b>Tabel 4.5</b>	Data Setting Rele Eksisting pada Tipikal 1 ..... 25
<b>Tabel 4.6</b>	Data Setting Rele resetting pada Tipikal 1 ..... 25
<b>Tabel 4.7</b>	Data Setting Rele Eksisting pada Tipikal 2 ..... 31
<b>Tabel 4.8</b>	Data Setting Rele resetting tipikal 2..... 33
<b>Tabel 4.9</b>	Data Setting Rele existing rele pada tipikal 3 ..... 43
<b>Tabel 4.10</b>	Data setting rele resetting rele pada tipikal 3 ..... 44
<b>Tabel 4.11</b>	Data setting rele existing rele pada tipikal 4 ..... 52
<b>Tabel 4.12</b>	Data setting rele resetting rele pada tipikal 4 ..... 53
<b>Tabel 4.13</b>	Hasil simulasi <i>incident energy arc flash</i> pada sistem eksisting tipikal 1.. ..... 61
<b>Tabel 4.14</b>	Hasil simulasi <i>incident energy arc flash</i> pada sistem <i>resetting</i> tipikal 1.. ..... 61
<b>Tabel 4.15</b>	Hasil simulasi <i>incident energy arc flash</i> pada sistem eksisting tipikal 2. .... 61
<b>Tabel 4.16</b>	Hasil simulasi <i>incident energy arc flash</i> pada sistem <i>resetting</i> tipikal 2.. ..... 62

<b>Tabel 4.17</b> Hasil simulasi <i>incident energy arc flash</i> pada sistem eksisting tipikal 3. ....	62
<b>Tabel 4.18</b> Hasil simulasi <i>incident energy arc flash</i> pada sistem <i>resetting</i> tipikal 3. ....	63
<b>Tabel 4.19</b> Hasil simulasi <i>incident energy arc flash</i> pada sistem eksisting tipikal 4. ....	63
<b>Tabel 4.20</b> Hasil simulasi <i>incident energy arc flash</i> pada sistem <i>resetting</i> tipikal 4. ....	63
<b>Tabel 4.21</b> Data Perbandingan FPB Kondisi <i>Existing</i> dan <i>Resetting</i> ....	71
<b>Tabel 4.22</b> Perbandingan <i>incident energy arc flash</i> tipikal 1 .....	72
<b>Tabel 4.23</b> Perbandingan <i>incident energy arc flash</i> tipikal 2 .....	72
<b>Tabel 4.24</b> Perbandingan <i>incident energy arc flash</i> tipikal 3 .....	73
<b>Tabel 4.25</b> Perbandingan <i>incident energy arc flash</i> tipikal 4. ....	74

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar belakang

Dalam kehidupan sehari-hari energi listrik sangat penting untuk menunjang kebutuhan manusia sehari-hari. Pembangkit tenaga listrik merupakan sumber energi utama dalam memenuhi kebutuhan energi listrik. Banyak hal yang dapat memicu gangguan hubung singkat, salah satunya kegagalan isolasi pada busbar yang menyebabkan perpindahan muatan dan terdapat perbedaan potensial. Demi menjaga kontinuitas sebuah pembangkit diperlukan juga studi koordinasi agar pembangkit tersebut tidak mengalami *blackout*. Salah satu dampak dari ketika terjadi gangguan yaitu adanya busur api (*arc-flash*)[1]. Pada beberapa kasus tidak disebutkan tanda bahaya *arc-flash* pada peralatan dan berbahaya jika sampai terjadi insiden tersebut. Besar energi yang dihasilkan tergantung dari seberapa cepat rele tersebut mampu beroperasi, semakin cepat maka semakin kecil insiden energi yang dihasilkan.

Salah satu unit Pembangkit tenaga listrik yaitu PLTU Pacitan yang berkapasitas 2 x 315 MW. Diperlukan studi koordinasi yang handal dan aman demi menjaga keselamatan pekerja dari efek busur api. Besar energi busur api harus tidak lebih dari standart yang diizinkan sesuai dengan standart IEEE 1584-2002. Perlu adanya pertimbangan perhitungan energi *arc-flash* karena pada kasus sebelumnya belum ada analisis tentang bahaya dari *arc-flash* beserta kategori keamanannya. Untuk menghitung besar energi busur api diperlukan studi *short circuit* dan studi koordinasi agar didapatkan nilai *fault arcing current*. Dari hasil analisis tersebut diharapkan kategori *arc flash* dapat disetting sesuai standart NFPA 70 E dimana pekerja tidak terkena dampak busur api dan peralatan kelistrikan terhindar dari kerusakan dan kebakaran[2]. Oleh karena itu efek dari busur api harus diminimalkan sesuai kategori bahaya *arc-flash* dan jenis pelindung diri oleh pekerja.

Dalam setting rele proteksi dibutuhkan rele utama dan rele backup agar tidak terjadi kegagalan operasi jika relay utama gagal dalam mengamankan suatu sumber gangguan. Sehingga diharapkan pada tugas akhir ini dapat menganalisis studi koordinasi proteksi dan mengetahui besar insiden energi busur api pada PLTU Pacitan

unit 2 agar keandalan dari peralatan listrik dapat terjaga dengan baik dan aman. Rele yang akan dikoordinasi mencakup rele *overcurrent* pada unit 2 dan didapatkan besar insiden energi busur api (*arc-flash*).

## **1.2 Perumusan masalah**

Permasalahan yang akan dibahas pada tugas akhir ini adalah :

1. Apakah kategori arc-flash berada pada level yang tinggi.
2. Bagaimana mengurangi insiden energi yang muncul.
3. Menganalisa hasil resetting rele yang telah dilakukan menggunakan software Etap 12.6.

## **1.3 Batasan masalah**

Batasan masalah yang akan dibahas pada tugas akhir ini adalah :

1. Menganalisa Pembangkit PLTU Pacitan unit 2 yang berkapasitas 315 MW.
2. Rele proteksi yang digunakan adalah rele *overcurrent*.
3. Peralatan pengaman setting proteksi tegangan menengah dan tegangan rendah yang disetting.
4. Mengetahui besar insiden energi *arc-flash* pada level tegangan menengah dan tegangan rendah.

## **1.4 Tujuan**

Tujuan dari tugas akhir ini adalah :

1. Memperbaiki serta mengkoordinasi ulang setting rele proteksi pada PLTU Pacitan.
2. Menghitung nilai insiden energi *arc-flash* berdasarkan proteksi yang telah dilakukan
3. Klarifikasi besar energi busur api sesuai dengan kategori IEEE 1584-2002.

## **1.5 Metodologi**

Metodologi yang digunakan pada tugas akhir ini adalah :

1. Studi literatur  
Mempelajari tentang arus hubung singkat, analisa sistem tenaga, koordinasi proteksi serta perhitungan besar insiden energi *arc-flash*.

## 2. Pengumpulan data

Pengambilan data didapat dari single line diagram berisi spesifikasi peralatan (generator, motor, transformator, dan peralatan lainnya).

## 3. Simulasi

Mensimulasikan single line diagram dan mencatat nilai arus hubung singkat, mengkoordinasi rele proteksi, menghitung nilai insiden energi.

## 4. Analisa data

Parameter-parameter yang telah diperoleh dari hasil simulasi selanjutnya akan digunakan sebagai komponen untuk melakukan perhitungan nilai setting pada rele dengan memperhitungkan besar insiden energi busur api (*arc-flash*) pada bus tegangan menengah dan tegangan rendah.

## 5. Penulisan buku tugas akhir

Penulisan laporan berisi tentang laporan dan kesimpulan dari beberapa metodologi untuk menggambarkan hasil analisis dan simulasi yang telah dilakukan.

### 1.6 Sistematika penulisan

Bab 1 : Pendahuluan.

Bab ini berisi latar belakang, batasan masalah, tujuan penelitian, metodologi, relevansi dan sistematika penulisan.

Bab 2 : Gangguan Sistem Tenaga Listrik Dan *Arc-Flash*

Bab ini membahas masalah fenomena *arc-flash* dan PPE, gangguan sistem tenaga listrik, analisis hubung singkat, proteksi sistem tenaga listrik, setting rele *overcurrent* dan koordinasi proteksi sistem tenaga listrik.

Bab 3 : Sistem Kelistrikan PLTU Pacitan

Bab ini menjelaskan mengenai sistem kelistrikan yang ada di PLTU Pacitan.

Bab 4 : Analisa Perhitungan Besar Energi Busur Api.

Bab ini membahas mengenai setting rele OCR dan perhitungan insiden energi busur api yang dihasilkan sesuai standart serta membandingkannya dengan sebelum *resetting*.

Bab 5 : Penutup

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

## BAB II

### PENGERTIAN ARC-FLASH DAN GANGGUAN SISTEM TENAGA LISTRIK

#### 2.1 Pengertian busur api (*arc-flash*)

Busur api merupakan kondisi yang berbahaya karena adanya pelepasan energi oleh bunga api listrik[2]. Bunga api ini timbul karena adanya *arcing fault* pada sebuah sistem kelistrikan. Saat terjadi insiden busur api efek yang dihasilkan bisa berupa cahaya, ledakan, dan luka bakar. Hal ini sangat berbahaya bagi keselamatan para pekerja karena dapat menyebabkan kerusakan peralatan listrik dan keamanan para pekerja itu sendiri. Besar *arcing fault current* biasanya lebih rendah dari besar arus *bolted fault* dan dibawah rating *circuit breaker*[3]. *Bolted fault current* sendiri disebabkan oleh beberapa hal yaitu seperti kegagalan isolasi, kegagalan mekanik, debu, dan korosi[4].

#### 2.2 Perhitungan Insiden energi Busur Api

Menurut standart IEEE 1584-2002, perhitungan *arcing current* merupakan langkah awal dalam menentukan level energi busur api. Nilai busur api ditentukan berdasarkan arus hubung singkat tiga fasa. Berikut persamaan perhitungan untuk mencari nilai *arcing current* dibawah tegangan 1 kV.

$$I_g I_a = K + 0.662 I_g I_{bf} + 0.0966 V + 0.00526 G + 0.5588 V (I_g I_{bf}) \\ 0.00304 G (I_g I_{bf}) \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan :

$I_g$  : Log10

$I_a$  : Arus *arcing* (kA)

$K$  : -0.153 untuk konfigurasi terbuka dan -0.997 untuk konfigurasi box

$G$  : Jarak antar konduktor (mm)

$V$  : Tegangan sistem (kV)

$I_{bf}$  : *Bolted fault current* di gangguan tiga fasa (kA)

Sedangkan untuk nilai *arcing current* diatas 1 kV[5] :

$$I_g I_a = 0.00402 + 0.983 I_g I_{bf} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dari persamaan ini dapat diturunkan menjadi :

$$I_g I_a 0.983 I_g I_{bf} = 0.0040 \dots\dots\dots (2.3)$$

$$I_g I_a - I_g I_b f^{0.983} = 0.0040 \dots\dots\dots (2.4)$$

$$I_g (I_a / I_b f^{0.983}) = 0.00402 \dots\dots\dots (2.5)$$

$$I_a / I_b f^{0.983} = 100.00402 \dots\dots\dots (2.6)$$

$$I_a / I_b f^{0.983} = 1.00929 \dots\dots\dots (2.7)$$

$$I_a = 1.00929 I_b f^{0.983} \dots\dots\dots (2.8)$$

Menurut standart IEEE 1584-2002, perhitungan untuk mencari nilai insiden energi busur api (*arc-flash*) yang pertama menggunakan log normalized. Persamaan tersebut berdasarkan data *normalized* waktu *arcing* 0.2 detik dan jarak pekerja 610 mm. Persamaan secara keseluruhan adalah :

$$I_g E_n = K_1 + K_2 + 1.081 I_g I_a + 0.0011 G \dots\dots\dots (2.9)$$

$$E_n = I_a^{1.081} 10^{(K_1 + K_2 + 0.0011 G)} \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan :

- $E_n$  : Insiden energi (J/cm<sup>2</sup>) *normalized* untuk jarak dan waktu
- $K_1$  : -0.792 untuk konfigurasi terbuka dan -0.555 untuk konfigurasi box
- $K_2$  : 0 untuk sistem *ungrounded* dan *high - resistance grounded* dan -0.113 untuk sistem *grounded*
- $G$  : Gap antar konduktor (mm)

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

$$E = 4.184 \times C_f \times E_n \times \left(\frac{t}{0.2}\right) \times \left(\frac{610^x}{D^x}\right) \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana :

- $E$  : Insiden energi (J/cm<sup>2</sup>)
- $C_f$  : Faktor bernilai 1.0 untuk tegangan > 1 kV dan 1.5 untuk tegangan < 1 kV



t : Waktu arcing(s)

D : Jarak dari titik *arc-flash* ke pekerja (mm)

x : Eksponen jarak

### 2.3 Flash protection boundary

Adalah batas jarak perlindungan terhadap titik *arc-flash*. *Flash protection boundary* merupakan jarak konduktor aktif yang memungkinkan seseorang terkena dampak bahaya arc flash, sedangkan jarak ini dapat dikategorikan setelah mengetahui nilai insiden energi[2].

#### ➤ **Limited Approach Boundary**

Merupakan batas perlindungan untuk tidak dilewati oleh orang-orang yang tidak memenuhi syarat kecuali diawasi oleh orang-orang yang berpengalaman. Area ini batas pendekatan jarak dari bagian konduktor aktif dimana terdapat sebuah bahaya sengatan listrik.

#### ➤ **Restricted Approach Boundary**

Batas perlindungan yang hanya boleh dilewati oleh orang-orang yang berpengalaman dan saat melintasi batas ini harus mengenakan pakaian dan peralatan yang dibutuhkan. Peningkatan *arc flash* dapat terjadi dikarenakan kombinasi *arc flash* dengan gerakan pekerja yang tidak sengaja.

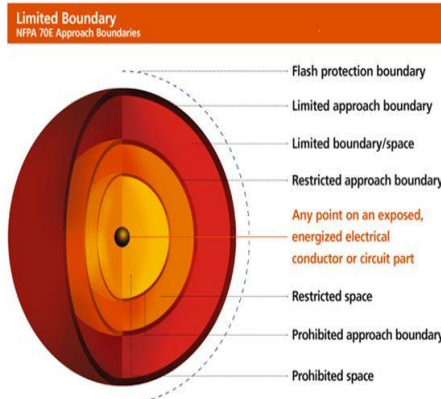
#### ➤ **Prohibited Approach Boundary**

Batas pendekatan / perlindungan jarak dari bagian konduktor aktif dimana pekerja dianggap seperti melakukan kontak langsung dengan konduktor aktif.

#### ➤ **Flash Protection Boundary**

Merupakan batas perlindungan, dimana tingkat *incident energy* sama dengan  $1,2 \text{ cal/cm}^2$ . Area ini memungkinkan pekerja mengalami dampak cedera parah jika terjadi *arc flash*.

# Shock and Arc Boundaries



**Gambar 2.1** Jarak dari konduktor aktif bertegangan.

Dalam menentukan batasan perlindungan makan perlu suatu perhitungan agar pekerja aman terhadap peralatan bertegangan. Untuk level tegangan < 15 kV menurut standart IEEE 1584-2002 menggunakan persamaan sebagai berikut [5] :

$$D_B = \left[ 4.184 C_f E_n \left( \frac{t}{0.2} \right) \left( \frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}} \dots\dots\dots(2.12)$$

Sedangkan untuk level tegangan > 15 kV menggunakan persamaan berikut :

$$D_B = \sqrt{2.142 \times 10^6 \cdot V \cdot I_{df} \left( \frac{t}{E_B} \right)} \dots\dots\dots(2.13)$$

Keterangan :


- $D_B$  : Jarak batas dari titi arcing(mm)
- $C_f$  : Faktor bernilai 1.0 untuk tegangan > 1 kV dan 1.5 untuk tegangan < 1 kV
- $t$  : waktu *arcing* (s)

- $E_N$  : *Incident energy normalized*
- $D$  : Jarak dari titik *arc-flash* ke pekerja (mm)
- $x$  : Eksponen jarak
- $I_{bf}$  : *Bolted fault current*
- $E_B$  :  $5.0 \text{ J/cm}^2$  untuk bare skin (*no hood*) atau rating PPE yang diajukan ( $5.0 \text{ J/cm}^2 = 1.2 \text{ cal/cm}^2$ )

**2.4 Pengelompokan tingkatan energi busur api dengan perlengkapan keselamatan diri sesuai standart NFPA 70E[1]**

Kategori bahaya atau resiko busur api ditentukan menggunakan nomor yang mewakili tingkat bahaya berdasarkan insiden energi. Kategori 0 merepresentasikan adanya bahaya sedikit atau bahkan tidak ada. Sedangkan kategori 4 adalah yang paling berbahaya. Tabel 2.1 menunjukkan klasifikasi resiko yang mengacu pada standar NFPA 70E. Para pekerja harus mempersiapkan diri dengan peralatan serta perlengkapan sesuai dengan kategori resiko sebelum memulai pekerjaan atau inspeksi didekat area yang bertegangan. Dokumentasi dan label peringatan juga diperlukan.

**Tabel 2.1** Pengelompokan tingkatan energi busur api dengan perlengkapan keselamatan diri sesuai standart NFPA 70E[1]

Kategori	Level energi(Cal/cm <sup>2</sup> )	PPE yang dibutuhkan	Contoh pakaian
0	1.2	Bahan yang tidak mudah meleleh namun dapat terbakar	

**Tabel 2.1** Pengelompokan tingkatan energi busur api dengan perlengkapan keselamatan diri sesuai standart NFPA 70E[1] ( Lanjutan )

1	2-4	Pakaian dan celana yang tahan api	
2	4-8	Pakaian dalam dengan kain katun serta pakaian luar yang tahan terhadap api	
3	8-25	Pakaian dalam katun ditambah baju dan celana yang tahan api serta pakaian tahan api yang mencakup seluruh tubuh	
4	25-40	Pakaian dalam katun ditambah mantel dan celana dalam api double layer	

## 2.5 Gangguan Hubung Singkat

Sistem proteksi harus dapat memutus arus gangguan yang muncul dengan cepat dan selektif. Oleh sebab itu, pemilihan rele proteksi harus mempertimbangkan hal-hal seperti proteksi maksimum, biaya peralatan minimum, proteksi yang handal, operasi cepat, desain simpel, dan sensitivitas tinggi terhadap gangguan serta tidak sensitif terhadap arus beban normal[6]. Pada sistem tenaga listrik, gangguan dapat diklasifikasikan menjadi beberapa macam yaitu :

1. Gangguan sistem : Jenis gangguan ini berhubungan dengan kondisi parameter pada sistem.
2. Gangguan mekanis : Dikarenakan terjadinya kerusakan fisik pada peralatan.
3. Gangguan listrik : Gangguan yang timbul dan terjadi di bagian-bagian listrik.

Bila ditinjau, jenis gangguan dapat dikelompokkan menjadi 2 macam yaitu gangguan temporer dan permanen. Ketika terjadi gangguan maka sistem proteksi tersebut harus dapat segera memutus gangguan[4]. Adanya gangguan pada sistem tenaga listrik juga dapat menyebabkan rusaknya peralatan listrik serta terhentinya kontinuitas suplai daya ke beban. Perhitungan untuk menentukan besarnya arus hubung singkat dapat ditentukan melalui perhitungan berikut[7] :

- Hubung singkat 3 fasa

Hubung singkat ini terjadi ketika 3 fasa sekaligus terhubung ke tanah. Arus hubung singkat 3 fasa dapat ditentukan melalui persamaan berikut :

$$I_{SC3} = \frac{V_{LN}}{Z_1} \dots\dots\dots (2.14)$$

- Hubung singkat antar fasa

Hubung singkat ini terjadi ketika 2 fasa saling terhubung namun tidak terhubung ke tanah. Arus hubung singkat antar fasa dapat ditentukan melalui persamaan berikut :

$$I_{SC2} = \frac{V_{LL}}{Z_1 + Z_2} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{SC3} \approx 0.86 I_{SC3} \dots\dots\dots (2.15)$$

- Hubung singkat 1 fasa ke tanah

Hubung singkat ini terjadi ketika salah satu fasa terhubung ke tanah. Besarnya arus pada jenis pentanahan yang digunakan pada

sistem. Arus hubung singkat 1 fasa ke tanah dapat ditentukan melalui persamaan berikut :

$$I_{sc0} = \frac{3VLN}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \dots \dots \dots (2.16)$$

**2.6 Rele Arus Lebih (*Overcurrent Relay*)**

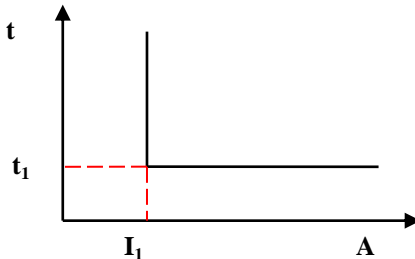
Rele arus lebih adalah rele pengamanan yang bekerja bila arus melebihi nilai settingnya. Gangguan yang dapat diamankan oleh rele arus lebih yaitu gangguan beban lebih dan gangguan hubung singkat (*short circuit*) [4]. Rele ini bekerja ketika memenuhi keadaan berikut [8]:

- $I_f > I_p$  rele bekerja maka (trip)
- $I_f < I_p$  rele tidak bekerja maka (blok)

$I_p$  merupakan nilai setting yang dinyatakan pada sisi sekunder CT. Sedangkan  $I_f$  merupakan nilai arus gangguan yang juga dinyatakan pada sisi sekunder CT. Terdapat beberapa jenis rele arus lebih antara lain rele arus lebih waktu tertentu, rele arus lebih waktu invers dan rele arus lebih waktu instan.

**2.6.1 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu**

Rele ini bekerja sesuai dengan *time delay* yang telah ditentukan. Semua level arus yang melebihi *pickup setpoint* akan diputuskan dalam waktu yang sama. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa jika terdapat arus yang nilainya lebih besar dari  $I_1$  maka arus tersebut akan diputus pada waktu  $t_1$ .

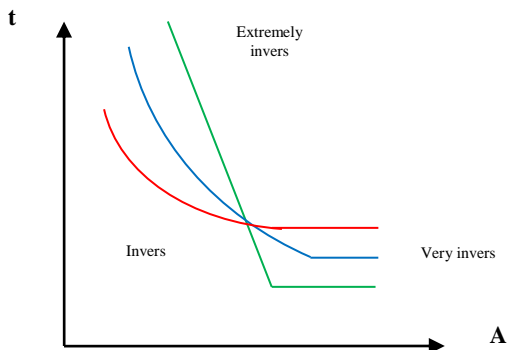


**Gambar 2.2** Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

**2.6.2 Rele Arus Lebih Waktu *Invers***

Rele arus lebih waktu *invers* memiliki waktu operasi yang berbanding terbalik dengan besar arus gangguan yang terjadi. Semakin

kecil nilai arus gangguan maka waktu rele bekerja akan semakin lama, namun jika nilai arus gangguan semakin besar maka waktu kerja rele akan semakin cepat.



**Gambar 2.3** Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu *Invers*

Pada rele arus lebih waktu *invers* terdapat *time dial* yang merupakan waktu operasi dari rele. Semakin besar nilai *time dial* maka waktu operasi rele akan semakin lama. Pada proteksi arus lebih waktu *invers* terdapat beberapa jenis proteksi berdasarkan gradien kurvanya antara lain *standard invers*, *very invers* dan *extremely invers*.

### 2.6.3 Setting Rele Arus Lebih Waktu (*Invers*)

Rele arus lebih waktu *invers* disetting dengan kondisi bahwa rele tersebut tidak boleh bekerja saat arus beban penuh. Oleh sebab itu, setting rele arus lebih waktu *invers* ini harus bernilai sedikit lebih besar dari arus beban penuh. Menurut standart British BS 142 batas setting bernilai  $1,05I_{FL} - 1,3I_{FL}$ . Pada rele arus lebih setting *pickup* ditentukan dengan pemilihan *tap* yang sesuai. Selain *tap* setting, rele arus lebih *invers* harus menentukan setting *time dial*. Berikut persamaan yang digunakan[9] :

$$1.05 I_{FL} \leq I_{Set} \dots \dots \dots (2.17)$$

$$Tap = \frac{I_{set}}{CT_{primary}} \dots \dots \dots (2.18)$$

$$td = \frac{K \times t}{\left[\left(\frac{1}{I_{set}}\right)^\alpha - 1\right]} \dots \dots \dots (2.19)$$

**Tabel 2.2** Koefisien *Invers Time Dial*

Tipe Kurva	Koefisien		
	K	$\alpha$	Operasi minimum
Standard Inverse	0.14	0.02	1.05Is
Very Invers	13.5	1	1.05Is
Extremely Invers	80	2	1.05Is

Keterangan :

$t_d$  : Waktu operasi

$K$  : Konstanta

$I$  : Arus gangguan

$I_s$  : Setting Arus

$\alpha$  : Konstanta

$TMS$  : Time multiplier (0.025 hingga 1.2 secara bertahap dari 0.025)

#### 2.6.4 Setting Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

Rele arus lebih instan akan bekerja seketika jika mengalir arus yang melebihi nilai setting yang telah ditentukan. Untuk menentukan setting rele arus lebih instan ini perlu diketahui besarnya arus hubung singkat antar fasa saat pembangkitan minimum. Untuk menentukan setting rele arus lebih ini menggunakan persamaan berikut :

$$I_{SET} \leq 0.8 I_{SCMin} \dots\dots\dots(2.20)$$

$$T_{ap} = I_{Set} / CT_{primary} \dots\dots\dots(2.21)$$

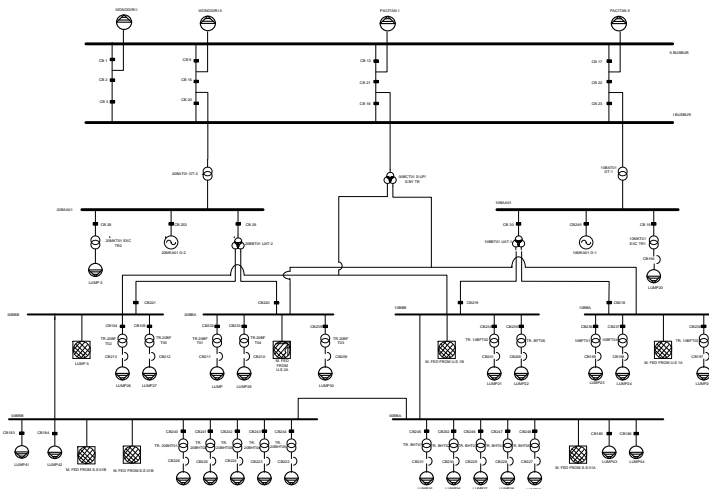


# BAB III

## SISTEM KELISTRIKAN PLTU PACITAN

### 3.1 Sistem Kelistrikan PLTU

Sistem kelistrikan yang ada pada PLTU Pacitan terdiri dari 2 Unit yaitu Unit 1 dan Unit 2, setiap unit terdiri dari generator uap dengan bahan bakar batu bara yang terhubung dengan GITT 150 kV, adapun generator uap setiap unit memiliki kapasitas masing masing sebesar 315,846 MW. Kapasitas pembangkitan tersebut kemudian akan disalurkan ke jaringan interkoneksi SUTT 150 KV melalui empat gardu induk.



**Gambar 3.1** *Single Line Diagram* PLTU Pacitan

### 3.2 Kapasitas PLTU

Unit Pembangkitan Pacitan memiliki dua unit *steam turbine generator* demi menjaga pelayanan listrik ke konsumen. Adapun Tabel 3.1 menunjukkan data kapasitas pembangkit di Pacitan sebagai berikut :

**Tabel 3.1** Data Kapasitas Pembangkitan PLTU Pacitan

NO	ID	MW	MVA	KV	PF(%)
1.	G-1	315.846	371.584	20	0,85
2.	G-2	315.846	371.584	20	0,85

### 3.3 Sistem Distribusi PLTU Pacitan

Sistem distribusi yang dipakai oleh PLTU Pacitan merupakan jaringan distribusi tipe loop Sistem ini memiliki keuntungan dan kekurangan pula. Adapun kelebihan dari sistem ini adalah jika terjadi gangguan di salah satu bus, maka suplai daya ke beban tetap dapat tersalurkan menggunakan sumber lainnya, namun sistem ini sangat komplek sehingga perlu adanya perhitungan yang baik dalam mengkoordinasi sebab jika salah dalam mengkoordinasi dikhawatirkan jika terjadi gangguan pada unit beban yang besar maka sistem dapat terjadi gangguan kestabilan.

Untuk lebih jelas mengenai transformator yang digunakan di PLTU Pacitan dapat dilihat pada Tabel 3.2.

**Tabel 3.2** Data Kapasitas Transformator Pada PLTU Pacitan

No	ID	MVA	KV	%Z	Hubungan
1	10BAT01 GT-1	370	150/20	12,5	Y/Δ
2	20BAT01 GT-2	370	150/20	12,5	Y/Δ
3	10BBT01 UAT-2	40/25/25	20/6,3/6,3	16	Δ/Y/Y
4	20BBT01 UAT-2	40/25/25	20/6,3/6,3	16	Δ/Y/Y
5	00BCT01	40/25/25	20/6,3/6,3	16	Δ/Y/Y
6	10MKT01 EXC TR2	3,6	20/0,9	8	Δ/ Y
7	20MKT01 EXC TR2	3,6	20/0,9	8	Δ/ Y
8	TR. 10BFT01	2	6,3/0,4	6	Δ/ Y
9	TR. 10BFT02	2	6,3/0,4	6	Δ/ Y
10	TR. 10BFT03	0,63	6,3/0,4	4	Δ/ Y
11	TR. 10BFT04	2	6,3/0,4	6	Δ/ Y
12	TR. 10BFT05	2	6,3/0,4	6	Δ/ Y
13	TR. 10BHT01	2	6,3/0,4	6	Δ/ Y
14	TR. 10BHT02	1,25	6,3/0,4	5	Δ/ Y

**Tabel 3.2** Data Kapasitas Transformator Pada PLTU Pacitan ( Lanjutan )

No	ID	MVA	KV	%Z	Hubungan
15	TR. 10BHT03	0,63	6,3/0,4	4	Δ/ Y
16	TR. 10BHT04	0,63	6,3/0,4	4	Δ/ Y
17	TR. 10BHT05	0,63	6,3/0,4	4	Δ/ Y
18	TR. 20BFT01	2	6,3/0,4	6	Δ/ Y
19	TR. 20BFT02	2	6,3/0,4	6	Δ/ Y
20	TR. 20BFT03	0,63	6,3/0,4	4	Δ/ Y
21	TR. 20BFT04	2	6,3/0,4	6	Δ/ Y
22	TR. 20BFT05	2	6,3/0,4	6	Δ/ Y
23	TR. 20BHT01	2	6,3/0,4	6	Δ/ Y
24	TR. 20BHT02	1,25	6,3/0,4	5	Δ/ Y
25	TR. 20BHT03	0,63	6,3/0,4	4	Δ/ Y
26	TR. 20BHT04	0,63	6,3/0,4	4	Δ/ Y
27	TR. 20BHT05	0,63	6,3/0,4	4	Δ/ Y

### 3.4 Beban Tenaga Listrik PLTU Pacitan Tegangan Menengah

Peralatan operasi di PLTU Pacitan seperti motor-motor yang berfungsi untuk sebagai penyalur batu bara dari *jetty* ke boiler, baik untuk tempat pendingin air. Berikut Tabel 3.3 adalah data beban motor tegangan menengah PLTU :

**Tabel 3.3** Data Beban Motor Tegangan Menengah di PLTU Pacitan

ID	KW	KV	PF	IFL	Bus
BUCKET-W STRACKER-R	410	6.3	89	45.26	00BBA
C-01A BELT CONVEYOR	250	6.3	89	27.68	00BBA
C-02A BELT CONVEYOR	160	6.3	89	17.76	00BBB
C-03 BELT CONVEYOR	185	6.3	89	20.48	00BBB
C-04A BELT CONVEYOR	200	6.3	89	22.17	00BBA
C-04B BELT CONVEYOR	200	6.3	89	22.17	00BBB
C-05A BELT CONVEYOR	400	6.3	88	44.67	00BBA
C-07 BELT CONVEYOR	160	6.3	89	17.76	00BBB
C-05B BELT CONVEYOR	400	6.3	88	44.67	00BBB
C.C.C WATER PUMP 2	132	6.3	88	14.82	10BBB
C.C C. WATER PUMP	132	6.3	88	14.82	10BBA
C.C COOLING W.P	280	6.3	89	30.94	20BBA
C.C COOLING W.P 01	280	6.3	89	30.94	10BBB

**Tabel 3.3** Data Beban Motor Tegangan Menengah di PLTU Pacitan  
( Lanjutan )

<b>ID</b>	<b>KW</b>	<b>KV</b>	<b>PF</b>	<b>IFL</b>	<b>Bus</b>
C.C COOLING W.P 02	280	6.3	89	30.94	10BBA
C.C WATER PUMP	132	6.3	88	14.82	20BBB
C.C W PUMP	280	6.3	89	30.94	20BBB
C. PUMP	1000	6.3	91	107.4	20BBA
C. PUMP 01	1000	6.3	91	107.4	10BBB
C. PUMP 02	1000	6.3	91	107.4	10BBA
C.WATER B. PUMP A	132	6.3	88	14.82	20BBA
C. WATER PUMP	1900	6.3	78	237.3	20BBB
C. WATER PUMP 01	1900	6.3	78	237.3	20BBA
C. WATER PUMP 02	1900	6.3	78	237.3	10BBB
C. WATER PUMP 03	1900	6.3	78	237.3	10BBA
COAL CRUSHER A	550	6.3	80	67.44	00BBA
COAL CRUSHER B	550	6.3	80	67.44	00BBB
CONDENSATE PUMP	1000	6.3	91	107.4	20BBB
F. DRAFT FAN	500	6.3	90	54.53	20BBB
F. DRAFT FAN01	500	6.3	90	54.53	20BBA
F. DRAFT FAN 02	500	6.3	90	54.53	10BBB
F. DRAFT FAN 03	500	6.3	90	54.53	10BBA
F.F WATER PUMP	250	6.3	89	27.68	00BBA
IND. DRAFT FAN	2150	6.3	88	237.9	20BBB
IND. DRAFT FAN 02	2150	6.3	88	237.9	10BBA
IND DRAFT FAN	2150	6.3	88	237.9	20BBA
IND DRAFT FAN 01	2150	6.3	88	237.9	10BBB
M.D BOILER F WP 01	3300	6.3	90	356	20BBA
M.D BOILER F WP 02	3300	6.3	90	356	10BBA
M. SPEED MILL	520	6.3	83	61.48	20BBB
M. SPEED MILL01	520	6.3	83	61.48	20BBA
M. SPEED MILL 02	520	6.3	83	61.48	10BBB
M. SPEED MILL02	520	6.3	83	61.48	20BBA
M. SPEED MILL 03	520	6.3	83	61.48	10BBB
M. SPEED MILL03	520	6.3	83	61.48	20BBA
M. SPEED MILL 04	520	6.3	83	61.48	10BBA
M. SPEED MILL 05	520	6.3	83	61.48	10BBA
M. SPEED MILL 06	520	6.3	83	61.48	10BBA
M SPEED MILL	520	6.3	83	61.48	20BBB
P. AIR FAN	1700	6.3	93	178.2	20BBB

**Tabel 3.3** Data Beban Motor Tegangan Menengah di PLTU Pacitan  
( Lanjutan )

<b>ID</b>	<b>KW</b>	<b>KV</b>	<b>PF</b>	<b>IFL</b>	<b>Bus</b>
P. AIR FAN 01	1700	6.3	93	178.2	20BBA
P. AIR FAN 02	1700	6.3	93	178.2	10BBB
P. AIR FAN 03	1700	6.3	93	178.2	10BBA
SERVICE AIR COMP A	200	6.3	89	22.17	00BBA
SERVICE AIR COMP B	200	6.3	89	22.17	00BBB

### 3.5 Beban Lump Load pada PLTU Pacitan

Pada analisis ini beban-beban yang terdapat pada bus tegangan rendah 0.4 kV dapat dianggap sebagai beban Lump. Beban Lump Load adalah beban 80% motor dan 20% static. Adapun list beban dapat dilihat di tabel berikut :

**Tabel 3.4** Data Beban Lump Load tegangan rendah di PLTU Pacitan

<b>ID</b>	<b>KW</b>	<b>KV</b>	<b>PF</b>	<b>IFL</b>	<b>Bus</b>
Lump 26	1800	0.4	90	2887	20BBB
Lump 27	1800	0.4	90	2887	20BBB
Lump 19	1800	0.4	90	2887	20BBA
Lump29	1800	0.4	90	2887	20BBA
Lump30	567	0.4	90	909.3	20BBA
Lump31	1800	0.4	90	2887	00BBB
Lump32	1125	0.4	90	1804	00BBB
Lump33	567	0.4	90	903.3	00BBB
Lump34	567	0.4	90	903.3	00BBB
Lump40	567	0.4	90	903.3	00BBB
Lump41	2650	6.3	88.47	274.5	00BBB
Lump42	886	6.3	100	81.2	00BBB
Lump35	1800	0.4	90	2887	00BBA
Lump36	1125	0.4	90	1804	00BBA
Lump37	567	0.4	90	903.3	00BBA
Lump38	567	0.4	90	903.3	00BBA
Lump39	567	0.4	90	903.3	00BBA
Lump43	2650	6.3	88.47	274.5	00BBA
Lump44	886	6.3	100	81.2	00BBA
Lump21	1800	0.4	90	2887	10BBB
Lump22	1800	0.4	90	2887	10BBB
Lump23	1800	0.4	90	2887	10BBA

**Tabel 3.4** Data Beban Lump Load tegangan rendah di PLTU Pacitan  
( Lanjutan )

Lump24	1800	0.4	90	2887	10BBA
Lump25	567	0.4	90	909.3	10BBA
Lump5	3240	0.9	90	2309	Bus21
Lump20	3240	0.9	90	2309	Bus45
Lump12	119700	150	90	511.9	II Busbur
Lump1	99000	150	90	423.4	II Busbur
Lump2	90000	150	90	384.9	II Busbur
Lump13	108000	150	90	461.9	II Busbur

## BAB IV

### HASIL SIMULASI DAN ANALISA

#### 4.1 Pemodelan Sistem Kelistrikan di PLTU Pacitan

Pemodelan sistem kelistrikan pada PLTU Pacitan dilakukan dengan cara membuat *single line diagram* pada *software* simulasi proteksi. Langkah pertama pembuatan *single line diagram* tersebut adalah mengumpulkan data yang meliputi data transformator, generator, motor, bus, setelan rele *existing*.

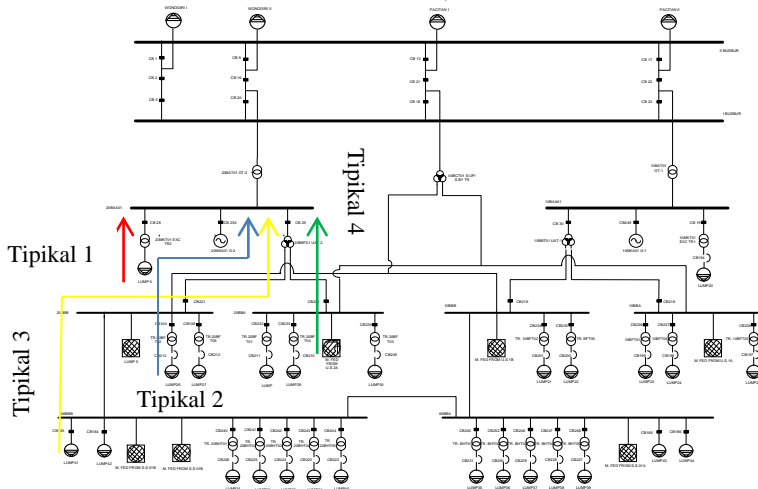
Dari pembuatan *single line diagram* tersebut dapat diketahui sistem kelistrikan *existing*. Setelah pemodelan selesai dilakukan langkah selanjutnya adalah dengan melakukan analisis aliran daya (*load flow*) untuk mengetahui keadaan sistem pada saat *steady state*. Dari analisis ini dapat diketahui tegangan bus, pembebanan transformator, pembebanan bus, rugi-rugi daya listrik, dan aliran daya *existing* pada *single line diagram* yang dibuat. Sebagaimana telah diterangkan pada bab sebelumnya, perencanaan proteksi ini akan membahas rele pengaman yaitu rele arus lebih fasa dan perhitungan insiden energy *arc-flash*.

#### 4.2 Pemilihan Tipikal Koordinasi Setting Rele Pengaman pada PLTU Pacitan

Dalam setting rele pengaman untuk mempermudah *setting* koordinasi rele pengaman, maka dipilih beberapa tipikal dari masing-masing *plant* utama PLTU Pacitan.

1. Tipikal 1 : Koordinasi bus mulai bus 21 0,9 kV hingga bus 20BBA01 20 kV (LVCB 260, LVCB 256, HVCB 28, Rele OCR HVCB 28).
2. Tipikal 2 : Koordinasi bus mulai bus 49 0,4 kV hingga bus 20BBA01 20 kV (LVCB 261, LVCB 213, HVCB 104, Rele OCR HVCB 104, HVCB 221, Rele OCR HVCB 221, HVCB 29, Rele OCR HVCB 29).
3. Tipikal 3 : Koordinasi bus mulai bus 00BBB 6,3 kV hingga bus 20BBA01 20 kV (HVCB 183, Rele OCR HVCB 183, HVCB 221, Rele OCR HVCB 221, HVCB 29, Rele OCR HVCB 29).

4. Tipikal 4 : Koordinasi bus mulai bus 20BBA 6,3 kV hingga bus 20BBA01 20kV (Rele OCR HVCB 151, HVCB Rele OCR HVCB 220, HVCB 29, Rele OCR HVCB 29).



**Gambar 4.1** Pemilihan tipikal koordinasi setting rele

### 4.3 Analisis Arus Gangguan Hubung Singkat

Setelah melakukan analisis *load flow*, maka langkah berikutnya adalah analisis hubung singkat (*short circuit*) menggunakan *software* simulasi. Analisis ini digunakan untuk menentukan *setting* rele arus lebih. Untuk perhitungan arus hubung singkat digunakan 2 parameter, yaitu hubung singkat maksimum dan hubung singkat minimum. Hubung singkat minimum adalah arus hubung singkat dua fasa pada saat keadaan steady state (*30 cycle*) ketika pembangkitan minimum. Sedangkan hubung singkat maksimum adalah hubung singkat 3 fasa pada saat *1/2 cycle*, *4 cycle*. Pada proses setting rele arus lebih tugas akhir ini, dibutuhkan data arus gangguan hubung singkat maksimum *4 cycle* untuk keperluan perhitungan *time dial* kurva *invers* dan setting rele pengaman transformator.

Untuk menghitung arus hubung singkat digunakan *software* simulasi. Hubung singkat minimum adalah hubung singkat 2 fasa pada *30 cycle*. Sedangkan hubung singkat maksimum adalah hubung singkat 3 fasa pada *4 cycle*. Pada table 4.1 sampai 4.4 didapatkan hasil simulasi dengan tipikalnya masing-masing.



**Tabel 4.1** Data Hubung Singkat Bus pada Tipikal 1.

No.	Bus ID	Tegangan (kV)	Isc Max (kA)	Isc Max (kA)	Isc Min (kA)
			$\frac{1}{2}$ cycle (3 $\phi$ )	4 cycle (3 $\phi$ )	30 cycle (2 $\phi$ )
1.	Bus 21	0.9	28.55	28.53	24.54
2.	Bus 20BBA01	20	118.4	111.5	59.76

**Tabel 4.2** Data Hubung Singkat Bus pada Tipikal 2.

No.	Bus ID	Tegangan (kV)	Isc Max (kA)	Isc Max (kA)	Isc Min (kA)
			$\frac{1}{2}$ cycle (3 $\phi$ )	4 cycle (3 $\phi$ )	30 cycle (2 $\phi$ )
1.	Bus 49	0.4	44.01	43.27	35.88
2.	Bus 20BBB	6.3	33.24	27.41	16.29
3.	Bus 20BBA01	20	118.4	111.5	59.76

**Tabel 4.3** Data Hubung Singkat Bus pada Tipikal 3.

No.	Bus ID	Tegangan (kV)	Isc Max (kA)	Isc Max (kA)	Isc Min (kA)
			$\frac{1}{2}$ cycle (3 $\phi$ )	4 cycle (3 $\phi$ )	30 cycle (2 $\phi$ )
1.	Bus 00BBB	6.3	33.03	28.05	17.1
2.	Bus 20BBB	6.3	33.24	27.41	16.29
3.	Bus 20BBA01	20	118.4	111.5	59.76

**Tabel 4.4** Data Hubung Singkat Bus pada Tipikal 4.

No.	Bus ID	Tegangan (kV)	Isc Max (kA)	Isc Max (kA)	Isc Min (kA)
			½ cycle (3 φ)	4 cycle (3 φ)	30 cycle (2 φ)
1.	Bus 20BBA	6.3	33.03	28.05	17.1
2.	Bus 20BBA01	20	118.4	111.5	59.76

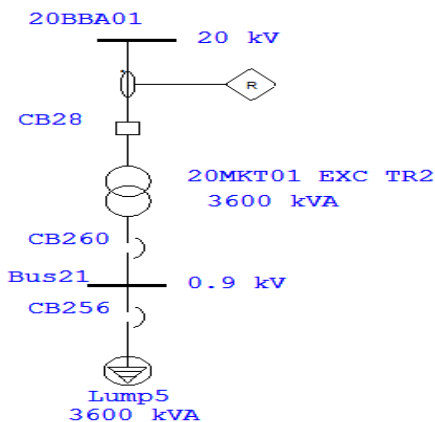
#### 4.4 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa

Koordinasi rele arus lebih gangguan fasa adalah pemilihan pada peralatan pengaman yang memiliki tujuan untuk mengisolasi suatu sistem pada saat terjadi gangguan arus lebih fasa. Gangguan yang terjadi dapat berupa gangguan beban lebih dan gangguan hubung singkat. Sehingga setelah koordinasi proteksi yang tepat diperlukan untuk menjaga stabilitas dan kontinuitas daya listrik.

##### 4.4.1 Analisis Tipikal 1

##### 4.4.1.1 Analisis Existing Tipikal 1

Pada tipikal 1 ini akan dilakukan analisa mengenai sistem proteksi dan *arc flash*. Tipikal 1 terletak pada beban Lump 5 sampai Bus 20BBA01. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.2.



**Gambar 4.2** Koordinasi rele tipikal 1

**Tabel 4.5** Data Setting Rele Eksisting pada Tipikal 1

<i>Relay ID &amp; Model</i>	<i>Setting</i>	
<i>LVCB260 Bus 21 Merlin Gerlin STR 38S</i>	<i>I sensor</i>	<i>3200 A</i>
	<i>LT Pick Up</i>	<i>0.79</i>
	<i>LT Band</i>	<i>0.8</i>
	<i>ST band</i>	<i>0.2</i>
	<i>ST Pick Up</i>	<i>2</i>
	<i>Instantaneous</i>	<i>Disable</i>
<i>LVCB256 Bus 21 Merlin Gerlin STR 38S</i>	<i>I sensor</i>	<i>3200 A</i>
	<i>LT Pick Up</i>	<i>0.79</i>
	<i>LT Band</i>	<i>0.8</i>
	<i>ST band</i>	<i>0.3</i>
	<i>ST Pick Up</i>	<i>2</i>
	<i>Instantaneous</i>	<i>Disable</i>
<i>Relay CB28 Schneider Electric Sepam Series 10</i>	<i>Curve Type</i>	<i>Extremely Inverse</i>
	<i>Pick Up Range</i>	<i>0.1-2.4</i>
	<i>Pick Up</i>	<i>0.36</i>
	<i>Time Dial</i>	<i>1.68 s</i>
	<i>Relay Ampere</i>	<i>1.8/144</i>
	<i>Instantaneous</i>	
	<i>Pick Up Range</i>	<i>0.1-2.4</i>
	<i>Pick Up</i>	<i>16.25</i>
	<i>Relay Ampere</i>	<i>81.25/6500</i>
<i>Time Delay</i>	<i>0.1 s</i>	

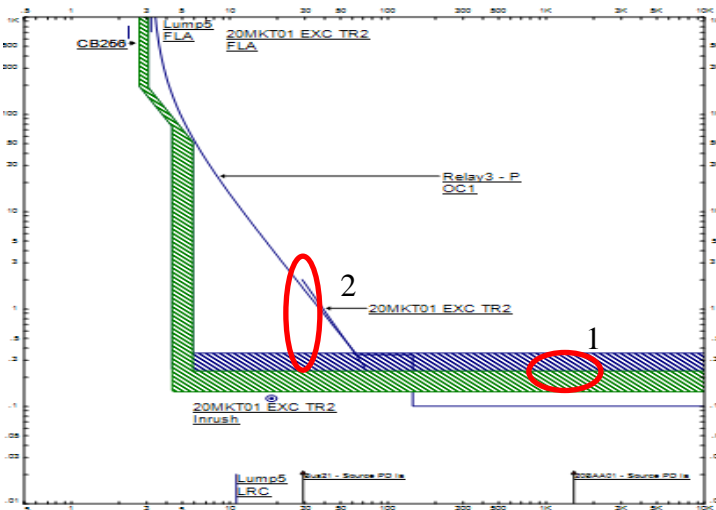
**Tabel 4.6** Data Setting Rele resetting pada Tipikal 1

<i>Relay ID &amp; Model</i>	<i>Setting</i>	
<i>LVCB260 Bus 21 Merlin Gerlin STR 38S</i>	<i>I sensor</i>	<i>3200 A</i>
	<i>LT Pick Up</i>	<i>0.79</i>
	<i>LT Band</i>	<i>0.8</i>
	<i>ST band</i>	<i>0</i>
	<i>ST Pick Up</i>	<i>2</i>
	<i>Instantaneous</i>	<i>Disable</i>
<i>LVCB256</i>	<i>I sensor</i>	<i>3200 A</i>

**Tabel 4.6** Data Setting Rele resetting pada Tipikal 1 ( Lanjutan )

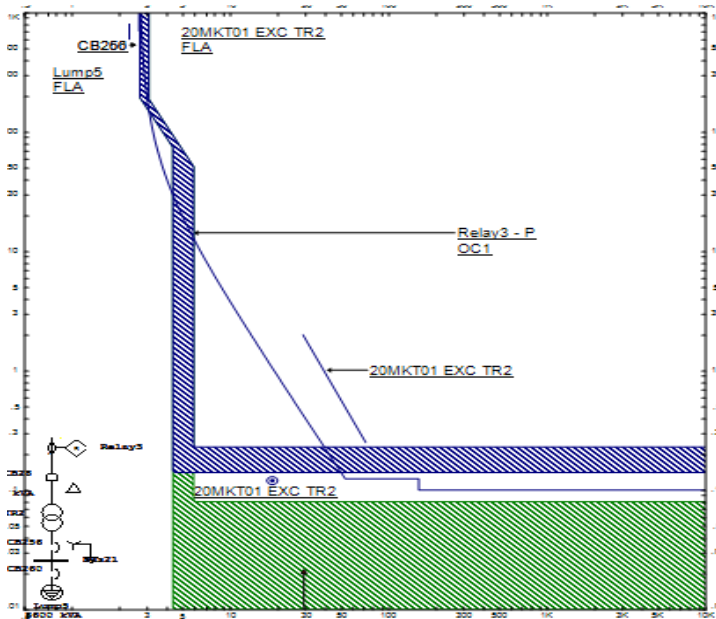
<i>Bus 21 Merlin Gerlin STR 38S</i>	<i>LT Pick Up</i>	<i>0.79</i>
	<i>LT Band</i>	<i>0.8</i>
	<i>ST band</i>	<i>0.2</i>
	<i>ST Pick Up</i>	<i>2</i>
	<i>Instantaneous</i>	<i>Disable</i>
<i>Relay CB28 Schneider Electric Sepam Series 10</i>	<i>Curve Type</i>	<i>Extremely Inverse</i>
	<i>Pick Up Range</i>	<i>0.1-2.4</i>
	<i>Pick Up</i>	<i>0.3</i>
	<i>Time Dial</i>	<i>0.62 s</i>
	<i>Relay Ampere</i>	<i>1.5/120</i>
	<i>Instantaneous</i>	
	<i>Pick Up Range</i>	<i>0.1-2.4</i>
	<i>Pick Up</i>	<i>17.5</i>
	<i>Relay Ampere</i>	<i>87.5/7000</i>
<i>Time Delay</i>	<i>0.1 s</i>	

Pada koordinasi proteksi tipikal 1 terdapat beberapa koordinasi rele pengaman yang masih perlu disempurnakan. Tanda lingkaran merah pada gambar 4.3 menunjukkan kesalahan yang harus diperbaiki.



**Gambar 4.3** Kurva koordinasi waktu existing tipikal 1

- Pada lingkaran 1 terdapat koordinasi yang kurang tepat.waktu dari LVCB 260 terlalu cepat.sehingga jarak grading time dari LVCB260 ke LVCB 256 kurang tepat.
- Pada lingkaran 2 rele CB28 bagian sisi primer trafo 20MKT01 TR 2 masih mengenai damage curve.Jarak dari grading time antara LVCB 256 yang melindungi bagian sisi sekunder trafo dan rele CB28 kurang tepat.sehingga masih kurang cepat dalam merespon jika terjadi gangguan yang terjadi.



**Gambar 4.4** Kurva koordinasi waktu resetting tipikal 1

Dari hasil perhitungan tipikal 1 didapatkan setelan plot kurva seperti pada gambar 4.4. Dimana seluruh rele telah disetel ulang,perbaikan yang dilakukan yaitu :

- Memperbaiki LVCB 260 ,dimana time delay dari LVCB 260 terlalu cepat dan tidak sesuai dengan nilai grading time
- Untuk LVCB 256 merupakan back up dari LVCB 260 jika LVCB 260 gagal beroperasi.

- Perbaikan pada rele CB28 dimana jika terjadi gangguan di trafo 20MK01 dapat bekerja secara cepat dan tepat .

#### 4.4.1.2 Rekomendasi Setelan Rele Arus Lebih Tipikal 1

##### ❖ LVCB 260

Manufaktur	: Merlin Gerlin
Model	: STR 38S
Isc max 4 cycle 3 $\phi$ Bus 21	= 28.53 kA
Isc min 30 cycle 2 $\phi$ Bus 21	= 24.54 kA
Isensor	= 3200 A
FLA	= $\frac{\text{kVA}}{\sqrt{3}\text{kV}} = \frac{3600}{\sqrt{3}\times 0.9} = 2309 \text{ A}$

##### • *Long Time Pick Up*

1.05 x FLA	$\leq I_{set} \leq$	0.8 x Isc min 30 cycle Bus 21
1.05 x 2309	$\leq I_{set} \leq$	0.8 x 24540
2424.45	$\leq I_{set} \leq$	19632
Iset = 2539.9 A		

$$LT \text{ Pick Up} = \frac{I_{set}}{I_{sensor}} = \frac{2539.9}{3200} = 0.7932$$

$$LT \text{ Band} = 0.8$$

##### • *Short Pick Up Setting*

1.6 x FLA	$\leq I_{set} \leq$	0.8 x Isc min 30 cycle Bus 21
1.6 x 2309	$\leq I_{set} \leq$	0.8 x 24540
3694.4	$\leq I_{set} \leq$	19632
Dipilih Iset	=	4000 A
ST Pick Up	= $\frac{I_{set} ST}{I_{sensor}} = \frac{4000}{3200} =$	1.25

$$\text{Dipilih } ST \text{ Band} = 0 \text{ s}$$

$$Instantaneous = \text{Disable}$$

##### ❖ LVCB 256

Manufaktur	: Merlin Gerlin
Model	: STR 38S
Isc max 4 cycle 3 $\phi$ Bus 21	= 28.53 kA
Isc min 30 cycle 2 $\phi$ Bus 21	= 24.54 kA

$$I_{\text{sensor}} = 3200 \text{ A}$$

$$FLA = \frac{kVA}{\sqrt{3}kV} = \frac{3600}{\sqrt{3} \times 0.9} = 2309 \text{ A}$$

- *Long Time Pick Up*

$$1.05 \times FLA \leq I_{\text{set}} \leq 0.8 \times I_{\text{sc min 30 cycle Bus 20BBA01}}$$

$$1.05 \times 2309 \leq I_{\text{set}} \leq 0.8 \times 59760$$

$$2424.45 \leq I_{\text{set}} \leq 47808$$

$$I_{\text{set}} = 2539.9 \text{ A}$$

$$LT \text{ Pick Up} = \frac{I_{\text{set}}}{I_{\text{sensor}}} = \frac{2539.9}{3200} = 0.7932$$

$$LT \text{ Band} = 0.8$$

- *Short Pick Up Setting*

$$1.6 \times FLA \leq I_{\text{set}} \leq 0.8 \times I_{\text{sc min 30 cycle Bus 21}}$$

$$1.6 \times 2309 \leq I_{\text{set}} \leq 0.8 \times 24540$$

$$3694.4 \leq I_{\text{set}} \leq 19632$$

$$\text{Dipilih } I_{\text{set}} = 6000$$

$$ST \text{ Pick Up} = \frac{I_{\text{set ST}}}{I_{\text{sensor}}} = \frac{6000}{3200} = 1.875$$

$$\text{Dipilih } ST \text{ Band} = 0.2 \text{ s}$$

$$\text{Instantaneous} = \text{Disable}$$

### ❖ **Rele CB 28**

*Manufacturer* : Schneider Electric

*Model* : Sepam series 10

*Curve Type* : *extremely Inverse*

$$I_{\text{sc max 4 cycle 3}\phi \text{ Bus 20BBA01}} = 111500 \text{ A}$$

$$I_{\text{sc min 30 cycle 2}\phi \text{ 20BBA01}} = 59760 \text{ A}$$

$$FLA = \frac{kVA}{\sqrt{3}kV} = \frac{3600}{\sqrt{3} \times 20} = 103.9 \text{ A}$$

$$CT \text{ Ratio} = 400/5 \text{ A}$$

- *Time Overcurrent Pickup*

$$1.05 \times FLA \leq I_{\text{set}} \leq 1.4 \times FLA$$

$$1.05 \times 103.9 \leq I_{\text{set}} \leq 1.4 \times 103.9$$

$$109.095 \leq I_{\text{set}} \leq 145.46$$

$$\text{Dipilih } I_{\text{set}} = 120 \text{ A}$$

Dengan CT sebesar 400/5, maka dapat dihitung Tap =  $\frac{120}{400}$

Dipilih Tap = 0.3

- *Time Dial*

Dipilih waktu operasi (t) = 0.1 s

Menurut data sheet rele Schneider Electric Sepam series 10, penentuan time delay dari kurva IEC-*Extremely Invers* dapat menggunakan rumus :

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

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

$$T = \frac{0.1 \times 0.808 \left[ \left( \frac{I_{sc \max 4 \text{ cycle}}}{I_{set}} \right)^2 - 1 \right]}{80}$$

$$T = \frac{0.1 \times 0.808 \left[ \left( \frac{111500}{120} \right)^2 - 1 \right]}{80}$$

$$T = 0.62$$

- *Instantaneous pickup*

$$1.6 \times \text{FLA} \leq I_{set} \leq 0.8 \times I_{sc \min}$$

$$1.6 \times 103.9 \leq I_{set} \leq 0.8 \times 59760$$

$$166.24 \leq I_{set} \leq 47808$$

Dipilih Iset = 7000 A

Dengan CT sebesar 400/5, maka dapat dihitung Tap =  $\frac{7000}{400}$

Dipilih Tap = 17.5

Time delay

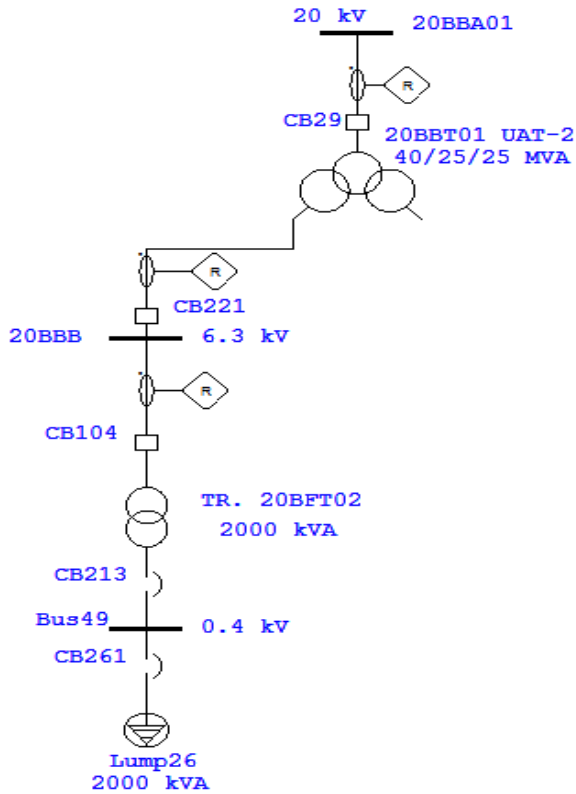
Dipilih time delay = 0.1 s



## 4.4.2 Analisis Tipikal 2

### 4.4.2.1 Analisis Existing Tipikal 2

Pada tipikal 2 ini akan dilakukan analisa mengenai sistem proteksi dan *arc-flash*. Tipikal 2 terletak pada beban Lump 31 sampai Bus 20BBA01. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.5.



**Gambar 4.5** Koordinasi rele tipikal 2

**Tabel 4.7** Data Setting Rele Eksisting pada Tipikal 2

Relay ID & Model	Setting
------------------	---------

**Tabel 4.7** Data Setting Rele Eksisting pada Tipikal 2 ( Lanjutan )

<i>LVCB261</i> <i>Bus 49</i> <i>Merlin Gerlin</i> <i>STR 38S</i>	<i>I sensor</i>	<i>3200 A</i>
	<i>LT Pick Up</i>	<i>0.99</i>
	<i>LT Band</i>	<i>1</i>
	<i>ST band</i>	<i>0.1</i>
	<i>ST Pick Up</i>	<i>1.5</i>
	<i>Instantaneous</i>	<i>Disable</i>
<i>LVCB256</i> <i>Bus 21</i> <i>Merlin Gerlin</i> <i>STR 38S</i>	<i>I sensor</i>	<i>3200 A</i>
	<i>LT Pick Up</i>	<i>0.99</i>
	<i>LT Band</i>	<i>1</i>
	<i>ST band</i>	<i>0.3</i>
	<i>ST Pick Up</i>	<i>1.5</i>
	<i>Instantaneous</i>	<i>Disable</i>
<i>Relay CB104</i> <i>Schneider</i> <i>Electric</i> <i>Sepam Series</i> <i>10</i>	<i>Curve Type</i>	<i>Extremely Inverse</i>
	<i>Pick Up Range</i>	<i>0.1-2.4</i>
	<i>Pick Up</i>	<i>0.68</i>
	<i>Time Dial</i>	<i>2 s</i>
	<i>Relay Ampere</i>	<i>3.4/204</i>
	<i>Instantaneous</i>	
	<i>Pick Up Range</i>	<i>0.1-2.4</i>
	<i>Pick Up</i>	<i>16.5</i>
	<i>Relay Ampere</i>	<i>82.5/4950</i>
	<i>Time Delay</i>	<i>0.1 s</i>
<i>Relay CB221</i> <i>Schneider</i> <i>Electric</i> <i>Sepam Series</i> <i>10</i>	<i>Curve Type</i>	<i>Extremely Inverse</i>
	<i>Pick Up Range</i>	<i>0.1-2.4</i>
	<i>Pick Up</i>	<i>0.85</i>
	<i>Time Dial</i>	<i>1.39 s</i>
	<i>Relay Ampere</i>	<i>4.25/2550</i>
	<i>Instantaneous</i>	
	<i>Pick Up Range</i>	<i>0.1-2.4</i>
	<i>Pick Up</i>	<i>1.8</i>
	<i>Relay Ampere</i>	<i>9/5400</i>
	<i>Time Delay</i>	<i>0.5 s</i>
<i>Relay CB29</i> <i>Schneider</i> <i>Electric</i>	<i>Curve Type</i>	<i>Extremely Inverse</i>
	<i>Pick Up Range</i>	<i>0.1-2.4</i>

**Tabel 4.7** Data Setting Rele Eksisting pada Tipikal 2 ( Lanjutan )

<i>Sepam Series 10</i>	<i>Pick Up</i>	<i>0.51</i>
	<i>Time Dial</i>	<i>2 s</i>
	<i>Relay Ampere</i>	<i>2.55/1275</i>
	<i>Instantaneous</i>	
	<i>Pick Up Range</i>	<i>0.1-2.4</i>
	<i>Pick Up</i>	<i>4</i>
	<i>Relay Ampere</i>	<i>20/10000</i>
	<i>Time Delay</i>	<i>0.1 s</i>

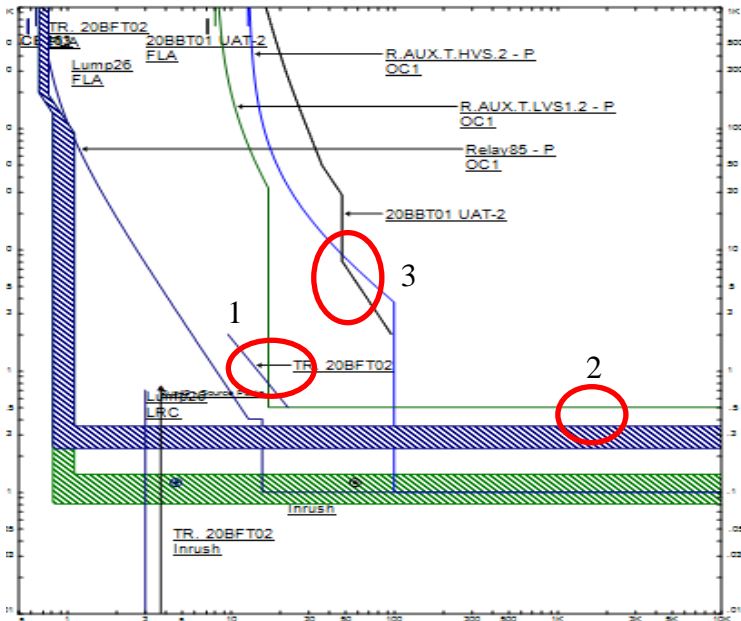
**Tabel 4.8** Data Setting Rele resetting tipikal 2

<i>Relay ID &amp; Model</i>	<i>Setting</i>	
<i>LVCB261 Bus 49 Merlin Gerlin STR 38S</i>	<i>I sensor</i>	<i>3200 A</i>
	<i>LT Pick Up</i>	<i>0.99</i>
	<i>LT Band</i>	<i>1</i>
	<i>ST band</i>	<i>0.1</i>
	<i>ST Pick Up</i>	<i>1.5</i>
	<i>Instantaneous</i>	<i>Disable</i>
<i>LVCB256 Bus 21 Merlin Gerlin STR 38S</i>	<i>I sensor</i>	<i>3200 A</i>
	<i>LT Pick Up</i>	<i>0.99</i>
	<i>LT Band</i>	<i>1</i>
	<i>ST band</i>	<i>0.3</i>
	<i>ST Pick Up</i>	<i>1.5</i>
	<i>Instantaneous</i>	<i>Disable</i>
<i>Relay CB104 Schneider Electric Sepam Series 10</i>	<i>Curve Type</i>	<i>Extremely Inverse</i>
	<i>Pick Up Range</i>	<i>0.1-2.4</i>
	<i>Pick Up</i>	<i>0.68</i>
	<i>Time Dial</i>	<i>1.14 s</i>
	<i>Relay Ampere</i>	<i>3.4/204</i>
	<i>Instantaneous</i>	
	<i>Pick Up Range</i>	<i>0.1-2.4</i>
	<i>Pick Up</i>	<i>16.667</i>
	<i>Relay Ampere</i>	<i>83.3/5000</i>
	<i>Time Delay</i>	<i>0.1 s</i>
<i>Relay CB221 Schneider</i>	<i>Curve Type</i>	<i>Extremely Inverse</i>

**Tabel 4.8** Data Setting Rele resetting tipikal 2 ( Lanjutan )

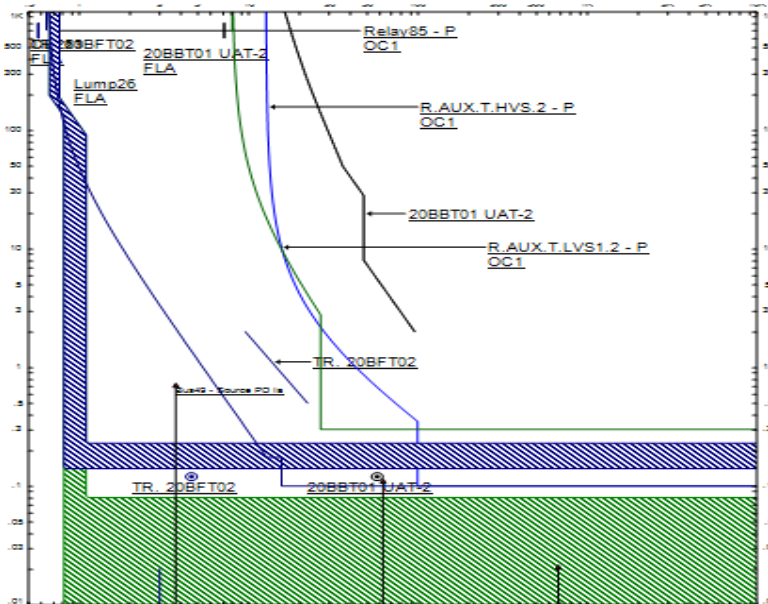
<i>Electric Sepam Series 10</i>	<i>Pick Up Range</i>	<i>0.1-2.4</i>
	<i>Pick Up</i>	<i>0.85</i>
	<i>Time Dial</i>	<i>0.22 s</i>
	<i>Relay Ampere</i>	<i>4.25/2550</i>
	<i>Instantaneous</i>	
	<i>Pick Up Range</i>	<i>0.1-2.4</i>
	<i>Pick Up</i>	<i>2.83</i>
	<i>Relay Ampere</i>	<i>14.17/8500</i>
	<i>Time Delay</i>	<i>0.3 s</i>
<i>Relay CB29 Schneider Electric Sepam Series 10</i>	<i>Curve Type</i>	<i>LongTime Inverse</i>
	<i>Pick Up Range</i>	<i>0.1-2.4</i>
	<i>Pick Up</i>	<i>0.51</i>
	<i>Time Dial</i>	<i>0.02 s</i>
	<i>Relay Ampere</i>	<i>2.55/1275</i>
	<i>Instantaneous</i>	
	<i>Pick Up Range</i>	<i>0.1-2.4</i>
	<i>Pick Up</i>	<i>4</i>
	<i>Relay Ampere</i>	<i>20/10000</i>
<i>Time Delay</i>	<i>0.1 s</i>	

Pada koordinasi proteksi tipikal 2 terdapat beberapa koordinasi rele pengaman yang masih perlu disempurnakan. Tanda lingkaran merah pada gambar 4.6 menunjukkan kesalahan yang harus diperbaiki.



**Gambar 4.6** Kurva koordinasi waktu existing tipikal 2

- Pada lingkaran 1 kurva rele R.AUX.T.LVS1.2 yang melindungi bagian sisi sekunder trafo 20BBT01 mengenai *damage curve* transformator kurva dari TR.20BFT02. Hal ini dapat mengakibatkan kerusakan akibat panas yang berlebih. Solusi yang dapat diberikan adalah dengan mengatur ulang nilai arus pickup *overcurrent* dan time dial.
- Pada lingkaran 2 terdapat kesalahan rele R.AUX.T.LVS1.2 dimana waktu dari time delay instantaneous terlalu lama sehingga jika terjadi gangguan hubung singkat, respon waktu yang diberikan CB untuk membuka sangat lama.
- Pada lingkaran 3 garis berwarna biru yaitu rele R.AUX.T.HVS.2 mengenai *damage curve* transformator 20BBT01 UAT-2 sehingga membahayakan jika terjadi lonjakan arus yang meningkat. Dapat merusak transformator 20BBT01 UAT-2 dan juga waktu yang diperlukan untuk membuka CB saat gangguan masih terlalu lama.



**Gambar 4.7** Kurva koordinasi waktu resetting tipikal 2

Dari hasil perhitungan tipikal 2 didapatkan setelan plot kurva seperti pada gambar 4.7 dimana seluruh rele telah disetel ulang. Perbaikan yang dilakukan yaitu :

- Memperbaiki rele CB 104 dimana sudah sesuai grading timenya
- Untuk rele CB 221 juga sudah tidak mengenai kurva damage curve dari transformator TR.20BFT02. Setting ulang dilakukan dengan mengatur nilai dari time dial sehingga jika terjadi gangguan CB dapat beroperasi secara tepat.
- Perbaikan pada time delay juga dilakukan di rele CB 221 agar rele backup dari rele CB 104 dapat beroperasi dengan tepat.
- Untuk rele CB 29 dilakukan setting ulang time dial agar tidak mengenai damage kurva dari transformator 20BBT01 sehingga rele dapat melindungi transformator ketika terjadi overload.

#### 4.4.2.2 Rekomendasi Setelan Rele Arus Lebih Tipikal 2

- ❖ LVCB 261

Manufaktur	:	Merlin Gerlin
Model	:	STR 38S
Isc max 4 cycle 3φ Bus 49	=	43.27 kA
Isc min 30 cycle 2φ Bus 49	=	35.88 kA
I sensor	=	3200 A
FLA	=	$\frac{kVA}{\sqrt{3}kV} = \frac{2000}{\sqrt{3} \times 0.4} = 2886.7 \text{ A}$

- *Long Time Pick Up*

$$1.05 \times \text{FLA} \leq I_{set} \leq 0.8 \times \text{Isc min 30 cycle Bus 49}$$

$$1.05 \times 2886.7 \leq I_{set} \leq 0.8 \times 35880$$

$$3031.03 \leq I_{set} \leq 28704$$

Dipilih Iset = 3175.7 A

$$\text{LT Pick Up} = \frac{I_{set}}{I_{sensor}} = \frac{3175.7}{3200} = 0.99$$

$$\text{LT Band} = 1$$

- *Short Pick Up Setting*

$$1.6 \times \text{FLA} \leq I_{set} \leq 0.8 \times \text{Isc min 30 cycle Bus 49}$$

$$1.6 \times 2886.7 \leq I_{set} \leq 0.8 \times 35880$$

$$4618.72 \leq I_{set} \leq 28704$$

Dipilih Iset = 4800 A

$$\text{ST Pick Up} = \frac{I_{set ST}}{I_{sensor}} = \frac{4800}{3200} = 1.5$$

$$\text{Dipilih ST Band} = 0.1 \text{ s}$$

$$\text{Instantaneous} = \text{Disable}$$

### ❖ **LVCB 213**

Manufaktur	:	Merlin Gerlin
Model	:	STR 38S
Isc max 4 cycle 3φ Bus 49	=	43.27 kA
Isc min 30 cycle 2φ Bus 49	=	35.88 kA
I <sub>sensor</sub>	=	3200 A
FLA	=	$\frac{kVA}{\sqrt{3}kV} = \frac{2000}{\sqrt{3} \times 0.4} = 2886.7 \text{ A}$

- *Long Time Pick Up*

$$\begin{aligned}
1.05 \times \text{FLA} &\leq I_{set} \leq 0.8 \times I_{sc} \text{ min 30 cycle Bus 49} \\
1.05 \times 2886.7 &\leq I_{set} \leq 0.8 \times 35880 \\
3031.03 &\leq I_{set} \leq 28704 \\
I_{set} &= 3175.7 \text{ A}
\end{aligned}$$

$$\text{LT Pick Up} = \frac{I_{set}}{I_{sensor}} = \frac{3175.7}{3200} = 0.99$$

$$\text{LT Band} = 1$$

- *Short Pick Up Setting*

$$\begin{aligned}
1.6 \times \text{FLA} &\leq I_{set} \leq 0.8 \times I_{sc} \text{ min 30 cycle Bus 49} \\
1.6 \times 2886.7 &\leq I_{set} \leq 0.8 \times 35880 \\
4618.72 &\leq I_{set} \leq 28704 \\
\text{Dipilih } I_{set} &= 4800 \\
\text{ST Pick Up} &= \frac{I_{set} \text{ ST}}{I_{sensor}} = \frac{4800}{3200} = 1.5
\end{aligned}$$

$$\text{Dipilih ST Band} = 0.3 \text{ s}$$

$$\text{Instantaneous} = \text{Disable}$$

#### ❖ **Rele CB 104**

$$\begin{aligned}
\text{Manufacturer} &: \text{Schneider Electric} \\
\text{Model} &: \text{Sepam series 10} \\
\text{Curve Type} &: \text{extremely Inverse} \\
I_{sc} \text{ max 4 cycle } 3\phi \text{ Bus 20BBB} &= 27410 \text{ A} \\
I_{sc} \text{ min 30 cycle } 2\phi \text{ 20BBB} &= 16290 \text{ A} \\
\text{FLA} &= \frac{kVA}{\sqrt{3} \times kV} = \frac{2000}{\sqrt{3} \times 6.3} = 183.3 \text{ A}
\end{aligned}$$

$$\text{CT Ratio} = 300/5 \text{ A}$$

- *Time Overcurrent Pickup*

$$\begin{aligned}
1.05 \times \text{FLA} &\leq I_{set} \leq 1.4 \times \text{FLA} \\
1.05 \times 183.3 &\leq I_{set} \leq 1.4 \times 183.3 \\
192.46 &\leq I_{set} \leq 256.6
\end{aligned}$$

$$\text{Dipilih } I_{set} = 204$$

$$\text{Dengan CT sebesar } 300/5, \text{ maka dapat dihitung Tap} = \frac{204}{300}$$

$$\text{Dipilih Tap} = 0.68$$



- *Time Dial*

Dipilih waktu operasi (t) = 0.1 s

Menurut data sheet rele Schneider Electric Sepam series 10, penentuan time delay dari kurva IEC-*Extremely Invers* dapat menggunakan rumus :

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

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

$$T = \frac{0.1 \times 0.808 \times \left[ \left( \frac{I_{sc \max 4 \text{ cycle}}}{I_{set}} \right)^2 - 1 \right]}{80}$$

$$T = \frac{0.1 \times 0.808 \times \left[ \left( \frac{27410}{204} \right)^2 - 1 \right]}{80}$$

$$T = 0.87$$

- *Instantaneous pickup*

$$1.6 \times FLA \leq I_{set} \leq 0.8 \times I_{sc \text{ min } 30 \text{ cycle bus } 20BBB}$$

$$1.6 \times 183.3 \leq I_{set} \leq 0.8 \times 16290$$

$$293.28 \leq I_{set} \leq 13032$$

Dipilih Iset = 5000 A

Dengan CT sebesar 400/5, maka dapat dihitung Tap =  $\frac{5000}{300}$

Dipilih Tap = 16.7

*Time delay*

Dipilih time delay = 0.1 s

❖ **Rele CB 221**

*Manufacturer*

: Schneider Electric

*Model*

: Sepam series 10

*Curve Type*

: *extremely Inverse*

Isc max 4 cycle 3φ Bus 20BBB

= 27410 A

Isc min 30 cycle 2φ 20BBB

= 16290 A

FLA

$$= \frac{kVA}{\sqrt{3} \times kV} = \frac{25000}{\sqrt{3} \times 6.3} = 2291 \text{ A}$$

CT Ratio = 3000/5 A

- *Time Overcurrent Pickup*

$$1.05 \times \text{FLA} \leq I_{set} \leq 1.4 \times \text{FLA}$$

$$1.05 \times 2291 \leq I_{set} \leq 1.4 \times 2291$$

$$2405.5 \leq I_{set} \leq 3207.4$$

Dipilih Iset = 2550 A

Dengan CT sebesar 3000/5, maka dapat dihitung Tap =  $\frac{2550}{3000}$

Dipilih Tap = 0.85

- *Time Dial*

Dipilih waktu operasi (t) = 0.3 s

Menurut data sheet rele Schneider Electric Sepam series 10, penentuan time delay dari kurva IEC-Extremely Invers dapat menggunakan rumus :

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

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

$$T = \frac{0.3 \times 0.808 \times \left[ \left( \frac{1sc \max 4 cycle}{I_{set}} \right)^2 - 1 \right]}{80}$$

$$T = \frac{0.3 \times 0.808 \times \left[ \left( \frac{27410}{2550} \right)^2 - 1 \right]}{80}$$

T = 0.35

- *Instantaneous pickup*

$$1.6 \times \text{FLA} \leq I_{set} \leq 0.8 \times I_{sc \min 30 cycle bus 20BBB}$$

$$1.6 \times 2291 \leq I_{set} \leq 0.8 \times 16290$$

$$3665.6 \leq I_{set} \leq 13032$$

Dipilih Iset = 8500 A

Dengan CT sebesar 3000/5, maka dapat dihitung Tap =  $\frac{8500}{3000}$

Dipilih Tap = 2.83

### Time delay

Dipilih time delay = 0.3 s

#### ❖ **Rele CB 29**

<i>Manufacturer</i>	: Schneider Electric
<i>Model</i>	: Sepam series 10
<i>Curve Type</i>	: <i>Long Time Inverse</i>
Isc max 4 cycle 3φ Bus 20BBA01	= 111500 A
Isc min 30 cycle 2φ 20BBA01	= 59760 A
FLA	= $\frac{kVA}{\sqrt{3} \times kV} = \frac{40000}{\sqrt{3} \times 20} = 1155$ A
CT Ratio	= 2500/5 A

#### • *Time Overcurrent Pickup*

$$1.05 \times FLA \leq I_{set} \leq 1.4 \times FLA$$

$$1.05 \times 1155 \leq I_{set} \leq 1.4 \times 1155$$

$$1212.75 \leq I_{set} \leq 1617$$

Dipilih Iset = 1275 A

Dengan CT sebesar 2500/5, maka dapat dihitung Tap =  $\frac{1275}{2500}$

Dipilih Tap = 0.51

#### • *Time Dial*

Dipilih waktu operasi (t) = 0.1 s

Menurut data sheet rele Schneider Electric Sepam series 10, penentuan time delay dari kurva IEC-Long Time Invers dapat menggunakan rumus :

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

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

$$T = \frac{0.1 \times 2.97 \left[ \left( \frac{I_{sc \max 4 \text{ cycle}}}{I_{set}} \right)^{0.02} - 1 \right]}{0.14}$$

$$T = \frac{0.1 \times 2.97 \left[ \left( \frac{111500}{1275} \right)^{0.02} - 1 \right]}{0.14}$$

$$T = 0.02$$

- *Instantaneous pickup*

$$1.6 \times \text{FLA} \leq \text{Iset} \leq 0.8 \times I_{\text{sc min 30 cycle 20BBA01}}$$

$$1.6 \times 1275 \leq \text{Iset} \leq 0.8 \times 59760$$

$$3665.6 \leq \text{Iset} \leq 13032$$

Dipilih Iset = 8500 A

Dengan CT sebesar 3000/5, maka dapat dihitung Tap =  $\frac{8500}{3000}$

Dipilih Tap = 2.83

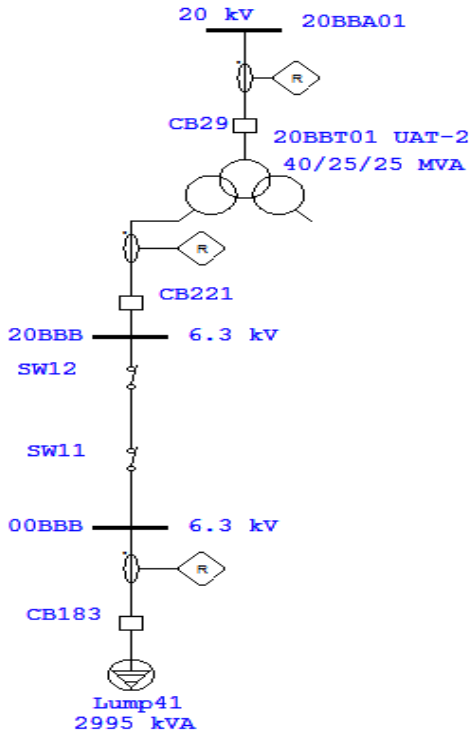
Time delay

Dipilih time delay = 0.1 s

### 4.4.3 Analisis Tipikal 3

#### 4.4.3.1 Analisis Existing Tipikal 3

Pada tipikal 3 ini akan dilakukan analisa mengenai sistem proteksi dan *arc flash*. Tipikal 3 terletak pada beban Lump 41 sampai Bus 20BBA01. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.8.



**Gambar 4.8** Koordinasi rele tipikal 3

**Tabel 4.9** Data setting rele existing rele pada tipikal 3

<i>Relay ID &amp; Model</i>	<i>Setting</i>	
<i>Relay CB183 Schneider Electric Sepam Series 10</i>	<i>Curve Type</i>	<i>Extremely Inverse</i>
	<i>Pick Up Range</i>	<i>0.1-2.4</i>
	<i>Pick Up</i>	<i>0.51</i>
	<i>Time Dial</i>	<i>1 s</i>
	<i>Relay Ampere</i>	<i>2.55/306</i>
	<i>Instantaneous</i>	
	<i>Pick Up Range</i>	<i>0.1-2.4</i>
	<i>Pick Up</i>	<i>8.33</i>

**Tabel 4.9** Data setting rele existing rele pada tipikal 3 ( Lanjutan )

	<i>Relay Ampere</i>	<i>41.6/5000</i>
	<i>Time Delay</i>	<i>0.1 s</i>
<i>Relay CB221 Schneider Electric Sepam Series 10</i>	<i>Curve Type</i>	<i>Extremely Inverse</i>
	<i>Pick Up Range</i>	<i>0.1-2.4</i>
	<i>Pick Up</i>	<i>0.85</i>
	<i>Time Dial</i>	<i>1.39 s</i>
	<i>Relay Ampere</i>	<i>4.25/2550</i>
	<i>Instantaneous</i>	
	<i>Pick Up Range</i>	<i>0.1-2.4</i>
	<i>Pick Up</i>	<i>1.8</i>
	<i>Relay Ampere</i>	<i>9/5400</i>
	<i>Time Delay</i>	<i>0.5 s</i>
	<i>Relay CB29 Schneider Electric Sepam Series 10</i>	<i>Curve Type</i>
<i>Pick Up Range</i>		<i>0.1-2.4</i>
<i>Pick Up</i>		<i>0.51</i>
<i>Time Dial</i>		<i>2 s</i>
<i>Relay Ampere</i>		<i>2.55/1275</i>
<i>Instantaneous</i>		
<i>Pick Up Range</i>		<i>0.1-2.4</i>
<i>Pick Up</i>		<i>4</i>
<i>Relay Ampere</i>		<i>20/10000</i>
<i>Time Delay</i>		<i>0.1 s</i>

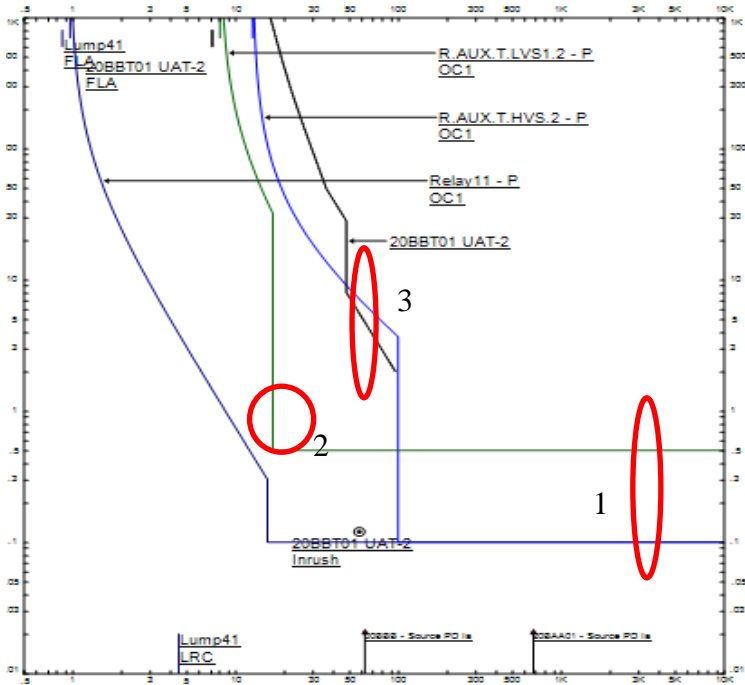
**Tabel 4.10** Data setting rele resetting rele pada tipikal 3

<i>Relay ID &amp; Model</i>	<i>Setting</i>	
<i>Relay CB183 Schneider Electric Sepam Series 10</i>	<i>Curve Type</i>	<i>Extremely Inverse</i>
	<i>Pick Up Range</i>	<i>0.1-2.4</i>
	<i>Pick Up</i>	<i>0.51</i>
	<i>Time Dial</i>	<i>1 s</i>
	<i>Relay Ampere</i>	<i>2.55/306</i>
	<i>Instantaneous</i>	
	<i>Pick Up Range</i>	<i>0.1-2.4</i>

**Tabel 4.10** Data setting rele resetting rele pada tipikal 3 ( Lanjutan )

	<i>Pick Up</i>	8.33
	<i>Relay Ampere</i>	41.6/5000
	<i>Time Delay</i>	0.1 s
<i>Relay CB221 Schneider Electric Sepam Series 10</i>	<i>Curve Type</i>	<i>Extremely Inverse</i>
	<i>Pick Up Range</i>	0.1-2.4
	<i>Pick Up</i>	0.85
	<i>Time Dial</i>	1.39 s
	<i>Relay Ampere</i>	4.25/2550
	<i>Instantaneous</i>	
	<i>Pick Up Range</i>	0.1-2.4
	<i>Pick Up</i>	1.8
	<i>Relay Ampere</i>	9/5400
	<i>Time Delay</i>	0.5 s
<i>Relay CB29 Schneider Electric Sepam Series 10</i>	<i>Curve Type</i>	<i>LongTime Invers</i>
	<i>Pick Up Range</i>	0.1-2.4
	<i>Pick Up</i>	0.51
	<i>Time Dial</i>	2 s
	<i>Relay Ampere</i>	2.55/1275
	<i>Instantaneous</i>	
	<i>Pick Up Range</i>	0.1-2.4
	<i>Pick Up</i>	4
	<i>Relay Ampere</i>	20/10000
	<i>Time Delay</i>	0.1 s

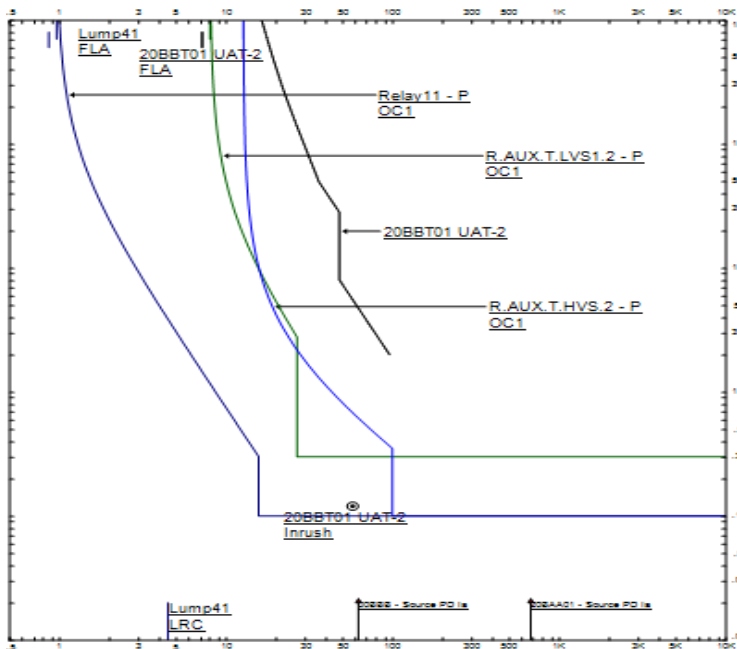
Pada koordinasi proteksi tipikal 3 terdapat beberapa koordinasi rele pengaman yang masih perlu disempurnakan. Tanda lingkaran merah pada gambar 4.9 menunjukkan kesalahan yang harus diperbaiki.



**Gambar 4.9** Kurva koordinasi waktu existing tipikal 3

- Pada lingkaran 1 jarak time delay dari rele CB183 dan rele CB221 terlalu lama sehingga jika terjadi gangguan hubung singkat, maka rele CB221 sebagai rele backup dari rele CB 183 membutuhkan respon waktu yang lama dalam beroperasi.
- Pada lingkaran 3 garis berwarna biru yaitu rele CB 29 mengenai *damage curve* transformator 20BBT01 UAT-2 sehingga membahayakan jika terjadi lonjakan arus yang meningkat.dapat merusak transformator 20BBT01 UAT-2 dan juga waktu yang diperlukan untuk membuka CB saat gangguan masih terlalu lama.
- Pada lingkaran 3 terdapat kesalahan dimana nilai time dial dari rele CB29 terlalu tinggi sehingga jika terjadi gangguan di bus 20BBB, waktu CB beroperasi masih kurang tepat.





**Gambar 4.10** Koordinasi rele resetting tipikal 3

Dari hasil perhitungan tipikal 3 didapatkan setelan plot kurva seperti pada gambar 4.10 dimana seluruh rele telah disetel ulang. Perbaikan yang dilakukan yaitu :

- Memperbaiki rele CB 221 sebagai rele backup dari rele CB183 dimana sudah sesuai dengan nilai grading timenya.
- Untuk rele CB 29 dilakukan setting ulang time dial agar tidak mengenai damage kurva dari transformator 20BBT01 sehingga rele dapat melindungi transformator ketika terjadi overload.
- Jarak waktu beroperasi rele CB 221 dan rele CB 29 sudah sesuai 0.2 s dengan mengenai kurva invers dari rele CB 29 sehingga tidak diperlukan waktu yang lama saat CB beroperasi.

#### 4.4.3.2 Rekomendasi Setelan Rele Arus Lebih Tipikal 3

##### ❖ Rele CB 183

*Manufacturer* : Schneider Electric

*Model* : Sepam series 10

*Curve Type* : *extremely Inverse*  
 Isc max 4 cycle 3φ Bus 00BBB = 27410 A  
 Isc min 30 cycle 2φ 00BBB = 16290 A  
 FLA =  $\frac{kVA}{\sqrt{3}xkV} = \frac{2995}{\sqrt{3}x6.3} = 274.5$  A  
 CT Ratio = 600/5 A

• *Time Overcurrent Pickup*

1.05 x FLA ≤ Iset ≤ 1.4 x FLA  
 1.05 x 274.5 ≤ Iset ≤ 1.4 x 274.5  
 288.2 ≤ Iset ≤ 384.3  
 Dipilih Iset = 306 A

Dengan CT sebesar 600/5, maka dapat dihitung Tap =  $\frac{306}{600}$   
 Dipilih Tap = 0.51

• *Time Dial*

Dipilih waktu operasi (t) = 0.1 s  
 Menurut data sheet rele Schneider Electric Sepam series 10, penentuan time delay dari kurva IEC-*Extremely Invers* dapat menggunakan rumus :

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

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

$$T = \frac{0.1 \times 0.808 \left[ \left( \frac{I_{sc \max 4 \text{ cycle}}}{I_{set}} \right)^2 - 1 \right]}{80}$$

$$T = \frac{0.1 \times 0.808 \left[ \left( \frac{27410}{306} \right)^2 - 1 \right]}{80}$$

T = 1

• *Instantaneous pickup*

1.6 x FLA ≤ Iset ≤ 0.8 x Isc min 30 cycle bus 20BBB  
 1.6 x 274.5 ≤ Iset ≤ 0.8 x 16290

$$439.2 \leq I_{set} \leq 13032$$

Dipilih Iset = 5000 A

Dengan CT sebesar 600/5, maka dapat dihitung Tap =  $\frac{5000}{600}$

Dipilih Tap = 8.3

### Time delay

Dipilih time delay = 0.1 s

### ❖ Rele CB 221

*Manufacturer* : Schneider Electric

*Model* : Sepam series 10

*Curve Type* : *extremely Inverse*

$I_{sc \text{ max 4 cycle } 3\phi \text{ Bus } 20\text{BBB}}$  = 27410 A

$I_{sc \text{ min } 30 \text{ cycle } 2\phi \text{ 20BBB}}$  = 16290 A

FLA =  $\frac{kVA}{\sqrt{3}kV} = \frac{25000}{\sqrt{3} \times 6.3} = 2291 \text{ A}$

CT Ratio = 3000/5 A

#### • Time Overcurrent Pickup

1.05 x FLA  $\leq I_{set} \leq 1.4 \times \text{FLA}$

1.05 x 2291  $\leq I_{set} \leq 1.4 \times 2291$

2405.5  $\leq I_{set} \leq 3207.4$

Dipilih Iset = 2550 A

Dengan CT sebesar 3000/5, maka dapat dihitung Tap =  $\frac{2550}{3000}$

Dipilih Tap = 0.85

#### • Time Dial

Dipilih waktu operasi (t) = 0.3 s

Menurut data sheet rele Schneider Electric Sepam series 10, penentuan time delay dari kurva IEC-*Extremely Invers* dapat menggunakan rumus :

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

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

$$T = \frac{0.3 \times 0.808 \left[ \left( \frac{I_{sc \text{ max 4 cycle}}}{I_{set}} \right)^2 - 1 \right]}{80}$$

$$T = \frac{0.3 \times 0.808 \left[ \left( \frac{27410}{2550} \right)^2 - 1 \right]}{80}$$

$$T = 0.35$$

- *Instantaneous pickup*

$$1.6 \times \text{FLA} \leq I_{set} \leq 0.8 \times I_{sc \text{ min 30 cycle bus 20BBB}}$$

$$1.6 \times 2291 \leq I_{set} \leq 0.8 \times 16290$$

$$3665.6 \leq I_{set} \leq 13032$$

Dipilih Iset = 8500 A

Dengan CT sebesar 3000/5, maka dapat dihitung Tap =  $\frac{8500}{3000}$

Dipilih Tap = 2.83

Time delay

Dipilih time delay = 0.3 s

❖ **Rele CB 29**

*Manufacturer* = Schneider Electric

*Model* = Sepam series 10

*Curve Type* = Long Time Inverse

$I_{sc \text{ max 4 cycle 3}\phi \text{ Bus 20BBA01}}$  = 111500 A

$I_{sc \text{ min 30 cycle 2}\phi \text{ 20BBA01}}$  = 59760 A

FLA =  $\frac{kVA}{\sqrt{3} \times kV} = \frac{40000}{\sqrt{3} \times 20} = 1155 \text{ A}$

CT Ratio = 2500/5 A

- *Time Overcurrent Pickup*

$$1.05 \times \text{FLA} \leq I_{set} \leq 1.4 \times \text{FLA}$$

$$1.05 \times 1155 \leq I_{set} \leq 1.4 \times 1155$$

$$1212.75 \leq I_{set} \leq 1617$$

Dipilih Iset = 1275

Dengan CT sebesar 2500/5, maka dapat dihitung Tap =  $\frac{1275}{2500}$

Dipilih Tap = 0.51

- *Time Dial*

Dipilih waktu operasi (t) = 0.1 s

Menurut data sheet rele Schneider Electric Sepam series 10, penentuan time delay dari kurva IEC-Long Time Invers dapat menggunakan rumus :

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

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

$$T = \frac{0.1 \times 2.97 \times \left[ \left( \frac{I_{sc \max 4 \text{ cycle}}}{I_{set}} \right)^{0.02} - 1 \right]}{0.14}$$

$$T = \frac{0.1 \times 2.97 \times \left[ \left( \frac{111500}{1275} \right)^{0.02} - 1 \right]}{0.14}$$

$$T = 0.02$$

- *Instantaneous pickup*

$$1.6 \times \text{FLA} \leq I_{set} \leq 0.8 \times I_{sc \min 30 \text{ cycle } 20\text{BBA}01}$$

$$1.6 \times 1275 \leq I_{set} \leq 0.8 \times 59760$$

$$3665.6 \leq I_{set} \leq 13032$$

Dipilih Iset = 8500 A

Dengan CT sebesar 3000/5, maka dapat dihitung Tap =  $\frac{8500}{3000}$

Dipilih Tap = 2.83

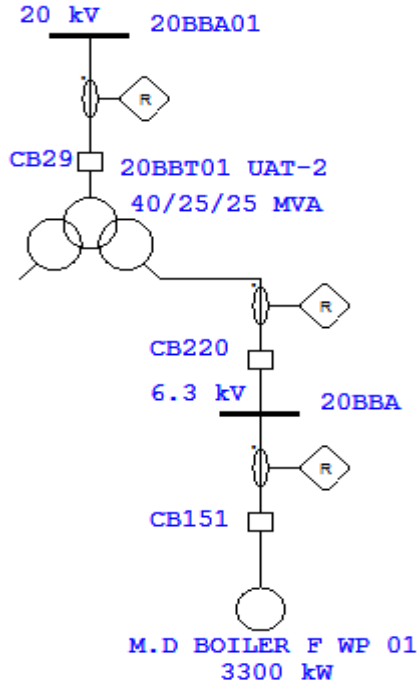
Time delay

Dipilih time delay = 0.1 s

#### 4.4.4 Analisis Tipikal 4

##### 4.4.4.1 Analisis Existing Tipikal 4

Pada tipikal 4 ini akan dilakukan analisa mengenai sistem proteksi dan *arc- flash*. Tipikal 4 terletak pada beban M.D Boiler F WP 01 330 kW sampai Bus 20BBA01. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.11.



**Gambar 4.11** Koordinasi rele tipikal 4

**Tabel 4.11** Data setting rele existing rele pada tipikal 4

<i>Relay ID &amp; Model</i>	<i>Setting</i>	
<i>Relay CB151 Schneider Electric Sepam Series 10</i>	<i>Curve Type</i>	<i>Extremely Inverse</i>
	<i>Pick Up Range</i>	<i>0.1-2.4</i>
	<i>Pick Up</i>	<i>0.68</i>
	<i>Time Dial</i>	<i>2 s</i>
	<i>Relay Ampere</i>	<i>3.4/3408</i>
	<i>Instantaneous</i>	
	<i>Pick Up Range</i>	<i>0.1-2.4</i>
	<i>Pick Up</i>	<i>17.7</i>
<i>Relay Ampere</i>	<i>88.5/10620</i>	

**Tabel 4.11** Data setting rele existing rele pada tipikal 4 ( Lanjutan )

	<i>Time Delay</i>	<i>0.1 s</i>
<i>Relay CB220 Schneider Electric Sepam Series 10</i>	<i>Curve Type</i>	<i>Extremely Inverse</i>
	<i>Pick Up Range</i>	<i>0.1-2.4</i>
	<i>Pick Up</i>	<i>1.25</i>
	<i>Time Dial</i>	<i>0.6 s</i>
	<i>Relay Ampere</i>	<i>6.25/3750</i>
	<i>Instantaneous</i>	
	<i>Pick Up Range</i>	<i>0.1-2.4</i>
	<i>Pick Up</i>	<i>7</i>
	<i>Relay Ampere</i>	<i>35/21000</i>
	<i>Time Delay</i>	<i>0.5 s</i>
<i>Relay CB29 Schneider Electric Sepam Series 10</i>	<i>Curve Type</i>	<i>Extremely Inverse</i>
	<i>Pick Up Range</i>	<i>0.1-2.4</i>
	<i>Pick Up</i>	<i>0.51</i>
	<i>Time Dial</i>	<i>2 s</i>
	<i>Relay Ampere</i>	<i>2.55/1275</i>
	<i>Instantaneous</i>	
	<i>Pick Up Range</i>	<i>0.1-2.4</i>
	<i>Pick Up</i>	<i>4</i>
	<i>Relay Ampere</i>	<i>20/10000</i>
	<i>Time Delay</i>	<i>0.1 s</i>

**Tabel 4.12** Data setting rele resetting rele pada tipikal 4

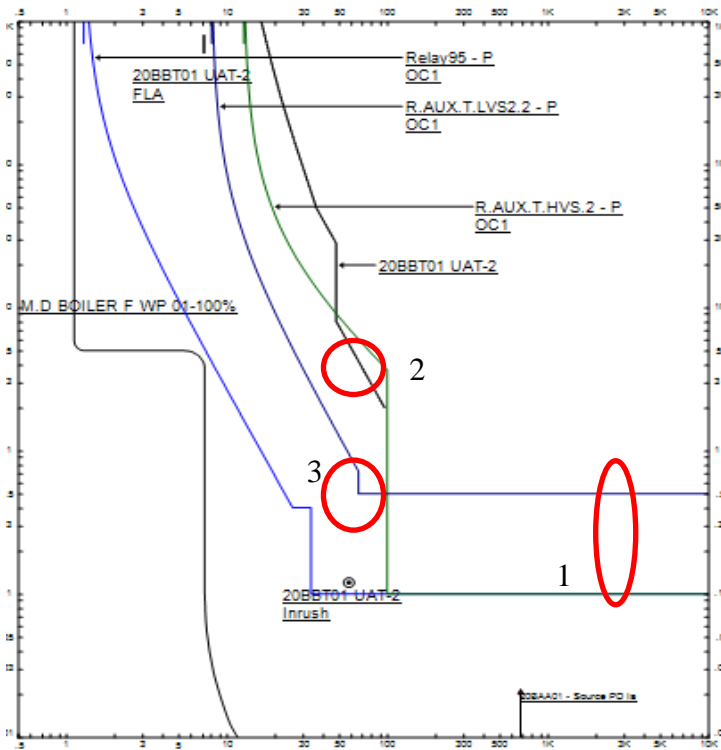
<i>Relay ID &amp; Model</i>	<i>Setting</i>	
<i>Relay CB151 Schneider Electric Sepam Series 10</i>	<i>Curve Type</i>	<i>Extremely Inverse</i>
	<i>Pick Up Range</i>	<i>0.1-2.4</i>
	<i>Pick Up</i>	<i>0.68</i>
	<i>Time Dial</i>	<i>2 s</i>
	<i>Relay Ampere</i>	<i>3.4/3408</i>
	<i>Instantaneous</i>	
	<i>Pick Up Range</i>	<i>0.1-2.4</i>
	<i>Pick Up</i>	<i>8.33</i>

**Tabel 4.12** Data setting rele resetting rele pada tipikal 4 ( Lanjutan )

	<i>Relay Ampere</i>	<i>41.67/5000</i>
	<i>Time Delay</i>	<i>0.1 s</i>
<i>Relay CB220 Schneider Electric Sepam Series 10</i>	<i>Curve Type</i>	<i>Extremely Inverse</i>
	<i>Pick Up Range</i>	<i>0.1-2.4</i>
	<i>Pick Up</i>	<i>0.85</i>
	<i>Time Dial</i>	<i>0.22 s</i>
	<i>Relay Ampere</i>	<i>4.25/2550</i>
	<i>Instantaneous</i>	
	<i>Pick Up Range</i>	<i>0.1-2.4</i>
	<i>Pick Up</i>	<i>2.833</i>
	<i>Relay Ampere</i>	<i>14.17/8500</i>
	<i>Time Delay</i>	<i>0.3 s</i>
	<i>Relay CB29 Schneider Electric Sepam Series 10</i>	<i>Curve Type</i>
<i>Pick Up Range</i>		<i>0.1-2.4</i>
<i>Pick Up</i>		<i>0.51</i>
<i>Time Dial</i>		<i>0.02 s</i>
<i>Relay Ampere</i>		<i>2.55/1275</i>
<i>Instantaneous</i>		
<i>Pick Up Range</i>		<i>0.1-2.4</i>
<i>Pick Up</i>		<i>4</i>
<i>Relay Ampere</i>		<i>20/10000</i>
<i>Time Delay</i>		<i>0.1 s</i>

Pada koordinasi proteksi tipikal 4 terdapat beberapa koordinasi rele pengaman yang masih perlu disempurnakan. Tanda lingkaran merah pada gambar 4.12 menunjukkan kesalahan yang harus diperbaiki.

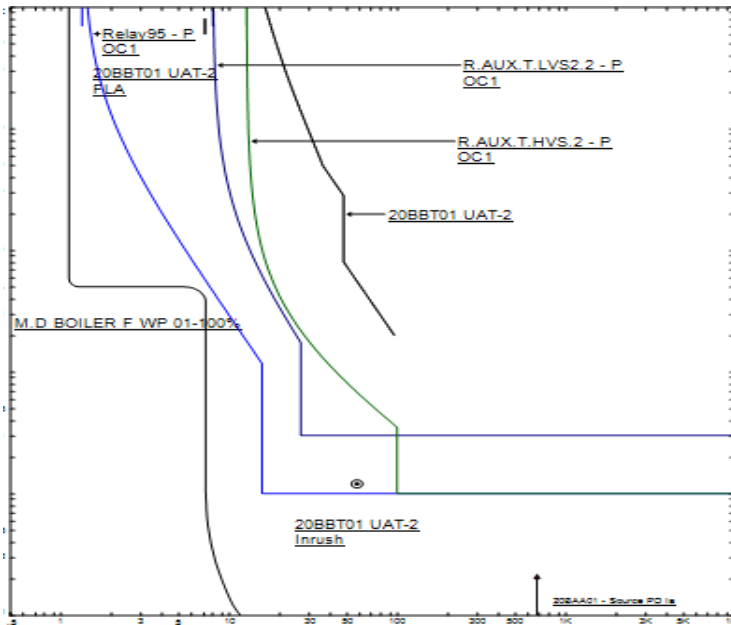




**Gambar 4.12** Koordinasi rele existing tipikal 4

- Pada lingkaran 1 jarak time delay dari rele CB151 dan rele CB220 terlalu lama 0.4s sehingga jika terjadi gangguan hubung singkat, maka rele CB220 sebagai rele backup dari rele CB 151 membutuhkan respon waktu yang lama dalam beroperasi.
- Pada lingkaran 2 garis berwarna hijau yaitu rele CB 29 mengenai *damage curve* transformator 20BBT01 UAT-2 sehingga membahayakan jika terjadi lonjakan arus yang meningkat. Dapat merusak transformator 20BBT01 UAT-2 dan juga waktu yang diperlukan untuk membuka CB saat gangguan masih terlalu lama.
- Pada lingkaran 3 terdapat kesalahan dimana pada saat terjadi gangguan di M.D Boiler F WP 01, kurva dari rele CB 220 bekerja

pada rele *invers* terlebih dahulu. hal ini dikarenakan nilai *instantaneous pickup* yang kurang tepat.



**Gambar 4.13** Koordinasi rele resetting tipikal 4

Dari hasil perhitungan tipikal 4 didapatkan setelan plot kurva seperti pada gambar 4.13 dimana seluruh rele telah disetel ulang. Perbaikan yang dilakukan yaitu :

- Memperbaiki rele CB 220 sebagai rele backup dari rele CB151 dimana sudah sesuai dengan nilai *grading* timenya.
- Untuk rele CB 29 dilakukan setting ulang time dial agar tidak mengenai damage kurva dari transformator 20BBT01 sehingga rele dapat melindungi transformator ketika terjadi *overload*.
- Pada saat gangguan di M.D Boiler F WP 01, rele CB 220 pada saat bekerja tidak mengenai kurva *invers* terlebih dahulu dengan cara menurunkan nilai *instantaneous pickup*.

#### 4.4.4.2 Rekomendasi Setelan Rele Arus Lebih Tipikal 4

##### ❖ Rele CB 151

<i>Manufacturer</i>	: Schneider Electric
<i>Model</i>	: Sepam series 10
<i>Curve Type</i>	: <i>extremely Inverse</i>
Isc max 4 cycle 3φ Bus 20BBA	= 28050 A
Isc min 30 cycle 2φ 20BBA	= 17100 A
FLA	$= \frac{kVA}{\sqrt{3} \times kV} = \frac{3885}{\sqrt{3} \times 6.3} = 356 \text{ A}$
CT Ratio	= 600/5 A

- *Time Overcurrent Pickup*

$$1.05 \times \text{FLA} \leq \text{Iset} \leq 1.4 \times \text{FLA}$$

$$1.05 \times 356 \leq \text{Iset} \leq 1.4 \times 356$$

$$373.8 \leq \text{Iset} \leq 498.4$$

Dipilih Iset = 408 A

Dengan CT sebesar 600/5, maka dapat dihitung Tap =  $\frac{408}{600}$

Dipilih Tap = 0.68

- *Time Dial*

Dipilih waktu operasi (t) = 0.1 s

Menurut data sheet rele Schneider Electric Sepam series 10, penentuan time delay dari kurva IEC-*Extremely Invers* dapat menggunakan rumus :

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

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

$$T = \frac{0.1 \times 0.808 \left[ \left( \frac{I_{sc \text{ max 4 cycle}}}{I_{set}} \right)^2 - 1 \right]}{80}$$

$$T = \frac{0.1 \times 0.808 \left[ \left( \frac{28050}{408} \right)^2 - 1 \right]}{80}$$

$$T = 2$$

- *Instantaneous pickup*

$$1.6 \times \text{FLA} \leq I_{\text{set}} \leq 0.8 \times I_{\text{sc min 30 cycle bus 20BBA}}$$

$$1.6 \times 356 \leq I_{\text{set}} \leq 0.8 \times 17100$$

$$569.6 \leq I_{\text{set}} \leq 13680$$

Dipilih Iset = 5000 A

Dengan CT sebesar 600/5, maka dapat dihitung Tap =  $\frac{5000}{600}$

Dipilih Tap = 8.3

Time delay

Dipilih time delay = 0.1 s

❖ **Rele CB 220**

*Manufacturer* : Schneider Electric

*Model* : Sepam series 10

*Curve Type* : *extremely Inverse*

Isc max 4 cycle 3φ Bus 20BBB = 27410 A

Isc min 30 cycle 2φ 20BBB = 16290 A

FLA =  $\frac{kVA}{\sqrt{3} \times kV} = \frac{25000}{\sqrt{3} \times 6.3} = 2291 \text{ A}$

CT Ratio = 3000/5 A

- *Time Overcurrent Pickup*

$$1.05 \times \text{FLA} \leq I_{\text{set}} \leq 1.4 \times \text{FLA}$$

$$1.05 \times 2291 \leq I_{\text{set}} \leq 1.4 \times 2291$$

$$2405.5 \leq I_{\text{set}} \leq 3207.4$$

Dipilih Iset = 2550 A

Dengan CT sebesar 3000/5, maka dapat dihitung Tap =  $\frac{2550}{3000}$

Dipilih Tap = 0.85

- *Time Dial*

Dipilih waktu operasi (t) = 0.3 s

Menurut data sheet rele Schneider Electric Sepam series 10, penentuan time delay dari kurva IEC-*Extremely Invers* dapat menggunakan rumus :

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

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

$$T = \frac{0.3 \times 0.808 \left[ \left( \frac{I_{sc \text{ max 4 cycle}}}{I_{set}} \right)^2 - 1 \right]}{80}$$

$$T = \frac{0.3 \times 0.808 \left[ \left( \frac{27410}{2550} \right)^2 - 1 \right]}{80}$$

$$T = 0.22$$

- *Instantaneous pickup*

$$1.6 \times \text{FLA} \leq I_{set} \leq 0.8 \times I_{sc \text{ min 30 cycle bus 20BBB}}$$

$$1.6 \times 2291 \leq I_{set} \leq 0.8 \times 16290$$

$$3665.6 \leq I_{set} \leq 13032$$

Dipilih Iset = 8500 A

Dengan CT sebesar 3000/5, maka dapat dihitung Tap =  $\frac{8500}{3000}$

Dipilih Tap = 2.83

Time delay

Dipilih time delay = 0.3 s

❖ **Rele CB 29**

*Manufacturer* : Schneider Electric

*Model* : Sepam series 10

*Curve Type* : Long Time Inverse

Isc max 4 cycle 3φ Bus 20BBA01 = 111500 A

Isc min 30 cycle 2φ 20BBA01 = 59760 A

FLA =  $\frac{kVA}{\sqrt{3} \times kV} = \frac{40000}{\sqrt{3} \times 20} = 1155 \text{ A}$

CT Ratio = 2500/5 A

- *Time Overcurrent Pickup*

$$1.05 \times \text{FLA} \leq I_{set} \leq 1.4 \times \text{FLA}$$

$$1.05 \times 1155 \leq I_{set} \leq 1.4 \times 1155$$

$$1212.75 \leq I_{set} \leq 1617$$

Dipilih Iset = 1275 A

Dengan CT sebesar 2500/5, maka dapat dihitung Tap =  $\frac{1275}{2500}$

Dipilih Tap = 0.51

- *Time Dial*

Dipilih waktu operasi (t) = 0.1 s

Menurut data sheet rele Schneider Electric Sepam series 10, penentuan time delay dari kurva IEC-Long Time Invers dapat menggunakan rumus :

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

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

$$T = \frac{0.1 \times 2.97 \left[ \left( \frac{I_{sc \max 4 \text{ cycle}}}{I_{set}} \right)^{0.02} - 1 \right]}{0.14}$$

$$T = \frac{0.1 \times 2.97 \left[ \left( \frac{111500}{1275} \right)^{0.02} - 1 \right]}{0.14}$$

$$T = 0.02$$

- *Instantaneous pickup*

$$1.6 \times FLA \leq I_{set} \leq 0.8 \times I_{sc \min 30 \text{ cycle } 20BBA01}$$

$$1.6 \times 1275 \leq I_{set} \leq 0.8 \times 59760$$

$$3665.6 \leq I_{set} \leq 13032$$

Dipilih Iset = 8500 A

Dengan CT sebesar 3000/5, maka dapat dihitung Tap =  $\frac{8500}{3000}$

Dipilih Tap = 2.83

Time delay

Dipilih time delay = 0.1 s

#### 4.5 Hasil Simulasi Incident Energy Arc-Flash

Dengan dilakukannya simulasi menggunakan maka didapatkan nilai *incident energy arc flash* dan *category incident* yang terjadi yang akan disesuaikan dengan *Personal Protective Equipment (PPE)* sesuai dengan

standart NFPA 70E-2009. Data simulasi ini berdasarkan tipikal-tipikal yang telah dilakukan koordinasi pengamannya, yaitu tipikal 1, tipikal 2 ,tipikal 3 ,dan tipikal 4.

Pada tabel 4.13 akan ditunjukkan data dari hasil simulasi *incident energy arc flash* tipikal 1.

**Tabel 4.13** Hasil simulasi *incident energy arc flash* pada sistem eksisting tipikal 1.

Bus ID	Arus Bolted Fault (kA)	Arus Arching (kA)	FCT (s)	Insiden Energi (cal/cm <sup>2</sup> )	Kategori
Bus 21	31.8	31.8	0.35	25.76	4
Bus 20BBA01	111.5	111.5	0.146	199.6	>4

Tabel 4.14 akan menunjukkan hasil simulasi *incident energy arc flash* pada sistem *resetting* tipikal 1.

**Tabel 4.14** Hasil simulasi *incident energy arc flash* pada sistem *resetting* tipikal 1.

Bus ID	Arus Bolted Fault (kA)	Arus Arching (kA)	FCT (s)	Insiden Energi (cal/cm <sup>2</sup> )	Kategori
Bus 21	31.8	31.8	0.23	26.6	4
Bus 20BBA01	111.5	111.5	0.02	27.31	4

Pada tabel 4.15 akan ditunjukkan data dari hasil simulasi *incident energy arc flash* tipikal 2.

**Tabel 4.15** Hasil simulasi *incident energy arc flash* pada sistem eksisting tipikal 2.

Bus ID	Arus Bolted Fault (kA)	Arus Arching (kA)	FCT (s)	Insiden Energi (cal/cm <sup>2</sup> )	Kategori
Bus 49	47.7	19.1	0.34	18.74	3
Bus	27.4	26.1	0.57	26.88	4

**Tabel 4.15** Hasil simulasi *incident energy arc flash* pada sistem eksisting tipikal 2 ( Lanjutan )

20BBB					
Bus 20BBA01	111.5	111.5	0.146	199.6	>4

Tabel 4.16 akan menunjukkan hasil simulasi *incident energy arc flash* pada sistem *resetting* tipikal 2.

**Tabel 4.16** Hasil simulasi *incident energy arc flash* pada sistem *resetting* tipikal 2.

Bus ID	Arus Bolted Fault (kA)	Arus Arching (kA)	FCT (s)	Insiden Energi (cal/cm <sup>2</sup> )	Kategori
Bus 49	47.7	19.1	0.23	16.68	3
Bus 20BBB	27.4	26.1	0.36	17.45	3
Bus 20BBA01	111.5	111.5	0.02	27.31	4

Pada tabel 4.17 akan ditunjukkan data dari hasil simulasi *incident energy arc flash* tipikal 3.

**Tabel 4.17** Hasil simulasi *incident energy arc flash* pada sistem eksisting tipikal 3.

Bus ID	Arus Bolted Fault (kA)	Arus Arching (kA)	FCT (s)	Insiden Energi (cal/cm <sup>2</sup> )	Kategori
Bus 00BBB	27.4	26.1	0.57	26.88	4
Bus 20BBB	27.4	26.1	0.57	26.88	4
Bus 20BBA01	111.5	111.5	0.146	199.682	>4

Tabel 4.18 akan menunjukkan hasil simulasi *incident energy arc flash* pada sistem *resetting* tipikal 3.



**Tabel 4.18** Hasil simulasi *incident energy arc flash* pada sistem *resetting* tipikal 3.

Bus ID	Arus Bolted Fault (kA)	Arus Arching (kA)	FCT (s)	Insiden Energi (cal/cm <sup>2</sup> )	Kategori
Bus 00BBB	27.41	26.1	0.37	17.45	3
Bus 20BBB	27.41	26.1	0.37	17.45	3
Bus 20BBA01	111.5	111.5	0.02	27.31	4

Pada tabel 4.19 akan ditunjukkan data dari hasil simulasi *incident energy arc flash* tipikal 4.

**Tabel 4.19** Hasil simulasi *incident energy arc flash* pada sistem eksisting tipikal 4.

Bus ID	Arus Bolted Fault (kA)	Arus Arching (kA)	FCT (s)	Insiden Energi (cal/cm <sup>2</sup> )	Kategori
Bus 20BBA	28.06	26.76	0.57	27.56	4
Bus 20BBA01	111.5	111.5	0.146	199.682	>4

Tabel 4.20 akan menunjukkan hasil simulasi *incident energy arc flash* pada sistem *resetting* tipikal 4.

**Tabel 4.20** Hasil simulasi *incident energy arc flash* pada sistem *resetting* tipikal 4.

Bus ID	Arus Bolted Fault (kA)	Arus Arching (kA)	FCT (s)	Insiden Energi (cal/cm <sup>2</sup> )	Kategori
Bus 20BBA	28.06	26.76	0.33	16.12	3
Bus 20BBA01	111.5	111.5	0.02	27.31	4

## 4.6 Perhitungan Incident Energy Arc flash

### 4.6.1 Perhitungan Incident Energy Arc Flash Tipikal 1

Tipikal 1 terdapat dua ID Bus yang dapat dianalisa nilai energi busur apinya, yaitu Bus 21. Analisa perhitungannya dapat dilihat seperti berikut ini :

- **Bus 21**

$$I_{bf} = 31.8 \text{ kA}$$

$$FCT = 0.23 \text{ s}$$

Berdasarkan data tersebut, maka :

#### Mencari besar *incident energy arc flash*

$$\begin{aligned} I_a &= 1.01 \times I_{bf}^{0.983} \\ &= 1.01 \times (31.8)^{0.983} \\ &= 30.28 \text{ kA} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_n &= I_a^{1.081} \times 10^{(K1 + K2 + 0.0011 \times G)} \\ &= (30.28)^{1.081} \times 10^{(-0.555 - 0.113 + 0.0011 \times 25)} \\ &= 9.13 \text{ J/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E &= C_f \times E_n \times \left(\frac{t}{0.2}\right) \left(\frac{610}{D}\right)^x \\ &= 1.5 \times 9.13 \left(\frac{0.23}{0.2}\right) \left(\frac{610}{457.2}\right)^{1.641} \\ &= 25.28 \text{ cal/cm}^2 \end{aligned}$$

#### Mencari besar *flash protection boundary*

$$\begin{aligned} D_B &= \left[ 4,184 \cdot C_f \cdot E_n \cdot \left(\frac{t}{0.2}\right) \cdot \left(\frac{610^x}{E_B}\right) \right]^{\frac{1}{x}} \\ &= \left[ 4,184 \cdot 1.5 \cdot 9.13 \cdot \left(\frac{0.23}{0.2}\right) \cdot \left(\frac{610^{1.641}}{5}\right) \right]^{\frac{1}{1.641}} \\ &= 2936.09 \text{ mm} \\ &= 2.9 \text{ m} \end{aligned}$$

- **Bus 20BBA01**

$$I_{bf} = 111.5 \text{ kA}$$

$$FCT = 0.02 \text{ s}$$

Berdasarkan data tersebut, maka :

**Mencari besar *flash protection boundary***

$$D_B = \sqrt{2.142 \times 10^6 \cdot V \cdot I_{bf} \left(\frac{t}{Eb}\right)}$$

$$D_B = \sqrt{2.142 \times 10^6 \cdot 20 \cdot 111.5 \left(\frac{0.02}{5}\right)}$$

$$= 4371.1 \text{ mm}$$

$$= 4.3 \text{ m}$$

#### 4.6.2 Perhitungan Incident Energy Arc Flash Tipikal 2

Tipikal 2 terdapat dua ID Bus yang dapat dianalisa nilai energi busur apinya, yaitu bus 49, bus 20BBB. Analisa perhitungannya dapat dilihat seperti berikut ini :

- **Bus 49**

$$I_{bf} = 47.73 \text{ kA}$$

$$FCT = 0.23 \text{ s}$$

Berdasarkan data tersebut, maka :

**Mencari besar *incident energy arc flash***

$$\begin{aligned} I_a &= 1.01 \times I_{bf}^{0.983} \\ &= 1.01 \times (47.73)^{0.983} \\ &= 45.14 \text{ kA} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_n &= I_a^{1.081} \times 10^{(K1 + K2 + 0.0011 \times G)} \\ &= (45.14)^{1.081} \times 10^{(-0.555 + 0 + 0.0011 \times 25)} \\ &= 18.25 \text{ J/cm}^2 \end{aligned}$$

$$E = C_f \times E_n \times \left(\frac{t}{0.2}\right) \left(\frac{610}{D}\right)^x$$

$$= 1.5 \times 18.25 \left( \frac{0.23}{0.2} \right) \left( \frac{610}{457.2} \right)^{1.641}$$

$$= 50.53 \text{ cal/cm}^2$$

**Mencari besar *flash protection boundary***

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot Cf \cdot En \cdot \left( \frac{t}{0.2} \right) \cdot \left( \frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$= \left[ 4,184 \cdot 1.5 \cdot 18.25 \cdot \left( \frac{0.23}{0.2} \right) \cdot \left( \frac{610^{1.641}}{5} \right) \right]^{\frac{1}{1.641}}$$

$$= 4477.8 \text{ mm}$$

$$= 4.7 \text{ m}$$

• **Bus 20BBB**

$$I_{bf} = 27.41 \text{ kA}$$

$$FCT = 0.37 \text{ s}$$

Berdasarkan data tersebut, maka :

**Mencari besar *incident energy arc flash***

$$I_a = 1.01 \times I_{bf}^{0.983}$$

$$= 1.01 \times (27.41)^{0.983}$$

$$= 26.16 \text{ kA}$$

$$E_n = I_a^{1.081} \times 10^{(K1 + K2 + 0.0011 \times G)}$$

$$= (26.16)^{1.081} \times 10^{(-0.555 + 0 + 0.0011 \times 153)}$$

$$= 13.98 \text{ J/cm}^2$$

$$E = Cf \times E_n \times \left( \frac{t}{0.2} \right) \left( \frac{610}{D} \right)^x$$

$$= 1 \times 13.98 \left( \frac{0.37}{0.2} \right) \left( \frac{610}{914.4} \right)^{0.973}$$

$$= 16.97 \text{ cal/cm}^2$$

### Mencari besar *flash protection boundary*

$$\begin{aligned}D_B &= \left[ 4,184 \cdot Cf \cdot En \cdot \left( \frac{t}{0.2} \right) \cdot \left( \frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}} \\ &= \left[ 4,184 \cdot 1 \cdot 13.98 \cdot \left( \frac{0.37}{0.2} \right) \cdot \left( \frac{610^{0.973}}{5} \right) \right]^{\frac{1}{0.973}} \\ &= 13978.30 \text{ mm} \\ &= 13.97 \text{ m}\end{aligned}$$

- **Bus 20BBA01**

$$I_{bf} = 111.5 \text{ kA}$$

$$FCT = 0.02 \text{ s}$$

Berdasarkan data tersebut, maka :

### Mencari besar *flash protection boundary*

$$\begin{aligned}D_B &= \sqrt{2.142 \times 10^6 \cdot V \cdot I_{bf} \left( \frac{t}{E_b} \right)} \\ D_B &= \sqrt{2.142 \times 10^6 \cdot 20 \cdot 111.5 \left( \frac{0.02}{5} \right)} \\ &= 4371.1 \text{ mm} \\ &= 4.3 \text{ m}\end{aligned}$$

### 4.6.3 Perhitungan Incident Energy Arc Flash Tipikal 3

Tipikal 3 terdapat tiga ID Bus yang dapat dianalisa nilai energi busur apinya, yaitu bus 00BBB, bus 20BBB. Analisa perhitungannya dapat dilihat seperti berikut ini :

- **Bus 00BBB**

$$I_{bf} = 27.41 \text{ kA}$$

$$FCT = 0.37 \text{ s}$$

Berdasarkan data tersebut, maka :

### Mencari besar *incident energy arc flash*

$$I_a = 1.01 \times I_{bf}^{0.983}$$

$$= 1.01 \times (27.41)^{0.983}$$

$$= 26.16 \text{ kA}$$

$$\text{En} = \text{Ia}^{1.081} \times 10^{(K1 + K2 + 0.0011 \times G)}$$

$$= (26.16)^{1.081} \times 10^{(-0.555 + 0 + 0.0011 \times 153)}$$

$$= 13.98 \text{ J/cm}^2$$

$$\text{E} = \text{Cf} \times \text{En} \times \left(\frac{t}{0.2}\right) \left(\frac{610}{D}\right)^x$$

$$= 1 \times 13.98 \left(\frac{0.37}{0.2}\right) \left(\frac{610}{914.4}\right)^{0.973}$$

$$= 16.97 \text{ cal/cm}^2$$

**Mencari besar *flash protection boundary***

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot \text{Cf} \cdot \text{En} \cdot \left(\frac{t}{0.2}\right) \cdot \left(\frac{610^x}{E_B}\right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$= \left[ 4,184 \cdot 1 \cdot 13.98 \cdot \left(\frac{0.37}{0.2}\right) \cdot \left(\frac{610^{0.973}}{5}\right) \right]^{\frac{1}{0.973}}$$

$$= 13978.30 \text{ mm}$$

$$= 13.97 \text{ m}$$

• **Bus 20BBB**

$$\text{Ibf} = 27.41 \text{ kA}$$

$$\text{FCT} = 0.37 \text{ s}$$

Berdasarkan data tersebut, maka :

**Mencari besar *incident energy arc flash***

$$\text{Ia} = 1.01 \times \text{Ibf}^{0.983}$$

$$= 1.01 \times (27.41)^{0.983}$$

$$= 26.16 \text{ kA}$$

$$\text{En} = \text{Ia}^{1.081} \times 10^{(K1 + K2 + 0.0011 \times G)}$$

$$= (26.16)^{1.081} \times 10^{(-0.555 + 0 + 0.0011 \times 153)}$$

$$= 13.98 \text{ J/cm}^2$$

$$E = C_f \times E_n \times \left(\frac{t}{0.2}\right) \left(\frac{610}{D}\right)^x$$

$$= 1 \times 13.98 \left(\frac{0.37}{0.2}\right) \left(\frac{610}{914.4}\right)^{0.973}$$

$$= 16.97 \text{ cal/cm}^2$$

**Mencari besar *flash protection boundary***

$$D_B = \left[ 4,184 \cdot C_f \cdot E_n \cdot \left(\frac{t}{0.2}\right) \cdot \left(\frac{610^x}{E_B}\right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$= \left[ 4,184 \cdot 1 \cdot 13.98 \cdot \left(\frac{0.37}{0.2}\right) \cdot \left(\frac{610^{0.973}}{5}\right) \right]^{\frac{1}{0.973}}$$

$$= 13978.30 \text{ mm}$$

$$= 13.97 \text{ m}$$

- **Bus 20BBA01**

$$I_{bf} = 111.5 \text{ kA}$$

$$FCT = 0.02 \text{ s}$$

Berdasarkan data tersebut, maka :

**Mencari besar *flash protection boundary***

$$D_B = \sqrt{2.142 \times 10^6 \cdot V \cdot I_{bf} \left(\frac{t}{E_b}\right)}$$

$$D_B = \sqrt{2.142 \times 10^6 \cdot 20 \cdot 111.5 \left(\frac{0.02}{5}\right)}$$

$$= 4371.1 \text{ mm}$$

$$= 4.3 \text{ m}$$

#### 4.6.4 Perhitungan Incident Energy Arc Flash Tipikal 4

Tipikal 4 terdapat dua ID Bus yang dapat dianalisa nilai energi busur apinya, yaitu bus 20BBA. Analisa perhitungannya dapat dilihat seperti berikut ini :

- **Bus 20BBA**

$$I_{bf} = 28.06 \text{ kA}$$

$$FCT = 0.33 \text{ s}$$

Berdasarkan data tersebut, maka :

#### Mencari besar *incident energy arc flash*

$$\begin{aligned} I_a &= 1.01 \times I_{bf}^{0.983} \\ &= 1.01 \times (28.06)^{0.983} \\ &= 26.77 \text{ kA} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_n &= I_a^{1.081} \times 10^{(K1 + K2 + 0.0011 \times G)} \\ &= (26.77)^{1.081} \times 10^{(-0.555 + 0 + 0.0011 \times 153)} \\ &= 14.34 \text{ J/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E &= C_f \times E_n \times \left(\frac{t}{0.2}\right) \left(\frac{610}{D}\right)^x \\ &= 1 \times 14.34 \left(\frac{0.33}{0.2}\right) \left(\frac{610}{914.4}\right)^{0.973} \\ &= 15.96 \text{ cal/cm}^2 \end{aligned}$$

#### Mencari besar *flash protection boundary*

$$\begin{aligned} D_B &= \left[4,184 \cdot C_f \cdot E_n \cdot \left(\frac{t}{0.2}\right) \cdot \left(\frac{610^x}{E_B}\right)\right]^{\frac{1}{x}} \\ &= \left[4,184 \cdot 1 \cdot 14.34 \cdot \left(\frac{0.33}{0.2}\right) \cdot \left(\frac{610^{0.973}}{5}\right)\right]^{\frac{1}{0.973}} \\ &= 13120.96 \text{ mm} \\ &= 13.12 \text{ m} \end{aligned}$$



- **Bus 20BBA01**

$$I_{bf} = 111.5 \text{ kA}$$

$$FCT = 0.02 \text{ s}$$

Berdasarkan data tersebut, maka :

**Mencari besar *flash protection boundary***

$$D_B = \sqrt{2.142 \times 10^6 \cdot V \cdot I_{bf} \left(\frac{t}{Eb}\right)}$$

$$D_B = \sqrt{2.142 \times 10^6 \cdot 20 \cdot 111.5 \left(\frac{0.02}{5}\right)}$$

$$= 4371.1 \text{ mm}$$

$$= 4.3 \text{ m}$$

*Flash Protection Boundary* merupakan jarak aman perkerja dari titik terjadinya busur api, atau jarak dari titik busur api yang dapat menghasilkan energi  $1,2 \text{ cal/cm}^2$ . Dalam jarak batasan ini, seseorang masih diperbolehkan untuk tidak menggunakan alat perlindungan diri yang sesuai, tetapi ketika melewati batasan ini, seseorang diwajibkan untuk memakai alat perlindungan diri yang sesuai. Seberapa jauh jarak FPB ini tergantung dari besar energi yang dihasilkan. Semakin besar energinya maka semakin jauh pula jarak amannya, demikian sebaliknya. Nilai FPB akan dibandingkan ketika kondisi *existing* dan *resetting*.





**Tabel 4.21** Data Perbandingan FPB Kondisi *Existing* dan *Resetting*

Bus ID	FPB Eksisting (meter)	FPB Resetting (meter)
Bus 21	4.89	3.02
Bus 49	3.94	2.3
Bus 00BBB	22.3	14.3
Bus 20BBA	22.9	13.2
Bus 20BBB	22.3	14.3
Bus 20BBA01	11.8	4.37

#### 4.7 Perbandingan pengelompokan perlengkapan keselamatan diri sesuai standart NFPA 70E

Hasil perbandingan antara kondisi existing dan resetting dari level energy *arc-flash*. Pada tabel dibawah ini akan ditunjukkan perbandingan insiden busur energi dan perlengkapan apa yang digunakan.

**Tabel 4.22** Perbandingan *incident energy arc flash* tipikal 1

ID Bus	<i>Incident Energy Arc Flash</i>					
	<i>Existing</i>	<i>Level</i>	<i>PPE</i>	<i>Resetting</i>	<i>Level</i>	<i>PPE</i>
Bus 21 0.9 kV	40.58	4	 Hazard Risk Category 4	26.6	4	 Hazard Risk Category 4
Bus 20BBA01 20 kV	199.6	>4	 Hazard Risk Category 4	27.31	4	 Hazard Risk Category 4



**Tabel 4.23** Perbandingan *incident energy arc flash* tipikal 2

ID Bus	<i>Incident Energy Arc Flash</i>					
	<i>Existing</i>	<i>Level</i>	<i>PPE</i>	<i>Resetting</i>	<i>Level</i>	<i>PPE</i>

**Tabel 4.23** Perbandingan *incident energy arc flash* tipikal 2 ( Lanjutan )

Bus 49 0.4 kV	32.93	4	 Hazard Risk Category 4	16.68	3	 Hazard Risk Category 3
Bus 20BBB 6.3 kV	26.87	4	 Hazard Risk Category 4	17.45	3	 Hazard Risk Category 3
Bus 20BBA01 20 kV	199.6	>4	 Hazard Risk Category 4	27.31	4	 Hazard Risk Category 4





**Tabel 4.24** Perbandingan *incident energy arc flash* tipikal 3

ID Bus	<i>Incident Energy Arc Flash</i>					
	<i>Existing</i>	<i>Level</i>	<i>PPE</i>	<i>Resetting</i>	<i>Level</i>	<i>PPE</i>
Bus 00BBB 6.3 kV	26.87	4	 Hazard Risk Category 4	17.45	3	 Hazard Risk Category 3

**Tabel 4.24** Perbandingan *incident energy arc flash* tipikal 3 ( Lanjutan )

Bus 20BBB 6.3 kV	26.87	4	 Hazard Risk Category 4	17.45	3	 Hazard Risk Category 3
Bus 20BBA01 20 kV	199.6	>4	 Hazard Risk Category 4	27.31	4	 Hazard Risk Category 4

**Tabel 4.25** Perbandingan *incident energy arc flash* tipikal 4

ID Bus	<i>Incident Energy Arc Flash</i>					
	<i>Existing</i>	<i>Level</i>	<i>PPE</i>	<i>Resetting</i>	<i>Level</i>	<i>PPE</i>
Bus 20BBA 0.9 kV	27.56	4	 Hazard Risk Category 4	16.12	3	 Hazard Risk Category 3
Bus 20BBA01 20 kV	199.6	>4	 Hazard Risk Category 4	27.31	4	 Hazard Risk Category 4

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1. Kesimpulan

Dari hasil studi koordinasi proteksi dengan memperhitungkan besar energi busur api yang telah dilakukan pada sistem kelistrikan PLTU Pacitan, didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Untuk hasil yang didapat pada tugas akhir ini adalah pada tipikal 1 nilai insiden energi tertinggi 199.6 cal/cm<sup>2</sup> turun menjadi 27.31 cal/cm<sup>2</sup>, pada tipikal 2 nilai insiden energi tertinggi 32.93 cal/cm<sup>2</sup> turun menjadi 16.68 cal/cm<sup>2</sup>, pada tipikal 3 nilai insiden energi nya mengalami penurunan yaitu dari 26.87 cal/cm<sup>2</sup> menjadi 17.45 cal/cm<sup>2</sup>, pada tipikal 4 nilai insiden energi nya mengalami penurunan yaitu pada dari 27.56 cal/cm<sup>2</sup> menjadi 16.12 cal/cm<sup>2</sup>.
2. Setelah dilakukan penambahan rele differensial 87B bus 20BBA01 dengan *operating time* 0.01s didapatkan penurunan nilai insiden energi.
3. Pengklasifikasian kategori dan alat perlindungan diri yang tepat dapat memberikan rasa aman dan nyaman bagi para pekerja sehingga dapat bekerja secara optimal. Selain itu juga untuk menghindari jatuhnya korban jiwa akibat ledakan busur api.

#### 5.2. Saran

1. Berdasarkan setting rele pengaman yang didapat dan hasil dari koordinasi arus waktu *resetting* dapat dijadikan pertimbangan dan referensi dalam melakukan setting rele pengaman.
2. Pada bus 20BBA01 sebaiknya dilakukan setting rele differensial agar nilai dari insiden energi pada tegangan 20 kV mengalami penurunan sampai kategori 4.

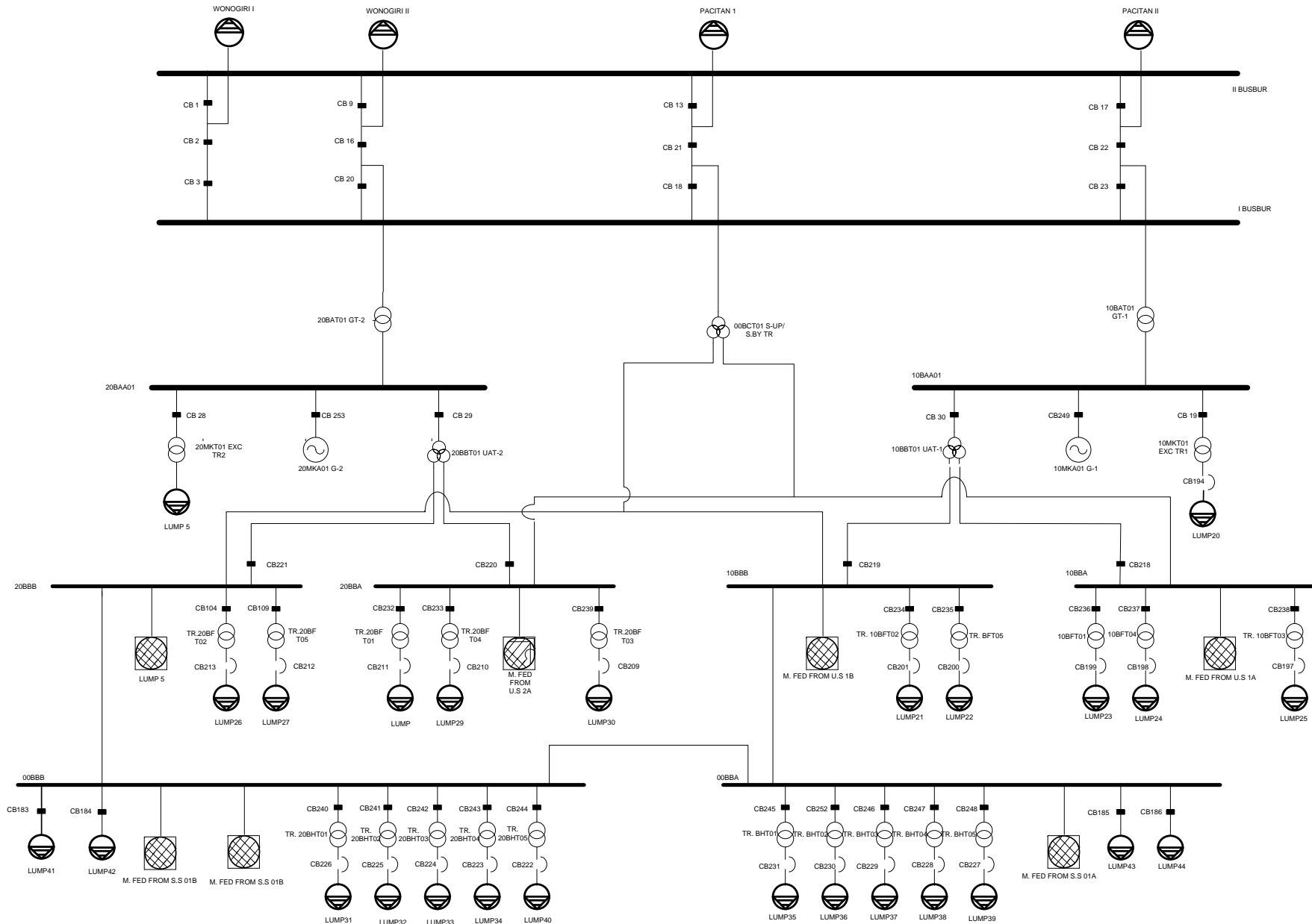
*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. B. Durocher and L. A. Kay, “Arc Flash Safety Compliance: A Journey Toward Electrical Workplace Safety and Production Reliability,” *IEEE Ind. Appl. Mag.*, vol. 24, no. 3, pp. 48–57, 2018.
- [2] NFPA 70E-2004, *Workplace, Electrical safety requirement for employed*. 2004.
- [3] R. W. Hurst, *Electrical safety and Arc flash handbook volume 5*. 2009.
- [4] R. Wahyudi, “Diktat kuliah Sistem Pengaman tenaga listrik,” R. Wahyudi, Ed. Surabaya: Teknik elektro ITS.
- [5] “*IEEE Guide for Performing Arc Flash Hazard Calculations*,” *IEEE Std 1584-2002*. pp. 1–113, 2002.
- [6] “*IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems (IEEE Buff Book)*,” *IEEE Std 242-2001 (Revision of IEEE Std 242-1986) [IEEE Buff Book]*. pp. 1–710, 2001.
- [7] Cahier Technique No.158, “*Calculation of short-circuit current*,” 2005.
- [8] P. Anderson, “*Power System Protection*,” John Wiley., Canada, 1998.
- [9] Service Manual R8501H, “*K Range-series I overcurrent relays*,” Areva, 2005.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*





Single Line Diagram PLTU Pacitan

## BIODATA PENULIS



**Firman Restu Fauzi** dilahirkan di Surabaya, 02 Maret 1996. Menempuh pendidikan di SDN Sidoklumpuk pada tahun (2000-2006), SMPN 5 Sidoarjo tahun (2007-2010), dan SMAN 3 Sidoarjo tahun (2011-2013). Setelah lulus sekolah, penulis melanjutkan kuliah di S1 Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya Jurusan Teknik Elektro bidang studi Teknik Sistem Tenaga ITS tahun (2014-2019). Penulis dapat dihubungi dengan mengirim email [firmanrestufauzi@gmail.com](mailto:firmanrestufauzi@gmail.com) atau nomer telepon 082176975758

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