



TUGAS AKHIR - TE 141599

**STUDI KOORDINASI PROTEKSI ARUS LEBIH DENGAN SFCL  
(HYBRID SUPERCONDUCTING FAULT CURRENT LIMITER) DI  
PT. TERMINAL TELUK LAMONG**

Avonthea Sisna  
NRP 2215105029

Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
Vita Lystianingrum Budiharto Putri, ST., M.Sc., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017



**TUGAS AKHIR - TE 141599**

**STUDI KOORDINASI PROTEKSI ARUS LEBIH DENGAN SFCL  
(HYBRID SUPERCONDUCTING FAULT CURRENT LIMITER) DI  
PT. TERMINAL TELUK LAMONG**

Avonthea Sisna  
NRP 2215105029

Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
Vita Lystianingrum Budiharto Putri, ST., M.Sc., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017



**FINAL PROJECT - TE 141599**

**STUDY COORDINATION OVERCURRENT PROTECTION  
USING HYBRID SUPERCONDUCTING FAULT CURRENT  
LIMITER ON PT. TERMINAL TELUK LAMONG**

Avonthea Sisna  
NRP 2215105029

Advisor  
Dr. Ir. Margo Pudjiantara, MT.  
Vita Lystianingrum Budiharto Putri, ST., M.Sc., Ph.D.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty Of Electro Technology  
Sepuluh Nopember Institute Of Technology  
Surabaya 2017

## PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul **Studi Koordinasi Proteksi Arus Lebih Dengan SFCL (*Hybrid Superconducting Fault Current Limiter*) Di PT. Terminal Teluk Lamong** adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

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

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

Surabaya, Juli 2017



Avonthea Sisna  
Nrp. 2215105029

**STUDI KOORDINASI PROTEKSI ARUS LEBIH  
DENGAN SFCL (HYBRID SUPERCONDUCTING  
FAULT CURRENT LIMITER) DI PT. TERMINAL  
TELUK LAMONG**

**TUGAS AKHIR**

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

**Pada**

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga**

**Departemen Teknik Elektro**

**Fakultas Teknik Elektro**

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Menyetujui:**

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

  
**Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.**  
**NIP. 196603181990101001**

  
**Vita Lystianingrum B.P., S.T., M.Sc., Ph.D.**  
**NIP. 198208292006042001**

21.7.2017



# STUDI KOORDINASI PROTEKSI ARUS LEBIH DENGAN SFCL (*HYBRID SUPERCONDUCTING FAULT CURRENT LIMITER*) DI PT. TERMINAL TELUK LAMONG

Nama Mahasiswa : Avonthea Sisna  
Nrp : 2215105029  
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
NIP : 196603181990101001  
Dosen Pembimbing : Vita Lystianingrum Budiharto  
Putri,ST.,M.Sc.,Ph.D.  
NIP : 198208292006042001

## ABSTRAK

Sistem kelistrikan adalah bagian yang penting dalam suatu perusahaan. Gangguan hubung singkat merupakan gangguan yang paling sering terjadi pada sistem kelistrikan. Besarnya arus gangguan dapat menyebabkan *trip* di suatu titik area. PT. Terminal Teluk Lamong pernah mengalami *trip* karena terjadinya hubung singkat. Arus hubung singkat yang besar membuat rele PLN bekerja terlebih dahulu, karena hanya rele *invers* nya saja yang bekerja oleh sebab itu jika ada arus hubung singkat yang besar rele PLN langsung *trip* terlebih dahulu. Salah satu cara untuk mereduksi arus hubung singkat yang besar yaitu dengan menambahkan SFCL. Bus HVS1-Bus mempunyai rating arus hubung singkat yang besar, oleh sebab itu SFCL dipasang parallel dengan bus tersebut. Besar arus hubung singkat simetri sebelum diberi SFCL yaitu 16,3 kA dan arus kontribusi dari PLN yaitu sebesar 12,57kA. Arus hubung singkat ini membuat rele PLN bekerja terlebih dahulu. Setelah SFCL dipasang, arus hubung singkat simetri pada bus HVS1-Bus tereduksi menjadi 7,7kA dengan arus kontribusi dari PLN sebesar 3,79kA. Penambahan impedansi sebesar 2,438 ohm dapat mengatasi masalah yang berada pada PT. Terminal Teluk Lamong dan akibat dari penambahan SFCL juga harus dilakukan *setting* ulang untuk rele arus lebih. Dengan pemasangan *Hybrid* SFCL dapat memperkecil arus hubung singkat dan tetap menjaga kontinuitas penyaluran daya yang berada pada PT. Terminal Teluk Lamong.

**Kata Kunci** : *Hybrid* SFCL, Koordinasi Proteksi, Rele Arus Lebih.

*-Halaman ini sengaja dikosongkan-*

# **STUDY COORDINATION OVERCURRENT PROTECTION USING HYBRID SUPERCONDUCTING FAULT CURRENT LIMITER ON PT. TERMINAL TELUK LAMONG**

**Name** : Avonthea Sisna  
**NRP** : 2215105029  
**Advisor I** : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
**NIP** : 196603181990101001  
**Advisor II** : Vita Lystianingrum Budiharto  
Putri,ST.,M.Sc.,Ph.D.  
**NIP** : 198208292006042001

## **ABSTRACT**

*Electrical systems are an important part of a company. Short circuit is the most common disturbance in the electrical system. The amount of noise current can lead to trips in an area point. PT. Terminal Teluk Lamong has experienced trips due to short circuit. Large short circuits make relay of PLN work first, because only the inverse relays are working because of that if there is a large short circuit current relay of PLN trip directly first. One way to reduce large short-circuit current is by adding SFCL. The HVS1-Bus has a large short-circuit current rating, therefore SFCL is installed parallel with the bus. The short circuit of symmetry before adding SFCL is 16.3 kA and the current contribution from PLN is 12.57kA. This short circuit makes the relay of PLN work first. After SFCL is installed, the short circuit of symmetry on the bus HVS1-Bus is reduced to 7.7 kA with a current contribution from PLN is 3.79kA. The addition of an impedance of 2.438 ohm can overcome the problems that are at PT. Terminal Teluk Lamong and the result of the addition of SFCL also have to be reset for more current relay. With the installation of SFCL Hybrid can reduce short circuit current and maintain the continuity of power distribution in PT.Terminal Teluk Lamong.*

*Keywords : Hybrid SFCL, Coordination protection Overcurrent relay*



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

## KATA PENGANTAR

Dengan mengucap puji syukur atas kehadiran Allah SWT, serta shalawat dan salam senantiasa terlimpahkan kepada junjungan kita Nabi besar Nabi Muhammad SAW, karena atas ridho dan hidayahNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul :

**“Studi Koordinasi Proteksi Arus Lebih Dengan Sfcl (*Hybrid Superconducting Fault Current Limiter*) Di PT. Terminal Teluk Lamong”**

Tugas akhir ini diajukan guna memenuhi persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan Sarjana Teknik Elektro ITS. Dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang banyak berjasa terutama dalam penyusunan Tugas Akhir ini, yaitu :

1. Ayahanda Eko , Ibunda Titin, Kakakku Imo dan Sisna, Bude Sinalin, Pakde Harmani dan adekku tercinta Sabilla yang selalu memberikan dukungan, semangat dan doa untuk keberhasilan penulis.
2. Bapak Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T. dan Vita Lystianingrum Budiharto Putri, ST., M.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan saran serta bimbingannya.
3. Rekan saya Shofie, April, Vania, Fidya, Namira, Ozi, Adinda, Nurma, Vita, Putu, Imam, Wahyu, Ilham dan teman – teman LJ 2015 terutama prodi Teknik Sistem Tenaga atas kerjasamanya selama 2 tahun ini.
4. Seluruh staf pengajar dan karyawan S1 Teknik Elektro - ITS, atas sarana dan prasarana yang diberikan.
5. Dan semua pihak–pihak yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu. Semoga Allah SWT memberikan limpahan rahmat dan hidayahnya atas segala kebaikan dan semoga

Besar harapan penulis agar Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat dan masukan bagi banyak pihak. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik, koreksi, dan saran dari pembaca yang bersifat membangun untuk pengembangan ke arah yang lebih baik.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# DAFTAR ISI

## JUDUL

## LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

## LEMBAR PENGESAHAN

ABSTRAK .....	i
ABSTRACT .....	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL .....	xi

## BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Permasalahan dan Batasan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan .....	2
1.5 Metode Penelitian .....	3
1.6 Sistematika Pembahasan .....	3

## BAB II DASAR TEORI

2.1 Gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik[1].....	5
2.1.1 Gangguan Hubung Singkat.....	5
2.1.1.1 Gangguan Hubung Singkat Simetri.....	6
2.1.1.2 Gangguan Hubung Singkat tak simetri .....	6
2.1.2 Gangguan Beban Lebih (Over Load) .....	8
2.2 Sistem Pengaman Tenaga Listrik.....	9
2.2.1 Rele Arus Lebih ( <i>over current relay</i> ) .....	10
2.2.1.1 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu ( <i>Definite</i> ) .....	11
2.2.1.2 Rele Arus Lebih Waktu Seketika ( <i>Instantaneous</i> ).....	12
2.2.1.3 Arus Lebih Waktu Terbalik ( <i>Inverse</i> ) .....	12
2.3 Hybrid Superconductor Fault Current Limiter (SFCL) .....	14
2.3.1 Kondisi Operasi Normal .....	16
2.3.2 Kondisi Ketika Terjadi Gangguan .....	16

## BAB III SISTEM KELISTRIKAN PT. TERMINAL TELUK

### LAMONG

3.1 Rating Tegangan PT. Terminal Teluk Lamong.....	20
--	----

3.2	Sistem Pembangkitan Tenaga Listrik PT. Terminal Teluk Lamong .....	20
3.3	Data Transformator PT. Terminal Teluk Lamong .....	20
3.4	Data Beban PT. Terminal Teluk Lamong .....	22
3.5	Data Kabel di PT. Terminal Teluk Lamong.....	23
<b>BAB IV HASIL SIMULASI DAN ANALISA</b>		
4.1	Analisa Tripping Sequence .....	29
4.1.1	Tripping Sequence Rele Existing .....	30
4.1.2	<i>Tripping Sequence</i> setelah dipasang SFCL.....	33
4.2	Analisa Hubung Singkat .....	34
4.2.1	Hubung Singkat Maksimum.....	35
4.2.2	Hubung Singkat Minimum .....	35
4.3	Pemasangan Hybrid Superconducting Fault Current Limiter (SFCL) .....	36
4.3.1	Cara Kerja <i>Hybrid</i> SFCL .....	37
4.3.2	Pemilihan Letak <i>Hybrid</i> SFCL .....	39
4.3.3	Penentuan Reaktansi <i>Current Limiter Reactor</i> (CLR).....	40
4.4	Koordinasi Rele Arus Lebih.....	42
4.4.1	Pemilihan Tipikal .....	42
4.4.2	Koordinasi Rele Arus Lebih Tipikal 1 .....	43
4.4.2.1	Tipikal 1a .....	44
4.4.2.2	Tipikal 1b.....	50
4.4.2.3	Tipikal 1c.....	58
4.4.3	Koordinasi Rele Arus Lebih Tipikal 2.....	69
4.4.4	Koordinasi Rele Arus Lebih Tipikal 3.....	77
<b>BAB V PENUTUP</b>		
5.1	Kesimpulan .....	87
5.2	Saran .....	87
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>89</b>
<b>BIOGRAFI PENULIS .....</b>		<b>91</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa .....	6
Gambar 2.2	Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa .....	7
Gambar 2.3	Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa Ketanah.....	7
Gambar 2.4	Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa Ketanah .....	8
Gambar 2.5	Skema Konsep Kerja Rele [1] .....	9
Gambar 2.6	Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu .....	11
Gambar 2.7	Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Seketika.....	12
Gambar 2.8	Karakteristik Operasi Rele Arus Lebih Inverse .....	14
Gambar 2.9	Rangkaian <i>Hybrid Superconducting Fault Current Limiter</i> (SFCL) .....	15
Gambar 2.10	Kondisi Operasi Normal .....	16
Gambar 2.11	Kondisi Sensing Ketika Terjadi Arus Gangguan .....	17
Gambar 2.12	Kondisi Terjadi Gangguan Setelah Coil Aktif.....	17
Gambar 3.1	<i>Single Line Diagram</i> PT. Terminal Teluk Lamong .....	19
Gambar 4. 1	<i>Case</i> pengamatan <i>tripping sequence</i> pada PT. Terminal Teluk Lamong.....	29
Gambar 4. 2	<i>Tripping Sequence</i> tanpa SFCL pada (a) <i>case</i> A (b) <i>case</i> B (c) <i>case</i> C (d) <i>case</i> D.....	33
Gambar 4. 3	Gambar gelombang arus saat keadaan normal .....	37
Gambar 4. 4	Gelombang arus saat terjadi gangguan .....	38
Gambar 4. 5	Perbandingan arus gangguan sebelum dan sesudah dipasang SFCL .....	38
Gambar 4. 6	Grafik kerja <i>Hybrid</i> SFCL.....	39
Gambar 4. 7	<i>Single Line Diagram</i> Pemasangan SFCL.....	40
Gambar 4. 8	Plot kurva rele PLN .....	41
Gambar 4. 9	<i>Single line</i> diagram tipikal 1 sampai 3 .....	43
Gambar 4. 10	Rangkaian pada tipikal 1a .....	44
Gambar 4. 11	Kurva <i>setting</i> awal rele arus lebih tipikal 1a .....	45
Gambar 4. 12	Kurva <i>resetting</i> awal rele arus lebih tipikal 1a .....	49
Gambar 4. 13	Rangkaian pada tipikal 1b .....	50
Gambar 4. 14	Kurva <i>setting</i> awal rele arus lebih tipikal 1b .....	52
Gambar 4. 15	Kurva <i>resetting</i> rele arus lebih tipikal 1b .....	57
Gambar 4. 16	Rangkaian pada tipikal 1c .....	58
Gambar 4. 17	Kurva <i>setting</i> awal rele arus lebih tipikal 1c .....	60
Gambar 4. 18	Kurva <i>resetting</i> awal rele arus lebih tipikal 1c .....	68
Gambar 4. 19	Rangkaian pada tipikal 2 .....	70
Gambar 4. 20	Kurva <i>setting</i> awal rele arus lebih tipikal 2 .....	71

Gambar 4. 21 Kurva <i>resetting</i> awal rele arus lebih tipikal 1a.....	77
Gambar 4. 22 Rangkaian tipikal 3 .....	78
Gambar 4. 23 Kurva <i>setting</i> awal rele arus lebih tipikal 3.....	79
Gambar 4. 24 Kurva <i>resetting</i> awal rele arus lebih tipikal 3.....	86

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Konstanta Kurva IEEE .....	13
Tabel 3.1	Data pembangkit Tenaga Listrik PT. Terminal Teluk Lamong .....	20
Tabel 3.2	Data transformator PT. PT. Terminal Teluk Lamong .....	21
Tabel 3.3	Data <i>lump load</i> di PT. Terminal Teluk Lamong .....	22
Tabel 3.4	Data Kabel di PT. Terminal Teluk Lamong .....	23
Tabel 4. 1	<i>Tripping time</i> Rele <i>Case A</i> sampai <i>Case D</i> tanpa SFCL...	30
Tabel 4. 2	<i>Tripping sequence</i> rele setelah penambahan SFCL.....	33
Tabel 4. 3	Data arus hubung singkat maksimum 4 <i>Cycle</i> .....	35
Tabel 4. 4	Data arus hubung singkat minimum 30 <i>Cycle</i> .....	36
Tabel 4. 5	Data <i>setting</i> awal rele arus lebih tipikal 1a.....	45
Tabel 4. 6	Data <i>resetting</i> rele arus lebih tipikal 1a.....	49
Tabel 4. 7	Data <i>setting</i> awal rele arus lebih tipikal 1b .....	51
Tabel 4. 8	Data <i>resetting</i> rele arus lebih tipikal 1b.....	56
Tabel 4. 9	Data <i>setting</i> awal rele arus lebih tipikal 1c.....	59
Tabel 4. 10	Data <i>resetting</i> rele arus lebih tipikal 1c.....	67
Tabel 4. 11	Data <i>setting</i> awal rele arus lebih tipikal 2 .....	70
Tabel 4. 12	Data <i>resetting</i> rele arus lebih tipikal 2.....	76
Tabel 4. 13	Data <i>setting</i> awal rele arus lebih tipikal 3 .....	78
Tabel 4. 14	Data <i>restting</i> rele arus lebih tipikal 3 .....	85



*-Halaman ini sengaja dikosongkan-*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Sistem kelistrikan adalah bagian yang penting dalam suatu perusahaan. Pada sistem kelistrikan di industri memungkinkan timbulnya suatu gangguan. Ada faktor - faktor yang menyebabkan terjadinya gangguan baik faktor internal, faktor eksternal, maupun faktor dari manusia. Salah satu gangguannya adalah hubung singkat. Gangguan hubung singkat merupakan gangguan yang paling sering terjadi pada sistem kelistrikan yang dapat mengakibatkan rusaknya peralatan listrik yang berada di sekitar titik gangguan dan dapat menyebabkan kegagalan sistem kelistrikan dalam penyaluran daya. Besarnya arus gangguan dapat menyebabkan *trip* di suatu titik area.

PT. Terminal Teluk Lamong adalah salah satu anak perusahaan dari PT. Pelabuhan Indonesia III. PT. Terminal Teluk Lamong adalah sebuah pelabuhan untuk bongkar muat barang atau container dari kapal. PT. Terminal Teluk Lamong terletak di Jl. Raya Tambak Osowilangun KM 12 Surabaya Jawa Timur – Indonesia. Kegiatan bongkar muat suatu kontainer pastinya membutuhkan alat besar untuk dapat memindahkannya seperti *crane*. Semakin meningkatnya pertumbuhan di industri maka harus diimbangi kontinuitas listrik kepada para pelanggan. Salah satu cara untuk tetap menjaga kontinuitas listrik ke pelanggan yaitu dengan melakukan koordinasi sistem pengaman secara tepat. Salah satu metode untuk menjaga keandalan suatu sistem kelistrikan yaitu dengan menggunakan rele sebagai pengaman. Oleh sebab itu rele pengaman harus berperan atau berfungsi dengan tepat.

Pada PT. Terminal Teluk Lamong pernah terjadi adanya trip karena hubung singkat. Gangguan tersebut menyebabkan kegagalan koordinasi proteksi. Gangguan hubung singkat ini disebabkan adanya saluran fasa terhubung dengan fasa lain. Gangguan hubung singkat akan menimbulkan arus yang sangat besar, sehingga akan dapat merusak peralatan listrik di sekitar titik gangguan. Salah satu cara untuk melindungi peralatan listrik dan untuk meredam arus hubung singkat yang besar adalah dengan menambah impedansi tambahan dengan memasang SFCL (*Hybrid Superconducting Fault Current Limiter*).

Dengan menambahkan SFCL (*Hybrid Superconducting Fault Current Limiter*) arus gangguan yang terjadi akan cepat dipotong dengan memanfaatkan impedansi tambahan. Dalam keadaan normal impedansi dari SFCL tidak bekerja, ketika terjadi gangguan SFCL akan mereduksi arus gangguan menggunakan besar impedansi pada *Current Limiter Reactor* (CLR). Studi koordinasi dan analisa hubung singkat disimulasikan menggunakan *software* ETAP 12.6.

## 1.2 Permasalahan

Permasalahan yang akan dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana prinsip kerja dari *Hybrid* SFCL.
2. Bagaimana pengaturan *Hybrid* SFCL yang tepat untuk mereduksi arus hubung singkat yang besar pada PT. Terminal Teluk Lamong.
3. Bagaimana koordinasi proteksi rele arus lebih di PT. Terminal Teluk Lamong setelah dipasang *Hybrid* SFCL.

## 1.3 Batasan Masalah

Untuk menyelesaikan masalah dalam Tugas Akhir ini, maka perlu diberi batasan-batasan sebagai berikut :

1. Simulasi dan analisa menggunakan *software* ETAP 12.6
2. Analisa hubung singkat yang dilakukan adalah 3 *phase fault* dan *line to line ½ cycle, 4 cycle* serta 30 *cycle*.
3. Koordinasi Proteksi yang dilakukan adalah koordinasi proteksi rele arus lebih akibat pemasangan *Hybrid* SFCL untuk gangguan fasa.
4. Analisa proteksi pada tegangan menengah.

## 1.4 Tujuan

Tugas Akhir ini memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Mengetahui prinsip kerja *Hybrid Superconducting Fault Current Limiter* (SFCL).
2. Mengetahui *setting Hybrid Superconducting Fault Current Limiter* (SFCL) untuk membatasi arus hubung singkat yang mengalir ke titik gangguan.
3. Mengetahui koordinasi proteksi rele arus lebih untuk gangguan fasa setelah pemasangan *Hybrid Superconducting Fault Current Limiter* (SFCL) di PT. Terminal Teluk Lamong.

## 1.5 Metode Penelitian

Metode yang akan digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

### 1. Studi Literatur

Melakukan studi literatur yang berhubungan dengan tugas akhir dengan mengumpulkan teori penunjang, jurnal atau paper Literatur yang diperlukan meliputi karakteristik *Hybrid SFCL*, analisa hubung singkat 3 fasa serta koordinasi proteksi rele arus lebih pada sistem kelistrikan.

### 2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data PT. Terminal Teluk Lamong seperti *single line diagram*, *rating* tegangan yang digunakan pada sistem, data transformator, sistem pembangkitan atau generator dan spesifikasi beban yang dipakai.

### 3. Simulasi Sistem

Pemodelan sistem kelistrikan PT. Teluk Lamong disimulasikan menggunakan software ETAP.

### 4. Analisa Data

Menganalisa hubung singkat untuk menentukan dimana *busbar* yang mempunyai arus hubung singkat terbesar. Sehingga dari analisa tersebut diketahui *busbar* tersebut perlu diberikan SFCL atau tidak untuk membatasi arus hubung singkat yang besar, serta menganalisa akibat pemasangan SFCL pada koordinasi proteksi.

### 5. Penarikan Kesimpulan

Melakukan kesimpulan akibat pemasangan *Hybrid SFCL* sebagai pereduksi arus hubung singkat yang tepat pada sistem Kelistrikan PT. Teluk Lamong.

## 1.6 Sistematika Pembahasan

Sistematika penulisan dalam Tugas Akhir ini terdiri dari lima bab dengan uraian sebagai berikut :

### BAB I : Pendahuluan

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

### BAB II : Dasar Teori

Bab ini secara garis besar membahas sistem kelistrikan industri, arus hubung singkat, penjelasan mengenai sistem pengamanan dan pembatas arus SFCL

**BAB III : Sistem Kelistrikan**

Bab ini membahas sistem kelistrikan industri dan spesifikasi beban pada PT. Terminal Teluk Lamong.

**BAB IV : Simulasi dan Analisa**

Bab ini membahas data hasil arus gangguan hubung singkat *bus* yang disimulasikan kemudian menentukan koordinasi akibat pemasangan *Hybrid SFCL* dengan rele arus lebih.

**BAB V : Penutup**

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari hasil pembahasan yang dikerjakan pada bab IV

## **BAB II**

### **DASAR TEORI**

#### **2.1 Gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik[1]**

Gangguan pada sistem tenaga listrik adalah keadaan tidak normal yang dapat mengakibatkan terganggunya kontinuitas pelayanan tenaga listrik kepada pelanggan. Terdapat dua macam gangguan yaitu:

1. Gangguan berasal dari dalam sistem

Penyebab Gangguan yang berasal dari dalam sistem yaitu disebabkan oleh kesalahan mekanis karena terjadi proses penuaan atau karena kerusakan material seperti kawat putus, isolator pecah, retaknya bearing, pemasangan yang kurang baik, tegangan dan arus tidak normal pada sistem serta beban yang melebihi kapasitas sistem.

2. Gangguan berasal dari luar sistem

Gangguan yang berasal dari luar sistem antara lain pengaruh cuaca seperti hujan, angin, serta surja petir, pengaruh lingkungan antara lain pohon tumbang, benda asing jatuh, dan juga akibat kecerobohan manusia. Pada gangguan surja petir dapat menyebabkan gangguan hubung singkat karena tembus pada isolasi peralatan (*breakdown*).

Berdasarkan sifat gangguan, terdapat 2 jenis gangguan pada sistem tenaga listrik yaitu:

1. Gangguan permanen (*stationary*)

Gangguan permanen adalah gangguan yang tidak hilang atau tetap ada apabila pemutus tenaga telah terbuka. Untuk menghilangkan gangguan permanen diperlukan tindakan perbaikan pada titik penyebab gangguan tersebut.

2. Gangguan sementara (*temporary*)

Gangguan jenis ini dapat hilang dengan sendirinya atau pada bagian yang terganggu diputus secara sesaat dari sumber tegangannya.

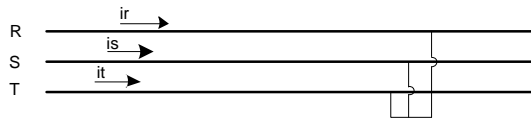
#### **2.1.1 Gangguan Hubung singkat**

Gangguan ini disebabkan adanya saluran fasa yang terhubung dengan saluran fasa lainnya atau terhubung dengan *ground*. Gangguan ini dapat menyebabkan terjadinya arus yang sangat besar sehingga dapat merusak peralatan listrik yang ada di sekitar titik gangguan. Besarnya arus gangguan hubung singkat dapat ditentukan berdasarkan impedansi

dari peralatan listrik pada sistem tersebut. Gangguan hubung singkat dapat digolongkan menjadi dua kelompok yaitu:

**2.1.1.1 Gangguan hubung singkat simetri[2]**

Gangguan hubung singkat simetri atau disebut gangguan hubung singkat seimbang yaitu gangguan yang terjadi pada semua fasanya, sehingga arus maupun tegangan setiap fasanya tetap seimbang setelah gangguan terjadi. Gangguan ini dapat dianalisa dengan menggunakan komponen urutan positif. Gambar rangkaian hubung singkat tiga fasa dapat dilihat pada gambar 2.1.



**Gambar 2.1** Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

Besarnya arus hubung singkat tiga fasa dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$I_{sc\ 3\phi} = \frac{V_{LN}}{x_1} \dots\dots\dots (2.1)$$

dengan:

- $I_{sc\ 3\phi}$  : arus hubung singkat 3 fasa
- $V_{LN}$  : tegangan nominal *line to neutral*
- $x_1$  : reaktansi urutan positif

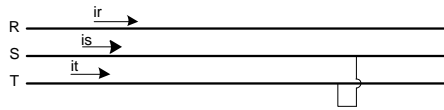
**2.1.1.2 Gangguan hubung singkat tak simetri (asimetri)**

Gangguan hubung singkat asimetri atau disebut gangguan tidak seimbang adalah gangguan yang mengakibatkan tegangan dan arus yang mengalir pada setiap fasanya menjadi tidak seimbang, Gangguan hubung singkat ini dapat mengakibatkan arus yang sangat besar pada fasa yang mengalami gangguan. Gangguan ini terdiri dari:

**1. Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa**

Gangguan hubung singkat dua fasa adalah gangguan hubung singkat yang terjadi antara kedua fasanya. Gangguan ini tidak mengandung komponen urutan nol karena tidak ada gangguan yang terhubung ke

tanah. Gambar rangkaian hubung singkat dua fasa dapat dilihat pada gambar 2.2.



**Gambar 2.2** Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa

Besarnya arus hubung singkat dua fasa dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

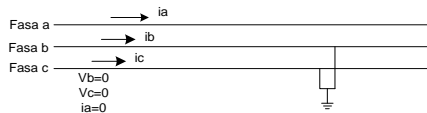
$$I_{sc\ 2\phi} = \frac{V_{LL}}{x_1 + x_2} = \frac{\sqrt{3} \times V_{LN}}{2 \times x_1} = \frac{\sqrt{3}}{2} \times I_{sc\ 3\phi} \approx 0.866 \times I_{sc\ 3\phi} \dots \dots (2.2)$$

Keterangan:

- $I_{sc\ 3\phi}$  : arus hubung singkat 3 fasa
- $I_{sc\ 2\phi}$  : arus hubung singkat 2 fasa
- $V_{LN}$  : tegangan nominal *line to neutral*
- $V_{LL}$  : tegangan nominal *line to line*
- $x_1$  : reaktansi urutan positif
- $x_2$  : reaktansi urutan negatif

## 2. Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa Ketanah

Gangguan hubung singkat 2 fasa ketanah merupakan gangguan hubung singkat yang terjadi ketika kedua fasanya terhubung ke tanah. Gambar rangkaian hubung singkat dua fasa ketanah dapat dilihat pada gambar 2.3.



**Gambar 2.3** Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa Ketanah

Besarnya arus hubung singkat dua fasa ketanah dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$I_{A1} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2 Z_0 / (Z_2 + Z_0)} \dots \dots \dots (2.3)$$

Keterangan :

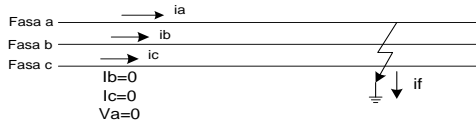
- $I_{A1}$  : Arus hubung singkat 2 fasa ketanah



- $V_f$  : tegangan bus saat gangguan
- $z_1$  : impedansi urutan positif
- $z_2$  : impedansi urutan negatif
- $z_3$  : impedansi urutan nol

### 3. Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa Ketanah

Gangguan jenis ini paling sering terjadi pada sistem tenaga listrik. Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah merupakan jenis gangguan asimetris, sehingga memerlukan metode komponen simetris untuk menganalisa arus gangguan saat terjadi gangguan. Gambar rangkaian hubung singkat satu fasa ketanah dapat dilihat pada gambar 2.4.



**Gambar 2.4** Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa Ketanah

Besarnya arus hubung singkat satu fasa ketanah dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$I_{sc\ 1\phi} = \frac{3V_{LN}}{x_1+x_2+x_0} \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan:

- $I_{sc\ 1\phi}$  = Arus hubung singkat 1 fasa ketanah
- $V_{LN}$  = tegangan nominal *line to neutral*
- $x_0$  = reaktansi urutan nol
- $x_1$  = reaktansi urutan positif
- $x_2$  = reaktansi urutan negatif

#### 2.1.2 Gangguan Beban Lebih (Over Load)

Gangguan beban lebih merupakan gangguan yang terjadi akibat konsumsi daya listrik melebihi daya listrik yang dihasilkan pembangkit. Bila gangguan ini dibiarkan terus menerus berlangsung dapat merusak peralatan listrik yang dialiri arus tersebut.

### 2.2 Sistem Pengaman Tenaga Listrik

Suatu sistem tenaga listrik yang baik harus memperhatikan faktor keamanan dan keandalan penyaluran daya. Pada kenyataannya suatu

sistem dapat terjadi kondisi gangguan atau hubung singkat yang dapat membahayakan sistem secara keseluruhan serta dapat menurunkan keandalan, sehingga diperlukan adanya sistem proteksi yang dapat meminimalisasi efek dari gangguan tersebut. Fungsi dari sistem proteksi adalah untuk mengidentifikasi gangguan dan memisahkan bagian jaringan yang terganggu dari bagian lain yang masih normal (tidak terganggu) serta sekaligus mengamankan bagian yang masih normal tersebut dari kerusakan atau kerugian yang lebih besar.

Salah satu peralatan pengaman pada sistem tenaga listrik yaitu rele. Rele bekerja dengan cara mendeteksi arus gangguan dan memerintahkan pemutus untuk bekerja agar memisahkan aliran daya antara area yang terkena gangguan dan area yang normal. Skema dari kerja rele pengaman ditampilkan pada gambar 2.5.



**Gambar 2.5** Skema Konsep Kerja Rele [1]

Rele proteksi sebagai komponen utama sistem proteksi tenaga listrik dalam melaksanakan tugasnya yaitu untuk mengidentifikasi gangguan harus memenuhi persyaratan keandalan (*reliability*) sebagai berikut:

1. Sensitivitas  
Kemampuan dari rele pengaman untuk merespon adanya gangguan di dalam daerah yang diproteksinya. Rele harus cukup peka dalam mengidentifikasi adanya gangguan minimum.
2. Kecepatan bereaksi  
Semakin cepat waktu pemutusan arus gangguan maka dapat mengurangi dampak gangguan serta menjaga kestabilan sistem.
3. Selektivitas  
Kemampuan rele pengaman untuk menentukan titik terjadinya gangguan serta melakukan pemutusan pada *breaker* secara tepat. Dalam hal ini rele hanya membuka pemutus tenaga yang diperlukan saja (tidak menyebabkan pemutusan/pemadaman jaringan yang lebih luas).
4. Keandalan

Kemampuan sistem proteksi untuk menjamin peralatan proteksi akan bekerja jika terjadi suatu gangguan dan tidak akan bekerja jika tidak terjadi gangguan.

5. Ekonomis

Pertimbangan pemilihan peralatan yang harus atau tidak untuk dipasang sebagai peralatan pengaman perlu direncanakan agar tercapai sistem pengaman yang efektif dan ekonomis.

**2.2.1 Rele Arus Lebih (Over Current Relay)**

Rele arus lebih digunakan untuk mengamankan gangguan beban lebih (overload) dan gangguan hubung singkat (short circuit). Rele arus lebih bekerja berdasarkan besarnya arus masukan dan apabila besarnya arus masukan melebihi suatu harga tertentu yang dapat diatur ( $I_{pp}$ ) maka rele arus lebih tersebut akan bekerja.

Rele arus lebih ini beroperasi ketika terdapat arus yang mengalir pada rangkaian melebihi batas *setting* yang telah di ijinakan. Penggunaan rele arus lebih pada sistem kelistrikan industri harus di sesuaikan berdasarkan koordinasi rele yang telah di *setting* dengan benar. Sehingga ketika pada sistem terjadi suatu gangguan rele ini bisa bekerja dengan cepat. Rele arus lebih akan bekerja apabila memenuhi keadaan sebagai berikut:

$$I_f > I_{pp} \text{ rele bekerja (trip)}$$

$$I_f < I_{pp} \text{ tidak bekerja (blok)}$$

*Setting* rele arus lebih tidak boleh bekerja pada saat beban maksimum. Arus *setting* harus lebih besar dari arus beban maksimum. Menurut Standart British BS 142- 1983 batas penyetelan antara nominal 1,05 – 1,3 Iset[9]. Mengacu pada standart tersebut, pada tugas akhir ini lebih amannya menggunakan konstanta 1,05 Isett. Jadi untuk *setting* dapat dilihat sebagai berikut:

$$I_{set} \geq 1,05 \times I_{nominal} \dots \dots \dots (2.5)$$

$$I_s = \frac{I_{set}}{rasio \ ct} \dots \dots \dots (2.6)$$

dimana :

$I_s$  = arus *setting*

$$Pemilihan \ tap = \frac{I_s}{ct} \dots \dots \dots (2.7)$$

$$I_{aktual} = tap \times I_{nominal} \times ct \dots \dots \dots (2.8)$$

Dicari nilai dibawahnya yang terdekat.

Pada penyetelan rele arus lebih juga harus memperhatikan batas maksimum *setting*, untuk alasan keamanan dan *back up* hingga ke sisi muara estimasi *setting* ditetapkan[10]:

$$I_s \leq 0,8 \times I_{sc \text{ minimum}} \dots \dots \dots (2.9)$$

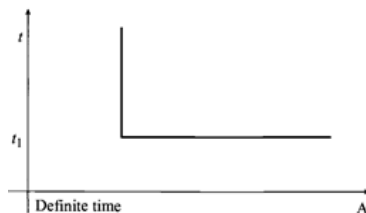
$I_{sc \text{ minimum}}$  adalah arus hubung singkat 2 fasa dengan pembangkitan minimum yang terjadi diujung saluran seksi berikutnya. Besar arus ini diperoleh dari arus hubung singkat 3 fasa pada pembangkitan minimum dikalikan 0,866. Mengacu pada konsep diatas persyaratan setelan arus dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$1,05 \times I_{nominal} \leq I_s \leq 0,8 \times I_{sc \text{ minimum}} \dots \dots \dots (2.10)$$

Untuk operasi yang selektif, apabila terdapat beberapa rele arus lebih pada suatu jaringan radial. Maka rele pada ujung yang terjauh dari sumber harus disetel untuk dapat bekerja pada waktu yang sesingkat mungkin. Untuk jenis rele arus yang lebih karakteristik *inverse*, *setting* waktunya ditentukan pada saat arus gangguan maksimum. Karakteristik waktu rele arus lebih dapat dibedakan dalam beberapa jenis antara lain:

**2.2.1.1 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu (*Definite*)**

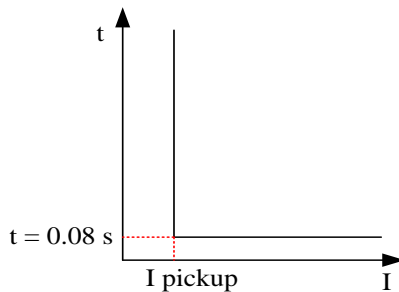
Pada penggunaan rele arus lebih waktu tertentu memungkinkan pengaturan waktu operasi yang bervariasi berdasarkan level arus yang berbeda. Sistem rele ini dapat disesuaikan sedemikian rupa sehingga PMT yang paling dekat dengan sumber gangguan akan bekerja (*trip*) lebih cepat daripada yang lain, dan pengamanan sisanya akan *trip* lebih cepat daripada yang lain, dan pengamanan sisanya akan *trip* setelah waktu tunda (*time delay*) yang diberikan saat gangguan masih terus berlanjut. Pada rele arus lebih waktu tertentu, semua level arus yang melebihi *pick-up setpoint*-nya akan diputuskan dalam waktu yang sama (*definite*). Gambar 2.6 merupakan karakteristik rele arus lebih waktu tertentu.



**Gambar 2.6** Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

### 2.2.1.2 Rele Arus Lebih Waktu Seketika (*Instantaneous*)

Rele ini bekerja seketika (tanpa waktu tunda) ketika arus yang mengalir melebihi nilai *setting*, rele akan bekerja dalam waktu beberapa mili detik. Rele arus lebih seketika memiliki prinsip kerja rele tanpa penundaan waktu. Rele ini jarang berdiri sendiri tetapi umumnya dikombinasikan dengan rele arus lebih dengan karakteristik yang lain. Gambar 2.15 merupakan karakteristik rele arus lebih waktu seketika



**Gambar 2.7** Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Seketika

### 2.2.1.3 Rele Arus Lebih Waktu Terbalik (*Inverse*)

Rele arus lebih waktu terbalik memiliki batas *setting* yaitu rele tidak boleh bekerja saat beban maksimum, sehingga *setting* arus dari rele ini harus lebih besar dari arus beban penuh dari peralatan yang akan diamankan. Arus beban penuh suatu peralatan listrik tergantung dari besarnya kapasitas daya, tegangan, dan power faktor dari peralatan tersebut. Pada british standard BS 142 terdapat aturan faktor pengali arus beban penuh ketika *setting* rele arus lebih yaitu  $1.05 I_{FLA} < I_{set} < 1.4 I_{FLA}$ .

Rele ini akan bekerja dengan waktu tunda yang tergantung dari besarnya arus secara terbalik (*inverse time*), makin besar arus makin kecil waktu tundanya. Karakteristik operasi rele *inverse* bermacam-macam dan setiap pabrik dapat membuat karakteristik yang berbeda-beda, karakteristik waktunya dapat dibedakan dalam beberapa kelompok:

**1. Very inverse**

Berdasarkan standard ANSI kurva IEEE[7] adapun karakteristik operasi rele *invers* adalah sebagai berikut:

$$t_d(I) = \left[ \frac{A}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^P} + B \right] \times \frac{T}{\beta} \dots\dots\dots (2.11)$$

**Tabel 2.1** Konstanta Kurva IEEE[7]

Characteristic curve	A	B	P	β
IEEE Moderately Inverse	0.010	0.023	0.02	0.241
IEEE Very Inverse	3.922	0.098	2	0.138
IEEE Extremely Inverse	5.64	0.0243	2	0.081

Rumus perhitungan *time dial* untuk karakteristik *very inverse* berdasarkan pada ANSI kurva IEEE adalah:

$$t_d(I) = \left[ \frac{3.922}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^2} + 0.098 \right] \times \frac{T}{0.138} \dots\dots\dots (2.12)$$

dimana:

T = time *setting* = time dial

td = waktu operasi

Berdasar Standart IEC[2] Karakteristik operasi rele *very invers* sebagai berikut:

$$t = \frac{13,5}{I - 1} \text{ s} \dots\dots\dots (2.12)$$

**2. Standard inverse**

$$t = \frac{0,14}{I^{0,02} - 1} \text{ s} \dots\dots\dots (2.11)$$

**3. Extremely inverse**

$$t = \frac{80}{(I^2 - 1)} \text{ s} \dots\dots\dots (2.13)$$

#### 4. Long Time inverse

$$t = \frac{120}{(I - 1)} \text{ s.} \dots\dots\dots (2.14)$$

dimana :

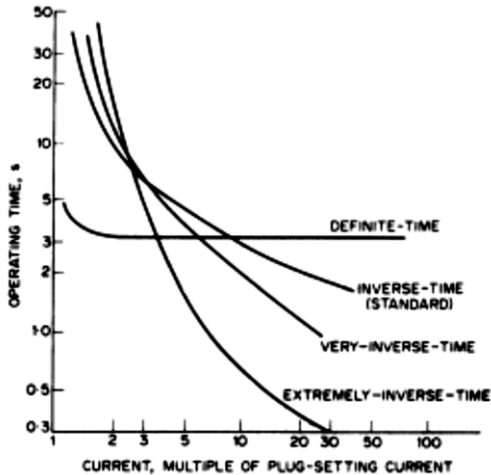
t = tap rele

$$I = \frac{I_f}{I_{set}} \dots\dots\dots (2.15)$$

If = I gangguan

I set = arus *setting* actual

D = time *setting* time dial



**Gambar 2.8** Karakteristik Operasi Rele Arus Lebih Inverse

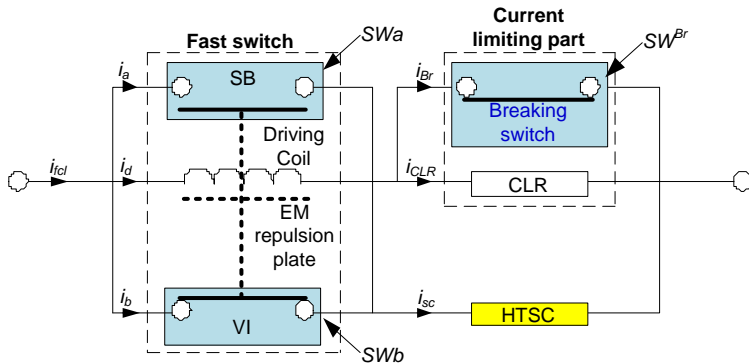
### 2.3 Hybrid Superconductor Fault Current Limiter (SFCL) [3]

*Superconducting Fault Current Limiter* (SFCL) merupakan suatu peralatan yang dapat mereduksi atau mengurangi arus gangguan yang mengalir pada suatu jaringan tenaga listrik.. Pereduksi arus tipe ini memiliki keunggulan yaitu kecilnya rugi daya yang diakibatkan oleh superkonduktor.

Pada *hybrid SFCL*, *superconductor* tidak berfungsi sebagai pembatas arus hubung singkat namun hanya berfungsi sebagai *sensing*

arus hubung singkat dan pengalih arus gangguan menuju *current limiting reactor* (CLR). *Fast switch* dapat beroperasi karena adanya gaya *electromagnetic repulsion* yang dibangkitkan oleh arus gangguan itu sendiri, bukan dari arus eksternal lainnya[6].

*Hybrid SFCL* secara garis besar terdiri dari 3 bagian utama yaitu *Fast switch*, bagian pembatas arus (*current limiting part*) dan *high temperature superconductor* (HTS) seperti yang ditampilkan pada gambar 2.9.



**Gambar 2.9** Rangkaian *Hybrid Superconducting Fault Current Limiter* (SFCL)[4]

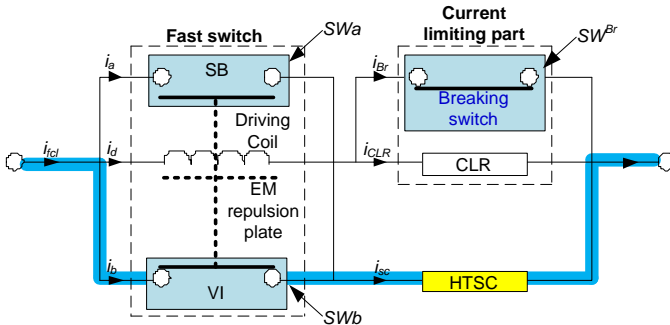
Struktur kompleks *hybrid SFCL* menggunakan *fast switch* (FS), yang terdiri dari dua saklar mekanis yaitu *vacuum interrupter* (VI) dan *short bar* (SB). Untuk menghindari kegagalan pemakaian dari FS akibat timbulnya busur api ketika pemadaman, maka perlu memasang peralatan tambahan *superconductor* yaitu *driving coil* dan *electromagnetic* (EM) *repulsion plate*. Pada *hybrid SFCL*, FS dimodelkan menjadi saklar dua arah (SWa dan SWb). SWa atau SB bekerja menutup berdasarkan perintah dari rangkaian pengontrol ketika arus dari HTSC dialihkan menuju *driving coil* ketika terjadi arus gangguan. Begitu pula SWb atau VI bekerja membuka berdasarkan perintah dari rangkaian pengontrol ketika arus dari HTSC dialihkan menuju *driving coil* ketika terjadi arus gangguan. Bagian pembatas arus terdiri dari saklar pemutus SWBr dan *current limiter reactor* (CLR). Untuk mencapai arus yang cukup pada *driving coil* setelah HTSC mengalami peningkatan resistansi, SWBr tetap dalam kondisi menutup hingga arus mencapai *setting* dan menuju



*driving coil*. Setelah  $SW_a$  menutup dan  $SW_b$  membuka maka  $SW_{Br}$  diperintahkan untuk membuka.

### 2.3.1 Kondisi Operasi Normal

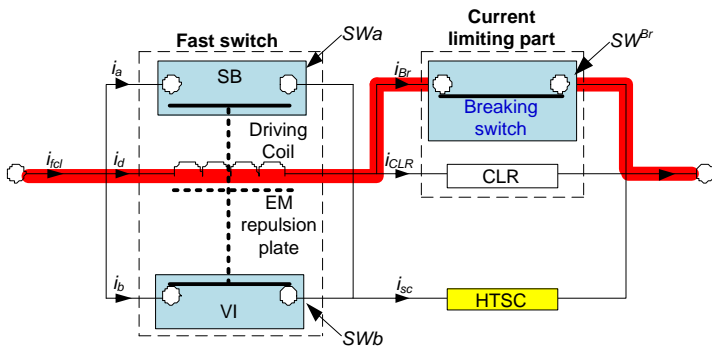
Pada saat kondisi normal arus mengalir melalui *vacuum interrupter* yang terhubung seri dengan HTSC. Pada kondisi normal, temperatur operasi *superconductor* dijaga pada keadaan 77 Kelvin. Pada kondisi ini HTSC memiliki impedansi sebesar 0 ohm seolah-olah menjadi suatu penghantar tanpa hambatan. Gambar 2.11 merupakan rangkaian *hybrid SFCL* pada kondisi operasi normal.



**Gambar 2.10** Kondisi Operasi Normal

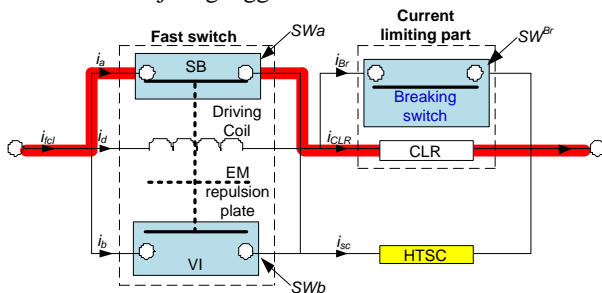
### 2.3.2 Kondisi Ketika Terjadi Gangguan

Ketika arus gangguan mengalir melalui HTSC dan menghasilkan panas mengakibatkan nilai resistansi HTSC meningkat mengakibatkan arus gangguan berganti arah menuju *drive coil* dan *breaking switch*. Gambar 2.12 merupakan rangkaian *hybrid SFCL* pada kondisi sensing ketika terjadi arus gangguan.



**Gambar 2.11** Kondisi Sensing Ketika Terjadi Arus Gangguan

Ketika arus pada *drive coil* mencapai batas *setting* tertentu, maka kuat medan magnet yang dihasilkan *coil* akan mendorong *SWa* semula *normally open* menjadi *normally close* dan *SWb* yang semula *normally close* menjadi *normally open*. Sehingga arus gangguan akan mengalir melalui *SWa* dan *CLR*. Arus gangguan yang melalui *CLR* dibatasi sebelum  $\frac{1}{2}$  cycle pertama. Gambar 2.13 merupakan rangkaian *hybrid SFCL* pada kondisi terjadi gangguan setelah coil aktif.



**Gambar 2.12** Kondisi Terjadi Gangguan Setelah Coil Aktif

Besarnya nilai impedansi pada *Hybrid SFCL* dihitung berdasarkan persamaan arus hubung singkat 3 fasa dan impedansi pada reaktor :

$$I_{sc} = \frac{V_{bus}}{\sqrt{3} Z} \dots \dots \dots (2.16)$$

$$Z = \frac{V_{bus}}{\sqrt{3}} \frac{1}{I_{sc}} \dots \dots \dots (2.17)$$

$$Z_{desire} = Z_{sfcl} + Z_{system} \dots \dots \dots (2.18)$$

Selanjutnya substitusi persamaan 2.17 ke 2.18 dengan tujuan mencari nilai  $Z_{SFCL}$ , sehingga didapatkan persamaan 2.19

$$Z_{sfcl} = \frac{V_{bus}}{\sqrt{3}} \left[ \frac{1}{I_{scdesire}} - \frac{1}{I_{scsystem}} \right] \dots \dots \dots (2.19)$$

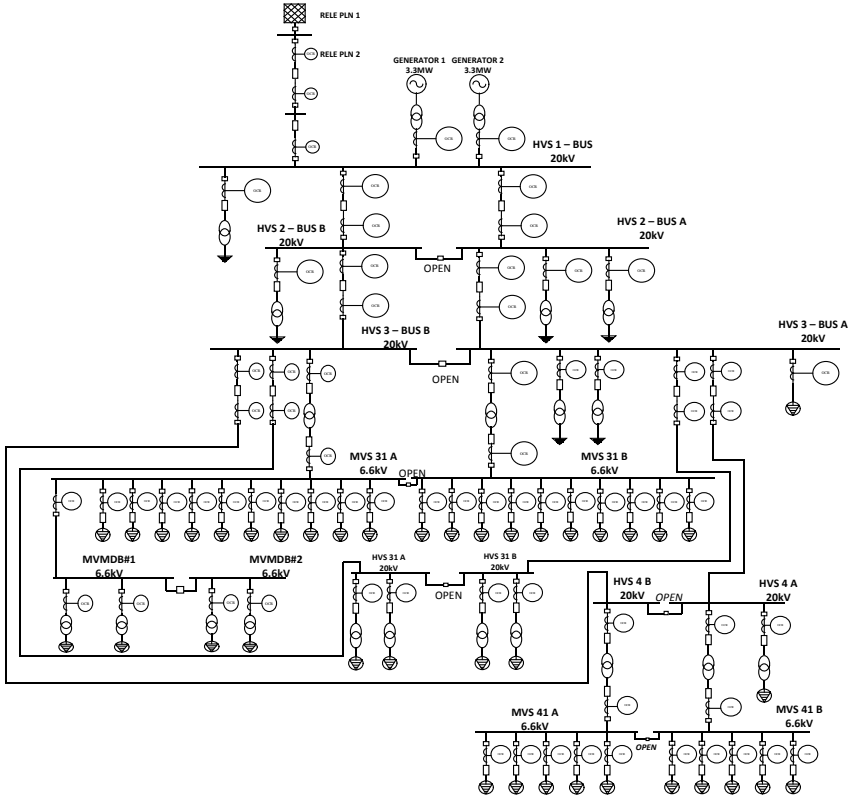
Dimana :

- $V_{bus}$  = rating tegangan bus *Hybrid SFCL* dipasang (V)
- $I_{SC\ desire}$  = nilai arus kontribusi *resetting* yang diinginkan yang lewat pada *Hybrid SFCL* (A)
- $I_{SC\ system}$  = nilai arus kontribusi *existing* yang lewat di saluran yang akan dipasang *Hybrid SFCL* (A)
- $Z_{SFCL}$  = nilai impedansi CLR yang diinginkan ( $\Omega$ )
- $Z_{desire}$  = nilai impedansi total (CLR + *existing*) ( $\Omega$ )
- $Z_{system}$  = nilai impedansi *existing* ( $\Omega$ )

# BAB III

## SISTEM KELISTRIKAN PT. TERMINAL TELUK LAMONG

Dalam bab ini akan dilakukan pengumpulan data pada PT. Terminal Teluk Lamong yang meliputi data kelistrikan PT. Terminal Teluk Lamong. Data - data tersebut berupa data *single line diagram* dan data spesifikasi peralatan seperti generator, transformator, serta data beban yang terdapat pada PT. Terminal Teluk Lamong. Adapun *single line diagram* dari PT. Terminal Teluk Lamong yang dapat dilihat pada Gambar 3.1



Gambar 3. 1 Single Line Diagram PT. Terminal Teluk Lamong

### 3.1 Rating Tegangan PT. Terminal Teluk Lamong

Pada sistem kelistrikan PT. Terminal Teluk Lamong terdapat 3 *rating* tegangan yang digunakan dalam proses distribusi tenaga listrik, yaitu sebagai berikut :

a. *Rating* tegangan 20 kV

*Rating* tegangan 20 terdapat pada bus GI PLN, bus GI PLN2, bus OLC2, bus PLN3, bus SFCL bus 4, bus 5, HVS1-Bus1, HVS2-busA, HVS2-busB, HVS3-busA, HVS3-busB, HVS4A, HVS4B, HVS31A, HVS31B, INC-T21, INC-T31B, INC-T32, INC-T311 dan INC-T3-11

b. *Rating* tegangan 11 kV

*Rating* tegangan 11 kV berada di *outgoing* generator pembangkit yang tersambung dengan beberapa *bus* yaitu Bus Gen 1 dan Bus Gen 2.

c. *Rating* tegangan 6,6 kV

*Rating* tegangan 6 kV berada di beberapa *bus*, yaitu MVS31A, MVS31B, MVMDDB #1, MVMDDB #2, MVS41A, MVS41B INC.ASC#1, INC.ASC#2, INC.ASC#3, INC.ASC#4, INC.ASC#5, INC.ASC#6, INC.ASC#7

### 3.2 Sistem Pembangkitan Tenaga Listrik PT. Terminal Teluk Lamong

PT. Terminal Teluk Lamong memiliki dua unit generator dengan satu unit *utility* atau *grid* dari PLN untuk pembangkitan sistem tenaga listrik. . Dalam pengoperasian sehari hari, PT. Terminal Teluk Lamong mendapatkan suplai daya dari PLN sebesar 12,933 MW dan tambahan daya dari dua generator yang beroperasi dengan daya total 6,6 MW. Dalam operasi normal, PT. Terminal Teluk Rincian data generator dapat dilihat dari Tabel 3.1 seperti berikut :

**Tabel 3. 1** Pembangkit Tenaga Listrik PT. Terminal Teluk Lamong

No	ID Generator / Grid	Kapasitas Daya (MW)	kV
1	PLN	12,933	20
2	Gen 1	3.3	11
3	Gen 2	3.3	11

### 3.3 Data Transformers PT. Terminal Teluk Lamong

Dengan sistem jaringan distribusi menggunakan level tegangan dari sistem sebesar 6,6 kV serta dari grid PLN sebesar 20kV, operasi

pendistribusian daya di PT. Terminal Teluk Lamong memerlukan transformator untuk menurunkan tegangan untuk melayani beban-beban pada *rating* tegangan tertentu. Data transformator yang terpasang pada PT. Terminal Teluk Lamong dapat dilihat pada Tabel 3.2 sebagai berikut :

**Tabel 3. 2** Data Transformator di PT. Terminal Teluk Lamong

No	ID Transformers	Rating Tegangan		Daya (MVA)
		Primer	Sekunder	
1	MVS-T1	11	20	4.7
2	MVS-T2	11	20	4.7
3	MVS31-T31A	20	6,6	7.5
4	MVS31-T31B	20	6,6	7.5
5	MVS41-T41A	20	6,6	7.5
6	MVS41-T41B	20	6,6	7.5
7	T3EMG-A1	20	0,4	2000
8	T3EMG-A2	20	0,4	2000
9	T311	20	0,4	2000
10	LVS11-T11	20	0,4	100
11	LVS21-T21	20	0,4	1
12	LVS22-T22	20	0,4	400
13	LVS23-T23	20	0,4	160
14	LVS31A1-T34	20	0,4	1600
15	LVS31A3-T36	20	0,4	800
16	LVS31B1-T37	20	0,4	1600
17	LVS31B2-T38	20	0,4	1600
18	LVS32-T32	20	0,4	315
19	LVS41-T42	20	0,4	400
20	MCC SS - T1	6.6	0,4	2500
21	MCC SS T-2	6.6	0,4	250
22	MCC SS T-3	6.6	0,4	1000
23	MCC SS T-4	6.6	0,4	250

### 3.4 Data Beban PT. Terminal Teluk Lamong

Pada sistem kelistrikan PT. Terminal Teluk Lamong terdapat, *lump load* dan *static load*. Rincian dari beberapa beban *lump load* dan *static load* dapat dilihat dalam Tabel 3.3 berikut :

**Tabel 3. 3** Data *Lump Load* di PT. Terminal Teluk Lamong

No	ID Lump Load	Daya (KW)	Tegangan (kV)	PF (%)	Status
1	LVS-11	68	0,4	85	Continous
2	LVS-21	680	0,4	85	Continous
3	LVS-22	272	0,4	85	Continous
4	LVS-23	109	0,4	85	Continous
5	LVS32	214	0,4	85	Continous
6	LVS41	320	0,4	85	Continous
7	LVS310	1360	0,4	85	Continous
8	Lump2	7140	20	85	Continous
9	LVS31A1	1088	0,4	85	Continous
10	LVS31A3	544	0,4	85	Continous
11	LVS31B1	1088	0,4	85	Continous
12	LVS31B2	1088	0,4	85	Continous
13	MCC SS-1A	1628	0,4	85	Continous
14	MCC SS-1B	173	0,4	85	Continous
15	MCC SS-2A	644	0,4	85	Continous
16	MCC SS-2B	122	0,4	85	Continous
17	STS-1	1275	6,6	85	Continous
18	STS-2	1275	6,6	85	Continous
19	STS-3	1275	6,6	85	Continous
20	STS-4	1275	6,6	85	Continous
21	STS-5	1275	6,6	85	Continous
22	STS-6	850	6,6	85	Continous
23	STS-7	850	6,6	85	Continous
24	STS-8	850	6,6	85	Continous
25	STS-9	850	6,6	85	Continous
26	STS-10	850	6,6	85	Continous
27	ASC#1	319	6,6	85	Continous
28	ASC#2	319	6,6	85	Continous
29	ASC#3	319	6,6	85	Continous

**Tabel 3. 4** Data *Lump Load* di PT. Terminal Teluk Lamong (lanjutan)

No	ID Lump Load	Daya (KW)	Tegangan (kV)	PF (%)	Status
30	ASC#4	319	6,6	85	Continous
31	ASC#5	319	6,6	85	Continous
32	ASC#6	319	6,6	85	Continous
33	ASC#7	319	6,6	85	Continous
34	ASC#8	319	6,6	85	Continous
35	ASC#9	319	6,6	85	Continous
36	ASC#10	319	6,6	85	Continous
37	ASC#11	319	6,6	85	Continous
38	ASC#12	319	6,6	85	Continous
39	ASC#13	319	6,6	85	Continous
40	ASC#14	319	6,6	85	Continous
41	ASC#15	319	6,6	85	Continous
42	ASC#16	319	6,6	85	Continous
43	ASC#17	319	6,6	85	Continous
44	ASC#18	319	6,6	85	Continous
45	ASC#19	319	6,6	85	Continous
46	ASC#20	319	6,6	85	Continous

### 3.5 Data Kabel di PT. Terminal Teluk Lamong

Data kabel yang berada pada PT. Terminal Teluk Lamong dapat dilihat pada Tabel 3.4 sebagai berikut :

**Tabel 3. 5** Data Kabel di PT. Terminal Teluk Lamong

NO	ID Kabel	Tegangan (kV)	Luas Penampang (cm <sup>2</sup> )	Panjang (m)	R (Ohm)	X (Ohm)
1	C-PLN2	20	3	2000	0,0799	0,0927
2	C-T32-LVEMG1	0,6	4	100	0,0567	0,0899
3	C-T33-LVEMG2	0,6	4	100	0,0567	0,0899
4	C-T41A-MVS41B	6,6	3	30	80	84,7
5	C-T41B-MVS41A	10	3	30	0,0791	0,083



**Tabel 3. 5** Data Kabel di PT. Terminal Teluk Lamong (lanjutan)

NO	ID Kabel	Tegangan (kV)	Luas Penampang (cm <sup>2</sup> )	Panjang (m)	R (Ohm)	X (Ohm)
6	Cable SFCL2	20	3	25	0.0799	0.0927
7	C-GD1-LVEMG	0,6	4	100	0.0567	0.0899
8	C-GD2-LVEMG	0,6	4	100	0.0567	0.0899
9	C-HVS1-HVS2A	20	3	2159	0.0799	0.0927
10	C-HVS1-HVS2B	20	3	2159	0.0799	0.0927
11	C-HVS1-LVS11	20	0,35	20	0.668	0.128
12	C-HVS2-LVS21	20	0,35	20	0.668	0.128
13	C-HVS2-LVS22	20	0,7	20	0.342	0.115
14	C-HVS2-LVS23	20	0,7	20	0.342	0.115
15	C-HVS2A-HVS3A	20	3	1900	0.0799	0.0927
16	C-HVS2B-HVS3B	20	3	1900	0.0799	0.0927
17	C-HVS3A-HVS4A	20	3	1040	0.0799	0.0927
18	C-HVS3A-HVS31A	20	0,95	535	0.247	0.109
19	C-HVS3A-LVS32	20	0,35	100	0.668	0.128
20	C-HVS3A-LVS310	20	0,7	20	0.342	0.115
21	C-HVS3A-MVS31A	20	1,85	25	0.128	0.0989
22	C-HVS3B-HVS4B	20	3	1040	0.0799	0.0927

**Tabel 3. 5** Data Kabel di PT. Terminal Teluk Lamong (lanjutan)

NO	ID Kabel	Tegangan (kV)	Luas Penampang (cm <sup>2</sup> )	Panjang (m)	R (Ohm)	X (Ohm)
23	C-HVS3B-HVS31B	20	0,95	535	0.247	0.109
24	C-HVS3B-MVS31B	20	1,85	20	0.128	0.0989
25	C-HVS3B-T3EMG-A1	20	0,35	30	0.668	0.128
26	C-HVS3B-T3EMG-A2	20	0,35	25	0.668	0.128
27	C-HVS4A-LVS41	20	0,35	20	0.668	0.128
28	C-HVS4A-MVS41A	20	1,85	20	0.128	0.0989
29	C-HVS4B-MVS41B	20	1,85	20	0.128	0.0989
30	C-HVS31-LVS31A1	20	0,35	300	0.668	0.128
31	C-HVS31-LVS31A3	20	0,35	30	0.668	0.128
32	C-HVS31-LVS31B1	20	0,35	140	0.668	0.128
33	C-HVS31-LVS31B2	20	0,35	230	0.668	0.128
34	C-MVS31-ASC#1	6,6	0,5	300	494	108
35	C-MVS31-ASC#2	6,6	0,5	300	494	108
36	C-MVS31-ASC#3	6,6	0,5	300	494	108

**Tabel 3. 5** Data Kabel di PT. Terminal Teluk Lamong (lanjutan)

NO	ID Kabel	Tegangan (kV)	Luas Penampang (cm <sup>2</sup> )	Panjang (m)	R (Ohm)	X (Ohm)
37	C- MVS31- ASC#4	6,6	0,5	300	494	108
38	C- MVS31- ASC#5	6,6	0,5	300	494	108
39	C- MVS31- ASC#90	6,6	0,5	300	494	108
40	C- MVS31- ASC#91	6,6	0,5	300	494	108
41	C- MVS31- ASC#92	6,6	0,5	300	494	108
42	C- MVS31- ASC#93	6,6	0,5	300	494	108
43	C- MVS31- ASC#94	6,6	0,5	300	494	108
44	C- MVS31- ASC#95	6,6	0,5	300	494	108
45	C- MVS31- ASC#96	6,6	0,5	300	494	108
46	C- MVS31- ASC#97	6,6	0,5	300	494	108
47	C- MVS31- ASC#98	6,6	0,5	300	494	108
48	C- MVS31- ASC#99	6,6	0,5	300	494	108
49	C- MVS31- CB3	6,6	0,5	300	494	108
50	C- MVS31- CB4	6,6	0,5	300	494	108

**Tabel 3. 5** Data Kabel di PT. Terminal Teluk Lamong (lanjutan)

<b>NO</b>	<b>ID Kabel</b>	<b>Tegangan (kV)</b>	<b>Luas Penampang (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Panjang (m)</b>	<b>R (Ohm)</b>	<b>X (Ohm)</b>
51	C- MVS31- CB5	6,6	0,5	300	494	108
52	C- MVS31- CB6	6,6	0,5	300	494	108
53	C- MVS31- CB7	6,6	0,5	300	494	108
54	C- MVS31A	6,6	3	20	80	84.7
55	C- MVS31B	6,6	3	20	80	84.7
56	C- MVS41- CB1	6,6	0,5	300	494	108
57	C- MVS41- CB2	6,6	0,5	300	494	108
58	C- MVS41- CB3	6,6	0,5	300	494	108
59	C- MVS41- CB4	6,6	0,5	300	494	108
60	C- MVS41- CB5	6,6	0,5	300	494	108
61	C- MVS41- CB6	6,6	0,5	300	494	108
62	C- MVS41- CB7	6,6	0,5	300	494	108
63	C- MVS41- CB8	6,6	0,5	300	494	108
64	C- MVS41- CB9	6,6	0,5	300	494	108
65	C- MVS41- CB10	6,6	0,5	300	494	108

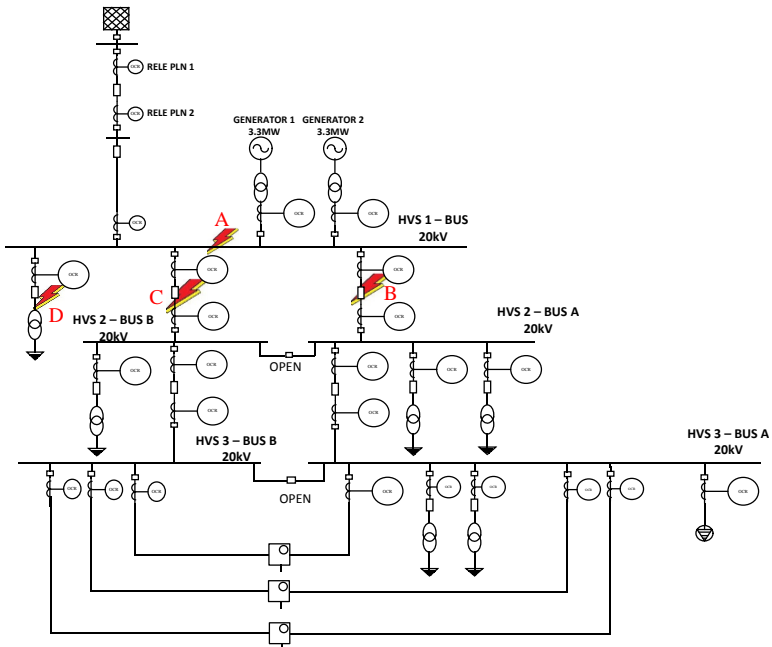
**Tabel 3. 5** Data Kabel di PT. Terminal Teluk Lamong (lanjutan)

<b>NO</b>	<b>ID Kabel</b>	<b>Tegangan (kV)</b>	<b>Luas Penampang (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Panjang (m)</b>	<b>R (Ohm)</b>	<b>X (Ohm)</b>
66	C- MVS41- GSU-CB1	6,6	0,5	300	494	108
67	C- MVS41- GSU-CB2	6,6	0,5	300	494	108

## BAB IV HASIL SIMULASI DAN ANALISA

### 4.1 Analisa *Tripping Sequence*

Pada Tugas Akhir ini penggunaan *Hybrid Superconducting Fault Current Limiter* (SFCL) digunakan untuk mereduksi arus gangguan pada sistem pengamanan peralatan di PT Terminal Teluk Lamong. Untuk mengetahui akibat dari penggunaan SFCL pada koordinasi proteksi PT Terminal Teluk Lamong maka dilakukan analisa *tripping sequence* yang terdiri dari empat case (A-D) seperti pada Gambar 4.1. Hal tersebut untuk membandingkan *tripping sequence* plan saat *existing* tanpa penambahan SFCL dan dengan penambahan SFCL. Pengamatan *tripping sequence* menggunakan software simulasi Etap 12.6.



**Gambar 4. 1** Case pengamatan *tripping sequence* pada PT. Terminal Teluk Lamong

#### 4.4.1 Tripping Sequence Rele Existing

Penempatan gangguan pada Gambar 4.1 dilakukan berdasarkan arus *short circuit* tiga fasa  $1/2$  cycle terbesar. Hal ini dilakukan untuk mengetahui *tripping time* serta kerja rele pada urutan yang benar atau tidak. Pertama dilakukan simulasi pada plan *existing* tanpa penambahan SFCL, berikut rangkuman waktu kerja rele dapat dilihat pada Tabel 4.1 .

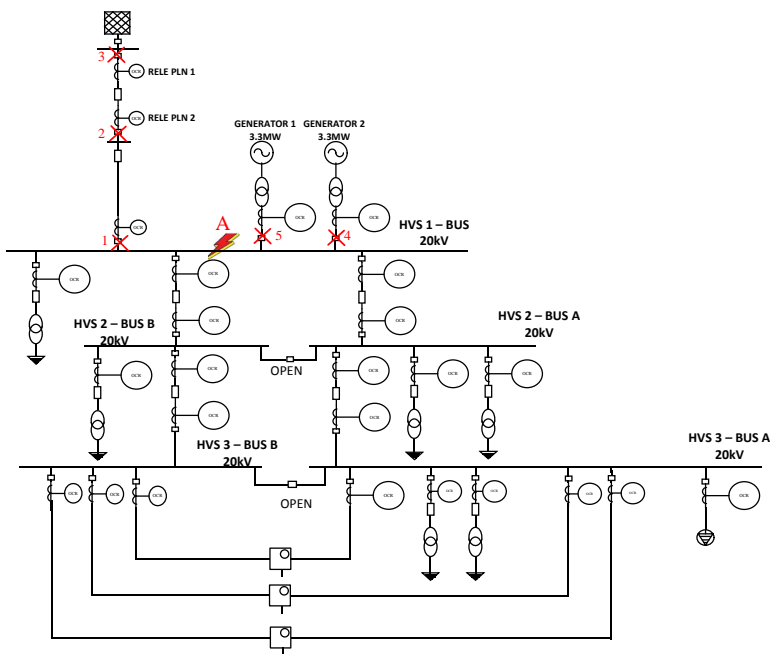
**Tabel 4. 1** Tripping time Rele Case A sampai Case D tanpa SFCL

<b>Fault Case</b>	<b>Tripping Time (ms)</b>	<b>Relay ID</b>	<b>If (kA)</b>	<b>Keterangan</b>
A	230	F50-CB11	12,571	Rele primer dan rele <i>backup</i> bekerja tidak dengan baik
	355	Relay GI PLN	12,571	
	355	Relay GI PLN 2	12,571	
	5061	F50-CB-GEN1	0,349	
	5061	F50-CB-GEN2	0,349	
B	210	F50-CB14	13,203	Rele primer dan rele <i>backup</i> bekerja tidak dengan baik
	230	F50-CB11	12,571	
	355	Relay GI PLN	12,571	
	355	Relay GI PLN 2	12,571	
	5061	F50-CB-GEN 1	0,349	
C	5061	F50-CB-GEN 2	0,349	Rele primer dan rele <i>backup</i> bekerja tidak dengan baik
	210	F50-CB13	13,203	
	230	F50-CB11	12,571	
	355	Relay GI PLN	12,571	
	355	Relay GI PLN 2	12,571	
	5061	F50-CB-GEN 1	0,349	
D	5061	F50-CB-GEN 1	0,349	Rele primer dan rele <i>backup</i> tidak bekerja dengan baik
	50	F50-CB12	13,203	
	230	F50-CB11	12,571	
	355	Relay GI PLN	12,571	
	355	Relay GI PLN 2	12,571	
	5061	F50-CB- GEN 1	0,349	
5061	F50-CB- GEN 1	0,349		

Dari Tabel 4.1 dapat diketahui bahwa koordinasi proteksi pada *plan existing* kurang tepat dan juga memiliki *tripping time* yang tidak tepat. Pada semua *case* kerja rele primer dan *backup* kurang tepat,

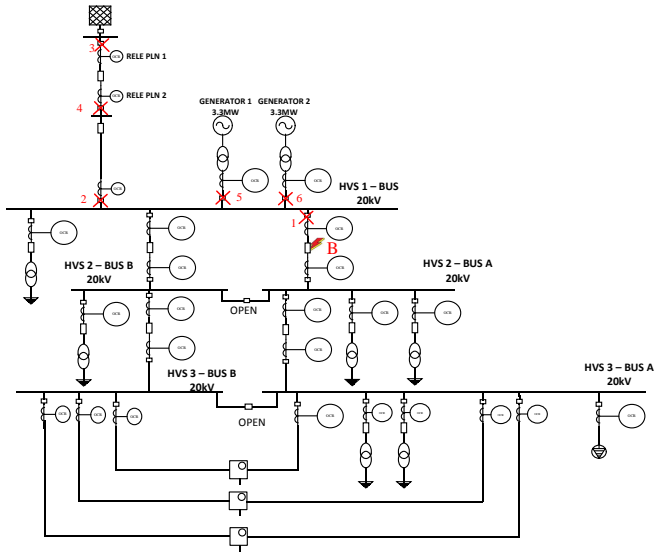
seharusnya *tripping sequence* rele harus melindungi peralatan yang terdekat dari titik gangguan. Seperti data Tabel 4.1 rele GI PLN bekerja terlebih dahulu daripada rele yang melindungi generator, hal ini tidak diperbolehkan karena rele berfungsi sebagai pengaman sistem jaringan saat terjadi gangguan. Untuk itu perlu dilakukan *setting* ulang, agar ketika terjadi gangguan di PT Terminal Teluk Lamong rele primer maupun backup mampu kerja dengan baik.

Pada Gambar 4.2 menampilkan lokasi rele yang bekerja ketika diberi gangguan dengan letak sesuai case-case yang terdapat pada gambar 4.1 tanpa SFCL.

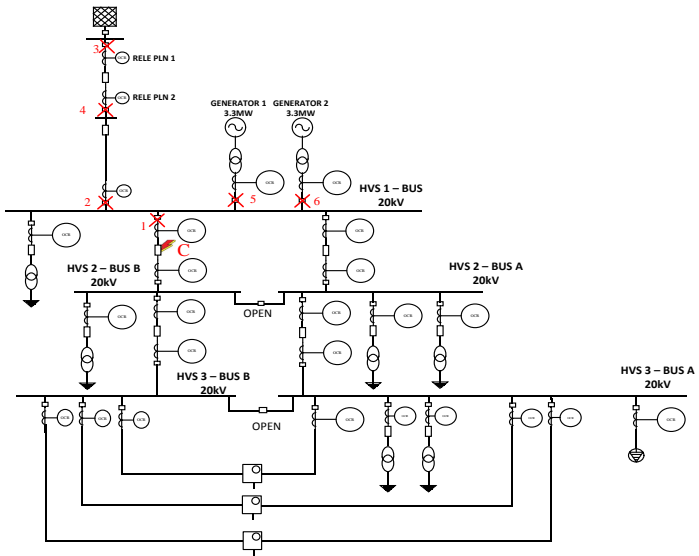


(a) Case A

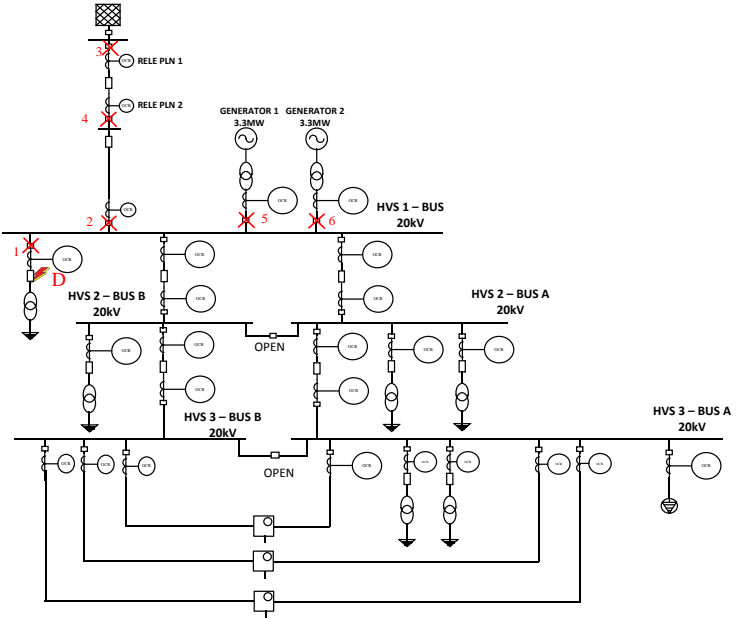




(b) Case B



(c) Case C



(d) Case D

Gambar 4. 2 Tripping Sequence tanpa SFCL pada (a) case A (b) case B (c) case C (d) case D

#### 4.4.2 Tripping Sequence Rele setelah dipasang SFCL

Simulasi *tripping sequence* yang kedua dilakukan dengan penambahan SFCL. Rangkuman waktu kerja rele pada *plan existing* dengan penambahan SFCL dapat dilihat pada Tabel 4.2 :

Tabel 4. 2 Tripping sequence rele setelah penambahan SFCL

Fault Case	Tripping Time (ms)	Relay ID	If (kA)	Keterangan
A	900	F50-CB-GEN2	0,349	Rele primer dan rele <i>backup</i> bekerja dengan baik sesuai dengan waktu yang ditentukan
	900	F50-CB-GEN 1	0,349	
	900	F50-CB11	3,794	
	937	Relay GI PLN 2	3,749	
	937	Relay GI PLN	3,749	

**Tabel 4. 2** *Tripping sequence* rele setelah penambahan SFCL (lanjutan)

<b>Fault Case</b>	<b>Tripping Time (ms)</b>	<b>Relay ID</b>	<b>If (kA)</b>	<b>Keterangan</b>
B	700	F50-CB14	4,487	Rele primer dan rele <i>backup</i> bekerja dengan baik sesuai dengan waktu yang ditentukan
	900	F50-CB-GEN1	0,349	
	900	F50-CB-GEN 2	0,349	
	900	F50-CB11	3,794	
	937	Relay GI PLN 2	3,749	
	937	Relay GI PLN	3,749	
C	700	F50-CB14	4,487	Rele primer dan rele <i>backup</i> bekerja dengan baik sesuai dengan waktu yang ditentukan
	900	F50-CB-GEN1	0,349	
	900	F50-CB-GEN 2	0,349	
	900	F50-CB11	3,794	
	937	Relay GI PLN 2	3,749	
	937	Relay GI PLN	3,749	
D	100	F50-CB12	4,487	Rele primer dan rele <i>backup</i> bekerja dengan baik sesuai dengan waktu yang ditentukan
	900	F50-CB-GEN1	0,349	
	900	F50-CB-GEN 2	0,349	
	900	F50-CB11	3,794	
	937	Relay GI PLN 2	3,749	
	937	Relay GI PLN	3,749	

Dari Tabel 4.2 dapat diketahui bahwa setelah penambahan SFCL arus hubung singkat tereduksi dan setelah dilakukan *resetting* akibat penambahan SFCL, rele primer dan rele *backup* bekerja dengan baik dan terkoordinasi.

#### 4.2 Analisa Hubung singkat

Analisa hubung singkat ini untuk mengetahui besar arus hubung singkat yang mengalir pada setiap bus. Analisa hubung singkat ini menggunakan simulasi *software* Etaap 12.6 . Analisa hubung singkat yang digunakan yaitu analisa hubung singkat maksimum 4 *cycle* dan analisa hubung singkat minimum 30 *cycle*. Kedua analisa hubung singkat ini digunakan untuk menentukan *setting time dial* dan *highset* rele arus lebih.

#### 4.2.1 Hubung Singkat Maksimum

Analisa hubung singkat maksimum ketika semua pembangkit yaitu *grid* PLN dan dua buah generatot bekerja secara bersamaan atau dalam keadaan aktif. Arus hubung singkat maksimum digunakan sebagai batasan arus hubung singkat terbesar yang mungkin terjadi. Arus kontribusi atau arus yang melewati rele akan digunakan untuk *setting* rele. Data hasil simulasi gangguan hubung singkat 3 fasa 4 *cycle* pembangkitan maksimum ditunjukkan pada Tabel 4.4.

**Tabel 4. 3** Data arus hubung singkat maksimum 4 *Cycle*

ID Bus	SC Max 4 Cycle (kA)	
	Pembebanan Max tanpa SFCL	Pembebanan Max dengan SFCL
HVS1-Bus	16,30	7,70
HVS2-BusB	12,47	6,95
HVS3-BusB	11,32	6,67
HVS4B	10,74	6,49
MVS41A	10,29	8,89
HVS31A	10,20	6,35
MVS31A	8,78	7,66
MVMDB #1	8,78	7,66
HVS2-BusA	12,81	7,16
HVS3-BusA	9,30	6,95
HVS4A	11,15	6,77
MVS41B	11,08	9,69
HVS31B	11,58	6,62
MVS31B	8,48	7,42
MVMDB #2	8,78	7,66

#### 4.2.2 Hubung Singkat Minimum

Arus hubung singkat minimum adalah arus hubung singkat *line to line* ketika kondisi 30 *cycle*. Pembangkitan minimum pada PT. Terminal Teluk Lamong yaitu ketika salah satu generator yang berkapasitas lebih besar tidak beroperasi. Karena daya pada Gen

1 dan Gen 2 sama yaitu 3,3 MW, maka dipilih Gen 2 untuk tidak beroperasi. Arus yang dipakai yaitu arus kontribusi yang mengalir pada rele yang akan di *setting*. Hubung singkat minimum digunakan untuk menentukan *setting pickup* kurva waktu instan. Sehingga apabila terjadi gangguan hubung singkat pada gangguan minimum, maka rele tersebut dapat bekerja dengan instan sesuai dengan *setting time delay* yang ditentukan. Data hasil simulasi gangguan hubung singkat pembangkitan minimum ditunjukkan pada Tabel 4.4

**Tabel 4. 4** Data arus hubung singkat minimum 30 Cycle

No	ID Bus	SC Max 30 Cycle (kA)	
		Pembebanan Min tanpa SFCL	Pembebanan Min dengan SFCL
1	HVS1-Bus	11,22	3,19
2	HVS2-BusB	8,73	2,98
3	HVS3-BusB	7,94	2,90
4	HVS4B	7,57	2,85
5	MVS41A	6,84	4,52
6	HVS31A	7,27	2,83
7	MVS31A	6,17	4,21
8	MVMDB #1	6,17	4,21
9	HVS2-BusA	8,73	2,98
10	HVS3-BusA	7,94	2,90
11	HVS4A	7,57	2,85
12	MVS41B	6,84	4,52
13	HVS31B	7,27	2,83
14	MVS31B	6,17	4,21
15	MVMDB #2	6,17	4,21

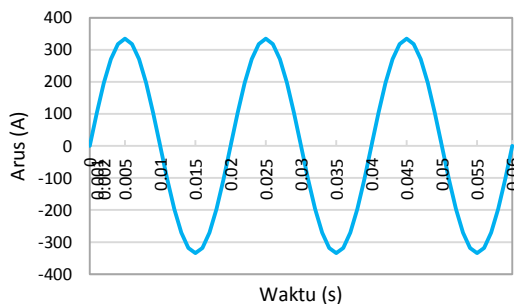
### 4.3 Pemasangan *Hybrid Superconducting Fault Current Limiter (SFCL)*

*Hybrid Superconducting Fault Current Limiter* adalah suatu peralatan yang dapat mengurangi atau mereduksi arus hubung singkat

yang besar. SFCL ini memiliki nilai impedansi yang sangat kecil sehingga dapat saja diabaikan pada saat normal (tidak terjadi gangguan). Apabila terjadi gangguan, nilai dari impedansi SFCL ini akan berubah menjadi besar sesuai dengan *setting* yang diberikan. Setelah dilakukan analisa *tripping sequence* dapat diketahui bahwa pemasangan SFCL dapat mereduksi arus hubung singkat yang besar pada bus HVS1-Bus dan dapat mengatasi kesalahan koordinasi di PT. Terminal Teluk Lamong.

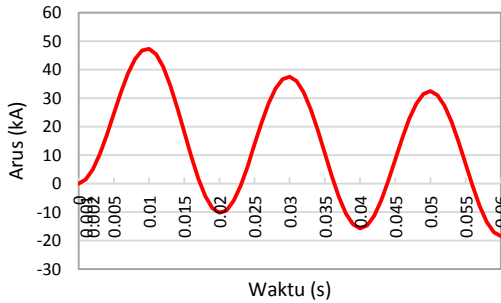
#### 4.3.1 Cara Kerja *Hybrid SFCL*

*Hybrid SFCL* mempunyai dua operasi kerja, yaitu saat tidak terjadi gangguan atau keadaan normal dan pada saat terjadi gangguan. Pada saat keadaan normal, *High Temperature Superconductor* (HTS) terpasang secara seri dengan *Vacuum Interrupter* (VI). Nilai resistansi dari HTS pada saat keadaan normal yaitu 0 ohm seolah menjadi penghantar tanpa hambatan. Bentuk gelombang arus pada bus HVS1-Bus saat keadaan normal dapat dilihat pada Gambar 4.3



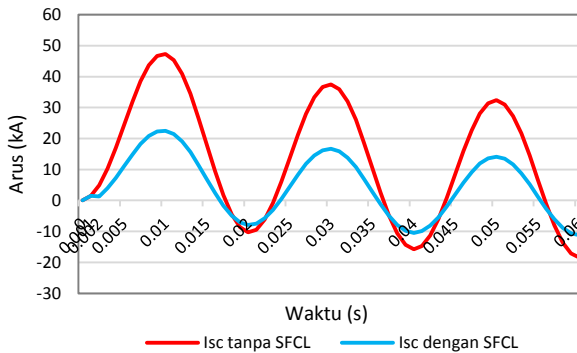
**Gambar 4. 3** Gambar gelombang arus saat keadaan normal

Pada saat terjadi gangguan, arus yang mengalir pada HTS membuat temperatur HTS menjadi besar dan resistansi pada HTS pun ikut meningkat. Hal tersebut mengakibatkan arus gangguan menuju *current limiter reactor* (CLR). Bentuk dari gelombang arus HVS1-Bus pada saat terjadi gangguan sebelum terjadi pemasangan dapat dilihat pada Gambar 4.4



**Gambar 4. 4** Gelombang arus saat terjadi gangguan

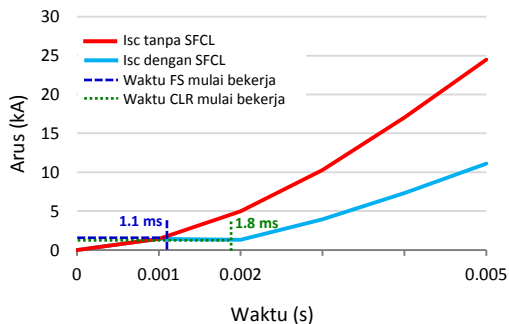
Pada saat keadaan arus gangguan mengalir melewati CLR, arus gangguan tersebut direduksi dengan cepat oleh CLR. Perbandingan antara gelombang arus pada saat terjadi gangguan sebelum pemasangan SFCL dengan setelah dipasang SFCL dapat dilihat pada gambar 4.5



**Gambar 4. 5** Perbandingan arus gangguan sebelum dan sesudah dipasang SFCL

Dapat dilihat pada Gambar 4.5 grafik yang berwarna merah adalah gambar grafik arus hubung singkat sebelum SFCL dipasang dan grafik

bewarna biru adalah grafik arus hubung singkat setelah dipasang SFCL. HTS mendeteksi gangguan saat 1ms setelah mengalir arus hubung singkat. *Drive coil* mulai mendeteksi arus hubung singkat dan *fast switch* mulai bekerja pada 1,1ms sampai 1,8ms. Kemudian arus yang mengalir ke HTS kembali menjadi 0 ohm. Total arus gangguan mengalir menuju CLR dan direduksi memanfaatkan nilai reaktansi. Grafik kerja SFCL dapat dilihat pada Gambar 4.6

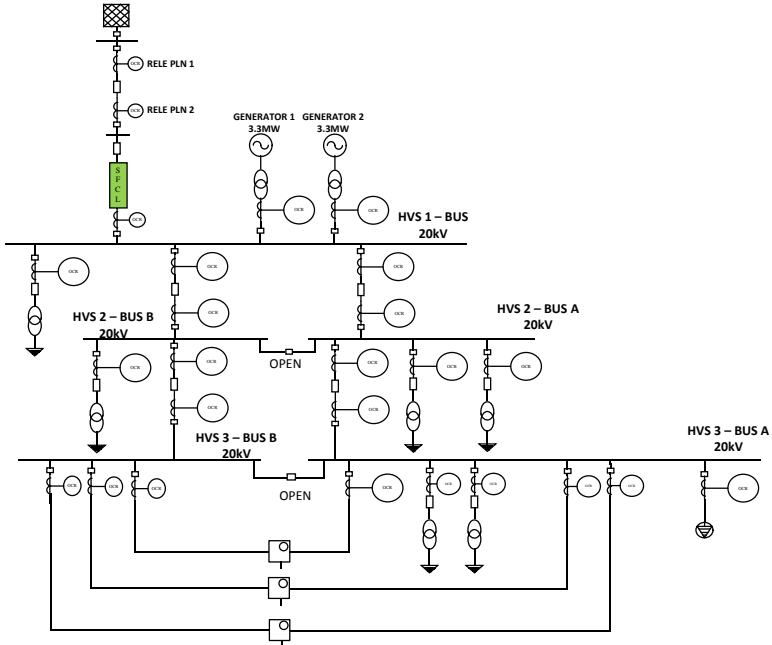


**Gambar 4. 6** Grafik kerja *Hybrid SFCL*

#### 4.3.2 Pemilihan Letak *Hybrid SFCL*

Berdasarkan hasil simulasi analisa *tripping sequence* dan *resetting* dapat ditentukan letak pemasangan SFCL yakni dihubungkan seri dengan saluran grid PLN untuk membatasi arus gangguan agar tidak melebihi *setting* dari rele F50-CB11, sehingga ketika ada gangguan seperti *case* pada table 4.1 rele GI PLN tidak langsung bekerja (langsung *trip*), namun rele primer yang akan bekerja terlebih dahulu. Pemasangan SFCL di PT. Terminal Teluk Lamong dapat dilihat pada *single line* diagram pada gambar 4.7 :

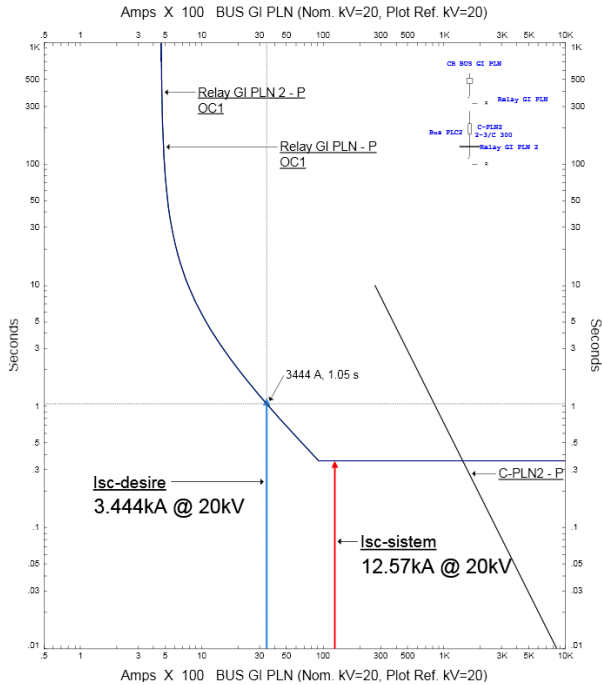




**Gambar 4. 7** *Single Line Diagram* Pemasangan SFCL

#### 4.3.3 Penentuan Reaktansi *Current Limiter Reactor (CLR)*

Konstruksi dari *Hybrid SFCL* adalah bagian CLR terhubung secara paralel dengan *superconductor*. Nilai reaktansi pada CLR berfungsi untuk mereduksi arus hubung singkat yang mengalir. Untuk mencari arus gangguan dapat dilihat pada *equation 1.1*. Arus hubung singkat sistem yaitu sebesar 12,57 kA. Untuk lebih jelasnya, plot TCC dapat dilihat pada Gambar 4.8 berikut :



**Gambar 4. 8** Plot kurva rele PLN

Arus hubung singkat yang diinginkan di *setting* pada saat rele PLN bekerja pada 1,05s dengan arus sebesar 3444 A, hal tersebut agar rele PLN dapat dikoordinasikan dengan rele yang lain. Berikut perhitungan nilai SFCL:

$$X_R = \frac{V_s}{\sqrt{3}} \left[ \frac{1}{Isc_{desire}} - \frac{1}{Isc_{system}} \right]$$

$$X_R = \frac{20000}{\sqrt{3}} \left[ \frac{1}{3444} - \frac{1}{12570} \right]$$

$$X_R = 2,438\Omega$$

#### **4.4 Koordinasi Rele Arus Lebih**

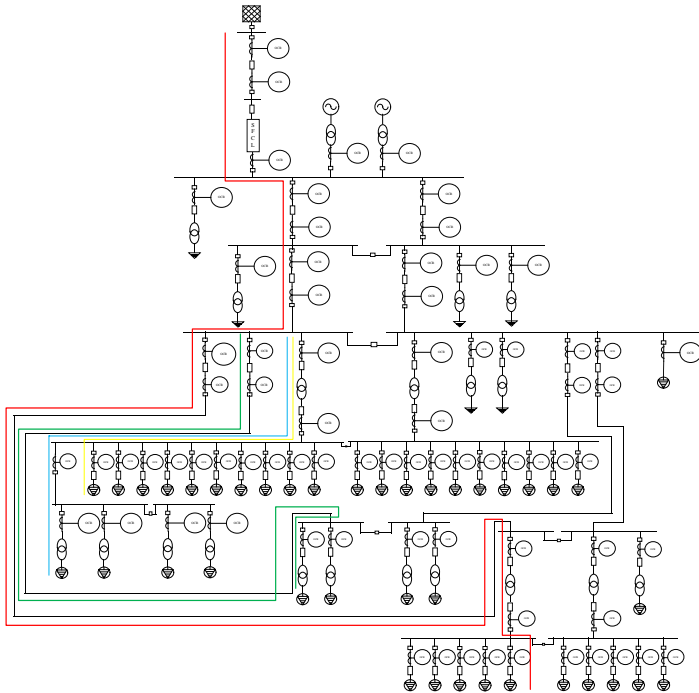
Pada koordinasi rele arus lebih gangguan fasa ini dipilih beberapa tipikal untuk mewakili sistem kelistrikan PT. Teluk Lamong agar lebih mudah dalam melakukan *setting* ulang pada setiap rele dan juga agar waktu operasi setiap relai mampu bekerja sesuai yang diharapkan. Pemilihan tipikal ini berdasarkan nilai beban terbesar dan letak beban terjauh. Pada Tugas Akhir ini koordinasi rele arus lebih dimaksudkan untuk menganalisa setting rele sebelum dan setelah adanya penambahan SFCL.

##### **4.4.1 Pemilihan Tipikal**

Dalam melakukan setting koordinasi proteksi pada PT. Terminal Teluk LAmong, dipilih beberapa tipikal yang dapat mewakili sistem kelistrikan PT. Terminal Teluk Lamong. Pemilihan tipikal ini nantinya akan mewakili dan menjadi acuan setting proteksi yang lainnya. Tipikal-tipikal tersebut antara lain:

1. Tipikal 1 adalah koordinasi proteksi dari rele PLN sampai beban terjauh yaitu GSU-2 (2000kVA). Pada tipikal ini terdapat 2 level tegangan yaitu 20kV dan 6,6kV. Rele yang terdapat pada tipikal 1 ini adalah F50-CTT-2, F50-MVS41A-CB, F50-CB44, F50\_CB41, F50-CB39, F50-CB31, F50-CB24, F50-CB21, F50-CB13 dan F50-CB11.
2. Tipikal 2 adalah koordinasi proteksi dari kabel C-HVS2B-HVS3B yang berada pada OLV sampai ke beban *lump load* (1280kVA) yang berada pada network 3. Tipikal ini hanya memiliki satu rating tegangan bus yaitu 20kV. Rele yang terdapat pada tipikal 2 ini adalah F50-CB321, F50-CB319, F50-CB34 dan F50-CB31.
3. Tipikal 3 adalah koordinasi proteksi dari rele F50-CB37 yang berada di OLV sampai ke beban *lump load* MCC-SS-1A (1915kVA) yang berada di network 4. Pada tipikal ini mempunyai mempunyai 2 level tegangan yaitu 20kV dan 6,6kv. Rele yang terdapat pada tipikal ini adalah relay 10, relay 1, F50-MVS31A-CB dan F50-CB37.

4. Tipikal 4 adalah koordinasi proteksi dari rele F50-CB37 pada OLV sampai pada beban *lump load* ASC#20 (375kVA) yang berada pada network 1. Tipikal ini mempunyai dua level tegangan yaitu 20kV dan 6,6kV. Rele yang terdapat pada tipikal 4 adalah F50-ASC#20, F50-MVS31A-CB dan F50-CB37.



**Gambar 4. 9** *Single line* diagram tipikal 1 sampai 3

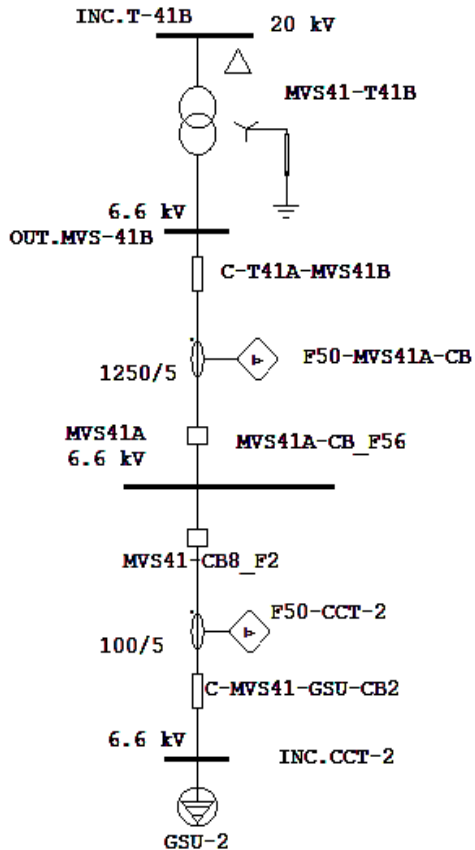
#### 4.4.2 Koordinasi Rele Arus Lebih Tipikal 1

Koordinasi rele arus lebih pada tipikal 1 merupakan jalur tipikal dari Rele PLN sampai ke beban sampai beban terjauh yaitu GSU-2. Rele yang terdapat pada tipikal 1 ini adalah F50-CTT-2, F50-MVS41A-CB, F50-CB44, F50\_CB41, F50-CB39, F50-CB31, F50-CB24, F50-CB21, F50-CB13 dan F50-CB11. Pada tipikal ini dibagi menjadi 3 bagian yaitu bagian 1a, 1 b dan 1c agar mudah untuk menentukan nilai resetting pada rele.

Berikut ini adalah hasil perhitungan setting ulang pada tipikal 1 :

#### 4.4.2.1 Tipikal 1a

Bagian pertama terdapat rele F50-CCT-2 dan rele F50-MVS41A-CB. Gambar tipikal 1a dapat dilihat pada Gambar4.10:



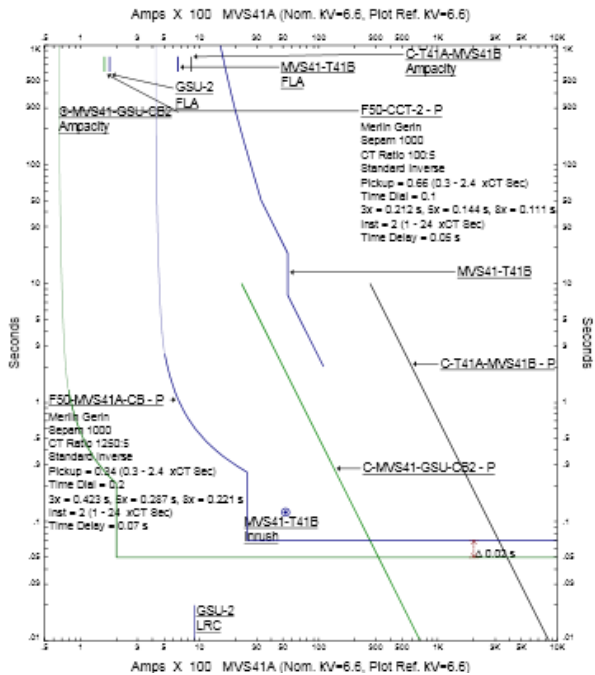
Gambar 4. 10 Rangkaian pada tipikal 1a

Data awal *setting* rele arus lebih pada tipikal 1a sebelum penambahan SFCL dapat dilihat pada Tabel 4.5 sebagai berikut :

**Tabel 4. 5** Data *setting* awal rele arus lebih tipikal 1a

<i>Relay ID</i>	<i>CT ratio</i>	<i>Setting</i>	
<b>Rele OCR F50-CTT-2</b>	100/5	<i>Pickup Lowset</i>	66A
		<i>Time dial</i>	0,1
		<i>Pickup Higset</i>	200A
		<i>Time delay</i>	0,05s
<b>Rele OCR F50-MVS41A-CB</b>	1250/5	<i>Pickup Lowset</i>	425A
		<i>Time dial</i>	0,2
		<i>Pickup Higset</i>	2500A
		<i>Time delay</i>	0,07s

Hasil dari plot *Time Current Curve* (TCC) pada tipikal 1a *setting* awal sebelum dipasang SFCL dapat dilihat pada Gambar 4.10 :



**Gambar 4. 11** Kurva *setting* awal rele arus lebih tipikal 1a

Pada kondisi awal tipikal 1a tanpa penambahan SFCL ada beberapa yang perlu diperhatikan diantaranya :

1. Pada rele F50-CTT-2-P berada di sebelah kiri kurva beban GSU-2 yang seharusnya kurva rele tersebut berada di sebelah kanan.
2. Selisih waktu delay pada rele F50-CTT2-P dan rele F50-MVS41A-CB adalah 0,02. Hal tersebut dibawah standart IEEE std 242-1986 tentang delay sebesar 0,2 - 0,4 s.

Dari hasil analisa TCC tipikal 1a pada *setting* awal, perlu dilakukan *setting* ulang sebagai berikut :

a) **Rele OCR F50-CTT-2**

Manufaktur	: Merlin Gerin
Model	: Sepam 1000
Kurva	: Standard Inverse
Rasio CT	: 100/5
FLA Lumped load GSU-2	: 175 A
Isc ½ C	: 7950 A
Isc 4 C	: 7200 A
Isc 30 C	: 4340 A

**Time Overcurrent Pickup (Low Set)**

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

$$1,05 \times 175 < I_{\text{set}} < 1,4 \times 175$$

$$183,75 < I_{\text{set}} < 245$$

$$\frac{183,75}{\text{CT}} I_n < \text{tap} < \frac{245}{\text{CT}} I_n$$

$$\frac{183,75}{100} I_n < \text{tap} < \frac{245}{100} I_n$$

$$1,8375 I_n < \text{tap} < 2,45 I_n$$

Dipilih tap 1,85 (*Range* 0,3 - 2,4I<sub>n</sub>)

$$I_{\text{set}} = 185 \text{ A}$$

**Time Dial**

Dipilih waktu operasi (t) = 0.3 detik

$$t = \frac{0.14}{\left[\left(\frac{I}{I_{\text{set}}}\right)^{0.02} - 1\right]} \times \frac{M}{2,97}$$

$$M = \frac{t \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{\text{set}}}\right)^{0.02} - 1\right]}{0.14}$$

$$M = \frac{0.3 \times 2,97 \left[\left(\frac{7200}{185}\right)^{0.02} - 1\right]}{0.14}$$

$$M = 0,4835$$

Dipilih k atau *time dial* = 2,2

### **Instantaneous Pickup**

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

$$1,6 \times 175 < I_{\text{set}} < 0,8 \times 4340$$

$$280 < I_{\text{set}} < 3472$$

$$\frac{280}{100} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{3472}{100} \text{ In}$$

$$2,8 < \text{Tap} < 34,72$$

Dipilih Tap 11,4 (*Range* 1 – 24 x CT dengan *step* 0.1)

$$I_{\text{set}} = 11,4 \times 100 = 1140 \text{ A}$$

### **Time delay**

Dipilih *Time delay* 0,3 detik

#### **b) Rele OCR F50-MVS41A-CB**

Manufaktur	: Merlin Gerin
Model	: Sepam 1000
Kurva	: Standard Inverse
Rasio CT	: 1250/5
FLA sekunder trafo MVS41-T41B	: 656,1 A
Isc ½ C	: 7150 A
Isc 4 C	: 6820 A
Isc 30 C	: 4750 A

### **Time Overcurrent Pickup (Low Set)**

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

$$1,05 \times 656,1 < I_{\text{set}} < 1,4 \times 656,1$$

$$688,905 < I_{\text{set}} < 918,54$$



$$\frac{688,905}{1250} I_n < \text{tap} < \frac{918,54}{1250} I_n$$

$$0,5511 I_n < \text{tap} < 0,7348 I_n$$

Dipilih tap 0,6 (*Range* 0,3 – 2,4  $I_n$ )  
 $I_{\text{set}} = 750 \text{ A}$

### **Time Dial**

Dipilih waktu operasi (t) = 0.5 detik

$$t = \frac{0.14}{\left[\left(\frac{I}{I_{\text{set}}}\right)^{0.02} - 1\right]} \times \frac{M}{2,97}$$

$$M = \frac{t \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{\text{set}}}\right)^{0.02} - 1\right]}{0.14}$$

$$M = \frac{0.5 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{6820}{750}\right)^{0.02} - 1\right]}{0.14}$$

$$M = 0,4788$$

Dipilih k atau *time dial* = 2,4

### **Instantaneous Pickup**

$$1,6 \times \text{FLA} < I_{\text{set}} < 0.8 \times \text{Isc min}$$

$$1,6 \times 656,1 < I_{\text{set}} < 0.8 \times 4750$$

$$1049,76 < I_{\text{set}} < 3800$$

$$\frac{1049,76}{1250} I_n < \text{Tap} < \frac{3800}{1250} I_n$$

$$0,839 < \text{Tap} < 3,04$$

Dipilih Tap 3 (*Range* 1 – 24 x CT dengan *step* 0.1)

$$I_{\text{set}} = 3 \times 1250 = 3750 \text{ A}$$

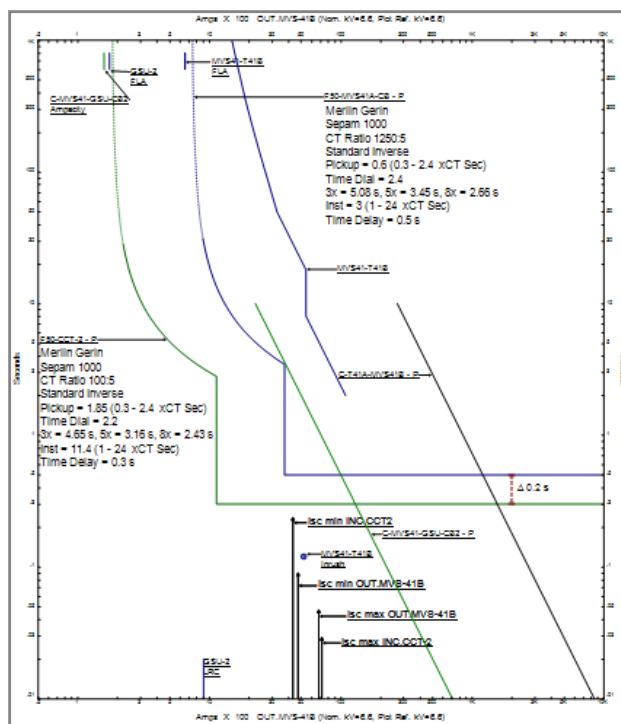
### **Time delay**

Dipilih *Time delay* 0,5 detik

Setelah dilakukan perhitungan ulang, didapatkan hasil data seperti pada Tabel 4.6 sebagai berikut :

**Tabel 4. 6** Data *resetting* rele arus lebih tipikal 1a

<i>Relay ID</i>	<i>CT ratio</i>	<i>Setting</i>	
<b>Rele OCR F50-CTT-2</b>	100/5	<i>Pickup Lowset</i>	185A
		<i>Time dial</i>	2,2
		<i>Pickup Higset</i>	1140A
		<i>Time delay</i>	0,3s
<b>Rele OCR F50-MVS41A-CB</b>	1250/5	<i>Pickup Lowset</i>	750A
		<i>Time dial</i>	2,4
		<i>Pickup Higset</i>	3750A
		<i>Time delay</i>	0,5s



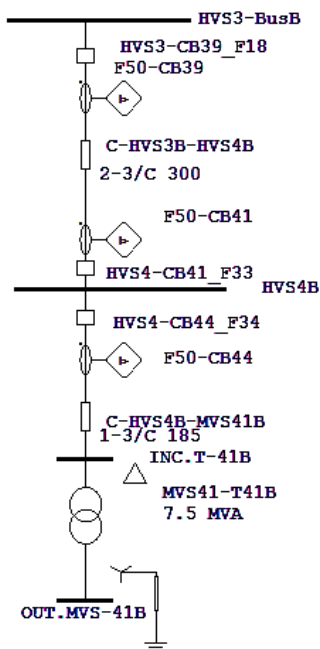
**Gambar 4. 12** Kurva *resetting* awal rele arus lebih tipikal 1a

Berdasarkan data *resetting* dan plot kurva kerja rele dari perhitungan ulang pada tipikal 1c terdapat beberapa perbaikan, diantaranya :

1. *Time delay* pada rele F50-CTT-2 diubah menjadi 0,3s dan rele F50-MVS41A-CB diubah menjadi 0,5s. Sehingga selisih dari *time delay* dari rele telah memenuhi standart IEEE.
2. Setelah dilakukan *setting* ulang, *pickup lowset* pada rele F50-CTT-2 sudah berada di sebelah kanan garis FLA beban *lump load* GSU-2.

#### 4.4.2.2 Tipikal 1b

Bagian kedua terdapat rele F50-CB44, F50-CB41 dan F50-CB39. Gambar tipikal 1b dapat dilihat pada Gambar 4.13 :



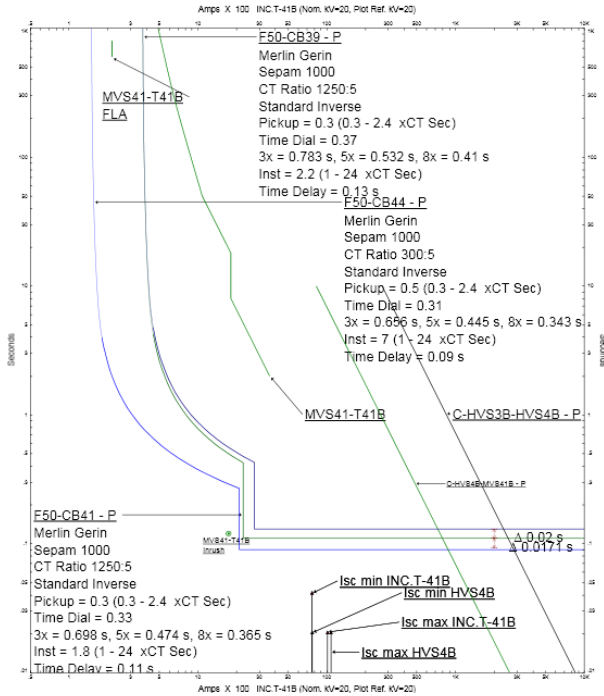
**Gambar 4. 13** Rangkaian pada tipikal 1b

Data awal *setting* rele arus lebih pada tipikal 1b sebelum penambahan SFCL dapat dilihat pada Tabel 4.7 sebagai berikut :

**Tabel 4. 7** Data *setting* awal rele arus lebih tipikal 1b

<i>Relay ID</i>	<i>CT ratio</i>	<i>Setting</i>	
<b>F50-CB44</b>	300/5	<i>Pickup Lowset</i>	150A
		<i>Time dial</i>	0,31
		<i>Pickup Higset</i>	2100A
		<i>Time delay</i>	0,09s
<b>F50-CB41</b>	1250/5	<i>Pickup Lowset</i>	375A
		<i>Time dial</i>	0,33
		<i>Pickup Higset</i>	2250A
		<i>Time delay</i>	0,11s
<b>F50-CB39</b>	1250/5	<i>Pickup Lowset</i>	375A
		<i>Time dial</i>	0,37
		<i>Pickup Higset</i>	2750A
		<i>Time delay</i>	0,13s

Hasil dari plot (*time current curve*)TCC pada tipikal 1b *setting* awal sebelum dipasang SFCL dapat dilihat pada Gambar 4.14 :



**Gambar 4. 14** Kurva *setting* awal rele arus lebih tipikal 1b

Pada kondisi awal tipikal 1.b tanpa penambahan SFCL ada beberapa yang perlu diperhatikan diantaranya :

1. Pada rele F50-CB44 berada di sebelah kiri kurva FLA trafo MVS41-T41B yang harusnya berada di sebelah kanan kurva FLA trafo.

**a) Rele OCR F50-CB44**

Manufaktur	: Merlin Gerin
Model	: Sepam 1000
Kurva	: Standard Inverse
Rasio CT	: 300/5
FLA primer trafo MVS41-T41B	: 216,5 A
Isc ½ C	: 6730 A

Isc 4 C : 5910 A  
 Isc 30 C : 3130 A  
 Isc 4 C bus OUT-MVS-41B : 6820 A

**Time Overcurrent Pickup (Low Set)**

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

$$1,05 \times 216,5 < I_{\text{set}} < 1,4 \times 216,5$$

$$227,325 < I_{\text{set}} < 303,1$$

$$\frac{227,325}{300} I_n < \text{tap} < \frac{303,1}{300} I_n$$

$$0,75775 I_n < \text{tap} < 1,0103 I_n$$

Dipilih tap 0,8 (Range 0,3 – 2,4I<sub>n</sub>)  
 I<sub>set</sub> = 240 A

**Time Dial**

Dipilih waktu operasi (t) = 0.1 detik

$$t = \frac{0.14}{\left[\left(\frac{I}{I_{\text{set}}}\right)^{0.02} - 1\right]} \times \frac{M}{2,97}$$

$$M = \frac{t \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{\text{set}}}\right)^{0.02} - 1\right]}{0.14}$$

$$M = \frac{0.1 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{5910}{240}\right)^{0.02} - 1\right]}{0.14}$$

M = 0,14

Dipilih k atau *time dial* = 0,8

**Instantaneous Pickup**

$$\text{Isc max bus OUT.MVS-41B} \times \frac{\text{kV sekunder}}{\text{kV primer}} < I_{\text{set}} < 0.8 \text{ Isc min}$$

$$7150 \times \frac{6,6}{20} < I_{\text{set}} < 0.8 \times 3130$$

$$2359,5 < I_{\text{set}} < 2504$$

$$\frac{2359,5}{300} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{2504}{300} \text{ In}$$

$$7,865 < \text{Tap} < 8,34$$

Dipilih Tap 7,9 (Range 1 – 24 x CT dengan step 0.1)

$$I_{\text{set}} = 7,9 \times 300 = 2370 \text{ A}$$

**Time delay**

Dipilih *Time delay* 0,1 detik

**b) Rele OCR F50-CB41**

Manufaktur	: Merlin Gerin
Model	: Sepam 1000
Kurva	: Standard Inverse
Rasio CT	: 1250/5
FLA primer trafo MVS41-T41B	: 216,5 A
Isc ½ C	: 6740 A
Isc 4 C	: 5920 A
Isc 30 C	: 3140 A

**Time Overcurrent Pickup (Low Set)**

1,05 FLA beban < I<sub>set</sub> < 1,4 FLA beban

$$1,05 \times 216,5 < I_{set} < 1,4 \times 216,5$$

$$227,325 < I_{set} < 303,1$$

$$\frac{227,325}{1250} I_n < tap < \frac{303,1}{1250} I_n$$

$$0,181 I_n < tap < 0,242 I_n$$

Dipilih tap 0,3 (*Range* 0,3 – 2,4I<sub>n</sub>)

$$I_{set} = 375 \text{ A}$$

**Time Dial**

Dipilih waktu operasi (t) = 0.3 detik

$$t = \frac{0.14}{\left[\left(\frac{I}{I_{set}}\right)^{0.02} - 1\right]} \times \frac{M}{2,97}$$

$$M = \frac{t \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}}\right)^{0.02} - 1\right]}{0.14}$$

$$M = \frac{0.3 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{5920}{375}\right)^{0.02} - 1\right]}{0.14}$$

$$M = 0,36$$

Dipilih k atau *time dial* = 0,7

**Instantaneous Pickup**

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

$$1,6 \times 216,5 < I_{\text{set}} < 0,8 \times 3140$$

$$346,4 < I_{\text{set}} < 2512$$

$$\frac{346,4}{1250} I_n < \text{Tap} < \frac{2512}{1250} I_n$$

$$0,27712 < \text{Tap} < 2,0096$$

Dipilih Tap 2 (*Range* 1 – 24 x CT dengan *step* 0.1)

$$I_{\text{set}} = 2 \times 1250 = 2500 \text{ A}$$

**Time delay**

Dipilih *Time delay* 0,3 detik

c) **Rele OCR F50-CB39**

Manufaktur	: Merlin Gerin
Model	: Sepam 1000
Kurva	: Standard Inverse
Rasio CT	: 1250/5
FLA primer trafo MVS41-T41B	: 216,5 A
Isc ½ C	: 6740 A
Isc 4 C	: 5920 A
Isc 30 C	: 3140 A

**Time Overcurrent Pickup (Low Set)**

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

$$1,05 \times 216,5 < I_{\text{set}} < 1,4 \times 216,5$$

$$227,325 < I_{\text{set}} < 303,1$$

$$\frac{227,325}{1250} I_n < \text{tap} < \frac{303,1}{1250} I_n$$

$$0,181 I_n < \text{tap} < 0,242 I_n$$

Dipilih tap 0,3 (*Range* 0,3 – 2,4I<sub>n</sub>)

$$I_{\text{set}} = 375 \text{ A}$$

**Time Dial**

Dipilih waktu operasi (t) = 0.3 detik

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{I}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times \frac{M}{2,97}$$



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

$$M = \frac{0,3 \times 2,97 \times \left[ \left( \frac{5920}{375} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$M = 0,36$$

Dipilih k atau *time dial* = 0,7

### **Instantaneous Pickup**

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

$$1,6 \times 216,5 < I_{set} < 0,8 \times 3140$$

$$\frac{346,4}{1250} In < Tap < \frac{2512}{1250} In$$

$$0,27712 < Tap < 2,0096$$

Dipilih Tap 2 (*Range* 1 – 24 x CT dengan *step* 0.1)

$$I_{set} = 2 \times 1250 = 2500 \text{ A}$$

### **Time delay**

Dipilih *Time delay* 0,3 detik

Setelah dilakukan perhitungan ulang, didapatkan hasil data seperti pada Tabel 4.8 sebagai berikut :

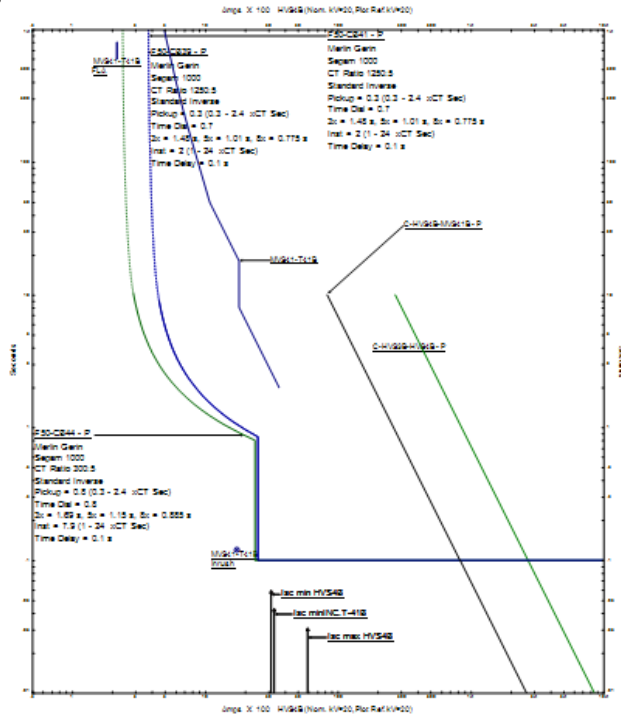
**Tabel 4. 8** Data *resetting* rele arus lebih tipikal 1b

<b>Relay ID</b>	<b>CT ratio</b>	<b>Setting</b>	
<b>F50-CB44</b>	300/5	<i>Pickup Lowset</i>	240A
		<i>Time dial</i>	0,8
		<i>Pickup Higset</i>	2370A
		<i>Time delay</i>	0,1s
<b>F50-CB41</b>	1250/5	<i>Pickup Lowset</i>	375A
		<i>Time dial</i>	0,7
		<i>Pickup Higset</i>	2000A
		<i>Time delay</i>	0,3s

**Tabel 4. 9** Data *resetting* rele arus lebih tipikal 1b (lanjutan)

<i>Relay ID</i>	<i>CT ratio</i>	<i>Setting</i>	
<b>F50-CB39</b>	1250/5	<i>Pickup Lowset</i>	375A
		<i>Time dial</i>	0,7
		<i>Pickup Higset</i>	2000A
		<i>Time delay</i>	0,3s

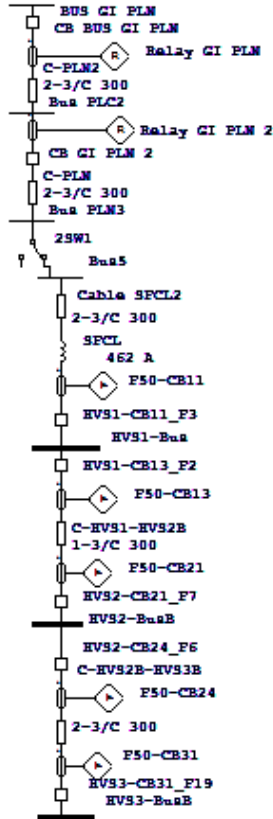
Berikut ini adalah hasil dari plot kurva TCC pada tipikal 1b dapat dilihat pada gambar 4.15



**Gambar 4. 15** Kurva *resetting* rele arus lebih tipikal 1b

#### 4.4.2.3 Tipikal 1c

Pada bagian ketiga terdapat rele F50-CB31, F50-CB24, F50-CB21, F50-CB13, F50-CB11, Relay GI PLN 2 dan Relay GI PLN.



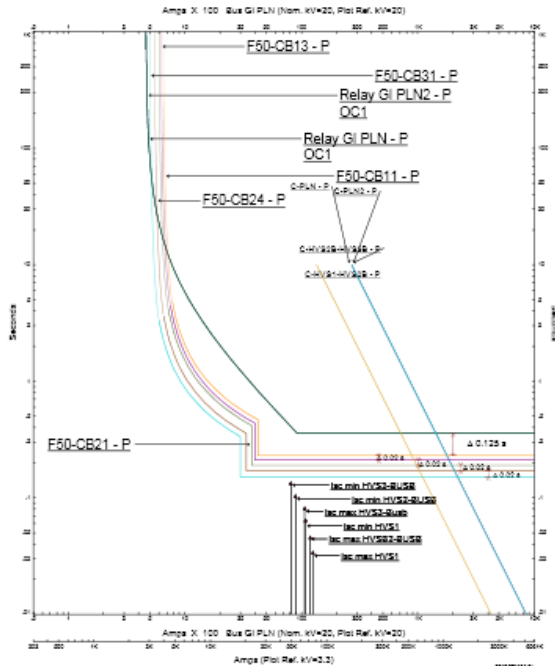
Gambar 4. 16 Rangkaian pada tipikal 1c

Data awal *setting* rele arus lebih pada tipikal 1c sebelum penambahan SFCL dapat dilihat pada Tabel 4.9 sebagai berikut:

**Tabel 4. 10** Data *setting* awal rele arus lebih tipikal 1c

<i>Relay ID</i>	<i>CT ratio</i>	<i>Setting</i>	
<b>F50-CB31</b>	1250/5	<i>Pickup Lowset</i>	500A
		<i>Time dial</i>	0,26
		<i>Pickup Higset</i>	3000 A
		<i>Time delay</i>	0,15s
<b>F50-CB24</b>	1250/5	<i>Pickup Lowset</i>	550A
		<i>Time dial</i>	0,28
		<i>Pickup Higset</i>	3375A
		<i>Time delay</i>	0,17s
<b>F50-CB21</b>	1250/5	<i>Pickup Lowset</i>	600A
		<i>Time dial</i>	0,33
		<i>Pickup Higset</i>	3750A
		<i>Time delay</i>	0,19s
<b>F50-CB13</b>	1250/5	<i>Pickup Lowset</i>	625A
		<i>Time dial</i>	0,35
		<i>Pickup Higset</i>	4000A
		<i>Time delay</i>	0,21s
<b>F50-CB11</b>	1250/5	<i>Pickup Lowset</i>	650A
		<i>Time dial</i>	0,38
		<i>Pickup Higset</i>	4250A
		<i>Time delay</i>	0,23s

Hasil dari plot (*time current curve*)TCC pada tipikal 1c *setting* awal sebelum dipasang SFCL dapat dilihat pada Gambar 4.16 :



**Gambar 4. 17 Kurva *setting* awal rele arus lebih tipikal 1c**

Pada kondisi awal tipikal 1a tanpa penambahan SFCL ada beberapa yang perlu diperhatikan diantaranya :

1. Selisih waktu delay pada semua rele masih di bawah standart yang telah ditentukan IEEE std 242-1986 tentang delay sebesar 0,2 - 0,4 s.
2. Perlunya *setting* ulang pada setiap relay agar *time delay* memenuhi standart yang telah dilakukan. Selain itu perlu dilakukan *setting* ulang karena arus hubung singkat maksimum dan minimum berubah setelah penambahan SFCL pada *plan*

a) **Rele OCR F50-CB31**

Manufaktur	: Merlin Gerin
Model	: Sepam 1000
Kurva	: Standard Inverse
Rasio CT	: 1250/5
FLA	: 328,4 A
Isc ½ C	: 6160 A
Isc 4 C	: 5620 A
Isc 30 C	: 3190 A

**Time Overcurrent Pickup (Low Set)**

1,05 FLA beban < I<sub>set</sub> < 1,4 FLA beban

$$1,05 \times 328,4 < I_{set} < 1,4 \times 328,4$$

$$344,82 < I_{set} < 459,76$$

$$\frac{344,82}{1250} I_n < \text{tap} < \frac{459,76}{1250} I_n$$

$$0,275 I_n < \text{tap} < 0,367 I_n$$

Dipilih tap 0,3 (Range 0,3 – 2,4I<sub>n</sub>)

$$I_{set} = 375 \text{ A}$$

**Time Dial**

Dipilih waktu operasi (t) = 0.5 detik

$$t = \frac{0.14}{\left[\left(\frac{I}{I_{set}}\right)^{0.02} - 1\right]} \times \frac{M}{2,97}$$

$$M = \frac{t \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}}\right)^{0.02} - 1\right]}{0.14}$$

$$M = \frac{0.5 \times 2,97 \left[\left(\frac{5620}{375}\right)^{0.02} - 1\right]}{0.14}$$

$$M = 0,59$$

Dipilih k atau *time dial* = 0,7

**Instantaneous Pickup**

1,6 FLA < I<sub>set</sub> < 0.8 Isc min

$$1,6 \times 328,4 < I_{set} < 0,8 \times 3190$$

$$525,44 < I_{set} < 2552$$

$$\frac{525,44}{1250} I_n < \text{Tap} < \frac{2552}{1250} I_n$$

$$0,42 < \text{Tap} < 2,0416$$

Dipilih Tap 1,9 (*Range* 1 – 24 x CT dengan *step* 0.1)

$$I_{\text{set}} = 1,8 \times 1250 = 2250 \text{ A}$$

### Time delay

Dipilih *Time delay* 0,5 detik

#### b) Rele OCR F50-CB24

Manufaktur	: Merlin Gerin
Model	: Sepam 1000
Kurva	: Standard Inverse
Rasio CT	: 1250/5
FLA	: 328,4 A
Isc ½ C	: 6160 A
Isc 4 C	: 5620 A
Isc 30 C	: 3190 A

### Time Overcurrent Pickup (Low Set)

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

$$1,05 \times 328,4 < I_{\text{set}} < 1,4 \times 328,4$$

$$344,82 < I_{\text{set}} < 459,76$$

$$\frac{344,82}{1250} I_n < \text{tap} < \frac{459,76}{1250} I_n$$

$$0,275 I_n < \text{tap} < 0,367 I_n$$

Dipilih tap 0,3 (*Range* 0,3 – 2,4 I<sub>n</sub>)

$$I_{\text{set}} = 375 \text{ A}$$

### Time Dial

Dipilih waktu operasi (t) = 0.5 detik

$$t = \frac{0.14}{\left[ \left( \frac{I}{I_{\text{set}}} \right)^{0.02} - 1 \right]} \times \frac{M}{2,97}$$

$$M = \frac{t \times 2,97 \times \left[ \left( \frac{I}{I_{\text{set}}} \right)^{0.02} - 1 \right]}{0.14}$$

$$M = \frac{0.5 \times 2,97 \left[ \left( \frac{5620}{375} \right)^{0.02} - 1 \right]}{0.14}$$

$$M = 0,59$$

Dipilih k atau *time dial* = 0,7

**Instantaneous Pickup**

$$1,6 \text{ FLA} < I_{\text{set}} < 0.8 \text{ Isc min}$$

$$1,6 \times 328,4 < I_{\text{set}} < 0.8 \times 3190$$

$$525,44 < I_{\text{set}} < 2552$$

$$\frac{525,44}{1250} I_n < \text{Tap} < \frac{2552}{1250} I_n$$

$$0,42 < \text{Tap} < 2,0416$$

Dipilih Tap 1,9 (*Range* 1 – 24 x CT dengan *step* 0.1)

$$I_{\text{set}} = 1,8 \times 1250 = 2250 \text{ A}$$

**Time delay**

Dipilih *Time delay* 0,5 detik

c) **Rele OCR F50-CB21**

Manufaktur	: Merlin Gerin
Model	: Sepam 1000
Kurva	: Standard Inverse
Rasio CT	: 1250/5
FLA	: 343,8 A
Isc ½ C	: 6520 A
Isc 4 C	: 5910 A
Isc 30 C	: 3300 A

**Time Overcurrent Pickup (Low Set)**

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

$$1,05 \times 343,8 < I_{\text{set}} < 1,4 \times 343,8$$

$$360,99 < I_{\text{set}} < 481,32$$

$$\frac{360,99}{1250} I_n < \text{tap} < \frac{481,32}{1250} I_n$$

$$0,288 I_n < \text{tap} < 0,385 I_n$$

Dipilih tap 0,35 (*Range* 0,3 – 2,4I<sub>n</sub>)

$$I_{\text{set}} = 437,5 \text{ A}$$



### **Time Dial**

Dipilih waktu operasi (t) = 0.7 detik

$$t = \frac{0.14}{\left[\left(\frac{I}{I_{set}}\right)^{0.02} - 1\right]} \times \frac{M}{2,97}$$

$$M = \frac{t \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}}\right)^{0.02} - 1\right]}{0.14}$$

$$M = \frac{0.7 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{5910}{437,5}\right)^{0.02} - 1\right]}{0.14}$$

$$M = 0,79$$

Dipilih k atau *time dial* = 0,8

### **Instantaneous Pickup**

$$1,6 \text{ FLA} < I_{set} < 0.8 \text{ Isc min}$$

$$1,6 \times 343,8 < I_{set} < 0.8 \times 3300$$

$$550,08 < I_{set} < 2640$$

$$\frac{550,08}{1250} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{2640}{1250} \text{ In}$$

$$0,44 < \text{Tap} < 2,112$$

Dipilih Tap 1,9 (*Range* 1 – 24 x CT dengan *step* 0.1)

$$I_{set} = 1,8 \times 1250 = 2250 \text{ A}$$

### **Time delay**

Dipilih *Time delay* 0,7 detik

d) **Rele OCR F50-CB13**

Manufaktur	: Merlin Gerin
Model	: Sepam 1000
Kurva	: Standard Inverse
Rasio CT	: 1250/5
FLA	: 343,8 A
Isc ½ C	: 6520 A
Isc 4 C	: 5910 A
Isc 30 C	: 3300 A

### Time Overcurrent Pickup (Low Set)

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

$$1,05 \times 343,8 < I_{\text{set}} < 1,4 \times 343,8$$

$$360,99 < I_{\text{set}} < 481,32$$

$$\frac{360,99}{1250} I_n < \text{tap} < \frac{481,32}{1250} I_n$$

$$0,288 I_n < \text{tap} < 0,385 I_n$$

Dipilih tap 0,35 (Range 0,3 – 2,4I<sub>n</sub>)

$$I_{\text{set}} = 437,5 \text{ A}$$

### Time Dial

Dipilih waktu operasi (t) = 0.7 detik

$$t = \frac{0.14}{\left[\left(\frac{I}{I_{\text{set}}}\right)^{0.02} - 1\right]} \times \frac{M}{2,97}$$

$$M = \frac{t \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{\text{set}}}\right)^{0.02} - 1\right]}{0.14}$$

$$M = \frac{0.7 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{5910}{437,5}\right)^{0.02} - 1\right]}{0.14}$$

$$M = 0,79$$

Dipilih k atau *time dial* = 0,8

### Instantaneous Pickup

$$1,6 \text{ FLA} < I_{\text{set}} < 0.8 \text{ Isc min}$$

$$1,6 \times 343,8 < I_{\text{set}} < 0.8 \times 3300$$

$$550,08 < I_{\text{set}} < 2640$$

$$\frac{550,08}{1250} I_n < \text{Tap} < \frac{2640}{1250} I_n$$

$$0,44 < \text{Tap} < 2,112$$

Dipilih Tap 1,9 (Range 1 – 24 x CT dengan *step* 0.1)

$$I_{\text{set}} = 1,8 \times 1250 = 2250 \text{ A}$$

### Time delay

Dipilih *Time delay* 0,7 detik

e) **Rele OCR F50-CB11**

Manufaktur	: Merlin Gerin
Model	: Sepam 1000
Kurva	: Standard Inverse
Rasio CT	: 1250/5
FLA	: 450,4 A
Isc ½ C	: 3790 A
Isc 4 C	: 3790 A
Isc 30 C	: 2830 A

**Time Overcurrent Pickup (Low Set)**

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

$$1,05 \times 450,4 < I_{\text{set}} < 1,4 \times 450,4$$

$$472,92 < I_{\text{set}} < 630,56$$

$$\frac{472,92}{1250} I_n < \text{tap} < \frac{630,56}{1250} I_n$$

$$0,37 I_n < \text{tap} < 0,5 I_n$$

Dipilih tap 0,5 (*Range* 0,3 – 2,4 $I_n$ )

$$I_{\text{set}} = 500 \text{ A}$$

**Time Dial**

Dipilih waktu operasi (t) = 0.7 detik

$$t = \frac{0.14}{\left[\left(\frac{I}{I_{\text{set}}}\right)^{0.02} - 1\right]} \times \frac{M}{2,97}$$

$$M = \frac{t \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{\text{set}}}\right)^{0.02} - 1\right]}{0.14}$$

$$M = \frac{0.7 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{3790}{500}\right)^{0.02} - 1\right]}{0.14}$$

$$M = 0,789$$

Dipilih k atau *time dial* = 0,8

**Instantaneous Pickup**

$$1,6 \text{ FLA} < I_{\text{set}} < 0.8 \text{ Isc min}$$

$$1,6 \times 450,4 < I_{\text{set}} < 0.8 \times 2830$$

$$720,64 < I_{\text{set}} < 2264$$

$$\frac{720,64}{1250} In < \text{Tap} < \frac{2264}{1250} In$$

$$0,576 < \text{Tap} < 1,8112$$

Dipilih Tap 1,9 (*Range* 1 – 24 x CT dengan *step* 0.1)

$$I_{\text{set}} = 1,8 \times 1250 = 2250 \text{ A}$$

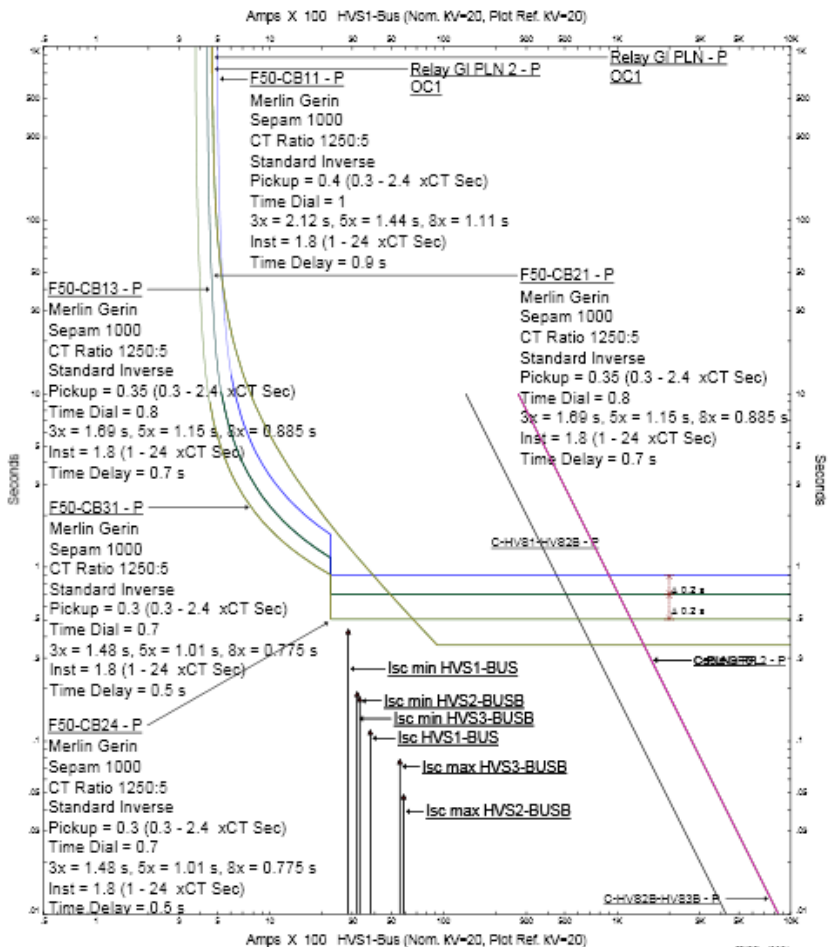
**Time delay**

Dipilih *Time delay* 0,7 detik

Setelah dilakukan perhitungan ulang, didapatkan hasil data seperti pada Tabel 4.10 sebagai berikut :

**Tabel 4. 11** Data *resetting* rele arus lebih tipikal 1c

<b>Relay ID</b>	<b>CT ratio</b>	<b>Setting</b>	
<b>F50-CB31</b>	1250/5	<i>Pickup Lowset</i>	375A
		<i>Time dial</i>	0,7
		<i>Pickup Higset</i>	2250 A
		<i>Time delay</i>	0,5s
<b>F50-CB24</b>	1250/5	<i>Pickup Lowset</i>	375A
		<i>Time dial</i>	0,7
		<i>Pickup Higset</i>	2250 A
		<i>Time delay</i>	0,5s
<b>F50-CB21</b>	1250/5	<i>Pickup Lowset</i>	437,5A
		<i>Time dial</i>	0,8
		<i>Pickup Higset</i>	2250A
		<i>Time delay</i>	0,7s
<b>F50-CB13</b>	1250/5	<i>Pickup Lowset</i>	437,5A
		<i>Time dial</i>	0,8
		<i>Pickup Higset</i>	2250A
		<i>Time delay</i>	0,7s
<b>F50-CB11</b>	1250/5	<i>Pickup Lowset</i>	500A
		<i>Time dial</i>	1
		<i>Pickup Higset</i>	2250A
		<i>Time delay</i>	0,9s



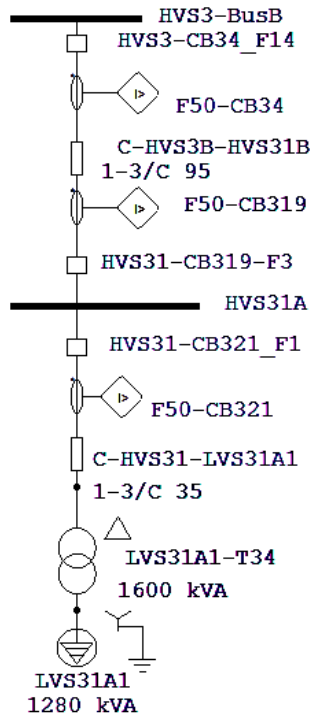
Gambar 4. 18 Kurva *resetting* awal rele arus lebih tipikal 1c

Berdasarkan data *resetting* dan plot kurva kerja rele dari perhitungan ulang pada tipikal 1c seperti pada Gambar 4.17 terdapat beberapa perbaikan, diantaranya :

1. Pemasangan SFCL membuat arus hubung singkat menurun sehingga memperkecil *setting pickup highset* pada rele F50-CB31, F50-CB24, F50-CB21, F50-CB13, F50-CB11.
2. Akibat pemasangan SFCL membuat arus hubung singkat menurun sehingga memperkecil *setting pickup lowset* pada rele F50-CB31, F50-CB24, F50-CB21, F50-CB13, F50-CB11.
3. Nilai *time delay* pada rele F50-CB31 dan F50-CB24 diubah menjadi 0,5s. *time delay* pada rele F50-CB21 dan F50-CB13 diubah menjadi 0,7s. Dan pada rele F50-CB11 diubah menjadi 0,9s. Rele pada tipikal ini dilakukan *grading* sehingga jika terdapat gangguan, rele primer dan rele backup dapat bekerja dengan baik.

#### **4.4.3 Koordinasi Rele Arus Lebih Tipikal 2**

Tipikal 2 adalah koordinasi proteksi dari kabel C-HVS2B-HVS3B yang berada pada OLV sampai ke beban *lump load* (1280kVA) yang berada pada network 3. Tipikal ini hanya memiliki satu rating tegangan bus yaitu 20kV. Rele yang terdapat pada tipikal 2 ini adalah F50-CB321, F50-CB319, F50-CB34 dan F50-CB31. Tipikal 2 dapat dilihat pada Gambar 4.18 :



**Gambar 4. 19 Rangkaian pada tipikal 2**

Data awal *setting* rele arus lebih pada tipikal 2 sebelum penambahan SFCL dapat dilihat pada Tabel 4.11 sebagai berikut:

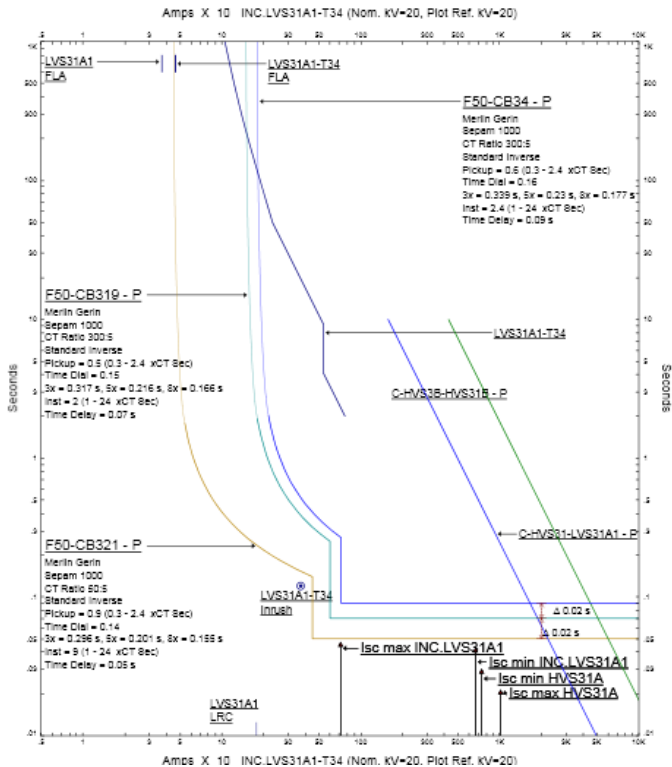
**Tabel 4. 12 Data *setting* awal rele arus lebih tipikal 2**

<i>Relay ID</i>	<i>CT ratio</i>	<i>Setting</i>	
<b>F50-CB321</b>	50/5	<i>Pickup Lowset</i>	45A
		<i>Time dial</i>	0,14
		<i>Pickup Higset</i>	450A
		<i>Time delay</i>	0,05s
<b>F50-CB319</b>	300/5	<i>Pickup Lowset</i>	150A
		<i>Time dial</i>	0,15

**Tabel 4. 13** Data *setting* awal rele arus lebih tipikal 2 (lanjutan)

<i>Relay ID</i>	<i>CT ratio</i>	<i>Setting</i>	
<b>F50-CB34</b>	300/5	<i>Pickup Higet</i>	600A
		<i>Time delay</i>	0,07s
		<i>Pickup Lowset</i>	180A
		<i>Time dial</i>	0,16
		<i>Time delay</i>	0,09s

Hasil dari plot (*time current curve*)TCC pada tipikal 2 *setting* awal sebelum dipasang SFCL dapat dilihat pada Gambar 4.19 :



**Gambar 4. 20** Kurva *setting* awal rele arus lebih tipikal 2



Pada kondisi awal tipikal 1a tanpa penambahan SFCL ada beberapa yang perlu diperhatikan diantaranya :

1. Selisih *Time delay* ( $\Delta t$ ) pada semua rele masih di bawah standart yang telah ditentukan IEEE std 242-1986 tentang delay sebesar 0,2 - 0,4 s.
2. Kurva rele F50-CB321 masih berada di sebelah kiri kurva trafo LVS31A1-T34 yang seharusnya kurva rele berada di sebelah kiri kurva FLA trafo.
3. Perlunya *setting* ulang pada setiap relay agar *time delay* memenuhi standart yang telah dilakukan. Selain itu perlu dilakukan *setting* ulang karena arus hubung singkat maksimum dan minimum berubah setelah penambahan SFCL pada *plant* .

Berikut ini adalah hasil perhitungan untuk resetting rele pada tipikal 2 :

a) **Rele OCR F50-CB321**

Manufaktur	: Merlin Gerin
Model	: Sepam 1000
Kurva	: Standard Inverse
Rasio CT	: 50/5
FLA trafo primer LVS31A1-T34	: 46,19 A
Isc ½ C	: 6790 A
Isc 4 C	: 5980 A
Isc 30 C	: 3030 A
Isc ½ C bus INC.LVS31A1	: 34680 A

**Time Overcurrent Pickup (Low Set)**

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

$$1,05 \times 46,19 < I_{\text{set}} < 1,4 \times 46,19$$

$$48,49 < I_{\text{set}} < 64,67$$

$$\frac{48,49}{50} I_n < \text{tap} < \frac{64,67}{50} I_n$$

$$0,969 I_n < \text{tap} < 1,29 I_n$$

Dipilih tap 1 (*Range* 0,3 - 2,4 $I_n$ )

$$I_{\text{set}} = 50 \text{ A}$$

**Time Dial**

Dipilih waktu operasi (t) = 0.1 detik

$$t = \frac{0.14}{\left[\left(\frac{I}{I_{\text{set}}}\right)^{0.02} - 1\right]} \times \frac{M}{2,97}$$

$$M = \frac{t \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{\text{set}}}\right)^{0.02} - 1\right]}{0.14}$$

$$M = \frac{0.1 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{5980}{50}\right)^{0.02} - 1\right]}{0.14}$$

$$M = 0,213$$

Dipilih k atau *time dial* = 0,7

**Instantaneous Pickup**

$$I_{\text{sc max bus INC.LVS31A1}} \times \frac{\text{kV sekunder}}{\text{kV primer}} < I_{\text{set}} < 0.8 I_{\text{sc min}}$$

$$34680 \times \frac{0,4}{20} < I_{\text{set}} < 0.8 \times 3030$$

$$\frac{693,6}{50} In < \text{Tap} < \frac{2424}{50} In$$

$$13,872 < \text{Tap} < 48,48$$

Dipilih Tap 14 (*Range* 1 – 24 x CT dengan *step* 0.1)

$$I_{\text{set}} = 14 \times 50 = 700 \text{ A}$$

**Time delay**

Dipilih *Time delay* 0,1 detik

**b) Rele OCR F50-CB319**

Manufaktur	: Merlin Gerin
Model	: Sepam 1000
Kurva	: Standard Inverse
Rasio CT	: 300/5
FLA	: 69,28 A
Isc ½ C	: 7540 A
Isc 4 C	: 6280 A
Isc 30 C	: 3110 A

### **Time Overcurrent Pickup (Low Set)**

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

$$1,05 \times 69,28 < I_{\text{set}} < 1,4 \times 69,28$$

$$72,744 < I_{\text{set}} < 96,99$$

$$\frac{72,744}{300} I_n < \text{tap} < \frac{96,99}{300} I_n$$

$$0,242 I_n < \text{tap} < 0,323 I_n$$

Dipilih tap 0,3 (*Range* 0,3 - 2,4 $I_n$ )

$$I_{\text{set}} = 90 \text{ A}$$

### **Time Dial**

Dipilih waktu operasi ( $t$ ) = 0.3 detik

$$t = \frac{0.14}{\left[\left(\frac{1}{I_{\text{set}}}\right)^{0.02} - 1\right]} \times \frac{M}{2,97}$$

$$M = \frac{t \times 2,97 \times \left[\left(\frac{1}{I_{\text{set}}}\right)^{0.02} - 1\right]}{0.14}$$

$$M = \frac{0,3 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{6280}{90}\right)^{0.02} - 1\right]}{0.14}$$

$$M = 0,56$$

Dipilih k atau *time dial* = 0,6

### **Instantaneous Pickup**

$$1,6 \text{ FLA} < I_{\text{set}} < 0.8 \text{ Isc min}$$

$$1,6 \times 69,28 < I_{\text{set}} < 0.8 \times 3110$$

$$109,248 < I_{\text{set}} < 2488$$

$$\frac{109,248}{300} I_n < \text{Tap} < \frac{2488}{300} I_n$$

$$0,364 < \text{Tap} < 8,293$$

Dipilih Tap 2,3 (*Range* 1 - 24 x CT dengan *step* 0.1)

$$I_{\text{set}} = 2,3 \times 300 = 690 \text{ A}$$

### **Time delay**

Dipilih *Time delay* 0,3 detik

c) **Rele OCR F50-CB34**

Manufaktur	: Merlin Gerin
Model	: Sepam 1000
Kurva	: Standard Inverse
Rasio CT	: 300/5
FLA	: 69,28 A
Isc ½ C	: 7540 A
Isc 4 C	: 6280 A
Isc 30 C	: 3110 A

**Time Overcurrent Pickup (Low Set)**

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

$$1,05 \times 69,28 < I_{\text{set}} < 1,4 \times 69,28$$

$$72,744 < I_{\text{set}} < 96,99$$

$$\frac{72,744}{300} I_n < \text{tap} < \frac{96,99}{300} I_n$$

$$0,242 I_n < \text{tap} < 0,323 I_n$$

Dipilih tap 0,3 (*Range* 0,3 – 2,4I<sub>n</sub>)

$$I_{\text{set}} = 90 \text{ A}$$

**Time Dial**

Dipilih waktu operasi (t) = 0.3 detik

$$t = \frac{0.14}{\left[ \left( \frac{I}{I_{\text{set}}} \right)^{0.02} - 1 \right]} \times \frac{M}{2,97}$$

$$M = \frac{t \times 2,97 \times \left[ \left( \frac{I}{I_{\text{set}}} \right)^{0.02} - 1 \right]}{0.14}$$

$$M = \frac{0,3 \times 2,97 \times \left[ \left( \frac{6280}{90} \right)^{0.02} - 1 \right]}{0.14}$$

$$M = 0,56$$

Dipilih k atau *time dial* = 0,6

**Instantaneous Pickup**

$$1,6 \text{ FLA} < I_{\text{set}} < 0.8 \text{ Isc min}$$

$$1,6 \times 69,28 < I_{\text{set}} < 0.8 \times 3110$$

$$109,248 < I_{\text{set}} < 2488$$

$$\frac{109,248}{300} In < \text{Tap} < \frac{2488}{300} In$$

$$0,364 < \text{Tap} < 8,293$$

Dipilih Tap 2,3 (*Range* 1 – 24 x CT dengan *step* 0.1)

$$I_{\text{set}} = 2,3 \times 300 = 690 \text{ A}$$

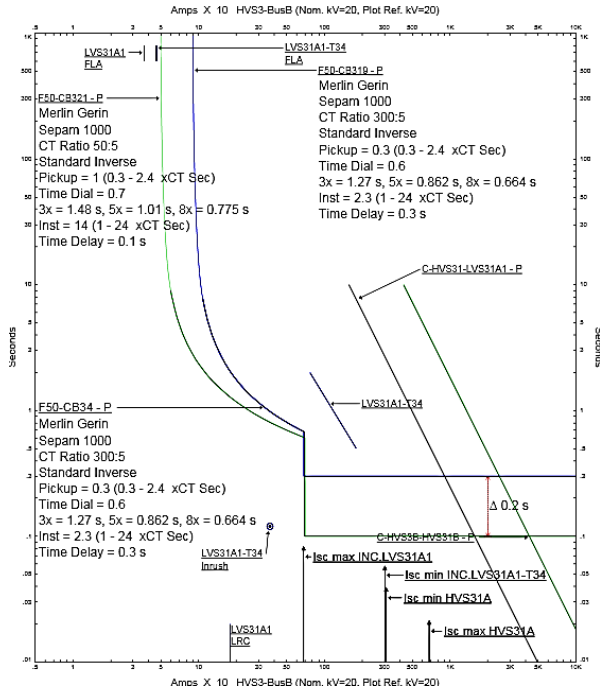
### Time delay

Dipilih *Time delay* 0,3 detik

Setelah dilakukan perhitungan ulang, didapatkan hasil data seperti pada Tabel 4.12 sebagai berikut :

**Tabel 4. 14** Data *resetting* rele arus lebih tipikal 2

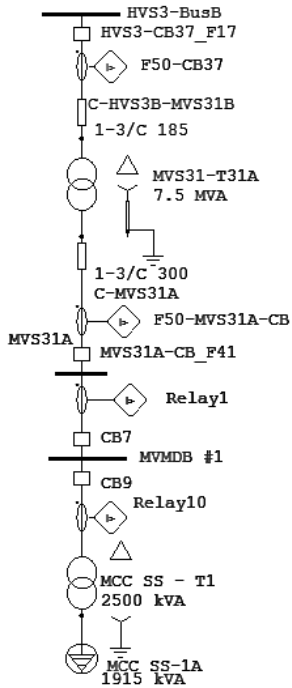
<b>Relay ID</b>	<b>CT ratio</b>	<b>Setting</b>	
<b>F50-CB321</b>	50/5	<i>Pickup Lowset</i>	50A
		<i>Time dial</i>	0,7
		<i>Pickup Higset</i>	700 A
		<i>Time delay</i>	0,1s
<b>F50-CB319</b>	300/5	<i>Pickup Lowset</i>	90A
		<i>Time dial</i>	0,6
		<i>Pickup Higset</i>	690 A
		<i>Time delay</i>	0,3s
<b>F50-CB34</b>	300/5	<i>Pickup Lowset</i>	90A
		<i>Time dial</i>	0,6
		<i>Pickup Higset</i>	690 A
		<i>Time delay</i>	0,3s



**Gambar 4. 21** Kurva *resetting* awal rele arus lebih tipikal 1a

#### 4.4.4 Koordinasi Rele Arus Lebih Tipikal 3

Tipikal 3 adalah koordinasi proteksi dari rele F50-CB37 yang berada di OLV sampai ke beban *lump load* MCC-SS-1A (1915kVA) yang berada di network 4. Pada tipikal ini mempunyai mempunyai 2 level tegangan yaitu 20kV dan 6,6kv. Rele yang terdapat pada tipikal ini adalah relay 10, relay 1, F50-MVS31A-CB dan F50-CB37. Rangkaian tipikal 3 dapat dilihat pada Gambar 4.21



**Gambar 4. 22** Rangkaian tipikal 3

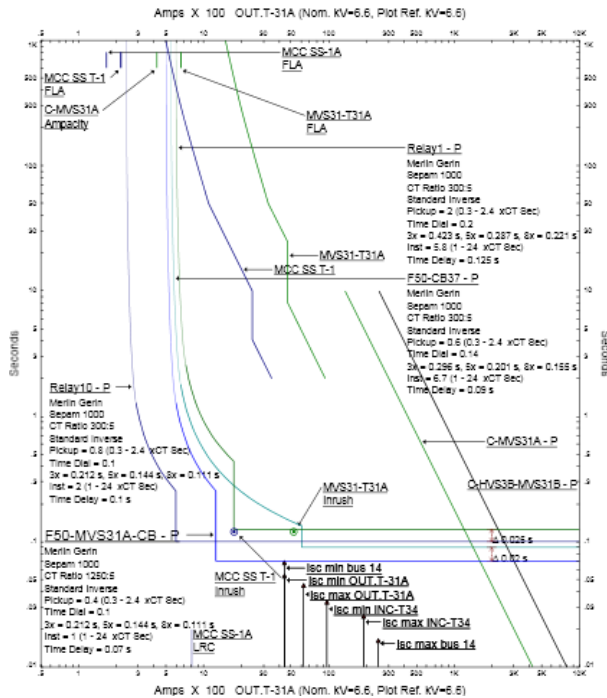
Berikut ini adalah hasil perhitungan setting rele pada tipikal 3 :

**Tabel 4. 15** Data *setting* awal rele arus lebih tipikal 3

<i>Relay ID</i>	<i>CT ratio</i>	<i>Setting</i>	
<b>Relay10</b>	300/5	<i>Pickup Lowset</i>	240A
		<i>Time dial</i>	0,1
		<i>Pickup Higset</i>	600A
		<i>Time delay</i>	0,1s
<b>Relay1</b>	1250/5	<i>Pickup Lowset</i>	600A
		<i>Time dial</i>	0,2
		<i>Pickup Higset</i>	1740A
		<i>Time delay</i>	0,125s

**Tabel 4. 16** Data *setting* awal rele arus lebih tipikal 3 (lanjutan)

<i>Relay ID</i>	<i>CT ratio</i>	<i>Setting</i>	
<b>F50-MVS31A-CB</b>	1250/5	<i>Pickup Lowset</i>	500 A
		<i>Time dial</i>	0,1
		<i>Pickup Higset</i>	1250A
		<i>Time delay</i>	0,07s
<b>F50-CB37</b>	1250/5	<i>Pickup Lowset</i>	180A
		<i>Time dial</i>	0,14
		<i>Pickup Higset</i>	2010A
		<i>Time delay</i>	0,09s



**Gambar 4. 23** Kurva *setting* awal rele arus lebih tipikal 3

Berikut ini adalah hasil perhitungan setting rele pada tipikal 3 :



1. Pada kurva rele F50-MVS31A-CB berada di bawah dan sebelah kiri dari titik inrush trafo MVS31-T31A. yang seharusnya berada di sisi kanan titik inrush trafo.
2. *Time delay* pada rele ini lebih kecil dari rele 1 dan rele 10, sehingga jika terjadi gangguan rele MVS31-T31A akan bekerja terlebih dahulu.
3. *Setting pickup highset* pada rele 1 lebih besar dari semua rele pada tipikal 3.
4. Selisih *Time delay* ( $\Delta t$ )

a) **Rele OCR Rele 10**

Manufaktur	: Merlin Gerin
Model	: Sepam 1000
Kurva	: Standard Inverse
Rasio CT	: 300/5
FLA	: 218,7 A
Isc ½ C	: 8090 A
Isc 4 C	: 7310 A
Isc 30 C	: 4410 A
Isc ½ C bus 21	: 40750 A

**Time Overcurrent Pickup (Low Set)**

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

$$1,05 \times 218,7 < I_{\text{set}} < 1,4 \times 218,7$$

$$229,635 < I_{\text{set}} < 306,18$$

$$\frac{229,635}{300} I_n < \text{tap} < \frac{306,18}{300} I_n$$

$$0,765 I_n < \text{tap} < 1,0206 I_n$$

Dipilih tap 0,8 (*Range* 0,3 - 2,4 $I_n$ )

$$I_{\text{set}} = 240 \text{ A}$$

**Time Dial**

Dipilih waktu operasi ( $t$ ) = 0.1 detik

$$t = \frac{0.14}{\left[ \left( \frac{I}{I_{\text{set}}} \right)^{0.02} - 1 \right]} \times \frac{M}{2,97}$$

$$M = \frac{t \times 2,97 \times \left[ \left( \frac{1}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$M = \frac{0,1 \times 2,97 \left[ \left( \frac{7310}{240} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$M = 0,15$$

Dipilih k atau *time dial* = 0,5

### Instantaneous Pickup

$$I_{sc} \max \text{ bus 21} \times \frac{kV \text{ sekunder}}{kV \text{ primer}} < I_{set} < 0,8 I_{sc} \min$$

$$40750 \times \frac{0,4}{6,6} < I_{set} < 0,8 \times 4410$$

$$2469,69 < I_{set} < 3528$$

$$\frac{2469,69}{300} I_n < \text{Tap} < \frac{3528}{300} I_n$$

$$8,232 < \text{Tap} < 11,76$$

Dipilih Tap 9 (*Range* 1 – 24 x CT dengan *step* 0.1)

$$I_{set} = 9 \times 300 = 2700 \text{ A}$$

### Time delay

Dipilih *Time delay* 0,1 detik

## b) Rele OCR Rele 1

Manufaktur	: Merlin Gerin
Model	: Sepam 1000
Kurva	: Standard Inverse
Rasio CT	: 300/5
FLA	: 240,87 A
Isc ½ C	: 8090 A
Isc 4 C	: 7310 A
Isc 30 C	: 4410 A

### Time Overcurrent Pickup (Low Set)

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

$$1,05 \times 240,87 < I_{set} < 1,4 \times 240,87$$

$$252,913 < I_{set} < 337,218$$

$$\frac{252,913}{300} I_n < \text{tap} < \frac{337,218}{300} I_n$$

$$0,843 I_n < \text{tap} < 1,124 I_n$$

Dipilih tap 1,1 (*Range* 0,3 – 2,4I<sub>n</sub>)  
 $I_{set} = 330 \text{ A}$

**Time Dial**

Dipilih waktu operasi (t) = 0.3 detik

$$t = \frac{0.14}{\left[\left(\frac{I}{I_{set}}\right)^{0.02} - 1\right]} \times \frac{M}{2,97}$$

$$M = \frac{t \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}}\right)^{0.02} - 1\right]}{0.14}$$

$$M = \frac{0,3 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{7310}{330}\right)^{0.02} - 1\right]}{0.14}$$

M = 0,406

Dipilih k atau *time dial* = 0,8

**Instantaneous Pickup**

1,6 FLA < I<sub>set</sub> < 0.8 I<sub>sc</sub> min

1,6 x 240,87 < I<sub>set</sub> < 0.8 x 4410

375,392 < I<sub>set</sub> < 3528

$\frac{375,392}{300} I_n < \text{Tap} < \frac{3528}{300} I_n$

1,251 < Tap < 11,76

Dipilih Tap 10 (*Range* 1 – 24 x CT dengan *step* 0.1)

I<sub>set</sub> = 10 x 300 = 3000 A

**Time delay**

Dipilih *Time delay* 0,3 detik

c) **Rele OCR F50-MVS31A-CB**

Manufaktur	: Merlin Gerin
Model	: Sepam 1000
Kurva	: Standard Inverse
Rasio CT	: 1250/5
FLA sekunder trafo MVS31-T31A	: 656,1 A
I <sub>sc</sub> ½ C	: 6560 A

Isc 4 C : 6290 A  
 Isc 30 C : 4420 A

**Time Overcurrent Pickup (Low Set)**

1,05 FLA beban < I<sub>set</sub> < 1,4 FLA beban

1,05 × 656,1 < I<sub>set</sub> < 1,4 × 656,1

688,9 < I<sub>set</sub> < 918,54

688,9  
 $\frac{1250}{1250} I_n < \text{tap} < \frac{918,54}{1250} I_n$

0,551 I<sub>n</sub> < tap < 0,734 I<sub>n</sub>

Dipilih tap 0,6 (Range 0,3 - 2,4I<sub>n</sub>)

$$I_{\text{set}} = 750 \text{ A}$$

**Time Dial**

Dipilih waktu operasi (t) = 0.5 detik

$$t = \frac{0.14}{\left[\left(\frac{I}{I_{\text{set}}}\right)^{0.02} - 1\right]} \times \frac{M}{2,97}$$

$$M = \frac{t \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{\text{set}}}\right)^{0.02} - 1\right]}{0.14}$$

$$M = \frac{0,5 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{7310}{1250}\right)^{0.02} - 1\right]}{0.14}$$

$$M = 0,3872$$

Dipilih k atau *time dial* = 0,7

**Instantaneous Pickup**

1,6 FLA < I<sub>set</sub> < 0.8 Isc min

1,6 x 656,1 < I<sub>set</sub> < 0.8 × 4410

1049,76 < I<sub>set</sub> < 3528

$\frac{1049,76}{1250} I_n < \text{Tap} < \frac{3528}{1250} I_n$

1,251 < Tap < 11,76

Dipilih Tap 2,7 (Range 1 - 24 x CT dengan *step* 0.1)

$$I_{\text{set}} = 2,7 \times 1250 = 3375 \text{ A}$$

**Time delay**

Dipilih *Time delay* 0,5 detik

d) **Rele OCR F50-CB37**

Manufaktur	: Merlin Gerin
Model	: Sepam 1000
Kurva	: Standard Inverse
Rasio CT	: 300/5
FLA primer trafoMVS31-T31A	: 216,5 A
Isc ½ C	: 7120 A
Isc 4 C	: 6260 A
Isc 30 C	: 3190 A
Isc 4 C bus OUT.T-31A	: 6290 A

**Time Overcurrent Pickup (Low Set)**

1,05 FLA beban < I<sub>set</sub> < 1,4 FLA beban

$$1,05 \times 216,5 < I_{set} < 1,4 \times 216,5$$

$$227,325 < I_{set} < 303,1$$

$$\frac{227,325}{300} I_n < tap < \frac{303,1}{300} I_n$$

$$0,75775 I_n < tap < 1,0103 I_n$$

Dipilih tap 0,85 (*Range* 0,3 - 2,4I<sub>n</sub>)

$$I_{set} = 255 \text{ A}$$

**Time Dial**

Dipilih waktu operasi (t) = 0.1 detik

$$t = \frac{0.14}{\left[\left(\frac{1}{I_{set}}\right)^{0.02} - 1\right]} \times \frac{M}{2,97}$$

$$M = \frac{t \times 2,97 \times \left[\left(\frac{1}{I_{set}}\right)^{0.02} - 1\right]}{0.14}$$

$$M = \frac{0.1 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{6290}{255}\right)^{0.02} - 1\right]}{0.14}$$

$$M = 0,1113$$

Dipilih k atau *time dial* = 0,7

### Instantaneous Pickup

$$I_{sc} \max \text{ bus OUT.T-31A} \times \frac{kV \text{ sekunder}}{kV \text{ primer}} < I_{set} < 0.8 I_{sc} \min$$

$$6560 \times \frac{6,6}{20} < I_{set} < 0.8 \times 3190$$

$$2164,8 < I_{set} < 2552$$

$$\frac{2164,8}{300} In < \text{Tap} < \frac{2552}{300} In$$

$$7,216 < \text{Tap} < 8,5067$$

Dipilih Tap 7,3 (*Range* 1 – 24 x CT dengan *step* 0.1)

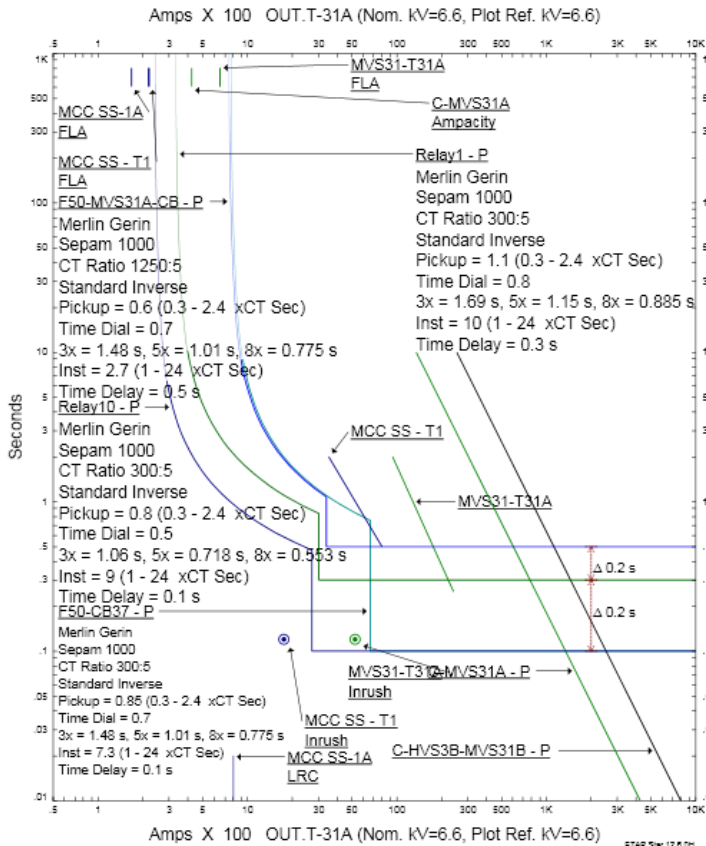
$$I_{set} = 7,3 \times 300 = 2190 \text{ A}$$

### Time delay

Dipilih *Time delay* 0,1 detik

**Tabel 4. 17** Data *restting* rele arus lebih tipikal 3

<b>Relay ID</b>	<b>CT ratio</b>	<b>Setting</b>	
<b>Relay10</b>	300/5	<i>Pickup Lowset</i>	240A
		<i>Time dial</i>	0,5
		<i>Pickup Higset</i>	2700A
		<i>Time delay</i>	0,1s
<b>Relay1</b>	1250/5	<i>Pickup Lowset</i>	330A
		<i>Time dial</i>	0,8
		<i>Pickup Higset</i>	3000A
		<i>Time delay</i>	0,3s
<b>F50-MVS31A-CB</b>	1250/5	<i>Pickup Lowset</i>	750 A
		<i>Time dial</i>	0,7
		<i>Pickup Higset</i>	3375A
		<i>Time delay</i>	0,5s
<b>F50-CB37</b>	1250/5	<i>Pickup Lowset</i>	255A
		<i>Time dial</i>	0,7
		<i>Pickup Higset</i>	2190A
		<i>Time delay</i>	0,1s



**Gambar 4. 24** Kurva *resetting* awal rele arus lebih tipikal 3

Berdasarkan data *resetting* dan plot kurva kerja rele dari perhitungan ulang pada tipikal 1c seperti pada Gambar 4.24 terdapat perbaikan setelah Pemasangan SFCL dan dilakukan *resetting* kurva kerja antar satu rele dan rele yang lain telah memenuhi IEEE std 242-1986

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil analisa penggunaan *Hybrid Superconducting Fault Current Limiter* (SFCL) pada sistem proteksi di PT. Terminal Teluk Lamong maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sebelum dilakukan pemasangan *hybrid* SFCL, nilai arus hubung singkat 3 fasa  $\frac{1}{2}$  pada HVS1-Bus sebesar 16,30 kA sedangkan setelah dilakukan pemasangan *hybrid* SFCL nilai arus hubung singkat 3 fasa menjadi 7,70kA.
2. Ketika diberi gangguan pada bus HVS1-Bus, rele PLN bekerja mendahului rele F50-CB-GEN2 dan F50-CB-GEN2 sehingga PLN akan *trip* terlebih dahulu.
3. SFCL yang digunakan adalah jenis *Hybrid* SFCL dengan nilai resistansi 2,438 ohm.
4. Waktu *switch* yang dibutuhkan superkonduktor adalah 1ms dan waktu operasi yang dibutuhkan untuk mereduksi arus hubung singkat yaitu sebesar 2ms.
5. Penambahan *hybrid* SFCL mengakibatkan nilai arus hubung singkat menurun sehingga dilakukan koordinasi ulang proteksi di PT. Terminal Teluk Lamong.

#### **5.2. Saran**

Diharapkan studi ini dapat berguna dan dapat dikembangkan dengan menggunakan software lain. Selain itu untuk menjadi suatu masukan kedepannya adalah penggunaan SFCL menjadi salah satu cara yang tepat untuk mereduksa arus hubung singkat yang besar.

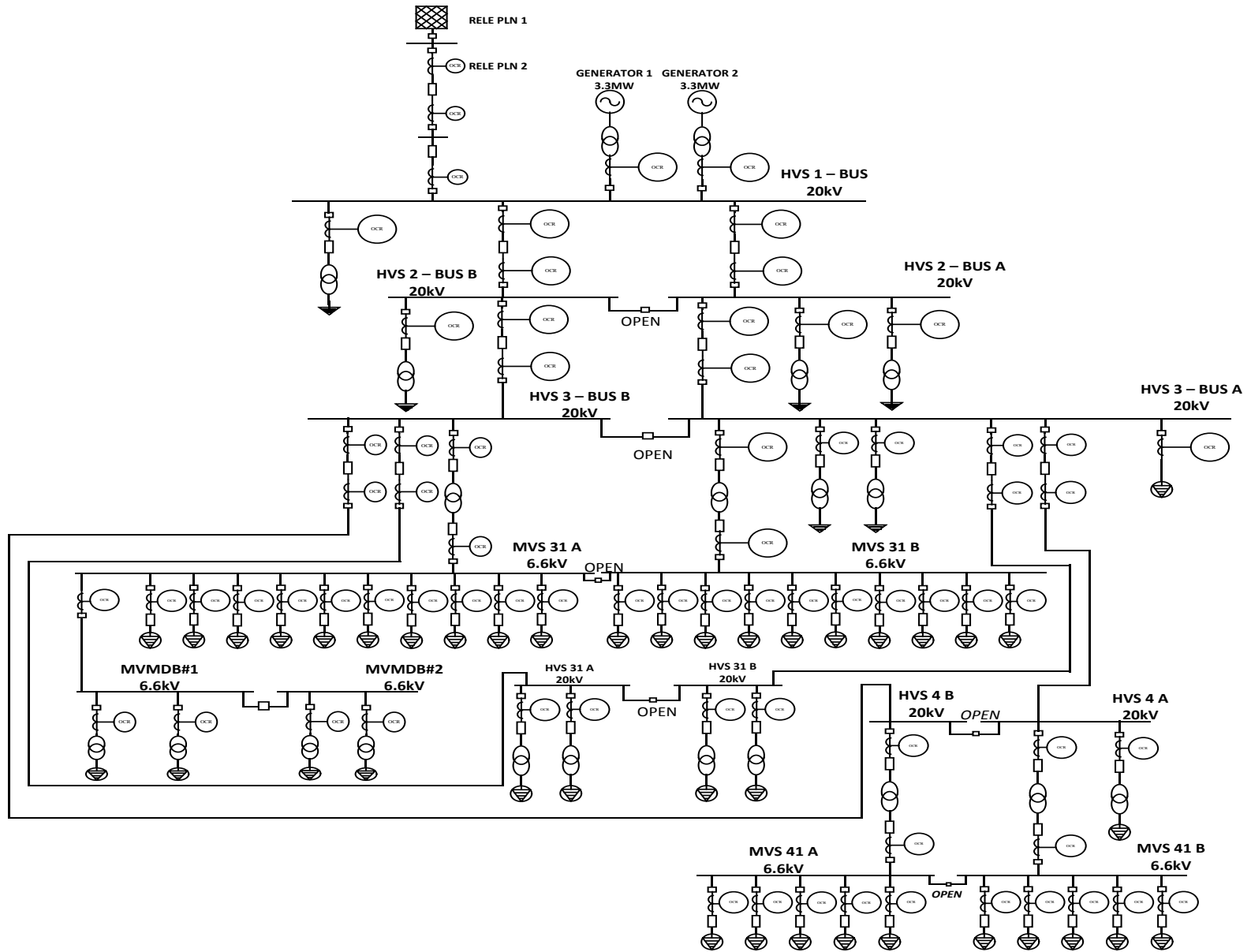


*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] R Wahyudi, Ir, *Diktat Kuliah Sistem Pengaman Tenaga Listrik*, 2008
- [2] Ontoseno Penangsang. Prof, *Diktat Kuliah Analisis Sistem Tenaga 2*, 2008
- [3] Hyun, Ok-Bae, *Introduction of a Hybrid SFCL in KEPCO Grid and Local Points at Issue*, in IEEE Trans. Appl. Supercond, Vol.19, No. 3, JUNE 2009
- [4] Lim, Sung-hun, *Analysis on Protection Coordination of Hybrid SFCL With Protective Devices in a Power Distribution System*, in IEEE Trans. Appl. Supercond, Vol.21, No. 3, JUNE 2011
- [5] Hyun, Ok-Bae, *Current–Time Characteristics of Resistive Superconducting Fault Current Limiters*, in IEEE Trans. Appl. Supercond, Vol.22, No. 2, APRIL 2012
- [6] Georgi GANEV, Krastjo HINOV, Nikolay KARADZHOV,” Fault Current Limiters – Principles And Application”, IEEE
- [7] Yi Chai, Congmei Jiang, Ke Zhang, Shuiqing Xu,” Safe Operation Improvement of an Electrical Power System by Superconducting Fault Current Limiters”, State Key Laboratory of Power Transmission Equipment and System Security and New Technology, College of Automation, Chongqing, 2016

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## BIOGRAFI PENULIS



Nama : Avonthea Sisna  
TTL : Kediri, 06 Mei 1994  
Jenis Kelamin : Perempuan  
Agama : Islam  
Alamat Rumah : Jl. Banjaran Gang 2 no  
87/265 Kediri  
Telp/HP : 085655715570  
E-mail : theasisna@gmail.com  
Hobi : Bermusik

### RIWAYAT PENDIDIKAN

- 2000 – 2006 : SDS Pawyatan Kediri
- 2006 – 2009 : SMPN 1 Kediri
- 2009 – 2012 : SMAN 1 Kediri
- 2012 – 2015 : Bidang Studi Komputer Kontrol, Program D3 Teknik Elektro, FTI-ITS
- 2015 – sekarang : S1 Teknik Elektro ITS

### PENGALAMAN KERJA

- Kerja Praktek PT. ISM Bogasari Surabaya. (Agustus-September 2014)
- Kerja Praktek PT.Pertamina Jawa Tengah (Agustus 2017)

### PENGALAMAN ORGANISASI

- Sie Dana Kegiatan IARC 2013
- Staf Departemen Big Event ITS 2013 - 2014**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*