



**TUGAS AKHIR - TE 141599**

**STUDI KOORDINASI PROTEKSI ARUS LEBIH AKIBAT  
PEMASANGAN SISFCL (*SATURATED IRON-CORE  
SUPERCONDUCTING FAULT CURRENT LIMITER*)  
DI PABRIK III PT. PETROKIMIA GRESIK**

Deny Cahyo Nugroho  
NRP 2213105081

Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
Danar Fahmi, ST., MT.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015



**FINAL PROJECT - TE 141599**

**STUDY OVERCURRENT PROTECTION COORDINATION DUE  
TO THE INSTALLATION OF SISFCL (SATURATED IRON-  
CORE SUPERCONDUCTING FAULT CURRENT LIMITER) ON  
PLANT III PT. PETROKIMIA GRESIK**

Deny Cahyo Nugroho  
NRP 2213105081

Advisor  
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
Daniar Fahmi, ST., MT.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty Of Industry Technology  
Sepuluh Nopember Institute Of Technology  
Surabaya 2015

**STUDI KOORDINASI PROTEKSI ARUS LEBIH AKIBAT  
PEMASANGAN SISFCL (SATURATED IRON-CORE  
SUPERCONDUCTING FAULT CURRENT LIMITER) DI PABRIK III  
PT. PETROKIMIA GRESIK**

**TUGAS AKHIR**

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

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga  
Jurusan Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

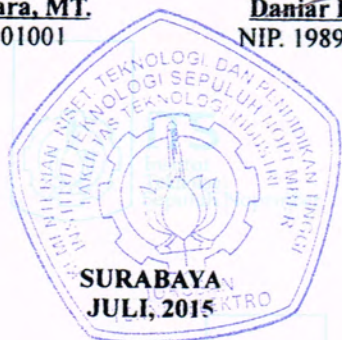
**Menyetujui**

**Dosen Pembimbing I**

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

**Dosen Pembimbing II**

**Daniar Fahmi, ST., MT.**  
NIP. 198909252014041002



# **STUDI KOORDINASI PROTEKSI ARUS LEBIH AKIBAT PEMASANGAN SISFCL (*SATURATED IRON-CORE SUPERCONDUCTING FAULT CURRENT LIMITER*) DI PABRIK III PT. PETROKIMIA GRESIK**

Nama Mahasiswa : Deny Cahyo Nugroho  
Nrp : 2213105081  
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
NIP : 196603181990101001  
Dosen Pembimbing : Daniar Fahmi, ST., MT.  
NIP : 198909252014041002

## **ABSTRAK**

Meningkatnya pasokan kebutuhan daya listrik di PT. Petrokimia Gresik sehingga dilakukan pemasangan generator baru atau melakukan interkoneksi generator untuk menjaga kontinuitas pelayanan daya listrik. Akibat adanya interkoneksi generator maka arus hubung singkat akan semakin besar pada titik gangguan. Hal ini dapat melampaui *device capability* peralatan sehingga dapat merusak peralatan listrik yang berada di dekat titik gangguan. Arus gangguan hubung singkat pada *switchgear* utama di pabrik III HVS 65 melebihi *device capability*, dimana rating *switchgear* 100 kA peak, sedangkan arus hubung singkat 3 fasa  $\frac{1}{2}$  cycle sebesar 123.5 kA peak. Oleh sebab itu untuk membatasi arus gangguan hubung singkat tersebut digunakan suatu *Saturated Iron-core Superconducting Fault Current Limiter* (SISFCL). SISFCL ini dipasang pada transformator IBT01 yang merupakan sumber arus kontribusi terbesar ketika terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa  $\frac{1}{2}$  cycle pada *switchgear* HVS 65. Pemasangan SISFCL dapat mengurangi besarnya arus hubung singkat pada HVS 65 dari 123.5 kA menjadi 98 kA peak. Pemasangan SISFCL menunjukkan arus hubung singkat semakin berkurang sehingga mengakibatkan terjadinya perubahan koordinasi proteksi rele arus lebih pada pabrik III. Studi koordinasi dilakukan untuk mengetahui apakah sistem pengaman bekerja dengan baik. Hasil analisa hubung singkat serta studi koordinasi proteksi akan ditampilkan dalam bentuk kurva *time current characteristic* (TCC).

Kata Kunci : Arus Hubung Singkat, SISFCL, Koordinasi Proteksi, Rele Arus Lebih, Kurva *Time Current Characteristic* (TCC)

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

**STUDY OVERCURRENT PROTECTION  
COORDINATION DUE TO THE INSTALLATION OF  
SISFCL (SATURATED IRON-CORE  
SUPERCONDUCTING FAULT CURRENT LIMITER)  
ON PLANT III PT. PETROKIMIA GRESIK**

Nama Mahasiswa : Deny Cahyo Nugroho  
Nrp : 2213105081  
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
NIP : 196603181990101001  
Dosen Pembimbing : Daniar Fahmi, ST., MT.  
NIP : 198909252014041002

**ABSTRACT**

Increase demand of electric power at PT. Petrokimia Gresik so need the installation of new generator or interconnection generator to maintain the continuity of the electric power service. Due to the interconnection of the generator short circuit current will be greater at the point of interruption. It can exceed the device capability of equipment so can damage electrical equipment near the point of the interruption. Short circuit fault current at the main switchgear on plant III HVS 65 exceed device capability, maximum value of switchgear is 100 kA, while the  $\frac{1}{2}$  cycle short circuit 3 phasa current of 123.5 kA. Therefore to limit the short circuit current is used Saturated Iron-core Superconducting Fault Current Limiter (SISFCL). SISFCL will be installed in the transformator IBT01 which is the current source of the greatest contribution in the event of  $\frac{1}{2}$  cycle short circuit 3 phasa in the switchgear HVS 65. Installation of SISFCL can reduce the amount of short circuit current on the switchgear HVS 65 of 123.5 kA to 98 kA peak. Installation of SISFCL shows decreasing of short circuit current, so causes changes the overcurrent protection coordination on plant III. Study overcurrent protection coordination is used to determine if security system works well. the result of short circuit analysis and study overcurrent protection coordination will appear in time current curve characteristic (TCC).

Keywords : Short Circuit Current, SISFCL, Overcurrent Protection Coordination, Time Current Curve Characteristic (TCC)

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

Dengan mengucap puji syukur atas kehadiran Allah SWT, serta shalawat dan salam sentiasa terlimpahkan kepada junjungan kita Nabi besar Nabi Muhammad SAW, sehingga penulis memiliki kemampuan untuk menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul :

**“STUDI KOORDINASI PROTEKSI ARUS LEBIH AKIBAT PEMASANGAN SISFCL (*SATURATED IRON-CORE SUPERCONDUCTING FAULT CURRENT LIMITER*) DI PABRIK III PT. PETROKIMIA GRESIK”**

Tugas Akhir ini diajukan guna memenuhi persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan S1 Teknik Elektro ITS.

Bahwa terselesaikannya Tugas Akhir ini bukanlah semata mata karena usaha dan kerja individu penulis semata, tetapi mendapatkan banyak bantuan dari berbagai pihak, untuk itu penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang masih memperkenankan kepada penulis terlebih lagi atas kesempatan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Kedua orang tua tercinta dan keluarga yang telah memberikan dorongan semangat baik moral maupun material.
3. Bapak Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT. selaku dosen pembimbing.
4. Bapak Daniar Fahmi, ST., MT. selaku dosen pembimbing.
5. Seluruh staf pengajar dan karyawan S1 Teknik Elektro - ITS, atas sarana dan prasarana yang diberikan.
6. Dan semua pihak–pihak yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu. Semoga Allah SWT memberikan limpahan rahmat dan hidayahnya atas segala kebaikan dan semoga

Adapun saran dan kritik yang bersifat membangun sangat kami harapkan, demi tercapainya kemajuan yang lebih baik dimasa depan. Demikian semoga ini menjadi manfaat bagi semua yang menginginkan kemajuan bersama bagi nusa bangsa dan Negara Indonesia tercinta.

Surabaya, Juli 2015

Penulis



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# DAFTAR ISI

<b>JUDUL</b>	
<b>LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN</b>	
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	
<b>ABSTRAK</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	iii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	v
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	ix
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Permasalahan .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penyusunan.....	2
1.5 Metodologi.....	2
1.6 Sistematika Penulisan .....	3
1.7 Relevansi .....	4
<b>BAB II TEORI PENUNJANG</b> .....	5
2.1 Gangguan Hubung Singkat.....	5
2.2 Perhitungan Arus Hubung Singkat .....	6
2.3 <i>Saturated Iron-core Superconducting Fault Current Limiter</i> (SISFCL) .....	8
2.4 Rele Pengaman pada Sistem Tenaga Listrik.....	12
2.5 Rele Arus Lebih.....	13
2.5.1 Rele Arus Lebih Waktu Terbalik ( <i>Invers Time</i> ) .....	14
2.5.2 Rele Arus Lebih Seketika ( <i>Instantaneous</i> ) .....	15
2.5.3 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu ( <i>Definite Time</i> )... ..	15
2.5.4 Rele <i>Invers Definite Minimum Time</i> (IDMT) .....	16
2.6 <i>Setting</i> Rele Arus Lebih .....	16
2.6.1 <i>Setting</i> Rele Arus Lebih Waktu Terbalik ( <i>Invers</i> <i>Time</i> ).....	16
2.6.2 <i>Setting</i> Rele Arus Lebih Seketika ( <i>Instantaneous</i> ) .	17
2.7 Koordinasi Pengaman Rele Arus Lebih.....	18
<b>BAB III SISTEM KELISTRIKAN PABRIK III PT. PETROKIMIA</b> <b>GRESIK</b> .....	21
3.1 Sistem Kelistrikan PT. Petrokimia Gresik Pabrik III.....	21

3.2 Rating Tegangan.....	23
3.3 Sistem Distribusi Listrik Pabrik III .....	23
3.4 Kapasitas Beban Pada Sistem Kelistrikan Pabrik III.....	28
3.5 Konfigurasi Jaringan Sistem.....	29
<b>BAB IV HASIL SIMULASI DAN ANALISA KOORDINASI PROTEKSI PABRIK III PT. PETROKIMIA GRESIK</b>	
4.1 Simulasi Sistem Kelistrikan .....	31
4.2 Analisa Kemampuan <i>Switcgear</i> .....	31
4.3 Batas Arus Hubung Singkat .....	33
4.3.1 Lokasi SISFCL .....	33
4.3.2 Cara Kerja SISFCL.....	34
4.3.3 Operasi Kerja SISFCL.....	39
4.4 Pemilihan Tipikal Pada Pabrik III PT. Petrokimia Gresik	39
4.5 Analisa Hubung Singkat.....	42
4.5.1 Hubung Singkat Minimum 30 Cycle .....	42
4.5.2 Hubung Singkat Maximum 4 Cycle .....	43
4.6 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa .....	44
4.6.1 Analisa Koordinasi Rele Arus Lebih Tipikal 1 .....	44
4.6.1.1 Data Awal Tipikal 1 .....	45
4.6.1.2 Studi Koordinasi Tipikal 1 .....	48
4.6.2 Analisis Koordinasi Rele Arus Lebih Tipikal 2.....	58
4.6.2.1 Data Awal Tipikal 2 .....	59
4.6.2.2 Studi Koordinasi Tipikal 2 .....	60
4.6.3 Analisis Koordinasi Rele Arus Lebih Tipikal 3.....	67
4.6.3.1 Data Awal Tipikal 3 .....	68
4.6.3.2 Studi Koordinasi Tipikal 3 .....	69
4.7 Data Perbandingan Sebelum dan Sesudah Pemasangan SISFCL .....	76
<b>BAB V PENUTUP</b>	
5.1 Kesimpulan .....	81
5.2 Saran.....	81
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>83</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>A-1</b>
<i>Single Line Diagram</i> PT. Petrokimia Gresik .....	A-1
<b>RIWAYAT HIDUP.....</b>	<b>B-1</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Koefisien <i>Invers Time Dial</i> .....	17
Tabel 3.1	Data Kapasitas Pembangkit dan Transformator Pada Bus Utama (HVS 65) Pabrik III .....	22
Tabel 3.2	Data Kapasitas Trafo Distribusi Pabrik III .....	27
Tabel 3.3	Data Kemampuan <i>Switchgear</i> Hvs 65 .....	28
Tabel 3.4	Data Kapasitas Beban Motor Pada Pabrik III .....	28
Tabel 3.5	Data Kapasitas Beban Lump Pada Pabrik III .....	29
Tabel 4.1	Data Kemampuan <i>Switchgear</i> .....	31
Tabel 4.2	Data Perbandingan Kemampuan <i>Switchgear</i> dengan Isc Maksimum ½ Cycle .....	31
Tabel 4.3	Kontribusi Arus Hubung Singkat ½ Cycle Pada <i>Switchgear</i> HVS 65 <i>case</i> 1 Konfigurasi Jaringan (IBT01, STG 11.5 MW dan STG 8.5 MW) .....	32
Tabel 4.4	Kontribusi Arus Hubung Singkat ½ Cycle Pada <i>Switchgear</i> HVS 65 <i>case</i> 2 Konfigurasi Jaringan (STG 11.5 MW dan STG 8.5 MW) .....	32
Tabel 4.5	Kontribusi Arus Hubung Singkat ½ Cycle Setelah Pemasangan SISFCL Pada <i>Switchgear</i> HVS 65 <i>case</i> 1 Konfigurasi Jaringan (IBT01, STG 11.5 MW dan STG 8.5 MW) .....	39
Tabel 4.6	Data Hubung Singkat Minimum Pada 30 Cycle tanpa SISFCL .....	42
Tabel 4.7	Data Hubung Singkat Minimum Pada 30 Cycle dengan SISFCL .....	43
Tabel 4.8	Data Hubung Singkat Maksimum pada 4 Cycle tanpa SISFCL .....	43
Tabel 4.9	Data Hubung Singkat Maksimum pada 4 Cycle dengan SISFCL .....	43
Tabel 4.10	Data Awal Tipikal 1 .....	46
Tabel 4.11	Data <i>Resetting</i> Tipikal 1 .....	54
Tabel 4.12	Data Awal Tipikal 2 .....	59
Tabel 4.13	Data <i>Resetting</i> Tipikal 2 .....	63
Tabel 4.14	Data Awal Tipikal 3 .....	68
Tabel 4.15	Data <i>Resetting</i> Tipikal 3 .....	72
Tabel 4.16	Perbandingan Kontribusi Arus Hubung Singkat 3 Fasa Kondisi ½ Cycle Pada <i>Switchgear</i> HVS 65 ( <i>Case</i> 1) Tanpa SISFCL dan dengan SISFCL .....	76

Tabel 4.17 Perbandingan Setting Rele Arus Lebih Sebelum dan Sesudah Pemasangan SISFCL Pada Koordinasi Tipikal 1..... 77

Tabel 4.18 Perbandingan Setting Rele Arus Lebih Sebelum dan Sesudah Pemasangan SISFCL Pada Koordinasi Tipikal 2..... 78

Tabel 4.19 Perbandingan Setting Rele Arus Lebih Sebelum dan Sesudah Pemasangan SISFCL Pada Koordinasi Tipikal 3..... 79

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Arah Aliran Arus Ketika Terjadi Gangguan Hubung Singkat.....	7
Gambar 2.2	Skematik Aktif SISFCL.....	10
Gambar 2.3	<i>Current Limiting Characteristic Of Active SISFCL</i> .....	10
Gambar 2.4	Karakteristik Kurva <i>Standard Invers, Very Inverse</i> dan <i>Extremely Invers</i> .....	14
Gambar 2.5	Karakteristik Rele Arus Lebih Seketika ( <i>Instantaneous</i> )).	15
Gambar 2.6	Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu ( <i>Definite Time</i> ).....	15
Gambar 2.7	Kombinasi IDMT dengan Rele Arus Lebih Waktu Seketika .....	16
Gambar 2.8	Rele Arus Lebih Pengaman Transformator .....	18
Gambar 2.9	Pembagian Zona Pengaman.....	19
Gambar 3.1	<i>Single Line Diagram</i> PT. Petrokimia Gresik Pabrik III.....	22
Gambar 3.2	<i>Single Line Diagram</i> Switchgear SS#1-SA.....	23
Gambar 3.3	<i>Single Line Diagram</i> Switchgear B-PA SS-2.....	24
Gambar 3.4	<i>Single Line Diagram</i> Switchgear SS#4.1 CR .....	24
Gambar 3.5	<i>Single Line Diagram</i> Switchgear ALF-3 .....	25
Gambar 3.6	<i>Single Line Diagram</i> Switchgear SS#5.1 ZA.....	25
Gambar 3.7	<i>Single Line Diagram</i> Switchgear SS61-UT.....	26
Gambar 3.8	<i>Single Line Diagram</i> Switchgear SS#6.1 CT.....	26
Gambar 3.9	<i>Single Line Diagram</i> Switchgear SS#1 STG.....	27
Gambar 3.10	Konfigurasi Jaringan <i>Case 1</i> (IBT 01-TG65-TG66) .....	30
Gambar 3.11	Konfigurasi Jaringan <i>Case 2</i> (TG65-TG66) .....	30
Gambar 4.1	Pemasangan SISFCL Pada Transformator IBT01 yang Terhubung pada <i>Switcgear</i> HVS 65 .....	34
Gambar 4.2	Gelombang Arus Pada Kondisi Normal .....	35
Gambar 4.3	Gelombang Arus Hubung Singkat 3 Fasa Tanpa SISFCL.....	35
Gambar 4.4	Gelombang Arus Hubung Singkat 3 Fasa Tanpa dan dengan SISFCL .....	36
Gambar 4.5	Analisa Penggunaan SISFCL Pada Arus Hubung Singkat 3 Fasa.....	36
Gambar 4.6	Gelombang Arus Hubung Singkat 3 Fasa Tanpa SISFCL pada ½ Cycle Pertama .....	37
Gambar 4.7	Gelombang Arus Hubung Singkat 3 Fasa dengan SISFCL pada ½ Cycle Pertama .....	37

Gambar 4.8	Analisa Pemasangan SISFCL ketika Membatasi Arus Kontribusi dari Feeder Transformator IBT01 pada ½ Cycle Pertama .....	38
Gambar 4.9	Tipikal Koordinasi 1.....	40
Gambar 4.10	Tipikal Koordinasi 2.....	41
Gambar 4.11	Tipikal Koordinasi 3.....	41
Gambar 4.12	<i>Single Line Diagram</i> Tipikal 1.....	45
Gambar 4.13	Hasil Plot Setelan Rele Awal Tipikal 1.....	47
Gambar 4.14	Hasil Plot Setelan Rele Awal Tipikal 1.....	48
Gambar 4.15	Hasil Plot Setelan Rele <i>Resetting</i> Tipikal 1 (TR5101-TG65).....	55
Gambar 4.16	Hasil Plot Setelan Rele <i>Resetting</i> Tipikal 1 (TR5101-TG66).....	56
Gambar 4.17	Hasil Plot Setelan Rele <i>Resetting</i> Tipikal 1 (TR5101-IBT01).....	57
Gambar 4.18	<i>Single Line Diagram</i> Tipikal 2.....	58
Gambar 4.19	Hasil Plot Setelan Rele Awal Tipikal 2.....	60
Gambar 4.20	Hasil Plot Setelan Rele <i>Resetting</i> Tipikal 2 (MM2302A-TG65) .....	64
Gambar 4.21	Hasil Plot Setelan Rele <i>Resetting</i> Tipikal 2 (MM2302A- TG66) .....	65
Gambar 4.22	Hasil Plot Setelan Rele <i>Resetting</i> Tipikal 2 (MM2302A-IBT01) .....	66
Gambar 4.23	<i>Single Line Diagram</i> Tipikal 3.....	67
Gambar 4.24	Hasil Plot Setelan Rele Awal Tipikal 3.....	69
Gambar 4.25	Hasil Plot Setelan Rele <i>Resetting</i> Tipikal 3 (TR41-TG65).....	73
Gambar 4.26	Hasil Plot Setelan Rele <i>Resetting</i> Tipikal 3 (TR41-TG66).....	74
Gambar 4.27	Hasil Plot Setelan Rele <i>Resetting</i> Tipikal 3 (TR41-TG6).....	75

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

PT. Petrokimia Gresik merupakan salah satu perusahaan yang bergerak dalam bidang penyediaan pupuk untuk pertanian. PT. Petrokimia Gresik memiliki tiga buah pabrik. Saat ini PT. Petrokimia Gresik disuplai oleh beberapa sumber kelistrikan diantaranya : pada pabrik I disuplai *Gas Turbine Generator* (GTG plant-1) 1x33 MW, pabrik II disuplai oleh grid PLN, serta Pabrik III disuplai menggunakan *Steam Turbine Generator* (STG Plant-III) 1x11.5 MW dan 1x8.5 MW.

PT. Petrokimia Gresik meningkatkan keandalan dengan menambahkan satu unit pembangkit *steam turbine generator* (STG KEBB Plant) sebesar 1x32 MW. Untuk meningkatkan keandalan dan menjaga kontinuitas pelayanan daya listrik unit-unit pembangkit dan grid PLN di interkoneksi pada tegangan 20 kV. Dalam hal ini jika terjadi gangguan hubung singkat dapat mengakibatkan level arus hubung singkat yang sangat besar di titik gangguan sebelum adanya interkoneksi pembangkit. Dalam keadaan ini arus hubung singkat mempunyai nilai yang lebih besar dari *device capability* peralatan yang diperbolehkan sebelum adanya interkoneksi. Sehingga dapat merusak peralatan listrik yang berada didekat titik gangguan. Dalam membatasi arus lebih akibat hubung singkat yang menuju ketitik gangguan terdapat beberapa solusi yang dapat digunakan salah satunya dengan memasang *Saturated Iron-core Superconducting Fault Current Limiter* (SISFCL). Penerapan suatu SISFCL pada jaringan distribusi sistem tenaga listrik dapat membatasi arus hubung singkat pada level yang tinggi.

Penambahan SISFCL Ini akan mengakibatkan perubahan setting pengaman pada sistem eksisting sehingga perlu dilakukan studi koordinasi proteksi untuk mengetahui apakah sistem pengamanan bekerja dengan baik. Analisa hubung singkat serta studi koordinasi dalam bentuk kurva *time current characteristic* (TCC) disimulasikan menggunakan *software* ETAP.

### 1.2 Permasalahan

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dikemukakan di atas, permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah menganalisa Kemampuan peralatan dalam menahan arus akibat



gangguan hubung singkat serta bagaimana cara mengamankan peralatan dari besarnya arus hubung singkat yang melebihi rating dari *device capability* peralatan. Kemudian, Bagaimana prinsip kerja SISFCL yang tepat dalam membatasi arus hubung singkat pada level arus yang tinggi. Selain itu, bagaimana studi koordinasi proteksi sebelum dan setelah pemasangan SISFCL.

### 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam tugas akhir ini meliputi :

1. Simulasi dan analisa menggunakan *software* ETAP.
2. Gangguan hubung singkat
3. Pemasangan SISFCL untuk membatasi arus hubung singkat pada level arus yang tinggi.
4. Koordinasi proteksi akibat pemasangan SISFCL.

### 1.4 Tujuan

Tujuan yang diharapkan dapat dicapai dari penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Mensimulasikan analisa hubung singkat menggunakan *software* ETAP pada pabrik III PT. Petrokimia Gresik sebelum dan setelah pemasangan SISFCL.
2. Mengetahui prinsip kerja dan letak pemasangan SISFCL yang tepat pada sistem kelistrikan PT. Petrokimia Gresik.
3. Mengetahui kapasitas SISFCL yang tepat untuk membatasi arus hubung singkat pada level arus yang tinggi.
4. Mengetahui cara mengatur koordinasi proteksi akibat pemasangan SISFCL.

### 1.5 Metodologi

Metodologi penelitian yang digunakan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

Penulis melakukan studi di PT. Petrokimia Gresik serta mengumpulkan data-data spesifikasi peralatan dari Pabrik III PT. Petrokimia Gresik yang nantinya dapat dipergunakan dalam membuat single line diagram dan disimulasikan di *software* ETAP. Dalam studi ini penulis menganalisa kemampuan busbar dalam menahan arus gangguan hubung singkat. Perhitungan arus hubung singkat terhadap busbar tidak hanya memperhatikan arus kontribusi dari generator namun juga memperhitungkan arus kontribusi dari beberapa cabang. Setelah

mengatahui besar arus hubung singkat maka akan dilakukan analisa kemampuan busbar dalam menahan arus hubung singkat yang terjadi.

Arus hubung singkat yang besar akan berkurang setelah pemasangan SISFCL, Setting SISFCL di sesuaikan dengan arus hubung singkat. perubahan arus hubung singkat ini dapat meyebabkan perubahan *setting* koordinasi proteksi rele arus lebih. Studi koordinasi proteksi rele arus lebih dilakukan menggunakan *software* ETAP. Setelah melakukan koordinasi proteksi rele arus lebih dan disimulasikan, maka dapat diketahui bahwa peralatan disekitar titik gangguan sudah aman sehingga dapat meminimalisir pengeluaran biaya untuk mengganti peralatan listrik.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Dalam penyusunan laporan tugas akhir ini akan dibagi menjadi 5 bab dengan sistematika penyusunan laporannya adalah sebagai berikut :

**BAB I : PENDAHULUAN**

Bab ini menguraikan tentang latar belakang masalah, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan, sistematika penulisan, dan relevansi

**BAB II : TEORI PENUNJANG**

Pada bab ini berisi teori – teori yang digunakan sebagai penunjang dalam tugas akhir ini.

**BAB III : SISTEM KELISTRIKAN**

Bab ini menjelaskan tentang konfigurasi sistem kelistrikan yang ada pada PT. Petrokimia Gresik.

**BAB IV : HASIL SIMULASI DAN ANALISA**

Pada bab ini akan dijelaskan tentang hasil simulasi yang telah dilakukan. Serta menjelaskan studi analisa hubung singkat dan koordinasi proteksi setelah pemasangan SISFCL pada PT. Petrokimia Gresik.

**BAB V : PENUTUP**

Pada bab ini berisi kesimpulan dan saran dari hasil simulasi, studi letaratur dan analisa yang telah dilakukan.

## **1.7 Relevansi**

Penulisan tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat yaitu menjadi referensi bagi PT. Petrokimia Gresik dalam pemasangan SISFCL. Serta dapat memberikan kontribusi dan referensi bagi pembaca yang mengambil topik serupa, khususnya tentang koordinasi proteksi akibat pemasangan pembatas arus. Selain itu, tugas akhir ini diharapkan dapat menjadi referensi untuk membatasi arus hubung singkat yang besar pada suatu sistem tenaga listrik.

## **BAB II**

### **TEORI PENUNJANG**

Pada setiap sistem kelistrikan industri terdapat berbagai macam gangguan. Baik gangguan yang bersumber dari sistem itu sendiri atau gangguan dari luar sistem. gangguan pada sistem kelistrikan dapat mengakibatkan terganggunya kontinuitas pelayanan daya listrik. salah satunya gangguan pada sistem kelistrikan yang menjadi masalah sangat penting adalah gangguan hubung singkat. Besarnya arus gangguan hubung singkat jika melebihi *device capability* peralatan akan dapat menyebabkan panas yang berlebih pada peralatan tersebut dan dapat berakibat rusak. Salah satu peralatan yang dapat digunakan untuk mambatasi arus hubung singkat yang besar digunakan *Saturated Iron-core Superconducting Fault Current Limiter* (SISFCL). dengan adanya pemasangan SISFCL maka memerlukan suatu koordinasi proteksi rele arus lebih antara peralatan proteksi yang digunakan.

#### **2.1 Gangguan Hubung Singkat**

Dalam setiap sistem kelistrikan di industri tidak dapat lepas dari kemungkinan adanya gangguan, baik gangguan yang bersumber dari dalam sistem sendiri (internal) maupun dari luar (external). Gangguan yang sering terjadi pada suatu sistem kelistrikan industri adalah gangguan hubung singkat. gangguan ini disebabkan adanya saluran fasa yang terhubung dengan saluran fasa lainnya atau terhubung dengan graound. 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 terjadi tiga fasa, dua fasa, satu fasa ke tanah, dua fasa ke tanah, atau 3 fasa ke tanah. Gangguan hubung singkat sendiri dapat digolongkan menjadi dua kelompok yaitu :

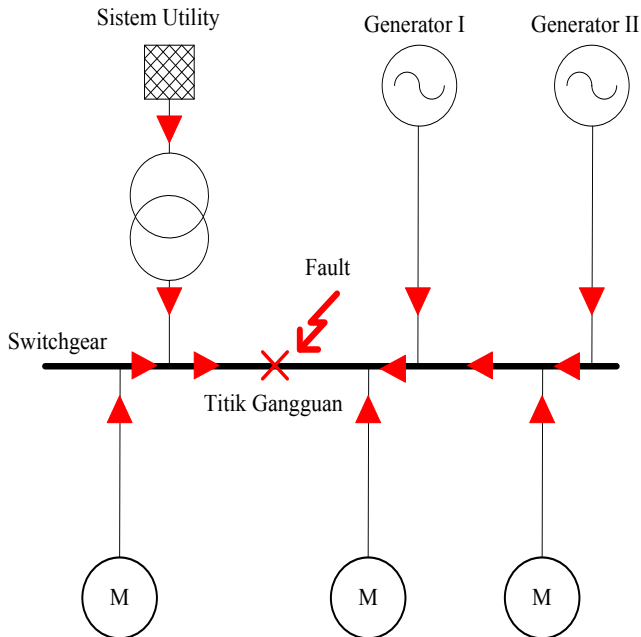
1. Gangguan hubung singkat simetri.  
Gangguan hubung singkat simetri atau disebut gangguan hubung singkat seimbang yaitu terjadi pada gangguan hubung singkat tiga fasa.
2. Gangguan hubung singkat tak simetri (asimetri).  
Gangguan hubung singkat asimetri atau disebut gangguan tidak seimbang terjadi pada gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah,

gangguan hubung singkat dua fasa ketanah, dan hubung singkat dua fasa. Gangguan hubung singkat ini dapat mengakibatkan arus yang sangat besar pada fasa yang mengalami gangguan dan juga dapat mengakibatkan kenaikan tegangan pada fasa yang tidak mengalami gangguan. Kebanyakan gangguan hubung singkat yang sering terjadi adalah gangguan hubung singkat asimetri. Gangguan asimetri akan menyebabkan mengalirnya arus tidak seimbang pada suatu sistem kelistrikan sehingga untuk analisa gangguan ini dengan menggunakan metode komponen simetri untuk menentukan arus dan tegangan pada semua bagian sistem kelistrikan.

## 2.2 Perhitungan Arus Hubung Singkat [1]

Pada saat terjadi gangguan hubung singkat di suatu titik gangguan maka akan mengakibatkan arus yang besar pada titik gangguan tersebut. Arus hubung singkat terdapat tiga kondisi yaitu *subtransient*, *transient*, *steady state*. Besarnya arus hubung singkat dipengaruhi seberapa besar nilai reaktansi pada sistem kelistrikan yang dilalui oleh arus hubung singkat. Pada  $\frac{1}{2}$  cycle pertama kondisi *subtransient* besar arus hubung singkat sangat besar karena total reaktansi sangat kecil, reaktansi pada kondisi ini disebut ( $X''d$ ). pada beberapa cycle kemudian besarnya arus hubung singkat akan cenderung menurun pada kondisi *transient* ( $X'd$ ) hingga pada kondisi *steady state* ( $X_d$ ).

Kontribusi arus hubung singkat bersumber dari beberapa faktor, yaitu : Generator, motor sinkron, motor induksi, dan utility. Berikut skema arah arus ketika terjadi gangguan hubung singkat di suatu titik tertentu dapat dilihat pada gambar 2.1.



**Gambar 2.1** Arah aliran arus ketika terjadi gangguan hubung singkat

Untuk mengantisipasi terjadinya gangguan hubung singkat, perlu dilakukan suatu analisa hubung singkat sehingga dapat menentukan sistem proteksi yang tepat pada suatu sistem tenaga listrik. analisa hubung singkat mempelajari semua kontribusi arus gangguan yang mengalir pada setiap cabang di dalam suatu sistem yang bersumber dari (trafo, pembangkit, beban motor) ketika gangguan hubung singkat yang terjadi pada suatu sistem tenaga listrik.

Pada sistem tenaga listrik dibutuhkan suatu pengaman peralatan yang berfungsi untuk mendeteksi dan berkerja terhadap arus hubung singkat ketika terjadi suatu gangguan hubung singkat. Hal ini menjadi faktor adanya analisa kejadian yang tidak di inginkan yang mungkin terjadi pada sistem dan pengaman peralatan pada sistem tenaga listrik. Berikut adalah perhitungan untuk menghitung besarnya arus hubung singkat yang terjadi pada sistem distribusi :

- Gangguan hubung singkat tiga fasa  
Gangguan hubung singkat ini merupakan gangguan hubung singkat yang menghasilkan arus hubung singkat terbesar (arus hubung singkat maksimum) dibanding gangguan hubung singkat lainnya. Gangguan ini melibatkan ketiga fasanya. Berikut persamaan arus hubung singkat tiga fasa ( $Ihs_{3\phi}$ ) :

$$Ihs_{3\phi} = \frac{V_{LN}}{X_1} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :  
 $V_{LN}$  adalah tegangan *line to netral*, dan  
 $X_1$  adalah reaktansi urutan positif

- Gangguan hubung singkat antar fasa  
Gangguan hubung singkat ini terjadi karena adanya hubung singkat antara dua fasa tanpa terhubung ke tanah. Gangguan ini yang menghasilkan arus hubung singkat minimum. Berikut persamaan arus hubung singkat antar fasa ( $Ihs_{2\phi}$ ) :

$$Ihs_{2\phi} = \frac{\sqrt{3} \times V_{LN}}{X_1 + X_2} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :  
masing-masing reaktansi urutan positif dan negatifnya mempunyai nilai yang sama, maka didapatkan :

$$Ihs_{2\phi} = \frac{\sqrt{3} \times V_{LN}}{2X_1} \approx 0.86 Ihs_{3\phi} \dots\dots\dots (2.3)$$

- Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah  
Gangguan hubung singkat ini terjadi akibat adanya hubung singkat salah satu fasa dengan tanah. Gangguan ini melibatkan reaktansi urutan nol ( $X_0$ ), dan besar dari gangguan arus hubung singkat satu fasa ke tanah ini bisa dibatasi sesuai kemampuan dengan menggunakan sistem pentanahan yang baik. Berikut persamaan arus hubung singkat satu fasa ketanah ( $Ihs_{1\phi}$ ) :

$$Ihs_{1\phi} = \frac{3 \times V_{LN}}{X_1 + X_2 + X_0} \dots\dots\dots (2.4)$$

### 2.3 Saturated Iron-core Superconducting Fault Current Limiter (SISFCL)

Pada suatu sistem tenaga listrik yang terintegrasi, ketika terjadi gangguan hubung singkat dapat mengakibatkan arus hubung singkat bertambah lebih besar dari sebelum adanya integrasi sistem. Perubahan besarnya arus hubung singkat ini berpengaruh besar terhadap *device*

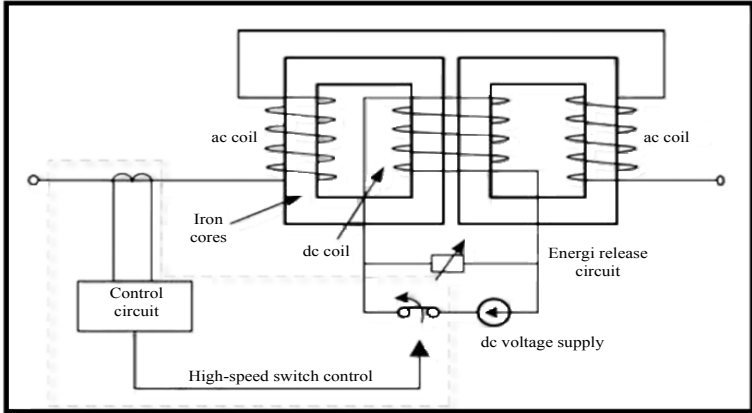
*capability* suatu peralatan listrik. Arus hubung singkat yang besar melebihi *device capability* dari peralatan listrik dapat merusak peralatan listrik tersebut. Permasalahan tersebut dapat diatasi dengan membatasi arus hubung singkat yang besar, sehingga arus hubung singkat tidak melebihi *device capability* peralatan listrik. Salah satu solusi untuk membatasi arus hubung singkat yang besar dengan menambahkan *Saturated Iron-core Superconducting Fault Current Limiter* (SISFCL). dengan pemasangan SISFCL diharapkan arus hubung singkat yang besar dapat dibatasi serta dapat meminimalkan terjadinya kerusakan peralatan listrik akibat arus yang besar melebihi *device capability* peralatan tersebut.

SISFCL adalah salah satu induktif SFCL, yang didasarkan pada prinsip kerja reaktor. SISFCL merupakan suatu alat yang digunakan untuk membatasi arus hubung singkat yang besar. SISFCL dapat mendeteksi adanya gangguan hubung singkat sebelum  $\frac{1}{2}$  cycle (1 millisecond) dan dapat membatasi atau mengurangi arus hubung singkat pada 5 milliseconds, serta kembali lagi pada keadaan normal atau keadaan recovery pada waktu beberapa ratus millisecond.[2]

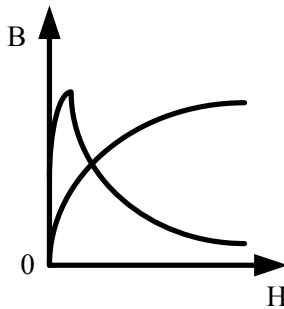
Konsep aktif SISFCL diwujudkan dengan menambahkan kontrol aktif untuk rangkaian dc magnetisasi. Sistem dc magnetisasi pada aktif SISFCL terdiri dari 4 bagian utama : kumparan bias superkonduktor, sumber tegangan dc, saklar kecepatan tinggi, unit pelepasan energi. Sumber dc menyediakan arus konstan untuk magnetisasi inti besi. Sumber dc berasal dari sumber arus 3 fasa 380 Vac yang disearahkan oleh rectifier menjadi 50 vdc pada keadaan normal dan 500 vdc untuk proses magnetisasi dengan cepat. Saat ada gangguan sakelar off dan gangguan hilang sakelar on lagi dibutuhkan sumber arus start untuk re-magnetisasi sebesar 550vdc.

Rangkaian pelepasan energi (*energy release circuit*) berfungsi menyerap Energi magnetik yang tersimpan selama keadaan saturasi dengan cepat melalui dc coil *superconducting*. Berikut skematik aktif SISFCL diperlihatkan pada gambar 2.2.





**Gambar 2.2** Skematik aktif SISFCL [3]



**Gambar 2.3** *Current limiting characteristic of active SISFCL* [4]

Operasi kerja SISFCL Pada keadaan normal sakelar rangkaian dc pada kondisi *close*, maka arus dc mengalir pada kumparan DC yang mengakibatkan kedua inti besi dalam keadaan saturasi sehingga kuat medan (H) besar dan impedansi menjadi kecil.

Operasi kerja SISFCL ketika terdeteksi adanya gangguan hubung singkat membutuhkan waktu 1 *millisecond*, rangkaian kontrol akan mengirim sinyal pada sakelar kecepatan tinggi, dan sakelar rangkaian dc *open* mengakibatkan kedua inti besi keluar dari keadaan saturasi. Kuat medan (H) hilang, Sehingga impedansi meningkat. Meningkatnya

impedansi akan membatasi arus hubung singkat dalam waktu 5 *milliseconds*.

Operasi kerja SISFCL setelah gangguan hilang sakelar rangkaian dc akan kembali *close*, maka arus dc mengalir pada kumparan dc yang mengakibatkan kedua inti besi dalam keadaan saturasi kembali dan impedansi sangat kecil. Pada saat gangguan hilang waktu yang dibutuhkan untuk kembali pada keadaan normal dibutuhkan beberapa ratus *milliseconds*. Operasi kerja SISFCL dapat dilihat pada gambar 2.3 diatas. Berdasarkan gambar 2.3 diatas didapat suatu persamaan yang ditunjukkan dibawah :

$$L = \frac{dB}{dH} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana besarnya nilai impedansi dipengaruhi oleh perubahan kerapatan flux (B) dan perubahan kuat medan (H).

Pada SISFCL terdapat sakelar kecepatan tinggi menggunakan *high voltage insulated gate bipolar transistor* (HVIGBT). Energi magnetik yang tersimpan selama keadaan saturasi dilepaskan melalui rangkaian pelepasan energi untuk membuat keadaan impedansi tinggi pada kumparan ac yang digunakan untuk membatasi arus. Pada rangkaian pelepasan energi juga tersedia piezoresistor untuk mengantisipasi lonjakan tegangan yang disebabkan akibat pembukaan sakelar yang cepat dari rangkaian dc magnetisasi dan melindungi peralatan pada rangkaian [5].

SISFCL terdiri dari 4 bagian utama : sistem reactor, sistem cryogenic, sistem dc bias, rangkaian kontrol, dan sistem monitoring.[2]

- Sistem reactor terdiri dari inti besi, kumparan superkonduktor, Kumparan ac dan kumparan dc. Kumparan ac terbuat dari konduktor konvensional (tembaga atau aluminium) dan isolasi (epoxy, kertas, minyak). Kumparan superkonduktor dapat menarik arus yang besar dengan kerugian yang rendah dan volume yg kecil. Kumparan dc merupakan komponen listrik yang dapat dengan cepat terpengaruh oleh medan magnet. Sehingga ketika dc coil teraliri arus dc maka akan dengan cepat menjadi keadaan saturasi.
- Sistem cryogenic berfungsi untuk menjaga suhu pada SISFCL karena SISFCL harus tetap beroperasi pada lingkungan suhu rendah. Pada SISFCL digunakan sistem cryogenic loop terbuka untuk mempertahankan dan mencapai tingkat keandalan yang

tinggi. Sistem ini terdiri dari Nitrogen cair (LN2), pompa nitrogen, unit kontrol, pipa LN2, sensor tekanan dan temperatur, dan katup.

- Sistem dc bias berfungsi menjadikan inti besi pada keadaan saturasi oleh arus dc sehingga menyebabkan impedansi kecil pada keadaan normal. Pada kondisi gangguan arus dc terputus sehingga kedua kumparan keluar dari keadaan saturasi hal ini menyebabkan impedansi meningkat. Pada saat gangguan telah diamankan inti besi akan kembali pada keadaan saturasi dan impedansi kecil atau seperti impedansi udara.
- Sistem monitoring digunakan untuk mengontrol sistem DC bias dan sistem cryogenic, serta digunakan untuk memantau arus pada jaringan.
- Pada SISFCL rangkaian kontrol terdiri atau terhubung pada 3 bagian utama yaitu : sumber dc, high speed switch, dan rangkaian pelepasan energi. Ketika mendeteksi gangguan hubung singkat kontrol sirkuit akan mengirim sinyal pada sakelar kecepatan tinggi dan sumber rangkaian dc akan open.

Pemasangan SISFCL pada suatu sistem tenaga listrik dapat mempengaruhi koordinasi proteksi rele arus lebih. Dengan pemasangan SISFCL arus hubung singkat yang mengalir pada sistem akan dibatasi dan arus hubung singkat semakin berkurang

## **2.4 Rele Pengaman pada Sistem Tenaga Listrik [6]**

Dalam suatu sistem tenaga listrik terdapat banyak peralatan listrik yang harganya sangat mahal. Oleh karena itu dibutuhkan suatu rele pengaman pada sistem tenaga listrik sehingga dapat mengamankan peralatan listrik yang ada. Untuk dapat mengamankan peralatan listrik yang ada maka setiap peralatan harus dilengkapi dengan peralatan pengaman. Berikut syarat-syarat pada peralatan pengaman (rele pengaman) :

### **a. Kecepatan bereaksi**

Untuk meminimalisasi kerusakan peralatan listrik pada saat terjadi gangguan hubung singkat suatu rele pengaman harus dengan cepat memutus. Pada rele pengaman juga terdapat waktu tunda namun waktu tunda ini juga harus secepat mungkin. Kecepatan waktu bereaksi merupakan hal yang harus diusahakan sehingga kerusakan pada peralatan listrik ketika terjadi gangguan hubung singkat dapat dicegah.

- b. Kecepatan operasi (*sensitivity*)  
Suatu rele pengaman ketika mendeteksi adanya gangguan pada daerah pengamanannya rele ini harus dengan sensitive memberikan respon mendeteksi gangguan tersebut.
- c. *Selectivity*  
Selektivitas dari rele pengaman merupakan suatu kualitas kecermatan pemilihan dalam melakukan pengamanan. Rele pengaman hanya akan bekerja selama kondisi tidak normal atau terjadi gangguan pada daerah yang diamankan. Dan rele pengaman tidak akan bekerja pada kondisi normal atau ketika terjadi gangguan pada daerah diluar yang diamankan.
- d. Keandalan  
Pada keadaan normal atau sistem tenaga listrik yang tidak pernah mengalami gangguan rele pengaman tidak akan bekerja. Namun suatu rele pengaman harus dilakukan pengujian secara periodik saat dilakukan pemeliharaan untuk menjaga keandalannya. Pengujian ini dilakukan untuk memastikan bahwa rele pengaman masih bisa bekerja ketika terjadi gangguan.
- e. Ekonomis  
Pemasangan rele pengaman pada peralatan listrik harus mempertimbangkan dari sisi ekonomis. Hal ini disebabkan karena tidak semua peralatan listrik harus dilengkapi dengan pengaman rele yang lengkap. Sehingga harus disesuaikan dengan harga peralatan yang akan diamankan.

## 2.5 Rele Arus lebih

Pada suatu sistem tenaga listrik dibutuhkan sutau rele pengaman yang dapat mengurangi dan mengantisipasi terjadinya suatu gangguan. Salah satu rele pengaman yang dapat digunakan untuk mengamankan sistem dari gangguan hubung singkat adalah rele arus lebih atau lebih dikenal *over current relay*. Rele arus lebih ini akan bekerja bersama CT (*current transformer*). 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 :

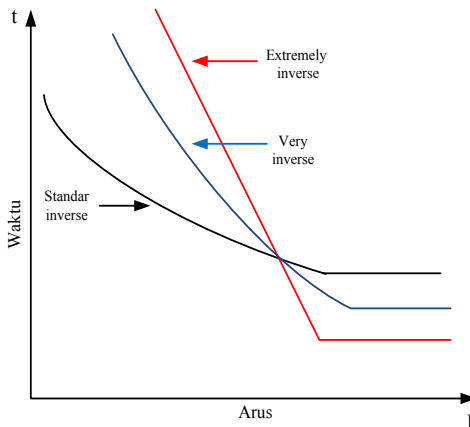
$I_f > I_p$  rele bekerja (trip)  
 $I_f < I_p$  tidak bekerja (block)

Dimana  $I_p$  merupakan arus kerja dan  $I_f$  merupakan arus gangguan pada suatu sistem tenaga listrik. Rele arus lebih digunakan untuk mengamankan peralatan dari sistem tenaga listrik, seperti : generator, utility, transformator, motor, kabel, dsb.

### 2.5.1 Rele Arus Lebih Waktu Terbalik (*Invers Time*)

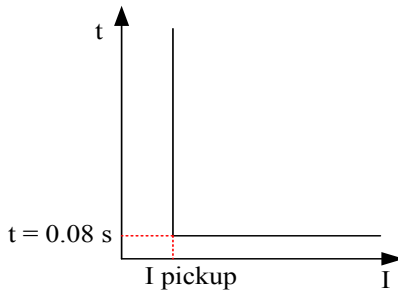
Kurva *Inverse* mempunyai karakteristik grafik terbalik antara besarnya arus gangguan dan waktu operasi, dimana semakin besar arus gangguan hubung singkat maka semakin kecil waktu yang dibutuhkan untuk membuka atau memutus (CB). jika arus gangguan kecil maka waktu operasi rele untuk membuka atau memutus CB semakin lama.

Karakteristik kerja rele arus lebih *invers time* digambarkan dalam kurva arus dan waktu atau sering disebut karakteristik TCC (*time current characteristic*). Pada standar IEEE std 242-2001 mendefinisikan jenis perlindungan waktu invers yang di bedakan menjadi beberapa jenis kurva terdiri dari : *standard invers*, *very invers*, *extremely invers*. Karakteristik dari ketiga jenis kurva tersebut dapat dilihat pada gambar 2.4 dibawah.



**Gambar 2.4** Karakteristik kurva *standard inverse*, *very inverse* dan *extremely inverse*

### 2.5.2 Rele Arus Lebih Seketika (*Instantaneous*)

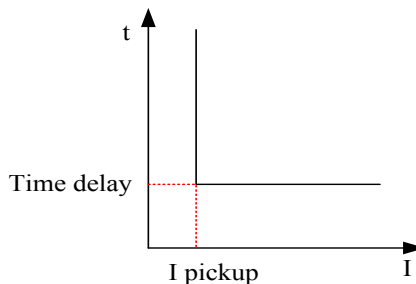


**Gambar 2.5** karakteristik rele arus lebih seketika (*instantaneous*)

Rele arus lebih seketika memiliki prinsip kerja rele tanpa penundaan waktu. Berikut karakteristik rele arus lebih seketika. Rele ini berkerja berdasarkan besarnya arus gangguan hubung singkat yang dipilih dan dapat membuka atau memutus CB dalam waktu yang cepat (80ms). Gambar 2.5 menunjukkan karakteristik dari rele arus lebih seketika (*instantaneous*)

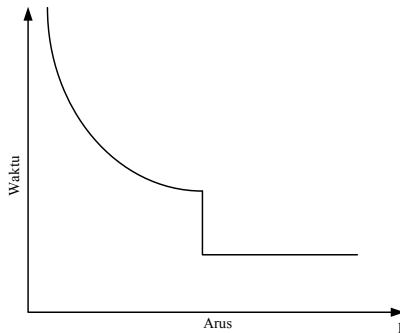
### 2.5.3 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu (*Definite Time*)

Rele arus lebih waktu tertentu ini dapat diatur waktu operasi kerjanya tanpa memperhatikan besarnya dan kecilnya arus hubung singkat yang terjadi. Semua level arus yang melebihi setting point pickup-nya akan dapat diputuskan dalam waktu yang sama. Gambar 2.6 menunjukkan kurva karakteristik rele arus lebih waktu tertentu.



**Gambar 2.6** Karakteristik rele arus lebih waktu tertentu (*definite time*)

#### 2.5.4 Rele *Invers Definite Minimum Time* (IDMT)



**Gambar 2.7** Kombinasi IDMT dengan rele arus lebih waktu seketika

Rele *invers definite minimum time* (IDMT) merupakan kombinasi antara rele *invers time* dengan rele definite time. Rele ini akan bekerja pada daerah *invers* apabila terdapat arus yang melebihi arus nominal beban penuh, sedangkan rele definite bekerja pada saat gangguan hubung singkat minimum tergantung pada setting *time delay*. Gambar 2.7 menunjukkan penggunaan IDMT yang dikombinasikan dengan rele arus lebih seketika (*instantaneous*).

### 2.6 Setting Rele Arus Lebih

Setting rele arus lebih harus disesuaikan berdasarkan koordinasi rele dengan benar. Sehingga ketika terjadi suatu gangguan pada sistem kelistrikan rele arus lebih bisa bekerja dengan cepat dan sesuai.

#### 2.6.1 Setting Rele Arus Lebih Waktu Terbalik (*Invers Time*)

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  $1.05 - 1.3 I_{FLA}$ .

Pada rele arus lebih waktu terbalik terdiri dari dua bagian *setting* yaitu *setting pickup* dan *setting time dial*. Pada *pickup* besarnya arus pickup ditentukan dengan pemilihan tap. Untuk menentukan besarnya

**Tabel 2.1** Koefisien *invers time dial*

Tipe Kurva	Koefisien		
	<i>k</i>	<i>α</i>	<i>β</i>
<i>Standard Inverse</i>	0.14	0.02	2.970
<i>Very Invers</i>	13.50	1.00	1.500
<i>Extremely Inverse</i>	80.0	2.00	0.808

tap yang akan digunakan pada *setting pickup* menggunakan persamaan berikut :

$$\text{Tap} = \frac{I_{\text{set}}}{CT_{\text{Primary}}} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana  $I_{\text{set}}$  merupakan arus *pickup* dalam ampere.

Untuk mengetahui setting rele arus lebih digunakan persamaan berikut :

$$1.05 I_{\text{FLA}} < I_{\text{set}} < 1.4 I_{\text{FLA}} \dots\dots\dots (2.7)$$

Setting *time dial* digunakan untuk menentukan waktu operasi rele.

Untuk menentukan nilai time dial dari masing-masing kurva karakteristik invers rele arus lebih dapat digunakan persamaan (2,8) dibawah berikut

$$td = \frac{k \times T}{\beta \times \left[ \left( \frac{I}{I_{\text{set}}} \right)^\alpha - 1 \right]} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana :

td = waktu operasi (detik)

T = *time dial*

I = nilai arus (Ampere)

$I_{\text{set}}$  = arus *pickup* (Ampere)

k = koefisien invers 1 (lihat pada tabel 2.1)

$\alpha$  = koefisien invers 2 (lihat pada tabel 2.1)

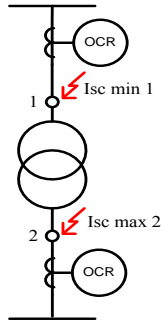
$\beta$  = koefisien invers 3 (lihat pada tabel 2.1)

**2.6.2 Setting Rele Arus Lebih Seketika (*Instantaneous*)**

Rele arus lebih seketika seperti yang telah dijelaskan pada bab 2.5.2 bahwa rele ini akan bekerja seketika jika ada arus lebih yang mengalir melebihi batas yang diijinkan. Untuk menentukan *setting pickup* dari rele arus lebih seketika dengan menggunakan nilai  $I_{\text{SC min}}$  atau nilai arus hubung singkat antar fasa ( $I_{hs2\phi}$ ) pada pembangkitan minimum. Persamaan 2.9 dibawah memperlihatkan setting dari rele arus lebih seketika :

$$I_{\text{set}} \leq I_{\text{SC min}} \dots\dots\dots (2.9)$$





**Gambar 2.8** Rele arus lebih pengaman transformator

Dalam melakukan *setting* rele arus lebih seketika terdapat pertimbangan khusus pada pengaman feeder yang dipisahkan oleh sebuah transformator yang diperlihatkan pada gambar 2.8. Persamaan yang digunakan dalam menentukan *setting* pickup adalah sebagai berikut :

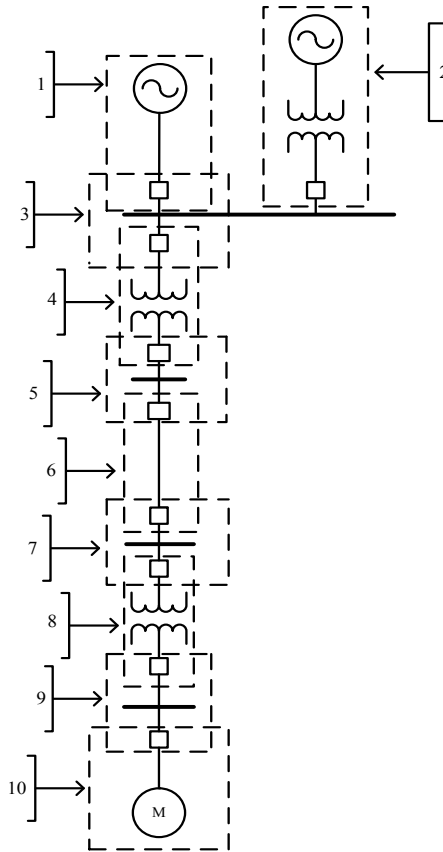
$$I_{SC \max \text{ bus } 2} \leq I_{set} \leq 0.8 \times I_{SC \min \text{ bus } 1} \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana nilai  $I_{SC \max \text{ bus } 2}$  merupakan nilai arus hubung singkat tiga fasa maksimum ( $I_{hs_{3\phi}}$ ) pada titik 2, sedangkan  $I_{SC \min \text{ bus } 1}$  merupakan arus hubung singkat minimum pada titik 1. Jika persamaan 2.10 terpenuhi maka *setting time delay* pada rele diatas transformator boleh kembali pada *time delay* 0.1.

**2.7 Koordinasi Pengaman Rele Arus Lebih [6]**

Koordinasi rele digunakan untuk mengamankan peralatan akibat adanya gangguan hubung singkat. Gambar 2.9 menunjukkan pembagian sisitem tenaga listrik kedalam 10 daerah pengaman, Pada setiap masing-masing daerah memiliki satu atau beberapa komponen pengaman. Adapun daerah-daerah pengaman terdiri dari :

- a) Daerah 1 : zona pengaman generator,
- b) Daerah 2 : zona pengaman generator dan transformator
- c) Daerah 3 dan 9 : zona pengaman bus tegangan rendah
- d) Daerah 4 dan 8 : zona pengaman transformator
- e) Daerah 5 dan 7 : zona pengaman bus tegangan tinggi
- f) Daerah 6 : zona pengaman saluran
- g) Daerah 10 : zona pengaman motor



**Gambar 2.9** Pembagian zona pengaman

Konsep daerah pengaman memberikan suatu pengertian mengenai batas daerah bagi sistem pengaman, sehingga suatu sistem pengaman akan memberikan respon terhadap gangguan yang terjadi di daerahnya sendiri. Pembagian zona pengaman juga digunakan untuk membedakan rele pengaman utama dan rele pengaman backup. Ketika terjadi gangguan di motor maka rele yang berkerja adalah rele pengaman utama motor yang berada di atas motor. Rele pengaman back up berkerja setelah rele pengaman utama. Maka antara rele pengaman utama dan

rele pengaman backup tidak boleh bekerja bersamaan. Perbedaan waktu kerja rele pengaman utama dengan rele backup disebut time delay atau biasa disebut ( $\Delta t$ ). waktu kerja antara rele pengaman utama dengan rele pengaman backup adalah 0.2-0.35 detik untuk rele konvensional.

Menurut standard IEEE 242 :

Waktu buka CB : 0.04-0.1 detik (2-5 *cycle*)

Overtravel dari rele : 0.1 detik

Faktor keamanan : 0.12-0.22 detik

Pada rele berbasis microprocessor overtravel time rele diabaikan. Sehingga total waktu yang diperlukan 0.2-0.4 s.

## **BAB III**

### **SISTEM KELISTRIKAN PABRIK III PT. PETROKIMIA GRESIK**

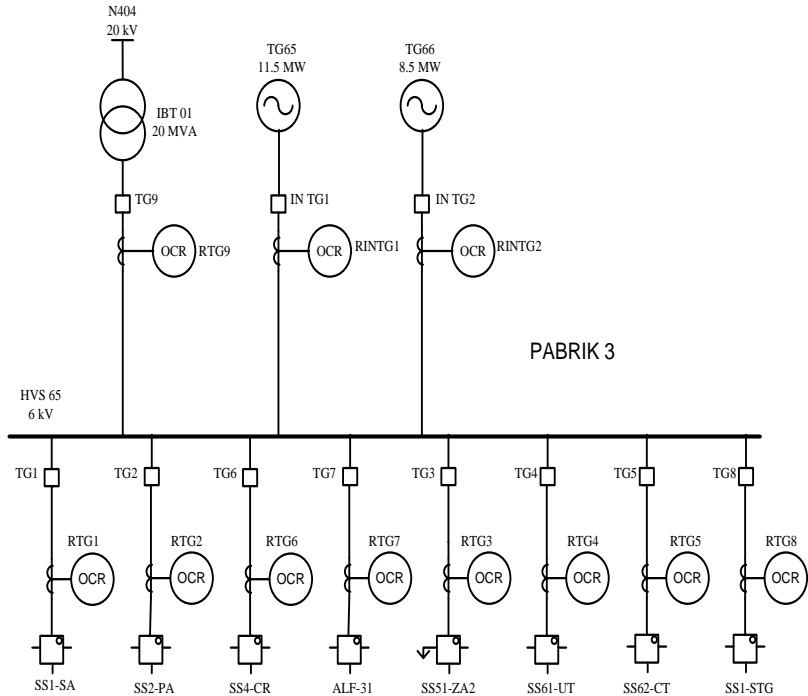
PT. Petrokimia Gresik merupakan salah satu perusahaan yang bergerak dalam bidang penyediaan pupuk untuk pertanian yang berada di daerah Gresik, Jawa Timur. PT Petrokimia Gresik memiliki tiga buah pabrik. Untuk menunjang kegiatan operasionalnya, Saat ini PT. Petrokimia Gresik disuplai oleh beberapa sumber kelistrikan diantaranya : pada pabrik I disuplai *Gas Turbine Generator* (GTG plant-1) 1x33 MW, pabrik II disuplai oleh grid PLN 500 MVAsc, serta Pabrik III disuplai menggunakan *Steam Turbine Generator* (STG Plant-III) 1x11.5 MW dan 1x8.5 MW dan terdapat satu unit pembangkit *steam turbine generator* (STG KEBB Plant) sebesar 1x32 MW. untuk meningkatkan keandalan dan menjaga kontinuitas pelayanan daya listrik semua unit pembangkit dan grid PLN terintegrasi pada tegangan 20 kV.

#### **3.1 Sistem Kelistrikan PT. Petrokimia Gresik Pabrik III**

PT. Petrokimia Gresik Pabrik III memiliki *Steam Turbine Generator* (STG Plant-III) 1x11.5 MW dan 1x8.5 MW untuk melayani kebutuhan suplai daya ke beban. Pabrik III terinterkoneksi dengan pabrik lainnya pada tegangan 20 kV melalui transformator IBT01.

Transformator IBT01 memiliki rating tegangan 20/6 kV serta kapasitas daya 20 MVA. Transformator ini memiliki hubungan bintang (Y) pada sisi tegangan tinggi dan hubungan delta ( $\Delta$ ) pada sisi tegangan rendah.

*Switchgear* utama HVS65 pada pabrik III terbagi menjadi beberapa substasion. *Single line diagram* pabrik III petrokimia Gresik dapat dilihat pada gambar 3.1 dibawah.



**Gambar 3.1** Single line diagram PT. Petrokimia Gresik Pabrik III

Pada sistem kelistrikan PT. Petrokimia Gresik Pabrik III terdapat beberapa pembangkit dan Transformator yang terhubung pada *switchgear* utama yang diperlihatkan pada tabel 3.1 dibawah.

**Tabel 3.1** Data kapasitas pembangkit dan transformator pada bus utama HVS 65 Pabrik III.

NO	ID	Tegangan (kV)	Faktor daya (%)	Daya (MVA)	FLA (Amp)	Xd'' (%)
1	TG65	6	80	14.375	1383	12
2	TG 66	6	80	10.625	1022	12
3	IBT 01	20/6	-	20	577.4/1925	10.5

### 3.2 Rating Tegangan

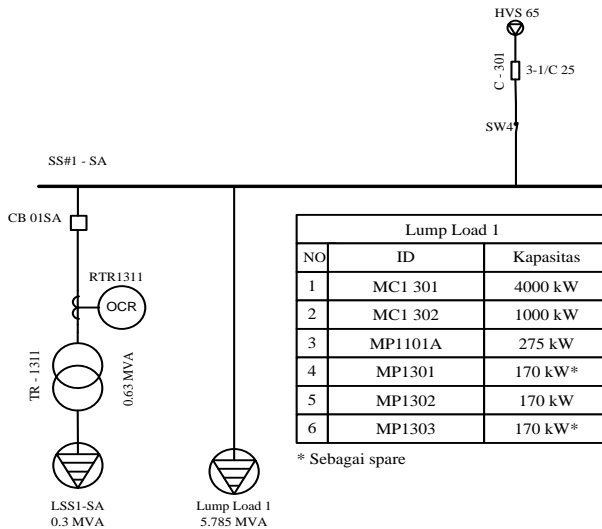
Pada PT. Petrokimia Gresik Pabrik III terdapat 2 rating level tegangan pada sistem distribusi kelistrikan, yaitu :

1. Tegangan 6 kV
2. Tegangan 0.38 kV

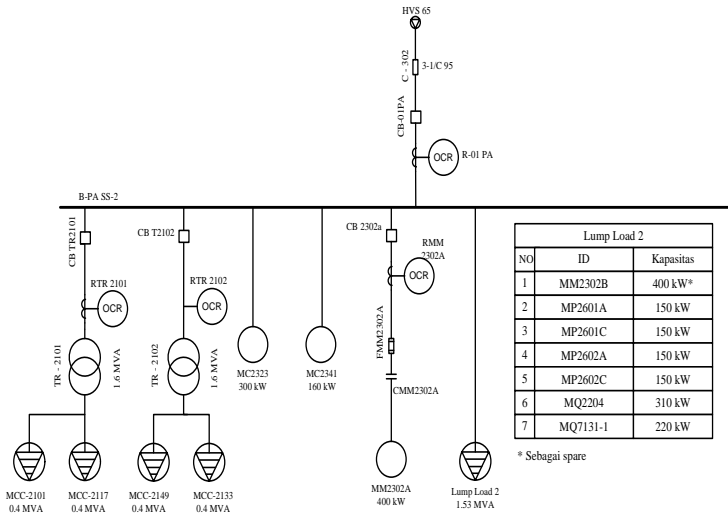
### 3.3 Sistem Distribusi Listrik Pabrik III

Sistem distribusi yang dipakai PT. Petrokimia Gresik Pabrik III merupakan jaringan distribusi tipe radial. Sistem kelistrikan dengan menggunakan tipe radial memiliki kelebihan dan kekurangan. Kelebihannya diantaranya sistem ini sederhana dan tidak membutuhkan dana yang cukup besar serta pada sistem tipe radial ini untuk koordinasinya pengamanannya lebih mudah. Sedangkan kekurangan dari sistem ini adalah jika terjadi gangguan pada salah satu bus maka suplai daya menuju beban akan terputus karena daya yang disalurkan melalui satu line saja.

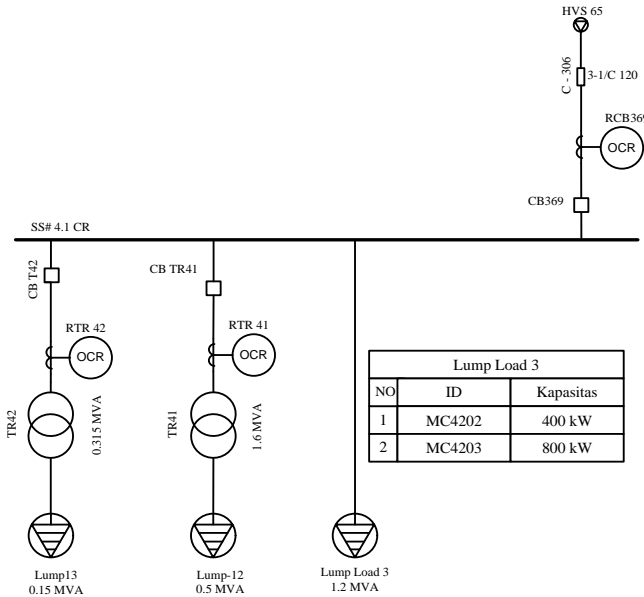
*Single line diagram* dari sistem distribusi pabrik III diperlihatkan pada gambar 3.2 s/d 3.9. pada sistem distribusi ini juga terdapat beberapa unit transformator. Data trafo diperlihatkan pada tabel 3.2. serta data kemampuan *switchgear* diperlihatkan pada tabel 3.3.



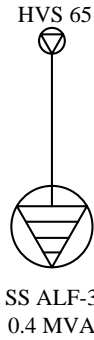
**Gambar 3.2** *Single line diagram* switchgear SS#1-SA



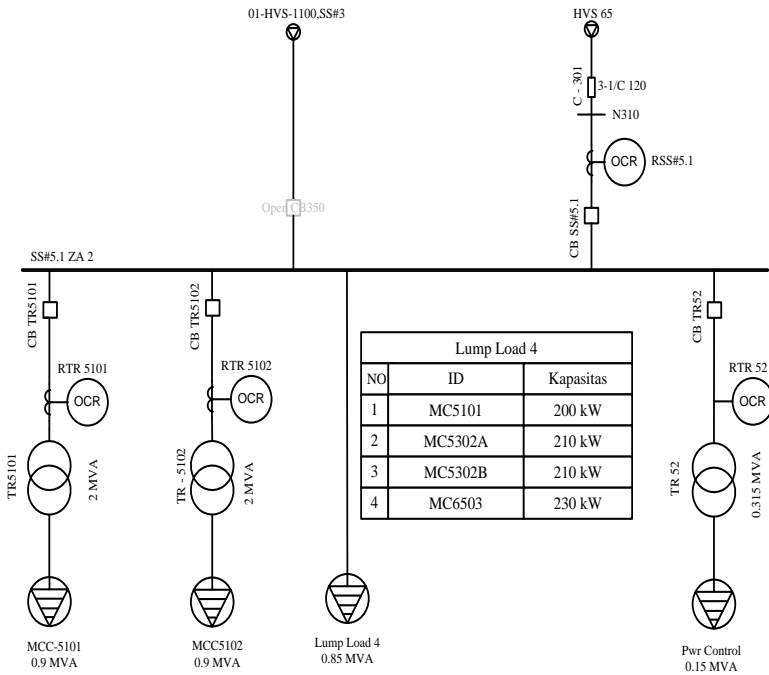
**Gambar 3.3** Single line diagram switchgear B-PA SS-2



**Gambar 3.4** Single line diagram switchgear SS#4.1 CR

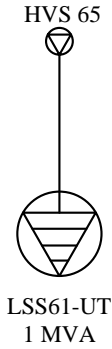


**Gambar 3.5** Single line diagram Switchgear ALF-3

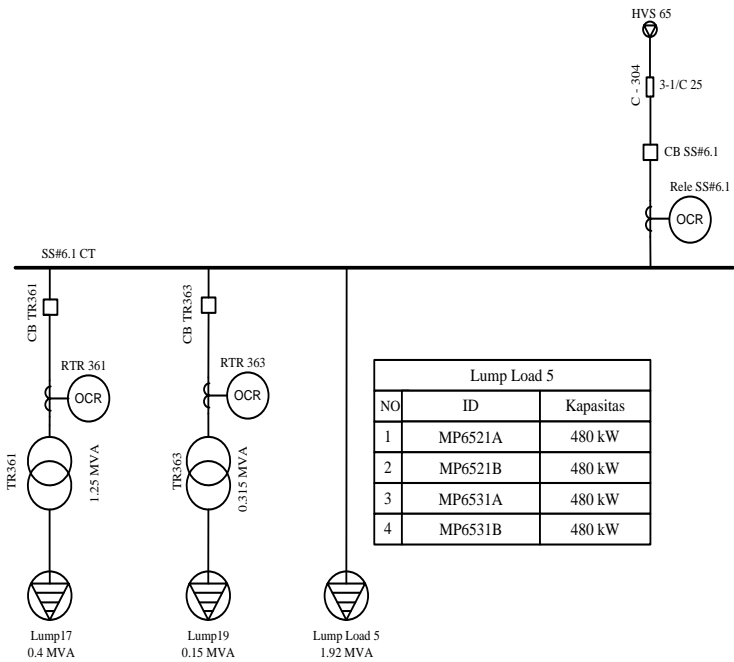


**Gambar 3.6** Single line diagram switchgear SS#5.1 ZA

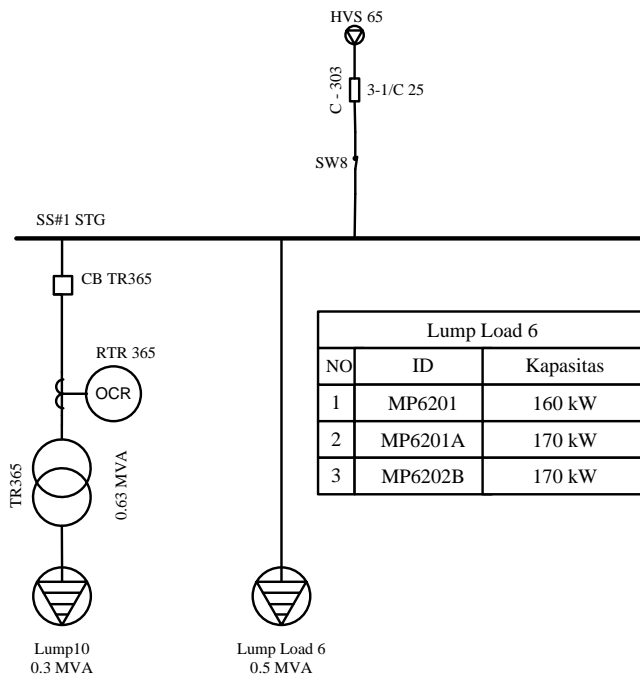




**Gambar 3.7** Single line diagram Switchgear SS61-UT



**Gambar 3.8** Single line diagram switchgear SS#6.1 CT



**Gambar 3.9** Single line diagram switchgear SS#1 STG

**Tabel 3.2** Data kapasitas trafo distribusi pabrik III

NO	ID	Daya (MVA)	Tegangan (kV)	Z (%)	X/R
1	TR-1311	0.63	6/0.38	4	3.96
2	TR-2101	1.6	6/0.38	5.5	7.1
3	TR2102	1.6	6/0.38	5.5	7.1
4	T42	0.315	6/0.38	4	3.09
5	TR41	1.6	6/0.38	6.75	7.1
6	TR5101	2	6/0.38	6.75	7.1
7	TR5102	2	6/0.38	5.75	7.1
8	TR52	0.315	6/0.38	6.75	50
9	TR361	1.25	6/0.38	6.75	50
10	TR363	0.315	6/0.38	6.75	50
11	TR365	0.63	6/0.38	6.75	3.96

**Tabel 3.3** Data kemampuan *Switchgear* HVS 65

NO	ID	Tegangan (kV)	Eksisting rms (kA)	Eksisting Bracing Peak rms (kA)
1	HVS 65	6	40	100

### 3.4 Kapasitas Beban Pada Sistem Kelistrikan Pabrik III

Pada sistem kelistrikan PT Petrokimia Gresik pabrik III terdapat beberapa beban motor dan lump load. Beban-beban ini terbagi menjadi beberapa substasion. Untuk beban motor bekerja pada level tegangan 6 kV dan sebagian besar lump load bekerja pada level tegangan 0.38 kV. Tabel 3.4 dan 3.5 memperlihatkan data kapasitas beban motor dan lump load.

**Tabel 3.4** Data Kapasitas beban motor pada pabrik III

NO	Substasion	ID	Daya (kW)	PF (%)	FLA (A)	Xd'' (%)
1	SS#1-SA	MC1301	4000	93.06	434	15.3
2		MC1302	1000	92.49	108.8	15.2
3		MP1101A	275	91.99	29.98	15.02
4		MP1301*	170	90.87	18.86	13.17
5		MP1302	170	90.87	18.86	13.17
6		MP1303*	170	84.87	26.61	13.17
7	B-PA SS-2	MC2323	300	93.06	29.90	15.3
8		MC2341	160	90.00	18.59	13.17
9		MM2302B*	400	92.00	43.58	13.17
10		MM2302B*	400	84.87	62.61	13.17
11		MP2601A	150	84.87	23.48	13.17
12		MP2601C	150	84.87	23.48	13.17
13		MP2602A	150	84.87	23.48	13.17
14		MP2602C	150	84.87	23.48	13.17
15		MQ2204	310	92.00	33.77	13.17
16		MQ7131-1	220	84.47	34.44	13.17
17	SS#4.1 CR	MC4202	400	95.87	42.07	13.17
18		MC4203	800	95.87	84.14	13.17
19	SS#5.1 ZA 2	MC5101	200	95.87	21.04	13.17
20		MC5302A	210	95.87	22.09	13.17
21		MC5303B	210	95.87	22.09	13.17
22		MC5603	230	95.87	24.19	13.17

**Tabel 3.4** Data Kapasitas beban motor pada pabrik III (lanjutan)

NO	Substasion	ID	Daya (kW)	PF (%)	FLA (A)	Xd'' (%)
23	SS#6.1 CT	MP6521A	480	95.87	50.48	13.17
24		MP6521B	480	95.87	50.48	13.17
25		MP6531A	480	95.87	50.48	13.17
26		MP6531B	480	95.87	50.48	13.17
27	SS#1 STG	MP6201	160	95.87	16.83	13.17
28		MP6202A	170	95.87	17.88	13.17
29		MP6202B	170	95.87	17.88	14.73
TOTAL			12645			

Catatan : \* motor sebagai *spare*

**Tabel 3.5** Data kapasitas beban lump Pabrik III

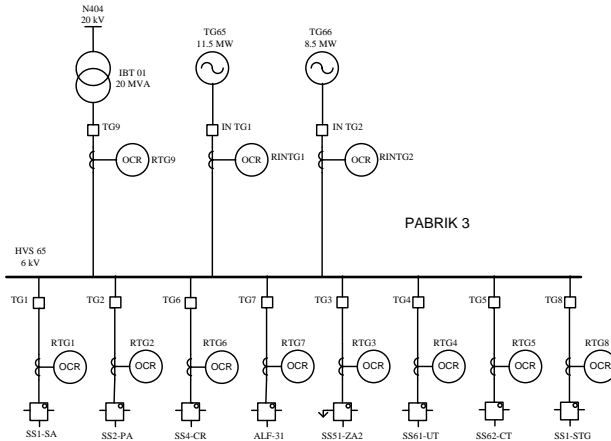
NO	ID	Ratio		Daya (MVA)	PF (%)	Xd'' (%)
		Motor (%)	Statis (%)			
1	LSS1-SA	80	20	0.3	85	14.18
2	MCC-2101	80	20	0.4	85	14.18
3	MCC-2117	80	20	0.4	85	14.18
4	MCC-2149	80	20	0.4	85	14.18
5	MCC2133	80	20	0.4	85	14.18
6	Lump13	80	20	0.15	85	14.18
7	Lump12	80	20	0.5	90	14.18
8	SS ALF-3	80	20	0.4	85	15.21
9	MCC5102	80	20	0.9	90	14.18
10	MCC5102	80	20	0.9	90	14.18
11	Pwr Control	80	20	0.15	90	14.18
12	LSS61-UT	75	25	1	90	15.21
13	Lump17	80	20	0.4	85	14.18
14	Lump19	80	20	0.15	85	14.18
15	Lump10	80	20	0.3	85	14.18
TOTAL				6.75		

### 3.5 Konfigurasi Jaringan Sistem

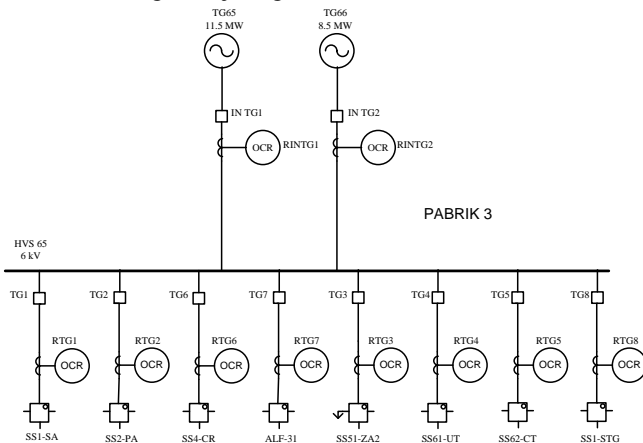
Pada tugas akhir ini dilakukan dua konfigurasi sistem untuk mengetahui kemampuan *switchgear* dengan melakukan analisa hubung singkat  $\frac{1}{2}$  cycle yaitu pada konfigurasi jaringan pabrik III

terinterkoneksi dengan pabrik I, II serta konfigurasi jaringan dari pembangkit pabrik III sendiri.

konfigurasi pertama (*case 1*) merupakan konfigurasi jaringan IBT 01-Pembangkit TG65 dan Pembangkit TG66. Diperlihatkan pada gambar (3.10). Untuk konfigurasi kedua (*case 2*) merupakan konfigurasi jaringan pembangkit TG65 dan TG66. Diperlihatkan pada gambar (3.11).



**Gambar 3.10** Konfigurasi jaringan *case 1* (IBT01-TG65-TG66)



**Gambar 3.11** Konfigurasi jaringan *case 2* (TG65-TG66)

## BAB IV

### HASIL SIMULASI DAN ANALISA PABRIK III PT. PETROKIMIA GRESIK

#### 4.1 Simulasi Sistem Kelistrikan

Simulasi sistem kelistrikan PT. Petrokimia Gresik dengan menggunakan software ETAP. Dimana pada *software* ini dilakukan analisa kemampuan *switchgear*, analisa hubung singkat dan koordinasi proteksi rele arus lebih.

#### 4.2 Analisa Kemampuan *Switchgear*

Analisa kemampuan *switchgear* dilakukan dengan melakukan hubung singkat 3 fasa pada *switchgear* utama meliputi (HVS 65, PS 2280, dan HVS-00/GI150a) dengan mempertimbangkan semua sumber arus kontribusi dari generator, utility, dan motor. Arus hubung singkat yang dilakukan adalah hubung singkat 3 fasa pada kondisi  $\frac{1}{2}$  cycle. Hasil arus hubung singkat yang diperoleh dibandingkan dengan kemampuan *switchgear* dalam menahan arus hubung singkat. Tabel 4.1 dan tabel 4.2 memperlihatkan kemampuan *switchgear* dan hasil analisa hubung singkat pada *switchgear* (HVS 65, PS 2280, dan HVS-00/GI150a).

**Tabel 4.1** Data kemampuan *switchgear*

NO	ID	Bracing peak kA
1	HVS 65	100
2	PS 2280	85.05
3	HVS-00/GI150a	85.05

**Tabel 4.2** Data perbandingan kemampuan *switchgear* dengan  $I_{SC}$  maksimum 3 fasa pada kondisi  $\frac{1}{2}$  cycle

NO	ID	kV	Device capability	$I_{SC}$ maks $\frac{1}{2}$ cycle
			Bracing peak kA	Asymm peak kA
1	HVS 65	6	100	123.5*
2	PS 2280	11.5	85.05	66.3
3	HVS-00/GI150a	20	85.05	57.5

\*Melebihi *device capability*

Berdasarkan tabel 4.2 diatas menunjukkan bahwa *switchgear* HVS 65 dalam keadaan kritis. Arus hubung singkat melebihi rating *device capability*. Sehingga dibutuhkan pembatas arus.

Pada tugas akhir ini terdapat dua konfigurasi yang digunakan untuk mengetahui letak penempatan pembatas arus. Kedua konfigurasi meliputi *case 1* (konfigurasi jaringan IBT01 - Pembangkit TG65 dan Pembangkit TG66) dan *case 2* (konfigurasi jaringan pembangkit TG65 dan pembangkit TG66). Kontribusi arus yang masuk pada *switchgear* HVS 65 diperlihatkan pada tabel 4.3 dan tabel 4.4.

**Tabel 4.3** Kontribusi arus hubung singkat 3 fasa kondisi  $\frac{1}{2}$  cycle pada *switchgear* HVS 65 *case 1* konfigurasi jaringan (IBT01, STG 11,5 MW dan STG 8.5 MW)

NO	Bus HVS 65		
	Arus kontribusi dari ke HVS 65	I <sub>SC</sub> maks symetri (kA)	I maks Asymetri Peak (kA)
1	IBT01	15.1	40.468
2	TG65	12.1	32.428
3	TG66	8.94	23.852
3	N310	1.1	2.948
4	N303	2.02	5.36
5	N306	0.36	0.804
6	N315	1.11	2.948
7	N316	0.89	2.144
8	N301	4.23	11.256
9	LSS61-UT	0.49	1.072
10	SS ALF-3	0.2	0.536
	<b>Total</b>	<b>46.2</b>	<b>123.5*</b>

\*Melebihi *device capability*

**Tabel 4.4** Kontribusi arus hubung singkat 3 fasa kondisi  $\frac{1}{2}$  cycle pada *switchgear* HVS 65 *case 2* konfigurasi jaringan ( STG 11.5 MW dan STG 8.5 MW)

NO	Bus HVS 65		
	Arus kontribusi dari ke HVS 65	I <sub>SC</sub> maks symetri (kA)	I maks Asymetri Peak (kA)
1	TG65	12.1	32.4
2	TG66	8.9	23.9

**Tabel 4.4** Kontribusi arus hubung singkat 3 fasa kondisi ½ cycle pada *switchgear* HVS 65 case 2 konfigurasi jaringan ( STG 11.5 MW dan STG 8.5 MW) (lanjutan)

NO	Bus HVS 65		
	Arus kontribusi dari ke HVS 65	I <sub>SC</sub> maks symetri (kA)	I maks Asymetri Peak (kA)
3	N310	1.1	2.9
4	N303	2.02	5.4
5	N306	0.36	0.96
6	N315	1.12	3
7	N316	0.891	2.4
8	N301	4.2	11.2
9	LSS61-UT	0.5	1.3
10	SS ALF-3	0.2	0.5
	<b>Total</b>	<b>31.2</b>	<b>84.1</b>

### 4.3 Batas Arus Hubung Singkat

pada *switchgear* utama Pabrik III PT. Petrokemia Gresik kemampuan *switchgear* dibawah nilai arus hubung singkat 3 fasa kondisi ½ cycle. Pada kondisi ini *switchgear* akan mengalami kerusakan akibat arus yang besar dan panas yang berlebih oleh karena itu dibutuhkan suatu peralatan listrik yang dapat membatasi arus hubung singkat. Pada tugas akhir ini menggunakan *saturated iron core superconducting current limiter* (SISFCL). SISFCL membatasi arus dengan memanfaatkan kenaikan impedansi ketika terjadi hubung singkat. Besarnya impedansi di hitung dengan menggunakan persamaan pada reaktor. Berikut persamaan 4.1 menunjukkan perhitungan nilai impedansi.

$$Z = \frac{V}{\sqrt{3}} \times \left( \frac{1}{I_a} - \frac{1}{I_b} \right) \dots\dots\dots (4.1)$$

Dimana :

I<sub>a</sub> adalah arus yang diinginkan

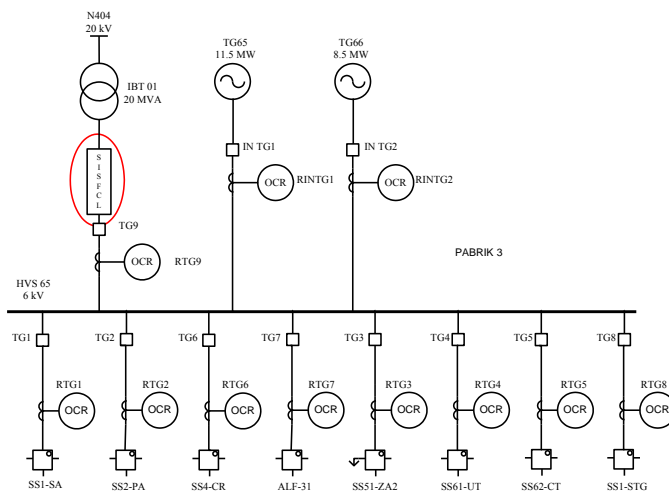
I<sub>b</sub> adalah arus hubung singkat

#### 4.3.1 Lokasi SISFCL

SISFCL merupakan peralatan listrik yang dapat digunakan untuk membatasi arus hubung singkat. keuntungan penggunaan SISFCL adalah mempunyai impedansi sangat kecil atau dapat diabaikan pada



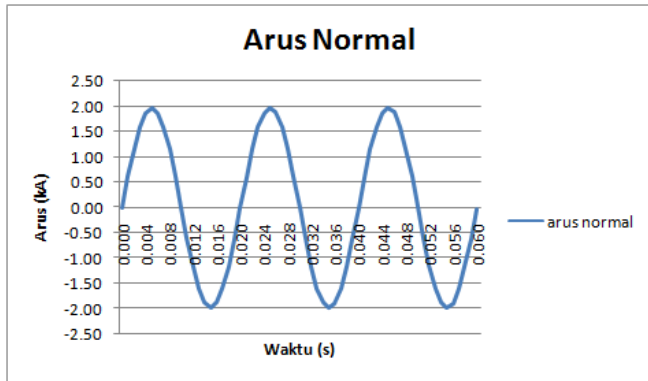
kondisi normal. Berdasarkan analisa kemampuan *switchgear* dan tabel kontribusi arus diatas. Penempatan SISFCL ditentukan oleh besarnya arus gangguan hubung singkat 3 fasa kondisi  $\frac{1}{2}$  cycle yang ditunjukkan pada tabel 4.2. Penempatan SISFCL berada pada transformator IBT01 karena pada transformator IBT01 merupakan sumber arus kontribusi terbesar ketika terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa pada *switchgear* HVS 65 yang ditunjukkan pada tabel 4.3 kontribusi arus ketika terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa kondisi  $\frac{1}{2}$  cycle di *switchgear* HVS 65. Berikut lokasi pemasangan SISFCL pada *switchgear* HVS 65 ditunjukkan pada gambar 4.1.



**Gambar 4.1** Pemasangan SISFCL pada transformator IBT01 yang terhubung pada *switchgear* HVS 65

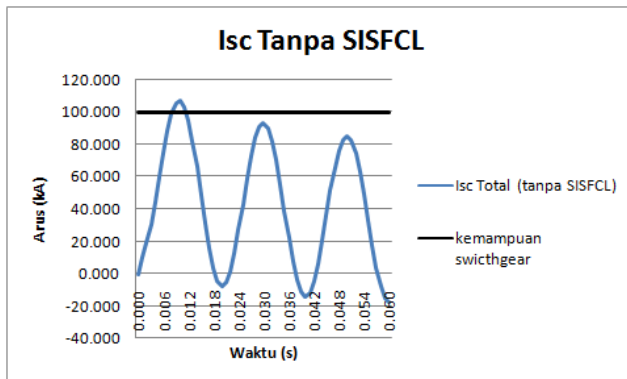
### 4.3.2 Cara Kerja SISFCL

SISFCL memiliki tiga kondisi operasi kerja yaitu pada kondisi : normal, gangguan dan *recovery*. Pada keadaan normal arus dc mengalir pada kumparan dc maka nilai kuat medan (H) akan meningkat sehingga nilai impedansi mengecil seperti impedansi udara. Bentuk gelombang arus pada keadaan normal diperlihatkan pada gambar 4.2.

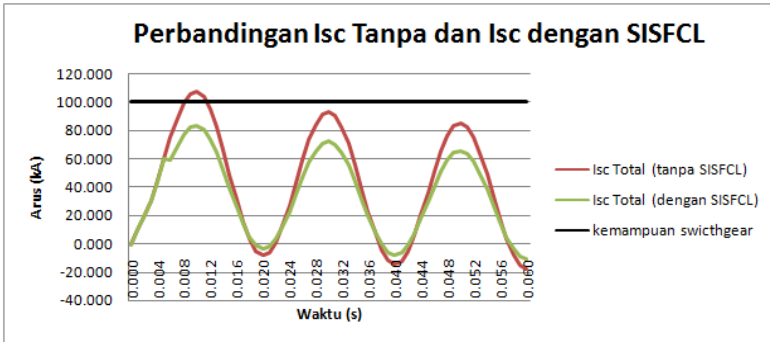


**Gambar 4.2** Gelombang arus pada kondisi normal

Pada kondisi ketika terjadi gangguan hubung singkat nilai kuat medan (H) akan mengecil sehingga nilai impedansi akan meningkat. SISFCL dapat mendeteksi adanya gangguan hubung singkat pada waktu 1 *millisecond* dan SISFCL dapat membatasi arus hubung singkat pada waktu 5 *milliseconds*. Gelombang arus hubung singkat 3 fasa tanpa pemasangan SISFCL dan menggunakan SISFCL diperlihatkan pada gambar 4.3 dan 4.4.

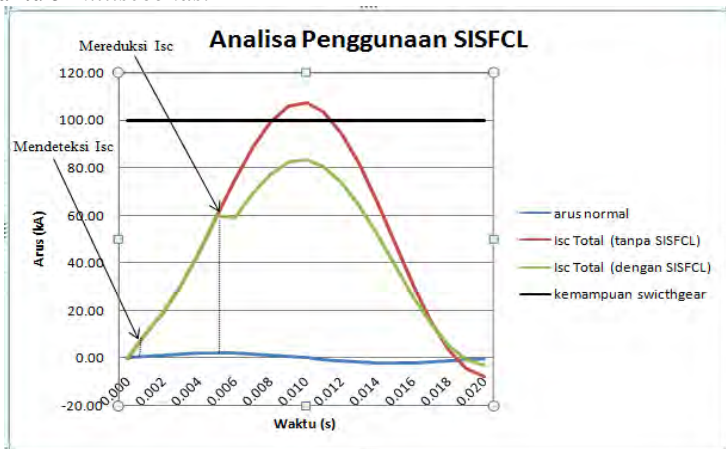


**Gambar 4.3** Gelombang arus hubung singkat 3 fasa tanpa SISFCL



**Gambar 4.4** Gelombang arus hubung singkat 3 fasa tanpa dan dengan SISFCL

Gambar 4.5 menunjukkan bahwa pada waktu 1 *millisecond* terdapat perbedaan nilai arus pada kondisi normal dan hubung singkat 3 fasa, sehingga pada waktu 1 *millisecond* SISFCL mendeteksi adanya gangguan hubung singkat dan membatasi arus hubung singkat pada waktu 5 *milliseconds*.

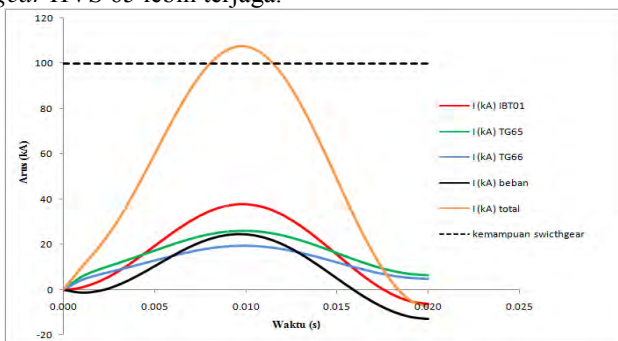


**Gambar 4.5** Analisa penggunaan SISFCL pada arus hubung singkat 3 fasa

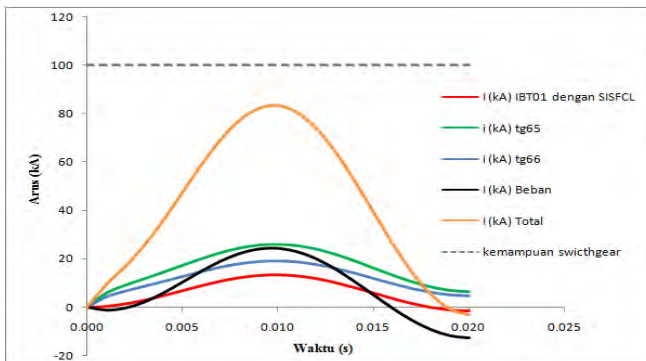
Pada kondisi *recovery* arus dc mengalir pada kumparan dc maka nilai kuat medan (H) akan meningkat kembali dan nilai impedansi akan berkurang atau seperti impedansi udara. Dari kondisi gangguan hingga kondisi *recovery* dibutuhkan waktu sekitar 800 *milliseconds*.

Pada gambar 4.6 menunjukkan bahwa arus akibat gangguan hubung singkat 3 fasa pada  $\frac{1}{2}$  cycle di *switchgear* HVS 65 melebihi rating kemampuan *device capability* dari *switchgear* HVS 65 jika tidak dipasang SISFCL.

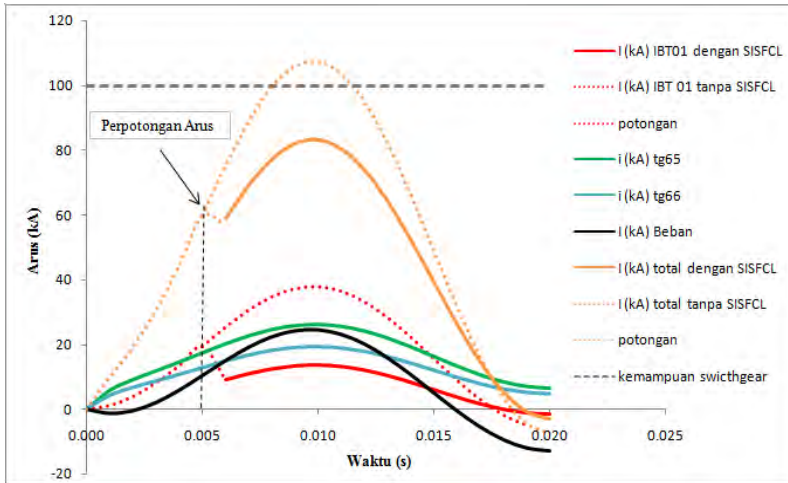
pada gambar 4.6 s/d 4.7 menunjukkan bentuk gelombang arus hubung singkat 3 fasa dan kontribusi arus pada HVS 65 tanpa SISFCL dan dengan SISFCL. Analisa pemasangan SISFCL ketika membatasi kontribusi arus dari IBT01 yang masuk ke *switchgear* HVS 65 ditunjukkan pada gambar 4.8. Dengan pemasangan SISFCL ketika terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa pada  $\frac{1}{2}$  cycle keamanan dari *switchgear* HVS 65 lebih terjaga.



**Gambar 4.6** Gelombang arus hubung singkat 3 fasa tanpa SISFCL pada  $\frac{1}{2}$  cycle pertama



**Gambar 4.7** Gelombang arus hubung singkat 3 fasa dengan SISFCL pada  $\frac{1}{2}$  cycle pertama



**Gambar 4.8** Analisa pemasangan SISFCL ketika membatasi arus kontribusi dari feeder transformator IBT 01 pada ½ cycle pertama

Pemasangan SISFCL pada IBT 01 yang terhubung pada *switchgear* HVS 65 dapat membatasi arus hubung singkat yang berasal dari kontribusi IBT 01 dari 15 kA menjadi 5.1 kA, dengan perhitungan dari persamaan 4.1 diatas.

$$Z = \frac{V}{\sqrt{3}} \times \left( \frac{1}{I_a} - \frac{1}{I_b} \right)$$

$$Z = \frac{6}{\sqrt{3}} \times \left( \frac{1}{5.1} - \frac{1}{15.1} \right)$$

$$Z = 0.46 \text{ Ohm}$$

Arus hubung singkat 3 fasa pada HVS 65 setelah pemasangan SISFCL lebih kecil dari device capability peralatan dan peralatan masih dalam kondisi aman. Kontribusi arus yang masuk pada *switchgear* HVS 65 setelah pemasangan SISFCL diperlihatkan pada tabel 4.5 dibawah.

**Tabel 4.5** Kontribusi arus hubung singkat 3 fasa kondisi ½ cycle setelah pemasangan SISFCL pada *switchgear* HVS 65 case 1 konfigurasi jaringan (IBT01, STG 11,5 MW dan STG 8.5 MW)

NO	Bus HVS 65		
	Arus kontribusi ke HVS 65	I <sub>sc</sub> maks symetri (kA)	I maks Asymetri Peak (kA)
1	IBT01	5.1	13.8
2	TG65	12.1	32.7
3	TG66	8.9	24.03
4	N310	1.1	2.97
5	N303	2	5.4
6	N306	0.3	0.81
7	N315	1.1	2.97
8	N316	0.8	2.2
9	N301	4.2	11.4
10	LSS61-UT	0.4	1.1
11	SS ALF-3	0.2	0.54
	<b>Total</b>	<b>36.2</b>	<b>98</b>

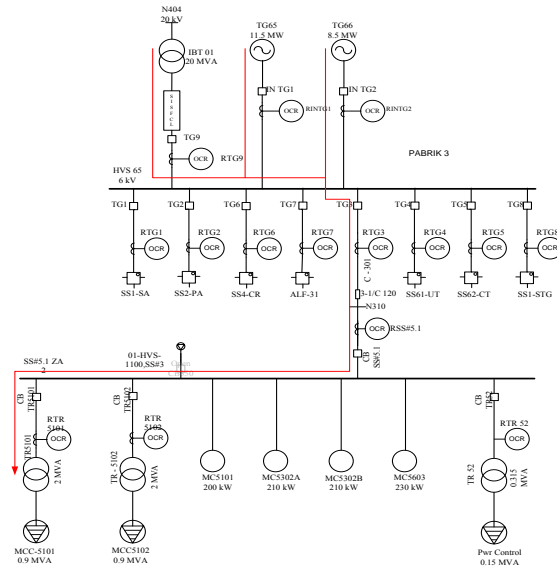
### 4.3.3 Operasi Kerja SISFCL

Operasi kerja SISFCL berdasarkan letak penempatan dari SISFCL. penempatan SISFCL berada pada feeder transformator IBT01 tegangan 6 kV. Pada tabel 4.3 s/d 4.4 kontribusi arus *case 1* dan kontribusi arus *case 2* menunjukkan bahwa SISFCL hanya akan aktif ketika kondisi *case 1*. Pada kondisi *case 1* konfigurasi jaringan (IBT-01 – pembangkit TG65 dan pembangkit TG66) ketika terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa kondisi ½ cycle di *switchgear* HVS 65 arus hubung singkat sangat besar melebihi kemampuan *switchgear* HVS 65. Sedangkan pada *case 2* konfigurasi jaringan (pembangkit TG65 dan pembangkit TG66) ketika terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa kondisi ½ cycle arus hubung singkat masih dibawah kemampuan *switchgear* HVS 65.

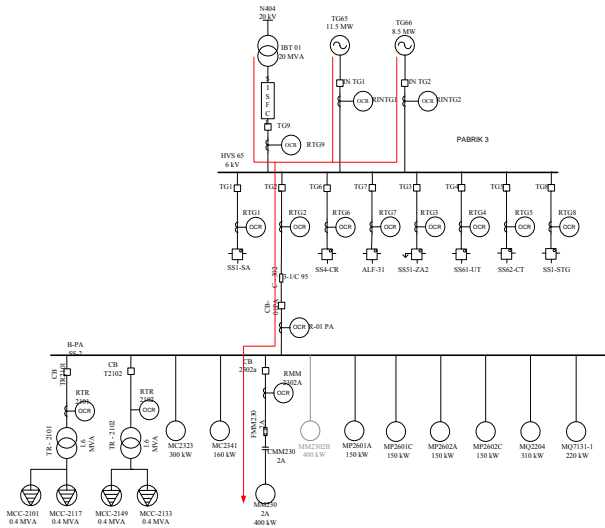
### 4.4 Pemilihan Tipikal Koordinasi pada Pabrik III PT. Petrokimia Gresik

Dalam melakukan koordinasi proteksi rele arus lebih, untuk memudahkan dalam melakukan setting rele dengan cara memilih tipikal. Tipikal ini yang digunakan untuk mewakili koordinasi pada sistem kelistrikan Pabrik III PT. Petrokimia Gresik. Untuk tipikal yang saya ambil adalah koordinasi pada sistem *existing*/awal yang telah ada. Berikut adalah tipikal yang saya ambil :

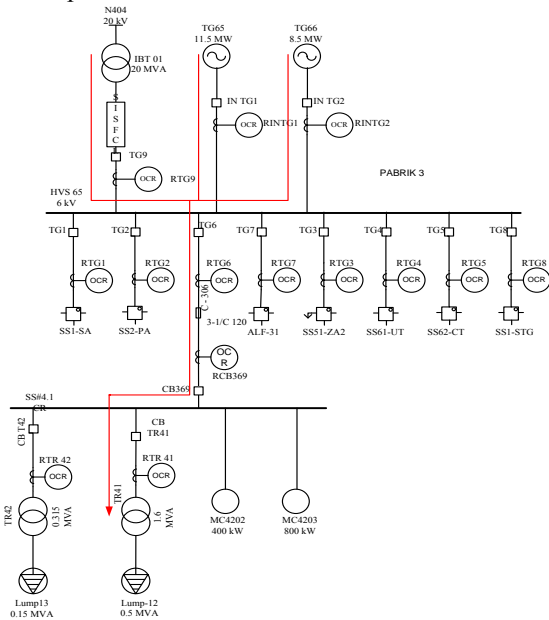
1. Koordinasi rele arus lebih mulai dari rele RTR5101, rele SS5.1 ZA, rele RTG3, rele IBT01, rele RINTG1 dan rele RINTG2, dimana rele yang dikoordinasikan sebanyak 5 rele yang merupakan tipikal dari pembangkit TG65, pembangkit TG66 dan transformator IBT01 ke beban trafo 5101. Pemilihan tipikal ini atas dasar koordinasi dari generator ke trafo terbesar.
2. Koordinasi rele arus lebih mulai dari fuse FMM2302A, rele RMM2302A, rele R-01 PA, rele RTG2, rele IBT01, rele RINTG1 dan rele RINTG2, dimana rele yang dikoordinasikan sebanyak 5 rele yang merupakan tipikal dari pembangkit TG65, pembangkit TG66 dan transformator IBT01 ke beban motor MM2302A. Pemilihan tipikal ini atas dasar koordinasi dari generator ke motor terbesar.
3. Koordinasi rele arus lebih mulai dari rele RTR41, rele R369, rele RTG6, rele IBT01, rele RINTG1 dan rele RINTG2, dimana rele yang dikoordinasikan sebanyak 5 rele yang merupakan tipikal dari pembangkit TG65, pembangkit TG66 dan transformator IBT01 ke beban trafo TR41.



**Gambar 4.9** Tipikal koordinasi 1



Gambar 4.10 Tipikal koordinasi 2



Gambar 4.11 Tipikal koordinasi 3



## 4.5 Analisa Hubung Singkat

pada saat akan menganalisa koordinasi proteksi perlu dilakukan Analisa hubung singkat. Analisa hubung singkat ini dengan menggunakan *software* ETAP. Analisa hubung singkat ini sangat penting karena digunakan untuk menentukan *setting* rele pengaman arus lebih. Terdapat dua parameter untuk menghitung arus hubung singkat yang akan digunakan untuk setting rele pengaman yaitu, hubung singkat minimum dan hubung singkat maksimum. Hubung singkat minimum adalah hubung singkat antar fasa ( $2\phi$ ) pada saat 30 cycle atau *steady state* pada pembangkitan minimum. Sedangkan hubung singkat maksimum merupakan hubung singkat 3 fasa ( $3\phi$ ) pada saat 4 cycle dan pembangkitan maksimum. Analisa hubung singkat ini hanya dilakukan pada tipikal bus yang dipilih.

### 4.5.1 Hubung Singkat Minimum 30 Cycle

Hubung singkat minimum 30 cycle digunakan untuk menentukan batasan pickup pada *setting* rele arus lebih seketika (*instantaneous*). Sehingga diharapkan apabila terjadi gangguan hubung singkat pada arus gangguan yang minimum, rele dapat bekerja dengan seketika dan bekerja sesuai dengan *time delay* yang telah ditentukan. Pada sistem kelistrikan PT. Petrokimia Gresik pembangkitan minimum yaitu ketika generator KEBB (1x32 MW) tidak aktif. Hasil simulasi hubung singkat minimum dua fasa pada 30 cycle pembangkitan minimum pada bus tipikal yang dipilih diperlihatkan pada tabel 4.6 dibawah.

**Tabel 4.6** Data hubung singkat minimum pada 30 cycle tanpa SISFCL

NO	ID BUS	Tegangan	Arus Hubung Singkat Minimum 30 Cycle
1	HVS 65	6 kV	24.37 kA
2	SS5.1 ZA	6 kV	24.13 kA
3	B-PA SS2	6 kV	24.11 kA
4	SS4.1 CR	6 kV	24.13 kA

**Tabel 4.7** Data hubung singkat minimum pada 30 cycle dengan SISFCL

NO	ID BUS	Tegangan	Arus Hubung Singkat Minimum 30 Cycle
1	HVS 65	6 kV	17.07 kA
2	SS5.1 ZA	6 kV	16.96 kA
3	B-PA SS2	6 kV	16.95 kA
4	SS4.1 CR	6 kV	16.96 kA

#### 4.5.2 Hubung Singkat Maximum 4 Cycle

Hubung singkat maksimum 4 cycle merupakan gangguan hubung singkat yang digunakan sebagai setting rele dengan setting keterlambatan waktu 0.08s-0.5s. Pada kelistrikan PT. Petrokimia Gresik hubung singkat maksimum terjadi ketika pembangkita maksimum yaitu keika semua pembangkit aktif termasuk generator KEBB (1x32 MW). Pada simulasi di software ETAP gangguan hubung singkat maksimum dilakukan pada bus yang ada pada tipikal yang dipilih. Berikut hasil simulasi hubung singkat maksimum 4 cycle diperlihatkan pada tabel 4.8 dibawah.

**Tabel 4.8** Data hubung singkat maksimum pada 4 cycle tanpa SISFCL

NO	ID BUS	Tegangan	Arus Hubung Singkat Maksimum 4 Cycle
1	HVS 65	6 kV	41.04 kA
2	SS5.1 ZA	6 kV	40.45 kA
3	B-PA SS2	6 kV	40.42 kA
4	SS4.1 CR	6 kV	40.45 kA

**Tabel 4.9** Data hubung singkat maksimum pada 4 cycle dengan SISFCL

NO	ID BUS	Tegangan	Arus Hubung Singkat Maksimum 4 Cycle
1	HVS 65	6 kV	31.5 kA
2	SS5.1 ZA	6 kV	31.16 kA
3	B-PA SS2	6 kV	31.15 kA
4	SS4.1 CR	6 kV	31.16 kA

## 4.6 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa

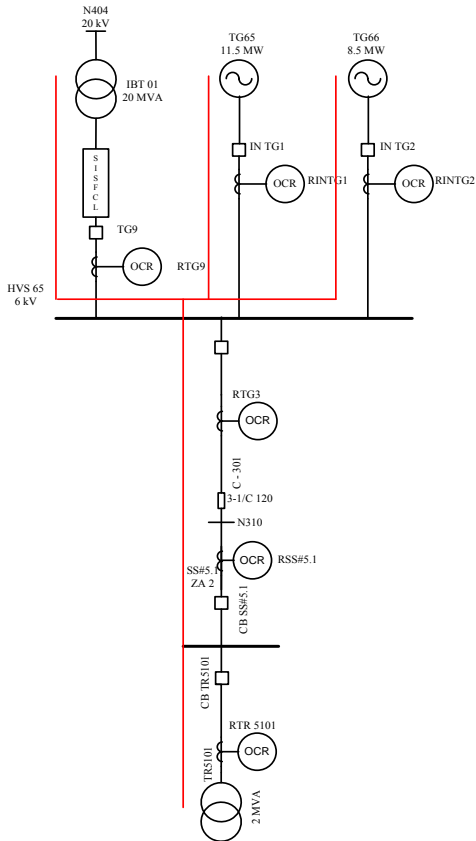
Koordinasi rele arus lebih dimaksudkan untuk menganalisa ulang setting rele sebelum dan sesudah pemasangan SISFCL pada sistem kelistrikan pabrik III. Pada tugas akhir ini perlu dilakukan *setting* ulang koordinasi rele arus lebih. Koordinasi ulang dikarenakan pemasangan dari SISFCL terdapat perubahan arus hubung singkat yang ditunjukkan pada tabel 4.6 s/d 4.9 diatas.

Koordinasi rele arus lebih gangguan fasa merupakan pengaman pada peralatan listrik yang bertujuan mengamankan atau dapat mengisolasi peralatan ketika terjadi gangguan hubung singkat dan *overload*.

Data-data yang diperlukan untuk menentukan koordinasi rele arus lebih adalah nilai hubung singkat minimum 30 cycle, hubung singkat maksimum 4 cycle, dan arus nominal beban penuh. Pada perhitungan *setting* rele arus lebih ini akan dihitung nilai *lowset*, *Highset*, dan *time dial*, sedangkan untuk *time delay* menggunakan *gradding time* 0.2s-0.4s.

### 4.6.1 Analisis Koordinasi Rele Arus Lebih Tipikal 1

Sistem pengaman pada tipikal 1 terdiri dari rele RTR5101, rele RSS#5.1, rele RTG3, rele RTG9, rele RINTG1, rele RINTG2. Koordinasi tipikal 1 dimulai dari bus SS#5.1 ZA 2 sampai pembangkit TG65, TG66 dan transformator IBT01. Rele RTR5101 merupakan pengaman dari TR5101, kemudian rele RSS#5.1 digunakan untuk mengamankan *switchgear* SS#5.1 ZA2 dan *backup* dari rele sebelumnya. Rele RTG3 terletak satu *feeder* dengan rele RSS#5.1 ZA2 pengaturan rele ini dapat disamakan dengan RSS#5.1. rele RTG9, rele RINTG1, dan rele RINTG2 digunakan sebagai *backup* rele sebelumnya dan mengamankan *switchgear* HVS 65 dari arus kontribusi transformator IBT01, pembangkit TG65, TG66. *Single line diagram* tipikal 1 ditunjukkan pada gambar 4.12 dibawah.



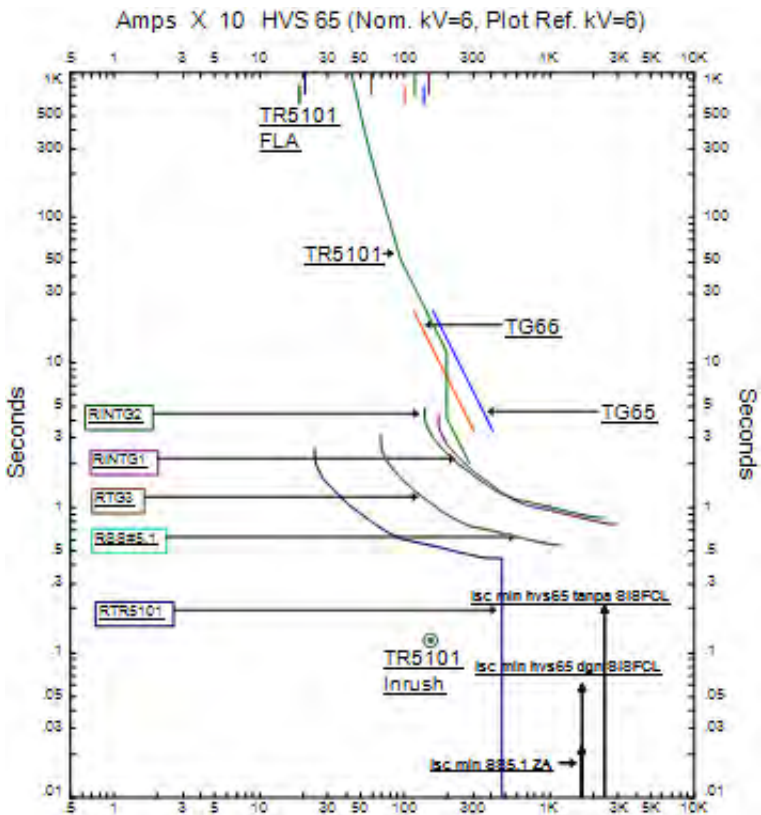
**Gambar 4.12** Single line diagram tipikal 1

#### 4.6.1.1 Data Awal Tipikal 1

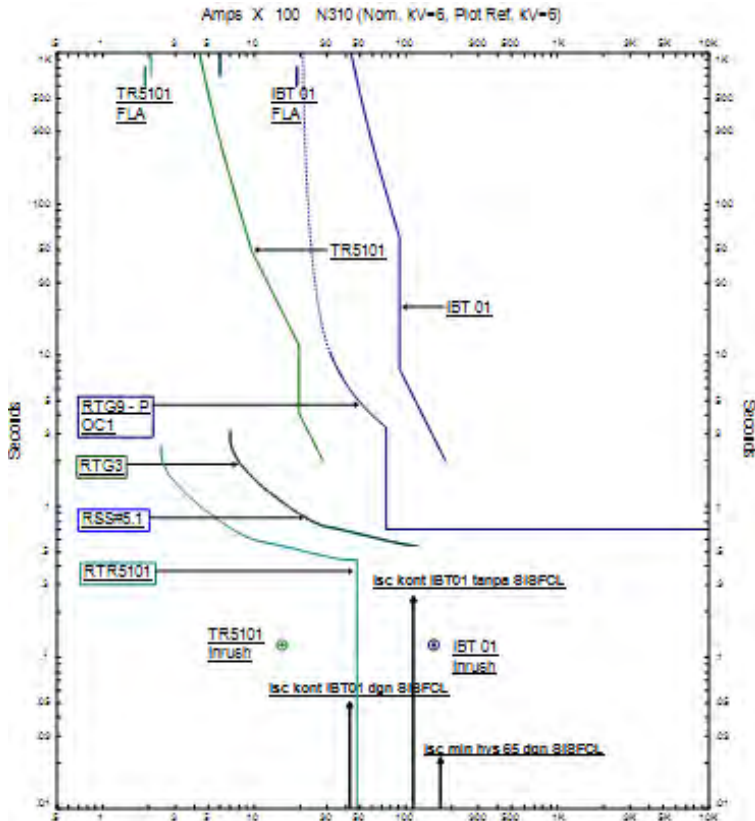
Data awal rele dan hasil plot kurva kerja dari rele arus lebih pada tipikal 1 dapat dilihat pada tabel 4.10 dan gambar 4.13 s/d 4.14 dibawah.

**Tabel 4.10** Data awal tipikal 1

<b>Relay ID</b>	<b>CT ratio</b>	<b>Setting</b>	
RTR5101	300/5	<i>Pickup Lowset</i>	3.5
		<i>Time dial</i>	2.1
		<i>Pickup Highset</i>	80
		<i>Time delay</i>	-
RSS5.1	600/5	<i>Pickup Lowset</i>	5
		<i>Time dial</i>	2.6
		<i>Pickup Highset</i>	-
		<i>Time delay</i>	-
RTG	600/5	<i>Pickup Lowset</i>	5
		<i>Time dial</i>	2.6
		<i>Pickup Highset</i>	-
		<i>Time delay</i>	-
RINTG1	1500/5	<i>Pickup Lowset</i>	5
		<i>Time dial</i>	3.6
		<i>Pickup Highset</i>	-
		<i>Time delay</i>	-
RINTG2	2000/5	<i>Pickup Lowset</i>	3
		<i>Time dial</i>	4
		<i>Pickup Highset</i>	-
		<i>Time delay</i>	-
RTG9	1250/5	<i>Pickup Lowset</i>	1.7In
		<i>Time dial</i>	0.6
		<i>Pickup Highset</i>	6In
		<i>Time delay</i>	0.7s



Gambar 4.13 Hasil Plot setelah rele awal tipikal 1



**Gambar 4.14** Hasil Plot setelan rele awal tipikal 1

#### 4.6.1.2 Studi Koordinasi Tipikal 1

Hasil plot setelan rele awal pada tipikal 1 dapat dilihat pada gambar 4.13 s/d 4.14. pada kondisi awal tipikal 1 terdapat beberapa yang perlu diperhitungkan diantaranya :

1. Sistem koordinasi proteksi sebelum adanya pemasangan SISFCL sudah baik, namun dengan adanya pemasangan SISFCL arus hubung singkat semakin kecil sehingga diperlukan suatu studi koordinasi proteksi ulang.
2. Pada rele RTG3 *setting time dial* terlalu besar, dengan berkurangnya arus hubung singkat mengakibatkan kerja rele

semakin lama. Suatu rele pengaman harus bisa dengan cepat bekerja ketika terjadi suatu gangguan.

3. Pada rele RTG9 *setting pickup highest* sangat besar, sehingga ketika arus hubung singkat berkurang akibat pemasangan SISFCL rele tidak dapat bekerja dengan cepat.

Perhitungan ulang *setting* rele adalah sebagai berikut :

- **Rele RTR5101**

<i>Manufacturer</i>	: HITACHI
<i>Model</i>	: IO-CL-B1
<i>Curve Type</i>	: <i>very Inverse Time</i>
<i>CT Ratio</i>	: 300 / 5
Isc min bus ss5.1 ZA	: 16.96 kA
Isc max bus ss5.1 ZA	: 31.16 kA
FLA Primer TR5101	: 192.5 A

*Time Overcurrent Pickup*

$$1.05 \times \text{FLA primer TR5101} \leq I_{set} \leq 1.4 \times \text{FLA primer TR5101}$$

$$\frac{1.05 \times \text{FLA primer TR5101}}{n_{CT}} \leq \text{Tap} \leq \frac{1.4 \times \text{FLA primer TR5101}}{n_{CT}}$$

$$\frac{1.05 \times 192.5}{\frac{300}{5}} \leq \text{Tap} \leq \frac{1.4 \times 192.5}{\frac{300}{5}}$$

$$3.36 \leq \text{Tap} \leq 4.49$$

Dipilih Tap = 3.5

$$I_{set} = 210 \text{ A}$$

*Time Dial*

Dipilih waktu operasi (t) = 0.1 s

$$t = \frac{K \times T_d}{\beta \times \left[ \left( \frac{1}{I_{EB}} \right)^\alpha - 1 \right]}$$

$$T_d = \frac{t \times \beta \times \left[ \left( \frac{1}{I_{EB}} \right)^\alpha - 1 \right]}{K}$$

$$T_d = \frac{t \times \beta \times \left[ \left( \frac{I_{sc \text{ max SS } 5.1 \text{ ZA}}}{\text{tap} \times n_{CT}} \right)^\alpha - 1 \right]}{13.5}$$

$$T_d = \frac{0.1 \times 1.5 \times \left[ \left( \frac{31160}{3.5 \times \frac{300}{5}} \right)^\alpha - 1 \right]}{13.5}$$

$$T_d = 1.6$$

*Instantaneous Pickup*



$$I_{sc} \max \text{ bus N312} \times \frac{kv \text{ sekunder}}{kv \text{ primer}} \leq I_{\gg} \leq 0.8 \times I_{sc} \min \text{ SS 5.1}$$

$$45340 \times \frac{0.38}{6} \leq I_{\gg} \leq 0.8 \times 1690$$

$$2871.5 \leq I_{\gg} \leq 13568$$

$$\frac{2871.5}{\frac{nCT}{500}} \leq \text{Tap} \leq \frac{13568}{\frac{nCT}{500}}$$

$$\frac{2871.5}{\frac{300}{5}} \leq \text{Tap} \leq \frac{13568}{\frac{300}{5}}$$

$$47.8 \leq \text{Tap} \leq 226.13$$

Dipilih Tap = 65

$$I_{\gg} = 3900A$$

- **Rele RSS 5.1**

*Manufacturer* : HITACHI

*Model* : IO-C-B1

*Curve Type* : very Inverse Time

*CT Ratio* : 600 / 5

*Isc min hvs 65* : 17.07 kA

*Isc max bus hvs 65* : 31.5 kA

*Time Overcurrent Pickup*

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

$$\frac{1.05 \times \text{FLA}}{\frac{nCT}{500}} \leq \text{Tap} \leq \frac{1.4 \times \text{FLA}}{\frac{nCT}{500}}$$

$$\frac{1.05 \times 504.72}{\frac{600}{5}} \leq \text{Tap} \leq \frac{1.4 \times 504.72}{\frac{600}{5}}$$

$$4.42 \leq \text{Tap} \leq 5.89$$

Dipilih Tap = 5

Iset = 600 A

*Time Dial*

Dipilih waktu operasi (t) = 0.35 s

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

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

$$T_d = \frac{t \times \beta \times \left[ \left( \frac{I_{sc \text{ max HVS } 65}}{\text{tap} \times nCT} \right)^2 - 1 \right]}{13.5}$$

$$T_d = \frac{0.35 \times 1.5 \times \left[ \left( \frac{31500}{5 \times \frac{600}{5}} \right)^2 - 1 \right]}{13.5}$$

$$T_d = 2$$

- Rele RTG3 di *setting* sama dengan rele SS 5.1

- **Rele RINTG1**

<i>Manufacturer</i>	: HITACHI
<i>Model</i>	: IO-C-B1
<i>Curve Type</i>	: <i>very Inverse Time</i>
<i>CT Ratio</i>	: 1500 / 5
Isc min kontribusi TG65	: 7.36 kA
Isc max kontribusi TG65	: 12.1 kA
FLA TG65	: 1383 A

Time Overcurrent Pickup

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

$$\frac{1.05 \times FLA}{nCT} \leq \text{Tap} \leq \frac{1.4 \times FLA}{nCT}$$

$$\frac{1.05 \times 1383}{\frac{1500}{5}} \leq \text{Tap} \leq \frac{1.4 \times 1383}{\frac{1500}{5}}$$

$$4.8 \leq \text{Tap} \leq 6.45$$

Dipilih Tap = 5  
Iset = 1500 A

Time Dial

Dipilih waktu operasi (t) = 0.7 s

$$t = \frac{K \times T_d}{\beta \times \left[ \left( \frac{I}{I_{EB}} \right)^2 - 1 \right]}$$

$$T_d = \frac{t \times \beta \times \left[ \left( \frac{I}{I_{EB}} \right)^2 - 1 \right]}{K}$$

$$T_d = \frac{t \times \beta \times \left[ \left( \frac{I_{sc \text{ max kontribusi TG65}}}{\text{tap} \times nCT} \right)^2 - 1 \right]}{13.5}$$

$$T_d = \frac{0.7 \times 1.5 \times \left[ \left( \frac{12100}{3 \times \frac{1500}{5}} \right)^1 - 1 \right]}{13.5}$$

$$T_d = 0.3$$

$$T_d \geq 0.3, \text{ dipilih } T_d = 3.2$$

- **Rele RINTG2**

<i>Manufacturer</i>	: HITACHI
<i>Model</i>	: IO-C-B1
<i>Curve Type</i>	: <i>very Inverse Time</i>
<i>CT Ratio</i>	: 2000 / 5
Isc min kontribusi TG66	: 5.44 kA
Isc max kontribusi TG66	: 8.94 kA
FLA TG66	: 1022 A

Time Overcurrent Pickup

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

$$\frac{1.05 \times \text{FLA}}{nCT} \leq \text{Tap} \leq \frac{1.4 \times \text{FLA}}{nCT}$$

$$\frac{1.05 \times 1022}{\frac{2000}{5}} \leq \text{Tap} \leq \frac{1.4 \times 1022}{\frac{2000}{5}}$$

$$2.7 \leq \text{Tap} \leq 3.58$$

$$\text{Dipilih Tap} = 3$$

$$\text{Iset} = 1200 \text{ A}$$

Time Dial

$$\text{Dipilih waktu operasi (t)} = 0.7 \text{ s}$$

$$t = \frac{K \times T_d}{\beta \times \left[ \left( \frac{I}{I_{EB}} \right)^n - 1 \right]}$$

$$T_d = \frac{t \times \beta \times \left[ \left( \frac{I}{I_{EB}} \right)^n - 1 \right]}{K}$$

$$T_d = \frac{t \times \beta \times \left[ \left( \frac{\text{Isc max kontribusi tg66}}{\text{tap} \times nCT} \right)^1 - 1 \right]}{13.5}$$

$$T_d = \frac{0.7 \times 1.5 \times \left[ \left( \frac{8940}{3 \times \frac{2000}{5}} \right)^1 - 1 \right]}{13.5}$$

$$T_d = 0.5$$

$$T_d \geq 0.5, \text{ dipilih } T_d = 3.5$$

- **Rele RTG9**

Manufacturer	: ABB
Model	: REF541
Curve Type	: normal <i>Inverse Time</i>
CT Ratio	: 1250 / 5
Isc min kontribusi IBT 01	: 4.31 kA
Isc max kontribusi IBT 01	: 5.14 kA
FLA sekunder IBT01	: 1925 A

Time Overcurrent Pickup

$$1.05 \times \text{FLA sekunder IBT01} \leq I_{set} \leq 1.4 \times \text{FLA sekunder IBT01}$$

$$\frac{1.05 \times \text{FLA sekunder IBT01}}{CT_{primer}} I_n \leq \text{tap} \leq \frac{1.4 \times \text{FLA LV IBT01}}{CT_{primer}} I_n$$

$$\frac{1.05 \times 1925}{1250} I_n \leq \text{tap} \leq \frac{1.4 \times 1925}{1250} I_n$$

$$1.6 I_n \leq \text{tap} \leq 2.1 I_n$$

Dipilih Tap = 1.7 I<sub>n</sub>

$$I_{set} = 1.7 \times 1250 = 2125 \text{ A}$$

Time Dial

Dipilih waktu operasi (t) = 0.7 s

$$t = \frac{K \times T_d}{\beta \times \left[ \left( \frac{I}{I_{EB}} \right)^\alpha - 1 \right]}$$

$$T_d = \frac{t \times \beta \times \left[ \left( \frac{I}{I_{EB}} \right)^\alpha - 1 \right]}{K}$$

$$T_d = \frac{t \times \beta \times \left[ \left( \frac{I_{sc \text{ max kontribusi IBT 01}}{\text{tap} \times CT_{primary}} \right)^{0.02} - 1 \right]}{0.14}$$

$$T_d = \frac{0.7 \times 2.97 \times \left[ \left( \frac{5140}{1.7 \times 1250} \right)^{0.02} - 1 \right]}{0.14}$$

$$T_d = 0.26$$

T<sub>d</sub> ≥ 0.26, dipilih T<sub>d</sub> = 0.3

Instantaneous Pickup

$$1.6 \times \text{FLA IBT01} \leq I_{\gg} \leq 0.8 \times \text{Isc min kontribusi IBT01}$$

$$\frac{1.6 \times \text{FLA IBT01}}{CT_{primer}} I_n \leq \text{Tap} \leq \frac{0.8 \times \text{Isc min kontribusi IBT01}}{CT_{primer}} I_n$$

$$\frac{3080}{1250} I_n \leq \text{Tap} \leq \frac{0.8 \times 4310}{1250} I_n$$

$$2.5 \text{ In} \leq \text{Tap} \leq 2.8 \text{ In}$$

Dipilih Tap = 2.7 In

$$\text{Iset} = 2.7 \times 1250 = 3375 \text{ A}$$

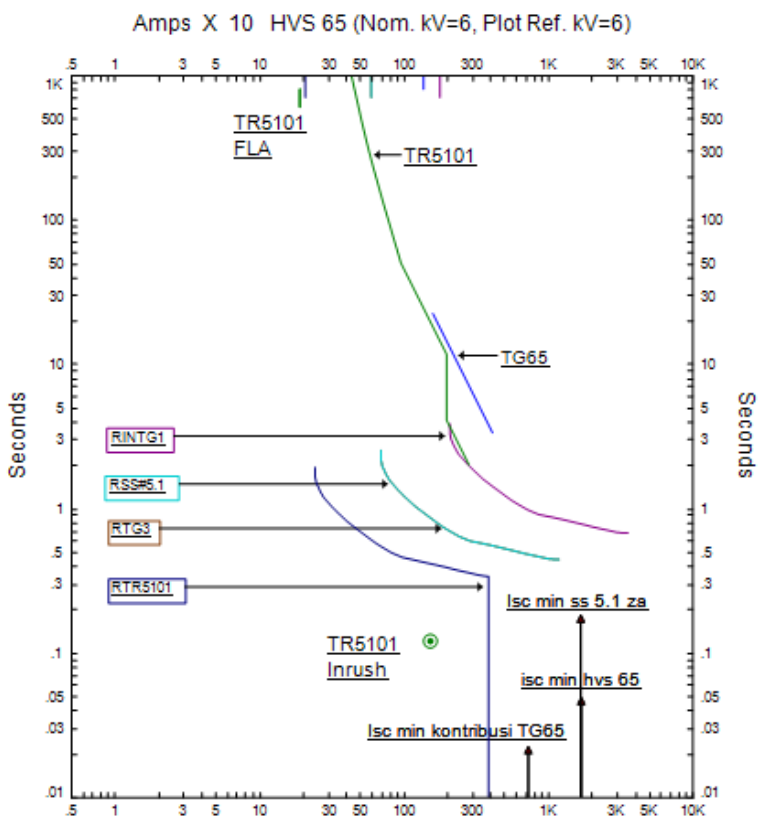
Time Delay

Time delay dipilih 0.7 s

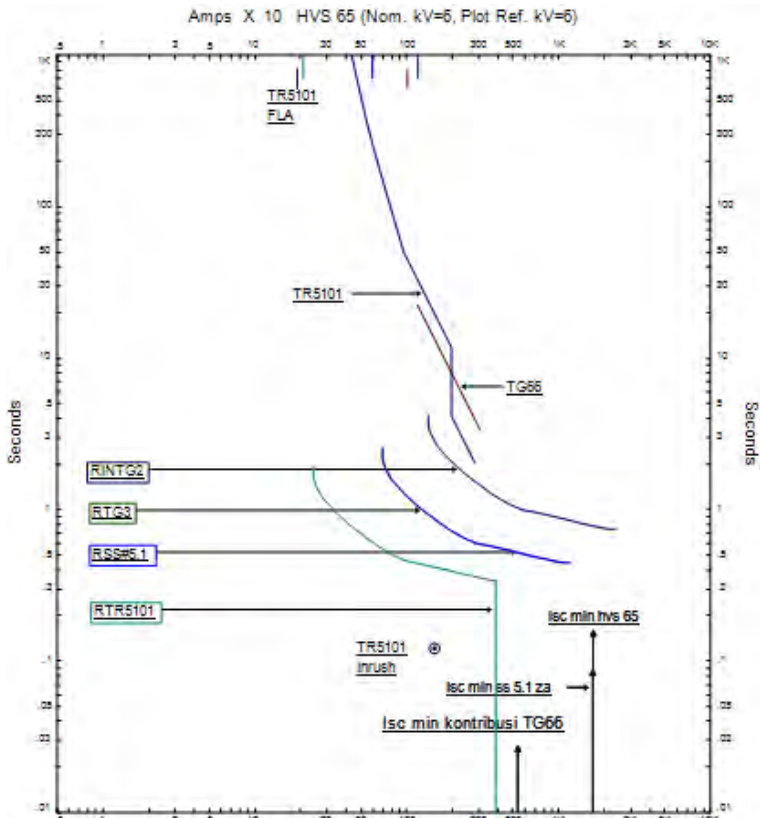
Dengan menggunakan hasil perhitungan diatas, maka kurva kerja rele dapat di *plot* menggunakan *Time Current Curve* pada *Star-Protective Device Coordination* yang terdapat pada *Software* ETAP. Berikut data *resetting* dan hasil *Plot* tipikal 1 seperti pada tabel 4.11 dan gambar 4.15 s/d 4.17.

**Tabel 4.11** Data *resetting* tipikal 1

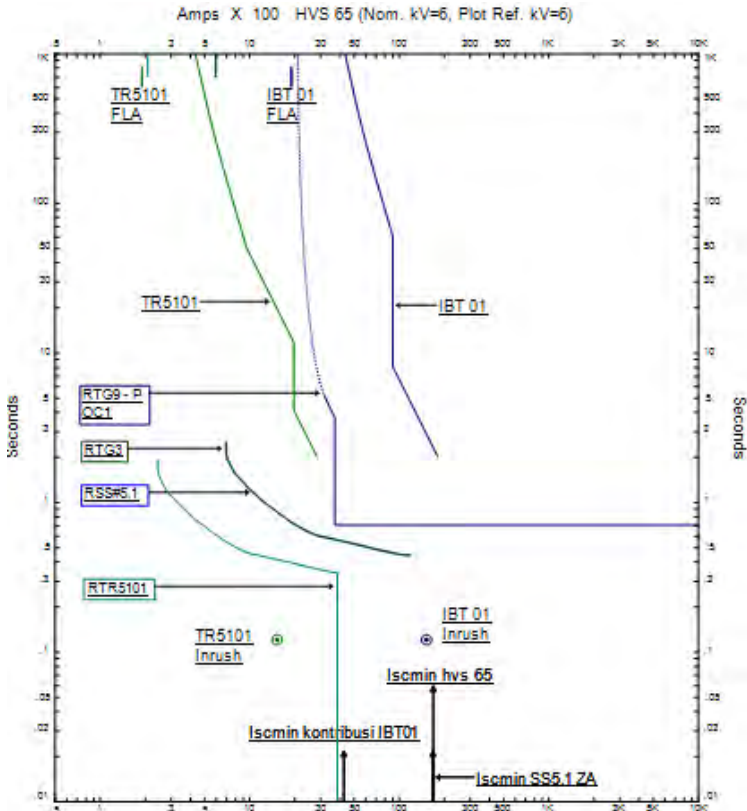
<b>Relay ID</b>	<b>CT ratio</b>	<b>Setting</b>	
RTR5101	300/5	<i>Pickup Lowset</i>	3.5
		<i>Time dial</i>	1.6
		<i>Pickup Highset</i>	65
		<i>Time delay</i>	-
RSS5.1	600/5	<i>Pickup Lowset</i>	5
		<i>Time dial</i>	2
		<i>Pickup Highset</i>	-
		<i>Time delay</i>	-
RTG3	600/5	<i>Pickup Lowset</i>	5
		<i>Time dial</i>	2
		<i>Pickup Highset</i>	-
		<i>Time delay</i>	-
RINTG1	1500/5	<i>Pickup Lowset</i>	5
		<i>Time dial</i>	3.2
		<i>Pickup Highset</i>	-
		<i>Time delay</i>	-
RINTG2	2000/5	<i>Pickup Lowset</i>	3
		<i>Time dial</i>	3.5
		<i>Pickup Highset</i>	-
		<i>Time delay</i>	-
RTG9	1250/5	<i>Pickup Lowset</i>	1.7 In
		<i>Time dial</i>	0.3
		<i>Pickup Highset</i>	2.7 In
		<i>Time delay</i>	0.7 s



**Gambar 4.15** Hasil Plot setelah rele *resetting* tipikal 1 (TR5101-TG65)



**Gambar 4.16** Hasil Plot setelan rele *resetting* tipikal 1 (TR5101-TG66)



**Gambar 4.17** Hasil Plot setelan rele *resetting* tipikal 1 (TR5101-IBT01)

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

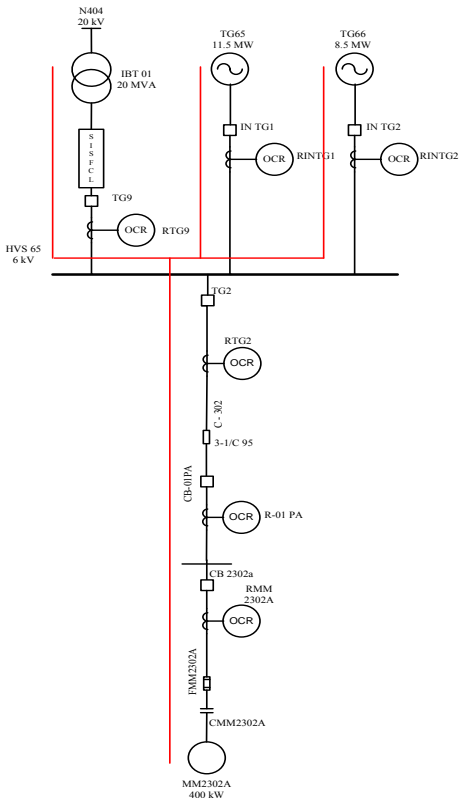
1. Dapat diketahui bahwa dengan pemasangan SIFCL mengakibatkan arus hubung singkat semakin menurun. Pada rele RTR5101, RTG3, RSS5.1, RINTG1, RINTG2 hanya terdapat karakteristik *invers*, maka dilakukan perbaikan dengan memperkecil *time dial*, untuk nilai setting *pickup lowset* tidak ada perubahan.



2. Pada rele RTG9 dilakukan perbaikan dengan memperkecil *setting pickup highset* dan memperkecil nilai *time dial*. Dimana setelah rele ini disesuaikan dengan arus kontribusi dari transformator IBT01 setelah pemasangan SISFCL, rele RTG9 merupakan pemangam dari transformator IBT01.

#### 4.6.2 Analisis Koordinasi Rele Arus Lebih Tipikal 2

Sistem pemangam pada tipikal 2 terdiri dari fuse FMM2302A, rele RMM2302A, rele R-01 PA, rele RTG2, rele IBT01, dan rele RINTG1, rele RINTG2. Koordinasi tipikal 2 dimulai dari motor MM2302a sampai pembangkit TG65, TG66 dan transformator IBT01. *Single line* tipikal 2 ditunjukkan pada gambar 4.18 dibawah.



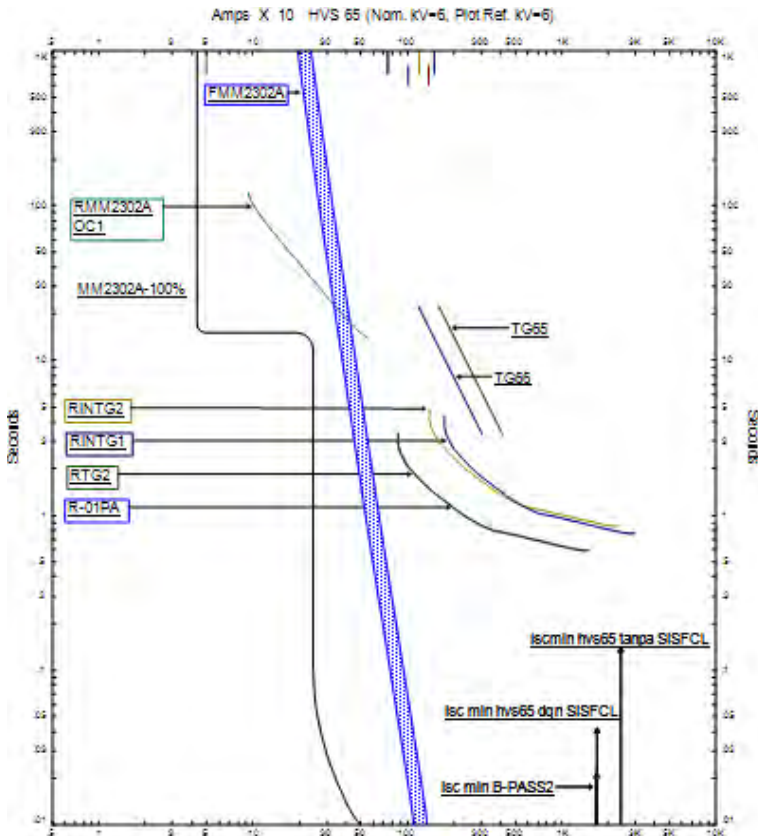
Gambar 4.18 *Single line diagram* tipikal 2

#### 4.6.2.1 Data Awal Tipikal 2

Data awal rele dan hasil plot kurva kerja dari rele arus lebih pada tipikal 2 dapat dilihat pada tabel 4.12 dan gambar 4.19 dibawah.

**Tabel 4.12** Data awal tipikal 2

<b>Relay ID</b>	<b>CT ratio</b>	<b>Setting</b>	
RMM2302A	100/5	<i>Pickup Lowset</i>	2.5
		<i>Time dial</i>	8
		<i>Picup Highset</i>	-
		<i>Time delay</i>	-
R01PA	750/5	<i>Pickup Lowset</i>	5
		<i>Time dial</i>	2.8
		<i>Picup Highset</i>	-
		<i>Time delay</i>	-
RTG2	750/5	<i>Pickup Lowset</i>	5
		<i>Time dial</i>	2.8
		<i>Pickup Highset</i>	-
		<i>Time delay</i>	-
RINTG1	1500/5	<i>Pickup Lowset</i>	5
		<i>Time dial</i>	3.6
		<i>Pickup Highset</i>	-
		<i>Time delay</i>	-
RINTG2	2000/5	<i>Pickup Lowset</i>	3
		<i>Time dial</i>	4
		<i>Pickup Highset</i>	-
		<i>Time delay</i>	-
RTG9	1250/5	<i>Pickup Lowset</i>	1.7In
		<i>Time dial</i>	0.6
		<i>Pickup Highset</i>	6In
		<i>Time delay</i>	0.7s



**Gambar 4.19** Hasil Plot setelan rele awal tipikal 2

#### 4.6.2.2 Studi Koordinasi Tipikal 2

Hasil plot setelan rele awal pada tipikal 2 dapat dilihat pada gambar 4.19. pada kondisi awal tipikal 2 terdapat beberapa yang perlu diperhitungkan diantaranya :

1. Sistem koordinasi proteksi sebelum adanya pemasangan SISFCL sudah baik, namun dengan adanya pemasangan SISFCL arus hubung singkat semakin kecil sehingga diperlukan suatu studi koordinasi proteksi ulang.
2. Pada rele RMM2302A, rele R-01PA dan rele RTG2 *setting time dial* terlalu besar, dengan berkurangnya arus hubung singkat

mengakibatkan kerja rele semakin lama. Suatu rele pengamanan harus bisa dengan cepat bekerja ketika terjadi suatu gangguan.

Perhitungan ulang *setting* rele adalah sebagai berikut :

- **Rele RMM2302A**

*Manufacturer* : HITACHI  
*Model* : IOM-C-B1  
*Curve Type* : *very Inverse Time*  
*CT Ratio* : 100 / 5  
 Isc min bus B-PA SS2 : 16.95 kA  
 Isc max bus B-PA SS2 : 31.15 kA  
 FLA MM2302A : 43.58 A

*Time Overcurrent Pickup*

$$1.05 \times \text{FLA MM2302A} \leq \text{Iset} \leq 1.4 \times \text{FLA MM2302A}$$

$$\frac{1.05 \times \text{FLA}}{\frac{nCT}{100}} \leq \text{Tap} \leq \frac{1.4 \times \text{FLA}}{\frac{nCT}{100}}$$

$$\frac{1.05 \times 43.58}{\frac{100}{5}} \leq \text{Tap} \leq \frac{1.4 \times 43.58}{\frac{100}{5}}$$

$$2.3 \leq \text{Tap} \leq 3.05$$

Dipilih Tap = 2.5  
 Iset = 50 A

*Time Dial*

Dipilih waktu operasi = 0.1 s

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

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

$$Td = \frac{t \times \beta \times \left[ \left( \frac{I_{sc \max \text{ BPA SS2}}}{\text{Tap} \times nCT} \right)^\alpha - 1 \right]}{K}$$

$$Td = \frac{0.1 \times 1.5 \times \left[ \left( \frac{31150}{2.5 \times \frac{100}{5}} \right)^\alpha - 1 \right]}{13.5}$$

$$Td = 6$$

- **Fuse FMM2302A**

*Manufacturer* : GEC ALSTHOM  
*Model* : K81SVX  
*Type* : HRC-CLF  
 FLA : 43.58 A  
 Tegangan : 6 kV  
 Size = 2 x FLA  
       = 2 x 43.58  
       = 87.16, dipilih 80 A

• **Rele R01PA**

*Manufacturer* : HITACHI  
*Model* : io-c-b1  
*Curve Type* : very Inverse Time  
*CT Ratio* : 750 / 5  
 Isc min hvs 65 : 17.07 kA  
 Isc max bus hvs 65 : 31.5 kA

Time Overcurrent Pickup

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

$$\frac{1.05 \times \text{FLA}}{\frac{n\text{CT}}{5}} \leq \text{Tap} \leq \frac{1.4 \times \text{FLA}}{\frac{n\text{CT}}{5}}$$

$$\frac{1.05 \times 624.8}{\frac{750}{5}} \leq \text{Tap} \leq \frac{1.4 \times 624.8}{\frac{750}{5}}$$

$$4.37 \leq \text{Tap} \leq 5.83$$

Dipilih Tap = 5

$$\text{Iset} = 750 \text{ A}$$

Time Dial

Dipilih waktu operasi = 0.35 s

$$t = \frac{K \times T_d}{\beta \times \left[ \left( \frac{I}{I_{EB}} \right)^{\alpha} - 1 \right]}$$

$$T_d = \frac{t \times \beta \times \left[ \left( \frac{I}{I_{EB}} \right)^{\alpha} - 1 \right]}{K}$$

$$T_d = \frac{t \times \beta \times \left[ \left( \frac{I_{sc \max \text{ HVS } 65}}{\text{tap} \times n\text{CT}} \right)^{\alpha} - 1 \right]}{K}$$

$$T_d = \frac{0.35 \times 1.5 \times \left[ \left( \frac{31500}{5 \times \frac{750}{5}} \right)^1 - 1 \right]}{13.5}$$

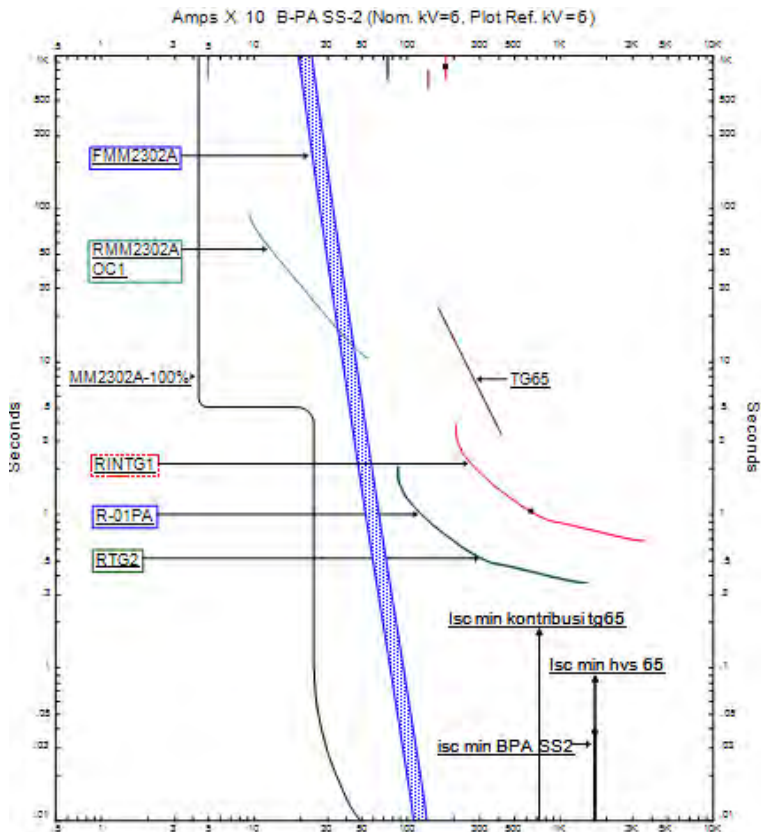
$$T_d = 1.7$$

- RTG2 di *setting* sama dengan rele R01PA
- Rele RINTG1, rele RINTG2, dan rele RTG9 di *setting* sama dengan *setting* tipikal 1.

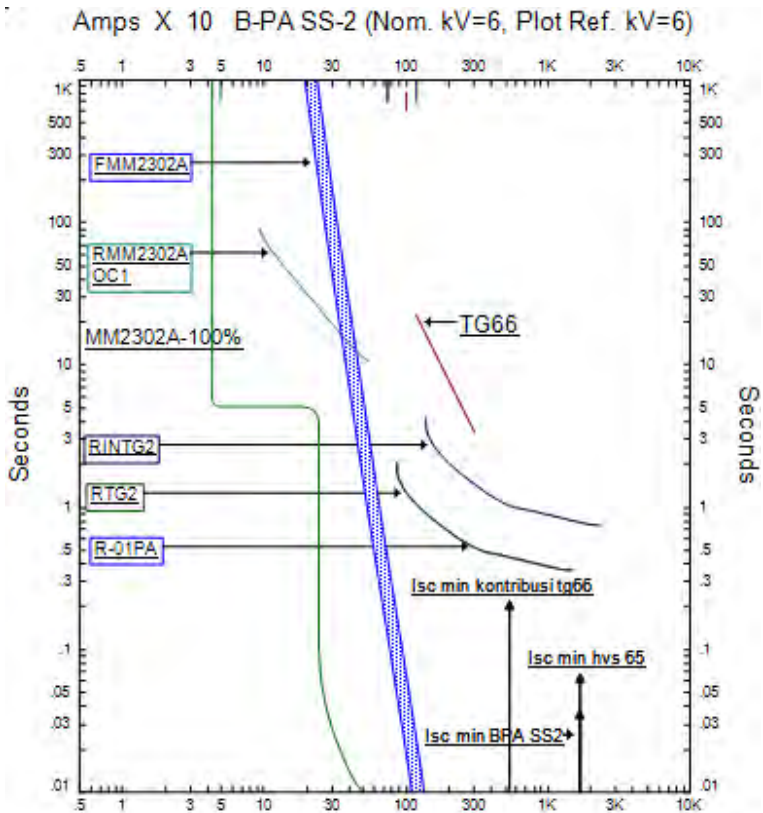
Dengan menggunakan hasil perhitungan diatas, maka kurva kerja rele dapat di *plot* menggunakan *Time Current Curve* pada *Star-Protective Device Coordination* yang terdapat pada *Software* ETAP. Berikut data *resetting* dan hasil *Plot* tipikal 2 seperti pada tabel 4.13 dan gambar 4.20 s/d 4.22.

**Tabel 4.13** Data *resetting* tipikal 2

<i>Relay ID</i>	<i>CT ratio</i>	<i>Setting</i>	
RMM2302A	100/5	<i>Pickup Lowset</i>	2.5
		<i>Time dial</i>	6
		<i>Pickup Highset</i>	-
		<i>Time delay</i>	-
R01PA	750/5	<i>Pickup Lowset</i>	5
		<i>Time dial</i>	1.7
		<i>Pickup Highset</i>	-
		<i>Time delay</i>	-
RTG2	750/5	<i>Pickup Lowset</i>	5
		<i>Time dial</i>	1.7
		<i>Pickup Highset</i>	-
		<i>Time delay</i>	-
RINTG1	1500/5	<i>Pickup Lowset</i>	5
		<i>Time dial</i>	3.2
		<i>Pikcup Highset</i>	-
		<i>Time delay</i>	-
RINTG2	2000/5	<i>Pickup Lowset</i>	3
		<i>Time dial</i>	3.5
		<i>Pickup Highset</i>	-
		<i>Time delay</i>	-
RTG9	1250/5	<i>Pickup Lowset</i>	1.7 In
		<i>Time dial</i>	0.3
		<i>Pikcup Highset</i>	2.7 In
		<i>Time delay</i>	0.7 s

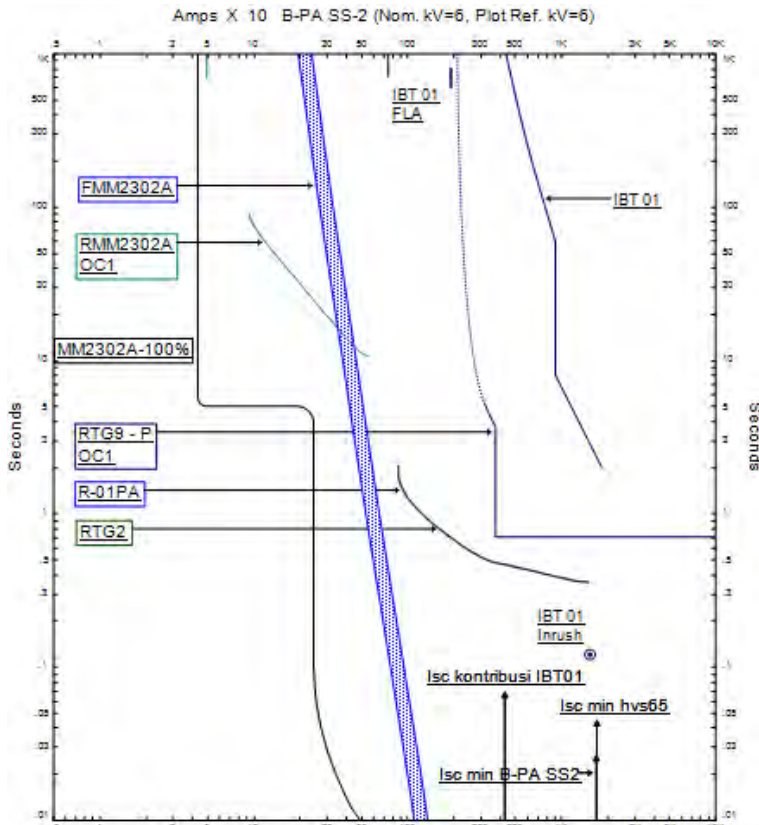


**Gambar 4.20** Hasil Plot setelan rele *resetting* tipikal 2 (MM2302A-TG65)



**Gambar 4.21** Hasil Plot setelan rele *resetting* tipikal 2 (MM2302A-TG66)





**Gambar 4.22** Hasil Plot setelah rele *resetting* tipikal 2 (MM2302A-IBT01)

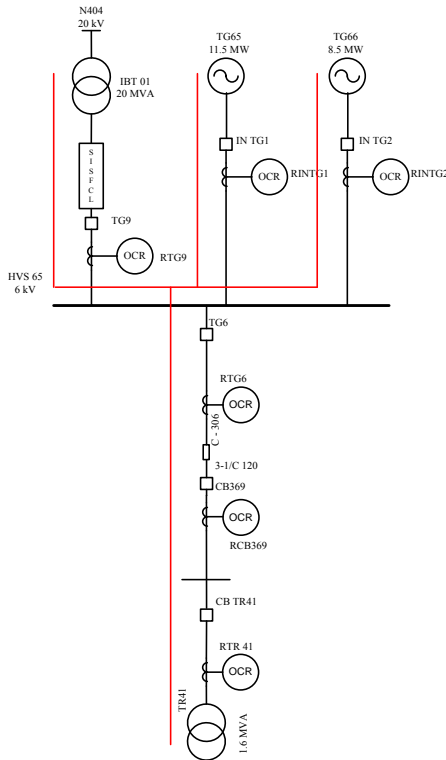
Berdasarkan data *resetting* dan plot kurva kerja rele dari perhitungan ulang pada tipikal 2 terdapat beberapa perbaikan, diantaranya :

1. Dapat diketahui bahwa dengan pemasangan SISFCL mengakibatkan arus hubung singkat semakin menurun. Pada rele RMM2302A, R-01PA, RTG2, RINTG1, RINTG2 hanya terdapat karakteristik *invers*, maka dilakukan perbaikan dengan memperkecil *time dial*, untuk nilai setting *pickup lowset* tidak ada perubahan.

2. Pada rele RTG9 dilakukan perbaikan dengan memperkecil *setting pickup highset* dan memperkecil nilai *time dial*. Dimana setelan rele ini disesuaikan dengan arus kontribusi dari transformator IBT01 setelah pemasangan SISFCL, rele RTG9 merupakan pengaman dari transformator IBT01.
3. Pada fuse FMM2302A sudah sesuai dengan *setting* awal

#### 4.6.3 Analisis Koordinasi Rele Arus Lebih Tipikal 3

Sistem pengaman pada tipikal 3 terdiri dari rele RTR41, rele R369, rele RTG6, rele IBT01, rele RINTG1, dan rele RINTG2. Koordinasi tipikal 3 dimulai dari transformator TR41 sampai pembangkit TG65, TG66 dan transformator IBT01. *Single line* tipikal 3 ditunjukkan pada gambar 4.23 dibawah.



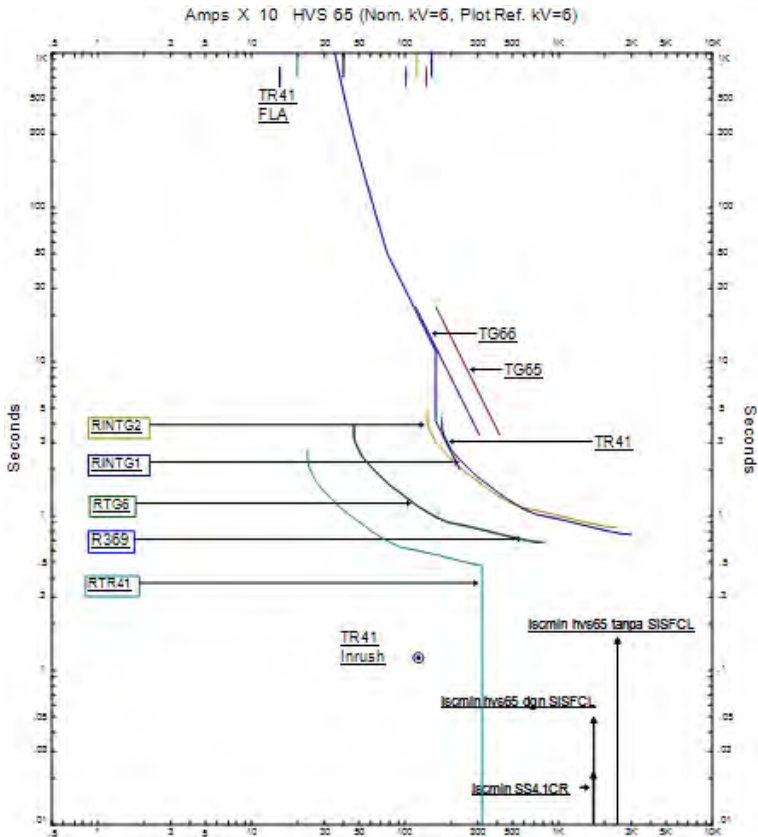
**Gambar 4.23** *Single line diagram* tipikal 3

### 4.6.3.1 Data Awal Tipikal 3

Data awal rele dan hasil plot kurva kerja dari rele arus lebih pada tipikal 3 dapat dilihat pada tabel 4.14 dan gambar 4.24 dibawah.

**Tabel 4.14** Data awal tipikal 3

<b>Relay ID</b>	<b>CT ratio</b>	<b>Setting</b>	
RTR41	200/5	<i>Pickup Lowset</i>	5
		<i>Time dial</i>	2.2
		<i>Pickup Highset</i>	80
		<i>Time delay</i>	-
R369	500/5	<i>Pickup Lowset</i>	4
		<i>Time dial</i>	3.2
		<i>Pickup Highset</i>	-
		<i>Time delay</i>	-
RTG6	500/5	<i>Pickup Lowset</i>	4
		<i>Time dial</i>	3.2
		<i>Pickup Highset</i>	-
		<i>Time delay</i>	-
RINTG1	1500/5	<i>Pickup Lowset</i>	5
		<i>Time dial</i>	3.6
		<i>Pickup Highset</i>	-
		<i>Time delay</i>	-
RINTG2	2000/5	<i>Pickup Lowset</i>	3
		<i>Time dial</i>	4
		<i>Pickup Highset</i>	-
		<i>Time delay</i>	-
RTG9	1250/5	<i>Pickup Lowset</i>	1.7In
		<i>Time dial</i>	0.6
		<i>Pickup Highset</i>	6In
		<i>Time delay</i>	0.7s



**Gambar 4.24** Hasil Plot setelan rele awal tipikal 3

#### 4.6.3.2 Studi Koordinasi Tipikal 3

Hasil plot setelan rele awal pada tipikal 3 dapat dilihat pada gambar 4.24. pada kondisi awal tipikal 3 terdapat beberapa yang perlu diperhitungkan diantaranya :

1. Sistem koordinasi proteksi sebelum adanya pemasangan SISFCL sudah baik, namun dengan adanya pemasangan SISFCL arus hubung singkat semakin kecil sehingga diperlukan suatu studi koordinasi proteksi ulang.

2. Pada rele RTR 41 setting time dial dan pickup highest terlalu besar, sehingga mengakibatkan kerja rele semakin lama.
3. Pada rele 369 dan rele RTG6 *setting time dial* terlalu besar, dengan berkurangnya arus hubung singkat mengakibatkan kerja rele semakin lama. Suatu rele pengaman harus bisa dengan cepat bekerja ketika terjadi suatu gangguan.

Perhitungan ulang *setting* rele adalah sebagai berikut :

• **Rele RTR41**

*Manufacturer* : HITACHI  
*Model* : IO-CL-B1  
*Curve Type* : very Inverse Time  
*CT Ratio* : 200 / 5  
 Isc min bus SS4.1 CR : 16.96 kA  
 Isc max bus SS4.1 CR : 31.16 kA  
 FLA primer TR41 : 154 A

Time Overcurrent Pickup

$$1.05 \times \text{FLA primer TR41} \leq I_{set} \leq 1.4 \times \text{FLA primer TR41}$$

$$\frac{1.05 \times \text{FLA primer TR41}}{nCT} \leq \text{Tap} \leq \frac{1.4 \times \text{FLA primer TR41}}{nCT}$$

$$\frac{1.05 \times 154}{\frac{200}{5}} \leq \text{Tap} \leq \frac{1.4 \times 154}{\frac{200}{5}}$$

$$4.04 \leq \text{Tap} \leq 5.4$$

Dipilih Tap = 5

$$I_{set} = 200 \text{ A}$$

Time Dial

Dipilih waktu operasi = 0.1 s

$$t = \frac{K \times T_d}{\beta \times \left[ \left( \frac{I}{I_{EB}} \right)^{\alpha} - 1 \right]}$$

$$T_d = \frac{t \times \beta \times \left[ \left( \frac{I}{I_{EB}} \right)^{\alpha} - 1 \right]}{K}$$

$$T_d = \frac{t \times \beta \times \left[ \left( \frac{I_{sc \text{ max SS 4.1}}}{\text{tap} \times nCT} \right)^{\alpha} - 1 \right]}{K}$$

$$T_d = \frac{0.1 \times 1.5 \times \left[ \left( \frac{31160}{5 \times \frac{200}{5}} \right)^1 - 1 \right]}{13.5}$$

$$T_d = 1.8$$

Instantaneous Pickup

$$I_{sc \text{ max bus N318}} \times \frac{kv \text{ sekunder}}{kv \text{ primer}} \leq I_{\gg} \leq 0.8 \times I_{sc \text{ min SS 4.1}}$$

$$36350 \times \frac{0.38}{6} \leq I_{\gg} \leq 0.8 \times 16960$$

$$2302.2 \leq I_{\gg} \leq 13568$$

$$\frac{2302.2}{\frac{200}{5}} \leq \text{Tap} \leq \frac{13568}{\frac{200}{5}}$$

$$57.5 \leq \text{Tap} \leq 339.2$$

Dipilih Tap = 70

$$I_{\gg} = 2800A$$

• **Rele R369**

*Manufacturer* : HITACHI

*Model* : IO-C-B1

*Curve Type* : very Inverse Time

*CT Ratio* : 500 / 5

*Isc min hvs 65* : 17.07 kA

*Isc max bus hvs 65* : 31.5 kA

Time Overcurrent Pickup

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

$$\frac{1.05 \times \text{FLA}}{\frac{nCT}{5}} \leq \text{Tap} \leq \frac{1.4 \times \text{FLA}}{\frac{nCT}{5}}$$

$$\frac{1.05 \times 310.52}{\frac{500}{5}} \leq \text{Tap} \leq \frac{1.4 \times 310.52}{\frac{500}{5}}$$

$$3.26 \leq \text{Tap} \leq 4.34$$

Dipilih Tap = 4

$$I_{set} = 400 A$$

Time Dial

Dipilih waktu operasi = 0.3s

$$t = \frac{K \times T_d}{\beta \times \left[ \left( \frac{I}{I_{EB}} \right)^{\alpha} - 1 \right]}$$

$$T_d = \frac{t \times \beta \times \left[ \left( \frac{I}{I_{EB}} \right)^a - 1 \right]}{t \times \beta \times \left[ \left( \frac{I_{sc} \max HVS 65}{I_{ap} \times aCT} \right)^1 - 1 \right]}$$

$$T_d = \frac{13.5}{0.3 \times 1.5 \times \left[ \left( \frac{31500}{4 \times \frac{200}{3}} \right)^1 - 1 \right]}$$

$$T_d = 2.5$$

- RTG6 di *setting* sama dengan rele R369
- Rele RINTG1, rele RINTG2, dan rele RTG9 di *setting* sama dengan *setting* tipikal 1.

Dengan menggunakan hasil perhitungan diatas, maka kurva kerja rele dapat di *plot* menggunakan *Time Current Curve* pada *Star-Protective Device Coordination* yang terdapat pada *Software* ETAP. Berikut data *resetting* dan hasil *Plot* tipikal 1 seperti pada tabel 4.15 dan gambar 4.25 s/d 4.27.

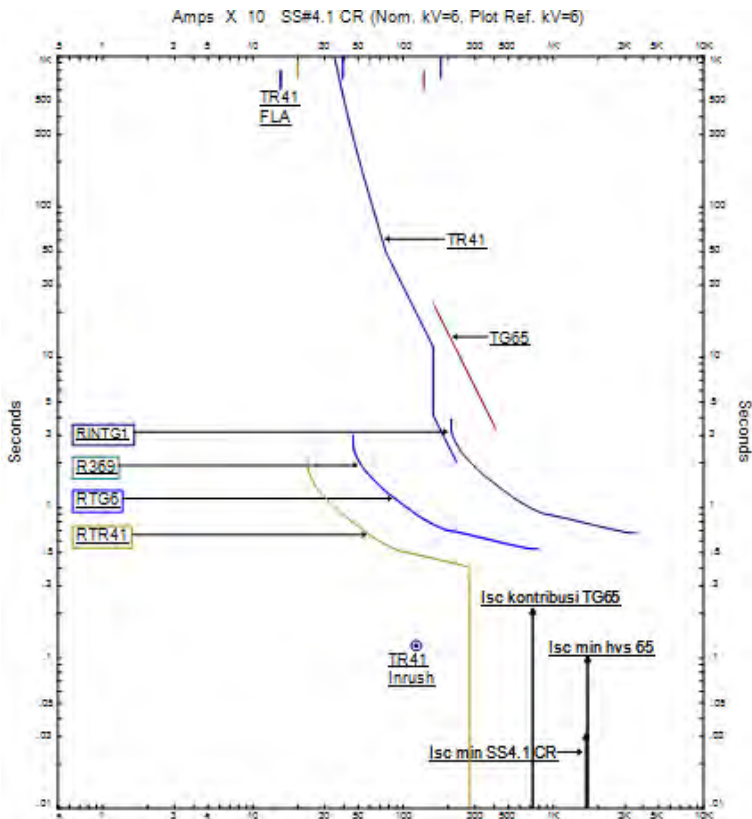
**Tabel 4.15** Data *resetting* tipikal 3

<b>Relay ID</b>	<b>CT ratio</b>	<b>Setting</b>	
RTR41	200/5	<i>Pickup Lowset</i>	5
		<i>Time dial</i>	1.8
		<i>Pickup Highset</i>	70
		<i>Time delay</i>	-
R369	500/5	<i>Pickup Lowset</i>	4
		<i>Time dial</i>	2.5
		<i>Pickup Highset</i>	-
		<i>Time delay</i>	-
RTG6	500/5	<i>Pickup Lowset</i>	4
		<i>Time dial</i>	2.5
		<i>Pickup Highset</i>	-
		<i>Time delay</i>	-
RINTG1	1500/5	<i>Pickup Lowset</i>	5
		<i>Time dial</i>	3.2
		<i>Pickup Highset</i>	-
		<i>Time delay</i>	-
RINTG2	2000/5	<i>Pickup Lowset</i>	3
		<i>Time dial</i>	3.5

Relay ID	CT ratio	Setting	
		Pickup Highset	-
		Time delay	-

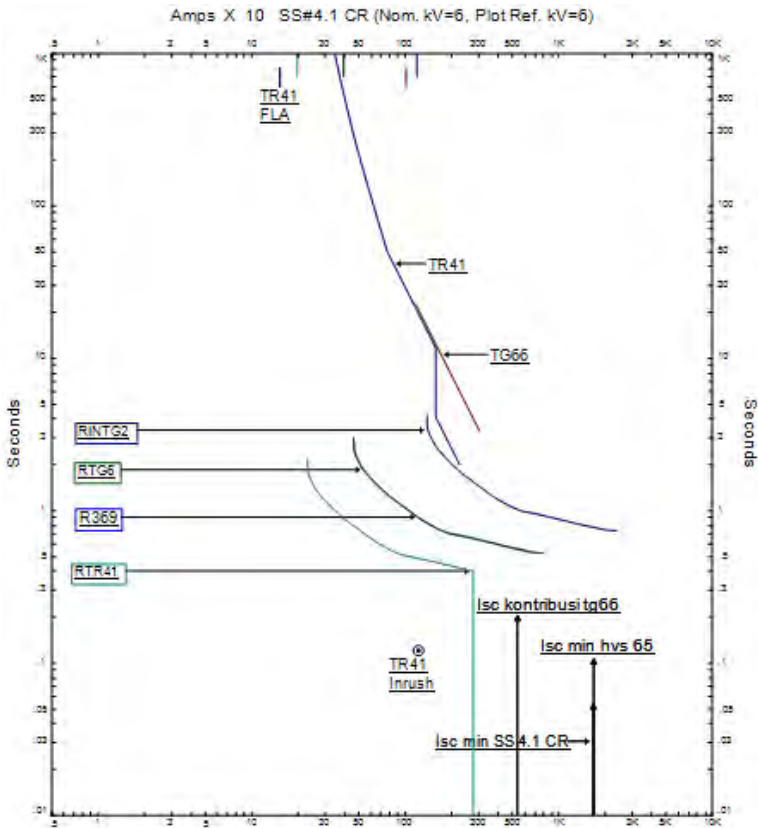
**Tabel 4.15** Data *resetting* tipikal 3 (lanjutan)

Relay ID	CT ratio	Setting	
		Pickup Lowset	1.7 In
RTG9	1250/5	Time dial	0.3
		Pickup Highset	2.7 In
		Time delay	0.7 s

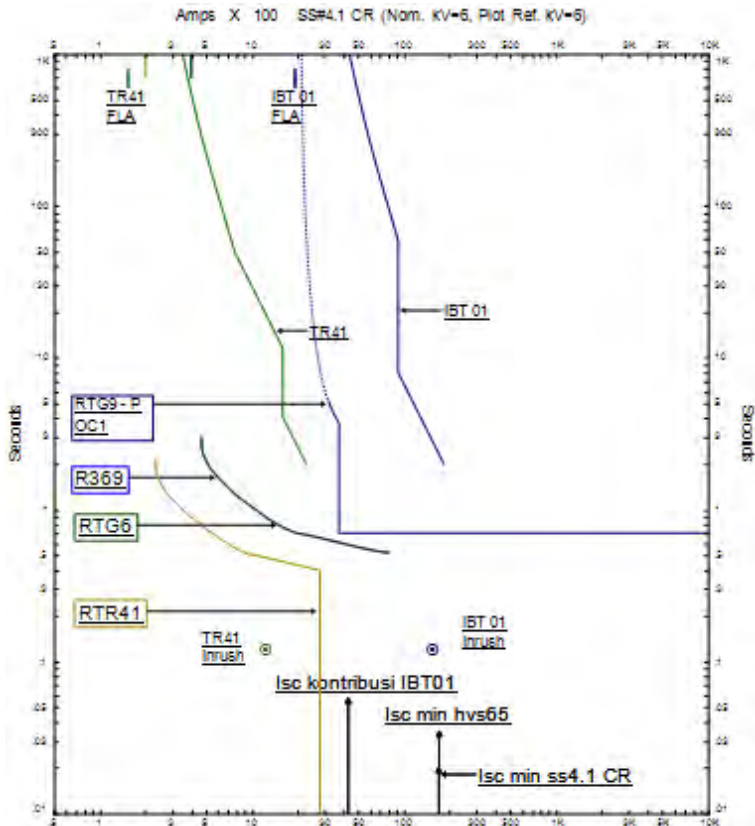


**Gambar 4.25** Hasil Plot setelah rele *resetting* tipikal 3 (TR41-TG65)





**Gambar 4.26** Hasil Plot setelan rele *resetting* tipikal 3 (TR41-TG66)



**Gambar 4.27** Hasil Plot setelah rele *resetting* tipikal 3 (TR41-IBT01)

Berdasarkan data *resetting* dan plot kurva kerja rele dari perhitungan ulang pada tipikal 2 terdapat beberapa perbaikan, diantaranya :

1. Dapat diketahui bahwa dengan pemasangan SISFCL mengakibatkan arus hubung singkat semakin menurun. Pada rele RTR41, R369, RTG5, RINTG1, RINTG2 hanya terdapat karakteristik *invers*, maka dilakukan perbaikan dengan memperkecil *time dial*, untuk nilai setting *pickup lowset* tidak ada perubahan.

2. Pada rele RTG9 dilakukan perbaikan dengan memperkecil *setting pickup highset* dan memperkecil nilai *time dial*. Dimana setelah rele ini disesuaikan dengan arus kontribusi dari transformator IBT01 setelah pemasangan SISFCL, rele RTG9 merupakan pengamanan dari transformator IBT01.

#### 4.7 Data perbandingan sebelum dan sesudah pemasangan SISFCL.

**Tabel 4.16.** Perbandingan kontribusi arus hubung singkat 3 fasa kondisi ½ cycle pada *switchgear* HVS 65 (*case I*) tanpa SISFCL dan dengan SISFCL

NO	Bus HVS 65				
	Arus kontribusi dari ke HVS 65	Tanpa SISFCL		Dengan SISFCL	
		I <sub>SC</sub> maks symetri (kA)	I maks Asymetri Peak (kA)	I <sub>SC</sub> maks symetri (kA)	I maks Asymetri Peak (kA)
1	IBT01	15.1	40.468	5.1	13.8
2	TG65	12.1	32.428	12.1	32.7
3	TG66	8.94	23.852	8.9	24.03
3	N310	1.1	2.948	1.1	2.97
4	N303	2.02	5.36	2	5.4
5	N306	0.36	0.804	0.3	0.81
6	N315	1.11	2.948	1.1	2.97
7	N316	0.89	2.144	0.8	2.2
8	N301	4.23	11.256	4.2	11.4
9	LSS61-UT	0.49	1.072	0.4	1.1
10	SS ALF-3	0.2	0.536	0.2	0.54
	<b>Total</b>	<b>46.2</b>	<b>123.5*</b>	<b>36.2</b>	<b>98</b>

\*Melebihi *device capability*

**Tabel 4.17.** Perbandingan setting rele arus lebih sebelum dan sesudah pemasangan SISFCL pada koordinasi tipikal 1

<i>Relay ID</i>	<i>CT ratio</i>	<i>Setting</i>			
		<i>Existing</i>		<i>Resetting</i>	
RTR5101	300/5	<i>Pickup Lowset</i>	3.5	<i>Pickup Lowset</i>	3.5
		<i>Time dial</i>	2.1	<i>Time dial</i>	1.6
		<i>Pickup Highset</i>	80	<i>Pickup Highset</i>	65
		<i>Time delay</i>	-	<i>Time delay</i>	-
RSS5.1	600/5	<i>Pickup Lowset</i>	5	<i>Pickup Lowset</i>	5
		<i>Time dial</i>	2.6	<i>Time dial</i>	2
		<i>Pickup Highset</i>	-	<i>Pickup Highset</i>	-
		<i>Time delay</i>	-	<i>Time delay</i>	-
RTG	600/5	<i>Pickup Lowset</i>	5	<i>Pickup Lowset</i>	5
		<i>Time dial</i>	2.6	<i>Time dial</i>	2
		<i>Pickup Highset</i>	-	<i>Pickup Highset</i>	-
		<i>Time delay</i>	-	<i>Time delay</i>	-
RINTG1	1500/5	<i>Pickup Lowset</i>	5	<i>Pickup Lowset</i>	5
		<i>Time dial</i>	3.6	<i>Time dial</i>	3.2
		<i>Pickup Highset</i>	-	<i>Pickup Highset</i>	-
		<i>Time delay</i>	-	<i>Time delay</i>	-
RINTG2	2000/5	<i>Pickup Lowset</i>	3	<i>Pickup Lowset</i>	3
		<i>Time dial</i>	4	<i>Time dial</i>	3.5
		<i>Pickup Highset</i>	-	<i>Pickup Highset</i>	-
		<i>Time delay</i>	-	<i>Time delay</i>	-
RTG9	1250/5	<i>Pickup Lowset</i>	1.7In	<i>Pickup Lowset</i>	1.7 In
		<i>Time dial</i>	0.6	<i>Time dial</i>	0.3
		<i>Pickup Highset</i>	6In	<i>Pickup Highset</i>	2.7 In
		<i>Time delay</i>	0.7s	<i>Time delay</i>	0.7 s

**Tabel 4.18.** Perbandingan setting rele arus lebih sebelum dan sesudah pemasangan SISFCL pada koordinasi tipikal 2

<i>Relay ID</i>	<i>CT ratio</i>	<i>Setting</i>			
		<i>Existing</i>		<i>Resetting</i>	
RMM 2302A	100/5	<i>Pickup Lowset</i>	2.5	<i>Pickup Lowset</i>	2.5
		<i>Time dial</i>	8	<i>Time dial</i>	6
		<i>Pickup Highset</i>	-	<i>Pickup Highset</i>	-
		<i>Time delay</i>	-	<i>Time delay</i>	-
R01PA	750/5	<i>Pickup Lowset</i>	5	<i>Pickup Lowset</i>	5
		<i>Time dial</i>	2.8	<i>Time dial</i>	1.7
		<i>Pickup Highset</i>	-	<i>Pickup Highset</i>	-
		<i>Time delay</i>	-	<i>Time delay</i>	-
RTG2	750/5	<i>Pickup Lowset</i>	5	<i>Pickup Lowset</i>	5
		<i>Time dial</i>	2.8	<i>Time dial</i>	1.7
		<i>Pickup Highset</i>	-	<i>Pickup Highset</i>	-
		<i>Time delay</i>	-	<i>Time delay</i>	-
RINTG1	1500/5	<i>Pickup Lowset</i>	5	<i>Pickup Lowset</i>	5
		<i>Time dial</i>	3.6	<i>Time dial</i>	3.2
		<i>Pickup Highset</i>	-	<i>Pickup Highset</i>	-
		<i>Time delay</i>	-	<i>Time delay</i>	-
RINTG2	2000/5	<i>Pickup Lowset</i>	3	<i>Pickup Lowset</i>	3
		<i>Time dial</i>	4	<i>Time dial</i>	3.5
		<i>Pickup Highset</i>	-	<i>Pickup Highset</i>	-
		<i>Time delay</i>	-	<i>Time delay</i>	-
RTG9	1250/5	<i>Pickup Lowset</i>	1.7In n	<i>Pickup Lowset</i>	1.7 In
		<i>Time dial</i>	0.6	<i>Time dial</i>	0.3
		<i>Pickup Highset</i>	6In	<i>Pickup Highset</i>	2.7 In
		<i>Time delay</i>	0.7s	<i>Time delay</i>	0.7 s

**Tabel 4.19.** Perbandingan setting rele arus lebih sebelum dan sesudah pemasangan SISFCL pada koordinasi tipikal 3

<i>Relay ID</i>	<i>CT ratio</i>	<i>Setting</i>			
		<i>Existing</i>		<i>Resetting</i>	
RTR41	200/5	<i>Pickup Lowset</i>	5	<i>Pickup Lowset</i>	5
		<i>Time dial</i>	2.2	<i>Time dial</i>	1.8
		<i>Pickup Highset</i>	80	<i>Pickup Highset</i>	70
		<i>Time delay</i>	-	<i>Time delay</i>	-
R369	500/5	<i>Pickup Lowset</i>	4	<i>Pickup Lowset</i>	4
		<i>Time dial</i>	3.2	<i>Time dial</i>	2.5
		<i>Pickup Highset</i>	-	<i>Pickup Highset</i>	-
		<i>Time delay</i>	-	<i>Time delay</i>	-
RTG6	500/5	<i>Pickup Lowset</i>	4	<i>Pickup Lowset</i>	4
		<i>Time dial</i>	3.2	<i>Time dial</i>	2.5
		<i>Pickup Highset</i>	-	<i>Pickup Highset</i>	-
		<i>Time delay</i>	-	<i>Time delay</i>	-
RINTG1	1500/5	<i>Pickup Lowset</i>	5	<i>Pickup Lowset</i>	5
		<i>Time dial</i>	3.6	<i>Time dial</i>	3.2
		<i>Pickup Highset</i>	-	<i>Pickup Highset</i>	-
		<i>Time delay</i>	-	<i>Time delay</i>	-
RINTG2	2000/5	<i>Pickup Lowset</i>	3	<i>Pickup Lowset</i>	3
		<i>Time dial</i>	4	<i>Time dial</i>	3.5
		<i>Pickup Highset</i>	-	<i>Pickup Highset</i>	-
		<i>Time delay</i>	-	<i>Time delay</i>	-
RTG9	1250/5	<i>Pickup Lowset</i>	1.7In	<i>Pickup Lowset</i>	1.7 In
		<i>Time dial</i>	0.6	<i>Time dial</i>	0.3
		<i>Pickup Highset</i>	6In	<i>Pickup Highset</i>	2.7 In
		<i>Time delay</i>	0.7s	<i>Time delay</i>	0.7 s

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil studi dan analisa koordinasi proteksi rele arus lebih akibat pemasangan SISFCL (*saturated iron-core superconducting fault current limiter*) di Pabrik III PT. Petrokimia Gresik, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

Analisa hubung singkat pada PT. Petrokimia Gresik menunjukkan bahwa *switchgear* HVS 65 Pabrik III mengalami kondisi *critical*. Pada konfigurasi *case 1* menunjukkan bahwa *switchgear* HVS 65 pada kondisi *critical* dengan arus hubung singkat sebesar 123.5 kA peak dari rating kemampuan *switchgear* (*device capability*) 100 kA peak. Berdasarkan konfigurasi *case 1* dan *case 2* menunjukkan letak pemasangan SISFCL berada pada transformator IBT 01 yang merupakan kontribusi arus hubung singkat paling besar ketika terjadi gangguan di *switchgear* HVS 65.

Pemasangan SISFCL dapat mengurangi besarnya arus hubung singkat pada *switchgear* HVS 65 dari 123.5 kA peak menjadi 98 kA peak, sehingga peralatan tetap aman. Dengan pemasangan SISFCL menunjukkan arus hubung singkat berkurang sehingga perlu dilakukan koordinasi proteksi rele arus lebih. Pada rele RTG9 dilakukan perbaikan dengan memperkecil *setting pickup highset* dari 6In menjadi 2.7In dan memperkecil *time dial*.

#### **5.2 Saran**

Berdasarkan hasil akhir yang telah dilakukan studi pada tugas akhir ini, adapun beberapa saran yang dapat dipertimbangkan untuk menjadi masukan kedepannya adalah sebagai berikut :

Semakin meningkatnya produksi dan adanya rencana penambahan plant serta pembangkit yang terintegrasi, maka penggunaan SISFCL dapat menjadi salah satu solusi untuk mengamankan peralatan dari arus hubung singkat yang besar. Pemasangan suatu alat pembatas arus hubung singkat menyebabkan perubahan arus hubung singkat sehingga perlu dilakukan studi koordinasi proteksi rele arus lebih.

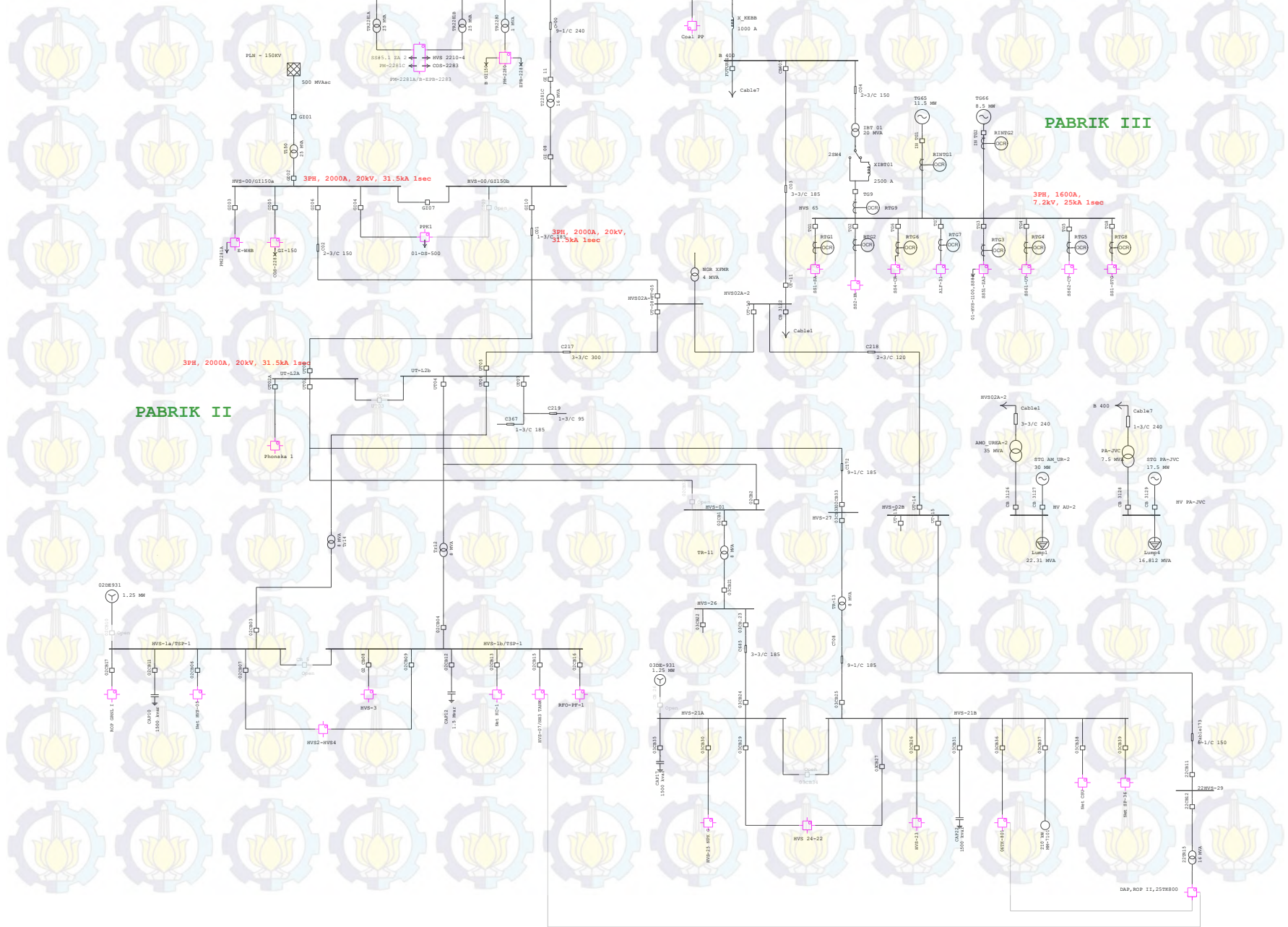


*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Penangsang, Ontoseno. "Diktat Kuliah Analisis Sistem Tenaga Listrik 2", Jurusan Teknik Elektro ITS, Surabaya
- [2] Wang Haizhen, "Saturated Iron Core Superconducting Fault Current Limiter", International Conference on Electric Power Equipment (IEEE) – Switching Technology – Xi'an – China, 1st 2011
- [3] Li Bin, "Application Studies on the Active SISFCL in Electric Transmission System and its Impact on Line Distance Protection", IEEE TRANSACTIONS ON APPLIED SUPERCONDUCTIVITY, 2013
- [4] Li Bin, "Overcurrent Protection Coordination in a Power Distribution Network With the Active Superconductive Fault Current Limiter", IEEE TRANSACTIONS ON APPLIED SUPERCONDUCTIVITY, VOL. 24, NO. 5, OKTOBER 2014
- [5] Xin Yin, "Manufacturing and Test of a 35 kV/90MVA Saturated Iron-Core Type Superconductive Fault Current Limiter for Live-Grid Operation", IEEE TRANSACTIONS ON APPLIED SUPERCONDUCTIVITY, VOL. 19, NO. 3, JUNE 2009
- [6] Wahyudi, "Diktat Kuliah Pengaman Sistem Tenaga Listrik", Jurusan Teknik Elektro ITS, Surabaya
- [7] IEEE std 242-2001, "IEEE Recommended Practice for Protection and Cordination of Industrial and Commercial Power System" The institute of Electrical and Electronic Engineering, Inc, New York, Ch 15, 2001.
- [8] Lazar irwin "Electrical System Analysis and Design for Industrial Plant", McGraw-Hill Inc., USA, Ch, 1, 1980
- [9] Hong Hui, "DC Magnetization System for a 35 kV/90 MVA Superconducting Saturated Iron-Core Fault Current Limiter", IEEE TRANSACTIONS ON APPLIED SUPERCONDUCTIVITY, VOL. 19, NO. 3, JUNE 2009

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## DAFTAR RIWAYAT HIDUP PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Deny Cahyo Nugroho, lahir pada 16 juni 1992 di Surabaya. Penulis adalah anak kedua dari tiga bersaudara. Penulis mengawali pendidikannya tahun 1998 mulai masuk di SDN Keputih 245 Surabaya (lulus tahun 2004), SMP Negeri 30 Surabaya (lulus tahun 2007), SMA Negeri 14 Surabaya (lulus tahun 2010). Kemudian penulis melanjutkan sekolah di D3 Teknik Elektro ITS angkatan 2010 dan melanjutkan studi sarjana melalui program lintas jalur di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Jurusan Teknik Elektro (FTI-ITS) dan mengambil bidang studi Teknik Sistem Tenaga. Penulis dapat dihubungi di email : [denycahyo16@gmail.com](mailto:denycahyo16@gmail.com)

*Halaman ini sengaja dikosongkan*