

TUGAS AKHIR - TE 141599

STUDI KOORDINASI SISTEM PROTEKSI PADA JARINGAN DISTRIBUSI PT PLN (PERSERO) APJ GILIMANUK TERHADAP PENGARUH PENERAPAN SFCL (SUPERCONDUCTING FAULT CURRENT LIMITER)

Hari Prasetya Nugraha NRP 2213105005

Dosen Pembimbing Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T. Ir. Teguh Yuwono

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



TUGAS AKHIR - TE 141599

STUDI COORDINATION OF PROTECTION SYSTEM AGAINTS THE MOUNTING INFLUENCE OF INSTALLATION SUPERCONDUCTING FAULT CURRENT LIMITER IN THE DISTRIBUTION NETWORK PT. PLN (PERSERO) APJ GILIMANUK

Hari Prasetya Nugraha NRP 2213105005

Advisor

Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T. Ir. Teguh Yuwono

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTEMENT Faculty of Industrial Technology Sepuluh Nopember Institute Of Technology Surabaya 2015

STUDI KOORDINASI SISTEM PROTEKSI PADA JARINGAN DISTRIBUSI PTPLN (PERSERO) APJ GILIMANUKTERHADAPPENGARUH PENERAPAN SFCL (SUPERCONDUCTING FAULT CURRENT LIMITER)

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, M.T. NIP. 196603181990101001 Dosen Pembimbing II

Ir. TeguhYuwono NIP. 195008061976121002



STUDI KOORDINASI SISTEM PROTEKSI PADA JARINGAN DISTRIBUSI PT. PLN (PERSERO) APJ GILIMANUK TERHADAP PENERAPAN SFCL (SUPERCONDUCTING FAULT CURRENT LIMITER)

Hari Prasetya Nugraha 2213105005

Dosen Pembimbing I: Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.

Dosen Pembimbing II : Ir. Teguh Yuwono

Abstrak:

Superconducting Fault Current Limiter atau SFCL merupakan perangkat yang mampu mereduksi arus hubung singkat dengan peningkatan nilai resistansi didalamnya. Peningkatan nilai resistansi tersebut merupakan imbas dari peningkatan nilai temperatur SFCL yang meningkat seiring dengan semakin besarnya arus gangguan. Sehingga pada kondisi normal nilai resistansinya sama dengan 0 ohm.

Pereduksian arus hubung singkat bukan hanya bertujuan untuk mengamnakan peralatan akibat arus gangguan, akan tetapi menjadikan daerah sekitar gangguan menjadi lebih aman. Pada Penyulang Gilimanuk dan Melaya, dengan nilai resistansi 11 ohm arus gangguan yang direduksi sebesar 3 kA *peak* dan pada Penyulang Menjangan arus gangguan yang direduksi sebesar 3,2 kA *peak* dengan nilai resistansi sebesar 12,59 ohm. Akibat penurunan arus gangguan tersebut harus terjadi penyesuaian terhadap setting pada rele pengaman, sehingga relerele pengaman dapat berfungsi dan terkoordinasi dengan baik.

Kata Kunci : Arus hubung singkat, SFCL resistif, temperatur superconductor, rele pengaman.

STUDI KOORDINASI SISTEM PROTEKSI PADA JARINGAN DISTRIBUSI PT. PLN (PERSERO) APJ GILIMANUK TERHADAP PENERAPAN SFCL (SUPERCONDUCTING FAULT CURRENT LIMITER)

Hari Prasetya Nugraha 2213105005

Dosen Pembimbing I : Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.

Dosen Pembimbing II : Ir. Teguh Yuwono

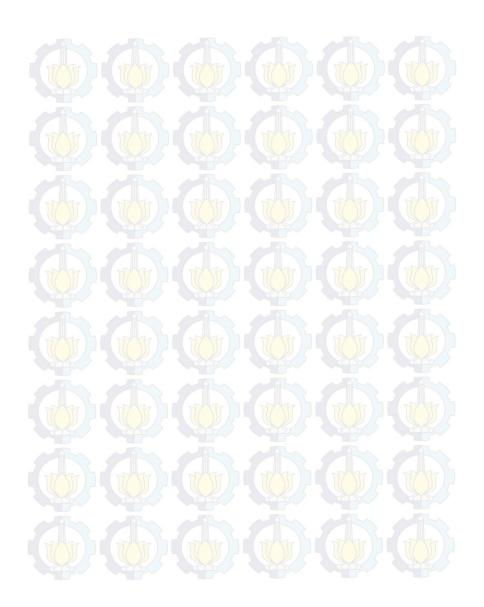
Abstrak:

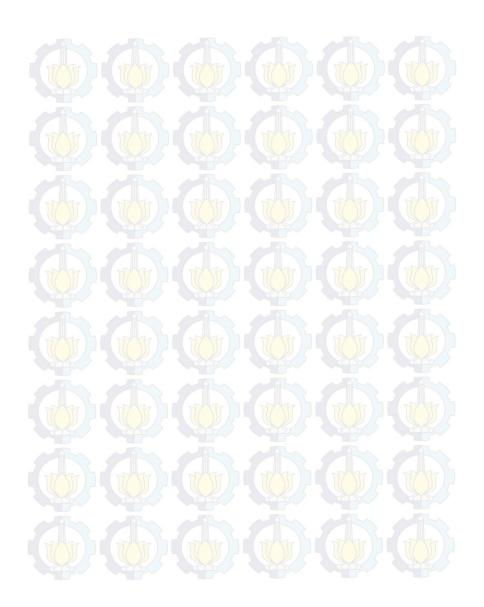
Superconducting Fault Current Limiter atau SFCL merupakan perangkat yang mampu mereduksi arus hubung singkat dengan peningkatan nilai resistansi didalamnya. Peningkatan nilai resistansi tersebut merupakan imbas dari peningkatan nilai temperatur SFCL yang meningkat seiring dengan semakin besarnya arus gangguan. Sehingga pada kondisi normal nilai resistansinya sama dengan 0 ohm.

Pereduksian arus hubung singkat bukan hanya bertujuan untuk mengamnakan peralatan akibat arus gangguan, akan tetapi menjadikan daerah sekitar gangguan menjadi lebih aman. Pada Penyulang Gilimanuk dan Melaya, dengan nilai resistansi 11 ohm arus gangguan yang direduksi sebesar 3 kA *peak* dan pada Penyulang Menjangan arus gangguan yang direduksi sebesar 3,2 kA *peak* dengan nilai resistansi sebesar 12,59 ohm. Akibat penurunan arus gangguan tersebut harus terjadi penyesuaian terhadap setting pada rele pengaman, sehingga relerele pengaman dapat berfungsi dan terkoordinasi dengan baik.

Kata Kunci : Arus hubung singkat, SFCL resistif, temperatur superconductor, rele pengaman.







STUDY COORDINATION OF PROTECTION SYSTEM AGAINST THE MOUNTING INFLUENCE OF INSTALLATION SUPERCONDUCTING FAULT CURRENT LIMITER IN THE DISTRIBUTION NETWORK PT PLN (PERSERO) APJ GILIMANUK

Name : Hari Prasetya Nugraha

Advisor I : Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.

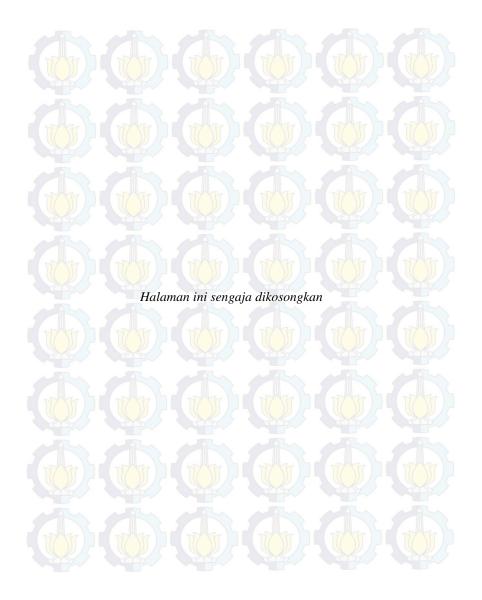
Advisor II : Ir. Teguh Yuwono

Abstract:

Superconducting Fault Current Limiter or SFCL is a device that is able to reduce the short circuit current with an increase in resistance value in it. Increased the resistance value is the impact of increase the value of the SFCL temperature increase along with the magnitude of the fault current. So that in normal conditions the resistance value is equal to 0 ohm.

Short circuit current reduction is not only aimed at securing equipment due to the fault current, but to make the area around the interference becomes more secure. In the feeder Gilimanuk and Melaya, with 11 Ohm resistance value fault current is reduced by 3 kA peak and feeder Menjangan reduced fault currents of 3.2 kA peak with a resistance value of 12.59 Ohms. Result a decrease of fault current should be an adjustment of protection settings on the relay, so that the protection relays can functioning and good coordinated.

Keywords: Short circuit, voltage dip, SFCL resistive, temperature, superconductor, protection relay.



KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala Rahmat, Karunia, dan Petunjuk yang telah dilimpahkan-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir dengan judul Studi Koordinasi Sistem Proteksi pada Jaringan Distribusi PT PLN (Persero) APJ Gilimanuk Terhadap Pengaruh Penerapan SFCL (Superconducting Fault Current Limiter). Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan S1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas selesainya penyusunan tugas akhir ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

- 1. Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya.
- 2. Bapak dan Ibu, serta seluruh keluarga yang selalu mendukung dan terus mendoakan penulis dalam meyelesaikan studi.
- 3. Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T. dan Ir. Teguh Yuwono sebagai dosen pembimbing yang telah banyak memberikan arahan dan perhatiannya dalam penyelesaian Tugas Akhir.
- 4. Teman-teman Lintas Jalur 2013 Genap yang selalu saling menyemangati dalam proses penyelesaian Tugas Akhir.
- 5. Seluruh dosen yang telah memberikan ilmunya selama kuliah, karyawan, dan keluarga besar Jurusan Teknik Elektro ITS yang tidak bisa disebutkan satu per satu.

Semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi mahasiswa maupun peneliti. Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan, untuk itu kritik dan saran diharapkan untuk penyempurnaan tugas akhir ini.

Surabaya, Mei 2015 Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman		
HA	LAMAN JUDUL		
PEI	RNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR		
HA	LAMAN PENGESAHAN		
ABSTRAK			
ABSTRACT			
KATA PENGANTAR			
DA	FTAR ISIvii		
	FTAR GAMBARix		
	FTAR TABELxi		
	I PENDAHULUAN1		
1.1	Latar Belakang1		
1.2	Permasalahan1		
1.3	Batasan Masalah1		
1.4	Tujuan2		
1.5	Metodologi2		
1.6	Sistematika Penulisan		
	II LANDASAN TEORI5		
2.1	Sistem Distribusi5		
2.2)		
	2.2.1 Sistem Radial		
	2.2.2 Sistem Loop		
	2.2.3 Sistem Spindel9		
	2.2.4 Sistem Mesh		
2.3	Pengaman Pada Sistem Distribusi		
	2.3.1 Peralatan Pemisah atau Penghubung12		
	2.3.2 Peralatan Pengaman Arus Lebih		
	2.3.2 Peralatan Pengaman Tegangan Lebih		
2.4	Gangguan Sistem Distribusi13		
2.5	Sebab-Sebab Timbulnya Gangguan Pada sistem Tenaga		
	Listrik14		
2.6	Perhitungan Arus Hubung Singkat		
	2.6.1Hubung Singkat 3 Fasa		

		2.6.2 Hubung Singkat 2 Fasa	. 19
		2.6.3 Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah	
	2.7	Syarat-Syarat Pengaman Sistem Tenaga Listerik	. 20
	2.8	Rele Arus Lebih	
		2.8.1 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu	. 22
		2.8.2 Rele Arus Lebih Waktu Inverse	. 22
		2.8.3 Rele Arus Lebih Waktu Instan	. 23
	2.9	Penyetelan Rele Arus Lebih	. 24
		2.9.1 Penyetelan Rele Arus Lebih Waktu Inverse	. 24
		2.9.2 Penyetelan Rele Arus Lebih Waktu Instan	
		Koordinasi Rele Arus Lebih dan Waktu	
	2.11	Superconducting Fault Current Limiter (SFCL)	. 27
		2.11.1 SFCL jenis Resistif	
		2.11.2 Pereduksian Arus Hubung Singkat dengan SFCL	. 30
		2.11.3 Manfaat SFCL	. 31
B	AB I	III PENERAPAN SUPERCONDUCTING FAULT CURREN	
		LIMITER PADA SISTEM JARINGAN DISTRIBUSI AP	J
		GILIMANUK	
	3.1	Sistem Distribusi APJ Gilimanuk	
		3.1.1 Rating Tegangan	
		Penyulang Gilimanuk	
		Penyulang Melaya	
	3.4	Penyulang Menjangan	. 38
	3.5	Sistem Pengaman Exixting	. 41
	3.6	Penerapan SFCL pada Jaringan Distribusi	
		3.6.1 Penerapan SFCL pada Penyulang Gilimanuk	
		3.6.2 Penerapan SFCL pada Penyulang Melaya	
		3.6.3 Penerapan SFCL pada Penyulang Menjangan	. 45
	4.	NAME OF THE PENCE PARTY DESCRIPTION OF THE PARTY OF THE P	
E	SABI	IV ANALISA PENGARUH PENERAPAN SFCL PADA	
		JARINGAN DISTRIBUSI 20 kV PT PLN (PERSERO)	47
	4.1	APJ GILIMANUK	
	4.1	Pemilihan Tipikal Setting Koordinasi Sistem Proteksi	
		4.1.2 Setting Koordinasi Rele Tipikal 2 Melaya	
	1.2	4.1.3 Setting Koordinasi Rele Tipikal 3 Menjangan	
	4.2	Penerapan SFCL pada Jaringan Distribusi APJ Gilimanuk	
		4.2.1 Penerapan SFCL pada Tipikal 1	. /4

4.2.2 Penerapan SFCL pada Tipikal 2	77
4.3.1 Resetting Koordinasi Rele Tipikal 1	<mark>8</mark> 5
5.1 Kesimpulan	101
DAFTAR PUSTAKA	
RIWAYAT PENULIS	
LAW IKAN	107



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1	Gambar rangkaian dan persamaan gangguan hubung
Tabel 2.2	singkat
Tabel 3.1	Data transformator daya Gardu Induk APJ Gilimanuk34
Tabel 3.1	Gardu induk penyulang Gilimanuk
Tabel 3.2	Gardu induk penyulang Melaya
Tabel 3.4	Gardu induk penyulang Menjangan
Tabel 3.5	Existing rele penyulang Gilimanuk
Tabel 3.6	Existing rele penyulag Melaya
Tabel 3.7	Existing rele penyulag Menjangan
Tabel 3.8	Existing recloser penyulag Menjangan 43
Tabel 4.1	Data arus hubung singkat pada masing-masing bus49
Tabel 4.2	Perbandingan setting existing dan reseting tipikal 154
Tabel 4.3	Perbandingan setting existing dan resetting tipikal 263
Tabel 4.4	Perbandingan <i>setting existing</i> dan reseting tipikal 372
Tabel 4.5	Data arus hubung singkat setelah penerapan SFCL78
Tabel 4.6	Perbandingan setting rele sebelum dan sesudah
	penerapan SFCL tipikal 183
Tabel 4.7	Perbandingan setting rele sebelum dan sesudah
	penerapan SFCL tipikal 290
Tabel 4.8	Perbandingan setting rele sebelum dan sesudah
	penerapan SFCL tipikal 397



DAFTAR GAMBAR

	Halai	man
Gambar 2.1	Sistem tenaga listrik	6
Gambar 2.2	Sistem radial	
Gambar 2.3	Sistem loop terbuka	
Gambar 2.4	Sistem loop tertutup	
Gambar 2.5	Sistem spindel	
Gambar 2.6	Sistem mesh	
Gambar 2.7	Arah Aliran Arus Ganguan	
Gambar 2.8	Karakteristik rele arus lebih waktu tertentu	
Gambar 2.9	Karakteristik Standard Inverse, Very Inverse dan	
	Extremly Inverse	23
Gambar 2.10	Karakteristik Rele Arus Lebih Instan	23
Gambar 2.11	Kombinasi IDMT dengan rele arus lebih waktu	
	instan	24
Gambar 2.12	Rele arus lebih pengaman trafo	
Gambar 2.13	SFCL jenis Resistif	
Gambar 2.14	Karakteristik material SFCL jenis resistif	
Gambar 2.15	Grafik peningkatan resistansi dan kondisi pemulihan	
	(recovery)	29
Gambar 2.16	Bentuk gelombang arus gangguan dengan dan tanpa	
	SFCL	30
Gambar 3.1	Single line diagram PT PLN (persero) APJ	
	Gilimanuk	33
Gambar 3.2	Penempatan SFCl pada penyulang gilimanuk	44
Gambar 3.3	Penempatan SFCl pada penyulang Melaya	44
Gambar 3.4	Penempatan SFCl pada penyulang Menjangan	45
Gambar 4.1	Rangkaian Tipikal 1, 2 dan 3	43
Gambar 4.2	Rangkaian Tipikal 1 gilimanuk	50
Gambar 4.3	Time current curve exixting Tipikal 1	46
Gambar 4.4	Time current curve resetting Tipikal 1	56
Gambar 4.5	Rangkaian Tipikal 2 Melaya	
Gambar 4.6	Time current curve exixting Tipikal 2	
Gambar 4.7	Time current curve resetting Tipikal 2	64
Gambar 4.8	Rangkaian Tipikal 3 menjangan	65
Gambar 4.9	Rangkaian Tipikal 3 menjangan	66
Gambar 4 10	Time current curve resetting Tipikal 3	73

Gambar 4.11	Kurva resistansi SFCL Tipikal 1	74
Gambar 4.12	Magnitude arus H.S pada Bus lbs pool Gilimanuk	75
Gambar 4.13	Kurva resistansi SFCL Tipikal 2	76
Gambar 4.14	Magnitude arus H.S pada Bus 4	
Gambar 4.15	Kurva resistansi SFCL Tipikal 3	
Gambar 4.16	Magnitude arus H.S pada Bus 188	
Gambar 4.17	Time current curve Resetting tipikal 1	
Gambar 4.18	Time current curve Resetting tipikal 1 setelah	
	penerapan SFCL	85
Gambar 4.19	Time current curve Resetting tipikal 2 setelah	
	penerapan SFCL	91
Gambar 4.20	Time current curve Resetting tipikal 3 setelah	
	penerapan SFCL	99

BIODATA PENULIS



Penulis dapat dihubungi melalui Email:

Hari Prasetya Nugraha, lahir di Garut pada tanggal 20 Februari 1992. Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Kejuruan di SMKN 2 Garut pada tahun 2010. Kemudian penulis melanjutkan dan menyelesaikan jenjang pendidikan tinggi Diploma (D3) pada bidang Teknik Sistem Tenaga Universitas Gadjah Mada tahun 2013. Pada tahun 2013 penulis melanjutkan

pendidikan tinggi jenjang sarjana (S1) pada bidang Teknik Sistem Tenaga Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

hariprasetyanugraha@gmail.com



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dengan perkembangan beban yang semakin meningkat, suatu sistem penyaluran daya listrik diharapkan memiliki tingkat keandalan yang tinggi agar terjaminnya pasokan energi listrik sampai ke pelanggan. Salah satu komponen utama dalam meningkatkan kehandalan sistem yaitu sistem proteksi. Sistem proteksi tidak hanya harus mampu menghilangkan atau mengisolir suatu gangguan, akan tetapi suatu sistem proteksi harus mampu mengamankan peralatan yang diakibatkan dari arus gangguan. Keberhasilan berfungsinya suatu sistem proteksi memerlukan adanya suatu koordinasi antara berbagai alat proteksi yang digunakan.

Arus yang ditimbulkan akibat gangguan tidak hanya berbahaya bagi lingkungan sekitar akan tetapi dapat merusak peralatan. Superconducting Fault Current Limiter (SFCL) merupakan sebuah peralatan yang dapat mereduksi arus gangguan. Prinsip kerja SFCL didasarkan pada Impedansi, SFCL akan selalu berharga mendekati nol Ohm, manakala temperature pada superkondutor tidak melebihi temperature normalnya, karena ketika tidak terjadi arus gangguan temperature superkonduktor akan berada pada temperature normalnya. Sehingga, dalam keadaan normal SFCL tidak membebani jaringan.

1.2 Permasalahan

Permasalahan yang akan dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah koordinasi antar rele pengaman yang diakibatkan oleh penerapan perangkat pembatas arus (SFCL) pada jaringan distribusi PT PLN APJ Gilimanuk sehingga penerapan parangkat tersebut pada kondisi normal tidak menggangu sistem dan saat terjadi gangguan sistem proteksinya dapat bekerja sesuai dengan apa yang telah dikoordinasikan.

1.3 Batasan Masalah

Untuk memperjelas ruang lingkup bahasan yang akan dikerjakan dalam tugas akhir ini maka permasalahan tersebut akan dibatasi sebagai berikut :

- a) Analisa sistem tenaga yang dilakukan meliputi analisa hubung singkat.
- b) Peralatan pengaman yang disetting dan dikoordinasi yaitu rele arus lebih (*Over Current Relay*) dan Recloser.
- c) Studi kasus menggunakan jaringan 20 kV di PT. PLN APJ Gilimanuk.
- d) Superconducting Fault Current Limiter (SFCL) yang digunakan yaitu jenis resistif.

1.4 Tujuan

Penelitian Tugas Akhir ini bertujuan untuk memberikan informasi mengenai setting dan koordinasi relay yang tepat pada jaringan 20 kV PT. PLN APJ Gilimanuk yang diakibatkan oleh penerapan pereduksi arus gangguan atau *Superconducting Fault Current Limiter* (SFCL).

1.5 Metodologi

Metodologi yang digunakan pada penyusunan Tugas Akhir ini adalah:

- 1. Studi Kasus
 Studi dilakukan dengan mengumpulkan data pendukung yang
 diperlukan di penyulang 20 kV PT PLN APJ Gilimanuk.
- Studi Literatur
 Mengusulkan berbagai buku dan referensi lainnya mengenai hal yang mendukung.
- 3. Simulasi Analisa hubung singkat dan koordinasi rele pengaman dilakukan menggunakan perangkat lunak Etap Power Station 11.0
- 4. Analisa Data
 Melakukan analisa data dari hasil simulasi dan pemodelan untuk mengetahui kerja rele pengaman akibat penerapan pereduksi arus gangguan (Superconducting Fault Current Limiter). Terdapat dua tahapan analisa yaitu analisa sebelum dan sesudah pemasangan pembatas arus. Nantinya dari hasil tersebut diberikan solusi yang terbaik untuk mengatasi permasalah yang dihadapi.
- 5. Melakukan Resetting

Resetting hanya dilakukan apabila hasil simulasi dan analisa tidak sesuai dengan standar yang berlaku sehingga dilakukan proses seting ulang terhadap koordinasi rele-rele pengaman.

6. Penarikan kesimpulan

Kesimpulan mengenai pengaruh dan perubahan yang terjadi terhadap sistem kelistrikan. Kesimpulan ini dapat diambil dari hasil membandingkan dua kondisi yang dilakukan pada tahap analisa data.

1.6 Sistematika Penulisan

Pada penyusunan Tugas Akhir ini pembahsan akan dibagi menjadi lima Bab dengan sistematika sebagai berikut:

Bab I : Pendahuluan

Berisi latar belakang, permasalahan, batasan masalah, tujuan, metodologi dan sistematika penulisan.

Bab II: Landasan Teori

Pada bab ini membahas tentang konfigurasi jaringan pada saluran distribusi, jenis-jenis gangguan dan pengaman pada saluran distribusi serta penjelsan tentang Superconducting Fault Current Limiter atau SFCL.

Bab III: Penerapan Superconducting Fault Current Limiter pada Sistem Jaringan Distribusi APJ Gilimanuk.

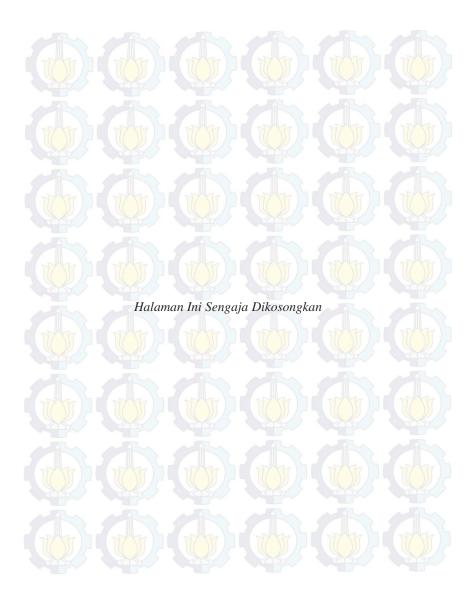
Berisi penjelasan mengenai sistem kelistrikan, data setting peralatan pengaman dan penjelasan mengenai lokasi penempatan SFCL yang diterapkan pada jaringan distribusi.

Bab IV : Analisa Pengaruh Penerapan SFCL pada Jaringan Distribusi 20 kV PT PLN (PERSERO) APJ Gilimanuk

Pada Bab IV berisi tentang analisa arus hubung singkat sebelum dan setelah penerapan SFCL, kemudian nantinya arus hubung singkat tersebut dilihat pengaruhnya terhadap *setting* sistem pengaman yang ada.

Bab V : Penutup

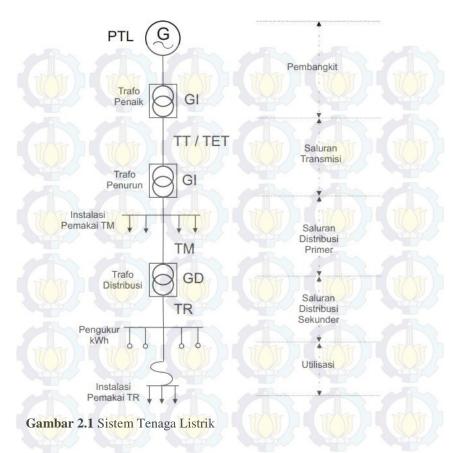
Merupakan kesimpulan dan saran dari keseluruhan pembahasan yang telah dilakukan dari Tugas Akhir ini.



BAB II LANDASAN TEORI

2.1 Sistem Distribusi

Sistem distribusi merupakan subsistem tersendiri yang terdiri dari Pusat Pengatur (Distribution Control Center, DCC), saluran tegangan menengah (6 kV dan 20 kV, yang juga biasa disebut tegangan distribusi primer) yang merupakan saluran udara atau kabel tanah, gardu distribusi tegangan menengah yang terdiri dari panel - panel pengatur tegangan menengah dan trafo sampai dengan panel- panel distribusi tegangan rendah (380V, 220V) yang menghasilkan tegangan kerja/tegangan jala-jala untuk industri dan konsumen. Tenaga listrik dibangkitkan pada pusat - pusat pembangkit listrik (power plant) seperti PLTA, PLTU, PLTG, dan PLTD lalu disalurkan melalui saluran transmisi setelah terlebih dahulu dinaikkan tegangannya oleh transformator step-up yang ada di pusat listrik. Saluran transmisi tegangan tinggi mempunyai tegangan 70 kV, 150 kV, atau 500 kV. Khusus untuk tegangan 500 kV dalam praktek saat ini disebut sebagai tegangan ekstra tinggi. Setelah tenaga listrik disalurkan, maka sampailah tegangan listrik ke Gardu Induk (GI), kemudian diturunkan tegangannya menggunakan transformator step - down menjadi tegangan menengah yang juga disebut sebagai tegangan distribusi primer. Kecenderungan saat ini menunjukan bahwa tegangan distribusi primer PLN yang berkembang adalah tegangan 20 kV. Setelah tenaga listrik disalurkan melalui jaringan distribusi primer atau Jaringan Tegangan Menengah (JTM), maka tenaga listrik kemudian diturunkan lagi tegangannya dalam gardu distribusi menjadi tegangan rendah, yaitu tegangan 220/380 Volt, lalu disalurkan melalui jaringan Tegangan Rendah (JTR) ke rumah- rumah pelanggan (konsumen) PLN. Pelanggan dengan daya tersambung besar tidak dapat dihubungkan pada Jaringan Tegangan Rendah, melainkan dihubungkan langsung pada jaringan tegangan menengah, bahkan ada pula pelanggan yang terhubung pada jaringan transmisi, tergantung dari besarnya daya tersambung.



2.2 Sistem Konfigurasi Saluran Distribusi

Sistem distribusi akan lebih efektif bila digunakan bentuk atau tipe yang berbeda-beda, disesuaikan dengan keadaan beban maupun dengan hal-hal yang mempengaruhi sistem, dan didalam pemilihan tipe sistem distribusi tidak terlepas dari persyaratan yang harus dipenuhi sebagai berikut:

- a) Kontinuitas pelayanan yang baik, tidak sering terjadi pemutusan.
- b) Keandalan yang tinggi, antara lain meliputi :
 - i. Kapasitas daya yang memenuhi.
 - ii. Tegangan yang selalu konstan dan nominal.
- iii. Frekuensi yang selalu konstan

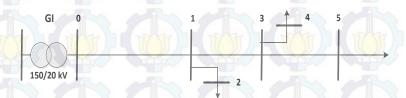
- c) Penyebaran daerah beban yang seimbang.
- d) Fleksibel dalam pengembangan dan perluasan, tidak hanya bertitik tolak pada kebutuhan beban sesaat tetapi kemungkinan pengembangan beban yang harus dilayani.
- e) Tegangan jatuh sekecil mungkin.
- f) Pertimbangan ekonomis, menyangkut perhitungan untung rugi baik secara komersial maupun dalam rangka penghematan anggaran yang tersedia.

Beberapa bentuk sistem jaringan distribusi, yaitu:

- 1. Sistem Radial
- 2. Sistem Loop atau Ring
- 3. Sistem Spindel
- 4. Sistem Mesh

2.2.1 Sistem Radial

Bentuk jaringan ini merupakan bentuk dasar yang paling sederhana dan paling banyak digunakan. Sistem ini terdiri dari saluran utama (Trunk Line) dan saluran cabang (Lateral) seperti pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Sistem Radial

Pelayanan tenaga listrik untuk suatu daerah beban tertentu dilaksanakan dengan memasang transformator pada titik yang sedekat mungkin dengan daerah beban yang dilayaninya. Trafo ini berguna untuk menurunkan tegangan sistem agar dapat dikonsumsikan pada beban konsumen. Untuk daerah beban yang menyimpang jauh dari saluran utama maupun saluran cabang, maka akan ditarik lagi saluran tambahan yang dicabangkan pada saluran tersebut.

Kelemahan yang dimiliki oleh sistem radial adalah drop tegangannya cukup besar dan bila terjadi gangguan pada sistem dapat mengakibatkan jatuhnya sebagian atau bahkan keseluruhan beban sistem. Sedangkan keuntungannya adalah biaya pembangunannya relatif

murah, pemeliharannya sederhana dan mudah untuk menentukan letak gangguan yang terjadi pada sistem.

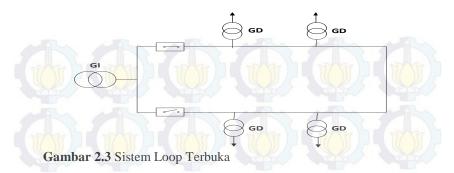
Sistem radial ini kurang cocok dipergunakan untuk mensupply beban seperti rumah sakit,instalasi militer atau konsumen lainnya yang memerlukan tingkat keandalan yang cukup tinggi.

2.2.2 Sistem Loop Atau Ring

Sistem rangkaian tertutup pada jaringan distribusi merupakan suatu sistem penyaluran melalui dua atau lebih saluran feeder yang saling berhubungan membentuk rangkaian berbentuk cincin. Sistem ini secara ekonomis menguntungkan, karena gangguan pada jaringan terbatas hanya pada saluran yang terganggu saja. Sedangkan pada saluran yang lain masih dapat menyalurkan tenaga listrik dari sumber yang lain dalam rangkaian yang tidak terganggu. Sehingga kontinuitas pelayanan sumber tenaga listrik dapat terjamin dengan baik. Yang perlu diperhatikan pada sistem ini apabila beban dilayani bertambah, maka kapasitas pelayanan untuk sistem rangkaian tertutup ini kondisinya akan lebih jelek. Tetapi jika digunakan titik sumber (Pembangkit Tenaga Listrik) lebih dari satu di dalam jaringan ini maka sistem akan banyak dipakai, dan akan menghasilkan kualitas tegangan yang lebih baik. Sistem ini terdiri dari dua jenis, yaitu:

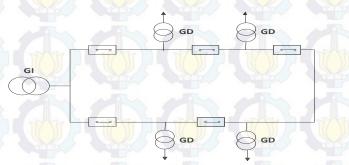
1. Sistem Loop Terbuka

Pada sistem loop terbuka, bagian-bagian saluran tersambung melalui alat pemisah (disconnector), dan kedua ujung saluran tersambung pada sumber energi. Pada satu sisi saluran alat pemisah tersebut tertutup dan pada sisi saluran lain dibiarkan dalam keadaan terbuka. Pada dasarnya sistem ini terdiri atas saluran yang dipisahkan oleh suatu pemisah yang berupa saklar daya seperti pada Gambar 2.3. Bila terjadi gangguan, bagian saluran yang terkena gangguan dapat dilepas dan menyambung pada saluran yang tidak terganggu. Sistem demikian biasanya dioperasikan secara manual dan dipakai pada jaringan-jaringan yang relatif kecil.



2. Sistem Loop Tertutup

Pada sistem loop tertutup diperoleh tingkat keandalan yang lebih tinggi. Pada sistem ini alat-alat pemisah biasanya bekerja secara otomatis yang digerakkan oleh rele seperti pada Gambar 2.4. Jika terjadi gangguan pada satu saluran maka rele akan mendeteksi lokasi terjadi gangguan kemudian memerintahkan saklar mana saja yang harus dibuka untuk melokalisir gangguan, sehingga pada saluran lain yang tidak terkena gangguan dapat terus beroperasi. Pengoperasian rele yang baik diperoleh dengan menggunakan kawat pilot yang menghubungkan semua saklar daya pada setiap saluran.



Gambar 2.4 Sistem Loop Tertutup

2.2.3 Sistem Spindel

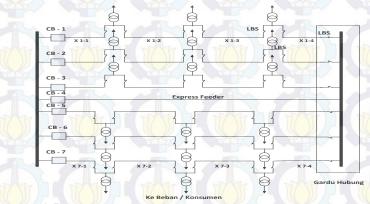
Yang menjadi ciri khas dari sitem spindel adalah saluran cadangan (*express*) dimana pada kondisi normal tidak dibebani namun bertegangan dan adanya gardu hubung yang merupakan titik pertemuan

dari semua penyulang primer, yang berisi rel daya sejumlah saklar yang menghubungkan masing-masing penyulang utama ke rel tersebut. Di sepanjang saluran juga terdapat *Load Break Switch* (LBS) yang berguna untuk keperluan manuver bila ada gangguan pada saluran kerja (working feeder). Jika terjadi gangguan pada salah satu penyulang yang terletak diantara dua gardu maka setelah gangguan dilokalisir, pelayanan dapat dipulihkan dengan satu bagian mendapat daya langsung dari gardu induk. Sedangkan bagian yang lain mendapatkan daya dari gardu induk yang sama setelah penyulang express dan gardu hubung.

Keuntungan pada sistem spindel adalah :

- a) Memiliki kontinuitas penyaluran daya terjamin.
- b) Kualitas tegangan baik karena rugi daya pada saluan kecil.
- c) Memudahkan dalam mencari lokasi gangguan.
- d) Memperkecil jumlah pelanggan yang padam, sedangkan kelemahan pada sistem spindel adalah:
- a) Biaya investasi yang besar.
- b) Perlu tenaga terampil dalam pengoperasian.
- c) Perlu koordinasi perencaan yang teliti dan rumit

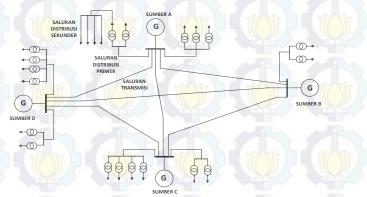
Sistem ini memberikan keandalan yang cukup tinggi dengan investasi tambahan berupa kabel saluran express. Bila saluran express terganggu maka saklar akan bekerja, dan sistem spindel ini sementara akan bekerja sebagai sistem biasa.



Gambar 2.5 Sistem Spindel

2.2.4 Sistem Mesh

Sistem ini juga merupakan sistem dengan tingkat keandalan yang tinggi karena banyaknya saluran alternatif yang banyak dapat dipilih untuk menyuplai beban. Akan tetapi karena banyaknya saluran yang disediakan maka biaya investasinya juga mahal. Sistem ini biasanya digunakan untuk menyuplai beban-beban yang dikategorikan sebagai beban penting, misalnya rumah sakit, gedung pemerintahan, militer, dan sebagainya. Skema sistem ini ditunjukkan pada Gambar 2.6



Gambar 2.6 Sistem Mesh

2.3 Pengaman Pada Sistem Distribusi

Agar suatu sistem distribusi dapat berfungsi dengan baik, gangguan-gangguan yang terjadi pada tiap bagian harus direspon dan dipisahkan dari sistem lainnya dalam waktu secepatnya. Keberhasilan fungsi proteksi memerlukan suatu koordinasi antara berbagai alat proteksi yang dipakai. Adapun fungsi sistem pengaman adalah :

- a. Melokalisir gangguan untuk membebaskan peralatan dari gangguan.
- b. Membebaskan bagian yang tidak bekerja normal, untuk mengurangi kerusakan.
- c. Memberi petunjuk atau indikasi atas lokasi serta jenis dari gangguan.
- d. Untuk dapat memberikan pelayanan listrik dengan keandalan yang tinggi pada konsumen.
- e. Untuk mengamankan keselamatan manusia terutama terhadap bahaya yang ditimbulkan listrik.

Dalam usaha menjaga kontinuitas pelayanan tenaga listrik dan menjaga agar peralatan pada jaringan primer 20 kV tidak mengalami kerusakan total akibat gangguan, maka harus diperlukan peralatan pengaman.

Adapun peralatan pengaman yang digunakan pada jaringan tegangan menengah 20 kV terbagi menjadi :

- 1. Peralatan pemisah atau penghubung
- 2. Peralatan pengaman arus lebih
- 3. Peralatan pengaman tegangan lebih

2.3.1 Peralatan Pemisah atau Penghubung

Fungsi dari pemutus beban atau pemutus daya (PMT) adalah untuk mempermudah dalam membuka dan menutup suatu saluran yang menghubungkan sumber dengan beban baik dalam keadaan normal maupun dalam keadaan gangguan. Jenis pemutus yang digunakan pada gardu adalah sebagai berikut:

- a. Circuit Breaker (Pemutus Tenaga)
- b. Disconnecting Switch (DS)
- c. Load Break Switch (LBS)
- d. Sectionalizer / Automatic Vacum Switch (AVS)

2.3.2 Peralatan Pengaman Arus Lebih

Fungsi dari peralatan pengaman arus lebih adalah untuk mengatasi gangguan arus lebih pada sistem distribusi sebelum gangguan tersebut meluas keseluruh sistem yang ada. Peralatan yang banyak digunakan diantaranya:

- a. Fuse
- b. Relay Arus Lebih
- c. Recloser (Penutup Balik Otomatis)

2.3.3 Peralatan Pengaman Tegangan Lebih

Pada sistem distribusi, gangguan dapat terjadi akibat adanya tegangan lebih. Gangguan ini bisa terjadi akibat proses *switching* pada saluran dan akibat sambaran petir. Petir yang kita kenal sekarang ini terjadi akibat awan dengan muatan tertentu menginduksi muatan yang ada di bumi. Bila muatan di dalam awan bertambah besar, maka muatan induksi pun semakin besar sehingga beda potensial antara awan dengan bumi akan semakin besar. Kejadian ini diikuti pelopor menurun dari awan dan diikuti pula dengan adanya pelopor menaik dari bumi yang

mendekati pelopor menurun. Pada saat itulah terjadi apa yang dinamakan petir. Petir akan menyambar semua benda yang dekat dengan awan atau dengan kata lain benda yang tinggi akan mempunyai peluang besar tersambar petir.

Transmisi tenaga listrik di darat dianggap lebih efektif menggunakan saluran udara dengan mempertimbangkan faktor teknis dan ekonomisnya. Tentu saja saluran udara ini akan menjadi sasaran sambaran petir langsung. Apalagi saluran udara yang melewati perbukitan sehingga memiliki jarak yang lebih dekat dengan awan dan mempunyai peluang yang lebih besar untuk disambar petir. Bila gangguan ini dibiarkan maka dapat merusak peralatan listrik. Oleh karena itu peralatan listrik itu harus dilindungi dari gangguan gangguan tegangan lebih dengan memasang peralatan pengaman tegangan lebih seperti:

- a. Kawat tanah (Overhead Groundwire)
- b. Lightning Arrester (LA)

2.4 Gangguan – Gangguan pada Sistem Tenaga Listrik

Sumber gangguan pada sistem tenaga listrik disebabkan oleh dua faktor yaitu dari dalam sistem dan dari luar sistem. Penyebab gangguan yang berasal dari dalam sistem antara lain:

- 1. Tegangan dan arus abnormal.
- 2. Pemasangan yang kurang baik.
- 3. Kesalahan mekanis karena proses penuaan
- Beban lebih.
- Kerusakan material seperti isolator pecah, kawat putus, atau kabel cacat isolasinya.
 Sedangkan untuk gangguan yang berasal dari luar sistem antara

lain:

- Gangguan gangguan mekanis karena pekerjaan galian saluran lain. Gangguan ini terjadi untuk sistem kelistrikan bawah tanah.
- 2. Pengaruh cuaca seperti hujan, angin, serta surja petir. Pada gangguan surja petir dapat mengakibatkan gangguan tegangan lebih dan dapat menyebabkan gangguan hubung singkat karena tembus isolasi peralatan (breakdown).
- 3. Pengaruh lingkungan seperti pohon, binatang dan benda benda asing serta akibat kecerobohan manusia.

Bila dilihat dari lamanya waktu gangguan, maka dapat dikelompokkan menjadi :

- 1. Gangguan yang bersifat temporer, yang dapat hilang dengan sendirinya atau dengan memutuskan sesaat bagian yang terganggu dari sumber tegangannya. Gangguan sementara jika tidak dapat hilang dengan segera, baik hilang dengan sendirinya maupun karena bekerjanya alat pengaman dapat berubah menjadi gangguan permanen.
- 2. Gangguan yang bersifat permanen, dimana untuk membebaskannya diperlukan tindakan perbaikan dan atau menyingkirkan penyebab gangguan tersebut.

Untuk gangguan yang bersifat sementara setelah arus gangguannya terputus misalnya karena terbukanya circuit breaker oleh rele pengamannya, peralatan atau saluran yang terganggu tersebut siap dioperasikan kembali. Sedangkan pada gangguan permanen terjadi kerusakan yang bersifat permanen sehingga baru bisa dioperasikan kembali setelah bagian yang rusak diperbaiki atau diganti. Pada saat terjadi gangguan akan mengalir arus yang sangat besar pada fasa yang terganggu menuju titik gangguan, dimana arus gangguan tersebut mempunyai harga yang jauh lebih besar dari rating arus maksimum yang diijinkan, sehingga terjadi kenaikan temperatur yang dapat mengakibatkan kerusakan pada peralatan listrik yang digunakan.

2.5 Sebab – Sebab Timbulnya Gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik [1][2]

Dalam sistem tenaga listrik tiga fasa, gangguan – gangguan arus lebih yang mungkin terjadi adalah sebagai berikut yaitu :

a. Gangguan beban lebih (over load)

Gangguan ini sebenarnya bukan gangguan murni, tetapi bila dibiarkan terus menerus berlangsung dapat merusak peralatan listrik yang dialiri arus tersebut. Pada saat gangguan ini terjadi arus yang mengalir melebihi dari kapasitas peralatan listrik dan pengaman yang terpasang.

b. Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat akan mengakibatkan arus lebih pada fasa yang terganggu dan menyebabkan kenaikan tegangan pada yang tidak terganggu. Gangguan hubung singkat dapat terjadi pada satu fasa ke tanah, dua fasa ke tanah, tiga fasa, atau tiga fasa ke tanah.

Gangguan hubung singkat ini dapat dibagi menjadi 2 kelompok yaitu hubung singkat simetri dan hubung singkat asimetri. Gangguan yang termasuk dalam hubung singkat asimetri adalah gangguan hubung singkat tiga fasa, sedangkan gangguan selain hubung singkat tiga fasa termasuk gangguan hubung singkat simetri [2].

Gangguan hubung singkat dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan yang berada dekat dengan gangguan yang disebabkan arusarus yang besar, arus tidak seimbang maupun tegangan-tegangan rendah. Gangguan hubung singkat juga berakibat pada kestabilan daya dan kontinuitas ke beban pada suatu sistem listrik. Pada Tabel 2.1 dibawah ini kita dapat melihat rangkain pengganti dan persamaan yang menerangkan tentang hubung singkat.

Tabel 2.1 Gambar Rangkaian dan Persamaan Gangguan Hubung Singkat

Gangguan Hubung Singkat	Rangkaian Hubung Singkat & Rangkaian Pengganti	Persamaan
1 phasa ke tanah		$I_b = 0$ $I_c = 0$ $V_a = 0$ I_{sc} $= \frac{3V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$



Tabel 2.1 Gambar Rangkaian dan Persamaan Gangguan Hubung Singkat (lanjutan)

Singkat (lanju Gangguan Hubung Singkat	Rangkaian Hubung Singkat & Rangkaian Pengganti	Persamaan
2 phasa ke tanah	A F V _a B V _c I _b I _c I _c I _d	$I_{a} = 0 V_{b} = 0 V_{c} = 0$ $I_{a_{1}} = \frac{V_{f}}{Z_{1+}Z_{2}Z_{0}/(Z_{2} + Z_{0})}$
Antar phasa	Ic V _a	$I_{a} = 0$ $I_{b} = -I_{c}$ $V_{b} = V_{c}$ $I_{SC} = \left \pm j \frac{\sqrt{3}V_{f}}{Z_{1} + Z_{2}} \right $

Tabel 2.1 Gambar Rangkaian dan Persamaan Gangguan Hubung

Singkat (lanjutan)

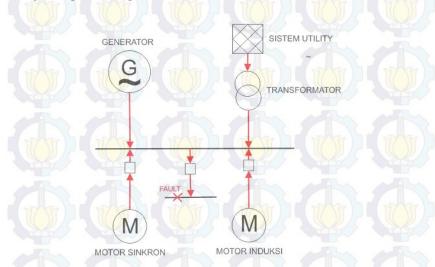
Gangguan Hubung Singkat	Rangkaian Hubung Singkat & Rangkaian Pengganti	Persamaan
3 phasa langsung (simetri)	In the second se	$V_{a0} = 0$ $V_{a2} = 0$ $I_{a0} = 0$ $I_{a2} = 0$ $I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1}$ $I_{SC} = \frac{V_f}{Z_1}$

Hampir semua gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik adalah gangguan tidak simetri. Gangguan tidak simetri ini terjadi sebagai akibat gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, gangguan hubung singkat dua fasa, atau gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah.

Gangguan-gangguan tidak simetri akan menyebabkan mengalirnya arus tak seimbang dalam sistem sehingga untuk analisa gangguan digunakan metode komponen simetri. Untuk menentukan arus maupun tegangan disemua bagian sistem setelah terjadi gangguan. Adanya gangguan hubung singkat dapat mengakibatkan rusaknya peralatan listrik, berkurangnya stabilitas daya, dan terhentinya kontinuitas daya akibat membukanya circuit breaker.

2.6 Perhitungan Arus Hubung Singkat [3]

Arus yang cukup tinggi akan akan mengalir dari sumber ke titik gangguan pada saat terjadi hubung singkat. Sumber arus hubung singkat yaitu : sistem utility, generator, motor sinkron dan motor induksi. Besarnya arus yang mengalir ini dipengaruhi oleh nilai reaktansi sumber dan reaktansi pada rangkaian yang dilalui arus hubung singkat. Arah aliran arus ketika terjadi gangguan hubung singkat dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Arah Aliran Arus Gangguan

Reaktansi pada beberapa cycle pertama sangat kecil dan arus hubung singkatnya tinggi. Reaktansi pada saat ini disebut dengan reaktansi subtransient atau subtransient reactance (X"d). Beberapa cylce kemudian arus hubung singkat cenderung menurun dan reaktansi pada saat ini disebut dengan reaktansi transien atau transient reactance (X'd) dan akhirnya kondisinya mencapai steady state dan reaktansinya disebut dengan reaktansi sinkron atau sychronus reactance (Xd). Pada kondisi steady state sistem utility, generator dan motor sinkron masih memberikan arus kontribusi, sedangkan motor induksi sudah tidak memberikan arus kontribusi.

Perhitungan praktis untuk menghitung besar arus hubung singkat dalam sistem distribusi dapat dilakukan sebagai berikut :

2.6.1 Hubung Singkat 3 Fasa

Hubung singkat 3 fasa adalah hubung singkat yang melibatkan ketiga fasanya. Besarnya arus hubung singkat tiga fasa ($I_{sc\ 30}$) dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$I_{sc\ 3\emptyset} = \frac{V_{LN}}{X_1} \tag{2.1}$$

(2.2)

Dengan V_{LN} adalah tegangan nominal line to netral dan X_1 reaktansi urutan positif.

2.6.2 Hubung Singkat 2 Fasa

Hubung singkat 2 fasa yaitu hubung singkat yang terjadi antara dua fasa tanpa terhubung ke tanah. Besarnya arus hubung singkat 2 fasa (*Isc*₂) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$Isc_{2\emptyset} = \frac{V_{LL}}{X_1 + X_2} = \frac{\sqrt{3} \times V_{LN}}{2 \times X_1} = \frac{\sqrt{3}}{2} \times Isc_{3\phi}$$

$$\approx 0.866 \times Isc_{3\phi}$$

Dengan V_{LL} adalah tegangan nominal line to netral dan X_2 adalah reaktansi urutan negative.

2.6.3 Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah

Hubung singkat ini melibatkan impedansi urutan nol, dan besarnya arus hubung singkat ini tergantung sistem pentanahan yang digunakan. Besarnya arus hubung singkat 1fasa ($Isc_{1\phi}$) dihitung dengan persamaan berikut:

$$Isc_{1\emptyset} = \frac{3 \times V_{LN}}{X_1 + X_2 + X_0 + (3 \times Z_q)}$$
 (2.3)

Apabila sistem menggunakan pentanahan solid maka $Z_g=0$, sehingga persamaannya menjadi :

$$Isc_{1\emptyset} = \frac{3 \times V_{LN}}{3 \times X_1} \tag{2.4}$$

2.7 Syarat – Syarat Pengaman sistem Tenaga Listrik

Rele pengaman merupakan elemen yang penting dalam pengaman sistem tenaga listrik, oleh karena itu untuk menjaga keandalan dari pelayanan energy listrik maka rele pengaman perlu memenuhi syarat keandalan sebagai berikut [4]:

a. Kecepatan Bereaksi

Kecepatan bereaksi rele adalah saat rele mulai merasakan adanya gangguan sampai dengan pelaksanaan pembukaan pemutus tenaga (circuit breaker). Waktu bereaksi diusahakan sesingkat mungkin sehingga kerusakan yang terjadi semakin kecil, serta dapat mengurangi meluasnya akibat dari adanya gangguan itu sendiri sehingga kestabilan sistem menjadi lebih baik.

b. Kepekaan (Sensitivity)

Pada prinsipnya rele harus cukup peka sehingga dapat mendeteksi gangguan di kawasan pengamanannya meskipun dalam kondisi yang membe rikan rangsangan yang minimum. Kepekaan rele diartikan sebagai kemampuan merespon bila kondisi kerja cenderung menyimpang dari kondisi kerja normal. Bila suatu kondisi kerja normal tiba-tiba mengalami gangguan, maka sistem pengaman harus cepat tanggap (peka). Sensitifitas dapat dituliskan dengan persamaan faktor sensitif Ks, yang merupakan perbandingan antara arus hubung singkat minimum dan arus pick up.

$$K_{s} = \frac{Isc_{min}}{I_{pp}} \tag{2.5}$$

Dimana:

Isc_{min} : Arus hubung singkat minimum.

 I_{pp} : Arus pick-up (Arus kerja) primer dari

pengaman.

c. Selektif (Selectivity)

Selektif maksudnya adalah penentuan peralatan rele pengaman harus bekerja atau tidak. Pengaman harus dapat memisahkan bagian sistem yang terganggu sekecil mungkin yaitu hanya seksi yang terganggu saja yang menjadi kawasan pengamanan utamanya. Jadi rele harus dapat membedakan apakah gangguan terletak dikawasan pengamanan utamanya dimana ia harus

bekerja cepat atau terletak di seksi berikutnya dimana ia harus bekerja dengan waktu tunda atau harus tidak bekerja sama sekali karena gangguannya di luar daerah pengamanannya atau sama sekali tidak ada gangguan. Untuk mengkoordinasikan rele agar menjadi selektif adalah melakukan perhitungan hubung singkat dengan cermat dan memperhatikan karakteristik dari rele tersebut.

d. Keandalan (*Reliability*)

Keandalan rele dapat dihitung dari jumlah rele yang bekerja untuk mengamankan gangguan berbanding jumlah gangguan yang terjadi. Keandalan rele yang baik adalah 90-99%. Semakin tinggi keandalan maka sistem tersebut semakin baik dan dapat meminimalkan terjadinya kerusakan akibat gangguan. Untuk mendapatkan keandalan yang tinggi tentunya tidak lepas dari kualitas peralatan dan cara pemasangannya. Keandalan harus memenuhi beberapa faktor yaitu: dependable: peralatan harus trip ketika dibutuhkan, secure: tidak boleh trip saat tidak dibutuhkan dan availability: perbandingan antara waktu dimana rele pengaman dalam keadaan siap kerja dan waktu total operasinya.

e. Ekonomis

Sistem pengaman peralatan juga harus mempertimbangkan sisi ekonomis dari pemasangan peralatan pengaman tersebut. Karena itu tidak semua peralatan harus dilengkapi dengan pengamanan yang lengkap karena harga peralatan pengaman juga harus diperhitungkan tanpa menghilangkan efektivitas penyaluran daya listrik. Sisi ekonomis perlu dipertimbangkan setelah aspek teknis telah terpenuhi untuk kelayakan operasi peralatan.

2.8 Rele Arus Lebih

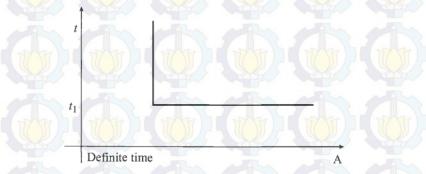
Untuk mengatasi gangguan arus lebih salah satunya kita dapat menggunakan Rele arus lebih (*Over Current Relay*). Rele arus lebih adalah rele yang bekerja ketika arus yang mengalir melebihi batas yang diizinkan. Rele arus lebih akan bekerja ketika keadaan sebagai berikut [3]:

 $I_f > I_p$ Rele bekerja (trip)

$I_f < I_p$ Rele tidak bekerja (blok)

2.8.1 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

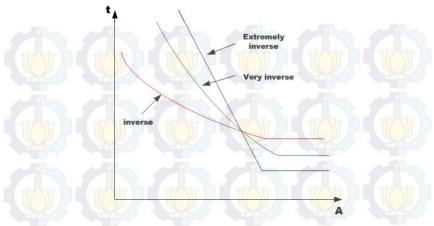
Setelan rele pengaman dengan menggunakan karakteristik waktu tertentu yang disetel pada rele pengaman hanya didasarkan pada waktu kerjanya rele pengaman dengan tidak melihat besarnya arus gangguan yang terjadi. Dengan kata lain, semua level arus yang melewati pickup set point-nya akan diputuskan dengan waktu yang sama.



Gambar 2.8 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

2.8.2 Rele Arus Lebih Waktu Invers

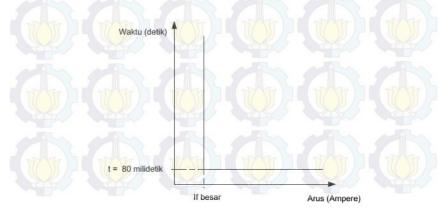
Rele dengan penyetelan waktu invers memiliki karakteristik dimana semakin besar arus gangguan maka rele akan beroperasi dalam waktu yang semakin cepat. Dan juga sebaliknya, ketika arus gangguan semakin kecil maka waktu yang digunakan untuk beroperasi akan semakin lama [4]. Karakteristik kerja rele arus lebih waktu invers di gambarkan dalam kurva arus-waktu atau yang biasa disebut timecurrent characteristic (TCC). Dalam standart IEEE std 242-2001 ada beberapa karakteristik kurva invers, yaitu long time inverse, very inverse, short time inverse dan extreme inverse. Untuk penggunaan kurva karakteristik juga dapat dikombinasikan dengan rele arus lebih waktu instan yang dijelaskan pada gambar berikut.



Gambar 2.9 Karakteristik Standard Inverse, very inverse dan extremely inverse

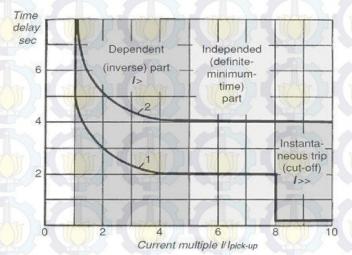
2.8.3 Rele Arus Lebih Waktu Instan

Prinsip kerja Rele jenis ini adalah tanpa penundaan waktu, tapi masih bekerja dengan waktu cepat. Pada setelan koordinasi pengaman di sistem distribusi tegangan menengah disebut dengan setelan instan. Bekerjanya Rele ini didasarkan besarnya arus gangguan hubung singkat yang dipilih dan membukanya CB dalam waktu cepat sekali (80 ms) [5].



Gambar 2.10 Karakteristik Rele Arus Lebih Instan

Gambar menunjukkan penggunaan IDMT yang dikombinasikan dengan Rele arus lebih waktu instan.



Gambar 2.11 Kombinasi IDMT dengan Rele Arus Lebih Waktu Instan

2.9 Penyetelan Rele Arus Lebih

Rele arus lebih pada dasarnya lebih memiliki fungsi sebagai pengaman gangguan hubung singkat, tetapi dalam beberapa hal rele arus lebih ini dapat berfungsi sebagai pengaman beban lebih (overload). Fungsi dari rele arus lebih ini selain sebagai pengaman utama untuk melindungi bagian yang diamankan juga berfungsi sebagai pengaman cadangan (back up) pada bagian berikutnya. Hal ini apabila arus lebih dipakai pada sistem dsitribusi tegangan menegah. Namun pada saluran transmisi tegangan tinggi rele arus lebih berfungsi sebagi back up, dimana rele jarak sebagai pengaman utama.

2.9.1 Penyetelan Rele Arus Lebih Waktu Inverse

Rele arus lebih waktu invers memiliki dua bagian penyetelan yaitu setelan *pickup* dan setelan time dial. Untuk setelan *pickup*, batas penyetelan Rele arus lebih adalah Rele tidak bekerja saat beban maksimum. Oleh karena itu *setting* arusnya harus lebih besar dari arus beban maksimum. Pada Rele arus lebih, besarnya arus *pickup* ini

ditentukan dengan pemilihan *tap*. Adapun untuk menentukan besarnya *tap* yang digunakan dapat menggunakan persamaan berikut :

$$Tap = \frac{I_{set}}{CT \ primary} \tag{2.6}$$

Iset adalah arus *pickup* dalam Ampere. Menurut standart British BS-142 batas penyetelannya adalah 1.05 IFLA < Iset < 1.3 IFLA. Dimana IFLA adalah adalah arus saat beban maksimum peralatan [6].

Setelan time dial menentukan waktu operasi Rele. Untuk menentukan time dial dari masing-masing kurva karakteristik invers Rele arus lebih dapat digunakan persamaan sebagai berikut [7]:

$$td = \frac{k \times T}{\beta \times \left[\left(\frac{l}{l \operatorname{set}} \right)^{\alpha} - 1 \right]}$$
(2.7)

Dimana:

td = waktu operasi

T = time dial

I = nilai arus (Ampere)

Iset = Arus pickup (Ampere)

k = koefisien inverse 1 (lihat Tabel 2.2)

 \propto = koefisien inverse 2 (lihat Tabel 2.2)

 β = koefisien inverse 3 (lihat Tabel 2.2)

Tabel 2.2 Koefisien invers time dial

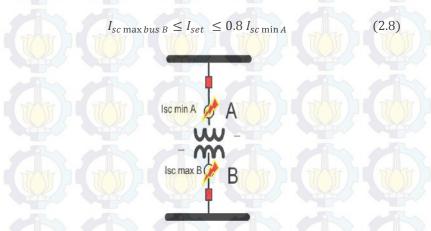
Ti V		Koefisien	9
Tipe Kurva	k y	α	β
Stan <mark>dard Inverse</mark>	0.14	0.02	2.970
Very Inverse	13.50	1.00	1.500
Extremely Inverse	80.00	2.00	0.808

2.9.2 Penyetelan Rele Arus Lebih Instan

Rele arus lebih instan,seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya rele ini akan bekerja seketika jika ada arus lebih yang mengalir melebihi batas yang ditentukan. Dalam menentukan setelan *pickup* instan ini digunakan Isc min yaitu arus hubung singkat 2 fasa pada pembangkitan minimum. Sehingga *setting* ditetapkan:

$$I_{set} \le 0.8 I_{sc min} \tag{2.8}$$

Adapun kondisi khusus yang perlu diperhatikan dalam mensetting rele arus lebih waktu instan ini. Salah satunya adalah kondisi khusus untuk pengaman *feeder* yang dipisahkan oleh trafo, koordinasi pengaman dibedakan menjadi dua daerah, yakni daerah *low voltage* (LV), dan daerah *high voltage* (HV) seperti pada Gambar 2.12. Untuk menentukan *setting pickup* dengan syarat sebagai berikut:



Gambar 2.12 Rele arus lebih pengaman Trafo

Dimana Isc max bus B merupakan arus hubung singkat tiga phasa maksimum pada titik B, sedangkan Isc min, A adalah arus hubung singkat minimum pada titik A.

2.10 Koordinasi Rele Arus Lebih dan Waktu

Koordinasi ini digunakan untuk menentukan *time delay* pada Rele pengaman. Antara Rele pengaman utama dan Rele pengaman backup tidak boleh bekerja secara bersamaan. Untuk itu diperlukan adanya *time delay* antara Rele utama dan Rele *backup*. Perbedaan waktu kerja minimal antara Rele utama dan Rele *backup* adalah 0.2-0.35 detik . Dengan spesifikasi sebagai berikut menurut standard IEEE 242 :

Waktu buka CB : 0.04 – 0.1s (2-5 *Cycle*)

Overtravel dari rele : 0.1 s

Faktor Keamanan : 0.12 - 0.22s

Untuk rele berbasis *microprosessor Overtravel time* dari Rele diabaikan. Sehingga waktu yang diperlukan adalah 0.2-0.4s [8]

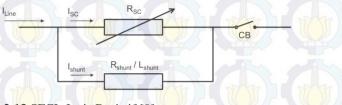
2.11 Superconducting Fault Current Limiter

Superconducting Fault Current Limiter (SFCL) adalah inovasi peralatan kelistrikan dimana mempunyai kemampuan untuk mengurangi level arus gangguan dalam waktu kurang dari satu cycle. Pengurangan arus gangguan pada satu cycle pertama oleh SFCL menghasilkan sebuah peningkatan stabilitas transien pada sistem jaringan dengan stabilitas yang lebih baik.

SFCL jenis *High Temperature Superconductors* (HTS) mempunyai karakteristik yang dominan terhadap perilaku pembatasan arus gangguan yaitu kerapatan arus pada medan listrik yang terdapat pada bahan SFCL sangat bergantung pada respon nonlinier superconductor tersebut yaitu suhu, arus dan variasi medan magnet seperti pada Gambar 2.14.

2.11.1 Superconduting Fault Current Limiter (SFCL) Jenis Resistif

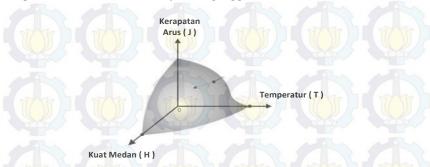
Sebuah SFCL yang ideal pada saat kondisi operasi normal mempunyai resistansi 0 Ω (Ohm), tetapi pada kondisi terjadinya gangguan arus hubung singkat yang besar mengakibatkan peningkatan temperature pada SFCL, dan terjadi perubahan kondisi dimana resistansi pada jaringan menjadi maksimum secara ekponensial, kemudian nilai resistansi maksimum membatasi arus gangguan secara cepat.



Gambar 2.13 SFCL Jenis Resistif [9]

SFCL adalah perangkat elektronik yang bekerja berdasarkan prinsip superconduktivitas. Kemampuan membatasi arus gangguan bergantung pada respon non linear pada SFCL untuk arus, temperature dan variasi medan magnet. Parameter tersebut yang seperti terlihat pada

Gambar 2.14, mengakibatkan transisi antara kondisi normal dan konsisi superconductor (kondisi adanya arus gangguan).

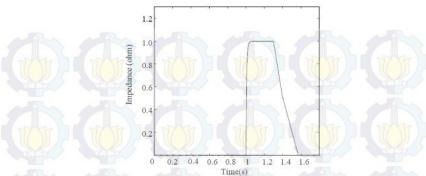


Gambar 2.14 Karakteristik Material SFCL Jenis Resistif [10]

Pada Gambar 2.13 dapat dilihat struktur SFCL resistif yang terdiri dari resistansi variabel R_{sc} dan R_{shunt} atau L_{shunt} yang terhubung parallel. R_{sc} adalah resistansi superkonduktor sedangkan R_{shunt} atau L_{shunt} merupakan resistansi penstabil saat terjadinya *recovery* pada resistansi superconduktor. Nilai dari R_{sc} berubah sesuai kenaikan arus dan temperaturnya sampai batas maksimum nilai resisistansinya dan pada kondisi normal nilai R_{sc} adalah nol [11]. Dan pada saat terjadi hubung singkat yang menyebabkan peningkatan arus sehingga nilai dari R_{sc} dan R_{shunt} akan berubah sesuai karakteristiknya.

Pada persamaan di bawah ini, SFCL jenis Resistif terdapat 4 kondisi, yaitu :

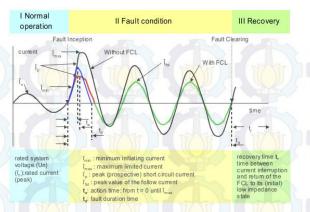
$$R_{SFCL}(t) = \begin{cases} 0, & (t < t0) \\ R_m \left[1 - \exp\left(-\frac{t - t0}{T_f}\right) \right]^{\frac{1}{2}}, & (t0 \le t < t1) \\ a_1(t - t1) + b_1, & (t1 \le t < t2) \\ a_2(t - t2) + b_2, & (t2 \le t) \end{cases}$$



Gambar 2.15 Grafik peningkatan Resistansi dan kondisi saat pemulihan (*Recovery*)

Dari Gambar 2.15 di atas diketahui bahawa saat terjadi arus gangguan (t=1s) impedansi akan meningkat menuju impedansi maksimum (R_m) . t_1 dan t_2 menunjukkan pertama dan kedua waktu pemulihan. Hal ini jelas terlihat bahwa pada pengoperasian normal kondisi impedansi SFCL adalah nol, pada nilai SFCL yang besarnya 1 Ohm. T_{SC} adalah waktu yang konstan (kondisi normal). t_0 menunjukkan waktu untuk mulai pendinginan. Pada waktu pendinginan SFCL dipengaruhi oleh nitrogen cair dan juga YBCO film yang merupakan material SFCL resistif.

Beberapa desain SFCL resistif terdapat komponen "fast switching" yang terhubung secara seri dengan elemen superkonduktor tanpa melalui alat kontrol. Switch ini cepat mengisolasi superkonduktor setelah sebagian besar arus telah dialihkan ke impedansi parallel (R_{shunt} atau L_{shunt}) yang memungkinkan elemen superkonduktor untuk memulai siklus pemulihan saat tindakan membatasi ditopang oleh impedansi parallel. Fast Switching bertindak mengurangi suhu puncak dalam bahan superkonduktor dan memungkinkan untuk waktu pemulihan lebih cepat daripada SFCL resistif murni. Jenis SCFL ini terkadang disebut sebagai SFCL hybrid.



Gambar 2.16 Bentuk gelombang arus gangguan dengan dan tanpa SFCL [9]

2.11.2 Pereduksian Arus Hubung Singkat Dengan SFCL

Dengan karakteristik yang dimiliki SFCL membuat nilai arus hubung singkat pada saat gangguan menjadi lebih kecil, hal tersebut diakibatkan oleh nilai resistansi pada SFCL yang meningkat saat adanya gangguan.

Untuk menghitung arus hubung singkat dengan pemasangan SFCL adalah sebagai berikut:

a) Hubung singkat 3 Fasa
Hubung singkat 3 fasa adalah hubung singkat yang melibatkan
ketiga fasanya. Besarnya arus hubung singkat tiga fasa (I_{sc} 3 \emptyset)
dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$Isc_{3\emptyset} = \frac{V_{LN}}{X_1 + Z_{SFCL}} \tag{2.9}$$

Dimana Impedansi yang digunakan adalah impedansi urutan positif, dengan penambahan Z_{SFCL} sebagai impedansi SFCL dan V_{LN} adalah tegangan nominal line to netral dan X_1 reaktansi urutan positif.

b) Hubung Singkat 2 Fasa Hubung singkat 2 fasa yaitu hubung singkat yang terjadi antara dua fasa tanpa terhubung ke tanah. Besarnya arus hubung singkat 2 fasa (Isc_2) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$Isc_{2\phi} = \frac{V_{LL}}{X_1 + X_2} = \frac{\sqrt{3} \times V_{LN}}{2 \times X_1 + Z_{SFCL}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \times Isc_{3\phi}$$

$$\approx 0.866 \times Isc_{3\phi}$$
(2.10)

Dengan V_{LL} adalah tegangan nominal line to netral dan X_2 adalah reaktansi urutan negative dan Z_{SFCL} merupakan Impedansi SFCL.

c) Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah Hubung singkat ini melibatkan impedansi urutan nol, dan besarnya arus hubung singkat ini tergantung sistem pentanahan yang digunakan. Besarnya arus hubung singkat 1 fasa ($Isc_{1\phi}$) dihitung dengan persamaan berikut:

$$Isc_{10} = \frac{3 \times V_{LN}}{X_1 + X_2 + X_0 + (3 \times Z_g) + Z_{SFCL}}$$
(2.11)

Apabila sistem menggunakan pentanahan solid maka $Z_g = 0$, sehingga persamaannya menjadi :

$$Isc_{1\emptyset} = \frac{3 \times V_{LN}}{3 \times X_1 + Z_{CPCI}} \tag{2.12}$$

2.11.3 Manfaat Pemasangan SFCL

- a. Menghemat biaya
 - Apabila kapasitas Breaking Capacity tidak cukup untuk menahan arus hubung singkat tidak perlu mengganti Switchgear atau peralatan lain yang dalam kondisi kritikal, sehingga dapat menghemat biaya.
- Memproteksi peralatan dibawah rating arus hubung singkat.
 Melindungi peralatan dan memperpanjang umur peralatan.
- Memproteksi sistem
 Melindungi sistem dari arus berlebih.
- d. Mereduksi percikan api
 Mereduksi percikan akibat arus hubung singkat yang besar.
- e. Memproteksi peralatan

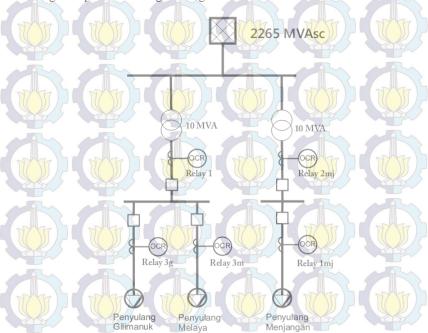
Mampu melindungi peralatan saat circuit breaker tidak mampu melindungi, yakni waktu pemutusan kurang dari ¼ cycle sehingga arus gangguan tidak pernah mencapai harga puncaknya.

BAB III

PENERAPAN SUPERCONDUCTING FAULT CURRENT LIMITER PADA SISTEM JARINGAN DISTRIBUSI APJ GILMANUK

3.1 Sitem Distribusi APJ Gilimanuk

Sistem kelistrikan di APJ Gilimanuk menggunakan sistem transmisi 150 kV dan 20 kV serta menggunakan sistem distribusi dengan level tegangan 0,4 kV dan 0,38 kV. Sistem transmisi ini terdiri dari 3 penyulang yaitu Penyulang Gilimanuk, Penyulang Melaya dan Penyulang Menjangan yang disuplay dari 1 sumber. Gardu Induk APJ Gilimanuk merupakan salah satu Gardu Induk penyuplai listrik di Area Jaringan Bali Utara. Sistem ke listrikan di Gardu Induk APJ Gilimanuk ini terdiri dari 2 buah Transformator utama step down 150/20 kV dengan kapasitas masing-masing 10 MVA.



Gambar 3.1. Single Line Diagram PT.PLN (Persero) APJ Gilimanuk

Dari Transformator utama tersebut, sistem terbagi lagi menjadi beberapa sistem radial dengan kapasitas transformator daya yang lebih kecil dengan tipe step down 20/0,4kV dan 20/0,38kV untuk menyuplai beban-beban pelanggan. 2 Trafo Gardu Induk APJ Gilimanuk menyuplai 3 penyulang yang nantinya penyulang tersebut menyuplai listrik ke beban-beban pelanggan. Berikut data Transformator seperti terlihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 3.1 Data Transformator Daya Gardu Induk APJ Gilimanuk

Nama Trafo	Primer (kV)	Sekunder (kV)	Rating (kVA)
Trafo Gilimanuk 1	150	20	10.000
Trafo Gilimanuk 2	150	20	10.000

3.1.1 Rating Tegangan

Pada sistem kelistrikan PT PLN APJ Gilimanuk terdapat 4 rating tegangan yang digunakan, yaitu :

- 1. Tegangan 150 kV
 Tegangan 150kV berada pada daerah Sumber PLN. Tegangan ini yang masuk pada Trafo di Gardu Induk Gilimanuk.
- 2. Tegangan 20 kV

 Tegangan ini berada di area jaringan distribusi PT. PLN
- 3. Tegangan 400 V
 Tegangan ini berada pada daerah beban beban pelanggan.
- 4. Tegangan 380 V

 Tegangan ini berada pada daerah beban beban pelanggan.

3.2 Penyulang Gilimanuk

Pada penyulang Gilimanuk memiliki system distribusi berbentuk radial. Penyulang Gilimanuk didukung oleh beberapa trafo daya step down dari tegangan 20 kV ke tegangan 0,4 kV dan 0,38 kV yang nantinya output dari transformator tersebut langsung mendistribusikan listrik ke seluruh beban. Transformator tersebut adalah sebagai berikut.

Tabel 3.2 Gardu Induk Penyulang Gilimanuk

Nama Trafo	Primer (kV)	Sekunder (kV)	Rating (kV)
Trafo ML014	20	0,4	160
Trafo ML076	20	0,4	100
Trafo ML087	20	0,4	160
Tra <mark>fo ML</mark> 78	20	0,4	100
Trafo ML006	20	0,4	200
Trafo ML069	20	0,38	100
Tar <mark>fo ML</mark> 27	20	0,4	160
Trafo ML19	20	0,4	160
Trafo ML19	20	0,4	250
Trafo ML005	20	0,38	100
Trafo ML051	20	0,38	160
Trafo ML058	20	0,4	25
Trafo ML004	20	0,38	100
Trafo ML052	20	0,38	345

3.3 Penyulang Melaya

Pada Penyulang Melaya memiliki sistem distribusi berbentuk radial. Penyulang Melaya menggunakan beberapa trafo daya *step down* dari tegangan 20 kV ke tegangan 0,4 kV yang nantinya *output* dari transformator ini langsung mendistribusikan listrik ke seluruh beban. Transformator tersebut adalah sebagai berikut:

Tabel 3.3 Gardu Induk Penyulang Melaya

N <mark>ama T</mark> rafo	Primer (kV)	Sekunder (kV)	Rating (kV)
Trafo ML029	20	0,4	100

Tabel 3.3 Gardu Induk Penyulang Melaya (lanjutan)

Nama Trafo	Primer (kV)	Sekunder (kV)	Rating (kV)
Trafo ML88	20	0,4	100
Trafo ML096	20	0,4	100
Trafo ML032	20	0,4	160
Trafo ML067	20	0,4	100
Trafo ML044	20	0,4	100
Trafo ML075	20	0,4	100
Trafo ML071	207	0,4	100
Trafo ML033	20	0,4	100
Trafo ML001	20	0,4	200
Trafo ML064	20	0,4	100
Trafo ML066	20	0,4	100
Trafo ML023	20	0,4	100
Trafo ML025	20	0,4	100
Trafo ML043	20	0,4	50
Trafo ML063	20	0,4	160
Trafo ML035	20	0,4	100
Trafo ML081	207	0,4	100
Trafo ML026	20	0,4	100
Trafo ML024	20	0,4	100
Trafo ML008	20	0,4	100
Trafo ML095	20	0,4	100
Trafo ML042	20	0,4	160
Trafo ML002	20	0,4	160
Trafo ML003	20	0,4	50
Trafo ML009	20	0,4	160
Trafo ML082	20	0,4	160

Tabel 3.3 Gardu Induk Penyulang Melaya (lanjutan)

Nama Trafo	Primer	Sekunder	Rating
Ivania Traio	(kV)	(kV)	(kV)
Trafo ML007	20	0,4	160
Trafo ML012	20	0,4	200
Trafo ML083	20	0,4	160
Trafo ML092	20	0,4	100
Trafo ML011	20	0,4	100
Trafo ML053	20	0,4	630
Trafo ML013	20	0,4	100
Trafo ML068	20	0,4	100
Trafo ML054	20	0,4	100
Trafo ML016	20	0,4	100
Trafo ML094	20	0,4	100
Trafo ML034	20	0,4	50
Trafo ML089	20	0,4	100
Trafo ML091	20	0,4	50
Trafo ML084	20	0,4	160
Trafo ML097	20	0,4	160
Trafo ML049	20	0,4	100
Trafo ML048	20	0,4	50
Trafo ML015	20	0,4	100
Trafo ML086	20	0,4	160
Trafo ML101	20	0,4	100
Trafo ML056	20	0,4	100
Trafo ML077	20	0,4	900
Trafo ML093	20	0,4	100
Trafo ML037	20	0,4	160
Trafo ML028	20	0,4	250

Tabel 3.3 Gardu Induk Penyulang Melaya (lanjutan)

Nama Trafo	Primer (kV)	Sekunder (kV)	Rating (kV)
Trafo ML021	20	0,4	100
Trafo ML036	20	0,4	100
Trafo ML103	20	0,4	345
Trafo ML062	20	0,4	50
Trafo ML055	20	0,4	50
Trafo ML061	20	0,4	50
Trafo ML045	20	0,4	100
Trafo ML073	20	0,4	50
Trafo ML098	20	0,4	100
Trafo ML065	20	0,4	50
Trafo ML039	20	0,4	100
Trafo ML041	20	0,4	100

3.4 Penyulang Menjangan

Pada Penyulang Melaya memiliki system distribusi berbentuk radial. Penyulang Melaya menggunakan beberapa trafo daya step down dari tegangan 20 kV ke tegangan 0,4 kV yang nantinya output dari transformator ini langsung mendistribusikan listrik keseluruh beban. Transformator tersebut adalah sebagai berikut:

Tabel 3.4 Gardu Induk Penyulang Menjangan

Nama Trafo	Primer (kV)	Sekunder (kV)	Rating (kV)
Trafo GR088	20	0,4	100
Trafo GR079	20	0,4	160
Trafo GR081	20	0,4	100
Trafo GR082	20	0,4	50

Tabel 3.4 Gardu Induk Penyulang Menjangan (lanjutan)

Nama Trafo	Primer	Sekunder	Rating
Nama Traio	(kV)	(kV)	(kV)
Trafo GR86	20	0,4	200
Trafo GR083	20	0,4	160
Trafo GR128	20	0,4	100
Trafo GR144	20	0,4	100
Trafo GR094	20	0,4	100
Trafo GR034	20	0,4	100
Trafo GR129	20	0,4	100
Trafo GR161	20	0,4	50
Trafo GR024	20	0,4	100
Trafo GR155	20	0,4	100
Trafo GR036	20	0,4	100
Trafo GR064	20	0,4	200
Trafo GR152	20	0,4	100
Trafo GR118	20	0,4	100
Trafo GR036	20	0,4	100
Trafo GR064	20	0,4	200
Trafo GR152	20	0,4	100
Trafo GR089	20	0,4	50
Trafo GR122	20	0,4	100
Trafo GR138	20	0,4	100
Trafo GR145	20	0,4	160
Trafo GR021	20	0,4	100
Trafo GR035	20	0,4	160
Trafo GR114	20	0,4	160
Trafo GR047	20	0,4	100
Trafo GR092	20	0,4	160

Tabel 3.4 Gardu Induk Penyulang Menjangan (lanjutan)

Nama Trafo	Primer (kV)	Sekunder (kV)	Rating (kV)
Trafo GR038	20	0,4	100
Trafo GR022	20	0,4	50
Trafo GR097	20	0,4	100
Trafo GR046	20	0,4	160
Trafo GR153	20	0,4	50
Trafo GR099	20	0,4	100
Trafo GR143	20	0,4	50
Trafo GR059	20	0,4	160
Trafo GR052	20	0,4	160
Trafo GR116	20	0,4	100
Trafo GR105	20	0,4	100
Trafo GR104	20	0,4	160
Trafo GR141	20	0,4	100
Trafo GR093	20	0,4	160
Trafo GR121	20	0,4	100
Trafo GR122	20	0,4	100
Trafo GR051	20	0,4	400
Trafo GR026	20	0,4	160
Trafo GR058	20	0,4	100
Trafo GR019	20	0,4	100
Trafo GR056	20	0,4	160
Trafo GR151	20	0,4	100
Trafo GR108	20	0,4	100
Trafo GR018	20	0,4	250
Trafo GR117	20	0,4	100
Trafo GR103	20	0,4	100

Tabel 3.4 Gardu Induk Penyulang Menjangan (lanjutan)

Nama Trafo	Primer (kV)	Sekunder (kV)	Rating (kV)
Trafo GR135	20	0,4	160
Trafo GR054	20	0,4	250
Trafo GR113	20	0,4	160
Trafo GR023	20	0,4	250
Trafo GR087	20	0,4	200
Trafo GR091	20	0,4	160
Trafo GR084	20	0,4	100
Trafo GR043	20	0,4	250
Trafo GR072	20	0,4	160
Trafo GR74	20	0,4	200
Trafo GR142	20	0,4	100
Trafo GR016	20	0,4	100
Trafo GR115	20	0,4	50

3.5 Sistem Pengaman Existing

Peralatan pengaman dari PT. PLN (Persero) APJ Gilimanuk menggunakan beberapa jenis pengaman antara lain pengaman rele arus lebih, recloser dan fuse cut out. Untuk peralatan pengaman arus lebih PT. PLN (Persero) APJ Gilimanuk menggunakan tipe rele *definite overcurrent* dan rele *time over current* yang bekerja berdasarkan setting arus dan waktu tunda.

Peralatan pengaman terletak di 3 penyulang yang berbeda yakni Penyulang Gilimanuk, Melaya dan Menjangan. Pada Tabel 3.5, Tabel 3.6, Tabel 3.7, Tabel 3.8 dan Tabel 3.9 dapat dilihat setting kordinasi eksisting dari rele arus lebih pada PT. PLN (Persero) APJ Gilimanuk.

Tabel 3.5 *Existing* Rele Penyulang Gilimanuk

A		CT	P		Exsisting		
Rele	Type	Rasio	Curve	[> (A)	(s)	I >> (A)	t >> (s)
Relay 2	Areva P129	1000/5	IEC SI	0,04	0,5	1	0,3
Relay 1	Areva P129	1000/5	IEC SI	0,288	0,5	1	0,3
Relay 3g	Areva P129	1000/5	IEC SI	0.29	1,5	1	0,1

Tabel 3.6 Existing rele Penyulang Melaya

		CT	77)		Existing		
Rele	Type	Rasio	Curve	I > (A)	(s)	I>> (A)	t >> (s)
Relay 2	Areva P129	1000/5	IEC SI	0,04	0,5	1	0,3
Relay 1	Areva P129	1000/5	IEC SI	0,288	0,5	1	0,3
Relay 3m	Areva P129	1000/5	IEC SI	0.29	0,35	8	0,3

Tabel 3.7 Existing Recloser Penyulang Melaya

		СТ	Existing			
Recloser	Type	Ratio	Curve	trip	Trip Highset	t
Rec 1	Cooper F6	500/1	IEC I	200	400=2x200	0,15

Tabel 3.8 Existing rele Penyulang Menjangan

777	7777	CT			Existing	77777	
Rele	Type	Rasio	Curve	[> (A)	t > (s)	I>> (A)	t >> (s)
Relay 3	Areva P129	1000/5	IEC SI	0,1	0,22	40	0,3
Relay 2	Areva P129	1000/5	IEC SI	0,29	0,12	(8)	-0,5
Relay 1	Areva P129	1000/5	IEC SI	0,29	0,07	40	0,1

Tabel 3.9 Existing Recloser Penyulang Menjangan

S AF				Ex	isting	
Recloser	Type	CT Ratio	Curve	trip	Trip Highset	t
Rec Trimbawan	Cooper F6	500/1	IEC I	200	400=2x200	0,15
Rec Matahari	Cooper F7	500/2	IEC I	200	400=2x201	0,15

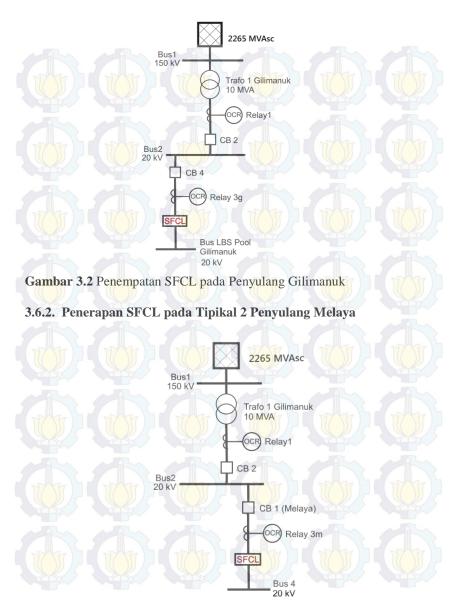
3.6 Penerapan SFCL pada Jaringan Distribusi

Arus hubung singkat yang sangat besar tidak hanya berbahaya bagi lingkungan pada saat terjadi gangguan akan tetapi dapat mengurangi umur peralatan bahkan dapat merusak peralatan apabila arus gangguan tidak cepat diamankan melalui suatu sistem pengaman. Semakin besar potensi arus hubung singkat maka dibutuhkan suatu peralatan pengaman dengan daya tahan arus gangguan (breaking capacity) yang besar pula. Dengan alasan keselamatan dan keamanan pada setiap peralatan maka dipasang suatu pembatas arus atau Superconducting Fault Current Limite (SFCL) .SFCL merupakan suatu peralatan yang mampu mengurangi arus hubung singkat sesuai dengan prinsip kerja konduktivitasnya. Pada SFCL memiliki suatu besaran impedansi yang akan bekerja pada saat terjadi gangguan, besar impedansinya disesuaikan dengan besar arus hubung singkat yang akan dikurangi, akan tetapi pada kondisi normal (tanpa terjadi gangguan) impedansi tersebut bernilai nol, sehingga tidak membani jaringan.

Karakteristik setiap SFCL tentunya bisa saja bebeda tergantung dari bahan atau material serta kapasitas tahanan yang terdapat pada SFCL yang akan berpengaruh terhadap besarnya arus hubung singkat yang akan direduksi.

3.6.1 Penerapan SFCL pada Penyulang Gilimanuk

Penerapan SFCL pada jaringan distribusi penyulang Gilimanuk yaitu lokasinya terhubung dengan bus 2, seperti yang terlihat pada Gambar 3.2. SFCL yang dipasang adalah SFCL Tipe Resistif. Dimana pada tipe Resistif saat sistem bekerja normal resistansinya bernilai Nol dan saat terjadi gangguan resistansinya maksimum.

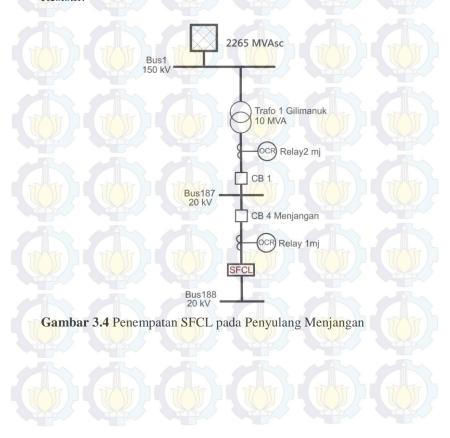


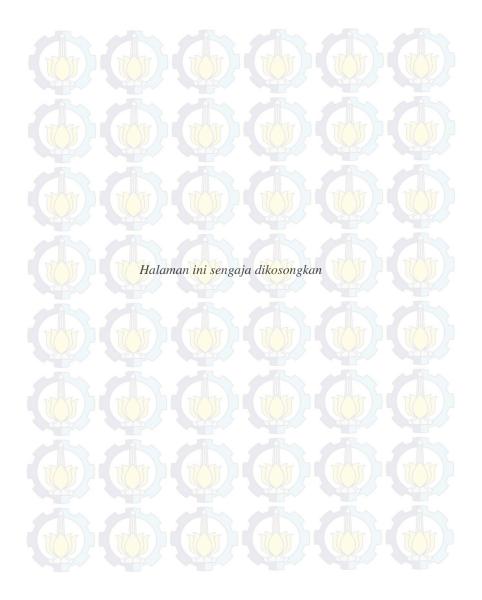
Gambar 3.3 Penempatan SFCL pada Penyulang Melaya

Penerapan SFCL pada jaringan distribusi penyulang Gilimanuk yaitu lokasinya terhubung diatara bus2 dengan bus4, seperti yang terlihat pada Gambar 3.3. SFCL yang dipasang adalah SFCL Tipe Resistif.

3.6.3 Penerapan SFCL pada Tipikal 2 Penyulang Menjangan

Penerapan SFCL pada jaringan distribusi penyulang Gilimanuk yaitu lokasinya terhubung diatara bus 187 dengan bus 188, seperti yang terlihat pada Gambar 3.4. SFCL yang dipasang adalah SFCL Tipe Resistif.





BAB IV

ANALISA PENGARUH PENERAPAN SFCL PADA JARINGAN DISTRIBUSI 20 kV PT. PLN (PERSERO) APJ GILIMANUK

Besar arus hubung singkat yang dikurangi atau direduksi oleh SFCL tentunya akan berpengaruh terhadap setting relay proteksi yang sudah terpasang (existing). Pengurangan arus hubung singkat (SFCL) memiliki beberapa manfaat diantaranya yaitu agar potensi besarnya energi busur api (arc flash energy) dapat berkurang dan dengan hal tersebut membuat lingkungan kerja menjadi lebih aman, baik aman untuk orang disekitar dan mampu mengamankan serta membuat umur peralatan menjadi lebih panjang. Superconducting Fault Current Limiter beroprasi membatasi atau mengurangi arus hubung singkat pada 1/2 Cycle pertama saat terjadinya gangguan. Setelah melakukan pemodelan SFCL pada jaringan, kemudian dilakukan analisa arus hubung singkat kemudian evaluasi setting relay existing kemudian setelah itu dianalisa pengaruh penerapan SFCL tersebut pada setting peralatan pengaman yang telah ada (existing) atau yang telah mengalami resetting dari hasil evaluasi.

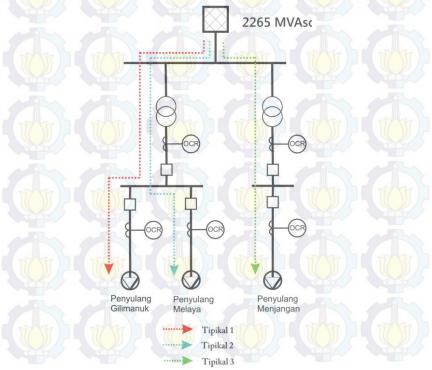
4.1 Pemil<mark>ihan</mark> Tipikal *Setting* Koordinasi Sistem Proteksi pada PT. PLN (Persero) APJ Gilimanuk

Dari seluruh sistem kelistrikan PT. PLN (Persero) APJ Gilimanuk yang telah dijelaskan pada BAB III, diambil beberapa tipikal sebagai perwakilan dari analisis koordinasi sistem pengaman di PT. PLN (Persero) APJ Gilimanuk, karena tipikal-tipikal ini dianggap mewakili secara keseluruhan sistem koordinasi sistem pengaman yang terpasang. Tipikal yang diambil terdiri dari 3 tipikal yaitu tipikal Penyulang Gilimanuk, Tipikal Penyulang Melaya dan Tipikal Penyulang Menjangan. Tipikal-tipikal tersebut dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Tipikal Gilimanuk adalah tipikal yang paling pendek dari tiga tipikal yang dibahas pada Tugas Akhir ini. Tipikal ini memiliki beberapa level tegangan, yaitu: 20 kV dan 0,4 kV. Pada tipikal ini terdapat 3 buah fuse dan 3 buah rele pengaman, yaitu: fuse 46, fuse 47, fuse 48, rele 3g dan rele 2. Tipikal ini untuk selanjutnya akan disebut **Tipikal 1.**

- 2. Tipikal Melaya adalah **Tipikal 2**. Tipikal ini memiliki beberapa level tegangan, yaitu 20 kV dan 0,4 kV. Pada tipikal ini terdapat 2 buah fuse, 1 recloser dan 1 rele pengaman, yaitu: fuse 1 dan fuse 31, recloser 1, rele 3m dan rele 2m.
- 3. Tipikal Menjangan adalah tipikal yang paling panjang dari semua tipikal pada Tugas Akhir ini. Tipikal ini memiliki beberapa level tegangan, yaitu 20 kV dan 0,4 kV. Pada tipikal ini terdapat 1buah fuse, 2 buah recloser dan 2 buah rele arus lebih, yaitu : fuse 2, recloser matahari dan recloser trimbawan, dan satu buah rele 1 mj dan rele 2mj. Tipikal ini untuk selanjutnya disebut sebagai Tipikal 3.

Tipikal - tipikal di atas mulai dari Tipikal Gilimanuk, Tipikal Melaya, Tipikal Menjangan dapat dilihat pada **Gambar 4.1**.



Gambar 4.1. Rangkaian Tipikal 1, 2, dan 3

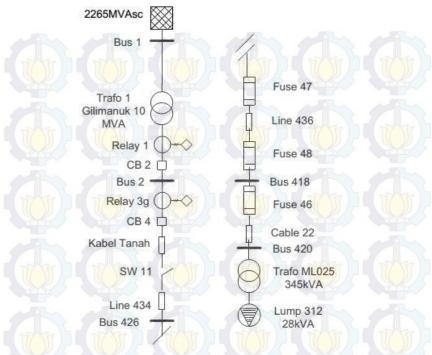
Tabel 4.1 di bawah ini merupakan data arus hubung singkat pada masing-masing tipikal yang nantinya arus hubung singkat tersebut akan digunakan sebagai acuan penentuan setting koordinasi antar peralatan pengaman.

Tabel 4.1 Data Arus Hubung Singkat pada Masing-masing Bus

ID Bus	Tegangan Bus (kV)	Isc Min 30 30 Cycle (kA)	Isc Max 4 cycle (kA)	
Bus LBS poll 1g	20	2,957	3,415	
Bus 2g	20	2,964	3,422	
Bus 398m	20	0,869	1,003	
Bus 3m	20	0,605	0,699	
bus 4m	20	2,393	2,764	
Bus 2m	20	2,396	2,767	
Bus 354mj	20	0,837	0,967	
Bus 308mj	20	1,190	1,374	
Bus 304mj	20	1,290	1,490	
Bus 197mj	20	1,929	2,227	
Bus188mj	20	2,892	3,340	
Bus 187mj	20	2,962	3,420	

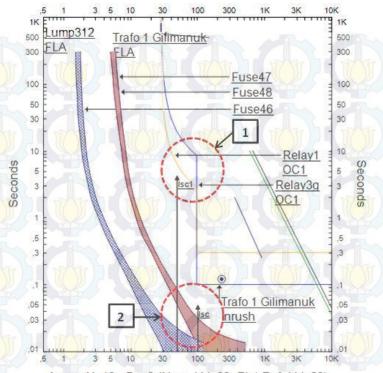
4.1.1 Setting Koordinasi Rele Tipikal 1 Gilimanuk

Pada tipikal 1 ini terdapat 2 rele arus lebih dan 3 fuse yang harus dilihat setting koordinasi eksistingnya, dan dianalisa apakah terjadi kesalahan koordinasi pada rele - rele arus lebih yang berada pada tipikal 1. Seperti yang kita lihat pada Gambar 4.2, fuse pertama pada tipikal ini adalah fuse 46 sebagai pelindung trafo ML0 52, lalu fuse 48 yang terhubung dengan bus 418 dan fuse 47 sebagai backup dari fuse 48. Relay 3g sebagai pengaman bus LBS poll 1 gilimanuk dan relay 1 sebagai pengaman dari trafo.



Gambar 4.2. Rangkaian Tipikal 1 Gilimanuk

Dari kurva koordinasi pada Gambar 4.3 terlihat bahwa untuk setting waktu delay pada relay 3g dan relay 2 sudah benar yaitu dengan selisih waktu 0,2 s, akan tetapi pada setting low set seperti yang terlihat pada lingkaran merah dengan tanda nomor 1, terlihat bahwa adanya kesalahan koordinasi pada relay 3g dan relay 2, apabila terjadi over current (I>) maka relay 1 akan beroprasi terlebih dahulu, yang mana relay 1 tersebut merupakan pengaman trafo, hal ini harus dihindari karena apabila terjadi gagal operasi pada relay 1 maka trafo akan menglami kerusakan, sehingga nantinya akan dievaluasi dan mengkoordinasikan relay - relay tersebut agar bekerja sesuai dengan daerah pengamanannya.



Amps X 10 Bus2 (Nom. kV=20, Plot Ref. kV=20)

Gambar 4.3. Time current curve existing tipikal 1

Pada lingkaran merah dengan tanda nomor 2 apabila terjadi arus hubung singkat pada daerah tersebut fuse 46, 47 dan 48 akan bekerja bersamaan, sehingga hal ini dapat menggangu kontinuitas penyaluran energi listrik menuju pelanggan. Hal ini dapat dihindari dengan penggunaan SFCL yang akan dibahas pada sub bab berikutnya.

Dari kesalahan setting relay tadi maka diperlukan pengaturan ulang (*resetting*) untuk mencapai koordinasi antar peralatan pengaman yang handal. Perhitungan ulang pengaturan *existing* relay adalah sebagai berikut:

Relay 3g

Manufaktur

Model

Kurva

Rasio CT

Isc Min 30 Cycle bus LBS pool 1 Gilimanuk

Isc Max 4 Cycle bus LBS pool

1Gilimanuk

FLA

: Areva

: P125

: Standard Inverse Time

: 400/5

= 2957 A

= 3415 A

 $=\frac{kVA}{\sqrt{3}kV}=\frac{10000}{\sqrt{3}20}=288.67 A$

0,8 × Isc Min 30 Cycle bus LBS poll 1 In

400

Time Overcurrent Pickup

$$\frac{1,05 \times FLA}{400} In$$
 < | set <

$$\frac{1,05 \times 288,67}{400} In < \text{Iset} < \frac{0,8 \times 2957}{400}$$

$$\frac{303,10}{400} In < \text{Tap} < \frac{404,138}{400} In$$

$$\frac{303,10}{400}In$$
 < Tap<

$$\frac{100}{100}$$
 In $\frac{1}{100}$ $\frac{1}{100}$



 $\frac{0.8 \times 2957}{400} In$

Dipilih Tap = **0.76 In** (*Range CT 0.001 – 1 dengan step 0.005*)

Nilai actual Iset = $0.76 \times 400 = 304 \text{ A}$

Time Dial

Waktu Operasi =
$$t_{ds} = 0.1 \text{ s}$$

T = Time Dial

$$\frac{I}{Is} = \frac{\text{Isc Max 4 cycle Bus LBS Pool 1}}{\text{Iset}} = \frac{3415}{304} = 11,23$$

$$t_{ds} = \frac{0.14 \times T}{\left[\left(\frac{I}{Is} \right)^{0.02} - 1 \right]}$$

$$0.1 = \frac{0.14 \times T}{[(11,23)^{0.02} - 1]}$$

$$T = \frac{0.1 \times [(11,23)^{0.02} - 1]}{0,14}$$

T = 0.03

$T \ge 0.03$ Dipilih T = 0.05 (Range T 0.001 sampai 1 dengan step 0.025)

Instantaneous Pickup

$$\begin{array}{c|c}$$

Dipilih **Tap = 3 In** (*Pickup range CT 0.01 - 8 dengan step 0.005*) Nilai Aktual Iset = 1200 A

Time Delay

Pengaturan waktu (t>>) = 0.1 s

* Relay 1

Manufaktur : Areva Model : P125

Kurva : Standard Inverse Time

Rasio CT : 400/5
Isc Min 30 Cycle bus 2g = 2964 A

Isc Max 4 Cycle bus 2g = 3422 A

FLA $= \frac{kVA}{\sqrt{3} kV} = \frac{10000}{\sqrt{3} 20} = 288.67 A$

Time Overcurrent Pickup

Dipilih Tap = 0.76 In (Range CT 0.1 – 25In dengan step 0.01) Nilai actual Iset = $0.76 \times 400 = 304$ A

Time Dial

Waktu Operasi = $t_{ds} = 0.3 \text{ s}$

T = Time Dial

$$\frac{I}{Is} = \frac{\text{Isc Max 4 Cycle bus 2g}}{\text{Iset}} = \frac{3422}{304} = 11,25$$

$$t_{ds} = \frac{0.14 \times T}{\left[\left(\frac{I}{Is} \right)^{0.02} - 1 \right]}$$

$$0.3 = \frac{0.14 \times T}{[(11,25)^{0.02} - 1]}$$

$$T = \frac{0.3 \times [(11,25)^{0.02} - 1]}{0,14}$$

T = 0.10

 $T \ge 0.10$ Dipilih T = 0.15 (Range T 0.025 sampai 1,5 dengan step 0.025)

Instantaneous Pickup

$$< I_{\gg} <$$
 $0.8 \times Isc Min 30 Cycle bus $2g$ In $CTprimer$ 0.8×2964 400 In $CTap < $\frac{2371.2}{400}In$$$

< Tap < 5,92 In

Dipilih Tap = 4 In (*Pickup range CT 0.5 - 40 dengan step 0.01*)

Nilai actual Iset = 1600 A

Time Delay

Pengaturan waktu (t>>) = 0.3 s

Tabel 4.2. Perbandingan setting Existing dan Resetting Tipikal 1

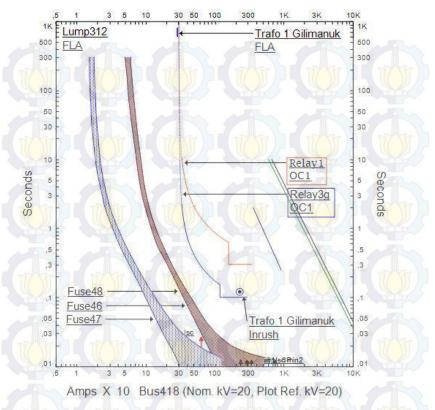
Rele 3g	Existing Rele	Resetting Rele
Manufaktur & Model	Areva p125	Areva p125
Rasio CT	CT = 1000/5	CT = 400/5
Over current pickup (I>)	0,29 x 1000 = 290	0,76 x 400 = 304

Tabel 4.2. Perbandingan Setting Existing dan Resetting Tipikal 1 (lanjutan)

Rele 3g	Existing Rele	Resetting Rele
Time dial	1,5	0,03
instantaneous pickup (I»)	1 x 1000 = 1000	3 x 400 = 1200
Time delay	0,1 s	0,1 s
Rele 1	Existing Rele	Resetting Rele
Manufaktur & Model	Areva p125	Areva p125
Rasio CT	CT = 1000/5	CT = 400/5
Over current pickup (I>)	0,288 x 1000 = 288	$0.76 \times 400 = 304$
Time dial	0,5	0,15
instantaneous pickup (I»)	1 x 1000 = 1000	4 x 400 = 1600
Time delay	0,3 s	0,3 s

Dari hasil perhitungan resetting di atas, didapatkan harga untuk masing-masing nilai setting seperti yang terlihat pada Tabel 4.2. Pada tabel tersebut juga dapat kita lihat perbandingan dari existing dengan hasil resetting. Dimana selain terdapat perubahan setting juga terdapat perubahan nilai CT pada relay 1 dan 3g dari 1000/5 menjadi 400/5. Selain perubahan nilai CT, nilai pickup (I>>) pada relay 1 dan 3g mengalami perubahan, hal tersebut disebakan oleh perubahan nilai CT pada kondisi existingnya.

Kemudaian dari hasil resetting tersebut di masukan pada Etap, untuk disimulasikan dan nantinya akan didapatkan *Time Current Curve* (TCC) yang terlihat pada Gambar 4.4.

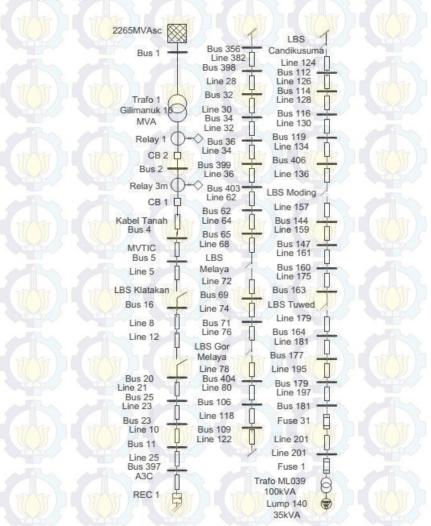


Gambar 4.4. Time Current Curve resetting Tipikal 1

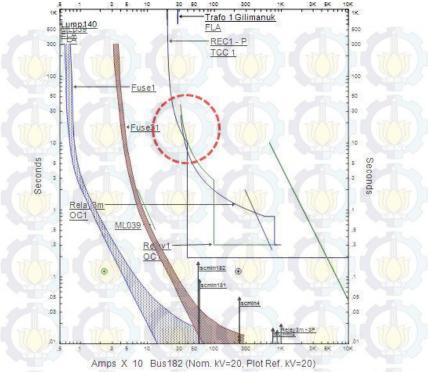
4.1.2 Setting Koordinasi Rele Tipikal 2 Melaya

Pada Tipikal 2 terdapat 2 fuse, 1 recloser dan 2 rele arus lebih yang harus dilihat setting koordinasi eksistingnya, dan dianalisa apakah terjadi kesalahan koordinasi pada rele-rele arus lebih gangguan fasa yang berada pada tipikal 2 tersebut. Seperti yang terlihat pada Gambar 4.5 koordinasi dimulai dari lump load 140 35 kVA, menuju trafo ML039 100 kVA, fuse 1 yang tersambung dengan bus 182, fuse 31 yang tersambung dengan bus 181, dan recloser 1 sebagai pelindung saluran utama, relay 3m sebagai pelindung bus 4m, dan rele 1 sebagai pelindung trafo 1 gilimanuk. Pada tipikal ini 1 relay pada outgoing trafo tidak perlu di setting kembali dikarenakan sudah termasuk dalam

resetting tipikal 1, sehingga rele 3m dan recloser 1 saja yang perlu di perhatikan eksisting nya, lalu dilakukan *resetting* apabila terjadi salah koordinasi.



Gambar 4.5 Rangkaian Tipikal 2 Melaya



Gambar 4.6. Time Current Curve existing Tipikal 2

Dari Gambar 4.6 di atas terlihat kesalahan setting seperti pada lingkaran merah, pada tanda tersebut terlihat bahwa kurva recloser 1 mengenai kurva relay 3m dan relay 1. Kemudian dari kesalahan tersebut diperlukan pengaturan ulang (Resetting) untuk mencapai koordinasi antar peralatan pengaman yang handal. Perhitungan ulang existing relay dan relay sebagai berikut:

* Recloser 1

Manufaktur

Kurva

Rasio CT Isc Min 30 Cycle bus 398m

Isc Max 4 Cycle bus 3m

: Cooper F6

: IEC Extremely Inverse

: 200/1

= 869 A

= 699 A

Recloser ini berfungsi sebagai pengaman utama untuk saluran utama dari gangguan seperti sambaran petir, dan yang sering terjadi yaitu cabang-cabang pepohonan menyentuh konduktor karena tertiup angin. Pada recloser ini menggunakan kurva IEC Extremely Inverse dengan FLA sebesar 77,7 A. Perhitungan resetting recloser 1 adalah sebagai

berikut:

Time Over current Pickup

$$1,05 \times FLA$$
 < Iset < $0.8 \times Isc$ Min 30 Cycle bus 398

$$1,05 \times 77,7 < \text{Iset} < 0,8 \times 869$$

Dipilih Iset = 100 A (Range 5 – 800 dengan step 1)

Time Dial

Waktu Operasi =
$$t_{ds} = 0.1 \text{ s}$$

$$T = Time Dial$$

Iset
$$= 100 A$$

$$M = \frac{I}{Is} = \frac{\text{Isc Max 4 Cycle bus 3m}}{\text{Iset}} = \frac{699}{100} = 6.9$$

$$t_{ds} = T \times \left[\frac{A}{M^2 - 1} + B \right]$$

$$0,1 = T \times \left[\frac{80}{6,9^2 - 1} \right]$$

$$T = \frac{0.1}{1.71}$$

$$T = 0.05$$

$$T \ge 0.05$$
 Dipilih $T = 0.05$

Instantaneous Pickup

$$1.1 \times FLA$$
 $< I_{\gg} <$ 0.8 × Isc Min 30 Cycle bus 398m

$$85,47 < I_{\gg} < 695,2$$

Dipilih untuk kondisi rele definite **150 A** (*Rrange 1 - 32 x TOC pickup*, *dengan step 0,1*)

Trip Range:

$$trip = \frac{I_{\gg}}{I_{\text{Set}}} = \frac{150}{100} = 1.5$$

Time Delay

Pengaturan waktu (t>>) = 0.1 s

Relay 3m

Manufaktur

Model Kurva

Rasio CT Isc Min 30 Cycle bus 4m

Isc Max 4 Cycle bus 4m FLA

: Areva : P125

: Standard Inverse Time

: 400/5 = 2393 A

= 2764 A

= 288,67 A

Time Overcurrent Pickup

$$\frac{1,05 \times FLA}{400} In \quad < Iset < \quad \frac{0,8 \; Isc \; Min \; 30 \; Cycle \; bus \; 4}{400} In$$

$$\frac{1,05 \times 288,67}{400} In \quad < Iset < \quad \frac{0,8 \times 2393}{400} In$$

$$\frac{303,10}{400} In \quad < Tap < \quad \frac{1914,4}{400} In$$

$$0.75 \; In \quad < Tap < \quad 4,78 \; In$$

Dipilih Tap = 0.76 In (Range CT 0.1 - 25 In dengan step 0.01) Nilai actual Iset = $0.76 \times 400 = 304 \text{ A}$

Time Dial

Waktu Operasi =
$$t_{ds}$$
 = 0.3 s

T = Time Dial

$$\frac{I}{Is} = \frac{\text{Isc Max 4 Cycle bus 4m}}{\text{Iset}} = \frac{2764}{304} = 9.0$$

$$t_{ds} = \frac{0.14 \times T}{\left[\left(\frac{I}{I_S}\right)^{0.02} - 1\right]}$$

$$0.3 = \frac{0.14 \times T}{[(9.0)^{0.02} - 1]}$$

$$T = \frac{0.3 \times [(9,0)^{0.02} - 1]}{0,14}$$

$$T = 0.09$$

 $T \ge 0.09$ Dipilih **T** = **0.1** (*Range T 0.025 – 1.5 dengan step 0.025*)

Instantaneous Pickup

$$< I_{\gg} < 0.8 \times Isc\ Min\ Bus\ 4 \ CTprimer \ < I_{\gg} < 0.8 \times 2393 \ 1n \ < Tap < 1914.4 \ 400 \ In$$

< Tap < 4,78 In

Dipilih Tap = $\frac{4}{4}$ In (*Pickup range CT 0.5 - 40 dengan step 0.01*) Nilai actual Iset = $4 \times 400 = 1600$ A

Time Delay

Pengaturan waktu (t>>) = 0.3 s

Relay 2

Manufaktur : Areva Model : P125

Kurva : Standard Inverse Time

Rasio CT : 400/5

Isc Min 30 Cycle bus 2m = 2396 A

Isc Max 4 Cycle bus 2m = 2767 AFLA = 288,67 A

Time Overcurrent Pickup

$$\frac{1,05 \times FLA}{400} In \quad < Iset < \quad \frac{0,8 \times Isc Min \ 30 \ Cycle \ bus \ 2}{400} In$$

$$\frac{1,05 \times 288,67}{400} In \qquad < \text{Iset} < \qquad \frac{0,8 \times 2396}{400} In$$

$$\frac{303,10}{400} In \qquad < \text{Tap} < \qquad \frac{1916,8}{400} In$$

$$0.75 In \qquad < \text{Tap} < \qquad 4,79 In$$

Dipilih Tap = 0.76 In (Range CT 0.1 - 25 dengan step 0.01)

Nilai actual Iset = $0.76 \times 400 = 304 \text{ A}$

Time Dial

Waktu Operasi = $t_{ds} = 0.5 \text{ s}$

T = Time Dial

$$\frac{I}{Is} = \frac{\text{Isc Max 4 Cycle bus 2m}}{\text{Iset}} = \frac{2767}{304} = 9,1$$

$$t_{ds} = \frac{0.14 \times T}{\left[\left(\frac{I}{Is}\right)^{0.02} - 1\right]}$$

$$0.5 = \frac{0.14 \times T}{[(9,1)^{0.02} - 1]}$$

$$T = \frac{0.5 \times [(9,1)^{0.02} - 1]}{0,14}$$

T = 0.16

 $T \ge 0.16$ Dipilih T = 0.16 (Range T 0.025 – 1.5 dengan step 0.025)

In<mark>stant</mark>aneous <mark>Picku</mark>p

$$\begin{array}{c|c}$$

< Tap < 4,79 *In*

Dipilih Tap = 3.5 In (*Pickup range CT 0.5 - 40 dengan step 0.01*)

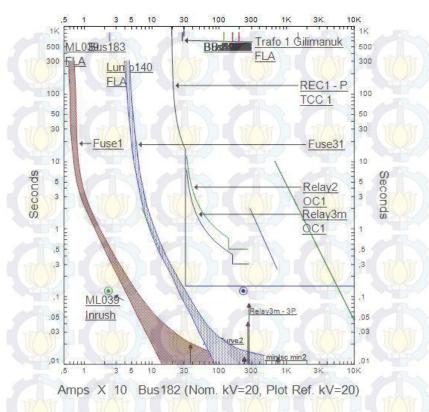
Nilai actual Iset = 1400 A

Time Delay

Pengaturan waktu (t>>) = 0.5 s

Tabel 4.3. Perbandingan setting Existing dan Resetting Tipikal 2

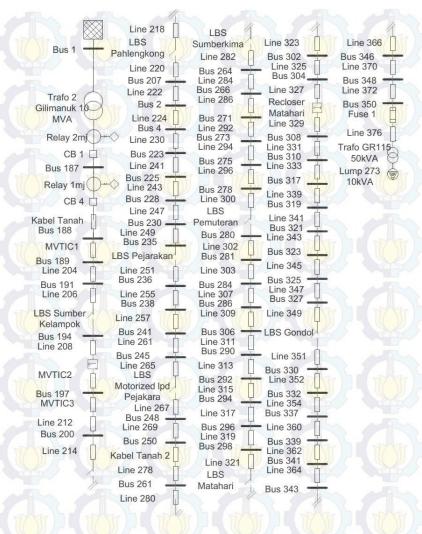
Relay 3m	Existing Relay	Resetting Relay	
Manufaktur & Model	Areva p125	Areva p125	
Rasio CT	CT = 1000/5	CT = 400/5	
Over current pickup (I>)	$0,29 \times 1000 = 290$	$0.76 \times 400 = 304$	
Time dial	0,35	0,1	
Instantaneous pickup (I>>)	8 x 1000 = 8000	4 x 400 = 1600	
Time delay	0,3 s	0,3 s	
Relay 1	Existing Relay	Resetting relay	
Manufaktur & Model	Areva p125	Areva p125	
Rasio CT	CT = 1000/5	CT = 400/5	
Over current pickup (I>)	$0,288 \times 1000 = 288$	$0,76 \times 400 = 304$	
Time dial	0,5	0,16	
Instantaneous pickup (I≫)	1 x 1000 = 1000	3,5 x 400 = 1400	
Time delay	0,3 s	0,5 s	
Recloser 1	Existing	Resetting	
Manufaktur & Model	Cooper F6	Cooper F6	
Rasio CT	CT = 500/1	CT = 500/1	
Trip Low set	200	200	
Trip High set	$2 \times 200 = 400$	$1,6 \times 200 = 320$	
Time delay	0,15 s	0,1 s	



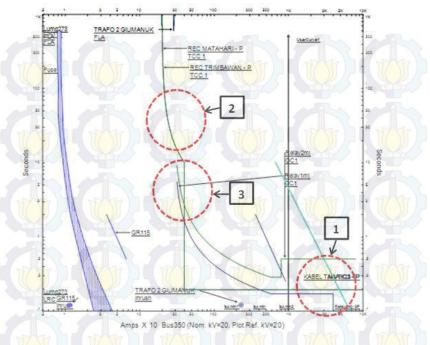
Gambar 4.7. Time Current Curve Resetting Tipikal 2

4.1.3 Setting Koordinasi Rele Tipikal 3 Menjangan

Pada tipikal 3 terdapat 1 buah fuse, 2 buah recloser dan 2 buah rele arus lebih. Seperti yang terihat pada Gambar 4.8 koordinasi dimulai dari lump load 273 10 kVA menuju trafo GR115 50 kVA, fuse 2 yang tersambung dengan bus 350, dan recloser matahari sebagai pelindung dari bus 308mj, recloser trimbawan sebagai backup dari recloser matahari dan sebagi pelindung dari bus 197mj, relay 1 sebagai pelindung dari bus 188mj, dan relay 2 sebagai pelindung dari bus 187mj dan juga sebagai pelindung trafo.



Gambar 4.8. Rangkaian Tipikal 3 Menjangan



Gambar 4.9. Time Current Curve exixting tipikal 3

Dari Gambar 4.9 di atas merupakan Time current curve untuk tipikal 3 kondisi existing. Pada kurva tersebut terlihat poin-poin utama untuk dilakukan evaluasi seperti yang ditandai pada nomor 1,2 dan 3. Pada nomor 1 perlunya dilakukan evaluasi untuk waktu operasi (I>>) pada masing-masing relay sehingga nantinya tidak terjadi kesalahan koordinasi antar relay. Kemudian pada tanda nomor 2 dan 3, kurva pada recloser Matahari dan Trimbawan mempunyai karakteristik yang sama, kondisi ini harus dievaluasi dari potensi arus hubung singkatnya, sehingga kedua recloser tersebut bekerja sesuai fungsinya. Sedangkan pada nomor 3 setting low set harus diperbaiki.

Dari kesalahan setting relay tadi maka diperlukan pengaturan ulang (resetting) untuk mencapai koordinasi antar peralatan pengaman yang handal. Perhitungan ulang pengaturan existing relay adalah sebagai berikut:

* Recloser Matahari

Manufaktur : Cooper F6

Kurva : IEC Extremely Inverse

Rasio CT : 200/1

Isc Min 30 Cycle bus 354mj = 837 A Isc Max 4 Cycle bus 308mj = 1374 A FLA = 32,4 A

Recloser ini berfungsi sebagai pengaman utama untuk saluran utama dari gangguan seperti sambaran petir, dan yang sering terjadi yaitu cabang-cabang pepohonan menyentuh konduktor karena tertiup angin . Pada recloser ini menggunakan kurva IEC Inverse dengan FLA sebesar 32,4 A. Perhitungan resetting recloser Matahari adalah sebagai berikut :

Time Over current Pickup

$$1,05 \times FLA$$
 < Iset < 0,8 x Isc Min 30 cycle bus 354
 $1,05 \times 32,4$ < Iset < 0,8 x 837
 $34,2$ < Iset < 669,6

Dipilih Iset = 100 A (Range 5 – 800 dengan step 1)

Time Dial

Waktu Operasi =
$$t_{ds} = 0.1 \text{ s}$$

T = Time Dial

Iset = 100 A

$$M = \frac{l}{ls} = \frac{\text{Isc Max 4 Cycle bus 308mj}}{\text{Iset}} = \frac{1374}{100} = 13,74$$

$$t_{ds} = T \times \left[\frac{A}{M^2 - 1} + B \right]$$

$$0,1 = T \times \left[\frac{80}{13,74^2 - 1} \right]$$

$$T = \frac{0.1}{0.42}$$

$$T = 0.23$$

$$T \ge 0.23$$
 Dipilih $T = 0.23$

Instantaneous Pickup

1,1 × FLA
$$< I_{\gg} <$$
 0,8 × Isc Min 30 Cycle bus 354m
1,1 × 32,4 $< I_{\gg} <$ 0,8 × 837
35,64 $< I_{\gg} <$ 669,6

Dipilih untuk kondisi rele definite **200** A (*Rrange 1 - 32 x TOC pickup*, dengan step 0,1

Trip Range:

$$trip = \frac{I_{\gg}}{I_{\text{set}}} = \frac{200}{100} = 2$$

Time Delay

Pengaturan waktu (t>>) = 0.1 s

* Recloser Trimbawan

Manufaktur : Cooper F6 Kurva : IEC Inverse : 200/1 Rasio CT = 1290 AIsc Min 30 Cycle bus 304mj Isc Max 4 Cycle bus 197mj = 2227 A= 32.8 AFLA

Recloser ini berfungsi sebagai pengaman utama untuk saluran utama dari gangguan seperti sambaran petir, dan yang sering terjadi yaitu cabang-cabang pepohonan menyentuh konduktor karena tertiup angin . Pada recloser ini menggunakan kurva IEC Inverse dengan FLA sebesar 32,8 A. Perhitungan resetting recloser matahari adalah sebagai berikut:

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA$$
 < Iset < 0,8 x Isc min 30 cycle bus 304
 $1,05 \times 32,8$ < Iset < 0,8 x 1290
 34.4 < Iset < 1032

Dipilih Iset = 150 A (Range 5 - 800 dengan step 1)

< Iset <

34.4

Time Dial

Waktu Operasi = t_{ds} = 0.1 s

T = Time Dial

Iset = 150 A

$$M = \frac{I}{Is} = \frac{\text{Isc Max 4 Cycle bus 197mj}}{\text{Iset}} = \frac{2227}{150} = 14.84$$

$$t_{ds} = T \times \left[\frac{A}{M^2 - 1} + B \right]$$

$$0,1 = T \times \left[\frac{80}{14,84^2 - 1} \right]$$

$$T = \frac{0.1}{0,36}$$

$$T = 0.27$$

$$T \ge 0.27$$
 Dipilih $T = 0.27$







Instantaneous Pickup

$$1.1 \times FLA$$
 $< I_{\gg} <$ 0.8 × Isc Min 30 Cycle bus 304mj
 1.1×32.8 $< I_{\gg} <$ 0.8 × 1290

1032

Dipilih untuk kondisi rele definite 250 A (Rrange 1 - 32 x TOC pickup,

36,08 < *I*>><

dengan step 0,1) Trip Range:

$$trip = \frac{I_{\gg}}{1\text{set}} = \frac{250}{150} = 1.6$$



Pengaturan waktu (t>>) = 0.3 s



Manufaktur

Model

Kurva

Rasio CT

Isc Min 30 Cycle bus 188mj Isc Max 4 Cycle bus 188mj

FLA

: Areva : P125

: Standard Inverse Time

: 400/5

= 2892 A

= 3340 A

 $=\frac{kVA}{\sqrt{3}kV}=\frac{10000}{\sqrt{3}20}=288.67 A$

Time Over current Pickup

Dipilih Tap = **0.76 In** (*Range CT 0.001 – 1 dengan step 0.005*) Nilai actual Iset = $0.76 \times 400 = 304$ A

Time Dial

Waktu Operasi = t_{ds} = 0.5 s

T = Time Dial

$$\frac{I}{Is} = \frac{\text{Isc Max 4 cycle Bus 188mj}}{\text{Iset}} = \frac{3340}{304} = 10,98$$

$$t_{ds} = \frac{0.14 \times T}{\left[\left(\frac{I}{Is}\right)^{0.02} - 1\right]}$$

$$0.5 = \frac{0.14 \times T}{[(10.98)^{0.02} - 1]}$$

$$T = \frac{0.5 \times [(10,98)^{0.02} - 1]}{0,14}$$

T = 0.17

 $T \ge 0.17$ Dipilih T = 0.17 (Range T 0.001 sampai 1 dengan step 0.025)

Instantaneous Pickup

Dipilih Tap = 4 In (*Pickup range CT 0.01 - 8 dengan step 0.005*) Nilai Aktual Iset = 1600 A

Time Delay

Pengaturan waktu (t>>) = 0.5 s

Relay 2mj

Manufaktur : Areva Model : P125

Kurva : Standard Inverse Time

Rasio CT : 400/5

Isc Min 30 Cycle bus 187mj = 2962 A Isc Max 4 Cycle bus 187mj = 3420 A

FLA $= \frac{kVA}{\sqrt{3}kV} = \frac{10000}{\sqrt{3}20} = 288.67 A$

Time Over current Pickup

$$\frac{1,05 \times FLA}{400} In \quad < Iset < \qquad \frac{0,8 \, Isc \, Min \, 30 \, Cycle \, bus \, 187}{400} In$$

$$\frac{1,05 \times 288,67}{400} In \quad < Iset < \qquad \frac{0,8 \times 2962}{400} In$$

$$\frac{303,10}{400} In \quad < Tap < \qquad \frac{2369,6}{400} In$$

$$0.75 \, In \quad < Tap < \quad 5,9 \, In$$

Dipilih Tap = **0.76 In** (*Range CT 0.001 – 1 dengan step 0.005*) Nilai actual Iset = $0.76 \times 400 = 304 \text{ A}$

Time Dial

Waktu Operasi = t_{ds} = 0.7 s

T = Time Dial

$$\frac{I}{Is} = \frac{\text{Isc Max 4 cycle Bus 187mj}}{\text{Iset}} = \frac{3420}{304} = 11,25$$

$$t_{ds} = \frac{0.14 \times T}{\left[\left(\frac{I}{Is}\right)^{0.02} - 1\right]}$$

$$0.7 = \frac{0.14 \times T}{[(11,25)^{0.02} - 1]}$$

$$T = \frac{0.7 \times [(11,25)^{0.02} - 1]}{0.14}$$

T = 0.24

 $T \ge 0.24$ Dipilih T = 0.24 (Range T 0.001 sampai 1 dengan step 0.025)

Instantaneous Pickup

$$\begin{array}{c|c} & & & & & & \\ \hline &$$

Dipilih Tap = 4 In (Pickup range CT 0.01 - 8 dengan step 0.005) Nilai Aktual Iset = 1600 A

Time Delay

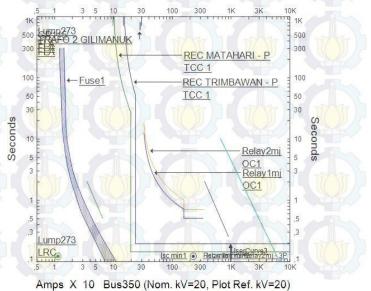
Pengaturan waktu (t>>) = 0.7 s

Tabel 4.4. Perbandingan setting Existing dan Resetting Tipikal 3

Rele 1mj	Existing Rele	Resetting rele
Manufaktur & Model	faktur & Model Areva p125	
Rasio CT	CT = 1000/5	CT = 400/5
Over current pickup (I>)	$0,29 \times 1000 = 290$	$0.76 \times 400 = 304$
Time dial	0,075	0,17
Instantaneous pickup (I»)	40 x 1000 = 40000	4 x 400 = 1600
Time delay	0,1 s	0,5 s
Rele 2mj	Existing Rele	Resetting rele
Manufaktur & Model	Areva p125	Areva p125
Rasio CT	CT = 1000/5	CT = 400/5
Over current pickup (I>)	$0.29 \times 1000 = 290$	$0,76 \times 400 = 304$
Time dial	0,125	0,24
Instantaneous pickup (I»)	8 x 1000 = 8000	4 x 400 = 1600
Time delay	0,5 s	0,7 s

Tabel 4.4. Perbandingan *setting Existing* dan *Resetting* Tipikal 3 (lanjutan)

Recloser Matahari	Existing	Resetting
Manufaktur & Model	Cooper F6	Cooper F6
Rasio CT	CT = 500/1	CT = 500/1
Trip Low set	200	100
Trip High set	2 x 200 = 400	2 x 100 = 200
Time delay	0,15 s	0,1 s
Recloser Trimbawan	Existing	Resetting
Manufaktur & Model	Cooper F6	Cooper F6
Rasio CT	$CT = \frac{500}{1}$	CT = 500/1
Trip Low set	200	150
Trip High set	2 x 200 = 400	$1,6 \times 150 = 240$
Time delay	0,1 <mark>5</mark> s	0,15 s

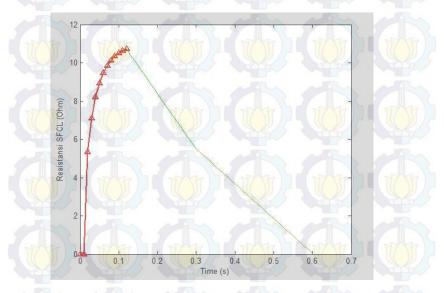


Gambar 4.10. Time Current Curve resetting tipikal 3

4.2 Penerapan Superconducting Fault Current Limitter (SFCL) pada Jaringan Distribusi APJ Gilimanuk

4.2.1 Penerapan SFCL pada Tipikal 1 Penyulang Gilimanuk

Dengan sifatnya, SFCL yang mampu merespon besarnya peningkatan arus hubung singkat dengan peningkatan resistansi yang terdapat pada SFCL tersebut. SFCL yang dipasang pada Tipikal satu ini memiliki resistansi maksimum sebesar 11 Ohm, pada kondisi normal resistansinya minimum atau Nol (Ohm) dan saat terjadinya gangguan akan meningkat sesuai resistansi maksimumnya yaitu 11 Ohm.

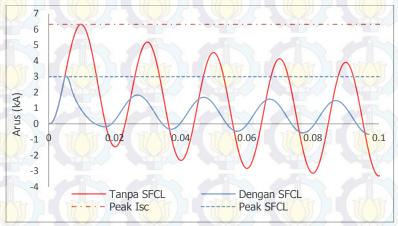


Gambar 4.11 Kurva Resistansi SFCL Tipikal 1

Seperti yang terlihat pada Gambar 4.11, peningkatan resistansi mulai pada waktu 0.05 s atau kurang dari puncak setengah *cycle* pertama dan terus meningkat sampai resistansi maksimumnya yaitu 11 ohm. Kemudian pada saat circuit breaker membuka pada waktu 0.11 s, SFCL mengalami *recovery* atau pemulihan kondisi dimana ketika arus gangguan diputus oleh CB maka arusnya menjadi nol ampere dan pada saat itu juga temperatur pada SFCL akan menurun dan penurunan temperatur tersebut diikuti oleh penurunan nilai resistansi SFCL. Waktu

recovery tersebut membutuhkan waktu sekitar 0.49 s dan pada saat 0.6 s nilai resistansinya kembali normal yaitu Nol ohm. Proses recovery ini dibantu dengan nitrogen yang disemprotkan pada SFCL sehingga proses recovery menjadi lebih cepat.

Seperti yang terlihat pada Gambar 4.12, akibat dari peningkatan resistansi tersebut nilai magnitude arus menjadi berkurang,. Dengan mengabaikan arus kontribusi dari bus lain maka besar arus hubung singkat yang mampu direduksi sebesar 3 kA peak.

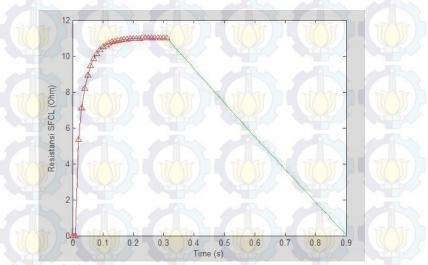


Gambar 4.12 *Magnitude* Arus Hubung singkat Bus LBS pool Gilimanuk

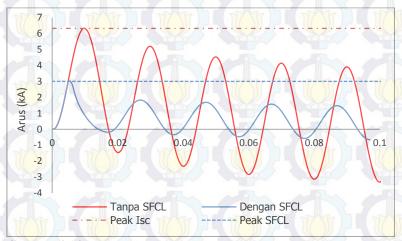
4.2.2 Penerapan SFCL pada Tipikal 2 Penyulang Melaya

Besar nilai resistansi SFCL dan arus hubung singkat yang mampu direduksi pada Penyulang Melaya yaitu 11 ohm dan 3 kA peak. Hal ini dikarenakan Penyulang Melaya disuplly dari trafo yang sama seperti pada penyulang gilimanuk maka nilai resistansi dan arus hibung singkat yang mampu direduksi sama yaitu 3 kA peak. Peningkatan nilai resistansi terhadap arus hubung singkat dan *magnitude* arus dapat dilihat pada pada Gambar 4.13 dan 4.14. Pada Gambar 4.13, nilai resistansi meningkat pada waktu 0.05 s kemudian mencapai nilai resistansi maksimum pada waktu kurang dari 0.2 s dan proses pemulihan atau *recovery* pada saat CB membuka yaitu pada waktu 0.31 s. Durasi proses *recovery* selama 0.59 s yaitu dari rentang waktu 0.31 s sampai 0.9 s.

Pada saat *recovery* telah selesai yang artinya temperatur SFCL kembali normal dan nilai resistansinya menurun sampai 0 ohm.



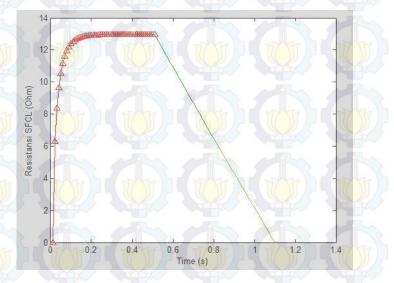
Gambar 4.13 Kurva Resistansi SFCL Tipikal 2



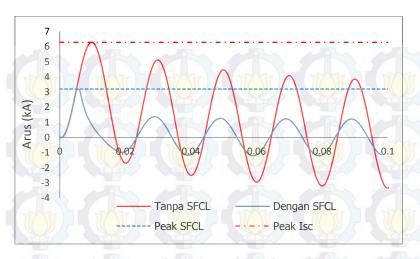
Gambar 4.14 Magnitude Arus Hubung singkat Bus 4

4.2.3 Penerapan SFCL pada Tipikal 3 Penyulang Menjangan

SFCL pada tipikal 3 tersebut mampu mereduksi arus hubung singkat sampai 3,2 kA *peak*. Seperti yang terlihat pada gambar 4.16, SFCL memotong arus hubung singkat pada kurang dari puncak setengah cycle pertama. Untuk mereduksi arus hubung singkat tersebut dipasang SFCL dengan nilai resistansi maksimum 12,59 Ohm. Seperti yang terlihat pada Gambar 4.15, peningkatan nilai resistansi dimulai pada waktu 0.05 s, kemudian peningkatan tersebut mencapai nilai maksimum pada 12,59 Ohm, proses pereduksian arus terjadi sampai 0.51 s, yang artinya pada waktu 0.51 s circuit breaker membuka. Setelah pembukaan CB maka SFCL mengalami *recovery* atau proses pemuliah kondisi baik temperatur dan nilai resistansinya. Proses *recovery* ini berlangsung selama 0.59 s yaitu dari rentang waktu 0.51s sampai 1,1 s. Pada waktu lebih dari 1,1 s maka nilai resistansinya kembali normal yaitu 0 Ohm.



Gambar 4.15 Kurva Resistansi SFCL Tipikal 3



Gambar 4.16. Magnitude Arus Hubung Singkat pada Bus 188

4.3 Resetting Koordinasi Rele Akibat Penerapan SFCL

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, SFCL dapat mengurangi besar arus gangguang atau arus hubung singkat yang terjadi. Hal ini mengakibatkan nilai arus hubung singkat pada masingmasing bus akan berubah menjadi lebih kecil dari kondisi semula. Tentunya ini akan berakibat buruk pada peralatan apabila setting peralatan pengaman tidak menyesuaikan dengan kondisi nilai arus hubung singkat yang telah direduksi oleh SFCL. Sehingga setting rele pengaman perlu dievaluasi kembali agar rele-rele dapat berfungsi dan terkoordinasi dengan baik.

Berikut data Arus hubung singkat setelah penerapan SFCL yang nantinya data tersebut akan digunakan untuk perhitungan manual setting rele-rele pada setiap penyulang.

Tabel 4.5 Data Arus Hubung Singkat Setelah Penerapan SFCL

ID Bus	Tegangan Bus (kV)	Isc Min 30 30 Cycle (kA)	Isc Max 4 cycle (kA)
Bus LBS poll 1g	20	0,642	0,741
Bus 2g	20	2,964	3,422

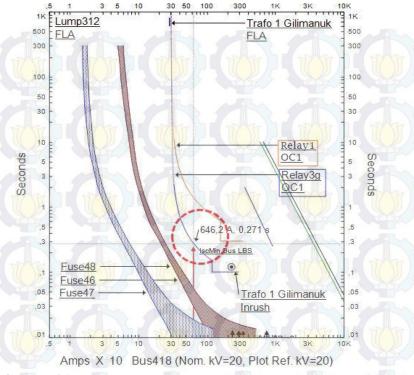
Tabel 4.5 Data Arus Hubung Singkat Setelah Penerapan SFCL (lanjutan)

ID Bus	Tegangan Bus (kV)	Isc Min 30 30 Cycle (kA)	Isc Max 4 cycle (kA)
Bus 398m	20	0,487	0,562
Bus 3m	20	0,391	0,451
bus 4m	20	0,659	0,761
Bus 2m	20	2,396	2,767
Bus 354mj	20	0,778	0,898
Bus 308mj	20	1,074	1,240
Bus 304mj	20	1,155	1,334
Bus 197mj	20	1,016	1,173
Bus188mj	20	0,977	1,128
Bus 187mj	20	2,962	3,420

4.3.1 Resetting Koordinasi Rele Tipikal 1

Dari nilai arus hubung singkat yang baru yaitu arus hubung singkat setelah direduksi oleh SFCL diperlukan perhitungan ulang untuk setiap rele-rele yang terdapat pada jaringan, agar rele-rele tersebut dapat terkoordinasi dengan baik.

Pada Gambar 4.17 merupakan *Time current curve* resetting tipikal 1, kemudian pada gambar tersebut terdapat tanda lingkaran merah serta terdapat juga user curve Isc yang merupakan arus hubung singkat minimum pada bus LBS pool Gilimanuk sebesar 642 Ampere. Apabila gangguan terjadi pada bus LBS pool Gilimanuk, arus hubung singkatnya akan menabrak kurva inverse (*low set*) sehingga waktu pembukaan CB menjadi lebih lama yaitu 0,27 s, tentunya ini harus dihindari, itu sebab perlunya setting ulang rele tersebut agar dapat bekerja dengan baik. Perhitungan ulang pengturan resetting rele sebagai berikut:



Gambar 4.17. Time Current Curve resetting tipikal 1

* Relay 3g

Manufaktur

Model

Kurva Rasio CT

Isc Min 30 Cycle bus LBS pool

1 Gilimanuk

Isc Max 4 Cycle bus LBS pool 1Gilimanuk

FLA

: Areva

: P125

: St<mark>andar</mark>d Invers<mark>e Tim</mark>e

: 400/5

= 642 A

= 741 A

 $= \frac{kVA}{\sqrt{3} \ kV} = \frac{10000}{\sqrt{3} \ 20} = 288.67 \ A$

Time Overcurrent Pickup

$$\frac{1,05 \times FLA}{400} In \quad < Iset < \quad \frac{0,8 \ Isc \ Min \ 30 \ Cycle \ bus \ LBS \ poll \ 1}{400} In$$

$$\frac{1,05 \times 288,67}{400} In \quad < Iset < \quad \frac{0,8 \times 642}{400} In$$

$$\frac{303,10}{400} In \quad < Tap < \quad \frac{513,6}{400} In$$

$$0.75 \ In \quad < Tap < \quad 1,2 \ In$$

Dipilih Tap = 0.76 (*Range CT 0.001 – 1 dengan step 0.005*) Nilai actual Iset = $0.76 \times 400 = 304$ A

Time Dial

Waktu Operasi = $t_{ds} = 0.1 \text{ s}$

T = Time Dial

$$\frac{I}{Is} = \frac{\text{Isc Max 4 cycle Bus LBS Pool 1}}{\text{Iset}} = \frac{741}{304} = 2,43$$

$$t_{ds} = \frac{0.14 \times T}{\left[\left(\frac{I}{Is}\right)^{0.02} - 1\right]}$$

$$0.1 = \frac{0.14 \times T}{[(2.43)^{0.02} - 1]}$$

$$T = \frac{0.1 \times [(2,43)^{0.02} - 1]}{0,14}$$

T = 0.01

 $T \ge 0.01$ Dipilih T = 0.01 (Range T 0.001 sampai 1 dengan step 0.025)

Instantaneous Pickup

$$< I_{\gg} < 0.8 \times Isc \ Min \ Bus \ LBS \ Pool \ 1$$
 $< I_{\gg} < 0.8 \times 642$
 $< Tap < 513.6$
 $< Tap < 1.2 \ In$
 $< Tap < 1.2 \ In$

Dipilih **Tap = 1,18 In** (*Pickup range CT 0.01 - 8 dengan step 0.005*) Nilai Aktual Iset = 472 A

Time Delay

Pengaturan waktu (t>>) = 0.1 s

* Relay 1

Manufaktur

Model

Kurva

Rasio CT

Isc Min 30 Cycle bus 2g

Isc Max 4 Cycle bus 2g

FLA

: Areva

: P125

: Standard Inverse Time

: 400/5

= 2964 A

= 3422 A

 $= \frac{kVA}{\sqrt{3} \ kV} = \frac{10000}{\sqrt{3} \ 20} = 288.67 \ A$

Time Overcurrent Pickup

$$\begin{array}{c|cccc}
 & 1,05 \times FLA \\
 & 400 & In & < Iset < & 0,8 \, Isc \, Min \\
 & 1,05 \times 288,67 & In & < Iset < & 0,8 \times 2964 \\
 & 400 & In & < Tap < & 2371,2 \\
 & 400 & In & < Tap < & 0,8 \times 2964 \\
 & 400 & 2371,2 & In \\
 & 400 & 10 & 10 & 10
 \end{array}$$

$$0.8 \times 2964 \atop 400 \atop 2371,2 \atop 400 In$$

0,8 Isc Min 30 Cycle bus2

$$0.75 \ In < Tap < 5,92 \ In$$

Dipilih Tap = 0.76 (Range CT 0.1 - 25In dengan step 0.01)

Nilai actual Iset = $0.76 \times 400 = 304 \text{ A}$

Time Dial

Waktu Operasi = $t_{ds} = 0.3 \text{ s}$

T = Time Dial

$$\frac{I}{Is} = \frac{\text{Isc Max 4 Cycle bus 2g}}{\text{Iset}} = \frac{3422}{304} = 11,25$$

$$t_{ds} = \frac{0.14 \times T}{\left[\left(\frac{I}{Is} \right)^{0.02} - 1 \right]}$$

$$0.3 = \frac{0.14 \times T}{[(11,25)^{0.02} - 1]}$$

$$T = \frac{0.3 \times [(11,25)^{0.02} - 1]}{0,14}$$

82

$$T = 0.10$$

 $T \ge 0.10$ Dipilih T = 0.15 (Range T 0.025 sampai 1,5 dengan step 0.025)

Instantaneous Pickup

$$< I_{\gg} <$$
 $\frac{0.8 \times Isc \text{ Min } 30 \text{ Cycle bus } 2g}{CTprimer} In$ $< I_{\gg} <$ $\frac{0.8 \times 2964}{400} In$ $< Tap <$ $\frac{2371.2}{400} In$ $< Tap < 5.92 In$

Dipilih Tap = 4 (*Pickup range CT 0.5 - 40 dengan step 0.01*) Nilai actual Iset = 1600 A

Time Delay

Pengaturan waktu (t>>) = 0.3 s

Tabel 4.6 Perbandingan Setting Rele sebelum dan sesudah penerapan SFCL Tipikal 1

	Setting rele		
Rele 3g	Sebelum penerapan SFCL	Setelah penerapan SFCL	
Manufaktur & Model	Areva p125	Areva p125	
Rasio CT	CT = 400/5	CT = 400/5	
Over current pickup (I>)	$0.76 \times 400 = 304$	$0.76 \times 400 = 304$	
Time dial	0,03	0,01	
instantaneous pickup (I>>)	3 x 400 = 1200	$1,18 \times 400 = 472$	
Time delay	0,1 s	0,1 s	
IN APRIL A	Setting rele		
Rele 1	Sebelum penerapan SFCL	Setelah penerapan SFCL	
Manufaktur & Model	Areva p125	Areva p125	
Rasio CT	CT = 400/5	CT = 400/5	

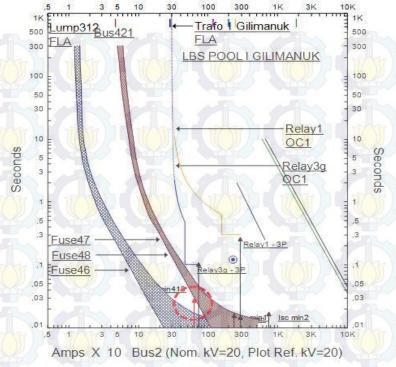
Tabel 4.6 Perbandingan Setting Rele sebelum dan sesudah penerapan SFCL Tipikal 1 (lanjutan)

	Setting rele	
Rele 1	Sebelum penerapan SFCL	Setelah penerapan SFCL
Over current pickup (I>)	0,76 x 400 = 304	$0.76 \times 400 = 304$
Time dial	0,15	0,15
instantaneous pickup (I»)	4 x 400 = 1200	4 x 400 = 1600
Time delay	0,3 s	0,3 s

Dari Tabel 4.6 di atas terlihat bahwa dengan adanya penerapan SFCL yang terkena dampaknya yaitu relay 3g, dikarenakan arus hubung yang direduksi lebih kecil dari nilai arus hubung singkat tanpa SFCL sehingga agar sistem pengaman tersebut terkoordinasi dengan baik setting instantaeous pickup nya menjadi 1,18 dengan nilai aktual 472 Ampere. Karena relay 1 berada di atas SFCL sehigga relay tersebut tidak mengalami perubahan untuk setting relaynya.

Data yang terdapat pada Tabel 4.6 kemudian dimasukan pada simulasi ETAP untuk mengetahui TCC (time current curve) terhadap pengaruh penerapan SFCL tersebut. TCC tersebut dapat dilihat pada gambar Gambar 4.18.

Seperti yang terlihat pada Gambar 4.18 terdapat tanda lingkaran merah, kemudian terdapat User curve arus pada Bus 418. Pada saat sebelum penerapan arus hubung singkat yang terjadi pada bus 418 berapa pada kedua kurva Fuse 47-48 dengan Fuse 46 sehingga proses pemutusannya bersamaan. Setelah penerapan SFCL terlihat arus yang direduksi mengakibatkan arus gangguan pada bus tersebut menjadi lebih kecil, sehingga terdapat jeda waktu agar ketiga Fuse tersebut tidak terjadi pemutusan Fuse secara bersamaan.



Gambar 4.18 Time Current Curve Tipikal 1 setelah penerapan SFCL

4.3.2 Resetting Koordinasi Rele Tipikal 2

Besaranya arus hubung singkat yang direduksi atau dikurangi oleh impedansi yang ada pada SFCL tentunya akan mempengaruhi setting peralatan pengaman pada sistem, sehingga perlunya dilakukan penyesuaian atas kondisi tersebut. Perhitungan ulang untuk tiap rele dilakukan agar tiap rele bekerja dan terkoordinasi dengan baik.

Recloser 1

Manufaktur : Cooper F6

Kurva : IEC Extremely Inverse

Rasio CT : 200/1

Isc Min 30 Cycle bus 398m = 487 A

Isc Max 4 Cycle bus 3m = 451 A

Recloser ini berfungsi sebagai pengaman utama untuk saluran utama dari gangguan seperti sambaran petir, dan yang sering terjadi yaitu cabang-cabang pepohonan menyentuh konduktor karena tertiup angin . Pada recloser ini menggunakan kurva IEC Inverse dengan FLA sebesar 77.7 A. Perhitungan resetting recloser 1 adalah sebagai berikut :

Time Over current Pickup

$$1,05 \times 77,7 < \text{Iset} < 0,8 \times 487$$

Dipilih Iset = 100 A (Range 5 – 800 dengan step 1)

Time Dial

Waktu Operasi = $t_{ds} = 0.1 \text{ s}$

T = Time Dial

Iset = 195 A

$$M = \frac{I}{Is} = \frac{\text{Isc Max 4 Cycle bus 3m}}{\text{lset}} = \frac{451}{100} = 4,51$$

$$t_{ds} = T \times \left[\frac{A}{M^2 - 1} + B \right]$$

$$0.1 = T \times \left[\frac{80}{4.51^2 - 1} \right]$$

$$T = \frac{0.1}{4.1}$$

$$T = 0.02$$

$$T \ge 0.02$$
 Dipilih $T = 0.02$

Instantaneous Pickup

$$1.1 \times FLA$$
 $< I_{\gg} <$ 0.8 × Isc Min 30 Cycle bus 398m 1.1×77.7 $< I_{\gg} <$ 0.8 × 487

Dipilih untuk kondisi rele definite 300 A (*Rrange 1 - 32 x TOC pickup*, dengan step 0,1)

Trip Range:

$$trip = \frac{I_{\gg}}{I_{\text{set}}} = \frac{300}{100} = 3$$

Time Delay

Pengaturan waktu (t>>) = 0.1 s

* Relay 3m

Manufaktur : Areva Model : P125

Kurva : Standard Inverse Time

Rasio CT : 400/5

Isc Min 30 Cycle bus 4m = 659 A

Isc Max 4 Cycle bus 4m = 761 A FLA = 288,67 A

Time Overcurrent Pickup

$$\frac{1,05 \times FLA}{400} In \quad < Iset < \qquad \frac{0,8 \ Isc \ Min \ 30 \ Cycle \ bus \ 4}{400} In$$

$$\frac{1,05 \times 288,67}{400} In \quad < Iset < \qquad \frac{0,8 \times 659}{400} In$$

$$\frac{303,10}{400} In \quad < Tap < \qquad \frac{527,2}{400} In$$

$$0.75 \ In \quad < Tap < \qquad 1,3 \ In$$

Dipilih Tap = 0.76 In (Range CT 0.1 - 25In dengan step 0.01) Nilai actual Iset = 0.76 x 400 = 304 A

Time Dial

Waktu Operasi = $t_{ds} = 0.3 \text{ s}$

T = Time Dial

$$\frac{I}{Is} = \frac{\text{Isc Max 4 Cycle bus 4m}}{\text{Iset}} = \frac{761}{304} = 2,5$$

$$t_{ds} = \frac{0.14 \times T}{\left[\left(\frac{I}{I_S}\right)^{0.02} - 1\right]}$$

$$0.3 = \frac{0.14 \times T}{[(2.5)^{0.02} - 1]}$$

$$T = \frac{0.3 \times [(2,5)^{0.02} - 1]}{0,14}$$

$$T = 0.03$$

 $T \ge 0.03$ Dipilih T = 0.05 (Range T = 0.025 - 1.5 dengan step 0.025)

Instantaneous Pickup

$$\begin{array}{c|c} >}< & 0.8 \times Isc\ Min\ Bus\ 4\\ \hline & CTprimer\\ >}< & 0.8 \times 659\\ \hline & 400\\$$

Dipilih Tap = 1,2 In (*Pickup range CT 0.5 - 40 dengan step 0.01*) Nilai actual Iset = 1,2 x 400 = 480 A

Time Delay

Pengaturan waktu (t>>) = 0.3 s

* Relay 2

Manufaktur : Areva Model : P125

Kurva : Standard Inverse Time

Rasio CT : 400/5

Isc Min 30 Cycle bus 2m = 2396 A

Isc Max 4 Cycle bus 2m = 2767 A

FLA = 288,67 A

Time Overcurrent Pickup

$$\frac{1,05 \times FLA}{400} In < Iset < 0,8 Isc Min 30 Cycle bus 2 In$$

$$\frac{1,05 \times 288,67}{400} In < Iset < 0,8 \times 2396 In$$

$$\frac{303,10}{400} In < Iset < \frac{1916,8}{400} In$$

0.75 In < Tap < 4.79 In

Dipilih Tap = **0.76 In** (*Range CT 0.1 – 25 dengan step 0.01*)

Nilai actual Iset = $0.76 \times 400 = 304 \text{ A}$

Time Dial

Waktu Operasi = $t_{ds} = 0.5 \text{ s}$

T = Time Dial

$$\frac{I}{Is} = \frac{\operatorname{Isc Max 4 Cycle bus 2m}}{\operatorname{Iset}} = \frac{2767}{304} = 9.1$$

$$t_{ds} = \frac{0.14 \times T}{\left[\left(\frac{I}{IS} \right)^{0.02} - 1 \right]}$$

$$0.5 = \frac{0.14 \times T}{[(9.1)^{0.02} - 1]}$$

$$T = \frac{0.5 \times [(9,1)^{0.02} - 1]}{0,14}$$

T = 0.16

 $T \ge 0.16$ Dipilih T = 0.16 (Range T 0.025 - 1.5 dengan step 0.025)

Instantaneous Pickup

$$< I_{\gg} < 0.8 \times Isc\ Min\ Bus\ 2 \ CTprimer \ < I_{\gg} < 0.8 \times 2396 \ Model In \ < Tap < 1916.8 \ 400 \ In \$$

$$< \text{Tap} < \frac{400}{1916,8} In$$

< Tap < 4,79 In

Dipilih Tap = 3.5 In (*Pickup range CT 0.5 - 40 dengan step 0.01*)

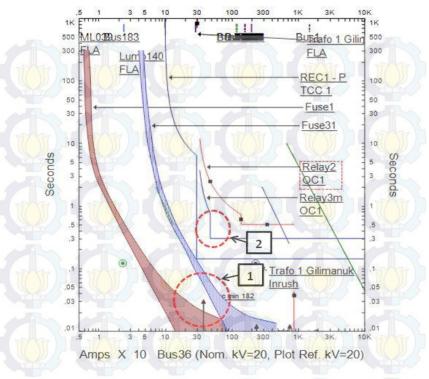
Nilai actual Iset = 1400 A

Time Delay

Pengaturan waktu (t>>) = 0.5 s

Tabel 4.7 Perbandingan Setting Rele sebelum dan sesudah penerapan SFCL Tipikal 2

	Setting relay	
Relay 3m	Sebelum penerapan SFCL	Sesudah penerapan SFCL
Manufaktur & Model	Areva p125	Areva p125
Rasio CT	CT = 400/5	CT = 400/5
Over current pickup (I>)	$0.76 \times 400 = 304$	$0.76 \times 400 = 304$
Time dial	0,1	0,05
instantaneous pickup (I»)	2 x 400 = 800	$1,2 \times 400 = 480$
Time delay	0,3 s	0,3 s
	Settin	g relay
Relay 2	Sebelum penerapan SFCL	Sesudah penerapan SFCL
Manufaktur & Model	Areva p125	Areva p125
Rasio CT	CT = 400/5	CT = 400/5
Over current pickup (I>)	$0.76 \times 400 = 304$	$0,76 \times 400 = 304$
Time dial	0,16	0,16
Instantaneous pickup (I≫)	$3.5 \times 400 = 1400$	$3.5 \times 400 = 1400$
Time delay	0,5 s	0,5 s
	Setting relay	
Recloser 1	Sebelum penerapan SFCL	Sesudah penerapan SFCL
Manufaktur & Model	Cooper F6 Cooper F6	
Rasio CT	CT = 500/1	CT = 500/1
Trip Low set	100	100
Trip High set	3 x 100 = 300	3 x 100 = 300
Time delay	0,1 s	0,1 s



Gambar 4.19. Time current curve Tipikal 2 setelah penerapan SFCL

Gambar 4.19 di atas merupakan kurva hasil setting terbaru setelah penerapan SFCL, terjadi perubahan pada setting sebelumnya yang mana seperti yang ditandai pada nomor 2, tap nya berubah menjadi 1,2 dari 2, ini dilakukan karena apabila tidak diperkecil nilai tap nya, arus hubung singkat akan mengenai kurva *inverse*, sehingga waktu pemutusan CB akan menjadi lebih lama. Arus hubung singkat pada bus 182 menjadi 380 Ampere, sehingga apa bila terjadi gangguan pada bus tersebut, Fuse 1 akan teputus terlebih dahulu, bebeda dengan sebelum penerapan SFCL, pada saat terjadi gangguan 3 phasa pada bus 182 fuse tersebut putus secara bersamaan. Sehingga hal ini dapat menggangu kontinuitas pelayan pada beban yang lain.

4.3.3 Resetting Koordinasi Rele Tipikal 3

Sama seperti tipikal-tipkal sebelumnya, pada tipikal 3 juga akan dilihat pengaruh penerapan SFCL terhadap setting koordinasi yang telah ada, sehingga perlu dilakukan perhitungan manual kembali dengan nilai arus hubung singkat yang telah direduksi atau dikurangi oleh SFCL.

: Cooper F6

= 32.4 A

* Recloser Matahari

Manufaktur

FLA

Kurva : IEC Extremely Inverse

Rasio CT : 200/1 Isc Min 30 Cycle bus 354mj = 778 A Isc Max 4 Cycle bus 308mj = 1240 A

Recloser ini berfungsi sebagai pengaman utama untuk saluran utama dari gangguan seperti sambaran petir, dan yang sering terjadi yaitu cabang-cabang pepohonan menyentuh konduktor karena tertiup angin. Pada recloser ini menggunakan kurva IEC Inverse dengan FLA sebesar 32,4 A. Perhitungan resetting recloser matahari adalah sebagai berikut:

Time Over current Pickup

Dipilih Iset = 100 A (Range 5 – 800 dengan step 1)

Time Dial

Waktu Operasi =
$$t_{ds} = 0.1 \text{ s}$$

T = Time Dial

Iset = 100 A

$$M = \frac{I}{Is} = \frac{\text{Isc Max 4 Cycle bus 308mj}}{\text{Iset}} = \frac{1240}{100} = 12,4$$

$$t_{ds} = T \times \left[\frac{A}{M^2 - 1} + B \right]$$

$$0,1 = T \times \left[\frac{80}{12.4^2 - 1} \right]$$

$$T = \frac{0.1}{0,52}$$

$$T = 0.19$$

 $T \ge 0.19$ Dipilih T = 0.19

Instantaneous Pickup

$$1.1 \times FLA$$
 $< I_{\gg} <$ 0.8 × Isc Min 30 Cycle bus 354m

$$1.1 \times 32.4$$
 $< I_{\gg} <$ 0.8×778
 35.64 $< I_{\gg} <$ 622.4

Dipilih untuk kondisi rele definite 200 A (*Rrange 1 - 32 x TOC pickup*, dengan step 0,1)

Trip Range:

$$trip = \frac{I_{\gg}}{I_{\text{set}}} = \frac{200}{100} = 2$$

Time Delay

Pengaturan waktu (t>>) = 0.1 s

* Recloser Trimbawan

Manufaktur : Cooper F6 Kurva : IEC Inverse

Rasio CT : 200/1

Isc Min 30 Cycle bus 304mj = 1155 A Isc Max 4 Cycle bus 197mj = 1173 A

FLA = 32,8 A

Recloser ini berfungsi sebagai pengaman utama untuk saluran utama dari gangguan seperti sambaran petir, dan yang sering terjadi yaitu cabang-cabang pepohonan menyentuh konduktor karena tertiup angin . Pada recloser ini menggunakan kurva IEC Inverse dengan FLA sebesar 32,8 A. Perhitungan resetting recloser matahari adalah sebagai berikut :

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA$$
 < Iset < $0,8 \times Isc \min 30$ cycle bus 304

$$1,05 \times 32,8$$
 < Iset < $0,8 \times 1151$

Dipilih Iset = 150 A (Range 5 - 800 dengan step 1)

Time Dial

Waktu Operasi =
$$t_{ds} = 0.1 \text{ s}$$

$$T = Time Dial$$

Iset = 150 A

$$M = \frac{I}{Is} = \frac{\text{Isc Max 4 Cycle bus 197mj}}{\text{Iset}} = \frac{1173}{150} = 7,82$$

$$t_{ds} = T \times \left[\frac{A}{M^2 - 1} + B \right]$$

$$0.1 = T \times \left[\frac{80}{7.82^2 - 1} \right]$$

$$T = \frac{0.1}{1,32}$$

$$T = 0.07$$

$$T \ge 0.07$$
 Dipilih $T = 0.07$

Instantaneous Pickup

1,1 × FLA
$$\langle I_{\gg} \langle 0.8 \times \text{Isc Min } 30 \text{ Cycle bus } 304\text{mj}$$

$$1.1 \times 32.8$$
 $< I_{\gg} <$ 0.8×1155 $< I_{\odot} <$ 924

Dipilih untuk kondisi rele definite **250 A** (*Rrange 1 - 32 x TOC pickup*, dengan step 0,1)

Trip Range:

$$trip = \frac{I_{\gg}}{I_{\text{set}}} = \frac{250}{150} = 1,6$$

Time Delay

Pengaturan waktu (t>>) = 0.3 s

* Relay 1mj

Manufaktur

Model : P125

Kurva : Standard Inverse Time

Rasio CT : 400/5
Isc Min 30 Cycle bus 188mj = 977 A

Isc Max 4 Cycle bus 188mj = 1128 A FLA = $\frac{kVA}{\sqrt{3} kV} = \frac{10000}{\sqrt{3} 20} = 288.67 A$

: Areva

Time Over current Pickup

Dipilih Tap = **0.76 In** (*Range CT 0.001 – 1 dengan step 0.005*) Nilai actual Iset = $0.76 \times 400 = 304 \text{ A}$

Time Dial

Waktu Operasi = $t_{ds} = 0.5 \text{ s}$

T = Time Dial

$$\frac{I}{Is} = \frac{\text{Isc Max 4 cycle Bus 188mj}}{\text{Iset}} = \frac{1128}{304} = 3,7$$

$$t_{ds} = \frac{0.14 \times T}{\left[\left(\frac{I}{IS} \right)^{0.02} - 1 \right]}$$

$$0.5 = \frac{0.14 \times T}{[(3.7)^{0.02} - 1]}$$

$$T = \frac{0.5 \times [(3,7)^{0.02} - 1]}{0,14}$$

T = 0.09

 $T \ge 0.09$ Dipilih T = 0.09 (Range T 0.001 sampai 1 dengan step 0.025)

Instantaneous Pickup

$$< I_{\gg} < 0.8 \times Isc\ Min\ Bus\ 188 \atop CTprimer < I_{\gg} < 0.8 \times 977 \atop 400 \atop 400 \atop 400 \atop In < 1.95\ In < 1.95\ In$$

Dipilih Tap = **1,5 In** (*Pickup range CT 0.01 - 8 dengan step 0.005*) Nilai Aktual Iset = 600 A



Pengaturan waktu (t>>) = 0.5 s

* Relay 2mj

Manufaktur

Model

Kurva

Rasio CT

Isc Min 30 Cycle bus 187mj

Isc Max 4 Cycle bus 187mjj

FLA

: Areva

: P125

: Standard Inverse Time

: 400/5

= 2962 A

= 3420 A

 $= \frac{kVA}{\sqrt{3} \ kV} = \frac{10000}{\sqrt{3} \ 20} = \frac{288.67 \ A}{}$

Time Over current Pickup

$$\frac{1,05 \times FLA}{400} In < Iset < 0,8 Isc Min 30 Cycle bus 187 In$$

$$\frac{1,05 \times 288,67}{400} In < Iset < 0,8 \times 2962 In$$

$$\frac{303,10}{400} In < Tap < \frac{2369,6}{400} In$$

$$0.75 In < Tap < 5,9 In$$

Dipilih Tap = **0.76 In** (*Range CT 0.001 – 1 dengan step 0.005*) Nilai actual Iset = 0.76 x 400 = 304 A

Time Dial

Waktu Operasi = $t_{ds} = 0.7 \text{ s}$

T = Time Dial

$$\frac{I}{Is} = \frac{\text{Isc Max 4 cycle Bus 187mj}}{\text{Iset}} = \frac{3420}{304} = 11,25$$

$$t_{ds} = \frac{0.14 \times T}{\left[\left(\frac{I}{IS}\right)^{0.02} - 1\right]}$$

$$0.7 = \frac{0.14 \times T}{[(11,25)^{0.02} - 1]}$$

$$T = \frac{0.7 \times [(11,25)^{0.02} - 1]}{0,14}$$

$$T = 0.24$$

 $T \ge 0.24$ Dipilih T = 0.24 (Range T 0.001 sampai 1 dengan step 0.025)

Instantaneous Pickup

$$< I_{>>} < 0.8 \times Isc\ Min\ Bus\ 187$$
 In CTprimer $< I_{>>} < 0.8 \times 2962$ In $< Tap < 2369.6$ 400 In $< Tap < 5.9\ In$

Dipilih Tap = 4 In (*Pickup range CT 0.01 - 8 dengan step 0.005*)

Nilai Aktual Iset = 1600 A

Time Delay

Pengaturan waktu (t>>) = 0.7 s

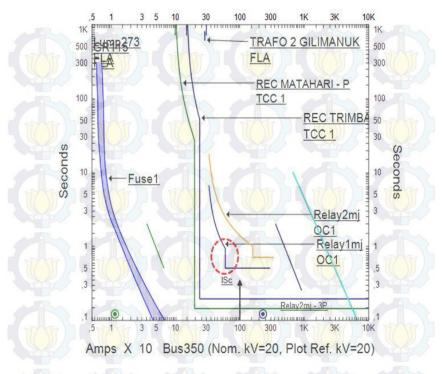
 Tabel 4.8. Perbandingan Setting Rele sebelum dan sesudah penerapan

SFCL Tipikal 3

TO THE TOTAL OF	Setting Relay		
Rele 1mj	Sebelum penerapan SFCL	Sesudah penerapan SFCL	
Manufaktur & Model	Areva p125	Areva p125	
Rasio CT	CT = 400/5	CT = 400/5	
Over current pickup (I>)	$0.76 \times 400 = 304$	$0.76 \times 400 = 304$	
Time dial	0,15	0,09	

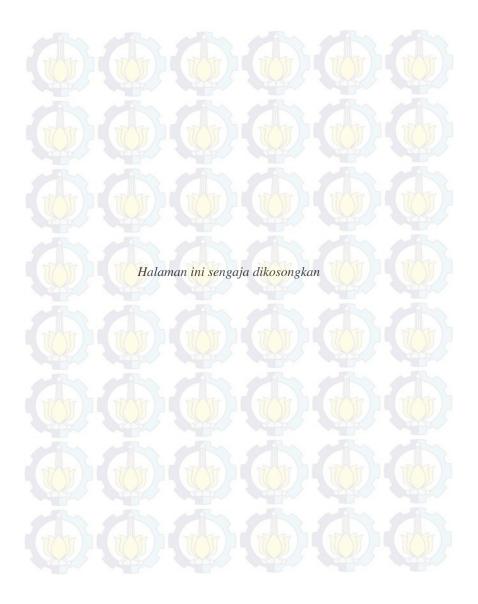
Tabel 4.8. Perbandingan Setting Rele sebelum dan sesudah penerapan SFCL Tipikal 3 (lanjutan)

A A	Setting Relay		
Rele 1mj	Sebelum penerapan SFCL	Sesudah penerapan SFCL	
instantaneous pickup (I≫)	3 x 400 = 1200	$1.5 \times 400 = 600$	
Time delay	0,5 s	0,5 s	
TATE OF TATE	Setting	Relay	
Rele 2mj	Sebelum penerapan SFCL	Sesudah penerapan SFCL	
Manufaktur & Model	Areva p125	Areva p125	
Rasio CT	CT = 400/5	CT = 400/5	
Over current pickup (I>)	$0.76 \times 400 = 304$	$0.76 \times 400 = 304$	
Time dial	0,24	0,24	
instantaneous pickup (I»)	4 x 400 = 1600	$4 \times 400 = 1600$	
Time delay	0,55 s	0,55 s	
	Setting Relay		
Recloser Matahari	Sebelum penerapan SFCL	Sesudah penerapan SFCL	
Manufaktur & Model	Cooper F6	Cooper F6	
Rasio CT	CT = 500/1	CT = 500/1	
Trip Low set	100	100	
Trip High set	2 x 100 = 200	2 x 100 = 200	
Time delay	0,1 s	0,1 s	
	Setting		
Recloser Trimbawan	Sebelum penerapan SFCL	Sesudah penerapan SFCL	
Manufaktur & Model	Cooper F6	Cooper F6	
Rasio CT	CT = 500/1	CT = 500/1	
Trip Low set	150	150	
Trip High set	$1,6 \times 150 = 240$	$1,6 \times 150 = 240$	
Time delay	0,3 s	0,3 s	



Gambar 4.20 Time current Curve setelah penerapan SFCL pada Tipikal

Dari hasil perhitungan ulang seperti yang terdapat pada Tabel 4.8 dan Gambar 4.20 merupkan data hasil perhitungan ulang yang diakibatkan oleh penerapan SFCL, dan pada gambar TCC tersebut merupkan kurva koordinasi antar peralatan pengaman. Pada Gambar 4.20 terdapat tanda lingkaran merah, tanda tersebut merupkan perubahan Tap yang semula Tap = 3 menjadi 1.5, ini disebabkan oleh pengaruh SFCL, arus hubung singkat yang telah direduksi oleh SFCL lebih kecil dari arus hubung singkat tanpa SFCL, sehingga apabila settingnya mengikuti settingan awal maka akibatnya arus hubung singkat akan menabrak kurva Inverse dari rele tersebut dan proses pembukaan CB menjadi lebih lama. Hal tersebut juga dapat mengakibatkan kerusakan peralatan.



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan data dan hasil analisa terhadap penerapan SFCL pada jaringan distribusi APJ Gilimanuk, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- 1. Superconducting Fault Current Limiter (SFCL) berfungsi untuk mengurangi besar arus gangguan, dengan prinsif kerja superkonduktifitasnya, pada kondisi normal (tanpa gangguan) resistansi pada SFCL bernilai 0 Ω (ohm) dan pada saat terjadi gangguan, resistansinya maksimum sesuai setting. Sehingga SFCL pada kondisi normal tidak membebani jaringan.
- 2. Pada Penyulang Gilimanuk dan Melaya, untuk mereduksi arus hubung singkat sebesar 3 kA peak dipasang SFCL dengan nilai resistansi sebesar 11 Ω (Ohm) dan proses recovery selama 0.49s pada SFCL Gilimanuk dan 0,59 pada SFCL Melaya. Berbeda dengan Penyulang Menjangan, nilai resistansi SFCL yang terpasang yaitu 12.59 Ω dan mampu meredusksi arus hubung singkat sebesar 3,2 kA peak dan proses recovery selama 0,59 s.
- 3. Dengan penerapan SFCL mengakibatkan nilai arus hubung singkat pada setiap bus menjadi berubah, tentunya diperlukan koordinasi dan perhitungan ulang agar relay-relay pengaman dapat berfungsi dan terkoordinasi dengan baik.

5.2 Saran

Dari hasil simulasi dan analisa maka penulis menyarankan beberapa hal berikut :

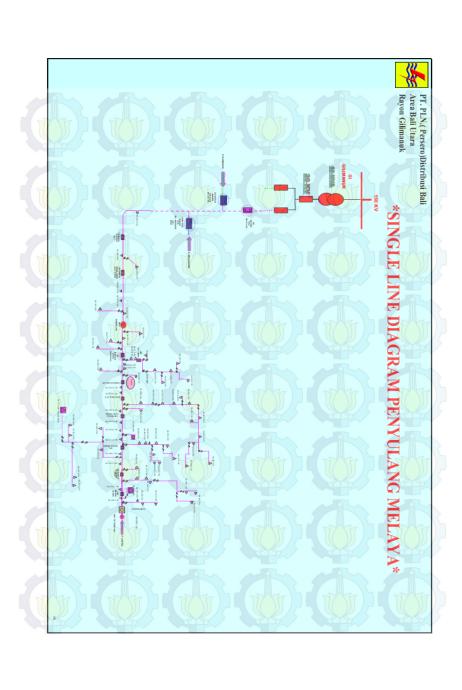
- 1. Agar lebih maksimal, SFCL diterapkan pada lokasi yang memiliki potensi arus hubung singkat terbesar.
- 2. Besar arus hubung singkat yang akan direduksi atau dikurangi harus memperhatikan batas minimum arus hubung singkatnya, sehingga nantinya arus yang hubung singkat yang dikurangi masih memenuhi syarat untuk setting koordinasi pada rele yang digunakan.

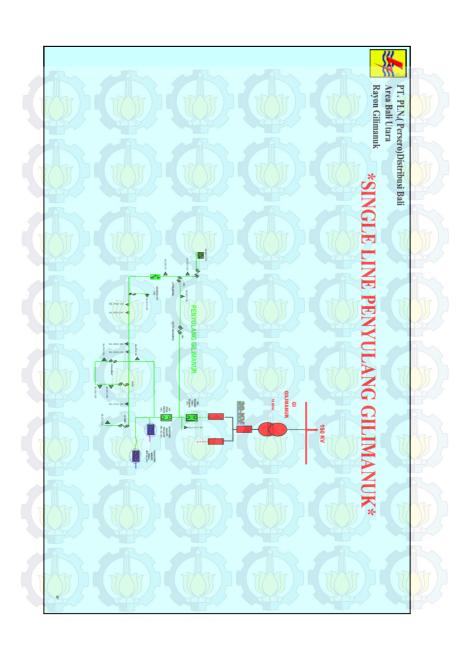


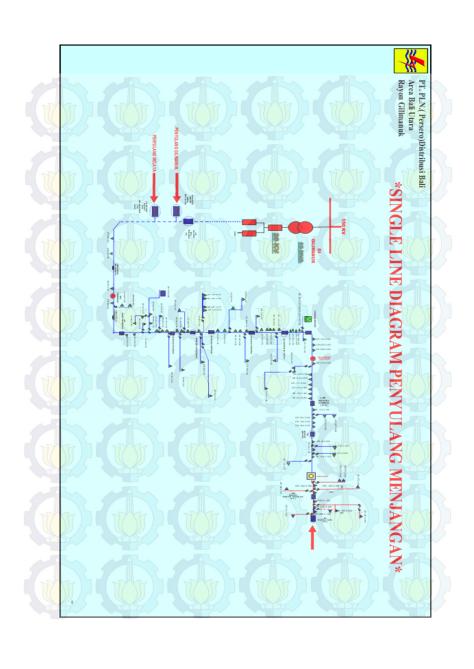
DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wahyudi, "Diktat Kuliah Pengaman Sistem Tenaga Listrik", Teknik Elektro ITS, Surbaya, Bab 2, 2004
- [2] Soeprijanto, Adi "Kestabilan Sistem Tenaga Listrik, Diktat Kuliah Analisis Sistem Tenaga Listrik 2", Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
- [3] Lazar irwin "Electrical System Analysis and Design for Industrial Plant", McGraw-Hill Inc., USA, Ch, 1, 1980
- [4] Anderson, P.M, "Power System Protection", John Wiley & Sons, Inc., Canada, Ch. 3, 1998
- [5] Phadke, Arun G, dan Thorp, James S, "Computer relaying for Power System", John Wiley and Sons, Ltd., England, Ch.2, 2009
- [6] Préve, Christope, "Protection for Electrical Network", ISTE Ltd., London, Ch. 7, 9, 2006
- [7] Instruction Manual "Multi-Functional Protective Relay with Bay Controller 7SJ62 V4.0/V4.1" Siemens. 1999
- [8] 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.
- [9] Superconducting Fault Current Limiters: Technology Watch 2009. EPRI, Palo Alto, CA: 2009. 1017793.
- [10] A. Rama devi, J. Nani Kumar, "Simulation of Resistive Superconducting Fault Current Limiter and its Performance Analysis in Three Phase System", International Journal of engineering Research & Technology (IJERT), Vol 2 Issue 11, november 2013.
- [11] S. B. Rhee, J. K. Lee, and B. W. Lee, "Impact Of Superconducting Fault Current Limiters On The Recloser Operation In Distribution Electrical Power System", IEEE Transaction On Applied Superconductivity, Vol.21, No.3, June 2011
- [12] M. Blair Steven, D. Booth, M. Burt Graeme, "Current-Time Characteristics of Resistive Superconducting Fault Current Limiter", IEEE.

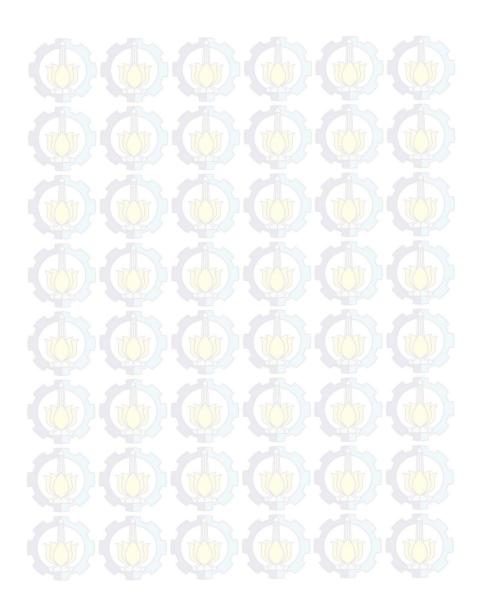


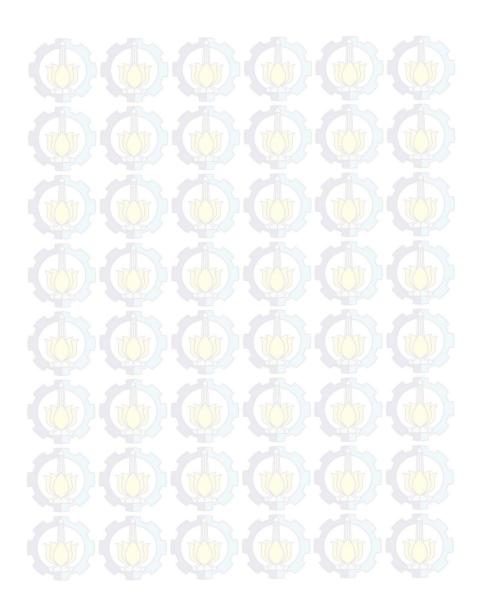












STUDY COORDINATION OF PROTECTION SYSTEM AGAINST THE MOUNTING INFLUENCE OF INSTALLATION SUPERCONDUCTING FAULT CURRENT LIMITER IN THE DISTRIBUTION NETWORK PT PLN (PERSERO) APJ GILIMANUK

Name 📉 : Hari <mark>Prase</mark>tya Nug<mark>raha</mark>

Advisor I : Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.

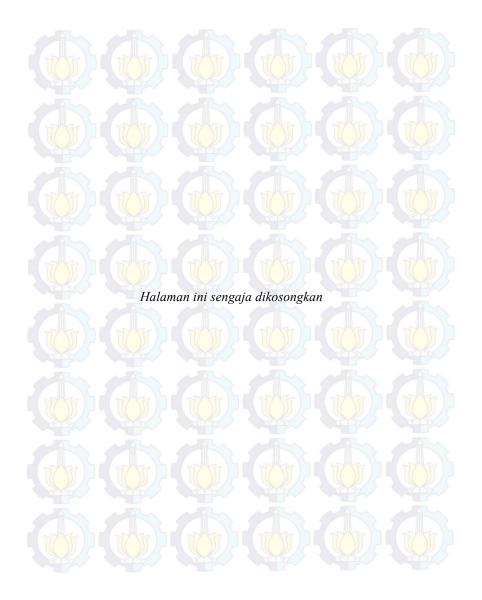
Advisor II : Ir. Teguh Yuwono

Abstract:

Superconducting Fault Current Limiter or SFCL is a device that is able to reduce the short circuit current with an increase in resistance value in it. Increased the resistance value is the impact of increase the value of the SFCL temperature increase along with the magnitude of the fault current. So that in normal conditions the resistance value is equal to 0 ohm.

Short circuit current reduction is not only aimed at securing equipment due to the fault current, but to make the area around the interference becomes more secure. In the feeder Gilimanuk and Melaya, with 11 Ohm resistance value fault current is reduced by 3 kA peak and feeder Menjangan reduced fault currents of 3.2 kA peak with a resistance value of 12.59 Ohms. Result a decrease of fault current should be an adjustment of protection settings on the relay, so that the protection relays can functioning and good coordinated.

Keywords: Short circuit, voltage dip, SFCL resistive, temperature, superconductor, protection relay.



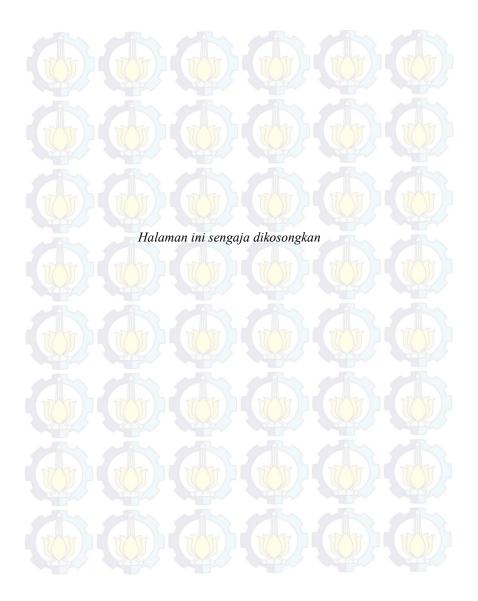
KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala Rahmat, Karunia, dan Petunjuk yang telah dilimpahkan-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir dengan judul Studi Koordinasi Sistem Proteksi pada Jaringan Distribusi PT PLN (Persero) APJ Gilimanuk Terhadap Pengaruh Penerapan SFCL (Superconducting Fault Current Limiter). Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan S1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas selesainya penyusunan tugas akhir ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

- 1. Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya.
- 2. Bapak dan Ibu, serta seluruh keluarga yang selalu mendukung dan terus mendoakan penulis dalam meyelesaikan studi.
- 3. Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T. dan Ir. Teguh Yuwono sebagai dosen pembimbing yang telah banyak memberikan arahan dan perhatiannya dalam penyelesaian Tugas Akhir.
- 4. Teman-teman Lintas Jalur 2013 Genap yang selalu saling menyemangati dalam proses penyelesaian Tugas Akhir.
- 5. Seluruh dosen yang telah memberikan ilmunya selama kuliah, karyawan, dan keluarga besar Jurusan Teknik Elektro ITS yang tidak bisa disebutkan satu per satu.

Semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi mahasiswa maupun peneliti. Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan, untuk itu kritik dan saran diharapkan untuk penyempurnaan tugas akhir ini.

Surabaya, Mei 2015 Penulis



DAFTAR ISI

		Halaman
HA	LAMAN JUDUL	
	RNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	
	LAMAN PENGESAHAN	
ABS	STRAK	i
	STRACT	
	TA PENGANTAR	
DA	FTAR ISI	vii
DA	FTAR GAMBAR	ix
	FTAR TABEL	
	I PENDAHULUAN	
	Latar Belakang	
1.2	Permasalahan	
1.3	Batasan Masalah	
1.4	Tujuan	
1.5	Metodologi	
1.6	Sistematika Penulisan	3
	II LANDASAN TEORI	
2.1	Sistem Distribusi	
2.2) ~	
	2.2.1 Sistem Radial	7
	2.2.2 Sistem Loop	8
	2.2.3 Sistem Spindel	9
0.0	2.2.4 Sistem Mesh	
2.3	Pengaman Pada Sistem Distribusi	
	2.3.1 Peralatan Pemisah atau Penghubung	
	2.3.2 Peralatan Pengaman Arus Lebih	12
	2.3.2 Peralatan Pengaman Tegangan Lebih	
2.4)	
2.5	Sebab-Sebab Timbulnya Gangguan Pada sistem Tenaga	
	Listrik	
2.6	Perhitungan Arus Hubung Singkat	
	2.6.1Hubung Singkat 3 Fasa	19

		2.6.2 Hubung Singkat 2 Fasa	19
		2.6.3 Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah	
	2.7	Syarat-Syarat Pengaman Sistem Tenaga Listerik	20
	2.8	Rele Arus Lebih	
		2.8.1 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu	
		2.8.2 Rele Arus Lebih Waktu Inverse	22
		2.8.3 Rele Arus Lebih Waktu Instan	23
	2.9	Penyetelan Rele Arus Lebih	24
		2.9.1 Penyetelan Rele Arus Lebih Waktu Inverse	
		2.9.2 Penyetelan Rele Arus Lebih Waktu Instan	25
		Koordinasi Rele Arus Lebih dan Waktu	
	2.11	Superconducting Fault Current Limiter (SFCL)	27
		2.11.1 SFCL jenis Resistif	27
		2.11.2 Pereduksian Arus Hubung Singkat dengan SFCL	30
		2.11.3 Manfaat SFCL	31
I	BAB	III PENERAPAN <i>SUPERCONDUCTING FAULT CURREN</i>	
		LIMITER PADA SISTEM JARINGAN DISTRIBUSI AI	PJ
		GILIMANUK	
	3.1		
		3.1.1 Rating Tegangan	
		Penyulang Gilimanuk	
		Penyulang Melaya	
	3.4	Penyulang Menjangan	38
	3.5	Sistem Pengaman Exixting	41
	3.6	Penerapan SFCL pada Jaringan Distribusi	
		3.6.1 Penerapan SFCL pada Penyulang Gilimanuk	
		3.6.2 Penerapan SFCL pada Penyulang Melaya	
		3.6.3 Penerapan SFCL pada Penyulang Menjangan	45
I	BAB]	IV ANALISA PENGARUH PENERAPAN SFCL PADA	
		JARINGAN DISTRIBUSI 20 kV PT PLN (PERSERO)	38
		APJ GILIMANUK	
	4.1	Pemilihan Tipikal Setting Koordinasi Sistem Proteksi	
		4.1.1 Setting Koordinasi Rele Tipikal 1 Gilimanuk	
		4.1.2 Setting Koordinasi Rele Tipikal 2 Melaya	
		4.1.3 Setting Koordinasi Rele Tipikal 3 Menjangan	64
	4.2	Penerapan SFCL pada Jaringan Distribusi APJ Gilimanuk	
		4.2.1 Penerapan SFCL pada Tipikal 1	74

4.2.2 Penerapan SFCL pada Tipikal 2	
BAB V PENUTUP 5.1 Kesimpulan 5.2 Saran	101
DAFTAR PUSTAKA RIWAYAT PENULIS LAMPIRAN	105



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Halaman
Tabel 2.1	Gambar rangkaian dan persamaan gangguan hubung
Tabel 2.2	singkat
Tabel 3.1	Data transformator daya Gardu Induk APJ Gilimanuk34
Tabel 3.1	Gardu induk penyulang Gilimanuk
Tabel 3.3	Gardu induk penyulang Melaya
Tabel 3.4	Gardu induk penyulang Menjangan
Tabel 3.5	Existing rele penyulang Gilimanuk 42
Tabel 3.6	Existing rele penyulag Melaya 42
Tabel 3.7	Existing rele penyulag Menjangan
Tabel 3.8	Existing recloser penyulag Menjangan
Tabel 4.1	Data arus hubung singkat pada masing-masing bus49
Tabel 4.2	Perbandingan setting existing dan reseting tipikal 154
Tabel 4.3	Perbandingan setting existing dan reseting tipikal 263
Tabel 4.4	Perbandingan <i>setting existing</i> dan reseting tipikal 372
Tabel 4.5	Data arus hubung singkat setelah penerapan SFCL78
Tabel 4.6	Perbandingan setting rele sebelum dan sesudah
	penerapan SFCL tipikal 1
Tabel 4.7	Perbandingan setting rele sebelum dan sesudan
	penerapan SFCL tipikal 290
Tabel 4.8	Perbandingan setting rele sebelum dan sesudah
	penerapan SFCL tipikal 397



DAFTAR GAMBAR

	Halai	man
Gambar 2.1	Sistem tenaga listrik	6
Gambar 2.2	Sistem radial	
Gambar 2.3	Sistem loop terbuka	
Gambar 2.4	Sistem loop tertutup	
Gambar 2.5	Sistem spindel	
Gambar 2.6	Sistem mesh	
Gambar 2.7	Arah Aliran Arus Ganguan	
Gambar 2.8	Karakteristik rele arus lebih waktu tertentu	22
Gambar 2.9	Karakteristik Standard Inverse, Very Inverse dan	77)
Ser As	Extremly Inverse	
Gambar 2.10	Karakteristik Rele Arus Lebih Instan	23
Gambar 2.11	Kombinasi IDMT dengan rele arus lebih waktu	1
	instan	24
Gambar 2.12	Rele arus lebih pengaman trafo	
Gambar 2.13	SFCL jenis Resistif	27
Gambar 2.14	Karakteristik material SFCL jenis resistif	28
Gambar 2.15	Grafik peningkatan resistansi dan kondisi pemulihan (recovery)	20
Combon 2 16		29
Gambar 2.16	Bentuk gelombang arus gangguan dengan dan tanpa	20
Camban 2.1	SFCL	30
Gambar 3.1	Single line diagram PT PLN (persero) APJ Gilimanuk	22
Gambar 3.2		
	Penempatan SFCl pada penyulang gilimanuk	
Gambar 3.3 Gambar 3.4	Penempatan SFCI pada penyulang Melaya	
Gambar 4.1	Penempatan SFCl pada penyulang Menjangan	
	Rangkaian Tipikal 1, 2 dan 3	43
Gambar 4.2 Gambar 4.3		
	Time current curve exixting Tipikal 1	
Gambar 4.4	Time current curve resetting Tipikal 1	
Gambar 4.5	Rangkaian Tipikal 2 Melaya	5/
Gambar 4.6	Time current curve exixting Tipikal 2	
Gambar 4.7	Time current curve resetting Tipikal 2	
Gambar 4.8	Rangkaian Tipikal 3 menjangan	
Gambar 4.9	Rangkaian Tipikal 3 menjangan	
Gambar 4 10	Time current curve resetting Tipikal 3	13

Gambar 4.11	Kurva resistansi SFCL Tipikal I	/4
Gambar 4.12	Magnitude arus H.S pada Bus lbs pool Gilimanuk	
Gambar 4.13	Kurva resistansi SFCL Tipikal 2	
Gambar 4.14	Magnitude arus H.S pada Bus 4	76
Gambar 4.15	Kurva resistansi SFCL Tipikal 3	
Gambar 4.16	Magnitude arus H.S pada Bus 188	
Gambar 4.17	Time current curve Resetting tipikal 1	
Gambar 4.18	Time current curve Resetting tipikal 1 setelah	
	penerapan SFCL	85
Gambar 4.19	Time current curve Resetting tipikal 2 setelah	
	penerapan SFCL	91
Gambar 4.20	Time current curve Resetting tipikal 3 setelah	
	penerapan SFCL	99

BIODATA PENULIS



Hari Prasetya Nugraha, lahir di Garut pada tanggal 20 Februari 1992. Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Kejuruan di SMKN 2 Garut pada tahun 2010. Kemudian penulis melanjutkan dan menyelesaikan jenjang pendidikan tinggi Diploma (D3) pada bidang Teknik Sistem Tenaga Universitas Gadjah Mada tahun 2013. Pada tahun 2013 penulis melanjutkan

pendidikan tinggi jenjang sarjana (S1) pada bidang Teknik Sistem Tenaga Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Penulis dapat dihubungi melalui Email:
hariprasetyanugraha@gmail.com



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dengan perkembangan beban yang semakin meningkat, suatu sistem penyaluran daya listrik diharapkan memiliki tingkat keandalan yang tinggi agar terjaminnya pasokan energi listrik sampai ke pelanggan. Salah satu komponen utama dalam meningkatkan kehandalan sistem yaitu sistem proteksi. Sistem proteksi tidak hanya harus mampu menghilangkan atau mengisolir suatu gangguan, akan tetapi suatu sistem proteksi harus mampu mengamankan peralatan yang diakibatkan dari arus gangguan. Keberhasilan berfungsinya suatu sistem proteksi memerlukan adanya suatu koordinasi antara berbagai alat proteksi yang digunakan.

Arus yang ditimbulkan akibat gangguan tidak hanya berbahaya bagi lingkungan sekitar akan tetapi dapat merusak peralatan. Superconducting Fault Current Limiter (SFCL) merupakan sebuah peralatan yang dapat mereduksi arus gangguan. Prinsip kerja SFCL didasarkan pada Impedansi, SFCL akan selalu berharga mendekati nol Ohm, manakala temperature pada superkondutor tidak melebihi temperature normalnya, karena ketika tidak terjadi arus gangguan temperature superkonduktor akan berada pada temperature normalnya. Sehingga, dalam keadaan normal SFCL tidak membebani jaringan.

1.2 Permasalahan

Permasalahan yang akan dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah koordinasi antar rele pengaman yang diakibatkan oleh penerapan perangkat pembatas arus (SFCL) pada jaringan distribusi PT PLN APJ Gilimanuk sehingga penerapan parangkat tersebut pada kondisi normal tidak menggangu sistem dan saat terjadi gangguan sistem proteksinya dapat bekerja sesuai dengan apa yang telah dikoordinasikan.

1.3 Batasan Masalah

Untuk memperjelas ruang lingkup bahasan yang akan dikerjakan dalam tugas akhir ini maka permasalahan tersebut akan dibatasi sebagai berikut :

- Analisa sistem tenaga yang dilakukan meliputi analisa hubung singkat.
- b) Peralatan pengaman yang disetting dan dikoordinasi yaitu rele arus lebih (*Over Current Relay*) dan Recloser.
- c) Studi kasus menggunakan jaringan 20 kV di PT. PLN APJ Gilimanuk.
- d) Superconducting Fault Current Limiter (SFCL) yang digunakan yaitu jenis resistif.

1.4 Tujuan

Penelitian Tugas Akhir ini bertujuan untuk memberikan informasi mengenai setting dan koordinasi relay yang tepat pada jaringan 20 kV PT. PLN APJ Gilimanuk yang diakibatkan oleh penerapan pereduksi arus gangguan atau *Superconducting Fault Current Limiter* (SFCL).

1.5 Metodologi

Metodologi yang digunakan pada penyusunan Tugas Akhir ini adalah:

- 1. Studi Kasus
 Studi dilakukan dengan mengumpulkan data pendukung yang
 diperlukan di penyulang 20 kV PT PLN APJ Gilimanuk.
- Studi Literatur
 Mengusulkan berbagai buku dan referensi lainnya mengenai hal yang mendukung.
- 3. Simulasi Analisa hubung singkat dan koordinasi rele pengaman dilakukan menggunakan perangkat lunak Etap Power Station 11.0
 - Analisa Data
 Melakukan analisa data dari hasil simulasi dan pemodelan untuk mengetahui kerja rele pengaman akibat penerapan pereduksi arus gangguan (Superconducting Fault Current Limiter). Terdapat dua tahapan analisa yaitu analisa sebelum dan sesudah pemasangan pembatas arus. Nantinya dari hasil tersebut diberikan solusi yang terbaik untuk mengatasi permasalah yang dihadapi.
- 5. Melakukan Resetting

Resetting hanya dilakukan apabila hasil simulasi dan analisa tidak sesuai dengan standar yang berlaku sehingga dilakukan proses seting ulang terhadap koordinasi rele-rele pengaman.

6. Penarikan kesimpulan

Kesimpulan mengenai pengaruh dan perubahan yang terjadi terhadap sistem kelistrikan. Kesimpulan ini dapat diambil dari hasil membandingkan dua kondisi yang dilakukan pada tahap analisa data.

1.6 Sistematika Penulisan

Pada penyusunan Tugas Akhir ini pembahsan akan dibagi menjadi lima Bab dengan sistematika sebagai berikut :

Bab I : Pendahuluan

Berisi latar belakang, permasalahan, batasan masalah, tujuan, metodologi dan sistematika penulisan.

Bab II: Landasan Teori

Pada bab ini membahas tentang konfigurasi jaringan pada saluran distribusi, jenis-jenis gangguan dan pengaman pada saluran distribusi serta penjelsan tentang Superconducting Fault Current Limiter atau SFCL.

Bab III: Penerapan Superconducting Fault Current Limiter pada Sistem Jaringan Distribusi APJ Gilimanuk.

Berisi penjelasan mengenai sistem kelistrikan, data setting peralatan pengaman dan penjelasan mengenai lokasi penempatan SFCL yang diterapkan pada jaringan distribusi.

Bab IV : Analisa Pengaruh Penerapan SFCL pada Jaringan Distribusi 20 kV PT PLN (PERSERO) APJ Gilimanuk

Pada Bab IV berisi tentang analisa arus hubung singkat sebelum dan setelah penerapan SFCL, kemudian nantinya arus hubung singkat tersebut dilihat pengaruhnya terhadap *setting* sistem pengaman yang ada.

Bab V : Penutup

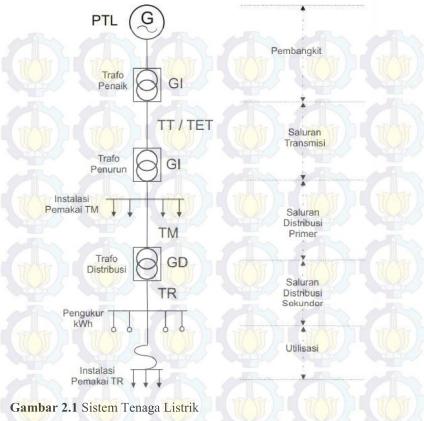
Merupakan kesimpulan dan saran dari keseluruhan pembahasan yang telah dilakukan dari Tugas Akhir ini.



BAB II LANDASAN TEORI

2.1 Sistem Distribusi

Sistem distribusi merupakan subsistem tersendiri yang terdiri dari Pusat Pengatur (Distribution Control Center, DCC), saluran tegangan menengah (6 kV dan 20 kV, yang juga biasa disebut tegangan distribusi primer) yang merupakan saluran udara atau kabel tanah, gardu distribusi tegangan menengah yang terdiri dari panel - panel pengatur tegangan menengah dan trafo sampai dengan panel- panel distribusi tegangan rendah (380V, 220V) yang menghasilkan tegangan kerja/tegangan jala-jala untuk industri dan konsumen. Tenaga listrik dibangkitkan pada pusat - pusat pembangkit listrik (power plant) seperti PLTA, PLTU, PLTG, dan PLTD lalu disalurkan melalui saluran setelah terlebih dahulu dinaikkan tegangannya oleh transmisi transformator step-up yang ada di pusat listrik. Saluran transmisi tegangan tinggi mempunyai tegangan 70 kV, 150 kV, atau 500 kV. Khusus untuk tegangan 500 kV dalam praktek saat ini disebut sebagai tegangan ekstra tinggi. Setelah tenaga listrik disalurkan, maka sampailah tegangan listrik ke Gardu Induk (GI), kemudian diturunkan tegangannya menggunakan transformator step - down menjadi tegangan menengah yang juga disebut sebagai tegangan distribusi primer. Kecenderungan saat ini menunjukan bahwa tegangan distribusi primer PLN yang berkembang adalah tegangan 20 kV. Setelah tenaga listrik disalurkan melalui jaringan distribusi primer atau Jaringan Tegangan Menengah (JTM), maka tenaga listrik kemudian diturunkan lagi tegangannya dalam gardu distribusi menjadi tegangan rendah, yaitu tegangan 220/380 Volt, lalu disalurkan melalui jaringan Tegangan Rendah (JTR) ke rumah- rumah pelanggan (konsumen) PLN. Pelanggan dengan daya tersambung besar tidak dapat dihubungkan pada Jaringan Tegangan Rendah, melainkan dihubungkan langsung pada jaringan tegangan menengah, bahkan ada pula pelanggan yang terhubung pada jaringan transmisi, tergantung dari besarnya daya tersambung.



2.2 Sistem Konfigurasi Saluran Distribusi

Sistem distribusi akan lebih efektif bila digunakan bentuk atau tipe yang berbeda-beda, disesuaikan dengan keadaan beban maupun dengan hal-hal yang mempengaruhi sistem, dan didalam pemilihan tipe sistem distribusi tidak terlepas dari persyaratan yang harus dipenuhi sebagai berikut:

- a) Kontinuitas pelayanan yang baik, tidak sering terjadi pemutusan.
- b) Keandalan yang tinggi, antara lain meliputi:
 - i. Kapasitas daya yang memenuhi.
 - ii. Tegangan yang selalu konstan dan nominal.
- iii. Frekuensi yang selalu konstan

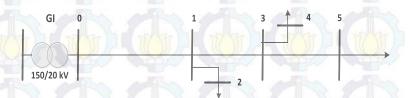
- c) Penyebaran daerah beban yang seimbang.
- d) Fleksibel dalam pengembangan dan perluasan, tidak hanya bertitik tolak pada kebutuhan beban sesaat tetapi kemungkinan pengembangan beban yang harus dilayani.
- e) Tegangan jatuh sekecil mungkin.
- f) Pertimbangan ekonomis, menyangkut perhitungan untung rugi baik secara komersial maupun dalam rangka penghematan anggaran yang tersedia.

Beberapa bentuk sistem jaringan distribusi, yaitu:

- 1. Sistem Radial
- 2. Sistem Loop atau Ring
- 3. Sistem Spindel
- 4. Sistem Mesh

2.2.1 Sistem Radial

Bentuk jaringan ini merupakan bentuk dasar yang paling sederhana dan paling banyak digunakan. Sistem ini terdiri dari saluran utama (Trunk Line) dan saluran cabang (Lateral) seperti pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Sistem Radial

Pelayanan tenaga listrik untuk suatu daerah beban tertentu dilaksanakan dengan memasang transformator pada titik yang sedekat mungkin dengan daerah beban yang dilayaninya. Trafo ini berguna untuk menurunkan tegangan sistem agar dapat dikonsumsikan pada beban konsumen. Untuk daerah beban yang menyimpang jauh dari saluran utama maupun saluran cabang, maka akan ditarik lagi saluran tambahan yang dicabangkan pada saluran tersebut.

Kelemahan yang dimiliki oleh sistem radial adalah drop tegangannya cukup besar dan bila terjadi gangguan pada sistem dapat mengakibatkan jatuhnya sebagian atau bahkan keseluruhan beban sistem. Sedangkan keuntungannya adalah biaya pembangunannya relatif

murah, pemeliharannya sederhana dan mudah untuk menentukan letak gangguan yang terjadi pada sistem.

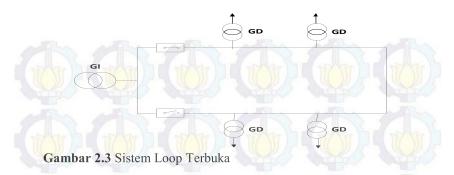
Sistem radial ini kurang cocok dipergunakan untuk mensupply beban seperti rumah sakit,instalasi militer atau konsumen lainnya yang memerlukan tingkat keandalan yang cukup tinggi.

2.2.2 Sistem Loop Atau Ring

Sistem rangkaian tertutup pada jaringan distribusi merupakan suatu sistem penyaluran melalui dua atau lebih saluran feeder yang saling berhubungan membentuk rangkaian berbentuk cincin. Sistem ini secara ekonomis menguntungkan, karena gangguan pada jaringan terbatas hanya pada saluran yang terganggu saja. Sedangkan pada saluran yang lain masih dapat menyalurkan tenaga listrik dari sumber yang lain dalam rangkaian yang tidak terganggu. Sehingga kontinuitas pelayanan sumber tenaga listrik dapat terjamin dengan baik. Yang perlu diperhatikan pada sistem ini apabila beban dilayani bertambah, maka kapasitas pelayanan untuk sistem rangkaian tertutup ini kondisinya akan lebih jelek. Tetapi jika digunakan titik sumber (Pembangkit Tenaga Listrik) lebih dari satu di dalam jaringan ini maka sistem akan banyak dipakai, dan akan menghasilkan kualitas tegangan yang lebih baik. Sistem ini terdiri dari dua jenis, yaitu:

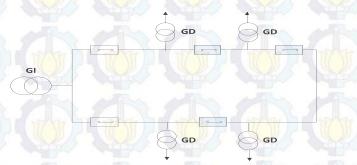
1. Sistem Loop Terbuka

Pada sistem loop terbuka, bagian-bagian saluran tersambung melalui alat pemisah (disconnector), dan kedua ujung saluran tersambung pada sumber energi. Pada satu sisi saluran alat pemisah tersebut tertutup dan pada sisi saluran lain dibiarkan dalam keadaan terbuka. Pada dasarnya sistem ini terdiri atas saluran yang dipisahkan oleh suatu pemisah yang berupa saklar daya seperti pada Gambar 2.3. Bila terjadi gangguan, bagian saluran yang terkena gangguan dapat dilepas dan menyambung pada saluran yang tidak terganggu. Sistem demikian biasanya dioperasikan secara manual dan dipakai pada jaringan-jaringan yang relatif kecil.



2. Sistem Loop Tertutup

Pada sistem loop tertutup diperoleh tingkat keandalan yang lebih tinggi. Pada sistem ini alat-alat pemisah biasanya bekerja secara otomatis yang digerakkan oleh rele seperti pada Gambar 2.4. Jika terjadi gangguan pada satu saluran maka rele akan mendeteksi lokasi terjadi gangguan kemudian memerintahkan saklar mana saja yang harus dibuka untuk melokalisir gangguan, sehingga pada saluran lain yang tidak terkena gangguan dapat terus beroperasi. Pengoperasian rele yang baik diperoleh dengan menggunakan kawat pilot yang menghubungkan semua saklar daya pada setiap saluran.



Gambar 2.4 Sistem Loop Tertutup

2.2.3 Sistem Spindel

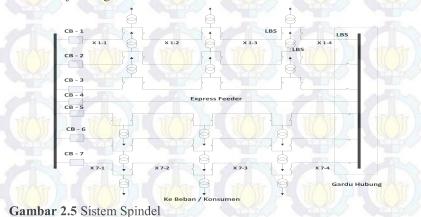
Yang menjadi ciri khas dari sitem spindel adalah saluran cadangan (*express*) dimana pada kondisi normal tidak dibebani namun bertegangan dan adanya gardu hubung yang merupakan titik pertemuan

dari semua penyulang primer, yang berisi rel daya sejumlah saklar yang menghubungkan masing-masing penyulang utama ke rel tersebut. Di sepanjang saluran juga terdapat *Load Break Switch* (LBS) yang berguna untuk keperluan manuver bila ada gangguan pada saluran kerja (*working feeder*). Jika terjadi gangguan pada salah satu penyulang yang terletak diantara dua gardu maka setelah gangguan dilokalisir, pelayanan dapat dipulihkan dengan satu bagian mendapat daya langsung dari gardu induk. Sedangkan bagian yang lain mendapatkan daya dari gardu induk yang sama setelah penyulang *express* dan gardu hubung.

Keuntungan pada sistem spindel adalah :

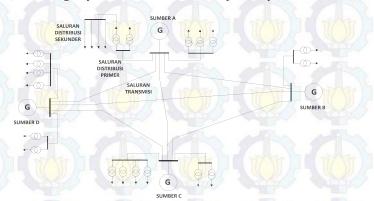
- a) Memiliki kontinuitas penyaluran daya terjamin.
- b) Kualitas tegangan baik karena rugi daya pada saluan kecil.
- c) Memudahkan dalam mencari lokasi gangguan.
- d) Memperkecil jumlah pelanggan yang padam, sedangkan kelemahan pada sistem spindel adalah :
- a) Biaya investasi yang besar.
- b) Perlu tenaga terampil dalam pengoperasian.
- c) Perlu koordinasi perencaan yang teliti dan rumit

Sistem ini memberikan keandalan yang cukup tinggi dengan investasi tambahan berupa kabel saluran express. Bila saluran *express* terganggu maka saklar akan bekerja, dan sistem spindel ini sementara akan bekerja sebagai sistem biasa.



2.2.4 Sistem Mesh

Sistem ini juga merupakan sistem dengan tingkat keandalan yang tinggi karena banyaknya saluran alternatif yang banyak dapat dipilih untuk menyuplai beban. Akan tetapi karena banyaknya saluran yang disediakan maka biaya investasinya juga mahal. Sistem ini biasanya digunakan untuk menyuplai beban-beban yang dikategorikan sebagai beban penting, misalnya rumah sakit, gedung pemerintahan, militer, dan sebagainya. Skema sistem ini ditunjukkan pada Gambar 2.6



Gambar 2.6 Sistem Mesh

2.3 Pengaman Pada Sistem Distribusi

Agar suatu sistem distribusi dapat berfungsi dengan baik, gangguan-gangguan yang terjadi pada tiap bagian harus direspon dan dipisahkan dari sistem lainnya dalam waktu secepatnya. Keberhasilan fungsi proteksi memerlukan suatu koordinasi antara berbagai alat proteksi yang dipakai. Adapun fungsi sistem pengaman adalah:

- a. Melokalisir gangguan untuk membebaskan peralatan dari gangguan.
- b. Membebaskan bagian yang tidak bekerja normal, untuk mengurangi kerusakan.
- c. Memberi petunjuk atau indikasi atas lokasi serta jenis dari gangguan.
- d. Untuk dapat memberikan pelayanan listrik dengan keandalan yang tinggi pada konsumen.
- e. Untuk mengamankan keselamatan manusia terutama terhadap bahaya yang ditimbulkan listrik.

Dalam usaha menjaga kontinuitas pelayanan tenaga listrik dan menjaga agar peralatan pada jaringan primer 20 kV tidak mengalami kerusakan total akibat gangguan, maka harus diperlukan peralatan pengaman.

Adapun peralatan pengaman yang digunakan pada jaringan tegangan menengah 20 kV terbagi menjadi :

- 1. Peralatan pemisah atau penghubung
- 2. Peralatan pengaman arus lebih
- 3. Peralatan pengaman tegangan lebih

2.3.1 Peralatan Pemisah atau Penghubung

Fungsi dari pemutus beban atau pemutus daya (PMT) adalah untuk mempermudah dalam membuka dan menutup suatu saluran yang menghubungkan sumber dengan beban baik dalam keadaan normal maupun dalam keadaan gangguan. Jenis pemutus yang digunakan pada gardu adalah sebagai berikut :

- a. Circuit Breaker (Pemutus Tenaga)
- b. Disconnecting Switch (DS)
- c. Load Break Switch (LBS)
- d. Sectionalizer / Automatic Vacum Switch (AVS)

2.3.2 Peralatan Pengaman Arus Lebih

Fungsi dari peralatan pengaman arus lebih adalah untuk mengatasi gangguan arus lebih pada sistem distribusi sebelum gangguan tersebut meluas keseluruh sistem yang ada. Peralatan yang banyak digunakan diantaranya:

- a Fuse
- b. Relay Arus Lebih
- c. Recloser (Penutup Balik Otomatis)

2.3.3 Peralatan Pengaman Tegangan Lebih

Pada sistem distribusi, gangguan dapat terjadi akibat adanya tegangan lebih. Gangguan ini bisa terjadi akibat proses *switching* pada saluran dan akibat sambaran petir. Petir yang kita kenal sekarang ini terjadi akibat awan dengan muatan tertentu menginduksi muatan yang ada di bumi. Bila muatan di dalam awan bertambah besar, maka muatan induksi pun semakin besar sehingga beda potensial antara awan dengan bumi akan semakin besar. Kejadian ini diikuti pelopor menurun dari awan dan diikuti pula dengan adanya pelopor menaik dari bumi yang

mendekati pelopor menurun. Pada saat itulah terjadi apa yang dinamakan petir. Petir akan menyambar semua benda yang dekat dengan awan atau dengan kata lain benda yang tinggi akan mempunyai peluang besar tersambar petir.

Transmisi tenaga listrik di darat dianggap lebih efektif menggunakan saluran udara dengan mempertimbangkan faktor teknis dan ekonomisnya. Tentu saja saluran udara ini akan menjadi sasaran sambaran petir langsung. Apalagi saluran udara yang melewati perbukitan sehingga memiliki jarak yang lebih dekat dengan awan dan mempunyai peluang yang lebih besar untuk disambar petir. Bila gangguan ini dibiarkan maka dapat merusak peralatan listrik. Oleh karena itu peralatan listrik itu harus dilindungi dari gangguan gangguan tegangan lebih dengan memasang peralatan pengaman tegangan lebih seperti:

- a. Kawat tanah (Overhead Groundwire)
- b. Lightning Arrester (LA)

2.4 Gangguan – Gangguan pada Sistem Tenaga Listrik

Sumber gangguan pada sistem tenaga listrik disebabkan oleh dua faktor yaitu dari dalam sistem dan dari luar sistem. Penyebab gangguan yang berasal dari dalam sistem antara lain:

- 1. Tegangan dan arus abnormal.
- 2. Pemasangan yang kurang baik.
- 3. Kesalahan mekanis karena proses penuaan
- 4. Beban lebih.
- 5. Kerusakan material seperti isolator pecah, kawat putus, atau kabel cacat isolasinya.

Sedangkan untuk gangguan yang berasal dari luar sistem antara lain:

- ain :
 1. Gangguan gangguan mekanis karena pekerjaan galian saluran
 - lain. Gangguan ini terjadi untuk sistem kelistrikan bawah tanah.
 - 2. Pengaruh cuaca seperti hujan, angin, serta surja petir. Pada gangguan surja petir dapat mengakibatkan gangguan tegangan lebih dan dapat menyebabkan gangguan hubung singkat karena tembus isolasi peralatan (breakdown).
 - 3. Pengaruh lingkungan seperti pohon, binatang dan benda benda asing serta akibat kecerobohan manusia.

Bila dilihat dari lamanya waktu gangguan, maka dapat dikelompokkan menjadi :

- 1. Gangguan yang bersifat temporer, yang dapat hilang dengan sendirinya atau dengan memutuskan sesaat bagian yang terganggu dari sumber tegangannya. Gangguan sementara jika tidak dapat hilang dengan segera, baik hilang dengan sendirinya maupun karena bekerjanya alat pengaman dapat berubah menjadi gangguan permanen.
- 2. Gangguan yang bersifat permanen, dimana untuk membebaskannya diperlukan tindakan perbaikan dan atau menyingkirkan penyebab gangguan tersebut.

Untuk gangguan yang bersifat sementara setelah arus gangguannya terputus misalnya karena terbukanya circuit breaker oleh rele pengamannya, peralatan atau saluran yang terganggu tersebut siap dioperasikan kembali. Sedangkan pada gangguan permanen terjadi kerusakan yang bersifat permanen sehingga baru bisa dioperasikan kembali setelah bagian yang rusak diperbaiki atau diganti. Pada saat terjadi gangguan akan mengalir arus yang sangat besar pada fasa yang terganggu menuju titik gangguan, dimana arus gangguan tersebut mempunyai harga yang jauh lebih besar dari rating arus maksimum yang diijinkan, sehingga terjadi kenaikan temperatur yang dapat mengakibatkan kerusakan pada peralatan listrik yang digunakan.

2.5 Sebab – Sebab Timbulnya Gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik [1][2]

Dalam sistem tenaga listrik tiga fasa, gangguan – gangguan arus lebih yang mungkin terjadi adalah sebagai berikut yaitu :

a. Gangguan beban lebih (over load)

Gangguan ini sebenarnya bukan gangguan murni, tetapi bila dibiarkan terus menerus berlangsung dapat merusak peralatan listrik yang dialiri arus tersebut. Pada saat gangguan ini terjadi arus yang mengalir melebihi dari kapasitas peralatan listrik dan pengaman yang terpasang.

b. Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat akan mengakibatkan arus lebih pada fasa yang terganggu dan menyebabkan kenaikan tegangan pada yang tidak terganggu. Gangguan hubung singkat dapat terjadi pada satu fasa ke tanah, dua fasa ke tanah, tiga fasa, atau tiga fasa ke tanah.

Gangguan hubung singkat ini dapat dibagi menjadi 2 kelompok yaitu hubung singkat simetri dan hubung singkat asimetri. Gangguan yang termasuk dalam hubung singkat asimetri adalah gangguan hubung singkat tiga fasa, sedangkan gangguan selain hubung singkat tiga fasa termasuk gangguan hubung singkat simetri [2].

Gangguan hubung singkat dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan yang berada dekat dengan gangguan yang disebabkan arusarus yang besar, arus tidak seimbang maupun tegangan-tegangan rendah. Gangguan hubung singkat juga berakibat pada kestabilan daya dan kontinuitas ke beban pada suatu sistem listrik. Pada Tabel 2.1 dibawah ini kita dapat melihat rangkain pengganti dan persamaan yang menerangkan tentang hubung singkat.

Tabel 2.1 Gambar Rangkaian dan Persamaan Gangguan Hubung Singkat

Gangguan Hubung Singkat	Rangkaian Hubung Singkat & Rangkaian Pengganti	Persamaan
1 phasa ke tanah	A F I ₀ V	$I_b = 0$ $I_c = 0$ $V_a = 0$ I_{sc} $= \frac{3V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$



Tabel 2.1 Gambar Rangkaian dan Persamaan Gangguan Hubung Singkat (lanjutan)

Gangguan Hubung <mark>Singk</mark> at	Rangkaian Hubung Singkat & Rangkaian Pengganti	Persamaan
2 phasa ke tanah	A F Va Va Vb Vc Vb Vc Va	$I_{a} = 0 V_{b} = 0 V_{c} = 0$ $= \frac{V_{f}}{Z_{1+}Z_{2}Z_{0}/(Z_{2} + Z_{0})}$
Antar phasa	F Ia V _a V _b V _b V _c V _a V _b V _c V _a V _b V _c	$I_{a} = 0$ $I_{b} = -I_{c}$ $V_{b} = V_{c}$ $I_{sc} = \left \pm j \frac{\sqrt{3}V_{f}}{Z_{1} + Z_{2}} \right $

Tabel 2.1 Gambar Rangkaian dan Persamaan Gangguan Hubung

Singkat (lanjutan)

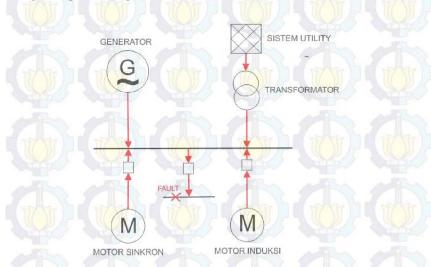
Gangguan Hubung Singkat	Rangkaian Hubung Singkat & Rangkaian Pengganti	Persamaan
3 phasa langsung (simetri)	A F V _a V _b V _b V _b V _c	$V_{a0} = 0$ $V_{a2} = 0$ $I_{a0} = 0$ $I_{a2} = 0$ $I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1}$ $I_{SC} = \frac{V_f}{Z_1}$

Hampir semua gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik adalah gangguan tidak simetri. Gangguan tidak simetri ini terjadi sebagai akibat gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, gangguan hubung singkat dua fasa, atau gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah.

Gangguan-gangguan tidak simetri akan menyebabkan mengalirnya arus tak seimbang dalam sistem sehingga untuk analisa gangguan digunakan metode komponen simetri. Untuk menentukan arus maupun tegangan disemua bagian sistem setelah terjadi gangguan. Adanya gangguan hubung singkat dapat mengakibatkan rusaknya peralatan listrik, berkurangnya stabilitas daya, dan terhentinya kontinuitas daya akibat membukanya circuit breaker.

2.6 Perhitungan Arus Hubung Singkat [3]

Arus yang cukup tinggi akan akan mengalir dari sumber ke titik gangguan pada saat terjadi hubung singkat. Sumber arus hubung singkat yaitu : sistem utility, generator, motor sinkron dan motor induksi. Besarnya arus yang mengalir ini dipengaruhi oleh nilai reaktansi sumber dan reaktansi pada rangkaian yang dilalui arus hubung singkat. Arah aliran arus ketika terjadi gangguan hubung singkat dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Arah Aliran Arus Gangguan

Reaktansi pada beberapa cycle pertama sangat kecil dan arus hubung singkatnya tinggi. Reaktansi pada saat ini disebut dengan reaktansi subtransient atau subtransient reactance (X''d). Beberapa cylce kemudian arus hubung singkat cenderung menurun dan reaktansi pada saat ini disebut dengan reaktansi transien atau transient reactance (X'd) dan akhirnya kondisinya mencapai steady state dan reaktansinya disebut dengan reaktansi sinkron atau sychronus reactance (Xd). Pada kondisi steady state sistem utility, generator dan motor sinkron masih memberikan arus kontribusi, sedangkan motor induksi sudah tidak memberikan arus kontribusi.

Perhitungan praktis untuk menghitung besar arus hubung singkat dalam sistem distribusi dapat dilakukan sebagai berikut :

2.6.1 Hubung Singkat 3 Fasa

Hubung singkat 3 fasa adalah hubung singkat yang melibatkan ketiga fasanya. Besarnya arus hubung singkat tiga fasa ($I_{sc\ 30}$) dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$I_{sc\ 3\emptyset} = \frac{V_{LN}}{X_1} \tag{2.1}$$

(2.2)

Dengan V_{LN} adalah tegangan nominal line to netral dan X_1 reaktansi urutan positif.

2.6.2 Hubung Singkat 2 Fasa

Hubung singkat 2 fasa yaitu hubung singkat yang terjadi antara dua fasa tanpa terhubung ke tanah. Besarnya arus hubung singkat 2 fasa (Isc_2) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$Isc_{2\phi} = \frac{V_{LL}}{X_1 + X_2} = \frac{\sqrt{3} \times V_{LN}}{2 \times X_1} = \frac{\sqrt{3}}{2} \times Isc_{3\phi}$$

$$\approx 0.866 \times Isc_{3\phi}$$

Dengan V_{LL} adalah tegangan nominal line to netral dan X_2 adalah reaktansi urutan negative.

2.6.3 Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah

Hubung singkat ini melibatkan impedansi urutan nol, dan besarnya arus hubung singkat ini tergantung sistem pentanahan yang digunakan. Besarnya arus hubung singkat 1fasa $(Isc_{1\phi})$ dihitung dengan persamaan berikut:

$$Isc_{1\emptyset} = \frac{3 \times V_{LN}}{X_1 + X_2 + X_0 + (3 \times Z_a)}$$
 (2.3)

Apabila sistem menggunakan pentanahan solid maka $Z_g=0$, sehingga persamaannya menjadi :

$$Isc_{1\emptyset} = \frac{3 \times V_{LN}}{3 \times X_1} \tag{2.4}$$

2.7 Syarat – Syarat Pengaman sistem Tenaga Listrik

Rele pengaman merupakan elemen yang penting dalam pengaman sistem tenaga listrik, oleh karena itu untuk menjaga keandalan dari pelayanan energy listrik maka rele pengaman perlu memenuhi syarat keandalan sebagai berikut [4]:

- a. Kecepatan Bereaksi
 - Kecepatan bereaksi rele adalah saat rele mulai merasakan adanya gangguan sampai dengan pelaksanaan pembukaan pemutus tenaga (circuit breaker). Waktu bereaksi diusahakan sesingkat mungkin sehingga kerusakan yang terjadi semakin kecil, serta dapat mengurangi meluasnya akibat dari adanya gangguan itu sendiri sehingga kestabilan sistem menjadi lebih baik
- b. Kepekaan (Sensitivity)

Pada prinsipnya rele harus cukup peka sehingga dapat mendeteksi gangguan di kawasan pengamanannya meskipun dalam kondisi yang membe rikan rangsangan yang minimum. Kepekaan rele diartikan sebagai kemampuan merespon bila kondisi kerja cenderung menyimpang dari kondisi kerja normal. Bila suatu kondisi kerja normal tiba-tiba mengalami gangguan, maka sistem pengaman harus cepat tanggap (peka). Sensitifitas dapat dituliskan dengan persamaan faktor sensitif Ks, yang merupakan perbandingan antara arus hubung singkat minimum dan arus pick up.

$$K_{\rm S} = \frac{I_{\rm S}c_{min}}{I_{pp}} \tag{2.5}$$

Dimana:

Isc_{min} : Arus hubung singkat minimum.

 I_{pp} : Arus pick-up (Arus kerja) primer dari

pengaman.

c. Selektif (Selectivity)

Selektif maksudnya adalah penentuan peralatan rele pengaman harus bekerja atau tidak. Pengaman harus dapat memisahkan bagian sistem yang terganggu sekecil mungkin yaitu hanya seksi yang terganggu saja yang menjadi kawasan pengamanan utamanya. Jadi rele harus dapat membedakan apakah gangguan terletak dikawasan pengamanan utamanya dimana ia harus

bekerja cepat atau terletak di seksi berikutnya dimana ia harus bekerja dengan waktu tunda atau harus tidak bekerja sama sekali karena gangguannya di luar daerah pengamanannya atau sama sekali tidak ada gangguan. Untuk mengkoordinasikan rele agar menjadi selektif adalah melakukan perhitungan hubung singkat dengan cermat dan memperhatikan karakteristik dari rele tersebut.

d. Keandalan (Reliability)

Keandalan rele dapat dihitung dari jumlah rele yang bekerja untuk mengamankan gangguan berbanding jumlah gangguan yang terjadi. Keandalan rele yang baik adalah 90-99%. Semakin tinggi keandalan maka sistem tersebut semakin baik dan dapat meminimalkan terjadinya kerusakan akibat gangguan. Untuk mendapatkan keandalan yang tinggi tentunya tidak lepas dari kualitas peralatan dan cara pemasangannya. Keandalan harus memenuhi beberapa faktor yaitu: dependable: peralatan harus trip ketika dibutuhkan, secure: tidak boleh trip saat tidak dibutuhkan dan availability: perbandingan antara waktu dimana rele pengaman dalam keadaan siap kerja dan waktu total operasinya.

e Ekonomis

Sistem pengaman peralatan juga harus mempertimbangkan sisi ekonomis dari pemasangan peralatan pengaman tersebut. Karena itu tidak semua peralatan harus dilengkapi dengan pengamanan yang lengkap karena harga peralatan pengaman juga harus diperhitungkan tanpa menghilangkan efektivitas penyaluran daya listrik. Sisi ekonomis perlu dipertimbangkan setelah aspek teknis telah terpenuhi untuk kelayakan operasi peralatan.

2.8 Rele Arus Lebih

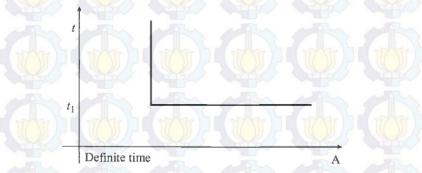
Untuk mengatasi gangguan arus lebih salah satunya kita dapat menggunakan Rele arus lebih (*Over Current Relay*). Rele arus lebih adalah rele yang bekerja ketika arus yang mengalir melebihi batas yang diizinkan. Rele arus lebih akan bekerja ketika keadaan sebagai berikut [3]:

$$I_f > I_p$$
 Rele bekerja (trip)

$I_f < I_p$ Rele tidak bekerja (blok)

2.8.1 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

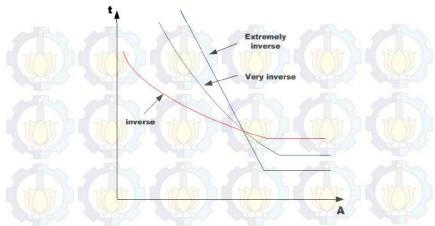
Setelan rele pengaman dengan menggunakan karakteristik waktu tertentu yang disetel pada rele pengaman hanya didasarkan pada waktu kerjanya rele pengaman dengan tidak melihat besarnya arus gangguan yang terjadi. Dengan kata lain, semua level arus yang melewati pickup set point-nya akan diputuskan dengan waktu yang sama.



Gambar 2.8 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

2.8.2 Rele Arus Lebih Waktu Invers

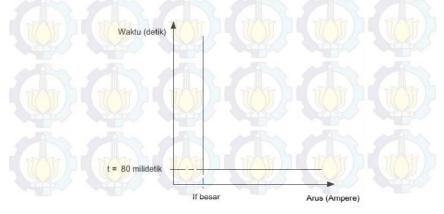
Rele dengan penyetelan waktu invers memiliki karakteristik dimana semakin besar arus gangguan maka rele akan beroperasi dalam waktu yang semakin cepat. Dan juga sebaliknya, ketika arus gangguan semakin kecil maka waktu yang digunakan untuk beroperasi akan semakin lama [4]. Karakteristik kerja rele arus lebih waktu invers di gambarkan dalam kurva arus-waktu atau yang biasa disebut time-current characteristic (TCC). Dalam standart IEEE std 242-2001 ada beberapa karakteristik kurva invers, yaitu long time inverse, very inverse, short time inverse dan extreme inverse. Untuk penggunaan kurva karakteristik juga dapat dikombinasikan dengan rele arus lebih waktu instan yang dijelaskan pada gambar berikut.



Gambar 2.9 Karakteristik Standard Inverse, very inverse dan extremely inverse

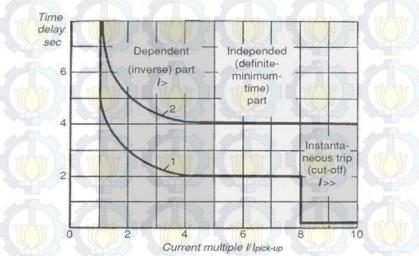
2.8.3 Rele Arus Lebih Waktu Instan

Prinsip kerja Rele jenis ini adalah tanpa penundaan waktu, tapi masih bekerja dengan waktu cepat. Pada setelan koordinasi pengaman di sistem distribusi tegangan menengah disebut dengan setelan instan. Bekerjanya Rele ini didasarkan besarnya arus gangguan hubung singkat yang dipilih dan membukanya CB dalam waktu cepat sekali (80 ms) [5].



Gambar 2.10 Karakteristik Rele Arus Lebih Instan

Gambar menunjukkan penggunaan IDMT yang dikombinasikan dengan Rele arus lebih waktu instan.



Gambar 2.11 Kombinasi IDMT dengan Rele Arus Lebih Waktu Instan

2.9 Penyetelan Rele Arus Lebih

Rele arus lebih pada dasarnya lebih memiliki fungsi sebagai pengaman gangguan hubung singkat, tetapi dalam beberapa hal rele arus lebih ini dapat berfungsi sebagai pengaman beban lebih (overload). Fungsi dari rele arus lebih ini selain sebagai pengaman utama untuk melindungi bagian yang diamankan juga berfungsi sebagai pengaman cadangan (back up) pada bagian berikutnya. Hal ini apabila arus lebih dipakai pada sistem dsitribusi tegangan menegah. Namun pada saluran transmisi tegangan tinggi rele arus lebih berfungsi sebagi back up, dimana rele jarak sebagai pengaman utama.

2.9.1 Penyetelan Rele Arus Lebih Waktu Inverse

Rele arus lebih waktu invers memiliki dua bagian penyetelan yaitu setelan *pickup* dan setelan time dial. Untuk setelan *pickup*, batas penyetelan Rele arus lebih adalah Rele tidak bekerja saat beban maksimum. Oleh karena itu *setting* arusnya harus lebih besar dari arus beban maksimum. Pada Rele arus lebih, besarnya arus *pickup* ini

ditentukan dengan pemilihan *tap*. Adapun untuk menentukan besarnya *tap* yang digunakan dapat menggunakan persamaan berikut :

$$Tap = \frac{I_{set}}{CT \ primary} \tag{2.6}$$

Iset adalah arus *pickup* dalam Ampere. Menurut standart British BS-142 batas penyetelannya adalah 1.05 IFLA < Iset < 1.3 IFLA. Dimana IFLA adalah adalah arus saat beban maksimum peralatan [6].

Setelan *time dial* menentukan waktu operasi Rele. Untuk menentukan *time dial* dari masing-masing kurva karakteristik invers Rele arus lebih dapat digunakan persamaan sebagai berikut [7]:

$$td = \frac{k \times T}{\beta \times \left[\left(\frac{l}{l set} \right)^{\alpha} - 1 \right]}$$
(2.7)

Dimana:

td = waktu operasi

T = time dial

I = nilai arus (Ampere)

Iset = Arus pickup (Ampere)

k = koefisien inverse 1 (lihat Tabel 2.2)

 \propto = koefisien inverse 2 (lihat Tabel 2.2)

 β = koefisien inverse 3 (lihat Tabel 2.2)

Tabel 2.2 Koefisien invers time dial

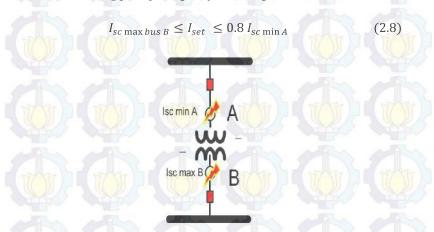
Time Vyywya	Koefisien		
Tipe Kurva	k //	α	β
Standard Inverse	0.14	0.02	2.970
Very Inverse	13.50	1.00	1.500
Extremely Inverse	80.00	2.00	0.808

2.9.2 Penyetelan Rele Arus Lebih Instan

Rele arus lebih instan,seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya rele ini akan bekerja seketika jika ada arus lebih yang mengalir melebihi batas yang ditentukan. Dalam menentukan setelan *pickup* instan ini digunakan Isc min yaitu arus hubung singkat 2 fasa pada pembangkitan minimum. Sehingga *setting* ditetapkan:

$$I_{set} \le 0.8 I_{sc min} \tag{2.8}$$

Adapun kondisi khusus yang perlu diperhatikan dalam mensetting rele arus lebih waktu instan ini. Salah satunya adalah kondisi khusus untuk pengaman *feeder* yang dipisahkan oleh trafo, koordinasi pengaman dibedakan menjadi dua daerah, yakni daerah *low voltage* (LV), dan daerah *high voltage* (HV) seperti pada Gambar 2.12. Untuk menentukan *setting pickup* dengan syarat sebagai berikut:



Gambar 2.12 Rele arus lebih pengaman Trafo

Dimana Isc max bus B merupakan arus hubung singkat tiga phasa maksimum pada titik B, sedangkan Isc min, A adalah arus hubung singkat minimum pada titik A.

2.10 Koordinasi Rele Arus Lebih dan Waktu

Koordinasi ini digunakan untuk menentukan *time delay* pada Rele pengaman. Antara Rele pengaman utama dan Rele pengaman backup tidak boleh bekerja secara bersamaan. Untuk itu diperlukan adanya *time delay* antara Rele utama dan Rele *backup*. Perbedaan waktu kerja minimal antara Rele utama dan Rele *backup* adalah 0.2-0.35 detik . Dengan spesifikasi sebagai berikut menurut standard IEEE 242 :

Waktu buka CB : 0.04 – 0.1s (2-5 *Cycle*)

Overtravel dari rele : 0.1 s

Faktor Keamanan : 0.12 - 0.22s

Untuk rele berbasis *microprosessor Overtravel time* dari Rele diabaikan. Sehingga waktu yang diperlukan adalah 0.2-0.4s [8]

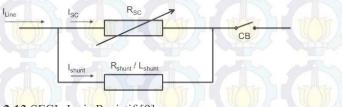
2.11 Superconducting Fault Current Limiter

Superconducting Fault Current Limiter (SFCL) adalah inovasi peralatan kelistrikan dimana mempunyai kemampuan untuk mengurangi level arus gangguan dalam waktu kurang dari satu cycle. Pengurangan arus gangguan pada satu cycle pertama oleh SFCL menghasilkan sebuah peningkatan stabilitas transien pada sistem jaringan dengan stabilitas yang lebih baik.

SFCL jenis *High Temperature Superconductors* (HTS) mempunyai karakteristik yang dominan terhadap perilaku pembatasan arus gangguan yaitu kerapatan arus pada medan listrik yang terdapat pada bahan SFCL sangat bergantung pada respon nonlinier superconductor tersebut yaitu suhu, arus dan variasi medan magnet seperti pada Gambar 2.14.

2.11.1 Superconduting Fault Current Limiter (SFCL) Jenis Resistif

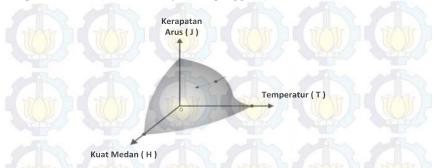
Sebuah SFCL yang ideal pada saat kondisi operasi normal mempunyai resistansi 0 Ω (Ohm), tetapi pada kondisi terjadinya gangguan arus hubung singkat yang besar mengakibatkan peningkatan temperature pada SFCL, dan terjadi perubahan kondisi dimana resistansi pada jaringan menjadi maksimum secara ekponensial, kemudian nilai resistansi maksimum membatasi arus gangguan secara cepat.



Gambar 2.13 SFCL Jenis Resistif [9]

SFCL adalah perangkat elektronik yang bekerja berdasarkan prinsip superconduktivitas. Kemampuan membatasi arus gangguan bergantung pada respon non linear pada SFCL untuk arus, temperature dan variasi medan magnet. Parameter tersebut yang seperti terlihat pada

Gambar 2.14, mengakibatkan transisi antara kondisi normal dan konsisi superconductor (kondisi adanya arus gangguan).

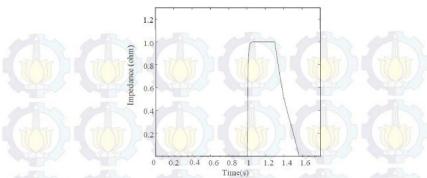


Gambar 2.14 Karakteristik Material SFCL Jenis Resistif [10]

Pada Gambar 2.13 dapat dilihat struktur SFCL resistif yang terdiri dari resistansi variabel R_{sc} dan R_{shunt} atau L_{shunt} yang terhubung parallel. R_{sc} adalah resistansi superkonduktor sedangkan R_{shunt} atau L_{shunt} merupakan resistansi penstabil saat terjadinya *recovery* pada resistansi superconduktor. Nilai dari R_{sc} berubah sesuai kenaikan arus dan temperaturnya sampai batas maksimum nilai resisistansinya dan pada kondisi normal nilai R_{sc} adalah nol [11]. Dan pada saat terjadi hubung singkat yang menyebabkan peningkatan arus sehingga nilai dari R_{sc} dan R_{shunt} akan berubah sesuai karakteristiknya.

Pada persamaan di bawah ini, SFCL jenis Resistif terdapat 4 kondisi, yaitu :

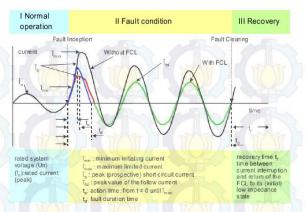
$$R_{SFCL}(t) = \begin{cases} 0, & (t < t0) \\ R_m \left[1 - \exp\left(-\frac{t - t0}{T_f} \right) \right]^{\frac{1}{2}}, & (t0 \le t < t1) \\ a_1(t - t1) + b_1, & (t1 \le t < t2) \\ a_2(t - t2) + b_2, & (t2 \le t) \end{cases}$$



Gambar 2.15 Grafik peningkatan Resistansi dan kondisi saat pemulihan (*Recovery*)

Dari Gambar 2.15 di atas diketahui bahawa saat terjadi arus gangguan (t=1s) impedansi akan meningkat menuju impedansi maksimum (R_m) . t_1 dan t_2 menunjukkan pertama dan kedua waktu pemulihan. Hal ini jelas terlihat bahwa pada pengoperasian normal kondisi impedansi SFCL adalah nol, pada nilai SFCL yang besarnya 1 Ohm. T_{SC} adalah waktu yang konstan (kondisi normal). t_0 menunjukkan waktu untuk mulai pendinginan. Pada waktu pendinginan SFCL dipengaruhi oleh nitrogen cair dan juga YBCO film yang merupakan material SFCL resistif.

Beberapa desain SFCL resistif terdapat komponen "fast switching" yang terhubung secara seri dengan elemen superkonduktor tanpa melalui alat kontrol. Switch ini cepat mengisolasi superkonduktor setelah sebagian besar arus telah dialihkan ke impedansi parallel (R_{shunt} atau L_{shunt}) yang memungkinkan elemen superkonduktor untuk memulai siklus pemulihan saat tindakan membatasi ditopang oleh impedansi parallel. Fast Switching bertindak mengurangi suhu puncak dalam bahan superkonduktor dan memungkinkan untuk waktu pemulihan lebih cepat daripada SFCL resistif murni. Jenis SCFL ini terkadang disebut sebagai SFCL hybrid.



Gambar 2.16 Bentuk gelombang arus gangguan dengan dan tanpa SFCL [9]

2.11.2 Pereduksian Arus Hubung Singkat Dengan SFCL

Dengan karakteristik yang dimiliki SFCL membuat nilai arus hubung singkat pada saat gangguan menjadi lebih kecil, hal tersebut diakibatkan oleh nilai resistansi pada SFCL yang meningkat saat adanya gangguan.

Untuk menghitung arus hubung singkat dengan pemasangan SFCL adalah sebagai berikut:

a) Hubung singkat 3 Fasa
Hubung singkat 3 fasa adalah hubung singkat yang melibatkan
ketiga fasanya. Besarnya arus hubung singkat tiga fasa (I_{sc} 30)
dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$Isc_{3\emptyset} = \frac{V_{LN}}{X_1 + Z_{SFCL}} \tag{2.9}$$

Dimana Impedansi yang digunakan adalah impedansi urutan positif, dengan penambahan Z_{SFCL} sebagai impedansi SFCL dan V_{LN} adalah tegangan nominal line to netral dan X_1 reaktansi urutan positif.

b) Hubung Singkat 2 Fasa Hubung singkat 2 fasa yaitu hubung singkat yang terjadi antara dua fasa tanpa terhubung ke tanah. Besarnya arus hubung singkat 2 fasa (Isc_2) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$Isc_{2\phi} = \frac{V_{LL}}{X_1 + X_2} = \frac{\sqrt{3} \times V_{LN}}{2 \times X_1 + Z_{SFCL}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \times Isc_{3\phi}$$

$$\approx 0.866 \times Isc_{3\phi}$$
(2.10)

Dengan V_{LL} adalah tegangan nominal line to netral dan X_2 adalah reaktansi urutan negative dan Z_{SFCL} merupakan Impedansi SFCL.

c) Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah Hubung singkat ini melibatkan impedansi urutan nol, dan besarnya arus hubung singkat ini tergantung sistem pentanahan yang digunakan. Besarnya arus hubung singkat 1 fasa $(Isc_{1\phi})$ dihitung dengan persamaan berikut :

$$Isc_{10} = \frac{3 \times V_{LN}}{X_1 + X_2 + X_0 + (3 \times Z_g) + Z_{SFCL}}$$
(2.11)

Apabila sistem menggunakan pentanahan solid maka $Z_g = 0$, sehingga persamaannya menjadi :

$$Isc_{1\emptyset} = \frac{3 \times V_{LN}}{3 \times X_1 + Z_{CPCI}} \tag{2.12}$$

2.11.3 Manfaat Pemasangan SFCL

- a. Menghemat biaya
 - Apabila kapasitas Breaking Capacity tidak cukup untuk menahan arus hubung singkat tidak perlu mengganti Switchgear atau peralatan lain yang dalam kondisi kritikal, sehingga dapat menghemat biaya.
- Memproteksi peralatan dibawah rating arus hubung singkat.
 Melindungi peralatan dan memperpanjang umur peralatan.
- Memproteksi sistem
 Melindungi sistem dari arus berlebih.
- d. Mereduksi percikan api Mereduksi percikan akibat arus hubung singkat yang besar.
- e. Memproteksi peralatan

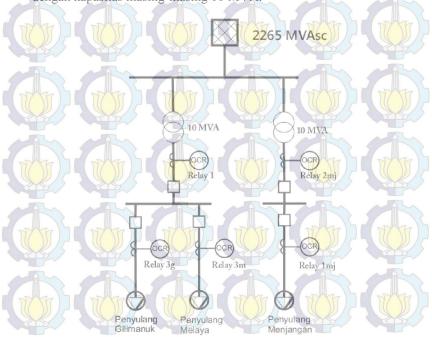
Mampu melindungi peralatan saat circuit breaker tidak mampu melindungi, yakni waktu pemutusan kurang dari ¼ cycle sehingga arus gangguan tidak pernah mencapai harga puncaknya.

BAB III

PENERAPAN SUPERCONDUCTING FAULT CURRENT LIMITER PADA SISTEM JARINGAN DISTRIBUSI APJ GILMANUK

3.1 Sitem Distribusi APJ Gilimanuk

Sistem kelistrikan di APJ Gilimanuk menggunakan sistem transmisi 150 kV dan 20 kV serta menggunakan sistem distribusi dengan level tegangan 0,4 kV dan 0,38 kV. Sistem transmisi ini terdiri dari 3 penyulang yaitu Penyulang Gilimanuk, Penyulang Melaya dan Penyulang Menjangan yang disuplay dari 1 sumber. Gardu Induk APJ Gilimanuk merupakan salah satu Gardu Induk penyuplai listrik di Area Jaringan Bali Utara. Sistem ke listrikan di Gardu Induk APJ Gilimanuk ini terdiri dari 2 buah Transformator utama step down 150/20 kV dengan kapasitas masing-masing 10 MVA.



Gambar 3.1. Single Line Diagram PT.PLN (Persero) APJ Gilimanuk

Dari Transformator utama tersebut, sistem terbagi lagi menjadi beberapa sistem radial dengan kapasitas transformator daya yang lebih kecil dengan tipe step down 20/0,4kV dan 20/0,38kV untuk menyuplai beban-beban pelanggan. 2 Trafo Gardu Induk APJ Gilimanuk menyuplai 3 penyulang yang nantinya penyulang tersebut menyuplai listrik ke beban-beban pelanggan. Berikut data Transformator seperti terlihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 3.1 Data Transformator Daya Gardu Induk APJ Gilimanuk

Nama Trafo	Primer (kV)	Sekunder (kV)	Rating (kVA)
Trafo Gilimanuk 1	150	20	10,000
Trafo Gilimanuk 2	150	20	10.000

3.1.1 Rating Tegangan

Pada sistem kelistrikan PT PLN APJ Gilimanuk terdapat 4 rating tegangan yang digunakan, yaitu :

- 1. Tegangan 150 kV

 Tegangan 150kV berada pada daerah Sumber PLN. Tegangan ini yang masuk pada Trafo di Gardu Induk Gilimanuk.
- 2. Tegangan 20 kV
 Tegangan ini berada di area jaringan distribusi PT. PLN
- 3. Tegangan 400 V

 Tegangan ini berada pada daerah beban beban pelanggan.
- 4. Tegangan 380 V

 Tegangan ini berada pada daerah beban beban pelanggan.

3.2 Penyulang Gilimanuk

Pada penyulang Gilimanuk memiliki system distribusi berbentuk radial. Penyulang Gilimanuk didukung oleh beberapa trafo daya step down dari tegangan 20 kV ke tegangan 0,4 kV dan 0,38 kV yang nantinya output dari transformator tersebut langsung mendistribusikan listrik ke seluruh beban. Transformator tersebut adalah sebagai berikut.

Tabel 3.2 Gardu Induk Penyulang Gilimanuk

Nama Trafo	Primer (kV)	Sekunder (kV)	Rating (kV)	
Trafo ML014 20		0,4	160	
Trafo ML076	20	0,4	100	
Trafo ML087	20	0,4	160	
Trafo ML78	20	0,4	100	
Trafo ML006	20	0,4	200	
Trafo ML069 20		0,38	100	
Tar <mark>fo ML</mark> 27	20	0,4	160	
Trafo ML19	Trafo ML19 20		160	
Trafo ML19 20		0,4	250	
Trafo ML005 20		0,38	100	
Trafo ML051	20	0,38	160	
Trafo ML058 20		0,4	25	
Trafo ML004 20		0,38	100	
Trafo ML052	20	0,38	345	

3.3 Penyulang Melaya

Pada Penyulang Melaya memiliki sistem distribusi berbentuk radial. Penyulang Melaya menggunakan beberapa trafo daya *step down* dari tegangan 20 kV ke tegangan 0,4 kV yang nantinya *output* dari transformator ini langsung mendistribusikan listrik ke seluruh beban. Transformator tersebut adalah sebagai berikut:

Tabel 3.3 Gardu Induk Penyulang Melaya

Nama Trafo	Nama Trafo Primer (kV)		Rating (kV)	
Trafo ML029	20	0,4	100	

Tabel 3.3 Gardu Induk Penyulang Melaya (lanjutan)

Nama Trafo	Primer (kV)	Sekunder (kV)	Rating (kV)
Trafo ML88	20	0,4	100
Trafo ML096	20	0,4	100
Trafo ML032	20	0,4	160
Trafo ML067	20	0,4	100
Trafo ML044	20	0,4	100
Trafo ML075	20	0,4	100
Trafo ML071	20	0,4	100
Trafo ML033	20	0,4	100
Trafo ML001	20	0,4	200
Trafo ML064	20	0,4	100
Trafo ML066	20	0,4	100
Trafo ML023	20	0,4	100
Trafo ML025	20	0,4	100
Trafo ML043	20	0,4	50
Trafo ML063	20	0,4	160
Trafo ML035	20	0,4	100
Trafo ML081	207	0,4	100
Trafo ML026	20	0,4	100
Trafo ML024	20	0,4	100
Trafo ML008	20	0,4	100
Trafo ML095	20	0,4	100
Trafo ML042	20	0,4	160
Trafo ML002	20	0,4	160
Trafo ML003	20	0,4	50
Trafo ML009	o ML009 20		160
Trafo ML082	20	0,4	160

Tabel 3.3 Gardu Induk Penyulang Melaya (lanjutan)

Nama Trafo	Primer	Sekunder	Rating
	(kV)	(kV)	(kV)
Trafo ML007	20	0,4	160
Trafo ML012	20	0,4	200
Trafo ML083	20	0,4	160
Trafo ML092	20	0,4	100
Trafo ML011	20	0,4	100
Trafo ML053	20	0,4	630
Trafo ML013	20	0,4	100
Trafo ML068	20	0,4	100
Trafo ML054	20	0,4	100
Trafo ML016	20	0,4	100
Trafo ML094	20	0,4	100
Trafo ML034	20	0,4	50
Trafo ML089	20	0,4	100
Trafo ML091	20	0,4	50
Trafo ML084	20	0,4	160
Trafo ML097	20	0,4	160
Trafo ML049	20	0,4	100
Trafo ML048	20	0,4	50
Trafo ML015	20	0,4	100
Trafo ML086	20	0,4	160
Trafo ML101	20	0,4	100
Trafo ML056	20	0,4	100
Trafo ML077	20	0,4	900
Trafo ML093	20	0,4	
Trafo ML037	20	0,4	160
Trafo ML028	20	0,4	250

Tabel 3.3 Gardu Induk Penyulang Melaya (lanjutan)

Nama Trafo	Primer (kV)	Sekunder (kV)	Rating (kV)
Trafo ML021	20	0,4	100
Trafo ML036	20	0,4	100
Trafo ML103	20	0,4	345
Trafo ML062	20	0,4	50
Trafo ML055	20	0,4	50
Trafo ML061	20	0,4	50
Trafo ML045	20	0,4	100
Trafo ML073	20	0,4	50
Trafo ML098	20	0,4	100
Trafo ML065	20	0,4	50
Trafo ML039	20	0,4	100
Trafo ML041	20	0,4	100

3.4 Penyulang Menjangan

Pada Penyulang Melaya memiliki system distribusi berbentuk radial. Penyulang Melaya menggunakan beberapa trafo daya step down dari tegangan 20 kV ke tegangan 0,4 kV yang nantinya output dari transformator ini langsung mendistribusikan listrik keseluruh beban. Transformator tersebut adalah sebagai berikut:

Tabel 3.4 Gardu Induk Penyulang Menjangan

Nama Trafo	Primer (kV)	Sekunder (kV)	Rating (kV)	
Trafo GR088	20	0,4	100	
Trafo GR079	20	0,4	160	
Trafo GR081	20	0,4	100	
Trafo GR082	20	0,4	50	

Tabel 3.4 Gardu Induk Penyulang Menjangan (lanjutan)

Nama Trafo	Primer	Sekunder	Rating
Nama Traio	(kV)	(kV)	(kV)
Trafo GR86	20	0,4	200
Trafo GR083	20	0,4	160
Trafo GR128	20	0,4	100
Trafo GR144	20	0,4	100
Trafo GR094	20	0,4	100
Trafo GR034	20	0,4	100
Trafo GR129	20	0,4	100
Trafo GR161	20	0,4	50
Trafo GR024	20	0,4	100
Trafo GR155	20	0,4	100
Trafo GR036	20	0,4	100
Trafo GR064	20	0,4	200
Trafo GR152	20	0,4	100
Trafo GR118	20	0,4	100
Trafo GR036	20	0,4	100
Trafo GR064	20	0,4	200
Trafo GR152	20	0,4	100
Trafo GR089	20	0,4	50
Trafo GR122	20	0,4	100
Trafo GR138	20	0,4	100
Trafo GR145	20	0,4	160
Trafo GR021	20	0,4	100
Trafo GR035	20	0,4	160
Trafo GR114	20	0,4	160
Trafo GR047	20	0,4	100
Trafo GR092	20	0,4	160

Tabel 3.4 Gardu Induk Penyulang Menjangan (lanjutan)

Nama Trafo	Primer (kV)	Sekunder (kV)	Rating (kV)
Trafo GR038	20	0,4	100
Trafo GR022	20	0,4	50
Trafo GR097	20	0,4	100
Trafo GR046	20	0,4	160
Trafo GR153	20	0,4	50
Trafo GR099	20	0,4	100
Trafo GR143	20	0,4	50
Trafo GR059	20	0,4	160
Trafo GR052	20	0,4	160
Trafo GR116	20	0,4	100
Trafo GR105	20	0,4	100
Trafo GR104	20	0,4	160
Trafo GR141	20	0,4	100
Trafo GR093	20	0,4	160
Trafo GR121	20	0,4	100
Trafo GR122	20	0,4	100
Trafo GR051	20	0,4	400
Trafo GR026	20	0,4	160
Trafo GR058	20	0,4	100
Trafo GR019	20	0,4	100
Trafo GR056	20	0,4	160
Trafo GR151	Trafo GR151 20		100
Trafo GR108	Trafo GR108 20		100
Trafo GR018	fo GR018 20		250
Trafo GR117	20	0,4	100
Trafo GR103	20	0,4	100

Tabel 3.4 Gardu Induk Penyulang Menjangan (lanjutan)

Nama Trafo	Primer (kV)	Sekunder (kV)	Rating (kV)
Trafo GR135	20	0,4	160
Trafo GR054	20	0,4	250
Trafo GR113	20	0,4	160
Trafo GR023	20	0,4	250
Trafo GR087	20	0,4	200
Trafo GR091	20	0,4	160
Trafo GR084	20	0,4	100
Trafo GR043	20	0,4	250
Trafo GR072	20	0,4	160
Trafo GR74	20	0,4	200
Trafo GR142	20	0,4	100
Trafo GR016	20	0,4	100
Trafo GR115	20	0,4	50

3.5 Sistem Pengaman Existing

Peralatan pengaman dari PT. PLN (Persero) APJ Gilimanuk menggunakan beberapa jenis pengaman antara lain pengaman rele arus lebih, recloser dan fuse cut out. Untuk peralatan pengaman arus lebih PT. PLN (Persero) APJ Gilimanuk menggunakan tipe rele *definite overcurrent* dan rele *time over current* yang bekerja berdasarkan setting arus dan waktu tunda.

Peralatan pengaman terletak di 3 penyulang yang berbeda yakni Penyulang Gilimanuk, Melaya dan Menjangan. Pada Tabel 3.5, Tabel 3.6, Tabel 3.7, Tabel 3.8 dan Tabel 3.9 dapat dilihat setting kordinasi eksisting dari rele arus lebih pada PT. PLN (Persero) APJ Gilimanuk.

Tabel 3.5 Existing Rele Penyulang Gilimanuk

A			ALA .	A	Exsisting		
Rele	Type	Rasio	Curve	[> (A)	t > (s)	I >> (A)	t >> (s)
Relay 2	Areva P129	1000/5	IEC SI	0,04	0,5	1	0,3
Relay 1	Areva P129	1000/5	IEC SI	0,288	0,5	1	0,3
Relay 3g	Areva P129	1000/5	IEC SI	0.29	1,5	1	-0,1

Tabel 3.6 Existing rele Penyulang Melaya

		CT	M)		Existing	W	775
Rele	Type	Rasio	Curve	[> (A)	(s)	I>> (A)	(s)
Relay 2	Areva P129	1000/5	IEC SI	0,04	0,5	1	0,3
Relay 1	Areva P129	1000/5	IEC SI	0,288	0,5	1	0,3
Relay 3m	Areva P129	1000/5	IEC SI	0.29	0,35	8	0,3

Tabel 3.7 Existing Recloser Penyulang Melaya

		CT Existing				
Recloser	Type	Ratio	Curve	trip	Trip Highset	t
Rec 1	Cooper F6	500/1	IEC I	200	400= <mark>2x200</mark>	0,15

Tabel 3.8 Existing rele Penyulang Menjangan

777	(TY TY	CT	Existing				
Rele	Type	Rasio	Curve	[> (A)	t > (s)	I >> (A)	t >> (s)
Relay 3	Areva P129	1000/5	IEC SI	0,1	0,22	40	0,3
Relay 2	Areva P129	1000/5	IEC SI	0,29	0,12	(8)	-0,5
Relay 1	Areva P129	1000/5	IEC SI	0,29	0,07	40	0,1

Tabel 3.9 Existing Recloser Penyulang Menjangan

N 49	5	A	Existing			
Recloser	Type	CT Ratio	Curve	trip	Trip Highset	t
Rec Trimbawan	Cooper F6	500/1	IEC I	200	400=2x200	0,15
Rec Matahari	Cooper F7	500/2	IEC I	200	400=2x201	0,15

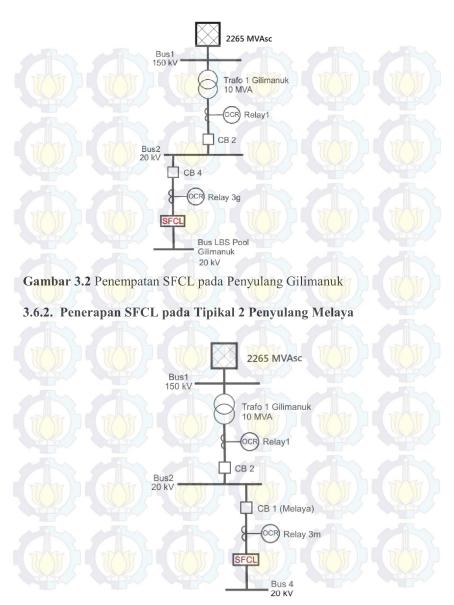
3.6 Penerapan SFCL pada Jaringan Distribusi

Arus hubung singkat yang sangat besar tidak hanya berbahaya bagi lingkungan pada saat terjadi gangguan akan tetapi dapat mengurangi umur peralatan bahkan dapat merusak peralatan apabila arus gangguan tidak cepat diamankan melalui suatu sistem pengaman. Semakin besar potensi arus hubung singkat maka dibutuhkan suatu peralatan pengaman dengan daya tahan arus gangguan (breaking capacity) yang besar pula. Dengan alasan keselamatan dan keamanan pada setiap peralatan maka dipasang suatu pembatas arus atau Superconducting Fault Current Limite (SFCL) .SFCL merupakan suatu peralatan yang mampu mengurangi arus hubung singkat sesuai dengan prinsip kerja konduktivitasnya. Pada SFCL memiliki suatu besaran impedansi yang akan bekerja pada saat terjadi gangguan, besar impedansinya disesuaikan dengan besar arus hubung singkat yang akan dikurangi, akan tetapi pada kondisi normal (tanpa terjadi gangguan) impedansi tersebut bernilai nol, sehingga tidak membani jaringan.

Karakteristik setiap SFCL tentunya bisa saja bebeda tergantung dari bahan atau material serta kapasitas tahanan yang terdapat pada SFCL yang akan berpengaruh terhadap besarnya arus hubung singkat yang akan direduksi.

3.6.1 Penerapan SFCL pada Penyulang Gilimanuk

Penerapan SFCL pada jaringan distribusi penyulang Gilimanuk yaitu lokasinya terhubung dengan bus 2, seperti yang terlihat pada Gambar 3.2. SFCL yang dipasang adalah SFCL Tipe Resistif. Dimana pada tipe Resistif saat sistem bekerja normal resistansinya bernilai Nol dan saat terjadi gangguan resistansinya maksimum.

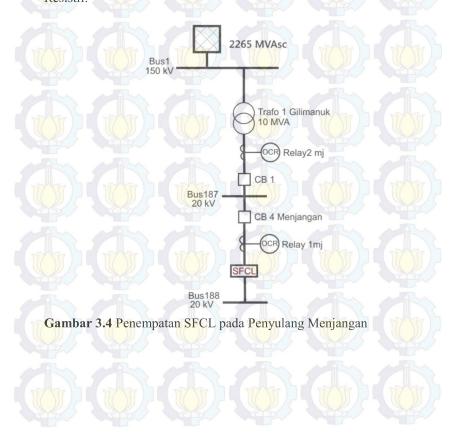


Gambar 3.3 Penempatan SFCL pada Penyulang Melaya

Penerapan SFCL pada jaringan distribusi penyulang Gilimanuk yaitu lokasinya terhubung diatara bus2 dengan bus4, seperti yang terlihat pada Gambar 3.3. SFCL yang dipasang adalah SFCL Tipe Resistif.

3.6.3 Penerapan SFCL pada Tipikal 2 Penyulang Menjangan

Penerapan SFCL pada jaringan distribusi penyulang Gilimanuk yaitu lokasinya terhubung diatara bus 187 dengan bus 188, seperti yang terlihat pada Gambar 3.4. SFCL yang dipasang adalah SFCL Tipe Resistif.





BAB IV

ANALISA PENGARUH PENERAPAN SFCL PADA JARINGAN DISTRIBUSI 20 kV PT. PLN (PERSERO) APJ GILIMANUK

Besar arus hubung singkat yang dikurangi atau direduksi oleh SFCL tentunya akan berpengaruh terhadap setting relay proteksi yang sudah terpasang (existing). Pengurangan arus hubung singkat (SFCL) memiliki beberapa manfaat diantaranya yaitu agar potensi besarnya energi busur api (arc flash energy) dapat berkurang dan dengan hal tersebut membuat lingkungan kerja menjadi lebih aman, baik aman untuk orang disekitar dan mampu mengamankan serta membuat umur peralatan menjadi lebih panjang. Superconducting Fault Current Limiter beroprasi membatasi atau mengurangi arus hubung singkat pada 1/2 Cycle pertama saat terjadinya gangguan. Setelah melakukan pemodelan SFCL pada jaringan, kemudian dilakukan analisa arus hubung singkat kemudian evaluasi setting relay existing kemudian setelah itu dianalisa pengaruh penerapan SFCL tersebut pada setting peralatan pengaman yang telah ada (existing) atau yang telah mengalami resetting dari hasil evaluasi.

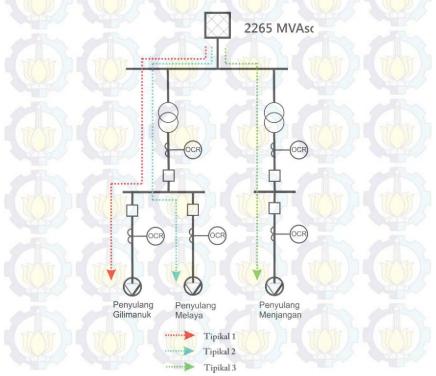
4.1 Pemil<mark>ihan Tipikal *Setting* Koordi</mark>nasi Sistem Proteksi pada PT. PLN (Persero) APJ Gilimanuk

Dari seluruh sistem kelistrikan PT. PLN (Persero) APJ Gilimanuk yang telah dijelaskan pada BAB III, diambil beberapa tipikal sebagai perwakilan dari analisis koordinasi sistem pengaman di PT. PLN (Persero) APJ Gilimanuk, karena tipikal-tipikal ini dianggap mewakili secara keseluruhan sistem koordinasi sistem pengaman yang terpasang. Tipikal yang diambil terdiri dari 3 tipikal yaitu tipikal Penyulang Gilimanuk, Tipikal Penyulang Melaya dan Tipikal Penyulang Menjangan. Tipikal-tipikal tersebut dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Tipikal Gilimanuk adalah tipikal yang paling pendek dari tiga tipikal yang dibahas pada Tugas Akhir ini. Tipikal ini memiliki beberapa level tegangan, yaitu: 20 kV dan 0,4 kV. Pada tipikal ini terdapat 3 buah fuse dan 3 buah rele pengaman, yaitu: fuse 46, fuse 47, fuse 48, rele 3g dan rele 2. Tipikal ini untuk selanjutnya akan disebut **Tipikal 1.**

- 2. Tipikal Melaya adalah **Tipikal 2**. Tipikal ini memiliki beberapa level tegangan, yaitu 20 kV dan 0,4 kV. Pada tipikal ini terdapat 2 buah fuse, 1 recloser dan 1 rele pengaman, yaitu: fuse 1 dan fuse 31, recloser 1, rele 3m dan rele 2m.
- 3. Tipikal Menjangan adalah tipikal yang paling panjang dari semua tipikal pada Tugas Akhir ini. Tipikal ini memiliki beberapa level tegangan, yaitu 20 kV dan 0,4 kV. Pada tipikal ini terdapat 1buah fuse, 2 buah recloser dan 2 buah rele arus lebih, yaitu : fuse 2, recloser matahari dan recloser trimbawan, dan satu buah rele 1 mj dan rele 2mj. Tipikal ini untuk selanjutnya disebut sebagai Tipikal 3.

Tipikal - tipikal di atas mulai dari Tipikal Gilimanuk, Tipikal Melaya, Tipikal Menjangan dapat dilihat pada **Gambar 4.1**.



Gambar 4.1. Rangkaian Tipikal 1, 2, dan 3

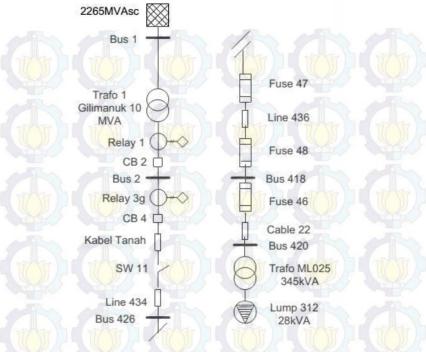
Tabel 4.1 di bawah ini merupakan data arus hubung singkat pada masing-masing tipikal yang nantinya arus hubung singkat tersebut akan digunakan sebagai acuan penentuan setting koordinasi antar peralatan pengaman.

Tabel 4.1 Data Arus Hubung Singkat pada Masing-masing Bus

ID Bus	Tegangan Bus (kV)	Isc Min 30 30 Cycle (kA)	Isc Max 4 cycle (kA)
Bus LBS poll 1g	20	2,957	3,415
Bus 2g	20	2,964	3,422
Bus 398m	20	0,869	1,003
Bus 3m	20	0,605	0,699
bus 4m	20	2,393	2,764
Bus 2m	20	2,396	2,767
Bus 354mj	20	0,837	0,967
Bus 308mj	20	1,190	1,374
Bus 304mj	20	1,290	1,490
Bus 197mj	20	1,929	2,227
Bus188mj	20	2,892	3,340
Bus 187mj	20	2,962	3,420

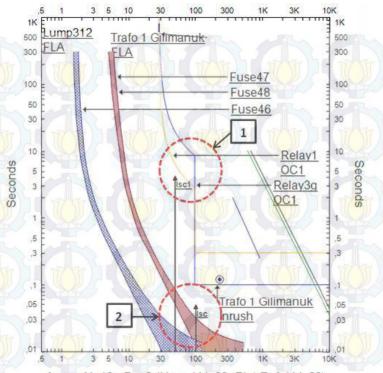
4.1.1 Setting Koordinasi Rele Tipikal 1 Gilimanuk

Pada tipikal 1 ini terdapat 2 rele arus lebih dan 3 fuse yang harus dilihat setting koordinasi eksistingnya, dan dianalisa apakah terjadi kesalahan koordinasi pada rele - rele arus lebih yang berada pada tipikal 1. Seperti yang kita lihat pada Gambar 4.2, fuse pertama pada tipikal ini adalah fuse 46 sebagai pelindung trafo ML0 52, lalu fuse 48 yang terhubung dengan bus 418 dan fuse 47 sebagai backup dari fuse 48. Relay 3g sebagai pengaman bus LBS poll 1 gilimanuk dan relay 1 sebagai pengaman dari trafo.



Gambar 4.2. Rangkaian Tipikal 1 Gilimanuk

Dari kurva koordinasi pada Gambar 4.3 terlihat bahwa untuk setting waktu delay pada relay 3g dan relay 2 sudah benar yaitu dengan selisih waktu 0,2 s, akan tetapi pada setting low set seperti yang terlihat pada lingkaran merah dengan tanda nomor 1, terlihat bahwa adanya kesalahan koordinasi pada relay 3g dan relay 2, apabila terjadi over current (I>) maka relay 1 akan beroprasi terlebih dahulu, yang mana relay 1 tersebut merupakan pengaman trafo, hal ini harus dihindari karena apabila terjadi gagal operasi pada relay 1 maka trafo akan menglami kerusakan, sehingga nantinya akan dievaluasi dan mengkoordinasikan relay - relay tersebut agar bekerja sesuai dengan daerah pengamanannya.



Amps X 10 Bus2 (Nom. kV=20, Plot Ref. kV=20)

Gambar 4.3. Time current curve existing tipikal 1

Pada lingkaran merah dengan tanda nomor 2 apabila terjadi arus hubung singkat pada daerah tersebut fuse 46, 47 dan 48 akan bekerja bersamaan, sehingga hal ini dapat menggangu kontinuitas penyaluran energi listrik menuju pelanggan. Hal ini dapat dihindari dengan penggunaan SFCL yang akan dibahas pada sub bab berikutnya.

Dari kesalahan setting relay tadi maka diperlukan pengaturan ulang (resetting) untuk mencapai koordinasi antar peralatan pengaman yang handal. Perhitungan ulang pengaturan existing relay adalah sebagai berikut:

Relay 3g

Manufaktur

Model

Kurva

Rasio CT

Isc Min 30 Cycle bus LBS pool = 2957 A

1 Gilimanuk

Isc Max 4 Cycle bus LBS pool

1Gilimanuk

FLA

: Areva

: P125

: Standard Inverse Time

: 400/5

= 3415 A

$$=\frac{kVA}{\sqrt{3}kV}=\frac{10000}{\sqrt{3}20}=288.67 A$$

0,8 × Isc Min 30 Cycle bus LBS poll 1

400

Time Overcurrent Pickup

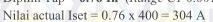
$$\frac{1,05 \times FLA}{400}$$
 In < | Set <

$$\frac{1,05 \times 288,67}{400} In < Iset < \frac{0,8 \times 2957}{400} In < Tap < \frac{404,138}{400} In$$

$$\frac{303,10}{400}In$$
 < Tap-

$$400$$
 400 $0.75 In < Tap < 5,914 In$

$$0.75 \text{ In}$$
 < Tap< 5,914 In
Dipilih Tap = **0.76 In** (Range CT 0.001 – 1 dengan step 0.005)



Time Dial

Waktu Operasi = $t_{ds} = 0.1 \text{ s}$

T = Time Dial

$$\frac{I}{Is} = \frac{\text{Isc Max 4 cycle Bus LBS Pool 1}}{\text{Iset}} = \frac{3415}{304} = 11,23$$

$$t_{ds} = \frac{0.14 \times T}{\left[\left(\frac{I}{IS}\right)^{0.02} - 1\right]}$$

$$0.1 = \frac{0.14 \times T}{[(11.23)^{0.02} - 1]}$$

$$T = \frac{0.1 \times [(11,23)^{0.02} - 1]}{0,14}$$

T = 0.03

$T \ge 0.03$ Dipilih T = 0.05 (Range T 0.001 sampai 1 dengan step 0.025)

Instantaneous Pickup

$$\begin{array}{c|c}$$

Dipilih **Tap = 3 In** (*Pickup range CT 0.01 - 8 dengan step 0.005*) Nilai Aktual Iset = 1200 A

Time Delay

Pengaturan waktu (t>>) = 0.1 s

* Relay 1

Manufaktur : Areva Model : P125

Kurva : Standard Inverse Time

Rasio CT : 400/5
Isc Min 30 Cycle bus 2g = 2964 A

Isc Max 4 Cycle bus 2g = 3422 A

FLA $= \frac{kVA}{\sqrt{3} kV} = \frac{10000}{\sqrt{3} 20} = 288.67 A$

Time Overcurrent Pickup

$$\frac{1,05 \times FLA}{400} In < \text{lset} < \frac{0,8 \text{ Isc Min } 30 \text{ Cycle bus 2}}{400} In
\frac{1,05 \times 288,67}{400} In < \text{lset} < \frac{0,8 \times 2964}{400} In
\frac{303,10}{400} In < \text{Tap} < \frac{2371,2}{400} In
0.75 \text{ In } < \text{Tap} < 5,92 \text{ In}$$

Dipilih Tap = 0.76 In (Range CT 0.1 - 25In dengan step 0.01) Nilai actual Iset = $0.76 \times 400 = 304$ A

Time Dial

Waktu Operasi = t_{ds} = 0.3 s

T = Time Dial

$$\frac{l}{ls} = \frac{\text{Isc Max 4 Cycle bus 2g}}{\text{Iset}} = \frac{3422}{304} = 11,25$$

$$t_{ds} = \frac{0.14 \times T}{\left[\left(\frac{I}{Is} \right)^{0.02} - 1 \right]}$$

$$0.3 = \frac{0.14 \times T}{[(11,25)^{0.02} - 1]}$$

$$T = \frac{0.3 \times [(11,25)^{0.02} - 1]}{0.14}$$

T = 0.10

 $T \ge 0.10$ Dipilih T = 0.15 (Range T 0.025 sampai 1,5 dengan step 0.025)

Instantaneous Pickup

$$< I_{\gg} <$$
 $0.8 \times Isc Min 30 Cycle bus $2g$ In $CTprimer$ 0.8×2964 $A00$ In $CTap < $CTprimer$ $CTprimer$ $CTprimer$ $CTap < $CTap < CTap < CTap < CTap < $CTap < CTap < CTap < CTap < CTap < $CTap < CTap < CTap < CTap < CTap < $CTap < CTap < CTap < CTap < CTap < $CTap < CTap < CTap < CTap < CTap < CTap < $CTap < CTap < CTap < CTap < CTap < CTap < $CTap < CTap < CTap < CTap < CTap < CTap < $CTap < CTap < CTap < CTap < CTap < CTap < $CTap < CTap < CTap < CTap < CTap < CTap < $CTap < CTap < CTa$$$$$$$$$$$$$

< Tap < 5,92 In

Dipilih Tap = $4 \text{ In } (Pickup \ range \ CT \ 0.5 - 40 \ dengan \ step \ 0.01)$

Nilai actual Iset = 1600 A

Time Delay

Pengaturan waktu (t>>) = 0,3 s

Tabel 4.2. Perbandingan setting Existing dan Resetting Tipikal 1

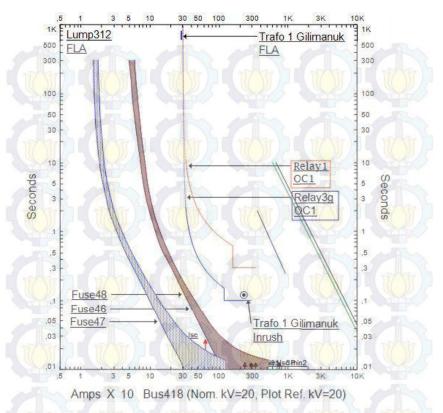
Rele 3g	Existing Rele	Resetting Rele
Manufaktur & Model	Areva p125	Areva p125
Rasio CT	CT = 1000/5	CT = 400/5
Over current pickup (I>)	0,29 x 1000 = 290	0,76 x 400 = 304

Tabel 4.2. Perbandingan Setting Existing dan Resetting Tipikal 1 (lanjutan)

Rele 3g	Existing Rele	Resetting Rele
Time dial	1,5	0,03
instantaneous pickup (I»)	1 x 1000 = 1000	3 x 400 = 1200
Time delay	0,1 s	0,1 s
Rele 1	Existing Rele	Resetting Rele
Manufaktur & Model	Areva p125	Areva p125
Rasio CT	CT = 1000/5	CT = 400/5
Over current pickup (I>)	$0,288 \times 1000 = 288$	$0.76 \times 400 = 304$
Time dial	0,5	0,15
instantaneous pickup (I»)	1 x 1000 = 1000	4 x 400 = 1600
Time delay	0,3 s	0,3 s

Dari hasil perhitungan resetting di atas, didapatkan harga untuk masing-masing nilai setting seperti yang terlihat pada Tabel 4.2. Pada tabel tersebut juga dapat kita lihat perbandingan dari existing dengan hasil resetting. Dimana selain terdapat perubahan setting juga terdapat perubahan nilai CT pada relay 1 dan 3g dari 1000/5 menjadi 400/5. Selain perubahan nilai CT, nilai pickup (I>>) pada relay 1 dan 3g mengalami perubahan, hal tersebut disebakan oleh perubahan nilai CT pada kondisi existingnya.

Kemudaian dari hasil resetting tersebut di masukan pada Etap, untuk disimulasikan dan nantinya akan didapatkan *Time Current Curve* (TCC) yang terlihat pada Gambar 4.4.

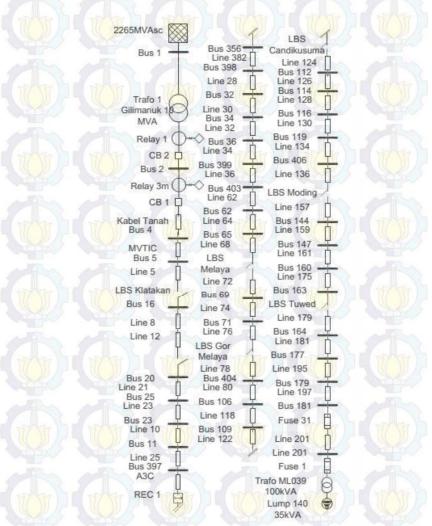


Gambar 4.4. Time Current Curve resetting Tipikal 1

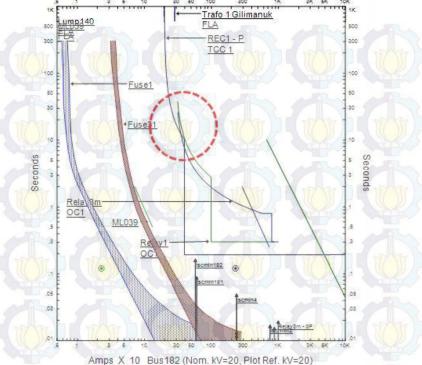
4.1.2 Setting Koordinasi Rele Tipikal 2 Melaya

Pada Tipikal 2 terdapat 2 fuse, 1 recloser dan 2 rele arus lebih yang harus dilihat setting koordinasi eksistingnya, dan dianalisa apakah terjadi kesalahan koordinasi pada rele-rele arus lebih gangguan fasa yang berada pada tipikal 2 tersebut. Seperti yang terlihat pada Gambar 4.5 koordinasi dimulai dari lump load 140 35 kVA, menuju trafo ML039 100 kVA, fuse 1 yang tersambung dengan bus 182, fuse 31 yang tersambung dengan bus 181, dan recloser 1 sebagai pelindung saluran utama, relay 3m sebagai pelindung bus 4m, dan rele 1 sebagai pelindung trafo 1 gilimanuk. Pada tipikal ini 1 relay pada outgoing trafo tidak perlu di setting kembali dikarenakan sudah termasuk dalam

resetting tipikal 1, sehingga rele 3m dan recloser 1 saja yang perlu di perhatikan eksisting nya, lalu dilakukan resetting apabila terjadi salah koordinasi.



Gambar 4.5 Rangkaian Tipikal 2 Melaya



Gambar 4.6. Time Current Curve existing Tipikal 2

Dari Gambar 4.6 di atas terlihat kesalahan setting seperti pada lingkaran merah, pada tanda tersebut terlihat bahwa kurva recloser 1 mengenai kurva relay 3m dan relay 1. Kemudian dari kesalahan tersebut diperlukan pengaturan ulang (Resetting) untuk mencapai koordinasi antar peralatan pengaman yang handal. Perhitungan ulang existing relay dan relay sebagai berikut:

* Recloser 1

Manufaktur

Kurva

Rasio CT

Isc Min 30 Cycle bus 398m

Isc Max 4 Cycle bus 3m

: Cooper F6

: IEC Extremely Inverse

: 200/1

= 869 A

= 699 A

Recloser ini berfungsi sebagai pengaman utama untuk saluran utama dari gangguan seperti sambaran petir, dan yang sering terjadi yaitu cabang-cabang pepohonan menyentuh konduktor karena tertiup angin. Pada recloser ini menggunakan kurva IEC Extremely Inverse dengan FLA sebesar 77,7 A. Perhitungan resetting recloser 1 adalah sebagai

berikut:

Time Over current Pickup

$$1,05 \times FLA$$
 < Iset < $0.8 \times Isc Min 30 Cycle bus 398$

$$1,05 \times 77,7 < Iset < 0,8 \times 869$$

Dipilih Iset = 100 A (Range 5 - 800 dengan step 1)

Time Dial

Waktu Operasi =
$$t_{ds} = 0.1 \text{ s}$$

Iset
$$= 100 A$$

$$M = \frac{I}{Is} = \frac{\text{Isc Max 4 Cycle bus 3m}}{\text{Iset}} = \frac{699}{100} = 6.93$$

$$t_{ds} = T \times \left[\frac{A}{M^2 - 1} + B \right]$$

$$0.1 = T \times \left[\frac{80}{6.9^2 - 1} \right]$$

$$T = \frac{0.1}{1.71}$$

$$T = 0.05$$

$$T \ge 0.05$$
 Dipilih $T = 0.05$

Instantaneous Pickup

$$1.1 \times FLA$$
 $< I_{>>} <$ 0.8 × Isc Min 30 Cycle bus 398m

$$1.1 \times 77.7$$
 $< I_{\text{w}} < 0.8 \times 869$ $85.47 < I_{\text{w}} < 695.2$

Dipilih untuk kondisi rele definite **150 A** (*Rrange 1 - 32 x TOC pickup, dengan step 0,1*)

Trip Range:

$$trip = \frac{I_{\gg}}{I_{\text{Set}}} = \frac{150}{100} = 1.5$$

Time Delay

Pengaturan waktu (t>>) = 0.1 s

Relay 3m

Manufaktur

Model

Kurva Rasio CT

Isc Min 30 Cycle bus 4m Isc Max 4 Cycle bus 4m

FLA

: Areva

: P125

: Standard Inverse Time

: 400/5

= 2393 A

= 2764 A

= 288,67 A

Time Overcurrent Pickup

$$\frac{1,05 \times FLA}{400} In \qquad < Iset < \qquad \frac{0,8 \ Isc \ Min \ 30 \ Cycle \ bus \ 4}{400}$$

 $\frac{1,05 \times 288,67}{400} In < Iset < \underbrace{\frac{0,8 \times 2393}{400} In}_{ln} < Tap < \underbrace{\frac{1,05 \times 288,67}{400} In}_{ln}$

0.75 In < Tap <4,78 In



Nilai actual Iset = $0.76 \times 400 = 304 \text{ A}$

Time Dial

Waktu Operasi = t_{ds} = 0.3 s

T = Time Dial

$$\frac{I}{Is} = \frac{\text{Isc Max 4 Cycle bus 4m}}{\text{Iset}} = \frac{2764}{304} = 9.0$$

$$t_{ds} = \frac{0.14 \times T}{\left[\left(\frac{I}{I_{S}} \right)^{0.02} - 1 \right]}$$

$$0.3 = \frac{0.14 \times T}{[(9.0)^{0.02} - 1]}$$

$$T = \frac{0.3 \times [(9,0)^{0.02} - 1]}{0,14}$$

$$T = 0.09$$

 $T \ge 0.09$ Dipilih T = 0.1 (Range T 0.025 - 1.5 dengan step 0.025)

Instantaneous Pickup

$$< I_{\gg} < 0.8 \times Isc\ Min\ Bus\ 4 \ CTprimer \ < I_{\gg} < 0.8 \times 2393 \ 10 \ < Tap < 1914,4 \ 400 \ In$$

Dipilih Tap = **4 In** (*Pickup range CT 0.5 - 40 dengan step 0.01*) Nilai actual Iset = 4 x 400 = 1600 A

Time Delay

Pengaturan waktu (t>>) = 0.3 s

* Relay 2

Manufaktur : Areva Model : P125

Kurva : Standard Inverse Time

Rasio CT : 400/5

Isc Min 30 Cycle bus 2m = 2396 A

Isc Max 4 Cycle bus 2m = 2767 AFLA = 288,67 A

Time Overcurrent Pickup

$$\frac{1,05 \times FLA}{400} In \quad < Iset < \quad \frac{0,8 \times Isc Min \ 30 \ Cycle \ bus \ 2}{400} In$$

$$\frac{1,05 \times 288,67}{400} In < Iset < \frac{0,8 \times 2396}{400} In$$

$$\frac{303,10}{400} In < Tap < \frac{1916,8}{400} In$$

$$0.75 In < Tap < 4,79 In$$

Dipilih Tap = 0.76 In (Range CT 0.1 – 25 dengan step 0.01) Nilai actual Iset = 0.76 x 400 = 304 A

Time Dial

Waktu Operasi = $t_{ds} = 0.5 \text{ s}$

T = Time Dial

$$\frac{I}{Is} = \frac{\text{Isc Max 4 Cycle bus 2m}}{\text{Iset}} = \frac{2767}{304} = 9,1$$

$$t_{ds} = \frac{0.14 \times T}{\left[\left(\frac{I}{Is} \right)^{0.02} - 1 \right]}$$

$$0.5 = \frac{0.14 \times T}{[(9,1)^{0.02} - 1]}$$

$$T = \frac{0.5 \times [(9,1)^{0.02} - 1]}{0.14}$$

T = 0.16

 $T \ge 0.16$ Dipilih T = 0.16 (Range T 0.025 - 1.5 dengan step 0.025)

Instantaneous Pickup

$$< I_{\gg} < 0.8 \times Isc Min Bus 2 \over CTprimer \\ < I_{\gg} < 0.8 \times 2396 \\ 400 \\ In \\ < Tap < 1916.8 \\ 400 \\ In \\ < Tan < 4.79 In$$

< Tap < 4,79 In

Dipilih Tap = 3.5 In (Pickup range CT 0.5 - 40 dengan step 0.01)

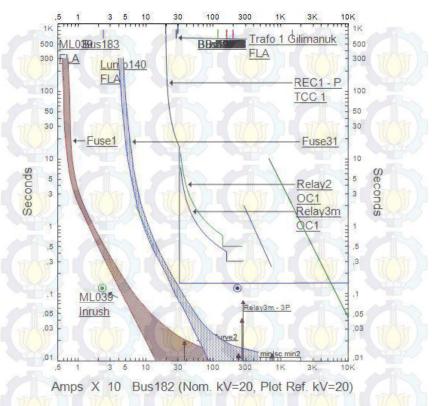
Nilai actual Iset = 1400 A

Time Delay

Pengaturan waktu (t >>) = 0.5 s

Tabel 4.3. Perbandingan setting Existing dan Resetting Tipikal 2

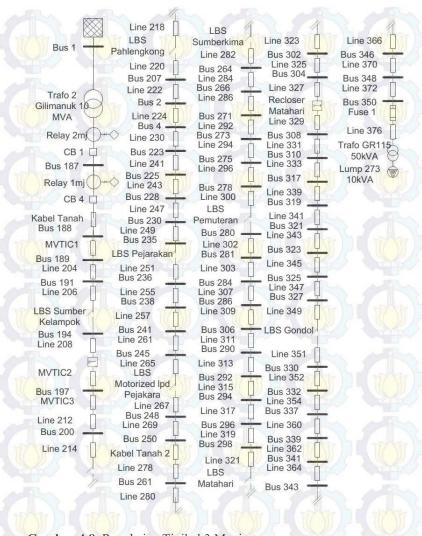
Relay 3m	Existing Relay	Resetting Relay	
Manufaktur & Model	Areva p125	Areva p125	
Rasio CT	CT = 1000/5	CT = 400/5	
Over current pickup (I>)	$0.29 \times 1000 = 290$	$0.76 \times 400 = 304$	
Time dial	0,35	0,1	
Instantaneous pickup (I»)	8 x 1000 = 8000	4 x 400 = 1600	
Time delay	0,3 s	0,3 s	
Relay 1	Existing Relay	Resetting relay	
Manufaktur & Model	Areva p125	Areva p125	
Rasio CT	CT = 1000/5	CT = 400/5	
Over current pickup (I>)	$0,288 \times 1000 = 288$	$0,76 \times 400 = 304$	
Time dial	0,5	0,16	
Instantaneous pickup (I≫)	1 x 1000 = 1000	$3.5 \times 400 = 1400$	
Time delay	0,3 s	0,5 s	
Recloser 1	Existing	Resetting	
Manufaktur & Model	Cooper F6	Cooper F6	
Rasio CT	CT = 500/1	CT = 500/1	
Trip Low set	200	200	
Trip High set	$2 \times 200 = 400$	$1.6 \times 200 = 320$	
Time delay	0,15 s	0,1 s	



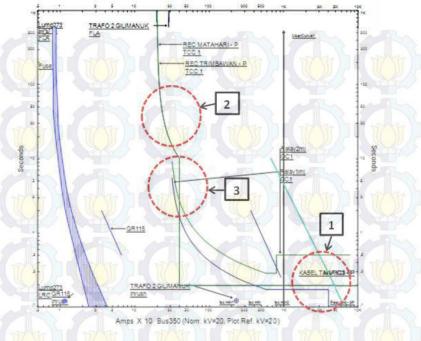
Gambar 4.7. Time Current Curve Resetting Tipikal 2

4.1.3 Setting Koordinasi Rele Tipikal 3 Menjangan

Pada tipikal 3 terdapat 1 buah fuse, 2 buah recloser dan 2 buah rele arus lebih. Seperti yang terihat pada Gambar 4.8 koordinasi dimulai dari lump load 273 10 kVA menuju trafo GR115 50 kVA, fuse 2 yang tersambung dengan bus 350, dan recloser matahari sebagai pelindung dari bus 308mj, recloser trimbawan sebagai backup dari recloser matahari dan sebagi pelindung dari bus 197mj, relay 1 sebagai pelindung dari bus 188mj, dan relay 2 sebagai pelindung dari bus 187mj dan juga sebagai pelindung trafo.



Gambar 4.8. Rangkaian Tipikal 3 Menjangan



Gambar 4.9. Time Current Curve exixting tipikal 3

Dari Gambar 4.9 di atas merupakan Time current curve untuk tipikal 3 kondisi existing. Pada kurva tersebut terlihat poin-poin utama untuk dilakukan evaluasi seperti yang ditandai pada nomor 1,2 dan 3. Pada nomor 1 perlunya dilakukan evaluasi untuk waktu operasi (I>>) pada masing-masing relay sehingga nantinya tidak terjadi kesalahan koordinasi antar relay. Kemudian pada tanda nomor 2 dan 3, kurva pada recloser Matahari dan Trimbawan mempunyai karakteristik yang sama, kondisi ini harus dievaluasi dari potensi arus hubung singkatnya, sehingga kedua recloser tersebut bekerja sesuai fungsinya. Sedangkan pada nomor 3 setting low set harus diperbaiki.

Dari kesalahan setting relay tadi maka diperlukan pengaturan ulang (resetting) untuk mencapai koordinasi antar peralatan pengaman yang handal. Perhitungan ulang pengaturan existing relay adalah sebagai berikut:

* Recloser Matahari

Manufaktur : Cooper F6

Kurva : IEC Extremely Inverse

Rasio CT : 200/1 Isc Min 30 Cycle bus 354mi = 837 A

Isc Min 30 Cycle bus 354mj = 837 A Isc Max 4 Cycle bus 308mj = 1374 A FLA = 32,4 A

Recloser ini berfungsi sebagai pengaman utama untuk saluran utama dari gangguan seperti sambaran petir, dan yang sering terjadi yaitu cabang-cabang pepohonan menyentuh konduktor karena tertiup angin . Pada recloser ini menggunakan kurva IEC Inverse dengan FLA sebesar 32,4 A. Perhitungan resetting recloser Matahari adalah sebagai berikut :

Time Over current Pickup

Dipilih Iset = 100 A (Range 5 - 800 dengan step 1)

Time Dial

Waktu Operasi =
$$t_{ds}$$
 = 0.1 s

$$T = Time Dial$$

Iset =
$$100 A$$

$$M = \frac{I}{Is} = \frac{\text{Isc Max 4 Cycle bus 308mj}}{\text{Iset}} = \frac{1374}{100} = 13,74$$

$$t_{ds} = T \times \left[\frac{A}{M^2 - 1} + B \right]$$

$$0.1 = T \times \left[\frac{80}{13.74^2 - 1} \right]$$

$$T = \frac{0.1}{0.42}$$

$$T = 0.23$$

$$T \ge 0.23$$
 Dipilih $T = 0.23$

Instantaneous Pickup

1,1 × FLA
$$< I_{\gg} <$$
 0,8 × Isc Min 30 Cycle bus 354m
1,1 × 32,4 $< I_{\gg} <$ 0,8 × 837
35,64 $< I_{\gg} <$ 669,6

Dipilih untuk kondisi rele definite **200 A** (*Rrange 1 - 32 x TOC pickup, dengan step 0,1*)

Trip Range:

$$trip = \frac{I_{\gg}}{I_{\text{set}}} = \frac{200}{100} = 2$$

Time Delay

Pengaturan waktu (t >>) = 0.1 s

* Recloser Trimbawan

Manufaktur

Kurva

Rasio CT

Isc Min 30 Cycle bus 304mj

Isc Max 4 Cycle bus 197mj

FLA

SCOOPER F6

: IEC Inverse
: 200/1

= 1290 A

= 2227 A

= 32,8 A

Recloser ini berfungsi sebagai pengaman utama untuk saluran utama dari gangguan seperti sambaran petir, dan yang sering terjadi yaitu cabang-cabang pepohonan menyentuh konduktor karena tertiup angin . Pada recloser ini menggunakan kurva IEC Inverse dengan FLA sebesar 32,8 A. Perhitungan resetting recloser matahari adalah sebagai berikut :

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA$$
 < Iset < 0,8 x Isc min 30 cycle bus 304
 $1,05 \times 32,8$ < Iset < 0,8 x 1290

34,4 < Iset < 1032Dipilih Iset = 150 A (Range 5 – 800 dengan step 1)

Time Dial

Waktu Operasi = $t_{ds} = 0.1 \text{ s}$

T = Time Dial

Iset = 150 A

$$M = \frac{I}{Is} = \frac{\text{Isc Max 4 Cycle bus 197mj}}{\text{Iset}} = \frac{2227}{150} = 14.84$$

$$t_{ds} = T \times \left[\frac{A}{M^2 - 1} + B \right]$$

$$0.1 = T \times \left[\frac{80}{14.84^2 - 1} \right]$$

$$T = \frac{0.1}{0.36}$$

$$T = 0.27$$

$$T \ge 0.27$$
 Dipilih $T = 0.27$







$$T \ge 0.27$$
 Dipilih $T = 0.27$



$$1.1 \times FLA$$
 $< I_{\gg} <$ 1.1×32.8 $< I_{\gg} <$

$$36,08 < I_{\text{s}} < 1032$$

$$< I_{\gg} <$$
 0,8 × Isc Min $< I_{\gg} <$ 0,8 × 1290

Dipilih untuk kondisi rele definite 250 A (Rrange 1 - 32 x TOC pickup, dengan step 0,1)

Trip Range:

$$trip = \frac{I_{\gg}}{Iset} = \frac{250}{150} = 1.6$$

Time Delay

Pengaturan waktu (t>>) = 0.3 s

Rele 1mj

Manufaktur

Model

Kurva

Rasio CT

Isc Min 30 Cycle bus 188mj Isc Max 4 Cycle bus 188mj

FLA

: Areva

: P125

: Standard Inverse Time

: 400/5

= 2892 A

= 3340 A

 $=\frac{kVA}{\sqrt{3}kV}=\frac{10000}{\sqrt{3}20}=288.67 A$

Time Over current Pickup

Dipilih Tap = **0.76 In** (Range CT 0.001 – 1 dengan step 0.005) Nilai actual Iset = $0.76 \times 400 = 304$ A

Time Dial

Waktu Operasi = t_{ds} = 0.5 s

T = Time Dial

$$\frac{I}{Is} = \frac{\text{Isc Max 4 cycle Bus 188mj}}{\text{Iset}} = \frac{3340}{304} = 10,98$$

$$t_{ds} = \frac{0.14 \times T}{\left[\left(\frac{I}{Is} \right)^{0.02} - 1 \right]}$$

$$0.5 = \frac{0.14 \times T}{[(10.98)^{0.02} - 1]}$$

$$T = \frac{0.5 \times [(10.98)^{0.02} - 1]}{0.14}$$

T = 0.17

 $T \ge 0.17$ Dipilih T = 0.17 (Range T 0.001 sampai 1 dengan step 0.025)

Instantaneous Pickup

$$0,8 × Isc Min Bus 188 In CT primer $0,8 × 2892 In $<$ Tap $<$ 2313,6 In $<$ Tap $<$ 5,7 $In$$$$

Dipilih Tap = 4 In (*Pickup range CT 0.01 - 8 dengan step 0.005*) Nilai Aktual Iset = 1600 A

Time Delay

Pengaturan waktu (t>>) = 0.5 s

Relay 2mj

Manufaktur : Areva Model : P125

Model : P125 Kurva : Standard Inverse Time

Rasio CT : 400/5

Isc Min 30 Cycle bus 187mj = 2962 A

Isc Max 4 Cycle bus 187mjj = 3420 A FLA = $\frac{kVA}{\sqrt{3}kV} = \frac{10000}{\sqrt{3}20} = 288.67 A$

Time Over current Pickup

$$\frac{1,05 \times \overline{FLA}_{In}}{400} In < |Set| < \frac{0,8 \, Isc \, Min \, 30 \, Cycle \, bus \, 187}{400} In$$

$$\frac{1,05 \times 288,67}{400} In < Iset < \frac{0,8 \times 2962}{400} In$$

$$\frac{303,10}{400} In < Tap < \frac{2369,6}{400} In$$

0.75 In < Tap < 5.9 In

Dipilih Tap = **0.76 In** (*Range CT 0.001 – 1 dengan step 0.005*) Nilai actual Iset = $0.76 \times 400 = 304 \text{ A}$

Time Dial

Waktu Operasi = $t_{ds} = 0.7 \text{ s}$

T = Time Dial

$$\frac{I}{Is} = \frac{\text{Isc Max 4 cycle Bus 187mj}}{\text{Iset}} = \frac{3420}{304} = 11,25$$

$$t_{ds} = \frac{0.14 \times T}{\left[\left(\frac{I}{IS} \right)^{0.02} - 1 \right]}$$

$$0.7 = \frac{0.14 \times T}{[(11,25)^{0.02} - 1]}$$

$$T = \frac{0.7 \times [(11,25)^{0.02} - 1]}{0.14}$$

T = 0.24

 $T \ge 0.24$ Dipilih T = 0.24 (Range T 0.001 sampai 1 dengan step 0.025)

Instantaneous Pickup

| Standardous Fickup |
$$0.8 \times Isc\ Min\ Bus\ 187 | In | \\ < I_{>>} < 0.8 \times 2962 | In | \\ < Tap < 0.8 \times 2962 | In | \\ < Tap < 0.8 \times 2962 | In | \\ < Tap < 0.8 \times 2962 | In |$$

Dipilih Tap = 4 In (Pickup range CT 0.01 - 8 dengan step 0.005) Nilai Aktual Iset = 1600 A

Time Delay

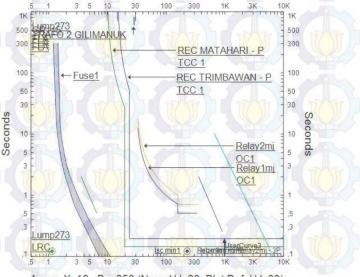
Pengaturan waktu (t>>) = 0.7 s

Tabel 4.4. Perbandingan setting Existing dan Resetting Tipikal 3

Rele 1mj	Existing Rele	Resetting rele
Manufaktur & Model	Areva p125	Areva p125
Rasio CT	CT = 1000/5	CT = 400/5
Over current pickup (I>)	$0,29 \times 1000 = 290$	$0.76 \times 400 = 304$
Time dial	0,075	0,17
Instantaneous pickup (I»)	40 x 1000 = 40000	$4 \times 400 = 1600$
Time delay	0,1 s	0,5 s
Rele 2mj	Existing Rele	Resetting rele
Manufaktur & Model	Areva p125	Areva p125
Rasio CT	CT = 1000/5	CT = 400/5
Over current pickup (I>)	$0.29 \times 1000 = 290$	$0,76 \times 400 = 304$
Time dial	0,125	0,24
Instantaneous pickup (I>>)	8 x 1000 = 8000	4 x 400 = 1600
Time delay	0,5 s	0,7 s

Tabel 4.4. Perbandingan *setting Existing* dan *Resetting* Tipikal 3 (lanjutan)

Recloser Matahari	Existing	Resetting
Manufaktur & Model	Cooper F6	Cooper F6
Rasio CT	CT = 500/1	CT = 500/1
Trip Low set	200	100
Trip High set	2 x 200 = 400	$2 \times 100 = 200$
Time delay	0,15 s	0,1 s
Recloser Trimbawan	Existing	Resetting
Manufaktur & Model	Cooper F6	Cooper F6
Rasio CT	$CT = \frac{500}{1}$	CT = 500/1
Trip Low set	200	150
Trip High set	2 x 200 = 400	1,6 x 150 = 240
Time delay	0,15 s	0,15 s
	07 / 1 1 1 1 1 1 1 1 1	

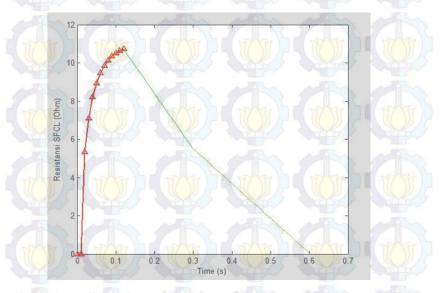


Amps X 10 Bus350 (Nom. kV=20, Plot Ref. kV=20) **Gambar 4.10**. *Time Current Curve resetting* tipikal 3

4.2 Penerapan Superconducting Fault Current Limitter (SFCL) pada Jaringan Distribusi APJ Gilimanuk

4.2.1 Penerapan SFCL pada Tipikal 1 Penyulang Gilimanuk

Dengan sifatnya, SFCL yang mampu merespon besarnya peningkatan arus hubung singkat dengan peningkatan resistansi yang terdapat pada SFCL tersebut. SFCL yang dipasang pada Tipikal satu ini memiliki resistansi maksimum sebesar 11 Ohm, pada kondisi normal resistansinya minimum atau Nol (Ohm) dan saat terjadinya gangguan akan meningkat sesuai resistansi maksimumnya yaitu 11 Ohm.

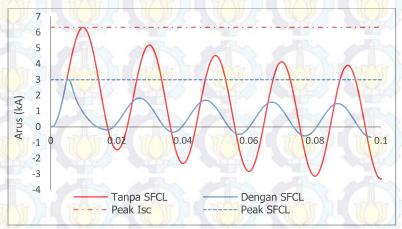


Gambar 4.11 Kurva Resistansi SFCL Tipikal 1

Seperti yang terlihat pada Gambar 4.11, peningkatan resistansi mulai pada waktu 0.05 s atau kurang dari puncak setengah *cycle* pertama dan terus meningkat sampai resistansi maksimumnya yaitu 11 ohm. Kemudian pada saat circuit breaker membuka pada waktu 0.11 s, SFCL mengalami *recovery* atau pemulihan kondisi dimana ketika arus gangguan diputus oleh CB maka arusnya menjadi nol ampere dan pada saat itu juga temperatur pada SFCL akan menurun dan penurunan temperatur tersebut diikuti oleh penurunan nilai resistansi SFCL. Waktu

recovery tersebut membutuhkan waktu sekitar 0.49 s dan pada saat 0.6 s nilai resistansinya kembali normal yaitu Nol ohm. Proses recovery ini dibantu dengan nitrogen yang disemprotkan pada SFCL sehingga proses recovery menjadi lebih cepat.

Seperti yang terlihat pada Gambar 4.12, akibat dari peningkatan resistansi tersebut nilai magnitude arus menjadi berkurang,. Dengan mengabaikan arus kontribusi dari bus lain maka besar arus hubung singkat yang mampu direduksi sebesar 3 kA peak.

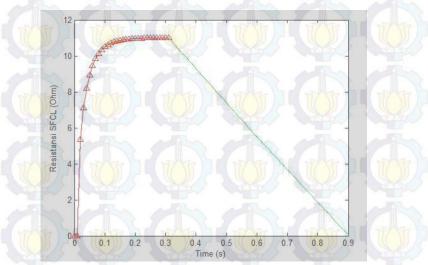


Gambar 4.12 *Magnitude* Arus Hubung singkat Bus LBS pool Gilimanuk

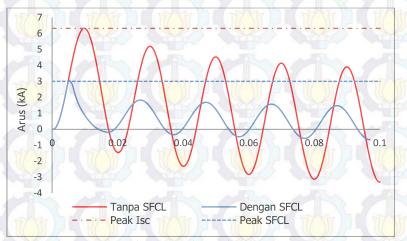
4.2.2 Penerapan SFCL pada Tipikal 2 Penyulang Melaya

Besar nilai resistansi SFCL dan arus hubung singkat yang mampu direduksi pada Penyulang Melaya yaitu 11 ohm dan 3 kA peak. Hal ini dikarenakan Penyulang Melaya disuplly dari trafo yang sama seperti pada penyulang gilimanuk maka nilai resistansi dan arus hibung singkat yang mampu direduksi sama yaitu 3 kA peak. Peningkatan nilai resistansi terhadap arus hubung singkat dan *magnitude* arus dapat dilihat pada pada Gambar 4.13 dan 4.14. Pada Gambar 4.13, nilai resistansi meningkat pada waktu 0.05 s kemudian mencapai nilai resistansi maksimum pada waktu kurang dari 0.2 s dan proses pemulihan atau *recovery* pada saat CB membuka yaitu pada waktu 0.31 s. Durasi proses *recovery* selama 0.59 s yaitu dari rentang waktu 0.31 s sampai 0.9 s.

Pada saat *recovery* telah selesai yang artinya temperatur SFCL kembali normal dan nilai resistansinya menurun sampai 0 ohm.



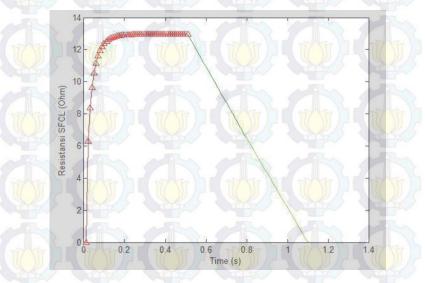
Gambar 4.13 Kurva Resistansi SFCL Tipikal 2



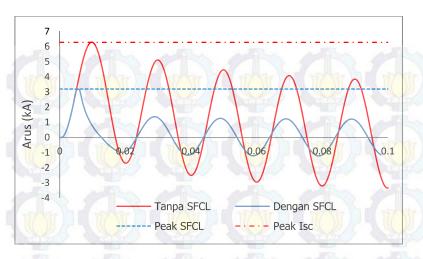
Gambar 4.14 Magnitude Arus Hubung singkat Bus 4

4.2.3 Penerapan SFCL pada Tipikal 3 Penyulang Menjangan

SFCL pada tipikal 3 tersebut mampu mereduksi arus hubung singkat sampai 3,2 kA *peak*. Seperti yang terlihat pada gambar 4.16, SFCL memotong arus hubung singkat pada kurang dari puncak setengah cycle pertama. Untuk mereduksi arus hubung singkat tersebut dipasang SFCL dengan nilai resistansi maksimum 12,59 Ohm. Seperti yang terlihat pada Gambar 4.15, peningkatan nilai resistansi dimulai pada waktu 0.05 s, kemudian peningkatan tersebut mencapai nilai maksimum pada 12,59 Ohm, proses pereduksian arus terjadi sampai 0.51 s, yang artinya pada waktu 0.51 s circuit breaker membuka. Setelah pembukaan CB maka SFCL mengalami *recovery* atau proses pemuliah kondisi baik temperatur dan nilai resistansinya. Proses *recovery* ini berlangsung selama 0.59 s yaitu dari rentang waktu 0.51s sampai 1,1 s. Pada waktu lebih dari 1,1 s maka nilai resistansinya kembali normal yaitu 0 Ohm.



Gambar 4.15 Kurva Resistansi SFCL Tipikal 3



Gambar 4.16. Magnitude Arus Hubung Singkat pada Bus 188

4.3 Resetting Koordinasi Rele Akibat Penerapan SFCL

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, SFCL dapat mengurangi besar arus gangguang atau arus hubung singkat yang terjadi. Hal ini mengakibatkan nilai arus hubung singkat pada masing-masing bus akan berubah menjadi lebih kecil dari kondisi semula. Tentunya ini akan berakibat buruk pada peralatan apabila setting peralatan pengaman tidak menyesuaikan dengan kondisi nilai arus hubung singkat yang telah direduksi oleh SFCL. Sehingga setting rele pengaman perlu dievaluasi kembali agar rele-rele dapat berfungsi dan terkoordinasi dengan baik.

Berikut data Arus hubung singkat setelah penerapan SFCL yang nantinya data tersebut akan digunakan untuk perhitungan manual setting rele-rele pada setiap penyulang.

Tabel 4.5 Data Arus Hubung Singkat Setelah Penerapan SFCL

ID Bus	Tegangan Bus (kV)	Isc Min 30 30 Cycle (kA)	Isc Max 4 cycle (kA)
Bus LBS poll 1g	20	0,642	0,741
Bus 2g	20	2,964	3,422

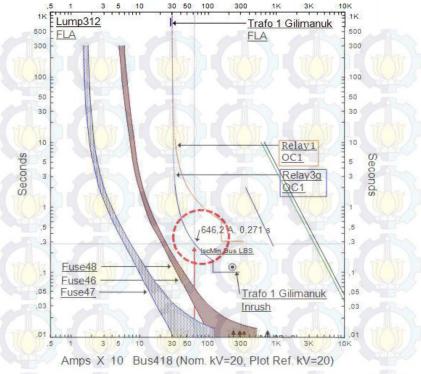
Tabel 4.5 Data Arus Hubung Singkat Setelah Penerapan SFCL (lanjutan)

ID Bus	Tegangan Bus (kV)	Isc Min 30 30 Cycle (kA)	Isc Max 4 cycle (kA)
Bus 398m	20	0,487	0,562
Bus 3m	20	0,391	0,451
bus 4m	20	0,659	0,761
Bus 2m	20	2,396	2,767
Bus 354mj	20	0,778	0,898
Bus 308mj	20	1,074	1,240
Bus 304mj	20	1,155	1,334
Bus 197mj	20	1,016	1,173
Bus188mj	20	0,977	1,128
Bus 187mj	20	2,962	3,420

4.3.1 Resetting Koordinasi Rele Tipikal 1

Dari nilai arus hubung singkat yang baru yaitu arus hubung singkat setelah direduksi oleh SFCL diperlukan perhitungan ulang untuk setiap rele-rele yang terdapat pada jaringan, agar rele-rele tersebut dapat terkoordinasi dengan baik.

Pada Gambar 4.17 merupakan *Time current curve* resetting tipikal 1, kemudian pada gambar tersebut terdapat tanda lingkaran merah serta terdapat juga user curve Isc yang merupakan arus hubung singkat minimum pada bus LBS pool Gilimanuk sebesar 642 Ampere. Apabila gangguan terjadi pada bus LBS pool Gilimanuk, arus hubung singkatnya akan menabrak kurva inverse (*low set*) sehingga waktu pembukaan CB menjadi lebih lama yaitu 0,27 s, tentunya ini harus dihindari, itu sebab perlunya setting ulang rele tersebut agar dapat bekerja dengan baik. Perhitungan ulang pengturan resetting rele sebagai berikut:



Gambar 4.17. Time Current Curve resetting tipikal 1

* Relay 3g

Manufaktur

Model

<mark>Kurv</mark>a Rasio CT

Isc Min 30 Cycle bus LBS pool

1 Gilimanuk

Isc Max 4 Cycle bus LBS pool 1Gilimanuk

IGilimanuk

FLA

: Areva

: P125

: Standard Inverse Time

: 400/5

= 642 A

= 741 A

$$= \frac{kVA}{\sqrt{3} \, kV} = \frac{10000}{\sqrt{3} \, 20} = 288.67 \, A$$

Time Overcurrent Pickup

Dipilih Tap = **0.76** (*Range CT 0.001 – 1 dengan step 0.005*) Nilai actual Iset = 0.76 x 400 = 304 A

Time Dial

Waktu Operasi =
$$t_{ds}$$
 = 0.1 s
T = Time Dial

$$\frac{I}{Is} = \frac{\text{Isc Max 4 cycle Bus LBS Pool 1}}{\text{Iset}} = \frac{741}{304} = 2,43$$

$$t_{ds} = \frac{0.14 \times T}{\left[\left(\frac{I}{I_S}\right)^{0.02} - 1\right]}$$

$$0.1 = \frac{0.14 \times T}{[(2.43)^{0.02} - 1]}$$

$$T = \frac{0.1 \times [(2,43)^{0.02} - 1]}{0,14}$$

$$T = 0.01$$

 $T \ge 0.01$ Dipilih T = 0.01 (Range T 0.001 sampai 1 dengan step 0.025)

Instantaneous Pickup

$$< I_{\gg} <$$
 0.8 × Isc Min Bus LBS Pool 1 CT primer $< I_{\gg} <$ 0.8 × 642 In $<$ Tap $<$ 513.6 In $<$ Tap $<$ 1,2 In

Dipilih **Tap = 1,18 In** (*Pickup range CT 0.01 - 8 dengan step 0.005*) Nilai Aktual Iset = 472 A

Time Delay

Pengaturan waktu (t>>) = 0.1 s

* Relay 1

Manufaktur

Model

Kurva

Rasio CT

Isc Min 30 Cycle bus 2g

Isc Max 4 Cycle bus 2g

FLA

: Areva

: P125

: Standard Inverse Time

: 400/5

= 2964 A

= 3422 A

 $= \frac{kVA}{\sqrt{3} \ kV} = \frac{10000}{\sqrt{3} \ 20} = 288.67 \ A$

Time Overcurrent Pickup

$$\frac{1,05 \times FLA}{400} In$$
 < | Set < 1,05 × 288,67

$$\frac{1,05 \times FLA}{400} In \quad < Iset < \quad \frac{0,8 \ Isc \ Min \ 30 \ Cycle \ bus 2}{400} In$$

$$\frac{1,05 \times 288,67}{400} In \quad < Iset < \quad \frac{0,8 \times 2964}{400} In$$

$$\frac{303,10}{400} In \quad < Tap < \quad \frac{2371,2}{400} In$$

$$\frac{1}{100} In < Tap < T$$

$$\frac{0.8 \times 2304}{400}$$
 In 2371,2

Dipilih Tap = 0.76 (Range CT 0.1 – 25In dengan step 0.01)

Nilai actual Iset = $0.76 \times 400 = 304 \text{ A}$

Time Dial

Waktu Operasi = t_{ds} = 0.3 s

T = Time Dial

$$\frac{I}{Is} = \frac{\text{Isc Max 4 Cycle bus 2g}}{\text{Iset}} = \frac{3422}{304} = 11,25$$

$$t_{ds} = \frac{0.14 \times T}{\left[\left(\frac{I}{I_S} \right)^{0.02} - 1 \right]}$$

$$0.3 = \frac{0.14 \times T}{[(11,25)^{0.02} - 1]}$$

$$T = \frac{0.3 \times [(11,25)^{0.02} - 1]}{0,14}$$











$$T = 0.10$$

 $T \ge 0.10$ Dipilih T = 0.15 (Range T 0.025 sampai 1,5 dengan step 0.025)

Instantaneous Pickup

$$< I_{\gg} <$$
 $\frac{0.8 \times \text{Isc Min 30 Cycle bus 2g}}{CTprimer} In$
 $< I_{\gg} <$ $\frac{0.8 \times 2964}{400} In$
 $< \text{Tap} <$ $\frac{2371.2}{400} In$
 $< \text{Tap} <$ 5,92 In

Dipilih **Tap = 4** (*Pickup range CT 0.5 - 40 dengan step 0.01*) Nilai actual Iset = 1600 A

Time Delay

Pengaturan waktu (t>>) = 0.3 s

Tabel 4.6 Perbandingan Setting Rele sebelum dan sesudah penerapan SFCL Tipikal 1

	Setting rele		
Rele 3g	Sebelum penerapan SFCL	Setelah penerapan SFCL	
Manufaktur & Model	Areva p125	Areva p125	
Rasio CT	CT = 400/5	CT = 400/5	
Over current pickup (I>)	$0.76 \times 400 = 304$	$0.76 \times 400 = 304$	
Time dial	0,03	0,01	
instantaneous pickup (I>>)	3 x 400 = 1200	$1,18 \times 400 = 472$	
Time delay	0,1 s	0,1 s	
Rele 1	Setting rele		
	Sebelum penerapan SFCL	Setelah penerapan SFCL	
Manufaktur & Model	Areva p125	Areva p125	
Rasio CT	CT = 400/5	CT = 400/5	

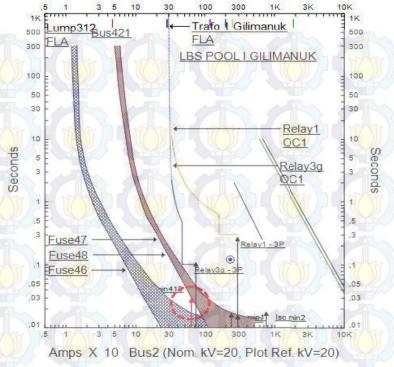
Tabel 4.6 Perbandingan Setting Rele sebelum dan sesudah penerapan SFCL Tipikal 1 (lanjutan)

	Setting rele	
Rele 1	Sebelum penerapan SFCL	Setelah penerapan SFCL
Over current pickup (I>)	$0.76 \times 400 = 304$	$0.76 \times 400 = 304$
Time dial	0,15	0,15
instantaneous pickup (I>>>)	4 x 400 = 1200	4 x 400 = 1600
Time delay	0,3 s	0,3 s

Dari Tabel 4.6 di atas terlihat bahwa dengan adanya penerapan SFCL yang terkena dampaknya yaitu relay 3g, dikarenakan arus hubung yang direduksi lebih kecil dari nilai arus hubung singkat tanpa SFCL sehingga agar sistem pengaman tersebut terkoordinasi dengan baik setting instantaeous pickup nya menjadi 1,18 dengan nilai aktual 472 Ampere. Karena relay 1 berada di atas SFCL sehigga relay tersebut tidak mengalami perubahan untuk setting relaynya.

Data yang terdapat pada Tabel 4.6 kemudian dimasukan pada simulasi ETAP untuk mengetahui TCC (time current curve) terhadap pengaruh penerapan SFCL tersebut. TCC tersebut dapat dilihat pada gambar Gambar 4.18.

Seperti yang terlihat pada Gambar 4.18 terdapat tanda lingkaran merah, kemudian terdapat User curve arus pada Bus 418. Pada saat sebelum penerapan arus hubung singkat yang terjadi pada bus 418 berapa pada kedua kurva Fuse 47-48 dengan Fuse 46 sehingga proses pemutusannya bersamaan. Setelah penerapan SFCL terlihat arus yang direduksi mengakibatkan arus gangguan pada bus tersebut menjadi lebih kecil, sehingga terdapat jeda waktu agar ketiga Fuse tersebut tidak terjadi pemutusan Fuse secara bersamaan.



Gambar 4.18 Time Current Curve Tipikal 1 setelah penerapan SFCL

4.3.2 Resetting Koordinasi Rele Tipikal 2

Besaranya arus hubung singkat yang direduksi atau dikurangi oleh impedansi yang ada pada SFCL tentunya akan mempengaruhi setting peralatan pengaman pada sistem, sehingga perlunya dilakukan penyesuaian atas kondisi tersebut. Perhitungan ulang untuk tiap rele dilakukan agar tiap rele bekerja dan terkoordinasi dengan baik.

* Recloser 1

Manufaktur

: Cooper F6 Kurva : IEC Extremely Inverse

Rasio CT : 200/1 Isc Min 30 Cycle bus 398m $= 487 \, \text{A}$ Isc Max 4 Cycle bus 3m = 451 A Recloser ini berfungsi sebagai pengaman utama untuk saluran utama dari gangguan seperti sambaran petir, dan yang sering terjadi yaitu cabang-cabang pepohonan menyentuh konduktor karena tertiup angin . Pada recloser ini menggunakan kurva *IEC Inverse* dengan FLA sebesar 77.7 A. Perhitungan resetting recloser 1 adalah sebagai berikut :

Time Over current Pickup

$$1,05 \times FLA$$
 < Set < 0,8 Isc Min 30 Cycle bus 398

$$1,05 \times 77,7 < \text{Iset} < 0,8 \times 487$$

Dipilih Iset = 100 A (Range 5 – 800 dengan step 1)

Time Dial

Waktu Operasi = $t_{ds} = 0.1 \text{ s}$

T = Time Dial

Iset = 195 A

$$M = \frac{I}{Is} = \frac{\text{Isc Max 4 Cycle bus 3m}}{\text{Iset}} = \frac{451}{100} = 4,51$$

$$t_{ds} = T \times \left[\frac{A}{M^2 - 1} + B \right]$$

$$0.1 = T \times \left[\frac{80}{4.51^2 - 1} \right]$$

$$T = \frac{0.1}{4.1}$$

$$T = 0.02$$

$$T \ge 0.02$$
 Dipilih $T = 0.02$

Instantaneous Pickup

$$1.1 \times FLA$$
 $< I_{\gg} <$ 0.8 × Isc Min 30 Cycle bus 398m 1.1×77.7 $< I_{\gg} <$ 0.8 × 487

Dipilih untuk kondisi rele definite 300 A (*Rrange 1 - 32 x TOC pickup*, dengan step 0,1)

Trip Range:

$$trip = \frac{I_{\gg}}{I_{\text{set}}} = \frac{300}{100} = 3$$

Time Delay

Pengaturan waktu (t>>) = 0.1 s

Relay 3m

Manufaktur : Areva Model : P125

Kurva : Standard Inverse Time

Rasio CT : 400/5

Isc Min 30 Cycle bus 4m = 659 A

Isc Max 4 Cycle bus 4m = 761 A FLA = 288,67 A

Time Overcurrent Pickup

$$\frac{1,05 \times FLA}{400} In < Iset < 0,8 Isc Min 30 Cycle bus 4 / 400$$

$$\frac{1,05 \times 288,67}{400} In < Iset < 0,8 \times 659 / 400$$

$$\frac{303,10}{400} In < Tap < 0.75 In < Tap < 1,3 In$$

Dipilih Tap = **0.76 In** (Range CT 0.1 - 25In dengan step 0.01) Nilai actual Iset = $0.76 \times 400 = 304$ A

Time Dial

Waktu Operasi = $t_{ds} = 0.3 \text{ s}$ T = Time Dial

$$\frac{I}{Is} = \frac{\text{Isc Max 4 Cycle bus 4m}}{\text{Iset}} = \frac{761}{304} = 2,5$$

$$t_{ds} = \frac{0.14 \times T}{\left[\left(\frac{I}{Is} \right)^{0.02} - 1 \right]}$$

$$0.3 = \frac{0.14 \times T}{[(2.5)^{0.02} - 1]}$$

$$T = \frac{0.3 \times [(2,5)^{0.02} - 1]}{0.14}$$

$$T = 0.03$$

 $T \ge 0.03$ Dipilih T = 0.05 (Range T 0.025 – 1.5 dengan step 0.025)

Instantaneous Pickup

$$\begin{array}{c|c}$$

Dipilih Tap = 1,2 In (Pickup range CT 0.5 - 40 dengan step 0.01) Nilai actual Iset = 1,2 x 400 = 480 A

Time Delay

Pengaturan waktu (t>>) = 0,3 s

* Relay 2

Manufaktur : Areva Model : P125

Kurva : Standard Inverse Time

Rasio CT : 400/5

Isc Min 30 Cycle bus 2m = 2396 A

Isc Max 4 Cycle bus 2m = 2767 A

FLA = 288,67 A

Time Overcurrent Pickup

0.75 In < Tap < 4.79 In

Dipilih Tap = 0.76 In (Range CT 0.1 - 25 dengan step 0.01)

Nilai actual Iset = $0.76 \times 400 = 304 \text{ A}$

Time Dial

Waktu Operasi = $t_{ds} = 0.5 \text{ s}$

T = Time Dial

$$\frac{I}{Is} = \frac{\text{Isc Max 4 Cycle bus 2m}}{\text{Iset}} = \frac{2767}{304} = 9.1$$

$$t_{ds} = \frac{0.14 \times T}{\left[\left(\frac{I}{Is} \right)^{0.02} - 1 \right]}$$

$$0.5 = \frac{0.14 \times T}{[(9.1)^{0.02} - 1]}$$

$$T = \frac{0.5 \times [(9,1)^{0.02} - 1]}{0,14}$$

T = 0.16

 $T \ge 0.16$ Dipilih T = 0.16 (Range T 0.025 - 1.5 dengan step 0.025)

Instantaneous Pickup

$$\begin{array}{c|c}$$

< Tap < 4,79 In

Dipilih Tap = 3.5 In (*Pickup range CT 0.5 - 40 dengan step 0.01*)

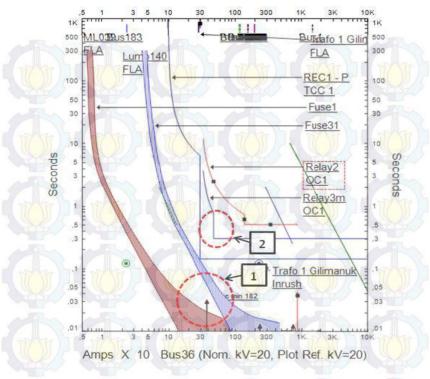
Nilai actual Iset = 1400 A

Time Delay

Pengaturan waktu (t>>) = 0.5 s

Tabel 4.7 Perbandingan Setting Rele sebelum dan sesudah penerapan SFCL Tipikal 2

	Setting relay		
Relay 3m	Sebelum penerapan SFCL	Sesudah penerapan SFCL	
Manufaktur & Model	Areva p125	Areva p125	
Rasio CT	CT = 400/5	CT = 400/5	
Over current pickup (I>)	$0.76 \times 400 = 304$	$0.76 \times 400 = 304$	
Time dial	0,1	0,05	
instantaneous pickup (I»)	$2 \times 400 = 800$	$1,2 \times 400 = 480$	
Time delay	0,3 s	0,3 s	
	Settin	g relay	
Relay 2	Sebelum penerapan SFCL	Sesudah penerapan SFCL	
Manufaktur & Model	Areva p125	Areva p125	
Rasio CT	CT = 400/5	CT = 400/5	
Over current pickup (I>)	$0.76 \times 400 = 304$	$0,76 \times 400 = 304$	
Time dial	0,16	0,16	
Instantaneous pickup (I≫)	$3.5 \times 400 = 1400$	$3.5 \times 400 = 1400$	
Time delay	0,5 s	0,5 s	
	Setting relay		
Recloser 1	Sebelum penerapan SFCL	Sesudah penerapan SFCL	
Manufaktur & Model	Cooper F6	Cooper F6	
Rasio CT	CT = 500/1	CT = 500/1	
Trip Low set	100	100	
Trip High set	3 x 100 = 300	$3 \times 100 = 300$	
Time delay	0,1 s	0,1 s	



Gambar 4.19. Time current curve Tipikal 2 setelah penerapan SFCL

Gambar 4.19 di atas merupakan kurva hasil setting terbaru setelah penerapan SFCL, terjadi perubahan pada setting sebelumnya yang mana seperti yang ditandai pada nomor 2, tap nya berubah menjadi 1,2 dari 2, ini dilakukan karena apabila tidak diperkecil nilai tap nya, arus hubung singkat akan mengenai kurva *inverse*, sehingga waktu pemutusan CB akan menjadi lebih lama. Arus hubung singkat pada bus 182 menjadi 380 Ampere, sehingga apa bila terjadi gangguan pada bus tersebut, Fuse 1 akan teputus terlebih dahulu, bebeda dengan sebelum penerapan SFCL, pada saat terjadi gangguan 3 phasa pada bus 182 fuse tersebut putus secara bersamaan. Sehingga hal ini dapat menggangu kontinuitas pelayan pada beban yang lain.

4.3.3 Resetting Koordinasi Rele Tipikal 3

Sama seperti tipikal-tipkal sebelumnya, pada tipikal 3 juga akan dilihat pengaruh penerapan SFCL terhadap setting koordinasi yang telah ada, sehingga perlu dilakukan perhitungan manual kembali dengan nilai arus hubung singkat yang telah direduksi atau dikurangi oleh SFCL.

Recloser Matahari

Manufaktur

Kurva

Rasio CT Isc Min 30 Cycle bus 354mj Isc Max 4 Cycle bus 308mj

FLA

: Cooper F6

: IEC Extremely Inverse

: 200/1 = 778 A

= 1240 A

= 32.4 A

Recloser ini berfungsi sebagai pengaman utama untuk saluran utama dari gangguan seperti sambaran petir, dan yang sering terjadi yaitu cabang-cabang pepohonan menyentuh konduktor karena tertiup angin. Pada recloser ini menggunakan kurva IEC Inverse dengan FLA sebesar 32,4 A. Perhitungan resetting recloser matahari adalah sebagai berikut:

Time Over current Pickup

$$1.05 \times FLA$$

0,8 x Isc Min 30 cycle bus 354

 $1,05 \times 32,4$ < Iset < $0,8 \times 778$

34,2 < <u>Iset</u> < 622,4

Dipilih Iset = 100 A (Range 5 – 800 dengan step 1)

Time Dial

Waktu Operasi =
$$t_{ds}$$
 = 0.1 s

T = Time Dial

Iset = 100 A

$$M = \frac{I}{Is} = \frac{\text{Isc Max 4 Cycle bus 308mj}}{\text{Iset}} = \frac{1240}{100} = 12,4$$

$$t_{ds} = T \times \left[\frac{A}{M^2 - 1} + B \right]$$

$$0,1 = T \times \left[\frac{80}{12.4^2 - 1} \right]$$

$$T = \frac{0.1}{0,52}$$

$$T = 0.19$$

 $T \ge 0.19$ Dipilih T = 0.19

Instantaneous Pickup

$$1.1 \times FLA$$
 $< I_{\gg} <$ 0.8 × Isc Min 30 Cycle bus 354m 1.1×32.4 $< I_{\gg} <$ 0.8 × 778

$$35,64 < I_{\gg} < 622,4$$

Dipilih untuk kondisi rele definite 200 A (*Rrange 1 - 32 x TOC pickup*, dengan step 0,1)

Trip Range:

$$trip = \frac{I_{\gg}}{\text{Iset}} = \frac{200}{100} = 2$$

Time Delay

Pengaturan waktu (t>>) = 0.1 s

Recloser Trimbawan

Manufaktur : Cooper F6
Kurva : IEC Inverse

Rasio CT : 200/1

Isc Min 30 Cycle bus 304mj = 1155 A Isc Max 4 Cycle bus 197mj = 1173 A

FLA = 32.8 A

Recloser ini berfungsi sebagai pengaman utama untuk saluran utama dari gangguan seperti sambaran petir, dan yang sering terjadi yaitu cabang-cabang pepohonan menyentuh konduktor karena tertiup angin . Pada recloser ini menggunakan kurva IEC Inverse dengan FLA sebesar 32,8 A. Perhitungan resetting recloser matahari adalah sebagai berikut :

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA$$
 < Iset < 0,8 x Isc min 30 cycle bus 304

$$1,05 \times 32,8$$
 < Iset < $0,8 \times 1151$

Dipilih Iset = 150 A (Range 5 - 800 dengan step 1)

Time Dial

Waktu Operasi =
$$t_{ds} = 0.1 \text{ s}$$

$$T = Time Dial$$

Iset = 150 A

$$M = \frac{I}{Is} = \frac{\text{Isc Max 4 Cycle bus 197mj}}{\text{Iset}} = \frac{1173}{150} = 7,82$$

$$t_{ds} = T \times \left[\frac{A}{M^2 - 1} + B \right]$$

$$0.1 = T \times \left[\frac{80}{7.82^2 - 1} \right]$$

$$T = \frac{0.1}{1.32}$$

$$T = 0.07$$

$$T \ge 0.07$$
 Dipilih $T = 0.07$

Instantaneous Pickup

$$1.1 \times FLA < I_{\gg} < 0.8 \times Isc Min 30 Cycle bus 304mj$$

$$1.1 \times 32.8$$
 $< I_{\gg} <$ 0.8×1155 $< I_{\gg} <$ 924

Dipilih untuk kondisi rele definite **250** A (*Rrange 1 - 32 x TOC pickup*, dengan step 0,1)

Trip Range:

$$trip = \frac{I_{\gg}}{1set} = \frac{250}{150} = 1.6$$

Time Delay

Pengaturan waktu (t>>) = 0.3 s

Relay 1mj

Manufaktur

Model

Kurva

Rasio CT

Isc Min 30 Cycle bus 188mj Isc Max 4 Cycle bus 188mj

FLA

: Areva

: P125

: Standard Inverse Time

: 400/5

= 977 A

= 1128 A

 $=\frac{kVA}{\sqrt{3}kV}=\frac{10000}{\sqrt{3}20}=288.67 A$

Time Over current Pickup

$$\frac{1,05 \times FLA}{400} In \quad < Iset < \quad \frac{0,8 \, Isc \, Min \, 30 \, Cycle \, bus \, 188}{400}$$

$$\frac{1,05 \times 288,67}{400} In \quad < Iset < \quad \frac{0,8 \times 977}{400} In$$

$$\frac{303,10}{400} In \quad < Tap < \quad \frac{871,6}{400} In$$

Nilai actual Iset = $0.76 \times 400 = 304 \text{ A}$

0.75 In < Tap < 1.95 In

Dipilih Tap = 0.76 In (Range CT 0.001 - 1 dengan step 0.005)

Time Dial

Waktu Operasi = $t_{ds} = 0.5 \text{ s}$

T = Time Dial

$$\frac{I}{Is} = \frac{\text{Isc Max 4 cycle Bus 188mj}}{\text{Iset}} = \frac{1128}{304} = 3,7$$

 $t_{ds} = \frac{0.14 \times T}{\left[\left(\frac{I}{IS}\right)^{0.02} - 1\right]}$

 $0.5 = \frac{0.14 \times T}{[(3.7)^{0.02} - 1]}$

 $T = \frac{0.5 \times [(3.7)^{0.02} - 1]}{0.14}$

T = 0.09

 $T \ge 0.09$ Dipilih T = 0.09 (Range T 0.001 sampai 1 dengan step 0.025)

Instantaneous Pickup

$$\begin{array}{ll}
\text{Standareous } I \text{ CKup} \\
< I_{\text{N}} < & 0.8 \times Isc \text{ Min Bus } 188 \\
< I_{\text{N}} < & 0.8 \times 977 \\
\hline
< Tap < & 781.6 \\
\hline
400 & In
\end{array}$$

< Tap < 1,95 In

Dipilih Tap = 1,5 In (Pickup range CT 0.01 - 8 dengan step 0.005)

Nilai Aktual Iset = 600 A



Pengaturan waktu (t>>) = 0.5 s

Relay 2mj

Manufaktur

Model

Kurva

Rasio CT

Isc Min 30 Cycle bus 187mj Isc Max 4 Cycle bus 187mjj

FLA

: Areva

: P125

: Standard Inverse Time

: 400/5

= 2962 A= 3420 A

 $= \frac{kVA}{\sqrt{3} kV} = \frac{10000}{\sqrt{3} 20} = 288.67 A$

Time Over current Pickup

Dipilih Tap = 0.76 In (Range CT 0.001 – 1 dengan step 0.005)

Nilai actual Iset = $0.76 \times 400 = 304 \text{ A}$

Time Dial

Waktu Operasi = $t_{ds} = 0.7 \text{ s}$

T = Time Dial

$$\frac{I}{Is} = \frac{\text{Isc Max 4 cycle Bus 187mj}}{\text{Iset}} = \frac{3420}{304} = 11,25$$

$$t_{ds} = \frac{0.14 \times \overline{T}}{\left[\left(\frac{I}{IS}\right)^{0.02} - 1\right]}$$

$$0.7 = \frac{0.14 \times T}{[(11,25)^{0.02} - 1]}$$

$$T = \frac{0.7 \times [(11,25)^{0.02} - 1]}{0.14}$$

$$T = 0.24$$

 $T \ge 0.24$ Dipilih T = 0.24 (Range T 0.001 sampai 1 dengan step 0.025)

Instantaneous Pickup

Dipilih Tap = 4 In (*Pickup range CT* 0.01 - 8 dengan step 0.005)

Nilai Aktual Iset = 1600 A

Time Delay

Pengaturan waktu (t>>) = 0.7 s

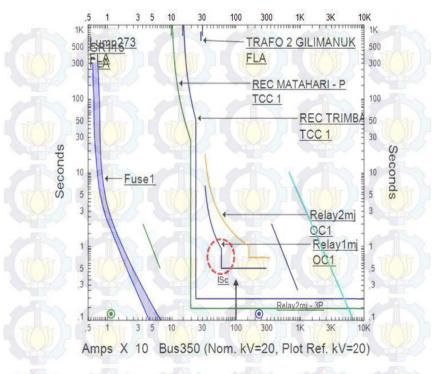
Tabel 4.8. Perbandingan Setting Rele sebelum dan sesudah penerapan

SFCL Tipikal 3

TO THE PERSON NAMED IN	Setting Relay		
Rele 1mj	Sebelum penerapan SFCL	Sesudah penerapan SFCL	
Manufaktur & Model	Areva p125	Areva p125	
Rasio CT	CT = 400/5	CT = 400/5	
Over current pickup (I>)	$0.76 \times 400 = 304$	$0.76 \times 400 = 304$	
Time dial	0,15	0,09	

Tabel 4.8. Perbandingan Setting Rele sebelum dan sesudah penerapan SFCL Tipikal 3 (lanjutan)

ATTA ATTA	Setting Relay		
Rele 1mj	Sebelum penerapan SFCL	Sesudah penerapan SFCL	
instantaneous pickup (I»)	3 x 400 = 1200	$1.5 \times 400 = 600$	
Time delay	0,5 s	0,5 s	
TATE DE TRATE DE	Setting	Relay	
Rele 2mj	Sebelum penerapan SFCL	Sesudah penerapan SFCL	
Manufaktur & Model	Areva p125	Areva p125	
Rasio CT	CT = 400/5	CT = 400/5	
Over current pickup (I>)	$0.76 \times 400 = 304$	$0.76 \times 400 = 304$	
Time dial	0,24	0,24	
instantaneous pickup (I»)	4 x 400 = 1600	4 x 400 = 1600	
Time delay	0,55 s	0,55 s	
	Setting Relay		
Recloser Matahari	Sebelum penerapan SFCL	Sesudah penerapan SFCL	
Manufaktur & Model	Cooper F6	Cooper F6	
Rasio CT	CT = 500/1	CT = 500/1	
Trip Low set	100	100	
Trip High set	$2 \times 100 = 200$	$2 \times 100 = 200$	
Time delay	0,1 s	0,1 s	
	Setting Relay		
Recloser Trimbawan	Sebelum penerapan SFCL	Sesudah penerapan SFCL	
Manufaktur & Model	Cooper F6	Cooper F6	
Rasio CT	CT = 500/1	CT = 500/1	
Trip Low set	150	150	
Trip High set	1,6 x 150 = 240	$1,6 \times 150 = 240$	
Time delay	0,3 s	0,3 s	



Gambar 4.20 Time current Curve setelah penerapan SFCL pada Tipikal

Dari hasil perhitungan ulang seperti yang terdapat pada Tabel 4.8 dan Gambar 4.20 merupkan data hasil perhitungan ulang yang diakibatkan oleh penerapan SFCL, dan pada gambar TCC tersebut merupkan kurva koordinasi antar peralatan pengaman. Pada Gambar 4.20 terdapat tanda lingkaran merah, tanda tersebut merupkan perubahan Tap yang semula Tap = 3 menjadi 1.5, ini disebabkan oleh pengaruh SFCL, arus hubung singkat yang telah direduksi oleh SFCL lebih kecil dari arus hubung singkat tanpa SFCL, sehingga apabila settingnya mengikuti settingan awal maka akibatnya arus hubung singkat akan menabrak kurva Inverse dari rele tersebut dan proses pembukaan CB menjadi lebih lama. Hal tersebut juga dapat mengakibatkan kerusakan peralatan.



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan data dan hasil analisa terhadap penerapan SFCL pada jaringan distribusi APJ Gilimanuk, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- 1. Superconducting Fault Current Limiter (SFCL) berfungsi untuk mengurangi besar arus gangguan, dengan prinsif kerja superkonduktifitasnya, pada kondisi normal (tanpa gangguan) resistansi pada SFCL bernilai 0 Ω (ohm) dan pada saat terjadi gangguan, resistansinya maksimum sesuai setting. Sehingga SFCL pada kondisi normal tidak membebani jaringan.
- 2. Pada Penyulang Gilimanuk dan Melaya, untuk mereduksi arus hubung singkat sebesar 3 kA peak dipasang SFCL dengan nilai resistansi sebesar 11 Ω (Ohm) dan proses recovery selama 0.49s pada SFCL Gilimanuk dan 0,59 pada SFCL Melaya. Berbeda dengan Penyulang Menjangan, nilai resistansi SFCL yang terpasang yaitu 12.59 Ω dan mampu meredusksi arus hubung singkat sebesar 3,2 kA peak dan proses recovery selama 0,59 s.
- 3. Dengan penerapan SFCL mengakibatkan nilai arus hubung singkat pada setiap bus menjadi berubah, tentunya diperlukan koordinasi dan perhitungan ulang agar relay-relay pengaman dapat berfungsi dan terkoordinasi dengan baik.

5.2 Saran

Dari hasil simulasi dan analisa maka penulis menyarankan beberapa hal berikut :

- 1. Agar lebih maksimal, SFCL diterapkan pada lokasi yang memiliki potensi arus hubung singkat terbesar.
- 2. Besar arus hubung singkat yang akan direduksi atau dikurangi harus memperhatikan batas minimum arus hubung singkatnya, sehingga nantinya arus yang hubung singkat yang dikurangi masih memenuhi syarat untuk setting koordinasi pada rele yang digunakan.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wahyudi, "Diktat Kuliah Pengaman Sistem Tenaga Listrik", Teknik Elektro ITS, Surbaya, Bab 2, 2004
- [2] Soeprijanto, Adi "Kestabilan Sistem Tenaga Listrik, Diktat Kuliah Analisis Sistem Tenaga Listrik 2", Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
- [3] Lazar irwin "Electrical System Analysis and Design for Industrial Plant", McGraw-Hill Inc., USA, Ch, 1, 1980
- [4] Anderson, P.M, "Power System Protection", John Wiley & Sons, Inc., Canada, Ch. 3, 1998
- [5] Phadke, Arun G, dan Thorp, James S, "Computer relaying for Power System", John Wiley and Sons, Ltd., England, Ch.2, 2009
- [6] Préve, Christope, "Protection for Electrical Network", ISTE Ltd., London, Ch. 7, 9, 2006
- [7] Instruction Manual "Multi-Functional Protective Relay with Bay Controller 7SJ62 V4.0/V4.1" Siemens. 1999
- [8] 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.
- [9] Superconducting Fault Current Limiters: Technology Watch 2009. EPRI, Palo Alto, CA: 2009. 1017793.
- [10] A. Rama devi, J. Nani Kumar, "Simulation of Resistive Superconducting Fault Current Limiter and its Performance Analysis in Three Phase System", International Journal of engineering Research & Technology (IJERT), Vol 2 Issue 11, november 2013.
- [11] S. B. Rhee, J. K. Lee, and B. W. Lee, "Impact Of Superconducting Fault Current Limiters On The Recloser Operation In Distribution Electrical Power System", IEEE Transaction On Applied Superconductivity, Vol.21, No.3, June 2011
- [12] M. Blair Steven, D. Booth, M. Burt Graeme, "Current-Time Characteristics of Resistive Superconducting Fault Current Limiter", IEEE.



