



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISA SETTING RELAI ARUS LEBIH DAN RELAI
GANGGUAN TANAH PADA PENYULANG SADEWA DI GI
CAWANG**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar ST

IRFAN AFFANDI

07 06 19 9445

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
KEKHUSUSAN ELEKTRO
DEPOK
JUNI 2009**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : IRFAN AFFANDI

NPM : 0706199445

Tanda Tangan :

Tanggal : 16 Juni 2009

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Irfan Affandi
NPM : 0706199445
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : **ANALISA SETTING RELAI ARUS LEBIH
DAN RELAI GANGGUAN TANAH PADA
PENYULANG SADEWA DI GI CAWANG**

**Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima
sebagai
bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana
Teknik pada Program Studi Elektro Fakultas Teknik, Universitas Indonesia**

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : BUDI SUDIARTO ST, MT (.....)
Penguji : (.....)
Penguji : (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 16 Juni 2009

UCAPAN TERIMAKASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan seminar ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Elektro pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis banyak mendapatkan bantuan baik materiil maupun moriil dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

- Ibu, Bapak , Nenek dan seluruh keluarga besar yang telah memberikan dukungan doa dan motivasi;
- Budi Sudiarto. ST .Msc., selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- Teman sekosan yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini terutama kepada Rudi,Ari, Candra, Patra, Budi, dan Dedi;
- Semua pihak yang telah membantu pembuatan skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Harapan penulis kiranya skripsi ini dapat memberikan pengetahuan yang bermanfaat bagi penulis khususnya dan pembaca pada umumnya. Semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan rahmat dan hidayah pada kita semua. Amin.

Depok, 16 Juni 2009

Penulis

Universitas Indonesia

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Irfan Affandi
NPM : 0706199445
Program Studi : Teknik Elektro
Departemen : Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**”ANALISA SETTING RELAI ARUS LEBIH DAN RELAI GANGGUAN
TANAH PADA PENYULANG SADEWA DI GI CAWANG”**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non eksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan seminar saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 16 Juni 2009

Yang menyatakan

(Irfan Affandi)

ABSTRAK

Nama : Irfan Affandi
Program Studi : Teknik Elektro
judul : **ANALISA SETTING RELAI ARUS LEBIH DAN RELAI GANGGUAN TANAH PADA PENYULANG SADEWA DI GI CAWANG**

Penyulang tegangan menengah adalah sarana untuk pendistribusian tenaga listrik dari gardu induk ke konsumennya. Tetapi dalam kenyataannya penyulang tersebut sering mengalami gangguan, diantaranya adalah gangguan hubung singkat. Oleh karena itu untuk melokalisasi gangguan tersebut diperlukan sistem proteksi yang memenuhi persyaratan sensitifitas, keandalan, selektifitas dan kecepatan, yang semuanya bergantung pada ketepatan setting peralatan proteksinya. Peralatan proteksi yang biasa digunakan untuk penyulang tegangan menengah adalah relai arus lebih (OCR) dan relai hubung tanah (GFR), yaitu relai yang berfungsi mengintruksikan PMT untuk membuka, sehingga SUTM / SKTM yang terganggu dipisahkan dari jaringan. Pada Proyek Akhir ini akan dibahas tentang perbandingan antara setting relai proteksi hasil perhitungan dengan setting proteksi yang terpasang pada penyulang SADEWA di GI Cawang.

Kata Kunci : proteksi, relai arus lebih, tegangan menengah,

ABSTRACT

Name : Irfan Affandi
Study Program: Eletrical
Title : **ANALYSIS SETTING OF OVER CURRENT RELAY AND GROUND FAULT RELAY AT SADEWA FEEDER IN CAWANG MAIN STATION.**

Medium voltage feeder is a media for distribute power electric from main station to the costumer. But in the fact, the feeders almost have a disturbance, such as short circuit disturbance. So is needed a protection system which is fullfill the qualification such as sesitivity, realibility, selectifity, and speed, which all of that depend on the accuration of tool protection setting. In general it used for medium voltage feeder are Over Current Relay (OCR) and Ground Fault Relay (GFR), that is relay which has fuction to instruction the PMT for open the circuit, so SUTM / SKTM which has disturbance separate from network. In this Final Project it will discuss about comparation between protection relay setting from calculate result and protection relay setting at SADEWA feeder in Cawang main station.

Key Word : Protection, over current relay, the middle voltage

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
UCAPAN TERIMAKASIH.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1. LATAR BELAKANG	1
1.2. TUJUAN PENULISAN.....	2
1.3. BATASAN MASALAH.....	2
1.4. METODOLOGI.....	3
1.5. SISTEMATIKA PENULISAN.....	3
BAB 2 LANDASAN TEORI.....	4
2.1. SISTEM PROTEKSI DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK.....	4
2.1.1. Pengertian Sistem Proteksi.....	4
2.1.2. Tujuan Sistem Proteksi.....	4
2.2. PERSYARATAN SISTEM PROTEKSI.....	5
2.3. GANGGUAN HUBUNG SINGKAT.....	8
2.3.1. Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat.....	9
2.3.1.1. Menghitung Impedansi.....	10
2.3.1.2. Menghitung Arus Gangguan Hubung Singkat.....	14
2.4. RELAI ARUS LEBIH.....	19
2.4.1. Pengertian Relai Arus lebih.....	19
2.4.2. Jenis Relai Berdasarkan Karakteristik Waktu.....	20
2.4.3. Prinsip Kerja OCR.....	22
2.4.4. Setting OCR.....	23
2.5. RELAI HUBUNG TANAH (GFR).....	25
2.5.1. Pengertian GFR.....	25
2.5.2. Prinsip Kerja GFR.....	26
2.5.3. Setting GFR.....	26
BAB 3 KARAKTERISTIK GARDU INDUK CAWANG.....	28
3.1. DATA TRAFU TENAGA.....	28
3.2. DATA OCR SISI 150 KV.....	28
3.3. DATA GFR SISI 150 KV.....	29
3.4. DATA OCR SISI 20 KV.....	29
3.5. DATA GFR SISI 20 KV.....	29
3.6. DIAGRAM SATU GARIS GARDU INDUK CAWANG.....	30

BAB 4 PERHITUNGAN DAN ANALISIS.....	31
4.1. PERHITUNGAN ARUS GANGGUAN HUBUNG SINGKAT.....	31
2.5.1. Menghitung Impedansi Sumber.....	31
2.5.2. Menghitung Reaktansi Trafo.....	32
2.5.3. Menghitung Impedansi Penyulang.....	33
2.5.4. Menghitung Impedansi Ekvivalen Jaringan.....	34
2.5.5. Menghitung Arus Gangguan Hubung Singkat.....	35
2.5.6. Analisis Arus Gangguan Hubung Singkat.....	39
4.2. PENYETELAN RELAI ARUS LEBIH DAN RELAI GANGGUAN TANAH.....	40
2.5.1. Setelan Relai Sisi Penyulang 20 kV.....	40
2.5.1. Setelan Relai Sisi Incoming 20 kV.....	41
4.3. PEMERIKSAAN WAKTU KERJA RELAI.....	45
2.5.1. Waktu Kerja Relai Pada Gangguan 3 Fasa.....	45
2.5.1. Waktu Kerja Relai Pada Gangguan 2 Fasa.....	46
2.5.1. Waktu Kerja Relai Pada Gangguan 1 Fasa Ke Tanah.....	48
2.5.1. Analisis Waktu Kerja Relai.....	52
4.4. PERBANDINGAN HASIL PERHITUNGAN DENGAN DATA DI LAPANGAN.....	55
BAB 5 KESIMPULAN	56

DAFTAR REFERENSI

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sketsa penyulang tegangan menengah.....	10
Gambar 2.2 Gambar konversi Xs dari 150 kV ke 20 kV.....	11
Gambar 2.3 Gangguan hubung singkat 3 fasa.....	14
Gambar 2.4 Hubungan jala-jala urutan Hubung singkat 3 Fasa.....	15
Gambar 2.5 Gangguan hubung singkat 2 fasa.....	16
Gambar 2.6 Hubungan jala-jala urutan Hubung singkat 2 Fasa.....	16
Gambar 2.7 Gangguan hubung singkat 1 fasa Ke Tanah.....	18
Gambar 2.8 Hubungan jala-jala urutan Hubung singkat 2 Fasa Ke Tanah.....	18
Gambar 2.9 Karakteristik Waktu Seketika.....	20
Gambar 2.10 Karakteristik Waktu tertentu.....	21
Gambar 2.11 Karakteristik Waktu Terbalik.....	21
Gambar 2.12 Rangkaian pengawatan relay arus lebih (OCR).....	22
Gambar 2.13 Karakteristik Relai Arus Lebih.....	25
Gambar 2.14 Rangkaian pengawatan relay GFR.....	26
Gambar 4.1 Penyulang SADEWA.....	32
Gambar 4.2 Kurva Arus Gangguan Hubung Singkat.....	40
Gambar 4.3 Kurva Pemeriksaan Waktu Kerja Relay untuk Gangguan 3 Fasa	51
Gambar 4.5 Kurva Pemeriksaan Waktu Kerja Relay untuk Gangguan 2 Fasa	52
Gambar 4.6 Kurva Pemeriksaan Waktu Kerja Relay untuk Gangguan 1 Fasa Ke Tanah.....	52

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Karakteristik Operasi Waktu kerja Relai Inverse Time.....	24
Tabel 3.1 Impedansi Jenis Penghantar Penyulang SADEWA.....	31
Tabel 3.2 Impedansi Penyulang Urutan Positif & Negatif (Z_1 & Z_2)	31
Tabel 4.1 Impedansi Penyulang urutan positif & negatif)	33
Tabel 4.2 Impedansi Penyulang Urutan Nol.....	33
Tabel 4.3 Impedansi Ekuivalen $Z_{1\text{ eq}}$ ($Z_{2\text{ eq}}$).....	34
Tabel 4.4 Impedansi Ekuivalen Z_{0e}	34
Tabel 4.5 Arus Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa.....	35
Tabel 4.6 Arus Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa.....	37
Tabel 4.7 Arus Gangguan Hubung Singkat 1Fasa ketanah.....	38
Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Arus Hubung Singkat.....	39
Tabel 4.9 Pemeriksaan Waktu Kerja Relai Untuk Gangguan 3 Fasa	49
Tabel 4.10 Pemeriksaan Waktu Kerja Relai Untuk Gangguan 2 Fasa	50
Tabel 4.11 Pemeriksaan Waktu Kerja Relai Untuk Gangguan 1 Fasa ketanah.....	51
Tabel 4.12 Hasil Perhitungan Arus Hubung Singkat Penyulang SADEWA.....	52
Tabel 4.13 Arus Hubung Singkat Existing Penyulang SADEWA.....	53
Tabel 4.14 Tabel Hasil Perhitungan Dan Lapangan.....	54
	55

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG MASALAH

Jaringan SUTM bisa ditarik sepanjang puluhan sampai ratusan km termasuk percabangannya dan biasanya ada diluar kota besar. Seperti diketahui, apalagi di Indonesia, jaringan dengan konduktor telanjang yang digelar di udara bebas banyak mengandung resiko terjadi gangguan hubung singkat fasa-fasa atau satu fasa-tanah. Disepanjang jaringan SUTM terdapat percabangan yang dibentuk didalam gardu distribusi atau gardu tiang.

Jaringan SKTM relatif lebih pendek dan berada didalam kota besar dengan jumlah gangguan yang relatif sedikit. Bila terjadi gangguan itu biasanya pada sambungan dan akan menjadi gangguan permanen. Pada jaringan SKTM juga terdapat gardu distribusi untuk percabangan ke beban konsumen atau percabangan SKTM.

Khususnya di Gardu induk Cawang menggunakan 3 buah trafo yang memasok beberapa penyulang. salah satunya penyulang SADEWA. Oleh sebab itu diperlukan penyetelan relai yang baik agar relai dapat memproteksi peralatan-peralatan listrik yang lain dari arus gangguan hubung singkat maupun beban lebih.

Besarnya Arus Gangguan Hubung Singkat yang mungkin terjadi didalam suatu sistem kelistrikan perlu diketahui sebelum gangguan yang sesungguhnya terjadi. Hal ini biasanya dipakai dalam perencanaan peralatan instalasi tenaga, misalnya menentukan Spesifikasi PMT, Konduktor yang digunakan, Kapasitas thermal dari trafo arus dan lain-lain.

Dari segi perusahaan, besarnya arus gangguan hubung singkat ditiap titik didalam jaringan juga diperlukan, diantaranya untuk menghitung penyetelan relai proteksi.

Untuk keperluan Penyetelan relai proteksi, arus gangguan yang dihitung tidak hanya pada titik gangguan, tapi juga kontribusinya (Arus gangguan yang mengalir di tiap cabang dalam jaringan yang menuju ke titik gangguan). Untuk itu diperlukan cara menghitung Arus Gangguan Hubung Singkat yang dapat segera membantu dalam perhitungan penyetelan relai Proteksi.

Berdasarkan hal tersebut penulis mencoba untuk menulis skripsi yang berjudul *Analisa Setting Relai Arus Lebih dan Relai Gangguan Tanah Pada Penyulang SADEWA di Gardu Induk Cawang.*

1.2. TUJUAN PENULISAN

- Menghitung arus gangguan hubung singkat pada distribusi 20 kV.
- Menentukan penyetelan relai arus lebih dan relai gangguan tanah yang dipasang pada penyulang SADEWA di GI Cawang.
- Mengetahui waktu kerja relai terhadap titik gangguan tertentu pada penyulang SADEWA di GI Cawang.
- Membandingkan hasil perhitungan setting relai arus lebih dan relai gangguan tanah dengan realisasi di lapangan.

1.3. BATASAN MASALAH

Agar masalah yang akan dibahas menjadi jelas dan tidak banyak menyimpang dari topik yang akan dibahas, maka dalam penulisan skripsi ini penulis menekankan, bahwa hal yang akan dibahas adalah :

- Pembahasan hanya pada penyulang SADEWA di GI Cawang.
- Berapa besar nilai settingan relai arus lebih dan relai gangguan tanah.

1.4. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian yang digunakan dalam penyusunan skripsi ini, antara lain adalah : Studi literatur, pengamatan konfigurasi pada wilayah yang dilayani oleh penyulang di PT. PLN (Persero) UPT Jakarta Timur, survey data historis pada penyulang, perhitungan dan analisa data, membandingkan setting relai arus lebih dan relai gangguan tanah hasil perhitungan dengan realisasi di lapangan, Serta mencari penyebab sering terjadinya gangguan pada Penyulang SADEWA di Gardu Induk Cawang.

1.5. SISTEMATIKA PENULISAN

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini membahas mengenai latar belakang, tujuan penulisan, batasan masalah, dan sistematika penulisan untuk memberikan gambaran umum mengenai penulisan skripsi ini.

BAB II DASAR TEORI

Dibahas mengenai dasar-dasar teori yang mendukung terhadap sistem proteksi kubikel Gardu Induk sisi 20 kV.

BAB III DATA OBSERVASI

Pada bab ini akan di uraikan tentang data GI Cawang dan penyulang nya.

BAB IV PENGOLAHAN DATA DAN ANALISA

Pada bab ini akan diuraikan tentang perhitungan arus hubung singkat pada relai arus lebih dan relai gangguan tanah serta analisa grafik relai arus lebih dan menentukan setting relai arus lebih yang baik berdasarkan hasil perhitungan dan membandingkannya dengan realisasi di lapangan.

BAB V KESIMPULAN

Bab ini berisi kesimpulan.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Sistem Proteksi Distribusi Tenaga Listrik

2.1.1 Pengertian Sistem Proteksi

Secara umum pengertian sistem proteksi ialah cara untuk mencegah atau membatasi kerusakan peralatan terhadap gangguan, sehingga kelangsungan penyaluran tenaga listrik dapat dipertahankan.

Sistem proteksi penyulang tegangan menengah ialah pengamanan yang terdapat pada sel-sel tegangan menengah di Gardu Induk dan pengaman yang terdapat pada jaringan tegangan menengah. Penyulang tegangan menengah ialah penyulang tenaga listrik yang berfungsi untuk mendistribusikan tenaga listrik tegangan menengah (6 kV – 20 kV), yang terdiri dari :

- Saluran udara tegangan menengah (SUTM)
- Saluran kabel tegangan menengah (SKTM)

2.1.2 Tujuan sistem proteksi

Gangguan pada sistem distribusi tenaga listrik hampir seluruhnya merupakan gangguan hubung singkat, yang akan menimbulkan arus yang cukup besar. Semakin besar sistemnya semakin besar gangguannya. Arus yang besar bila tidak segera dihilangkan akan merusak peralatan yang dilalui arus gangguan. Untuk melepaskan daerah yang terganggu itu maka diperlukan suatu sistem proteksi, yang pada dasarnya adalah alat pengaman yang bertujuan untuk melepaskan atau membuka sistem yang terganggu, sehingga arus gangguan ini akan padam. Adapun tujuan dari sistem proteksi antara lain :

- Untuk menghindari atau mengurangi kerusakan akibat gangguan pada peralatan yang terganggu atau peralatan yang dilalui oleh arus gangguan.
- Untuk melokalisir (mengisolir) daerah gangguan menjadi sekecil mungkin.

- Untuk dapat memberikan pelayanan listrik dengan keandalan yang tinggi kepada konsumen. Serta memperkecil bahaya bagi manusia

2.2 Persyaratan Sistem Proteksi

Tujuan utama sistem proteksi adalah :

- Mendeteksi kondisi abnormal (gangguan)
- Mengisolir peralatan yang terganggu dari sistem.

Persyaratan terpenting dari sistem proteksi yaitu :

A. Kepekaan (sensitivity)

Pada prinsipnya relay harus cukup peka sehingga dapat mendeteksi gangguan di kawasan pengamanannya, termasuk kawasan pengamanan cadangan-jauhnya, meskipun dalam kondisi yang memberikan deviasi yang minimum.

Untuk relay arus-lebih hubung-singkat yang bertugas pula sebagai pengaman cadangan jauh bagi seksi berikutnya, relay itu harus dapat mendeteksi arus gangguan hubung singkat dua fasa yang terjadi diujung akhir seksi berikutnya dalam kondisi pembangkitan minimum.

Sebagai pengaman peralatan seperti motor, generator atau trafo, relay yang peka dapat mendeteksi gangguan pada tingkatan yang masih dini sehingga dapat membatasi kerusakan. Bagi peralatan seperti tsb diatas hal ini sangat penting karena jika gangguan itu sampai merusak besi laminasi stator atau inti trafo, maka perbaikannya akan sangat sukar dan mahal.

Sebagai pengaman gangguan tanah pada SUTM, relay yang kurang peka menyebabkan banyak gangguan tanah, dalam bentuk sentuhan dengan pohon yang tertiuap angin, yang tidak bisa terdeteksi. Akibatnya, busur apinya berlangsung lama dan dapat menyambar ke fasa lain, maka relay hubung-singkat yang akan bekerja. Gangguan sedemikian bisa terjadi berulang kali di tempat yang sama yang dapat mengakibatkan kawat cepat putus. Sebaliknya, jika terlalu peka, relay akan terlalu sering trip untuk gangguan yang sangat kecil yang mungkin bisa hilang sendiri atau risikonya dapat diabaikan atau dapat diterima.

B. Keandalan (Reliability)

Ada 3 aspek :

b.1 Dependability

Yaitu tingkat kepastian bekerjanya (Keandalan kemampuan bekerjanya). Pada prinsipnya pengaman harus dapat diandalkan bekerjanya (dapat mendeteksi dan melepaskan bagian yang terganggu), tidak boleh gagal bekerja. Dengan kata lain perkataan dependability-nya harus tinggi.

b.2 Security

Yaitu tingkat kepastian untuk tidak salah kerja (keandalan untuk tidak salah kerja). Salah kerja adalah kerja yang semestinya tidak harus kerja, misalnya karena lokasi gangguan di luar kawasan pengamanannya atau sama sekali tidak ada gangguan atau kerja yang terlalu cepat atau terlalu lambat. Salah kerja mengakibatkan pemadaman yang sebenarnya tidak perlu terjadi. Jadi pada prinsipnya pengaman tidak boleh salah kerja, dengan lain perkataan security-nya harus tinggi.

b.3 Availabilty

Yaitu perbandingan antara waktu di mana pengaman dalam keadaan berfungsi/siap kerja dan waktu total dalam operasinya.

Dengan relay elektromekanis, jika rusak/tak berfungsi, tak diketahui segera. Baru diketahui dan diperbaiki atau diganti. Disamping itu, sistem proteksi yang baik juga juga dilengkapi dengan kemampuan mendeteksi terputusnya sirkit trip, sirkit sekunder arus, dan sirkit sekunder tegangan serta hilangnya tegangan serta hilangnya tegangan searah (DC voltage), dan memberikan alarm sehingga bisa diperbaiki, sebelum kegagalan proteksi dalam gangguan yang sesungguhnya, benar-benar terjadi. Jadi availability dan keandalannya tinggi.

C. Selektifitas (Selectivity)

Pengaman harus dapat memisahkan bagian sistem yang terganggu sekecil mungkin yaitu hanya seksi atau peralatan yang terganggu saja yang termasuk dalam kawasan pengamanannya utamanya. Pengamanan sedemikian disebut pengaman yang selektif.

Jadi relay harus dapat membedakan apakah:

- Gangguan terletak di kawasan pengamanannya dimana ia harus bekerja cepat.
- Gangguan terletak di seksi berikutnya dimana ia harus bekerja dengan waktu tunda (sebagai pengaman cadangan) atau menahan diri untuk tidak trip.
- Gangguannya diluar daerah pengamanannya, atau sama sekali tidak ada gangguan, dimana ia tidak harus bekerja sama sekali.

Untuk itu relay-relay, yang didalam sistem terletak secara seri, di koordinir dengan mengatur peningkatan waktu (time grading) atau peningkatan setting arus (current grading), atau gabungan dari keduanya.

Untuk itulah rele dibuat dengan bermacam-macam jenis dan karakteristiknya. Dengan pemilihan jenis dan karakteristik rele yang tepat, spesifikasi trafo arus yang benar, serta penentuan setting rele yang terkoordinir dengan baik, selektifitas yang baik dapat diperoleh.

Pengaman utama yang memerlukan kepekaan dan kecepatan yang tinggi, seperti pengaman transformator tenaga, generator, dan busbar pada sistem tegangan ekstra tinggi (TET) dibuat berdasarkan prinsip kerja yang mempunyai kawasan pengamanannya yang batasnya sangat jelas dan pasti, dan tidak sensitif terhadap gangguan diluar kawasannya, sehingga sangat selektif, tapi tidak bisa memberikan pengamanannya cadangan bagi seksi berikutnya. Contohnya pengaman differensial.

D. Kecepatan (speed)

Untuk memperkecil kerugian/kerusakan akibat gangguan, maka bagian yang terganggu harus dipisahkan secepat mungkin dari bagian sistem

lainnya. Waktu total pembebasan sistem dari gangguan adalah waktu sejak munculnya gangguan, sampai bagian yang terganggu benar-benar terpisah dari bagian sistem lainnya.

Kecepatan itu penting untuk:

- Menghindari kerusakan secara termis pada peralatan yang dilalui arus gangguan serta membatasi kerusakan pada alat yang terganggu.
- Mempertahankan kestabilan sistem
- Membatasi ionisasi (busur api) pada gangguan disaluran udara yang akan berarti memperbesar kemungkinan berhasilnya penutupan balik PMT (reclosing) dan mempersingkat dead timenya (interval waktu antara buka dan tutup).

Untuk menciptakan selektifitas yang baik, mungkin saja suatu pengaman terpaksa diberi waktu tunda (td) namun waktu tunda tersebut harus sesingkat mungkin (seperlunya saja) dengan memperhitungkan resikonya.

2.3 Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubungan singkat yang mungkin terjadi dalam jaringan (Sistem kelistrikan) yaitu [1]:

1. Gangguan hubungan singkat tiga fasa
2. Gangguan hubungan singkat dua fasa
3. Gangguan hubungan singkat satu fasa ke tanah

Semua gangguan hubungan singkat diatas, arus gangguannya dihitung dengan menggunakan rumus dasar yaitu :

$$I = \frac{V}{Z} \dots\dots\dots(2.1)[1]$$

Dimana

I = Arus yang mengalir pada hambatan Z (A)

V = Tegangan sumber (V)

Z = Impedansi jaringan, nilai ekuivalen dari seluruh impedansi di dalam jaringan dari sumber tegangan

sampai titik gangguan (ohm)

Yang membedakan antara gangguan hubungan singkat tiga fasa, dua fasa dan satu fasa ke tanah adalah impedansi yang terbentuk sesuai dengan macam gangguan itu sendiri, dan tegangan yang memasok arus ke titik gangguan.

Impedansi yang terbentuk dapat ditunjukkan seperti berikut ini :

$$Z \text{ untuk gangguan tiga fasa, } Z = Z_1$$

$$Z \text{ untuk gangguan dua fasa, } Z = Z_1 + Z_2$$

$$Z \text{ untuk gangguan satu fasa, } Z = Z_1 + Z_2 + Z_0 \dots\dots\dots (2.2)[1]$$

Dimana:

Z_1 = Impedansi urutan positif (ohm)

Z_2 = Impedansi urutan negatif (ohm)

Z_0 = Impedansi urutan nol. (ohm)

2.3.1 Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat

Perhitungan arus gangguan hubung singkat adalah analisa suatu sistem tenaga listrik pada saat dalam keadaan gangguan hubung singkat, dimana nantinya akan diperoleh besar nilai besaran – besaran listrik yang dihasilkan sebagai akibat gangguan hubung singkat tersebut[1]. Gangguan hubung singkat dapat didefinisikan sebagai gangguan yang terjadi akibat adanya penurunan kekuatan dasar isolasi (*basic insulation strength*) antara sesama kawat fasa, atau antara kawat fasa dengan tanah, yang menyebabkan kenaikan arus secara berlebihan atau biasa juga disebut gangguan arus lebih.

Perhitungan arus gangguan hubung singkat sangat penting untuk mempelajari sistem tenaga listrik baik pada waktu perencanaan maupun setelah beroperasi nantinya. Perhitungan arus hubung singkat dibutuhkan untuk :

- Setting dan koordinasi peralatan proteksi
- Menentukan kapasitas alat pemutus daya
- Menentukan rating hubung singkat peralatan – peralatan yang digunakan
- Menganalisa sistem jika ada hal – hal yang tidak baik yang terjadi pada waktu sistem sedang beroperasi.

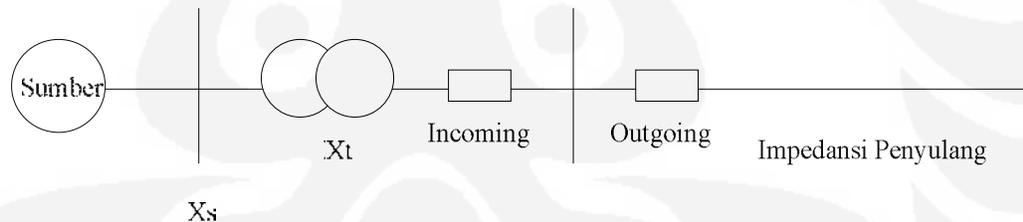
Untuk menghitung arus gangguan hubung singkat pada sistem seperti diatas dilakukan dengan beberapa tahap perhitungan, yaitu sebagai berikut :

2.3.1.1 Menghitung Impedansi

Dalam menghitung impedansi dikenal tiga macam impedansi urutan yaitu :

- Impedansi urutan positif (Z_1), yaitu impedansi yang hanya dirasakan oleh arus urutan positif.
- Impedansi urutan negatif (Z_2), yaitu impedansi yang hanya dirasakan oleh arus urutan negatif.
- Impedansi urutan nol (Z_0), yaitu impedansi yang hanya dirasakan oleh urutan nol.

Sebelum melakukan perhitungan arus hubung singkat, maka kita harus memulai perhitungan pada rel daya tegangan primer di gardu induk untuk berbagai jenis gangguan, kemudian menghitung pada titik – titik lainnya yang letaknya semakin jauh dari gardu induk tersebut. Untuk itu diperlukan pengetahuan mengenai dasar impedansi urutan rel daya tegangan tinggi atau bisa juga disebut sebagai impedansi sumber, impedansi transformator, dan impedansi penyulang.



Gambar 2.1 Sketsa penyulang tegangan menengah

Dimana :

X_s = Impedansi sumber (ohm)

X_T = Impedansi Transformator (ohm)

a) Impedansi sumber

Untuk menghitung impedansi sumber di sisi bus 20 kV, maka harus dihitung dulu impedansi sumber di bus 150 kV. Impedansi sumber di bus 150 kV diperoleh dengan rumus :

$$X_s = \frac{kV^2}{MVA} \dots\dots\dots(2.3)[1]$$

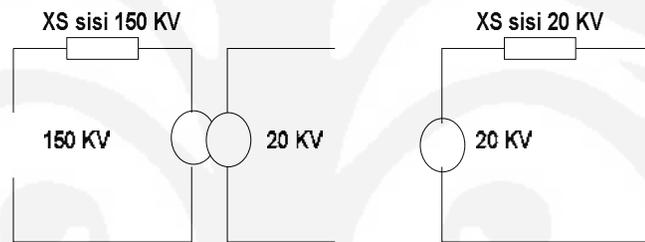
Dimana :

X_s = Impedansi sumber (ohm)

kV^2 = Tegangan sisi primer trafo tenaga (kV)

MVA = Data hubung singkat di bus 150 kV (MVA)

Arus gangguan hubung singkat di sisi 20 kV diperoleh dengan cara mengkonversikan dulu impedansi sumber di bus 150 kV ke sisi 20 kV. Untuk mengkonversikan Impedansi yang terletak di sisi 150 kV ke sisi 20 kV, dapat dihitung dengan menggunakan rumus :



Gambar 2.2 konversi X_s dari 150 kV ke 20 kV

$$X_s(\text{sisi } 20kV) = \frac{20^2}{150^2} \times X_s(\text{sisi } 150kV) \dots\dots\dots(2.4)[1]$$

b) Impedansi transformator

Pada perhitungan impedansi suatu transformator yang diambil adalah harga reaktansinya, sedangkan tahananannya diabaikan karena harganya kecil.

Untuk mencari nilai reaktansi trafo dalam Ohm dihitung dengan cara sebagai berikut

Langkah pertama mencari nilai ohm pada 100% untuk trafo pada 20 kV, yaitu dengan menggunakan rumus :

$$X_t(\text{pada } 100\%) = \frac{kV^2}{MVA} \dots\dots\dots(2.5)[1]$$

Dimana :

X_t = Impedansi trafo tenaga (ohm)

kV^2 = Tegangan sisi sekunder trafo tenaga (kV)

MVA = Kapasitas daya trafo tenaga (MVA)

Lalu tahap selanjutnya yaitu mencari nilai reaktansi tenaganya :

- Untuk menghitung reaktansi urutan positif dan negatif ($X_{t1} = X_{t2}$) dihitung dengan menggunakan rumus :

$$X_t = \% \text{ yang diketahui } \times X_t(\text{pada } 100\%)$$

- Sebelum menghitung reaktansi urutan nol (X_{t0}) terlebih dahulu harus diketahui data trafo tenaga itu sendiri yaitu data dari kapasitas belitan delta yang ada dalam trafo :
 - Untuk trafo tenaga dengan hubungan belitan ΔY dimana kapasitas belitan delta sama besar dengan kapasitas belitan Y, maka $X_{t0} = X_{t1}$
 - Untuk trafo tenaga dengan hubungan belitan Y_{yd} dimana kapasitas belitan delta (d) biasanya adalah sepertiga dari kapasitas belitan Y (belitan yang dipakai untuk menyalurkan daya, sedangkan belitan delta tetap ada di dalam tetapi tidak dikeluarkan kecuali satu terminal delta untuk ditanahkan), maka nilai $X_{t0} = 3 \times X_{t1}$.
 - Untuk trafo tenaga dengan hubungan belitan YY dan tidak mempunyai belitan delta di dalamnya, maka untuk menghitung besarnya X_{t0} berkisar antara 9 s/d $14 \times X_{t1}$ (2.6)[1]

c) Impedansi penyulang

Untuk perhitungan impedansi penyulang, perhitungannya tergantung dari besarnya impedansi per km dari penyulang yang akan dihitung, dimana besar nilainya tergantung pada jenis penghantarnya, yaitu dari bahan apa penghantar tersebut dibuat dan juga tergantung dari besar kecilnya penampang dan panjang penghantarnya.

Disamping itu penghantar juga dipengaruhi perubahan temperatur dan konfigurasi dari penyulang juga sangat mempengaruhi besarnya impedansi penyulang tersebut. Contoh besarnya nilai impedansi suatu penyulang : $Z = (R + jX)$

Sehingga untuk impedansi penyulang dapat ditentukan dengan menggunakan rumus

- Urutan positif dan urutan negatif

$$Z1 = Z2 = \text{\% panjang} \times \text{panjang penyulang (km)} \times Z1 / Z2 \text{ (ohm)} \dots (2.7)[1]$$

Dimana :

$Z1$ = Impedansi urutan positif (ohm)

$Z2$ = Impedansi urutan negatif (ohm)

➤ Urutan nol

$$Z_0 = \text{\% panjang} \times \text{panjang penyulang (km)} \times Z_0 \text{ (ohm)} \dots (2.8)[1]$$

Dimana :

Z_0 = Impedansi urutan nol (ohm)

d) Impedansi ekivalen jaringan

Perhitungan yang akan dilakukan di sini adalah perhitungan besarnya nilai impedansi ekivalen positif, negatif dan nol dari titik gangguan sampai ke sumber.

Karena dari sejak sumber ke titik gangguan impedansi yang terbentuk adalah tersambung seri maka perhitungan Z_{1eq} dan Z_{2eq} dapat langsung dengan cara menjumlahkan impedansi tersebut, sedangkan untuk perhitungan Z_{0eq} dimulai dari titik gangguan sampai ke trafo tenaga yang netralnya ditanahkan. Akan tetapi untuk menghitung impedansi Z_{0eq} ini, harus diketahui dulu hubungan belitan trafonya.

Sehingga untuk impedansi ekivalen jaringan dapat dihitung dengan menggunakan rumus

➤ Urutan positif dan urutan negative ($Z_{1eq} = Z_{2eq}$)

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = Z_{S1} + Z_{t1} + Z_1 \text{ penyulang} \dots (2.9)[1]$$

Dimana :

Z_{1eq} = Impedansi ekivalen jaringan urutan positif (ohm)

Z_{2eq} = Impedansi ekivalen jaringan urutan negatif (ohm)

Z_{S1} = Impedansi sumber sisi 20 kV (ohm)

Z_{t1} = Impedansi trafo tenaga urutan positif dan negatif (ohm)

$Z1$ = Impedansi urutan positif dan negatif (ohm)

➤ Urutan nol

$$Z_{0eq} = Z_{t0} + 3RN + Z_0 \text{ penyulang} \dots (2.10)[1]$$

Dimana :

Z_{0eq} = Impedansi ekivalen jaringan nol (ohm)

Z_{t0} = Impedansi trafo tenaga urutan nol (ohm)

RN = Tahanan tanah trafo tenaga (ohm)

Z_0 = Impedansi urutan nol (ohm)

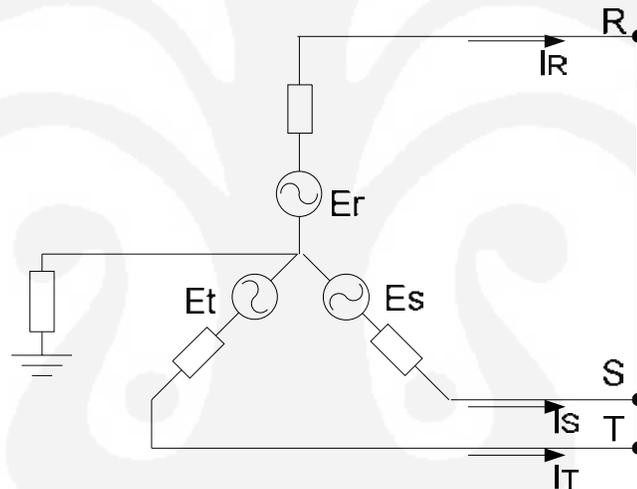
2.3.1.2 Menghitung Arus Gangguan Hubung Singkat

Perhitungan arus gangguan hubung singkat dapat dihitung dengan menggunakan rumus dasar, impedansi ekuivalen mana yang dimasukkan ke dalam rumus dasar tersebut adalah jenis gangguan hubung singkat tiga fasa, dua fasa, atau satu fasa ke tanah. Sehingga formula yang digunakan untuk perhitungan arus hubung singkat tiga fasa, dua fasa, dan satu fasa ketanah berbeda.

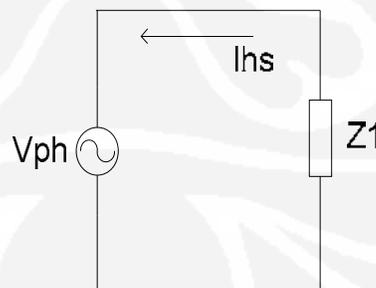
a) Perhitungan arus gangguan hubung singkat tiga fasa

Rangkaian gangguan tiga fasa pada suatu jaringan dengan hubungan transformator tenaga YY dengan netral ditanahkan melalui suatu tahanan.

Ditunjukkan pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.3. Gangguan hubung singkat 3 fasa



Gambar 2.4. Hubungan jala-jala urutan untuk gangguan hubung singkat 3 fasa

Rumus dasar yang digunakan untuk menghitung besarnya arus gangguan hubung singkat tiga fasa adalah :

$$I = \frac{V}{Z} \dots\dots\dots(2.11)[1]$$

Sehingga arus gangguan hubung singkat tiga fasa dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$I_{3\text{fasa}} = \frac{V_{ph}}{Z_{1eq}} \dots\dots\dots(2.12)[1]$$

Dimana :

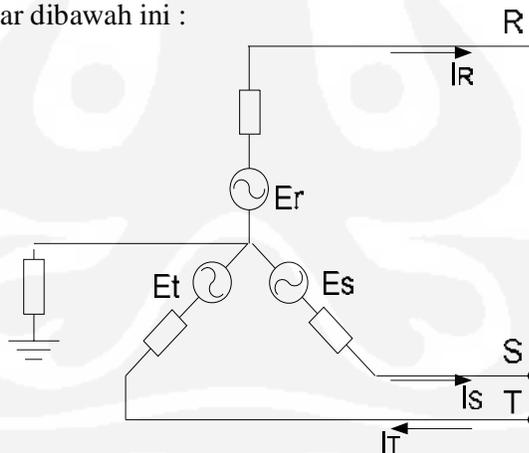
$I_{3\text{fasa}}$ = Arus gangguan hubung singkat tiga fasa (A)

V_{ph} = Tegangan fasa - netral sistem 20kV = $\frac{20.000}{\sqrt{3}}$ (V)

Z_{1eq} = Impedansi ekivalen urutan positif (ohm)

b) Perhitungan arus gangguan hubung singkat dua fasa

Gangguan hubung singkat 2 fasa pada saluran tenaga dengan hubungan transformator YY dengan netral ditanahkan melalui RNGR, ditunjukkan pada gambar dibawah ini :



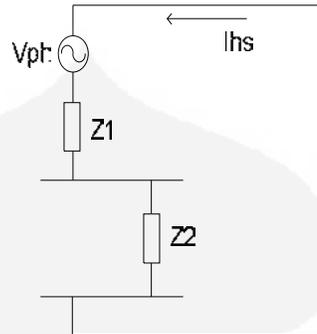
Gambar 2.5. Gangguan hubung singkat 2 fasa

Persamaan pada kondisi gangguan hubung singkat 2 fasa ini adalah :

$$V_S = V_T$$

$$I_R = 0$$

$$I_S = -I_T$$



Gambar 2.6. Hubungan jala-jala urutan untuk gangguan hubung singkat 2 fasa

Rumus dasar yang digunakan untuk menghitung besarnya arus gangguan hubung singkat dua fasa adalah :

$$I = \frac{V}{Z} \dots\dots\dots(2.13)[1]$$

Sehingga arus gangguan hubung singkat dua fasa dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$I_{2\text{ fasa}} = \frac{V_{ph-ph}}{Z_{1eq} + Z_{2eq}} \dots\dots\dots(2.14)[1]$$

Karena $Z_{1eq} = Z_{2eq}$, maka :

$$I_{2\text{ fasa}} = \frac{V_{ph-ph}}{2 \times Z_{1eq}} \dots\dots\dots(2.15)[1]$$

Dimana :

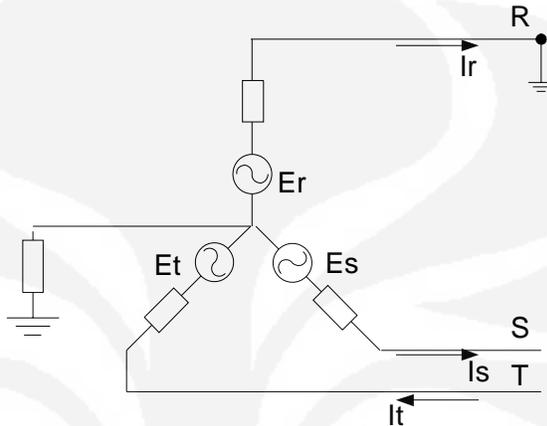
$I_{2\text{ fasa}}$ = Arus gangguan hubung singkat dua fasa (A)

V_{ph-ph} = Tegangan fasa - fasa sistem 20 kV = 20.000 (V)

Z_{1eq} = Impedansi urutan positif (ohm)

c) **Perhitungan arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah**

Gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah pada saluran tenaga dengan hubungan transformator YY dengan netral ditanahkan melalui RNGR, ditunjukkan pada gambar dibawah ini :



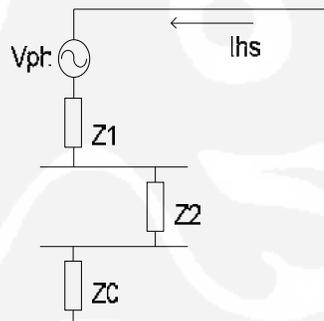
Gambar 2.7. Gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah

Persamaan pada kondisi gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah ini adalah :

$$V_T = 0$$

$$I_S = 0$$

$$I_T = 0$$



Gambar 2.8. Hubungan jala-jala urutan untuk gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah

Rumus dasar yang digunakan untuk menghitung besarnya arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah juga dengan rumus :

$$I = \frac{V}{Z} \dots\dots\dots(2.16)[1]$$

Sehingga arus hubung singkat satu fasa ke tanah dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$I_{1 \text{ fasa}} = \frac{3 \times V_{ph}}{Z_{1eq} + Z_{2eq} + Z_{0eq}} \dots\dots\dots(2.17)[1]$$

Karena $Z_{1eq} = Z_{2eq}$, maka :

$$I_{1 \text{ fasa}} = \frac{3 \times V_{ph}}{2 \times Z_{1eq} + Z_{0eq}} \dots\dots\dots(2.18)[1]$$

Dimana :

$I_{1 \text{ fasa}}$ = Arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah (A)

V_{ph} = Tegangan fasa - netral sistem 20 kV = $\frac{20.000}{\sqrt{3}}$ (V)

Z_{1eq} = Impedansi urutan positif (ohm)

Z_{0eq} = Impedansi urutan nol (ohm)

2.4. Relay Arus Lebih (OCR)

2.4.1. Pengertian Relay OCR

Relay arus lebih atau yang lebih dikenal dengan OCR (Over Current Relay) merupakan peralatan yang mensinyalir adanya arus lebih, baik yang disebabkan oleh adanya gangguan hubung singkat atau overload yang dapat merusak peralatan sistem tenaga yang berada dalam wilayah proteksinya.

Relay arus lebih ini digunakan hampir pada seluruh pola pengamanan sistem tenaga listrik, lebih lanjut relay ini dapat digunakan sebagai pengamanan utama ataupun pengamanan cadangan.

Pada transformator tenaga, OCR hanya berfungsi sebagai pengamanan cadangan (back up protection) untuk gangguan eksternal atau sebagai back up bagi outgoing feeder. OCR dapat dipasang pada sisi tegangan tinggi saja, atau

pada sisi tegangan menengah saja, atau pada sisi tegangan tinggi dan tegangan menengah sekaligus. Selanjutnya OCR dapat menjatuhkan PMT pada sisi dimana rele terpasang atau dapat menjatuhkan PMT di kedua sisi transformator tenaga. OCR jenis definite time ataupun inverse time dapat dipakai untuk proteksi transformator terhadap arus lebih.

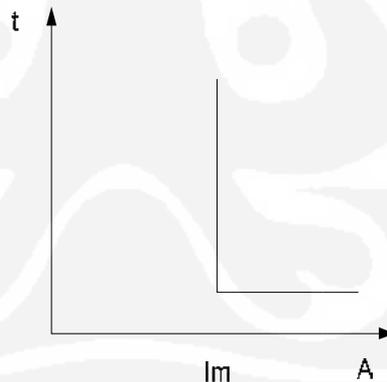
Sebagai pengamanan Transformator tenaga dan SUTT bertujuan untuk

- Mencegah kerusakan Transformator tenaga atau SUTT dari gangguan hubung singkat.
- Membatasi luas daerah terganggu (pemadaman) sekecil mungkin.
- Hanya bekerja bila pengamanan utama Transformator tenaga atau SUTT tidak bekerja.

2.4.2 Jenis Relay Berdasarkan Karakteristik Waktu

- Relay arus lebih sesaat (instantaneous)

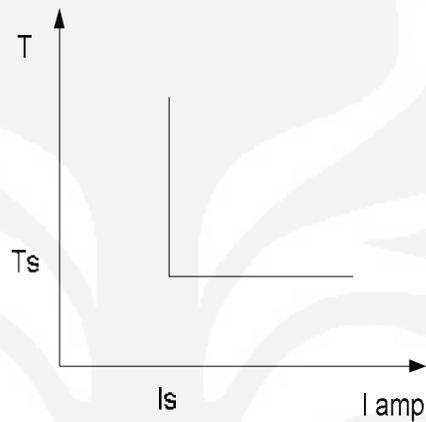
Adalah relay arus lebih yang tidak mempunyai waktu tunda/waktu kerja sesaat. Relay bekerja pada gangguan yang paling dekat dengan lokasi dimana relay terpasang atau dibedakan berdasarkan level gangguan secara lokasi sistem.



Gambar 2.9. Karakteristik Waktu Seketika (Instantaneous)

- Relay arus lebih definite (definite time)

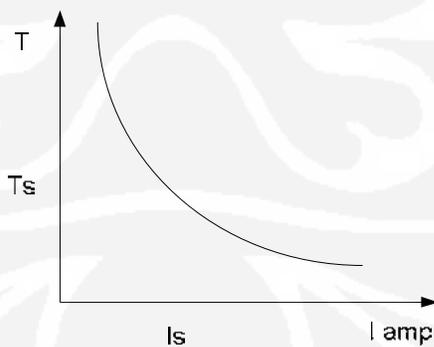
Adalah relay dimana waktu tundanya tetap, tidak tergantung pada besarnya arus gangguan. Jika arus gangguan telah melebihi arus settingnya berapapun besarnya arus gangguan relay akan bekerja dengan waktu yang tetap.



Gambar 2.10. Karakteristik Waktu tertentu (Definite)

- Relay arus lebih inverse (inverse time)

Adalah relay dimana waktu tundanya mempunyai karakteristik tergantung pada besarnya arus gangguan. Jadi semakin besar arus gangguan maka waktu keja relay akan semakin cepat, arus gangguan berbanding terbalik dengan waktu kerja relay.



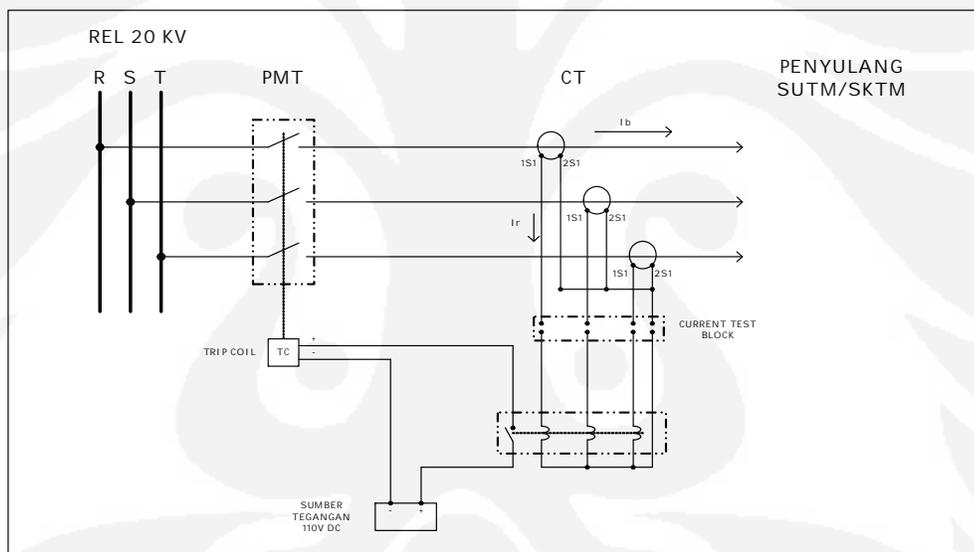
Gambar 2.11. Karakteristik Waktu Terbalik (Inverse)

Pada relai jenis ini karakteristik kecuraman waktu-arus dikelompokkan menjadi :

- Normal Inverse
- Very Inverse
- Long Inverse
- Extremely Inverse

2.4.3 Prinsip Kerja OCR

Prinsip kerja relay OCR adalah berdasarkan adanya arus lebih yang dirasakan relay, baik disebabkan adanya gangguan hubung singkat atau overload (beban lebih) untuk kemudian memberikan perintah trip ke PMT sesuai dengan karakteristik waktunya.



Gambar 2.12. Rangkaian pengawatan relay arus lebih (OCR)

Cara kerjanya dapat diuraikan sebagai berikut :

- Pada kondisi normal arus beban (I_b) mengalir pada SUTM / SKTM dan oleh trafo arus besaran arus ini di transformasikan ke besaran sekunder (I_r). Arus (I_r) mengalir pada kumparan relai tetapi karena arus ini masih lebih kecil dari pada suatu harga yang ditetapkan (setting), maka relai tidak bekerja.

- Bila terjadi gangguan hubung singkat, arus (I_b) akan naik dan menyebabkan arus (I_r) naik pula, apabila arus (I_r) naik melebihi suatu harga yang telah ditetapkan (diatas setting), maka relai akan bekerja dan memberikan perintah trip pada tripping coil untuk bekerja dan membuka PMT, sehingga SUTM / SKTM yang terganggu dipisahkan dari jaringan.

2.4.4 Setting OCR

- Arus setting OCR

Penyetelan relay OCR pada sisi primer dan sisi sekunder transformator tenaga terlebih dahulu harus dihitung arus nominal transformator tenaga. Arus setting untuk relay OCR baik pada sisi primer maupun pada sisi sekunder transformator tenaga adalah:

$$I_{set}(\text{prim}) = 1,05 \times I_{\text{nominal trafo}} \dots \dots \dots (2.12)$$

Nilai tersebut adalah nilai primer, Untuk mendapatkan nilai setelan sekunder yang dapat disetkan pada relay OCR, maka harus dihitung dengan menggunakan ratio trafo arus (CT) yang terpasang pada sisi primer maupun sisi sekunder transformator tenaga.

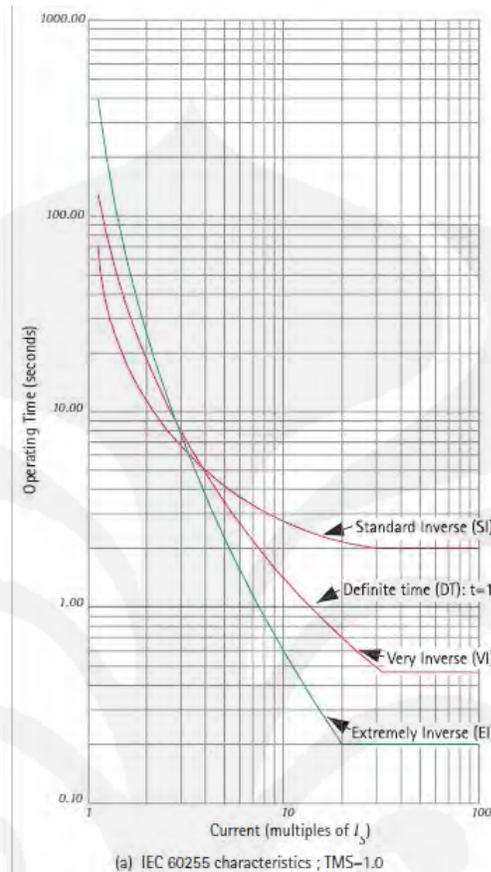
$$I_{set}(\text{sek}) = I_{set}(\text{pri}) \times \frac{1}{\text{Ratio CT}} \dots \dots \dots (2.13)$$

- Setting waktu (TMS)

Hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat, selanjutnya digunakan untuk menentukan nilai setelan waktu (TMS). Rumus untuk menentukan nilai setelan waktu bermacam-macam sesuai dengan desain pabrik pembuat relay. Dalam hal ini diambil rumus TMS dengan relay merk MC 30.

Tipe relay	Setelan Waktu (TMS)
Standar Inverse	$\text{TMS} = \frac{0,14 \times t}{\left(\frac{I_f}{I_s}\right)^{0,02} - 1}$
Very Inverse	$\text{TMS} = \frac{13,5 \times t}{\left(\frac{I_f}{I_s}\right) - 1}$
Extremely Inverse	$\text{TMS} = \frac{80 \times t}{\left(\frac{I_f}{I_s}\right)^2 - 1}$
Long time earth fault	$\text{TMS} = \frac{120 \times t}{\left(\frac{I_f}{I_s}\right) - 1}$

Tabel 2.1. Karakteristik operasi waktu jenis relay inverse time
(Catalogue Overcurrent Relay Type MC30)



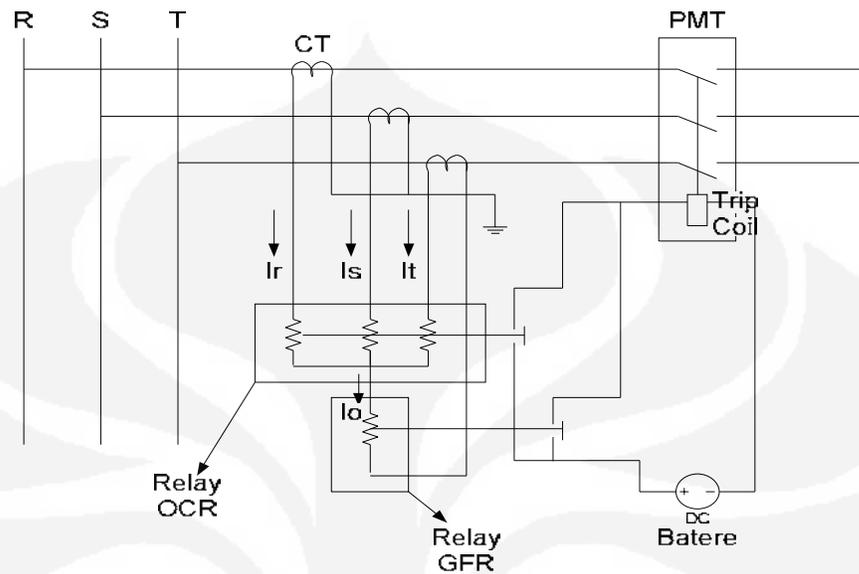
Gambar 2.13. Karakteristik Relai Arus Lebih

Untuk menentukan nilai TMS yang akan disetkan pada relay OCR sisi incoming transformator tenaga yaitu arus hubung singkat (I_f) 2 fasa di Bus 20 kV, sedangkan untuk sisi 150 kV transformator tenaga diambil arus hubung singkat (I_f) 2 fasa di sisi 150 kV.

2.5. Relay Hubung Tanah (GFR)

2.5.1 Pengertian GFR

Rele hubung tanah yang lebih dikenal dengan GFR (Ground Fault Relay) pada dasarnya mempunyai prinsip kerja sama dengan rele arus lebih (OCR) namun memiliki perbedaan dalam kegunaannya. Bila rele OCR mendeteksi adanya hubungan singkat antara fasa, maka GFR mendeteksi adanya hubung singkat ke tanah. Dibawah ini merupakan gambar rangkaian pengawatan GFR



Gambar 2.14. Rangkaian pengawatan relay GFR

2.5.2. Prinsip Kerja GFR

Pada kondisi normal beban seimbang I_r , I_s , I_t sama besar, sehingga pada kawat netral tidak timbul arus dan relay hubung tanah tidak dialiri arus. Bila terjadi ketidakseimbangan arus atau terjadi gangguan hubung singkat ke tanah, maka akan timbul arus urutan nol pada kawat netral, sehingga relay hubung tanah akan bekerja.

2.5.3. Setting GFR

- Arus setting GFR

Penyetelan relay OCR pada sisi primer dan sisi sekunder transformator tenaga terlebih dahulu harus dihitung arus nominal transformator tenaga. Arus setting untuk relay OCR baik pada sisi primer maupun pada sisi sekunder transformator tenaga adalah:

$$I_{set}(\text{prim}) = 0,2 \times I_{\text{nominal trafo}} \dots \dots \dots (2.14)$$

Nilai tersebut adalah nilai primer, Untuk mendapatkan nilai setelan sekunder yang dapat disetkan pada relay OCR, maka harus dihitung

dengan menggunakan rasio trafo arus (CT) yang terpasang pada sisi primer maupun sisi sekunder transformator tenaga.

$$I_{set}(\text{sek}) = I_{set}(\text{pri}) \times \frac{1}{\text{Ratio CT}} \dots\dots\dots (2.15)$$

- Setelan waktu (TMS)

Hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat, selanjutnya digunakan untuk menentukan nilai setelan waktu kerja relay (TMS). Sama halnya dengan relay OCR, relay GFR menggunakan rumus penyetingan TMS yang sama dengan relay OCR. Tetapi waktu kerja relay yang diinginkan berbeda. Relay GFR cenderung lebih sensitif dari pada relay OCR.

Untuk menentukan nilai TMS yang akan disetkan pada relay GFR sisi incoming 20 kV dan sisi 150 kV transformator tenaga diambil arus hubung singkat 1 fasa ke tanah.

BAB III

KARAKTERISTIK GARDU INDUK CAWANG

Di Gardu Induk Cawang terdapat 3 jenis trafo tenaga dengan tegangan kerja 150/20 kV. Dimana masing-masing trafo berkapasitas 60 MVA. Karena pada trafo 2 memasok 16 penyulang, maka diperlukan penyetelan relai yang baik agar relai dapat memproteksi peralatan-peralatan listrik yang lain dari arus gangguan hubung singkat maupun beban lebih. Oleh karena itu, dalam penulisan skripsi ini penulis akan membahas analisa setting relai arus lebih dan relai gangguan tanah pada penyulang SADEWA di Gardu Induk Cawang. Adapun data-data yang diperlukan untuk analisis ini adalah sebagai berikut:

3.1 Data Trafo Tenaga

- Merk	= MEIDEN
- Tipe	= BORSL
- Daya	= 60 MVA
- Tegangan	= 150 / 20 KV
- Impedansi (Z %)	= 12,13%
- Teg Primer	= 150 KV
- Teg sekunder	= 20 KV
- Ratio CT Trafo	= 2000/5
- Arus Nominal Trafo	= 1732,1
- Hub. belitan trafo	= YNyn0 (d11)
- Ground Resistor	= 16 ohm

3.2 Data OCR Sisi Incoming 20 kV

Merk	= MC 30
Tipe	= MCCG82
No seri	= 801948 H
Karakteristik	= Normal Inverse
I Nominal	= 5 A

Tms = 0,19
Rasio CT = 300/5 A

3.3 Data GFR Sisi Incoming 20 kV

Merk = MC 30
Tipe = MCCG82
No seri = 801948 H
Karakteristik = Normal Inverse
I nominal = 5 A
Tms = 0,26
Rasio CT = 300/5 A

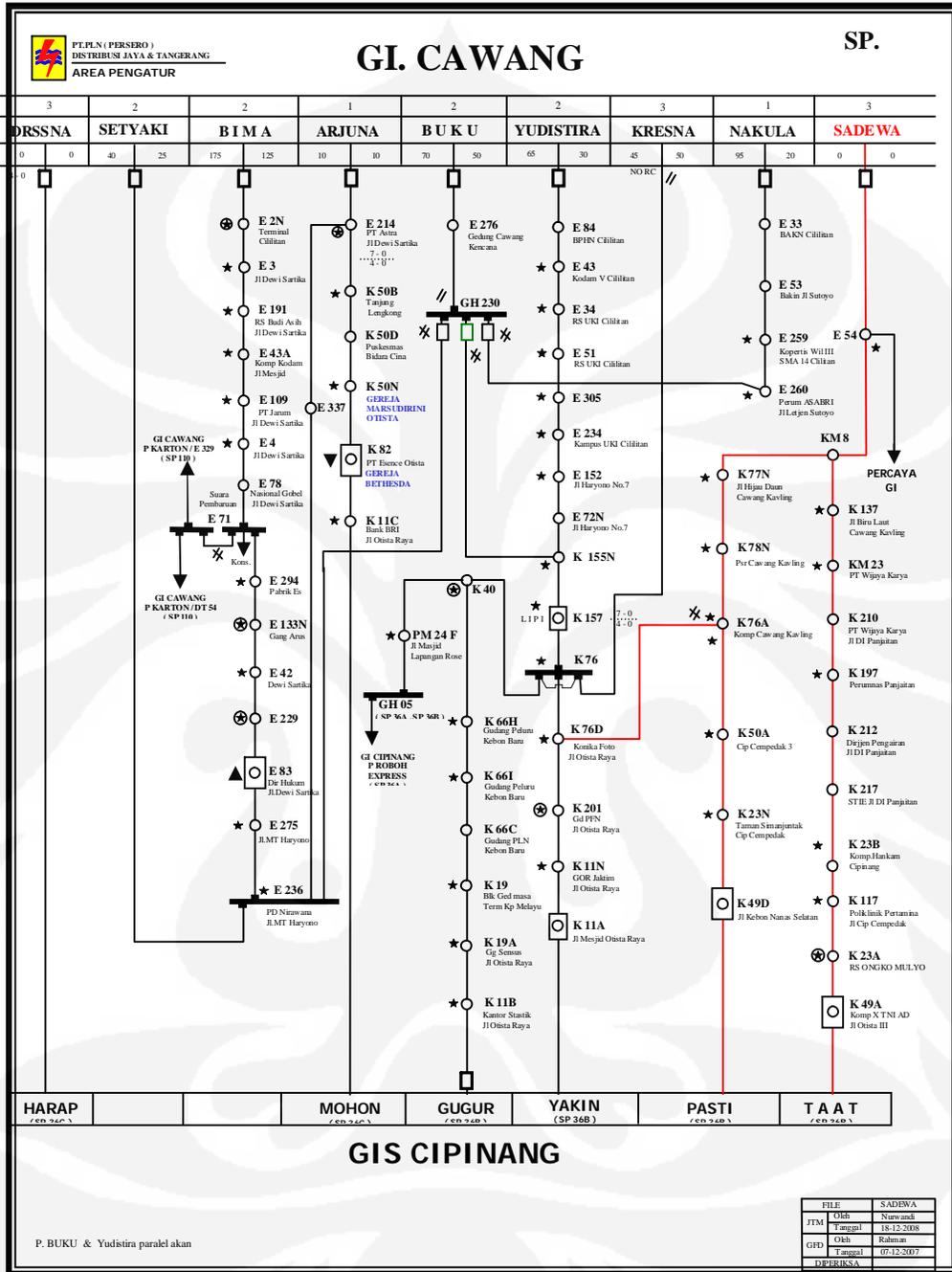
3.4 Data OCR Sisi Penyulang 20 kV

Merk = MC 30
No seri = 2504342
Karakteristik = Normal Inverse
I Nominal = 5 A
Tms = 0,16
Rasio CT = 300/5 A

3.5 Data GFR Sisi Penyulang 20 kV

Merk = MC 30
No seri = 2504342
Karakteristik = Normal Inverse
I nominal = 1,35 A
Tms = 0,10
Rasio CT = 300/5 A

3.6 Diagram satu Garis Gardu Induk Cawang



NO	Jenis penghantar kawat/kabel	Ukuran (mm ²)	Panjang (km)
3	Kawat XLPE	240 mm ²	5,507 mm ²

3.1 Panjang Jenis Penghantar di GI Cawang, Penyulang SADEWA

NO	Jenis penghantar kawat/kabel	Ukuran (mm ²)	Impedansi urutan positif (Z1)	Impedansi urutan nol (Zo)
2.	Kawat XLPE	240 mm ²	0,125 + j 0,097	0,257 + j 0,029

3.2 Impedansi Jenis Penghantar di Gi Cawang, Penyulang SADEWA

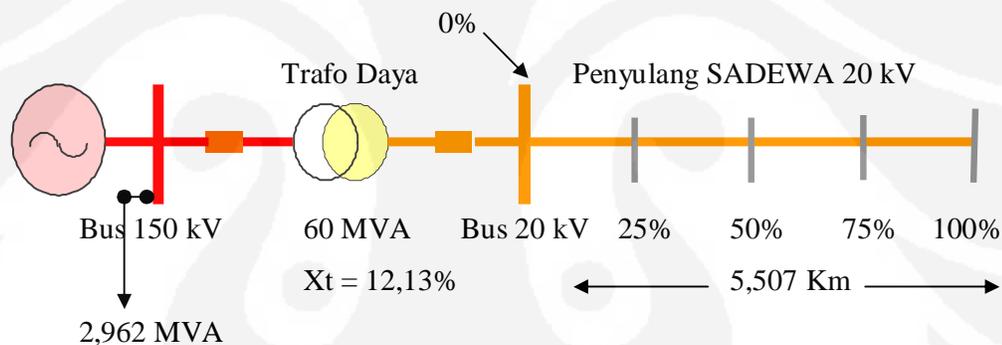
BAB IV PERHITUNGAN DAN ANALISIS

4.1 Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat yang mungkin terjadi di dalam jaringan (sistem kelistrikan) ada 3, yaitu :

- Gangguan hubung singkat 3 fasa
- Gangguan hubung singkat 2 fasa
- Gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah

Perhitungan Gangguan Hubung Singkat ini dihitung besarnya berdasarkan panjang penyulang, yaitu diasumsikan terjadi di 25 %,50%,75% dan 100% panjang penyulang (lihat gambar 4.1)



Gambar 4.1. Penyulang SADEWA

4.1.1 Menghitung Impedansi Sumber

Data Hubung Singkat di bus sisi primer (150kV) di Gardu Induk Cawang adalah sebesar 2,962 MVA. Maka impedansi sumber (XS) adalah :

$$\begin{aligned} X_{S(\text{sisi } 150 \text{ kV})} &= \frac{kV(\text{sisi primer trafo})^2}{\text{MVA hubung singkat di bus sisi primer}} \\ &= \frac{150^2}{2,962} = 7,59 \text{ Ohm} \end{aligned}$$

Untuk mengetahui Impedansi di sisi sekunder, yaitu di bus sisi 20 kV maka :

$$X_{S(\text{sisi } 20 \text{ kV})} = \frac{kV(\text{sisi sekunder trafo})^2}{kV(\text{sisi primer trafo})^2} \times X_{S(\text{sisi primer})} \text{ Ohm}$$

$$X_{S(\text{sisi } 20 \text{ kV})} = \frac{20^2}{150^2} \times 2,962 = 0.134 \text{ Ohm}$$

4.1.2 Menghitung Reaktansi Trafo

Besarnya reaktansi trafo tenaga satu di Gardu Induk Cawang adalah 12,13 %, agar dapat mengetahui besarnya nilai reaktansi urutan positif, negatif dan reaktansi urutan nol dalam ohm, maka perlu dihitung dulu besar nilai ohm pada 100 % nya.

Besarnya nilai ohm pada 100 % yaitu :

$$X_t (\text{pada } 100\%) = \frac{kV^2 \text{ sisi bus } 2}{MVA \text{ trafo}}$$

$$X_t (\text{pada } 100\%) = \frac{20^2}{60} = 6,667 \text{ Ohm}$$

Nilai reaktansi trafo tenaga :

- Reaktansi urutan positif, negatif ($X_{t1} = X_{t2}$)

$$X_t = 12,13\% \cdot 6,667 = 0,808 \text{ Ohm}$$

- Reaktansi urutan nol (X_{t0})

Karena trafo daya yang mensuplai penyulang SADEWA mempunyai hubungan Ynyn0 yang tidak mempunyai belitan delta di dalamnya, maka besarnya X_{t0} berkisar antara 9 s.d. 14 . X_{t1} , dalam perhitungan ini diambil nilai X_{t0} lebih kurang 10 . X_{t1} . Jadi $X_{t0} = 10 \cdot 0,808 = 8,08 \text{ ohm}$.

4.1.3 Menghitung Impedansi Penyulang

Dari data yang diperoleh bahwa jenis penghantar yang digunakan pada penyulang SADEWA hanya menggunakan satu buah tipe kabel yaitu XLPE 240 mm² (terdapat pada lampiran).

Panjang penyulang = 5,507 km, dengan panjang penghantar XLPE 240 mm² = 5,507

$$Z_1 = Z_2 (\text{XLPE } 240) = (0,125 + j0,097) \Omega / \text{km} \times 5,507 = 0,688 + j0,534 \text{ Ohm}$$

$$Z_0 (\text{XLPE } 240) = (0,275 + j0,029) \Omega / \text{km} \times 5,507 = 1,514 + j0,159 \text{ Ohm}$$

Dengan demikian nilai impedansi penyulang untuk lokasi gangguan dengan jarak 0%,25%, 50%, 75% dan 100% panjang penyulang, sebagai berikut :

- Urutan Positif dan Negatif

(% Panjang)	Impedansi penyulang (Z_1 & Z_2)
0	$0\% \cdot (0,688 + j0,534) = 0 \text{ Ohm}$
25	$25\% \cdot (0,688 + j0,534) = 0,172 + j0,133 \text{ Ohm}$
50	$50\% \cdot (0,688 + j0,534) = 0,344 + j0,267 \text{ Ohm}$
75	$75\% \cdot (0,688 + j0,534) = 0,516 + j0,400 \text{ Ohm}$
100	$100\% \cdot (0,688 + j0,534) = 0,688 + j0,534 \text{ Ohm}$

Tabel 4.1 Impedansi Penyulang urutan positif & negatif

- Urutan Nol

(% Panjang)	Impedansi penyulang (Z_0)
0	$0\% (1,514 + j0,159) = 0 \text{ Ohm}$
25	$25\% \cdot (1,514 + j0,159) = 0,378 + j0,039 \text{ Ohm}$
50	$50\% \cdot (1,514 + j0,159) = 0,757 + j0,079 \text{ Ohm}$
75	$75\% \cdot (1,514 + j0,159) = 1,135 + j0,119 \text{ Ohm}$
100	$100\% \cdot (1,514 + j0,159) = 1,514 + j0,159 \text{ Ohm}$

Tabel 4.2 Impedansi Penyulang Urutan Nol

4.1.4 Menghitung Impedansi Ekuivalen Jaringan

Perhitungan Z_{1eq} dan Z_{2eq} :

$$\begin{aligned}
 Z_{1eq} = Z_{2eq} &= Z_{iS}(\text{sisi } 20 \text{ kV}) + Z_{iT} + Z_{1 \text{ penyulang}} \\
 &= j0,134 + j0,808 + Z_{1 \text{ penyulang}} \\
 &= j0,942 + Z_{1 \text{ penyulang}}
 \end{aligned}$$

Karena lokasi gangguan diasumsikan terjadi pada 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% panjang penyulang, maka Z_{1eq} (Z_{2eq}) yang didapat adalah :

(% Panjang)	Impedansi Z_{1eq} (Z_{2eq})
0	$0 + j0,942 \text{ Ohm}$
25	$j0,942 + 0,172 + j0,133 \text{ Ohm} = 0,172 + j1,073 \text{ Ohm}$

50	$j0,942 + 0,344 + j0,267 \text{ Ohm} = 0,344 + j1,209 \text{ Ohm}$
75	$j0,942 + 0,516 + j0,400 \text{ Ohm} = 0,516 + j1,342 \text{ Ohm}$
100	$j0,942 + 0,688 + j0,534 \text{ Ohm} = 0,688 + j1,476 \text{ Ohm}$

Tabel 4.3 Impedansi Ekivalen $Z_{1 \text{ eq}}$ ($Z_{2 \text{ eq}}$)

Perhitungan $Z_{0 \text{ eq}}$:

$$\begin{aligned} Z_{0 \text{ eq}} &= Z_{0t} + 3R_N + Z_{0 \text{ penyulang}} \\ &= j8,08 + 3 \times 12 + Z_{0 \text{ penyulang}} \\ &= j8,08 + 36 + Z_{0 \text{ penyulang}} \end{aligned}$$

Untuk lokasi gangguan di 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% panjang penyulang, maka perhitungan $Z_{0 \text{ eq}}$ menghasilkan :

(% Panjang)	Impedansi Z_{0e}
0	$39 + j8,08 \text{ Ohm}$
25	$j8,08 + 39 + 0,378 + j0,039 = 39,378 + j8,119 \text{ Ohm}$
50	$j8,08 + 39 + 0,757 + j0,079 = 39,757 + j8,159 \text{ Ohm}$
75	$j8,08 + 39 + 1,135 + j0,119 = 40,135 + j8,199 \text{ Ohm}$
100	$j8,08 + 39 + 1,514 + j0,159 = 40,154 + j8,239 \text{ Ohm}$

Tabel 4.4 Impedansi Ekivalen Z_{0e}

4.1.5 Menghitung Arus Gangguan Hubung Singkat

Setelah mendapatkan impedansi ekivalen sesuai dengan lokasi gangguan, selanjutnya perhitungan arus gangguan hubung singkat dapat dihitung dengan menggunakan rumus dasar seperti dijelaskan sebelumnya, hanya saja impedansi ekivalen mana yang dimasukkan ke dalam rumus dasar tersebut adalah tergantung dari jenis gangguan hubung singkatnya, dimana gangguan hubung singkat tersebut bisa gangguan hubung singkat 3 fasa, 2 fasa atau 1 fasa ke tanah.

- **Gangguan hubung singkat 3 fasa**

Rumus dasar yang digunakan untuk menghitung besarnya arus gangguan hubung singkat 3 fasa adalah :

$$I = \frac{V}{Z}$$

Dimana,

I = Arus gangguan 3 fasa

$$V = \text{Tegangan fasa- netral sistem } 20 \text{ kV} = \frac{20000}{\sqrt{3}} = V_{ph}$$

Z = Impedansi urutan positif (Z_{1eq})

Sehingga arus gangguan hubung singkat 3 fasa dapat dihitung sebagai berikut :

$$I_{3 \text{ fasa}} = \frac{V_{ph}}{Z_{1eq}} = \frac{20000}{\sqrt{3} Z_{1eq}}$$

$$I_{3 \text{ fasa}} = \frac{11547}{Z_{1eq}}$$

(% Panjang)	Arus gangguan hubung singkat 3 fasa
0	$\frac{11547}{0 + j0,942} = \frac{11547}{\sqrt{0^2 + 0,942^2}} = 12257 \text{ A}$
25	$\frac{11547}{0,172 + j1,073} = \frac{11547}{\sqrt{0,172^2 + 1,073^2}} = 10625,7 \text{ A}$
50	$\frac{11547}{0,344 + j1,207} = \frac{11547}{\sqrt{0,344^2 + 1,207^2}} = 9200,32 \text{ A}$
75	$\frac{11547}{0,516 + j1,340} = \frac{11547}{\sqrt{0,516^2 + 1,340^2}} = 8041,55 \text{ A}$
100	$\frac{11547}{0,857 + j1,526} = \frac{11547}{\sqrt{0,857^2 + 1,526^2}} = 7090,69 \text{ A}$

Tabel 4.5 Arus Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa

- **Gangguan hubung singkat 2 fasa**

Rumus dasar yang digunakan untuk menghitung besarnya arus gangguan hubung singkat 2 fasa adalah :

$$I = \frac{V}{Z}$$

dimana ,

I = Arus gangguan hubung singkat 2 fasa

V = Tegangan fasa – fasa sistem 20 kV

Z = Jumlah impedansi urutan positif (Z_{1eq}) dan urutan negatif (Z_{2eq})

Sehingga arus gangguan hubung singkat 2 fasa dapat dihitung sebagai berikut :

$$I_{2fasa} = \frac{V_{ph-ph}}{Z_{1eq} + Z_{2eq}} = \frac{20000}{Z_{1eq} + Z_{2eq}}$$

Seperti halnya gangguan 3 fasa, Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa juga dihitung untuk lokasi gangguan yang diasumsikan terjadi pada 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% panjang penyulang. Dalam hal ini dianggap nilai $Z_{1eq} = Z_{2eq}$, sehingga persamaan Arus gangguan hubung singkat 2 fasa diatas dapat disederhanakan menjadi :

$$I_{2fasa} = \frac{V_{ph-ph}}{2 * Z_{1-eg}}$$

Dan nilai arus gangguan hubung singkat sesuai lokasi gangguan dapat dihitung :

(% Panjang)	Arus gangguan hubung singkat 2 fasa
0	$\frac{20.000}{2 * (0 + j0,942)} = \frac{20.000}{\sqrt{0^2 + 1,884^2}} = 10615 \text{ A}$
25	$\frac{20.000}{2 * (0,172 + j1,073)} = \frac{20.000}{\sqrt{0,344^2 + 2,146^2}} = 9202,18$
50	$\frac{20.000}{2 * (0,344 + j1,207)} = \frac{20.000}{\sqrt{0,688^2 + 2,414^2}} = 7967,72 \text{ A}$
75	$\frac{20.000}{2 * (0,516 + j1,340)} = \frac{20.000}{\sqrt{1,032^2 + 2,680^2}} = 6964,19 \text{ A}$
100	$\frac{20.000}{2 * (0,688 + j1,476)} = \frac{20.000}{\sqrt{1,376^2 + 2,952^2}} = 6140,72 \text{ A}$

Tabel 4.6 Arus Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa

- **Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke tanah**

Rumus dasar yang digunakan untuk menghitung besarnya arus gangguan hubung singkat 1 Fasa ketanah juga dengan rumus :

$$I = \frac{V}{Z}$$

Dimana, I =Arus Urutan Nol atau =I₀,

$$V = \text{Tegangan Fasa-Netral sistem } 20 \text{ kV} = \frac{20.000}{\sqrt{3}} = V_{ph}$$

Z=Jumlah Impedansi Urutan Positif (Z_{1 eq}), Impedansi Urutan Negatif (Z_{2 eq}) dan Impedansi Urutan Nol (Z_{0 eq})

Sehingga arus gangguan hubung singkat 1 Fasa ke tanah dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} I_{1 \text{ fasa}} &= \frac{3 * V_{ph}}{Z_{1-eq} + Z_{2-eq} + Z_{0-eq}} = \frac{3 * \frac{20.000}{\sqrt{3}}}{Z_{1-eq} + Z_{2-eq} + Z_{0-eq}} \\ &= \frac{34641,016}{Z_{1-eq} + Z_{2-eq} + Z_{0-eq}} = \frac{34641,016}{2 * Z_{1-eq} + Z_{0-eq}} \end{aligned}$$

Kembali sama halnya dengan perhitungan arus gangguan 3 Fasa dan 2 Fasa, Arus gangguan 1 Fasa ketanah juga dihitung untuk lokasi gangguan yang diasumsikan terjadi pada 0%, 25% , 50% , 75% dan 100% panjang Penyulang, sehingga dengan rumus terakhir di atas dapat dihitung besarnya arus gangguan 1 fasa ke tanah sesuai lokasi gangguannya sebagai berikut :

(% Panjang)	Arus gangguan hubung singkat 1 fasa ketanah
0	$\frac{34641,016}{2 * (0 + j0,94) + (39 + j8,08)} = 865,37 \text{ A}$
25	$\frac{34641,016}{2 * (0,172 + j1,073) + (39,378 + j8,119)} = 853,14 \text{ A}$
50	$\frac{34641,016}{2 * (0,344 + j1,207) + (39,757 + j8,259)} = 840,73 \text{ A}$

75	$\frac{34641,016}{2 * (0,516 + j1,340) + (40,135 + j8,199)} = 829,63A$
100	$\frac{34641,016}{2 * (0,688 + j1,476) + (40,154 + j8,239)} = 805,39 A$

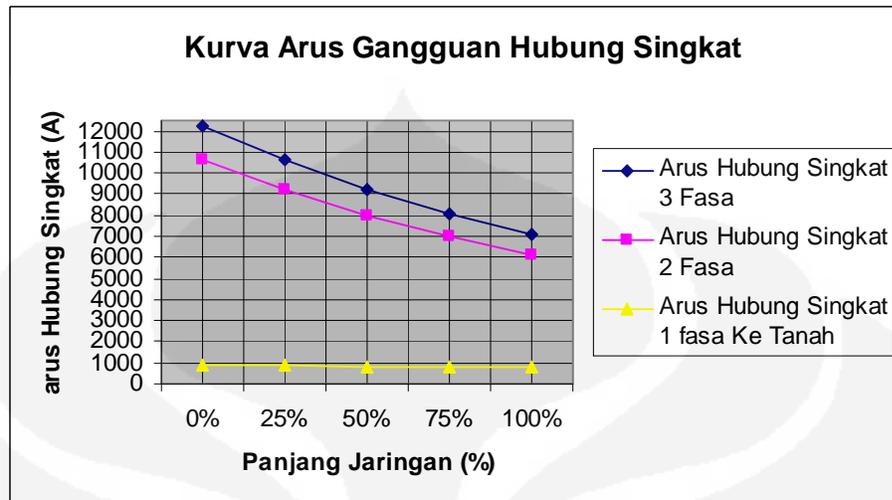
Tabel 4.7 Arus Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ketanah

Dengan hasil perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat ini, (3 Fasa, 2 Fasa dan 1 Fasa ketanah), dapat digunakan untuk penyetelan Relai Arus Lebih dan Relai Gangguan Tanah.

Maka dapat dibuat suatu perbandingan besarnya arus gangguan terhadap titik gangguan (lokasi gangguan pada penyulang yang dinyatakan dalam %) dengan menggunakan tabel berikut ini.

Panjang Penyulang (%)	Jarak	Arus Hubung Singkat (A)		
		3 fasa	2 fasa	1 fasa
0	0	12257	10638	865,38
25	1,376	10625,7	9202,18	853,14
50	2,753	9200,32	7967,72	840,73
75	4,130	8041,55	6964,19	829,63
100	5,507	7090,69	6140,72	805,39

Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat



Gambar 4.2. Kurva Arus Gangguan Hubung Singkat

4.1.6 Analisa

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa besarnya arus gangguan hubung singkat di pengaruhi oleh jarak titik gangguan, semakin jauh jarak titik gangguan maka semakin kecil arus gangguan hubung singkatnya dan sebaliknya. Selain itu dapat dilihat bahwa arus gangguan hubung singkat terbesar adalah arus gangguan hubung singkat 3 fasa, apabila ditinjau dari gangguan terhadap fasa.

4.2 Penyetelan Relai Arus Lebih dan Relai Gangguan Tanah

Diketahui Pada penyulang SADEWA trafo arus yang terpasang mempunyai rasio 300/5 ampere, dan arus beban maksimum pada penyulang tersebut sebesar dan relai arus lebih dengan karakteristik *standard Inverse (normaly inverse)*.

4.2.1 Setelan relai di sisi penyulang 20 kV

- **Setelan Relai Arus Lebih**

Untuk setelan relai yang terpasang di penyulang dihitung berdasarkan arus beban maksimum.

Untuk relai inverse biasa diset sebesar 1,05 sampai dengan 1,1 x I_{maks} , sedangkan untuk relai definite diset sebesar 1,2 sampai dengan 1,3 x I_{maks} .

Persyaratan lain yang harus dipenuhi yaitu untuk penyetelan waktu minimum dari relai arus lebih (terutama di penyulang tidak lebih kecil dari 0,3 detik). Keputusan ini diambil agar relai tidak sampai trip lagi akibat adanya arus inrush dari trafo-trafo

distribusi yang sudah tersambung di jaringan distribusi, pada saat PMT penyulang tersebut di masukan.

Setelan Arus

$$\begin{aligned} I \text{ beban} &= 286,40 \text{ Ampere, CT} = 300/5 \text{ A} \\ I_{set} \text{ (primer)} &= 1,05 \times I \text{ beban} \\ &= 1,05 \times 286,40 \text{ Ampere} \\ &= 300,7 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

Nilai arus tersebut merupakan nilai setelan pada sisi primer, sedangkan nilai yang akan disetkan pada relai adalah nilai sekundernya. Oleh karena itu dihitung menggunakan nilai rasio trafo arus yang terpasang pada penyulang.

Besarnya arus pada sisi sekundernya adalah :

$$\begin{aligned} I_{set} \text{ (sekunder)} &= I_{set} \text{ (primer)} \times \frac{1}{\text{RatioCT}} \text{ Ampere} \\ &= 300,7 \times \frac{5}{300} \text{ Ampere} \\ &= 5,01 \text{ Ampere dibulatkan } 5 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

• **Setelan TMS (*Time Multiplier Setting*)**

Arus gangguan yang dipilih untuk menentukan besarnya setting TMS relay OCR sisi penyulang 20 kV transformator tenaga yaitu arus gangguan hubung singkat tiga fasa di 0% panjang penyulang. Waktu kerja paling hilir yang ditetapkan $t = 0,3$ sekon. Keputusan ini diambil agar relai tidak sampai trip lagi akibat adanya arus inrush dari trafo-trafo distribusi yang sudah tersambung di jaringan distribusi, pada saat PMT penyulang tersebut di masukan.

Jadi didapat :

$$t = \frac{0,14.Tms}{\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1}$$

$$0,3 = \frac{0,14.tms}{\left(\frac{12257}{300,7}\right)^{0,02} - 1}$$

$$Tms = 0,164$$

4.2.2 Setelan relai di sisi incoming 20 kV

- **Setelan Relai Arus Lebih**

Penentuan setelan relai arus lebih pada sisi Incoming 20 kV trafo tenaga sama halnya dengan di penyulang, yaitu harus diketahui terlebih dahulu nilai arus nominal trafo tenaga tersebut.

- **Setelan Relai Arus Lebih**

Dari data yang diperoleh

Kapasitas = 60 MVA

Tegangan = 150/20 kV

Impedansi = 12,13 %

CT rasio = 2000/5 A (pada sisi incoming 20 kV)

Setelan Arus

Arus nominal trafo pada sisi 20 kV :

$$\begin{aligned} I_n (\text{ sisi 20 kV }) &= \frac{kVA}{kV\sqrt{3}} \\ &= \frac{60000}{20\sqrt{3}} \\ &= 1732 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{\text{set primer}} &= 1,05 \cdot I_{\text{beban}} \\ &= 1,05 \cdot 1732 \text{ Ampere} \\ &= 1818,6 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

Nilai setelan pada sisi sekunder :

$$\begin{aligned} I_{\text{set sekunder}} &= I_{\text{set(primer)}} \cdot \frac{1}{\text{RasioCT}} \\ &= 1818,6 \cdot \frac{5}{2000} \text{ Ampere} \\ &= 4,547 = 5 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

- **Setelan TMS (*Time Multiplier Setting*)**

Arus gangguan yang dipilih untuk menentukan besarnya setting TMS relay OCR sisi incoming 20 kV transformator tenaga yaitu arus gangguan hubung singkat tiga fasa di 0% panjang penyulang. Waktu kerja incoming didapat dengan waktu kerja relai disisi hilir + 0,4 detik.

$$t \text{ incoming} = (0,3+0,4) = 0,7 \text{ detik}$$

Jadi didapat :

$$t = \frac{0,14.Tms}{\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1}$$

$$0,7 = \frac{0,14.tms}{\left(\frac{12257}{1818,6}\right)^{0,02} - 1}$$

$$Tms = 0,194$$

- **Setelan Relai Gangguan Tanah sisi penyulang 20 kV**

Setelan Arus

Untuk setelan arus di penyulang menggunakan pedoman yaitu setelan arus gangguan tanah di penyulang diset 10% x arus gangguan tanah terkecil di penyulang tersebut. Hal ini dilakukan untuk menampung tahanan busur.

$$\begin{aligned} \text{Iset (primer)} &= 10\% \times (\text{gangguan di } 100\% \text{ panjang penyulang}) \\ &= 0,1 \times 813 \\ &= 81,3 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Iset (sek)} &= \text{Iset (primer)} \times \frac{1}{\text{ratio CT}} \\ &= 81,3 \times \frac{5}{300} \\ &= 1,3 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

Setelan TMS (*Time Multiplier Setting*)

Arus gangguan yang dipilih untuk menentukan besarnya setting TMS relay GFR sisi penyulang 20 kV transformator tenaga yaitu arus gangguan hubung singkat satu fasa di 0% panjang penyulang. Waktu kerja paling hilir yang ditetapkan $t = 0,3$ sekon

Jadi didapat :

$$t = \frac{0,14.Tms}{\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1}$$

$$0,3 = \frac{0,14.tms}{\left(\frac{865}{81,3}\right)^{0,02} - 1}$$

$$Tms = 0,103$$

Setelan Relai Gangguan Tanah di sisi incoming 20 kV

Setelan Arus

Setelan arus relai gangguan tanah di incoming 20 kV harus lebih sensitif, hal ini berfungsi sebagai cadangan bagi relai di penyulang 20 kV dibuat 8% x arus gangguan tanah terkecil.

$$\begin{aligned} \text{Iset (primer)} &= 8\% \times (\text{gangguan di } 100\% \text{ panjang penyulang}) \\ &= 0,08 \times 813 \\ &= 65,04 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Iset (sek)} &= \text{Iset (primer)} \times \frac{1}{\text{ratio CT}} \\ &= 65,04 \times \frac{5}{2000} \\ &= 0,16 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

Setelan TMS (*Time Multiplier Setting*)

Arus gangguan yang dipilih untuk menentukan besarnya setting TMS relay GFR sisi incoming 20 kV transformator tenaga yaitu arus gangguan hubung singkat satu fasa di 0% panjang penyulang. Waktu kerja incoming didapat dengan waktu kerja relai disisi hilir + 0,4 detik.

$$t \text{ incoming} = (0,3 + 0,4) = 0,7 \text{ detik}$$

Jadi didapat :

$$t = \frac{0,14.Tms}{\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1}$$

$$0,7 = \frac{0,14.tms}{\left(\frac{865}{65,04}\right)^{0,02} - 1}$$

$$Tms = 0,26$$

4.3 Pemeriksaan Waktu Kerja Relai

Pemeriksaan waktu kerja relai ialah untuk mengetahui waktu kerja relai terhadap besarnya arus gangguan di tiap titik gangguan yang diasumsikan terjadi pada 0%, 25 %, 50 %, 75 %, 100 % panjang penyulang.

4.3.1 Waktu kerja relai pada gangguan 3 fasa

Karena nilai arus gangguan hubung singkat yang didapat dari hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat adalah dalam nilai arus primer, maka dalam pemeriksaan selektifitas nilai arus primernya juga diambil, untuk lokasi gangguan 0% adalah :

Waktu kerja relai di :

Penyulang 20 kV

$$t = \frac{0,14.Tms}{\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1}$$

$$t = \frac{0,14.0,164}{\left(\frac{12284}{300,7}\right)^{0,02} - 1}$$

$$t = 0,298 \text{ detik}$$

Incoming 20 kV trafo tenaga

$$t = \frac{0,14.Tms}{\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1}$$

$$t = \frac{0,14.0,194}{\left(\frac{12284}{1818,6}\right)^{0,02} - 1}$$

$$t = 0,697 \text{ detik}$$

Untuk lokasi gangguan 25% panjang penyulang, waktu kerja relai arus lebih di penyulang dan di incoming 20 kV adalah :

Waktu kerja relai di :

Penyulang 20 kV

$$t = \frac{0,14.0,164}{\left(\frac{10625}{300,7}\right)^{0,02} - 1}$$

Incoming 20 kV trafo tenaga

$$t = \frac{0,14.0,194}{\left(\frac{10625}{1818,6}\right)^{0,02} - 1}$$

$$t = 0,310 \text{ detik}$$

$$t = 0,755 \text{ detik}$$

Untuk lokasi 50 % panjang penyulang, waktu kerja relai arus lebih di penyulang dan di incoming 20 kV adalah :

Waktu kerja relai di :

Penyulang 20 kV

$$t = \frac{0,14.0,164}{\left(\frac{9200}{300,7}\right)^{0,02} - 1}$$

$$t = 0,324 \text{ detik}$$

Incoming 20 kV trafo tenaga

$$t = \frac{0,14.0,194}{\left(\frac{9200}{1818,6}\right)^{0,02} - 1}$$

$$t = 0,824 \text{ detik}$$

Untuk lokasi 75% panjang penyulang, waktu kerja relai arus lebih di penyulang dan di incoming 20 kV adalah :

Waktu kerja relai di

Penyulang 20 kV

$$t = \frac{0,14.0,164}{\left(\frac{8041}{300,7}\right)^{0,02} - 1}$$

$$t = 0,337 \text{ detik}$$

Incoming 20 kV trafo tenaga

$$t = \frac{0,14.0,194}{\left(\frac{8041}{1818,6}\right)^{0,02} - 1}$$

$$t = 0,9 \text{ detik}$$

Untuk lokasi 100% panjang penyulang, waktu kerja relai arus lebih di penyulang dan di incoming 20 kV adalah :

Waktu kerja relai di

Penyulang 20 kV

$$t = \frac{0,14.0,164}{\left(\frac{7090,69}{300,7}\right)^{0,02} - 1}$$

$$t = 0,351 \text{ detik}$$

Incoming 20 kV trafo tenaga

$$t = \frac{0,14.0,194}{\left(\frac{7090,69}{1818,6}\right)^{0,02} - 1}$$

$$t = 0,98 \text{ detik}$$

4.3.2 Waktu kerja relai pada gangguan 2 fasa

Waktu kerja relai arus lebih pada penyulang dan incoming 20 kV trafo untuk gangguan 2 fasa yang terjadi di lokasi 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% panjang penyulang juga dapat dihitung dengan menggunakan rumus yang sama.

Lokasi gangguan pada 0% panjang penyulang

Waktu kerja relai di :

Penyulang 20 kV

$$t = \frac{0,14.Tms}{\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1}$$

$$t = \frac{0,14.0,164}{\left(\frac{10638}{300,7}\right)^{0,02} - 1}$$

$$t = 0,310 \text{ detik}$$

Lokasi gangguan pada 25% panjang penyulang

Waktu kerja relai di :

Penyulang 20 kV

$$t = \frac{0,14.0,164}{\left(\frac{9202,18}{300,7}\right)^{0,02} - 1}$$

$$t = 0,324 \text{ detik}$$

Lokasi gangguan pada 50% panjang penyulang

Waktu kerja relai di :

Penyulang 20 kV

$$t = \frac{0,14.0,164}{\left(\frac{7976}{300,7}\right)^{0,02} - 1}$$

$$t = 0,350 \text{ detik}$$

Lokasi gangguan pada 75% panjang menyulang :

Waktu Kerja Relai di :

Penyulang 20 kV

$$t = \frac{0,14.0,164}{\left(\frac{6964}{300,7}\right)^{0,02} - 1}$$

$$t = 0,353 \text{ detik}$$

Incoming 20 kV trafo tenaga

$$t = \frac{0,14.Tms}{\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1}$$

$$t = \frac{0,14.0,194}{\left(\frac{10638}{1818,6}\right)^{0,02} - 1}$$

$$t = 0,755 \text{ detik}$$

Incoming 20 kV trafo tenaga

$$t = \frac{0,14.0,194}{\left(\frac{9202,18}{1818,6}\right)^{0,02} - 1}$$

$$t = 0,824 \text{ detik}$$

Incoming 20 kV trafo tenaga

$$t = \frac{0,14.0,194}{\left(\frac{7976}{1818,6}\right)^{0,02} - 1}$$

$$t = 0,905 \text{ detik}$$

Incoming 20 kV trafo tenaga

$$t = \frac{0,14.0,194}{\left(\frac{6964}{1818,6}\right)^{0,02} - 1}$$

$$t = 0,997 \text{ detik}$$

Untuk lokasi 100% panjang penyulang, waktu kerja relai arus lebih di penyulang dan di incoming 20 kV adalah :

Waktu kerja relai di

Penyulang 20 kV

$$t = \frac{0,14 \cdot 0,164}{\left(\frac{6140,72}{300,7}\right)^{0,02} - 1}$$

$$t = 0,369 \text{ detik}$$

Incoming 20 kV trafo tenaga

$$t = \frac{0,14 \cdot 0,194}{\left(\frac{6140,72}{1818,6}\right)^{0,02} - 1}$$

$$t = 1,102 \text{ detik}$$

4.3.3 Waktu kerja relai pada gangguan 1 fasa ke tanah

Setelan relai gangguan tanah di :

Lokasi gangguan pada 0% panjang penyulang

Waktu kerja relai di :

Penyulang 20 kV

$$t = \frac{0,14 \cdot T_{ms}}{\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1}$$

$$t = \frac{0,14 \cdot 0,103}{\left(\frac{856,38}{81,3}\right)^{0,02} - 1}$$

$$t = 0,297 \text{ detik}$$

Incoming 20 kV trafo tenaga

$$t = \frac{0,14 \cdot T_{ms}}{\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1}$$

$$t = \frac{0,14 \cdot 0,26}{\left(\frac{865,38}{65,04}\right)^{0,02} - 1}$$

$$t = 0,685 \text{ detik}$$

Lokasi gangguan pada 25% panjang penyulang

Waktu kerja relai di :

Penyulang 20 kV

$$t = \frac{0,14 \cdot 0,103}{\left(\frac{853,14}{81,3}\right)^{0,02} - 1}$$

$$t = 0,299 \text{ detik}$$

Incoming 20 kV trafo tenaga

$$t = \frac{0,14 \cdot 0,26}{\left(\frac{853,14}{65,04}\right)^{0,02} - 1}$$

$$t = 0,689 \text{ detik}$$

Lokasi gangguan pada 50% panjang penyulang

Waktu kerja relai di :

Penyulang 20 kV

Incoming 20 kV trafo tenaga

$$t = \frac{0,14.0,103}{\left(\frac{840,73}{81,3}\right)^{0,02} - 1}$$

$$t = 0,301 \text{ detik}$$

Lokasi gangguan pada 75% panjang menyulang :

Waktu Kerja Relai di :

Penyulang 20 kV

$$t = \frac{0,14.0,103}{\left(\frac{829,63}{81,3}\right)^{0,02} - 1}$$

$$t = 0,303 \text{ detik}$$

Lokasi gangguan pada 100% panjang menyulang :

Waktu Kerja Relai di :

Penyulang 20 kV

$$t = \frac{0,14.0,103}{\left(\frac{805,39}{81,3}\right)^{0,02} - 1}$$

$$t = 0,307 \text{ detik}$$

$$t = \frac{0,14.0,26}{\left(\frac{840,73}{65,04}\right)^{0,02} - 1}$$

$$t = 0,693 \text{ detik}$$

Incoming 20 kV trafo tenaga

$$t = \frac{0,14.0,26}{\left(\frac{829,63}{65,04}\right)^{0,02} - 1}$$

$$t = 0,696 \text{ detik}$$

Incoming 20 kV trafo tenaga

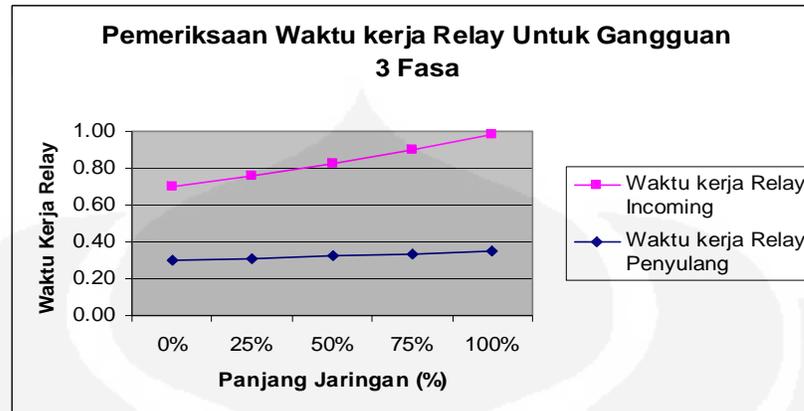
$$t = \frac{0,14.0,26}{\left(\frac{805,39}{65,04}\right)^{0,02} - 1}$$

$$t = 0,705 \text{ detik}$$

Untuk memudahkan dalam melihat secara keseluruhan untuk kerja Relai Arus lebih dan relai gangguan tanah di penyulang dan di incoming 20 kV Trafo Tenaga serta dengan berbagai lokasi gangguan 3 Fasa, 2 Fasa dan 1 Fasa ke tanah, hasil pemeriksaan waktu Kerja Relai dibuat tabel seperti berikut ini.

Lokasi Gangguan (% panjang)	Waktu kerja Relay Incoming (detik)	Waktu kerja Relay Penyulang (detik)	Selisih waktu (Grading Time) (detik)
0%	0,697	0,298	0,399
25%	0,755	0,310	0,445
50%	0,824	0,324	0,5
75%	0,9	0,337	0,563
100%	0,98	0,351	0,629

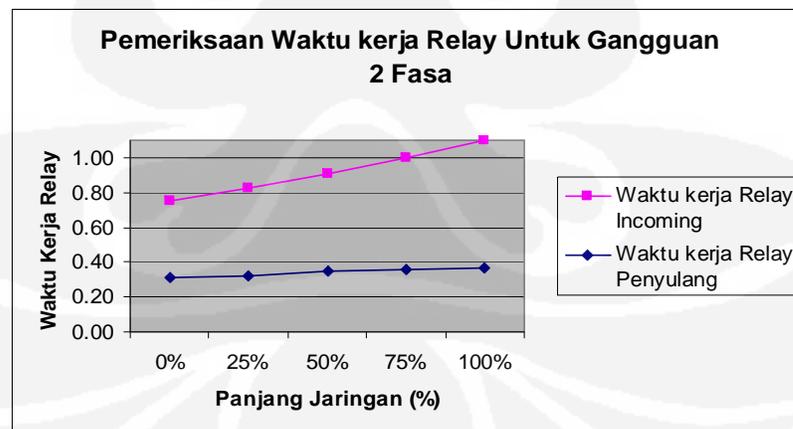
Tabel 4.9 Pemeriksaan Waktu kerja Relay Untuk Gangguan 3 Fasa



Gambar 4.3.Kurva Pemeriksaan Waktu Kerja Relay untuk Ganggguan 3 Fasa

Lokasi Gangguan (% panjang)	Waktu kerja Relay Incoming (detik)	Waktu kerja Relay Penyulang (detik)	Selisih waktu (Grading Time) (detik)
0%	0,755	0,310	0,455
25%	0,824	0,324	0,5
50%	0,905	0,350	0,555
75%	0,997	0,353	0,644
100%	1,102	0,369	0,733

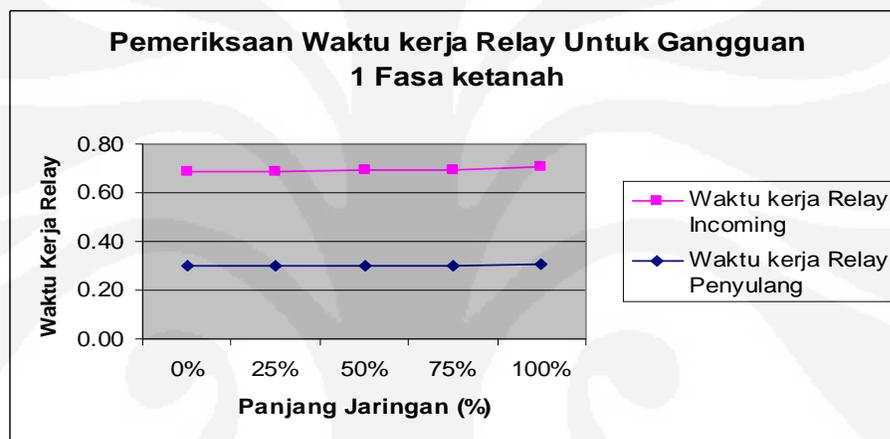
Tabel 4.10 Pemeriksaan Waktu kerja Relay Untuk Ganggguan 2Fasa



Gambar 4.4. Kurva Pemeriksaan Waktu Kerja Relay untuk Ganggguan 2 Fasa

Lokasi Gangguan (% panjang)	Waktu kerja Relay Incoming (detik)	Waktu kerja Relay Penyulang (detik)	Selisih waktu (Grading Time) (detik)
0%	0,685	0,297	0,388
25%	0,689	0,299	0,390
50%	0,693	0,301	0,392
75%	0,696	0,303	0,393
100%	0,705	0,307	0,398

Table 4.11 Pemeriksaan Waktu kerja Relay Untuk Gangguan 1Fasa ke tanah



Gambar 4.5. Kurva Pemeriksaan Waktu Kerja Relay untuk Ganggguan 1 Fasa Ketanah

- **Analisis**

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa waktu kerja relai di penyulang lebih cepat di banding waktu kerja di incoming dengan selisih waktu (*grading time*) 0,399 dibulatkan 0,4. Selain daripada itu dapat dilihat jarak lokasi gangguan mempengaruhi besar kecilnya selisih waktu (*grading time*). Semakin jauh jarak lokasi gangguan maka semakin besar selisih waktu antara waktu kerja relai di penyulang dengan waktu kerja relai di incoming dan begitu juga sebaliknya Ini bertujuan memberi kesempatan pada relai di penyulang untuk bekerja terlebih dahulu sebagai pengaman utama (*main protection*) apabila terjadi gangguan hubung singkat di penyulang dan relai di incoming bekerja sebagai pengaman cadangan (*back-up protection*) apabila relai di penyulang tidak bekerja. Dapat dilihat juga dari tabel diatas bahwa waktu kerja relai untuk gangguan 3fasa lebih cepat dibandingkan waktu kerja relai untuk

gangguan 2fasa pada titik gangguan tertentu, dengan kata lain besarnya kecilnya arus gangguan mempengaruhi cepat lambatnya waktu kerja relai, apabila ditinjau berdasarkan fasa. Semakin besar arus gangguan maka semakin cepat waktu kerja relai dan begitu juga sebaliknya.

4.4.1 Perbandingan Hasil Perhitungan arus Hubung singkat Dengan Data di Lapangan

Panjang Penyulang (%)	Jarak	Arus Hubung Singkat (A)		
		3 fasa	2 fasa	1 fasa
0	0	12257	10638	865,38
25	1,376	10625,7	9202,18	853,14
50	2,753	9200,32	7967,72	840,73
75	4,130	8041,55	6964,19	829,63
100	5,507	7090,69	6140,72	805,39

Tabel 4.12. Hasil Perhitungan Arus Hubung Singkat Penyulang SADEWA

Panjang Penyulang (%)	Jarak	Arus Hubung Singkat (A)		
		3 fasa	2 fasa	1 fasa
0	0	12032,9	10420,8	916,09
25	1,376	10308	8927,0	898,33
50	2,753	8867,3	7679,3	880,55
75	4,130	7729,8	6694,2	863,44
100	5,507	6825,2	5910,8	846,99

Tabel 4.13. Arus Hubung Singkat Existing Penyulang SADEWA

Dari Tabel diatas terlihat adanya perbedaan antara hasil perhitungan dengan realisasi dilapangan hal ini dikarenakan adanya sistem perhitungan yang berbeda maka arus hubung singkat existing lebih kecil jika dibandingkan dengan arus hubung singkat hasil perhitungan, Hal ini disebabkan sistem perhitungan arus hubung singkat

existing tidak memperhatikan hubungan trafo yang berada di GI dan hanya melihat belitannya saja.

4.4.2 Perbandingan Hasil Perhitungan Dengan Data di Lapangan

No	Nama relay	Data hasil perhitungan	Data yang terpasang di lapangan
1.	OCR (sisi Incoming)	TMS = 0,19 Rasio CT = 2000/5 A t = 0,67 detik	TMS = 0,16 Rasio CT = 2000/5 A t = 0,7 detik
2.	GFR (sisi Incoming)	TMS = 0,26 Rasio CT = 2000/5 A t = 0,685 detik	TMS = 0,26 Rasio CT = 2000/5 A t = 0,69 detik
3.	OCR (sisi Penyulang)	TMS = 0,164 Rasio CT = 300/5 A t = 0,298 detik	TMS = 0,16 Rasio CT = 300/5 A t = 0,30 detik
4	GFR (sisi Penyulang)	TMS = 0,29 Rasio CT = 300/5 A t = 0,103 detik	TMS = 0,10 Rasio CT = 300/5 A t = 0,29 detik

Tabel 4.14. Perbandingan Hasil perhitungan Dengan Data Lapangan

Berdasarkan tabel 4.14 dapat dianalisa bahwa hasil perhitungan dengan data yang ada dilapangan masih dalam kondisi yang sesuai (perbedaannya tidak terlalu jauh), sehingga dapat disimpulkan bahwa secara keseluruhan setting OCR-GFR yang ada dilapangan sudah baik. Karena hasil dari perhitungan tersebut untuk di setkan ke relay OCR-GFR maka harus di sesuaikan dengan tap-tap yang ada pada relay yang bersangkutan. Sehingga hasilnya tidak akan persis sama dengan hasil perhitungan.

Tetapi ada setting relay yang sudah tidak sesuai lagi, yaitu setting relay GFR di sisi penyulang, dimana $t = 0,29$, dengan kata lain jika terjadi gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah maka relay tersebut akan memerlukan waktu lama untuk kerja. Jadi setting relay GFR sisi Penyulang yang ada dilapangan harus di setting kembali.

BAB V

KESIMPULAN

- Besar arus gangguan 3 fasa di 0% = 11547, 25% = 9813,67, 50% = 8417,37, 75% = 7279,78, 100% = 6374,15. Besar arus gangguan 2 fasa di 0% = 10000, 25% = 8498,89, 50% = 7289,66, 75% = 6304,48, 100% = 5520,18. Besar arus gangguan 1 fasa ketanah di 0% = 927,45, 25% = 904,46, 50% = 882,49, 75% = 861,59, 100% = 841,66.
- Dari hasil perhitungan dapat dilihat bahwa besarnya arus gangguan hubung singkat di pengaruhi oleh jarak titik gangguan, semakin jauh jarak titik gangguan maka semakin kecil arus gangguan hubung singkatnya, begitu pula sebaliknya.
- Penyetelan OCR dan GFR yang didapat dari hasil perhitungan

OCR sisi Incoming 20 kV

$$I_{set\ primer} = 1818,6\ A$$

$$I_{set\ Sekunder} = 5\ A$$

$$Tms = 0,194$$

GFR sisi Incoming 20 kV

$$I_{set\ primer} = 64,04\ A$$

$$I_{set\ Sekunder} = 0,16\ A$$

$$Tms = 0,26$$

OCR sisi Penyulang 20 kV

$$I_{set\ primer} = 300,7\ A$$

$$I_{set\ Sekunder} = 5\ A$$

$$Tms = 0,164$$

GFR sisi Penyulang 20 kV

$$I_{set\ primer} = 81,3\ A$$

$$I_{set\ Sekunder} = 1,3\ A$$

$$Tms = 0,103$$

- Waktu kerja relai di penyulang lebih cepat di bandingkan dengan waktu kerja di incoming dengan selisih waktu (grading time) rata-rata sebesar 0,4. Hal ini disebabkan jarak lokasi gangguan mempengaruhi besar kecilnya selisih waktu (grading time). Semakin jauh jarak lokasi gangguan, maka semakin besar selisih waktu kerja relai di incoming.
- Hasil perhitungan dengan data yang ada dilapangan masih dalam kondisi yang sesuai (perbedaannya tidak terlalu jauh), sehingga dapat disimpulkan bahwa secara keseluruhan setting OCR-GFR yang ada dilapangan masih dalam kondisi baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Budi Utomo, Heri. Ir. 2004. *Modul Perkuliahan : Proteksi Penyulang Tegangan Menengah*. Bandung : Politeknik Negeri Bandung.
- [2] Gonen, Turan. 1986. *Electrical Power Distribution System Engineering*. New York : McGraw-Hill Book Company
- [3] Kadarisman, Pribadi. Ir. 2002. *Kursus Proyeksi Pada Pembangkit*
- [4] Rasidin Hardi, Rasiddin. 2005. Tugas Akhir : *Setting Relai Proteksi Tegangan Menengah Di Gandu Induk Cibabat Penyulang NT4A*. Bandung : Politeknik Negeri Bandung