



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI KELAYAKAN SISTEM PENTANAHAN PERALIHAN SEBAGAI
PROTEKSI PERTAMA GANGGUAN TANAH PADA GARDU INDUK
DEPOK BARU**

SKRIPSI

**HARTADHI
04 04 03 042 3**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
JUNI 2009**



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI KELAYAKAN SISTEM PENTANAHAN PERALIHAN
SEBAGAI PROTEKSI PERTAMA GANGGUAN TANAH PADA
GARDU INDUK DEPOK BARU**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**HARTADHI
04 04 03 042 3**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
DEPARTEMEN TEKNIK 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 : Hartadhi

NPM : 0404030423

Tanda Tangan :

Tanggal : 08 Juni 2009

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Hartadhi

NPM : 0404030423

Program Studi : Teknik Elektro

Judul Skripsi : Studi Kelayakan Sistem Pentanahan Peralihan Sebagai Proteksi
Pertama Gangguan Tanah Pada Gardu Induk Depok Baru

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 : Prof. Dr. Ir. Iwa Garniwa M.K, MT. ()

Penguji : Prof. Dr. Ir. Rudy Setiabudy, DEA. ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 2 Juli 2009

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur kehadirat Allah SWT atas berkat dan rahmat-Nya sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Saya menyadari, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Budi Sudiarto ST, MT selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
2. Mas Ardian dan Pak Cecep atas bantuannya di PT. PLN dengan menyediakan data yang saya butuhkan.
3. Mas Ambar dan Bapak Mustafa di PT.CPI atas ide-idenya dan memperkenalkan *GFPC*.
4. Segenap dosen Departemen Teknik Elektro atas ilmu-ilmu yang telah diberikan.
5. Orang tua dan keluarga saya atas dukungannya baik moral maupun material.
6. Cristof dan Peckpock serta sahabat-sahabat lain yang telah banyak membantu dukungan moral saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 08 Juni 2009
Hartadhi

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Hartadhi
NPM : 0404030423
Program Studi : Teknik Elektro
Departemen : Teknik 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 :

Studi Kelayakan Sistem Pentanahan Peralihan Sebagai Proteksi Pertama
Gangguan Tanah Pada Gardu Induk Depok Baru

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir 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 : 08 Juni 2009

Yang menyatakan

(Hartadhi)

ABSTRAK

Nama : Hartadhi
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Studi Kelayakan Sistem Pentanahan Peralihan Sebagai Proteksi
Pertama Gangguan Tanah Pada Gardu Induk Depok Baru

Gangguan adalah kenyataan yang tidak dapat dihindari pada sistem transmisi dan distribusi listrik. Gangguan yang paling sering terjadi adalah gangguan tanah, baik itu satu fasa maupun dua fasa ke tanah yang disebabkan fenomena alam seperti pohon dan petir. Gangguan ini biasanya bersifat sementara sehingga akan sangat merugikan kalau terjadi pemutusan suplai daya pada beban yang bertujuan mengisolasi gangguan. Sistem pentanahan peralihan bekerja dengan memutuskan hubungan netral transformator ke tanah selama satu atau dua detik selama terjadi gangguan. Sistem ini akan bekerja sebagai proteksi tingkat pertama pada gangguan tanah yang bersifat sementara sehingga pemutusan suplai daya tidak perlu dilakukan.

Kata Kunci:

Gangguan tanah, proteksi gangguan tanah, penutup balik otomatis, pentanahan.

ABSTRACT

Name : Hartadhi
Major : Electrical Engineering
Title : Study of Ground Fault Path Clearance System as Preliminary Protection on Ground Fault at Depok Baru Substation

Faults in transmission system are inevitably exist. Faults that occur are mostly ground fault, either one phase or two phase to ground. This type of fault is usually temporary due to natural phenomenons such as trees and lightnings. It would be so inefficient to disconnect the load from the power source just in order to isolate the fault. Ground Fault Path Clearance (GFPC) system will disconnect the connection between the transformator neutral and ground for one or two second(s) during the fault occurence. This system will be the preliminary protection against ground fault so it would not be necessary to disconnect the load from the power source.

Keywords:

Ground Fault, Ground Fault Protection, Grounding Recloser, Floating Ground.

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
UCAPAN TERIMA KASIH	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAAN PUBLIKASI	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR SINGKATAN	xiv
DAFTAR ISTILAH/SIMBOL	xv
1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penulisan	1
1.3 Batasan Masalah	1
1.4 Sistematika Penulisan	2
2. DASAR TEORI	3
2.1 Sistem Pentanahan	3
2.1.1 Tujuan pentanahan dari sebuah sistem	3
2.1.2 Menentukan titik netral dari sebuah sistem	3
2.1.3 Komponen Simetris dan Arus Fasa Nol	4
2.1.3.1 Konstanta a	4
2.1.4 Klasifikasi Pentanahan	5
2.1.4.1 Sistem tanpa pentanahan	5
2.1.4.2 Pentanahan melalui tahanan	7
2.1.4.2.a Pentanahan melalui tahanan tinggi	8
2.1.4.2.b. Pentanahan dengan tahanan rendah.	9
2.2 Parameter Sistem	11
2.2.1 Impedansi Saluran	11
2.2.1.1 Impedansi Saluran Urutan Positif	11
2.2.1.2 Perhitungan Impedansi Saluran Urutan Nol	12
2.2.2 Impedansi Trafo	13
2.2.3 Impedansi Sumber	13
3.3.2 Arus Kapasitansi Saluran	14
2.3 Gangguan Satu Fasa ke Tanah	15
2.3.1 Proteksi Gangguan Satu Fasa ke Tanah	15
2.3.1.1 Arus Balik	16
2.3.2 Arus gangguan tanah	16
2.3.3 Tegangan langkah dan tegangan sentuh	16
2.3.3.1 Tegangan sentuh	16
2.3.3.2 Tegangan langkah	16

2.4 Peralatan Pendukung Sistem Proteksi	18
2.4.1 Penutup Balik Otomatis	18
2.4.2 Rele Arus Lebih	19
3. KONSEP GFPC PADA JARINGAN SUTM GI DEPOK BARU	22
3.1 Prinsip Kerja <i>GFPC</i>	22
3.1.1 Instalasi <i>GFPC</i>	23
3.1.2 Algoritma Sistem Proteksi Dengan <i>GFPC</i> .	24
3.1.3 Tingkatan Proteksi Sistem Dengan <i>GFPC</i>	25
3.1.4 Prosedur Standar Operasi <i>GFPC</i>	26
3.1.4.1 Pada operasi Normal	26
3.1.4.2 Pada operasi abnormal	27
3.2 Kondisi Sistem Ketika <i>GFPC</i> Bekerja	27
3.2.1 Konsep <i>GFPC</i> Terhadap Perubahan Tegangan	28
3.2.2 Konsep <i>GFPC</i> Terhadap Switching Transien	29
3.3 Sistem Terpasang Pada GI Depok Baru	30
3.3.1 Diagram Satu GarisSistem Proteksi Terpasang	30
3.3.2 Sistem Pentanahan pada GI Depok Baru	31
3.3.3 Diagram Alir Pemasangan <i>GFPC</i> di GI Depok Baru	32
3.3.4 Konsep <i>GFPC</i> sebagai proteksi pertama gangguan satu fasa ke tanah pada GI Depok Baru.	32
3.3.5 Simulasi Gangguan Satu Fasa ke Tanah Pada Setiap Penyulang	34
4. KOORDINASI RELE GANGGUAN TANAH DAN GFPC PADA GI DEPOK BARU	36
4.1 Karakteristik JTM GI Depok Baru	36
4.1.1 Kurva Batas Kerusakan Penyulang	36
4.1.2 Kurva Batas Kerusakan Trafo	37
4.1.3 Arus Kapasitansi Saluran	38
4.2 Karakteristik Proteksi Gangguan Tanah Pada Trafo I GI Depok Baru	40
4.2.1 Setelan Arus dan Waktu PBO Pentanahan	40
4.2.2 Setelan Arus dan Waktu <i>GFR</i> Penyulang Trafo I	40
4.2.2.1 Setelan Arus dan Waktu $i_{e>}$ <i>GFR</i> Penyulang Trafo I	41
4.2.2.2 Setelan Arus momen $i_{e>>>}$ <i>GFR</i> Penyulang Trafo I	41
4.2.2.3 Setelan Arus dan Waktu $i_{e>>}$ <i>GFR</i> Penyulang Trafo I	41
4.2.3 Setelan Arus dan Waktu <i>GFR</i> Cadangan pada trafo I	43
4.2.3.1 Setelan Arus dan Waktu $i_{e>>}$ <i>GFR</i> Cadangan pada trafo I	43
4.2.3.2 Setelan Arus dan Waktu $i_{e>}$ <i>GFR</i> Cadangan pada trafo I	43
4.2.4 Analisa Koordinasi Proteksi Gangguan tanah pada trafo I GI Depok Baru	44
4.2.4.1 Plot <i>TCC</i> Proteksi Arus Lebih Pada Trafo I	45
4.2.5 Analisa Tegangan Lebih Transien Karena Switsing PBO	46
4.3 Karakteristik Proteksi Gangguan Tanah pada Trafo II & III GI Depok Baru	47
4.3.1 Setelan Arus dan Waktu <i>GFR</i> Penyulang Trafo II & III	47
4.3.1.1 Setelan Arus momen $i_{e>>}$ <i>GFR</i> Penyulang Trafo II & III	47
4.3.1.2 Setelan Arus dan Waktu $i_{e>}$ <i>GFR</i> Penyulang Trafo II & III	48
4.3.2 Setelan Arus dan Waktu <i>GFR</i> Cadangan pada trafo II & III	49

4.2.3.1 Setelan Arus dan Waktu $ie \gg GFR$ Cadangan pada trafo II & III	49
4.2.3.2 Setelan Arus dan Waktu $ie > GFR$ Cadangan pada trafo II & III	49
4.3.3 Analisa Koordinasi Proteksi Gangguan tanah pada trafo II & III GI Depok Baru	50
4.3.3.1 Plot TCC Proteksi Arus Lebih Pada Trafo II	51
4.3.3.1 Plot TCC Proteksi Arus Lebih Pada Trafo III	52
5. KESIMPULAN	53
DAFTAR ACUAN	54
DAFTAR PUSTAKA	55
LAMPIRAN	56

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Sistem tanpa pentanahan dan fasornya	6
Gambar 2.2. Sistem tanpa pentanahan ketika terjadi gangguan	6
Gambar 2.3. Sistem dengan tahanan pentanahan	7
Gambar 2.4. Gangguan tanah pada pentanahan dengan tahanan tinggi	8
Gambar 2.5. Gangguan tanah pada pentanahan dengan tahanan rendah	9
Gambar 2.6 Konfigurasi Konduktor Horizontal	14
Gambar 2.7 Kondisi terjadinya tegangan sentuh	17
Gambar 2.8 Rangkaian ekivalen thevenin pada tegangan sentuh	17
Gambar 2.9 Kondisi terjadinya tegangan langkah	18
Gambar 2.10 Rangkaian ekivalen thevenin pada tegangan langkah	18
Gambar 2.1 Kurva-Kurva Karakteristik Arus Terhadap Waktu	20
Gambar 2.2 Kurva Karakteristik Rele Arus Lebih Inverse	20
Gambar 2.3 Setting Pengali Waktu	21
Gambar 3.1 Gambar dua dimensi GFPC	23
Gambar 3.2 Diagram satu garis sistem proteksi dengan GFPC pada netral trafo	24
Gambar 3.3 Algoritma Sistem Proteksi dengan GFPC	25
Gambar 3.4 Koordinasi proteksi pada sistem dengan GFPC	26
Gambar 3.5 (a) Kondisi sistem dengan pentanahan sebelum terjadi gangguan; (b) Kondisi sistem tanpa pentanahan ketika terjadi gangguan.	28
Gambar 3.6 Rangkaian Ekivalen Saluran Transmisi	29
Gambar 3.7 Diagram Satu Garis Dari GI Depok Baru.	30
Gambar 3.8 Diagram Alir Pemasangan GFPC di GI Depok Baru.	32
Gambar 3.9 Diagram Satu Garis Sistem GFPC Pada GI Depok Baru	33
Gambar 3.10 Simulasi Gangguan Tanah Pada Penyulang Tenor	34
Gambar 3.11 Hasil Simulasi Gangguan Tanah Pada Penyulang Tenor	35
Gambar 4.1 Konfigurasi SUTM Penyulang GI Depok Baru	38
Gambar 4.2 Plot TCC Proteksi Arus Lebih Trafo I GI Depok Baru	45
Gambar 4.3 Tegangan Lebih Transien Pada Trafo I	47
Gambar 4.4 Plot TCC Proteksi Arus Lebih Trafo II GI Depok Baru	51
Gambar 4.5 Plot TCC Proteksi Arus Lebih Trafo III GI Depok Baru	52

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik beberapa metode pentanahan	10
Tabel 3.1 Perbandingan sistem tanpa dan dengan pentanahan	27
Tabel 3.2 Arus Gangguan Minimum Pada Setiap Penyulang	35
Tabel 4.1 Batas Kerusakan Konduktor SUTM	36
Tabel 4.2 Batas Kerusakan Konduktor SKTM	37
Tabel 4.3 Batas Kerusakan Trafo Kategori III	37
Tabel 4.4 Data Kapasitansi Konduktor SUTM GI Depok Baru	39
Tabel 4.5 Data Kapasitansi Konduktor SKTM GI Depok Baru	39
Tabel 4.6 Arus Netral Minimum danKapasitif Penyulang Trafo I GI Depok Baru	39
Tabel 4.7 Fungsi Arus dan Waktu Rele Pada Penyulang Trafo I	40
Tabel 4.8 Setelan Arus dan Waktu $i_{e>>}$ GFR Penyulang Trafo I	42
Tabel 4.9 Keseluruhan Setelan Proteksi Cadangan Pada Trafo I	44
Tabel 4.10 Keseluruhan Setelan Proteksi Cadangan Pada Trafo I	44
Tabel 4.11 Tegangan Lebih Transien Pada Trafo I	46
Tabel 4.12 Fungsi Arus dan Waktu Rele Pada Penyulang Trafo I I & III	47
Tabel 4.13 Arus Netral Minimum danKapasitif SKTM Penyulang GI Depok Baru	48
Tabel 4.14 Keseluruhan Setelan Proteksi Utama Pada Trafo II & III	50
Tabel 4.15 Keseluruhan Setelan Proteksi Cadangan Pada Trafo II	50
Tabel 4.16 Keseluruhan Setelan Proteksi Utama Pada Trafo III	50

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Foto GFPC Terpasang Pada Gardu Induk	56
Lampiran 2	Rating Trafo Pada GI Depok Baru	57
Lampiran 3	Setelan Rele Pada GI Depok Baru	58
Lampiran 4	Data Konduktor JTM GI Depok Baru	60
Lampiran 5	Konstanta Karakteristik Rele	62

DAFTAR SINGKATAN

A3C	All Alluminum Alloy Conductor
AAC	All Alluminum Counductor
PBO	Penutup Balik Otomatis
CT	Current Transformer (Transformator Arus)
GFPC	Ground Fault Path Clearance (Sistem Pentanahan Peralihan)
GFR	Ground Fault Relay (Rele Gangguan Tanah)
GI	Gardu Induk
IEC	International Electrotechnical Commission
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
JTM	Jaringan Tegangan Menengah
PMT	Pemutus Tenaga
REA	Rural Electrification Administration
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition
SKTM	Saluran Kabel Tegangan Menengah
SUTM	Saluran Udara Tegangan Menengah
TID	Tegangan Isolasi Dasar
TMS	Time Multiplier Setting (Faktor Pengali Waktu)
T/LO	Trip/Lock Out (Membuka/Mengunci)
T/O	Trip/Open (Membuka/Tetap Terbuka)
T/R	Trip/Reclose (Membuka/Menutup Kembali)
TCC	Time Current Curve (Kurva Karakteristik Waktu dan Arus)
XLPE	Cross-Linked Polyethylene

DAFTAR ISTILAH / SIMBOL

Simbol	Keterangan	Satuan
A	Luas penampang konduktor	kcmil
C_o	Kapasitansi saluran	Farad (F)
GMD	Geometric mean distance	Meter (m)
GMR	Geometric mean radius	Meter (m)
I_F	Arus gangguan tanah total	Ampere(A)
I_N	Arus netral trafo	Ampere (A)
I_{Nmin}	Arus minimum pada netral trafo	Ampere (A)
I_{co}	Arus kapasitif saluran terhadap tanah	Ampere (A)
I_n	Arus fundamental dari rele	Ampere (A)
I_{PU}	Arus pick-up dari rele	Ampere (A)
I_{set}	Arus yang diset pada rele	Ampere (A)
T1	Temperatur normal konduktor	Celcius ($^{\circ}C$)
T2	Temperatur kegagalan konduktor	Celcius ($^{\circ}C$)
λ	Temperatur ideal konduktor	Celcius ($^{\circ}C$)
t_{bc}	Waktu kegagalan konduktor	Sekon (s)
t_{bt}	Waktu kegagalan trafo	Sekon (s)
t_d	Waktu tunda kerja rele	Sekon (s)
X_C	Reaktansi kapasitif	Ohm (Ω)
X_L	Reaktansi Induktif	Ohm (Ω)
V_{LL}	Tegangan fasa-fasa	Volt (V)
V_{LN}	Tegangan fasa-netral	Volt (V)
Z_0	Impedansi urutan nol	Ohm (Ω)
Z_1	Impedansi urutan positif	Ohm (Ω)
Z_2	Impedansi urutan negatif	Ohm (Ω)
Z_F	Impedansi gangguan	Ohm (Ω)
Z_N	Impedansi pada netral trafo	Ohm (Ω)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Penulisan

Saat ini dalam sistem transmisi dan distribusi listrik telah menggunakan peralatan dengan teknologi modern. Hal ini mewajibkan penggunaan sistem proteksi yang sangat modern juga dengan multi-proteksi. Hal ini dilakukan untuk menjaga pasokan listrik menuju beban tanpa terputus ketika terjadi gangguan. Gangguan pada system distribusi itu sendiri dapat dibagi secara garis besar menjadi :

- Gangguan fasa – fasa.
- Gangguan fasa – tanah.

Pada kenyataannya di lapangan gangguan yang paling sering terjadi adalah gangguan fasa – tanah baik itu yang bersifat temporer/ sementara maupun yang bersifat permanen. Untuk mengatasi gangguan yang bersifat temporer ini tanpa harus mengganggu pasokan listrik ke beban maka digunakan sistem pentanahan peralihan yang selanjutnya akan lebih sering disebut sebagai *GFPC* (*Ground Fault Path Clearance*), yang dalam bahasa Indonesia berarti pemutusan jalur pentanahan pada saat terjadi gangguan. Sistem ini masih tergolong baru dan banyak hal yang perlu dianalisis terutama dalam hal kerugian sistem ini. Faktor inilah yang melatar belakangi penulis untuk membahas lebih lanjut mengenai keefektifan, proses, keuntungan dan kerugian sistem *GFPC* ini.

1.2 Tujuan Penulisan

Tujuan penulisan skripsi ini adalah untuk melakukan studi kelayakan penerapan sistem *GFPC* sebagai proteksi pertama gangguan tanah pada GI Depok Baru dan melakukan perbandingan dengan sistem proteksi gangguan tanah yang sekarang terpasang pada GI Depok Baru.

1.3 Ruang Lingkup Masalah

Untuk mempersempit masalah dan mempermudah analisis sesuai tujuan, maka penulisan skripsi ini dibatasi pada hal-hal sebagai berikut:

1. Gangguan yang ditinjau hanya gangguan hubung singkat ke tanah.
2. Perhitungan arus hubung singkat menggunakan bantuan aplikasi *ETAP 5.0.3* dengan asumsi konfigurasi adalah kondisi normal operasi dengan standar *IEC* dan impedansi gangguan adalah 40Ω sesuai dengan ketentuan *REA*..
3. Frekuensi sistem adalah 50 Hz.
4. Perhitungan setelan rele mengacu pada tipe dan jenis rele yang terpasang.
5. Faktor daya beban diasumsikan 0.85.

1.4 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dibuat sedemikian rupa untuk mempermudah dalam mempelajari bagian – bagian dari kesatuan tulisan. Dalam penulisan tugas skripsi ini, sistematika penulisan adalah sebagai berikut :

1. Bab pertama merupakan pendahuluan yang berisi latar belakang, tujuan yang hendak dicapai dalam penulisan, pembatasan masalah yang akan dibahas, dan sistematika penulisan.
2. Bab kedua membahas jenis-jenis pentanahan yang umum digunakan, sistem proteksi pada gangguan fasa tanah. Selain itu juga berisikan prinsip kerja *GFPC*.
3. Bab ketiga membahas karakteristik sistem proteksi gangguan tanah pada GI Depok Baru.
4. Bab keempat membahas mengenai analisa penerapan *GFPC* pada GI Depok Baru dan koordinasinya dengan proteksi gangguan tanah pada setiap penyulang.
5. Bab kelima berisi kesimpulan-kesimpulan yang dapat diperoleh dari penulisan skripsi ini.

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Sistem Pentanahan

Pentanahan dari sistem tenaga listrik adalah merupakan pilihan yang harus dihadapi dalam perencanaan sebuah sistem. Pentanahan pada umumnya adalah dianjurkan walaupun ada beberapa kondisi pengecualian. Terdapat beberapa metode dan kriteria pada pemasangan sistem pentanahan, masing-masing memiliki keunikan tersendiri. Di sini penulis akan menjelaskan secara singkat pertimbangan dalam menentukan sistem pentanahan.

2.1.1 Tujuan pentanahan dari sebuah sistem

Pentanahan sebuah sistem adalah menghubungkan konduktor fasa atau netral menuju bumi dengan tujuan sebagai berikut :

- Menjaga dan mengatur beda potensial terhadap tanah sehingga masih dalam batas kewajaran.
- Menyediakan rangkaian tertutup sehingga arus dapat mengalir dari da menuju tanah yang lebih lanjut digunakan untuk mendeteksi adanya hubungan-hubungan yang tidak diinginkan antara konduktor dengan tanah. Deteksi inilah yang kemudian akan memicu operasi proteksi untuk mengambil langkah pengamanan yang salah satunya adalah dengan memutuskan konduktor tersebut dari sumber.

2.1.2 Menentukan titik netral dari sebuah sistem

Langkah paling efektif untuk menentukan titik netral untuk keperluan pentanahan dalam sistem tiga fasa adalah dengan menggunakan transformator atau generator yang sudah menggunakan konfigurasi lilitan bintang yang sudah pasti akan menyediakan titik netral. Tapi pada beberapa sistem lama yang masih menggunakan transformator dengan lilitan Δ maka alternatif yang dapat ditempuh adalah antara lain :

- Transformator pentanahan zigzag.
- Transformator pentanahan Y - Δ .
- Pentanahan pada titik selain titik netral.

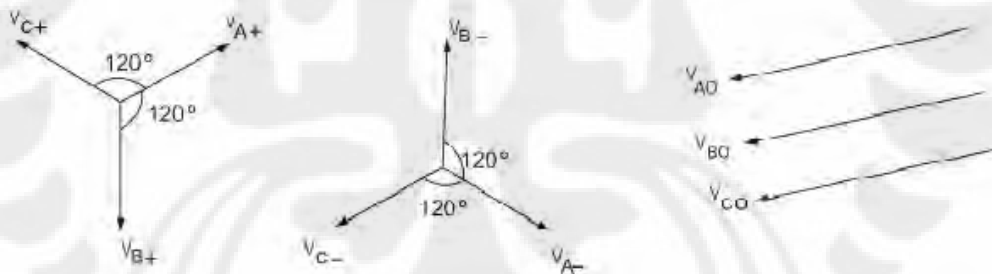
2.1.3 Komponen Simetris dan Arus Fasa Nol

Metode komponen simetris digunakan untuk mengubah sistem tiga fasa baik arus maupun tegangan yang tidak seimbang menjadi komponen – komponen tiga fasa yang seimbang. Ketiga komponen itu adalah :

- Komponen urutan positif yang terdiri dari tiga fasor yang memiliki besar yang sama tetapi memiliki beda fasa sebesar 120° satu sama lain ditandai dengan angka 1 atau (+).
- Komponen urutan negatif yang terdiri dari tiga fasor yang memiliki besar yang sama tetapi memiliki beda fasa sebesar 120° satu sama lain dengan urutan berlawanan dari komponen urutan positif, ditandai dengan angka 2 atau (-).
- Komponen urutan nol yang terdiri dari tiga fasor yang memiliki besar dan fasa yang sama, ditandai dengan angka 0.

Sehingga tegangan pada setiap fasa pada sebuah sistem dapat diuraikan menjadi sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 I_A &= I_{A1} + I_{A2} + I_{A0} \\
 I_B &= I_{B1} + I_{B2} + I_{B0} \dots \dots \dots (2.1) \\
 I_C &= I_{C1} + I_{C2} + I_{C0}
 \end{aligned}$$



2.1.3.1 Konstanta a

Konstanta a digunakan untuk mempermudah banyaknya operasi pergeseran fasa sebesar 120°. Pergeseran fasa ini dilakukan dengan menggunakan perkalian terhadap $1 \angle 120^\circ$. Sehingga konstanta a melambangkan pergeseran fasa sebesar 120°.

$$\begin{aligned}
 a &= 1 \angle 120^\circ \\
 a^2 &= 1 \angle 240^\circ \dots \dots \dots (2.2) \\
 a^3 &= 1 \angle 360^\circ = 1 \angle 0^\circ = 1
 \end{aligned}$$

Dengan begitu sekarang komponen simetris dapat direpresentasikan dengan konstanta a yaitu menjadi :

$$\begin{aligned} I_A &= I_{A1} + I_{A2} + I_{A0} \\ I_B &= a^2 I_{A1} + a I_{A2} + I_{A0} \dots \dots \dots (2.3) \\ I_C &= a I_{A1} + a^2 I_{A2} + I_{A0} \end{aligned}$$

Dan melalui operasi matrix invers maka akan diperoleh besar komponen – komponen simetris dari sistem tiga fasa yaitu :

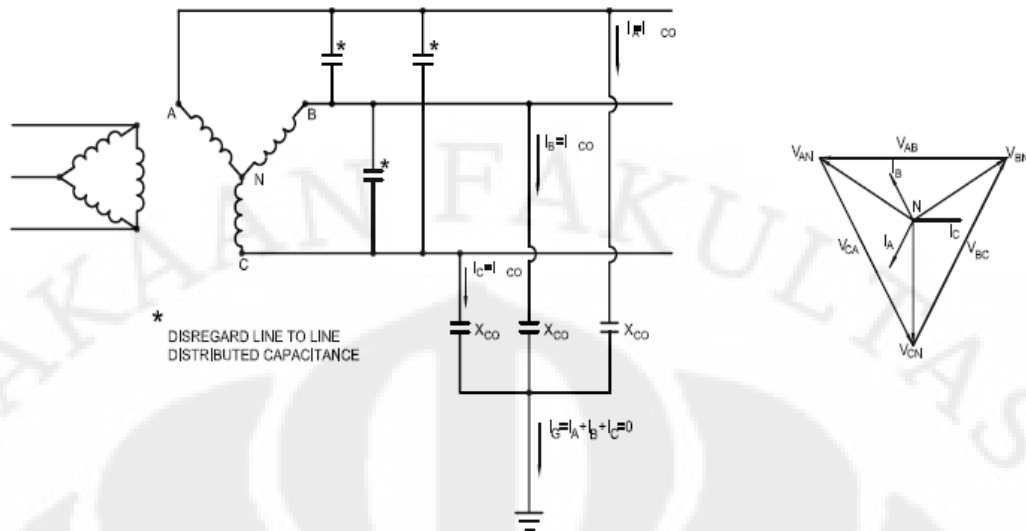
$$\begin{aligned} I_{A0} &= \frac{1}{3} (I_A + I_B + I_C) \\ I_{A1} &= \frac{1}{3} (I_A + a I_B + a^2 I_C) \dots \dots \dots (2.4) \\ I_{A2} &= \frac{1}{3} (I_A + a^2 I_B + a I_C) \end{aligned}$$

2.1.4 Klasifikasi Pentanahan

2.1.4.1 Sistem tanpa pentanahan (Tanpa hubungan konduktor antara netral – tanah)

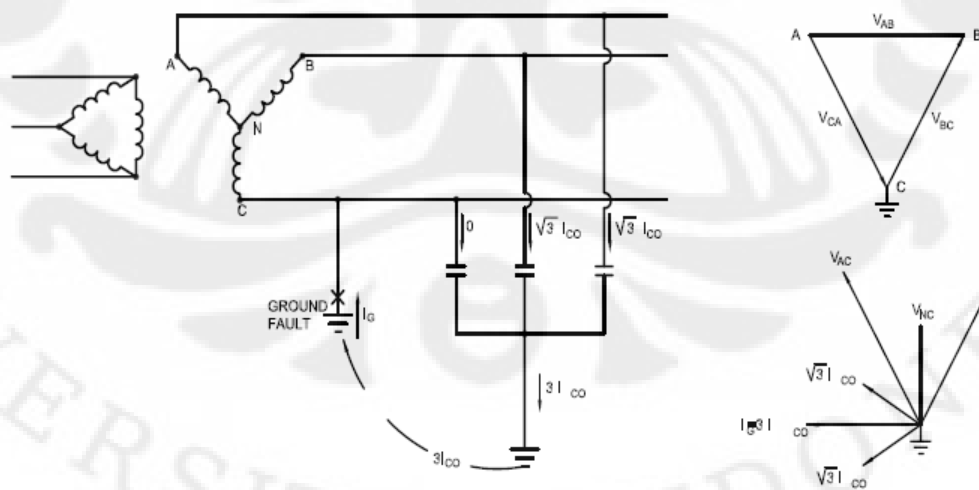
Pada sistem tanpa pentanahan, tidak ada koneksi antara konduktor dengan tanah. Bagaimanapun juga, seperti terlihat pada gambar 2.1 selalu ada impedansi (kapasitansi) antar konduktor dan impedansi konduktor terhadap tanah. Jadi dengan kata lain sistem secara tidak langsung adalah ditanahkan. Dalam kondisi ini, kapasitansi antar konduktor sangat kecil jika dibandingkan dengan kapasitansi konduktor terhadap tanah, sehingga dapat diabaikan. Untuk kemudahan maka reaktansi kapasitif konduktor terhadap ground X_{co} dapat dianggap seimbang.

Pada keadaan normal tanpa gangguan dengan tegangan tiga fasa seimbang pada konduktor, arus kapasitif I_{co} pada konduktor akan seimbang dengan beda sudut fasa sebesar 120° . Tegangan fasa – netral juga akan seimbang dengan beda sudut fasa sebesar 120° juga. Hubungan vektorial antara keduanya ditunjukkan pada gambar 2.1. Karena netral dari kapasitansi berada pada potensial tanah, maka dapat dikatakan bahwa netral trafo juga memiliki nilai potensial tanah.



Gambar 2.1. Sistem tanpa pentanahan dan fasornya.

Jika salah satu dari konduktor mengalami gangguan ke tanah, misalnya fasa C. Maka arus kapasitif pada fasa ini akan hilang karena tidak terdapat beda potensial lagi. Tegangan antara dua fasa yang tidak mengalami gangguan akan meningkat dari tegangan fasa - netral menjadi tegangan fasa - fasa dengan beda fasa tidak lagi 120° melainkan 60° , demikian juga dengan arus kapasitif yang akan meningkat sebesar $\sqrt{3}$ dari keadaan normal. Dan jumlah vektorial dari arus vektorial tidak lagi nol melainkan $3I_{co}$.



Gambar 2.2. Sistem tanpa pentanahan ketika terjadi gangguan.

Pada sistem tanpa pentanahan, ada kemungkinan munculnya tegangan transient yang meningkat akibat arus gangguan tanah yang berulang - ulang.

Besar dari tegangan ini dapat berkali lipat normalnya dan dapat berbahaya terhadap sistem. Hal ini lah yang menjadikan sistem ini sudah tidak dianjurkan lagi dan sudah mulai tergantikan oleh sistem dengan pentanahan.

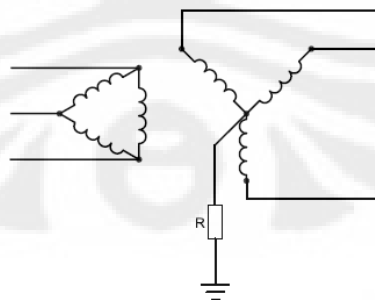
2.1.4.2 Pentanahan melalui tahanan

Pada sistem yang ditanahkan menggunakan tahanan, netral dari trafo atau generator dihubungkan ke tanah melalui sebuah resistor. Nilai dari tahanan biasanya lebih besar dari reaktansi sistem. Sistem ini secara umum dapat dilihat pada gambar 2.3.

Maksud dari pentanahan melalui tahanan ini adalah antara lain :

- Mengurangi panas yang terjadi pada peralatan yang dilewati arus gangguan tanah seperti misalnya transformator, konduktor, dll.
- Mengurangi resiko tegangan sentuh dan tegangan langkah pada teknisi yang diakibatkan arus balik pada tanah.
- Mengurangi pemutusan daya karena gangguan tanah.
- Pada penggunaan tahanan tinggi, akan mengurangi kemungkinan tegangan lebih karena adanya tegangan transien.

Pada prakteknya di lapangan, metode pentanahan dengan tahanan ini dibagi berdasarkan nilai tahanan yang digunakan, yaitu tahanan rendah dan tinggi. Perbedaan terletak pada besarnya arus yang mengalir melalui netral transformator.

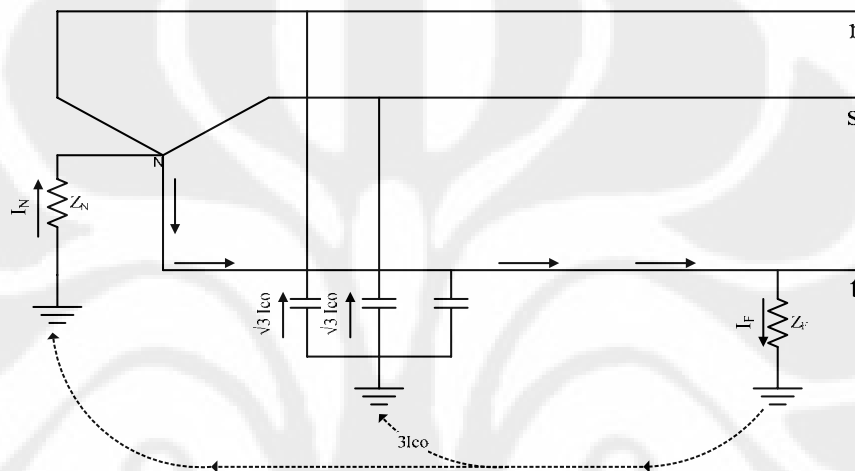


Gambar 2.3. Sistem dengan tahanan pentanahan

2.1.4.2.a Pentanahan melalui tahanan tinggi

Sistem ini menggunakan tahanan pentanahan dengan nilai yang tinggi. Nilai dari tahanan yang digunakan dihitung berdasarkan arus gangguan yang diijinkan (I_r) sehingga akan memiliki nilai yang sama dengan atau sedikit melebihi arus kapasitif $3I_{co}$ seperti terlihat pada gambar 2.4.

Biasanya arus gangguan tanah dibatasi sampai dengan kurang lebih 10A walaupun pada sebagian sistem membutuhkan besarnya arus gangguan tanah lebih dari itu.



Gambar 2.4. Gangguan tanah pada pentanahan dengan tahanan tinggi.

Pada sistem dengan pentanahan melalui tahanan tinggi biasanya tidak mengharuskan sistem proteksi yang cepat karena arus gangguan dibatasi sampai dengan nilai yang sangat kecil. Sistem proteksi yang digunakan biasanya jarang memutuskan dan menisolasi gangguan, melainkan hanya mendeteksi dan memberitahukan kepada pusat kontrol.

Pentanahan dengan tahanan tinggi secara teori memiliki beberapa keuntungan yaitu :

- Kontinuitas suplai daya yang lebih terjaga.
- Tegangan lebih transien akibat ground looping berkurang.
- Lebih mudah menentukan lokasi gangguan tanah.
- Mengurangi resiko tegangan sentuh dan egangan langkah pada petugas lapangan.

2.1.4.2.b. Pentanahan dengan tahanan rendah.

Sistem pentanahan dengan tahanan rendah didesain untuk membatasi arus gangguan tanah antara 100 – 1000A, walaupun biasanya arus dibatasi pada nilai 400A. Tahanan netral R yang ditunjukkan pada gambar 2.5 dipilih berdasarkan hasil perhitungan dari nilai arus gangguan yang diinginkan, yaitu :

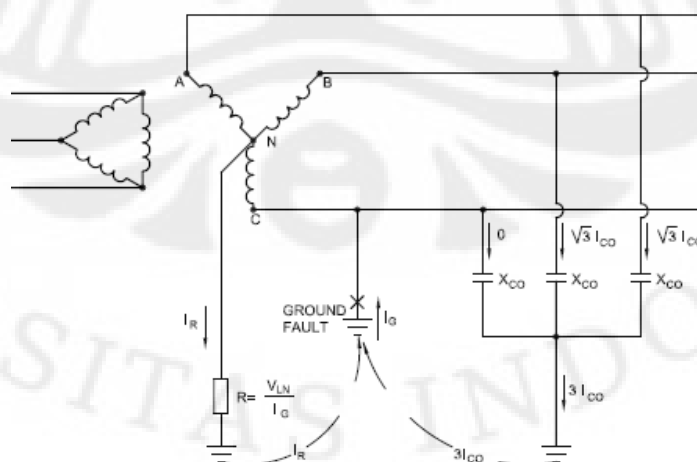
$$Z_N = \frac{V_{LN}}{I_N} \dots \dots \dots (2.5)$$

Pada gambar 2.5 menunjukkan aliran arus pada sistem dengan pentanahan tahanan rendah ketika mengalami gangguan satu fasa ke tanah.

Sistem ini memiliki keuntungan di mana gangguan tanah dapat dengan cepat dideteksi dan diisolasi. Tentu saja ini harus didukung oleh arus gangguan minimum yang cukup besar untuk dapat dideteksi oleh relay. Deteksi gangguan ini salah satunya dengan menggunakan relay arus lebih 51G.

Pada gambar 2.5 menunjukkan bahwa ketika terjadi gangguan tanah, maka potensial pada titik netral meningkat menjadi tegangan fasa – netral yang menyebabkan arus dapat mengalir melalui resistor yang kemudian akan dideteksi oleh relay yang selanjutnya akan membuka rangkaian yang mengalami gangguan.

Sistem pentanahan dengan tahanan rendah ini biasanya diaplikasikan pada jaringan tegangan menengah 15kV dan di bawahnya khususnya pada sistem yang menggunakan motor dengan daya besar. Dengan membatasi arus gangguan menjadi beberapa ratus ampere dari ribuan ampere, maka kerusakan yang dapat terjadi pada peralatan dapat dikurangi.



Gambar 2.5. Gangguan tanah pada pentanahan dengan tahanan rendah.

	Tanpa pentanahan	Pentanahan Langsung	Pentanahan dengan tahanan	
			Tahanan rendah	Tahanan tinggi
Persentase arus gangguan tanah terhadap arus gangguan tiga fasa	Kurang dari 1 %	Bervariasi, dapat melebihi 100%	Dibatasi pada tingkat 20% yaitu antara 100A – 1000A	Kurang dari 1%
Tegangan lebih transien	Sangat tinggi	Cukup tinggi	Cukup tinggi	Cukup tinggi
Lain - Lain	Tidak dianjurkan karena tingginya tegangan transien dan sulitnya mendeteksi gangguan	Biasanya dipakai pada sistem 600V ke bawah dan 15 kV ke atas.	Biasanya digunakan pada sistem antara 2,4 kV – 15 kV.	Biasanya dipakai pada sistem 600v ke bawah di mana kontinuitas sistem diperlukan

Tabel 2.1. Karakteristik beberapa metode pentanahan[5]

2.2 Parameter Sistem

2.2.1 Impedansi Saluran

Saluran yang digunakan untuk mentransmisikan daya listrik memiliki besaran resistansi dan impedansi yang mempengaruhi aliran arus listrik. Impedansi saluran ini memiliki nilai yang diperlukan untuk perhitungan drop tegangan, aliran daya, hubung singkat, serta rugi-rugi saluran.

Temperatur serta frekuensi merupakan dua hal utama yang mempengaruhi resistansi konduktor. Konduktor dengan suhu yang lebih tinggi akan menghasilkan resistansi yang lebih besar kepada arus yang mengalir. Medan magnet internal dari konduktor akan meningkat seiring dengan meningkatnya frekuensi. Arus akan lebih sulit untuk mengalir melalui inti konduktor pada frekuensi tinggi dikarenakan medan magnet yang berlawanan yang ditimbulkan oleh arus tersebut. Arus akan lebih mudah mengalir melalui tepi konduktor. Hal ini menyebabkan arus hanya dapat mengalir melalui area yang kecil pada konduktor atau dinamakan efek kulit (*skin effect*).

Resistansi saluran berubah seiring dengan bertambahnya temperatur konduktor tersebut. Persamaan dari keadaan ini adalah :

$$R_{t_2} = R_{t_1} \frac{M+t_2}{M+t_1}$$

(2.6)

Di mana :

R_{t_2} = resistansi pada temperatur t_2 (pada °C)

R_{t_1} = resistansi pada temperatur t_1 (pada °C)

M = koefisien temperatur logam

228.1 untuk aluminium

241.5 untuk tembaga

2.2.1.1 Impedansi Saluran Urutan Positif

Untuk menghitung Impedansi Saluran Urutan Positif untuk saluran udara digunakan persamaan Carson berikut [1] :

$$Z_1 = R_\phi + jk_1 \log_{10} \frac{GMD_\phi}{GMR_\phi}$$

(2.7)

Di mana :

R_ϕ = resistansi fasa konduktor dalam Ω /jarak

$k_1 = 0.2794 f / 60$ (Ω /mi).

$0.0529 f / 60$ (Ω /1000 ft).

f = frequency (hertz).

GMR_ϕ = geometric mean radius dari konduktor (ft).

GMD_ϕ = geometric mean distance antar fasa konduktors (ft).

$GMD_\phi = \sqrt[3]{d_{AB}d_{BC}d_{CA}}$ untuk saluran tiga fasa.

$GMD_\phi = 1.26 d_{AB}$ untuk saluran tiga fasa dengan konfigurasi datar baik vertikal maupun horizontal, di mana $d_{AB} = d_{BC} = 0.5d_{CA}$.

$GMD_\phi = d_{AB}$ untuk saluran dua fasa.

$GMD_\phi = d_{AN}$ untuk saluran satu fasa.

d_{ij} = jarak antara pusat konduktor i dengan pusat konduktor j (ft).

2.2.1.2 Perhitungan Impedansi Saluran Urutan Nol

Untuk menghitung Impedansi Saluran Urutan nol untuk saluran udara digunakan persamaan Carson berikut [5] :

$$Z_0 = R + 0.00296 f + j0.00869 f \log_{10} \frac{D_e}{\sqrt[3]{GMR_\phi \cdot GMD_\phi^2}} \quad (2.8)$$

Di mana :

R_ϕ = resistansi fasa konduktor dalam Ω /Km

f = frequency (hertz).

GMR_ϕ = geometric mean radius dari konduktor.

GMD_ϕ = geometric mean distance antar fasa konduktors

$GMD_\phi = \sqrt[3]{d_{AB}d_{BC}d_{CA}}$ untuk saluran tiga fasa.

$GMD_{\phi} = 1.26 d_{AB}$ untuk saluran tiga fasa dengan konfigurasi datar baik

vertikal maupun horizontal, di mana $d_{AB} = d_{BC} = 0.5d_{CA}$.

$GMD_{\phi} = d_{AB}$ untuk saluran dua fasa.

$GMD_{\phi} = d_{AN}$ untuk saluran satu fasa.

d_{ij} = jarak antara pusat konduktor i dengan pusat konduktor j (ft).

De = kedalaman ekuivalen dari tanah (ft)

$= \sqrt{2160\rho/f}$; ρ = tahanan pentanahan (Ω -m).

2.2.2 Impedansi Trafo

Impedansi urutan positif transformator sama dengan impedansi urutan negatifnya. Besar impedansi urutan positif transformator sama dengan impedansi bocor transformator yang terdapat pada spesifikasi transformator tersebut dalam besaran % p.u

Trafo daya yang digunakan pada GI Depok Baru adalah trafo daya dengan hubungan belitan YGyg yaitu netral pada primer dan sekunder ditanahkan sehingga besar impedansi urutan nolnya sebesar

$$Z_{t0} = Z_t + 3 R_n. \quad (2.9)$$

2.2.3 Impedansi Sumber

Untuk Menghitung besarnya impedansi sumber dapat digunakan nilai kapasitas daya hubung singkat yang telah dihitung oleh PLN pada jala – jala yang terhubung dengan GI mengingat jauhnya pusat pembangkitan serta kompleksnya jaringan distribusi.

Sehingga Impedansi sumber adalah :

$$Z_{s1} = \frac{E_{TT}^2 (kV)}{MVA_{SC}} \quad (2.10)$$

$$Z_{s2} = \frac{E_{TM}^2 (kV)}{MVA_{SC}} \quad (2.11)$$

3.3.2 Arus Kapasitansi Saluran

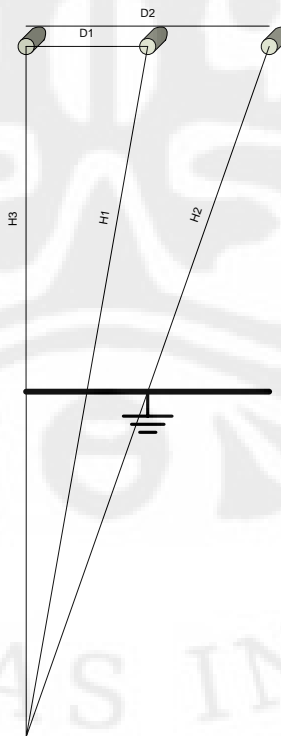
Faktor lain yang harus dipertimbangkan dalam menentukan I_{set} dari GFR adalah arus kapasitansi dari saluran yang berbanding lurus dengan panjang saluran. Kapasitansi tersebut akan mengakibatkan mengalirnya *charging current* $3I_{CO}$. GFR harus diset lebih besar dari $3I_{CO}$ untuk menghindari trip pada GFR karena mendeteksi arus kapasitansi.

Besarnya kapasitansi dari saluran (F/m/fasa) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$C_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot \epsilon}{\ln \frac{\sqrt[3]{D_1^2 \cdot D_2}}{r} - \ln \frac{\sqrt[3]{H_1^2 \cdot H_2}}{H_3}} \quad (2.12)$$

Setelah itu maka didapat besarnya reaktansi dan arus kapasitif (A/m/fasa) dengan persamaan :

$$X_{CO} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_0 \quad \text{Sehingga} \quad I_{CO} = \frac{V_{LN}}{X_{CO}}$$



Gambar 2.6 Konfigurasi Konduktor Horizontal

2.3 Gangguan Satu Fasa Ke Tanah

Gangguan tanah pada jaringan listrik dapat disebabkan oleh beberapa hal dengan nilai arus gangguan yang bervariasi dan dapat mengakibatkan bermacam – macam kerusakan. Berikut adalah beberapa penyebab utama terjadinya gangguan satu fasa ke tanah :

- Petir
Impuls tegangan petir yang sangat besar dapat menyebabkan terjadinya flash over melalui sisi isolator. Akibatnya arus fault (gangguan) akan menuju ground dan sebagian lagi akan diredam oleh Lightning Arrester kemudian arus fault hasil redaman ini bisa memasuki jaringan listrik dan menyebabkan terbukanya Circuit Breaker. Gangguan petir ini bersifat temporer.
- Tanaman
Dahan atau pohon dapat menyentuh kawat fasa dan mengakibatkan gangguan short circuit antara satu fasa dengan ground atau fasa-fasa dengan ground. Gangguan ini dapat bersifat temporer maupun permanen.
- Binatang
Binatang yang sering menjadi penyebab gangguan adalah ular, burung, tikus. Gangguan ini kebanyakan bersifat temporer.
- Manusia
Dapat disebabkan oleh permainan layang-layang yang bisa menyentuh kawat line atau kesalahan pentanahan peralatan.
- Kerusakan peralatan :
Seperti Isolator bocor, isolator trafo bocor, bushing bocor. Gangguan ini umumnya bersifat permanen

2.3.1 Proteksi gangguan satu fasa ke tanah

Walaupun proteksi gangguan tanah sudah banyak mengalami perkembangan, tetapi semuanya pada dasarnya adalah merupakan pengembangan dari metode – metode deteksi gangguan tanah sebagai berikut :

- Deteksi gangguan tanah oleh rele arus lebih dari arus yang mengalir pada ketiga fasa (Arus Residual)
- Arus Balik

2.3.1.1 Arus Balik

Arus gangguan tanah kembali pada netral transformator melewati transformator arus. Transformator arus kemudian mendeteksi arus gangguan tersebut. Metode ini tidak dianjurkan untuk dipakai pada feeder karena adanya beberapa jalur arus tanah.

2.3.2 Arus gangguan tanah

Arus gangguan tanah dapat memiliki nilai yang berbeda – beda. Nilai arus ini dapat dihitung dengan penggunaan komponen – komponen simetris.

Untuk gangguan tanah pada sistem yang ditanahkan dengan tahanan tinggi, tahanan netral (Z_n) memiliki nilai yang sangat tinggi dibandingkan dengan Z_1 , Z_2 , Z_0 dan Z_g sehingga nilai arus gangguan tanah adalah seperti pada persamaan (1.5)

2.3.3 Tegangan langkah dan tegangan sentuh

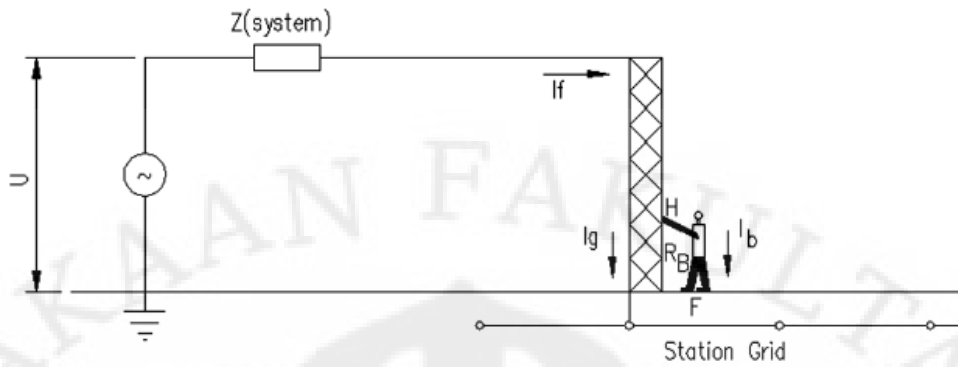
Ada beberapa keadaan yang dapat mengakibatkan seseorang yang berada di dalam atau di sekitar gardu induk dapat menjadi bagian dari rangkaian arus gangguan tanah. Salah satu keadaannya adalah tegangan sentuh, seperti yang digambarkan pada gambar 2.6 dan 2.7 . Situasi yang lainnya adalah tegangan langkah seperti yang terlihat pada gambar 2.8 dan 2.9.

2.3.3.1 Tegangan sentuh

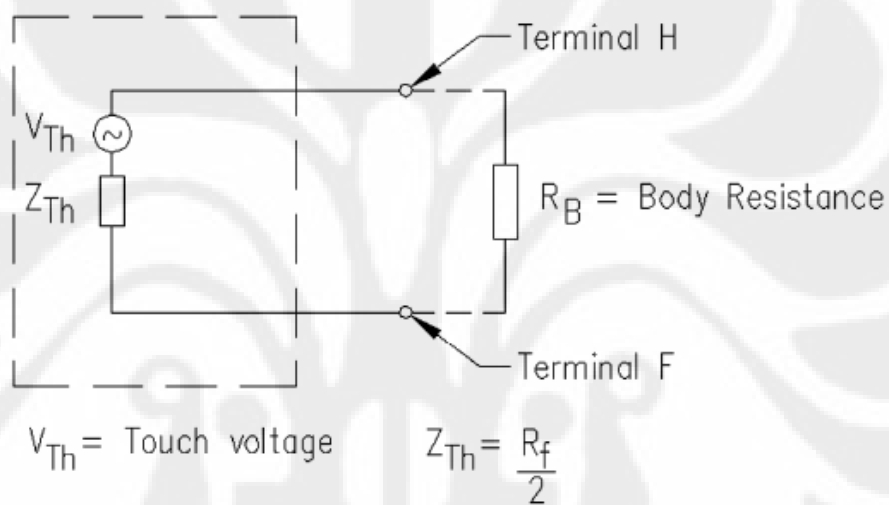
Gambar 2.6 menunjukkan arus gangguan dialirkan ke tanah (F) melalui tubuh orang yang menyentuh struktur logam pada gardu induk (H). Gambar 2.8 menunjukkan rangkaian ekuivalen thevenin dari tegangan sentuh. Z_{TH} adalah tahanan kaki (R_F) yang terhubung paralel. Z_{TH} terhubung seri dengan tahanan tubuh (R_B). Dengan I_B adalah arus yang mengalir melalui tubuh dan dengan V_{th} adalah beda potensial antara terminal H dan F. Sehingga dapat dilihat hubungan antara V_{TH} (V_{touch}) dan I_B yaitu :

$$V_{touch} = I_B(R_B + Z_{TH}) \quad (2.12)$$

$$Z_{TH} = \frac{R_F}{2} \quad (2.13)$$



Gambar 2.7 Kondisi terjadinya tegangan sentuh



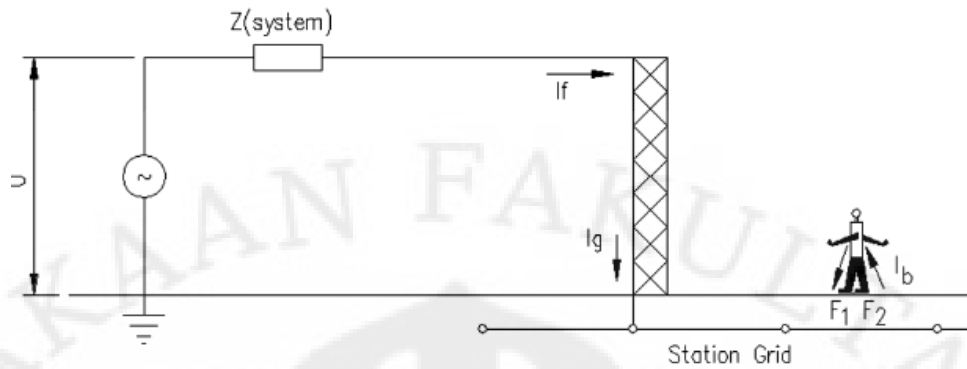
Gambar 2.8 Rangkaian ekivalen thevenin pada tegangan sentuh

2.3.3.2 Tegangan langkah

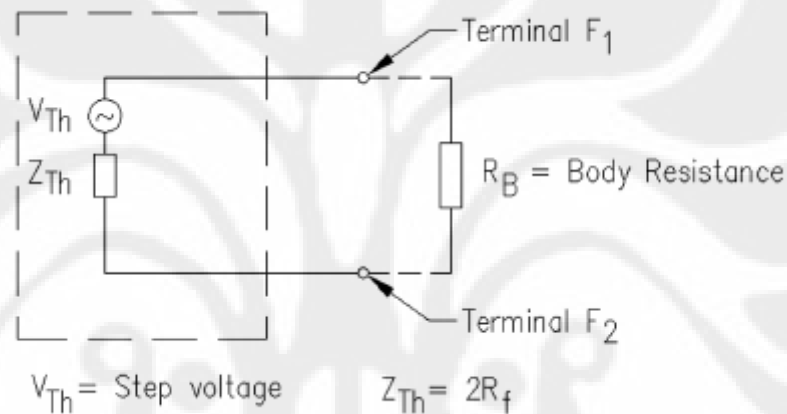
Gambar 2.8 dan 2.9 menunjukkan rangkaian thevenin untuk kondisi tegangan langkah. Perbedaannya dengan tegangan sentuh terdapat pada nilai Z_{TH} yang merupakan tahanan kaki R_F yang terhubung seri. Hubungan antara tegangan langkah dan arus yang mengalir melalui tubuh adalah sebagai berikut :

$$V_{\text{step}} = I_B (R_B + Z_{TH}) \quad (2.14)$$

$$Z_{TH} = 2R_F \quad (2.15)$$



Gambar 2.9 Kondisi terjadinya tegangan langkah



Gambar 2.10 Rangkaian ekivalen thevenin pada tegangan langkah

2.4 Peralatan Pendukung Sistem Proteksi

2.4.1 Penutup Balik Otomatis (PBO)

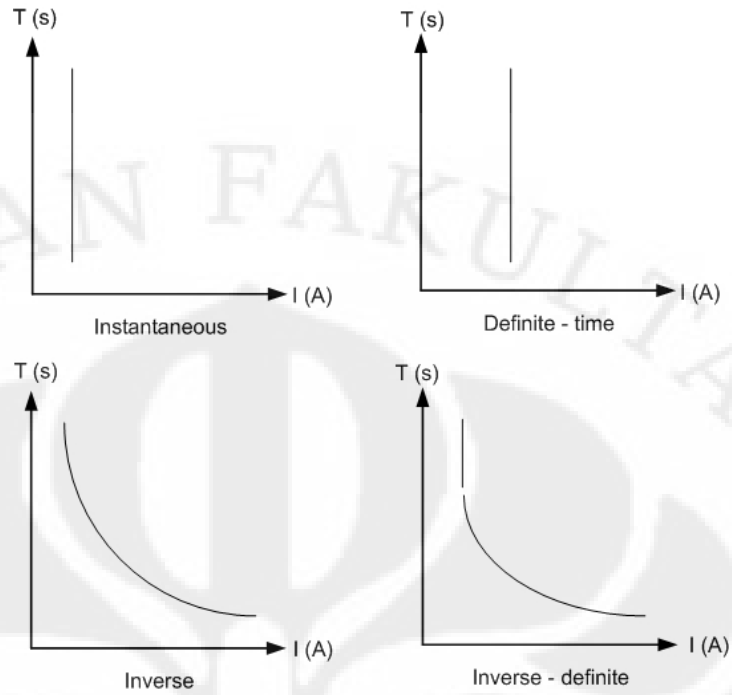
PBO digunakan untuk membuka dan menghubungkan peralatan listrik pada line dari gangguan arus lebih. PBO dan kontrol PBO terdapat pada tiang yang sama. Kelebihan PBO terletak pada kemampuannya untuk menutup switch secara otomatis yang diatur oleh kontrol PBO dan SCADA pusat bisa memantau apabila terjadi gangguan.

Dalam aplikasinya pada sistem pentanahan peralihan, PBO yang digunakan harus memiliki kemampuan reclose dalam 1 detik.

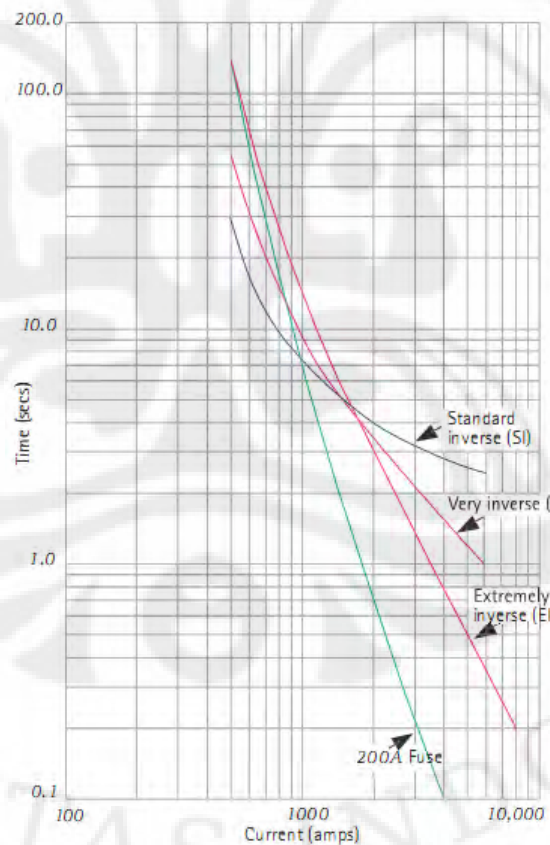
2.4.2 Rele Arus Lebih

Pada dasarnya rele arus lebih adalah suatu alat yang mendeteksi besaran arus yang melalui suatu jaringan dengan bantuan trafo arus, jika arus yang melalui tetapan arus pada pengaturan rele maka rele akan mengirim sinyal trip pada pemutus tenaga. Harga atau besaran arus yang boleh dilewati disebut dengan setelan arus. Karakteristik dari rele arus lebih adalah sebagai berikut:

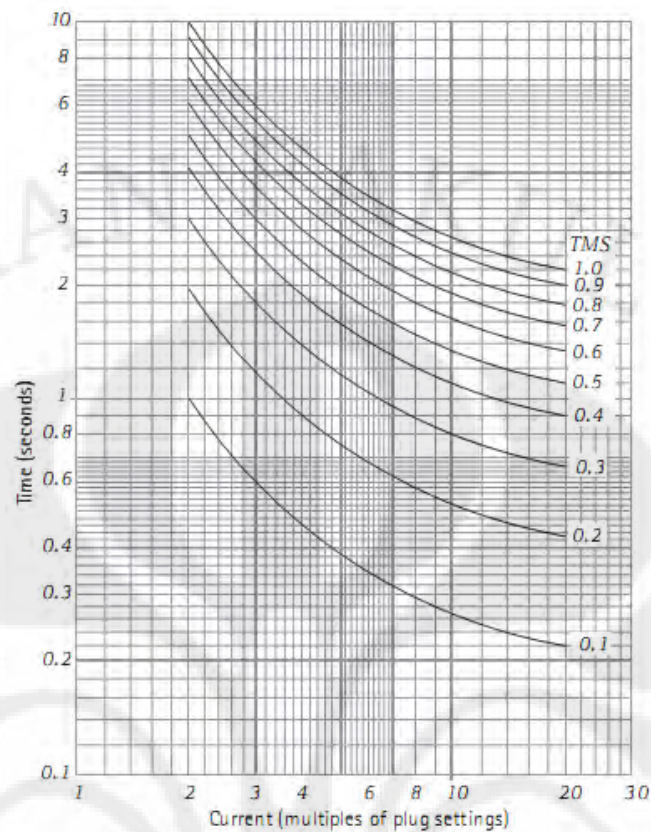
- i. Rele seketika, dimana operasi rele memerlukan waktu yang sesingkat mungkin.
- ii. Rele waktu konstan
Dimana waktu operasi rele sama sekali tidak tergantung pada besar arus atau besaran yang sekali tidak tergantung pada besar arus besaran yang lain yang menyebabkan rele bekerja.
- iii. Rele waktu invers
Dimana waktu operasi berbanding terbalik terhadap besar arus atau besaran lain yang menyebabkan rele bekerja.
- iv. Rele waktu konstan dan invers
Dimana waktu kerja rele hampir terbalik dengan harga terkecil V dari arus atau besaran lain yang menyebabkan rele bekerja dan rele akan bekerja pada waktu minimum tergantung jika besaran listrik naik tanpa batas.



Gambar 2.1 Kurva-Kurva Karakteristik Arus Terhadap Waktu



Gambar 2.2 Kurva Karakteristik Rele Arus Lebih Inverse



Gambar 2.3 Setting Pengali Waktu

Setting pengali arus menunjukkan beberapa kali arus rele akan diset melebihi settingnya. Setting pengali arus disebut juga *time multiplier setting* (TMS), jadi

$$Td = TMS \times \left[\frac{K}{(If/CT \text{ ratio})^\alpha - 1} + L \right]$$

Pada umumnya arus nominal dari rele sama dengan arus nominal dari gulungan sekunder trafo arus.

BAB 3

KONSEP GFPC PADA JARINGAN SUTM GI DEPOK BARU

3.1 Prinsip Kerja GFPC

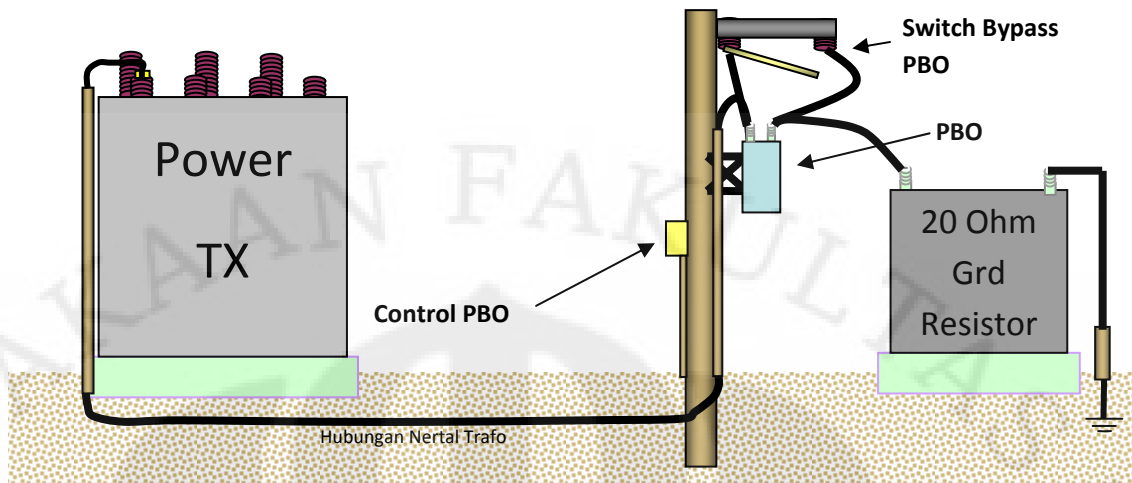
Pada sistem konvensional, jika terjadi gangguan tanah, maka PBO atau PMT pada saluran yang bekerja. Arus gangguan ini berawal dari fasa lalu menuju ground kemudian ke netral Trafo Daya lalu masuk ke fasa yang terkena gangguan lagi sehingga terjadi looping, akibatnya PMT atau PBO dengan sistem proteksi konvensional akan memutuskan aliran daya ke beban sehingga menghentikan suplai daya ke beban.

Pada sistem dengan pentanahan peralihan, maka arus yang mengalir melalui tanah akan dipotong di netral trafo daya. Sensor PBO pentanahan disetel lebih kecil dibanding rele gangguan tanah, sehingga ketika terjadi gangguan, PBO dan PMT tidak perlu bekerja karena PBO pentanahan sudah mendeteksinya terlebih dahulu dan memotong arus gangguan tersebut. Arus gangguan yang terjadi memiliki karakteristik transien tertentu, jadi arus gangguan tersebut semakin lama semakin besar (tidak spontan) dan ketika terdeteksi oleh sensor PBO pentanahan maka arus gangguannya akan dipotong, sebelum dipotong oleh PMT di saluran distireli.

3.1.1 Instalasi GFPC

Ada 2 cara pemasangan *GFPC* berdasarkan deteksi arusnya yaitu :

1. Deteksi arus dilakukan pada arus netral masing-masing penyulang sehingga penyulang yang mengalami gangguan dapat segera diketahui.
2. Deteksi arus dilakukan pada arus di netral hubungan Y trafo daya dan untuk mengetahui penyulang mana yang mendapatkan gangguan maka pada saat *GFPC* bekerja, penyulang yang mendapatkan gangguan akan memberikan alarm yang settingnya sama dengan setting PBO pentanahan dan alarm ini akan dikirim ke SCADA.

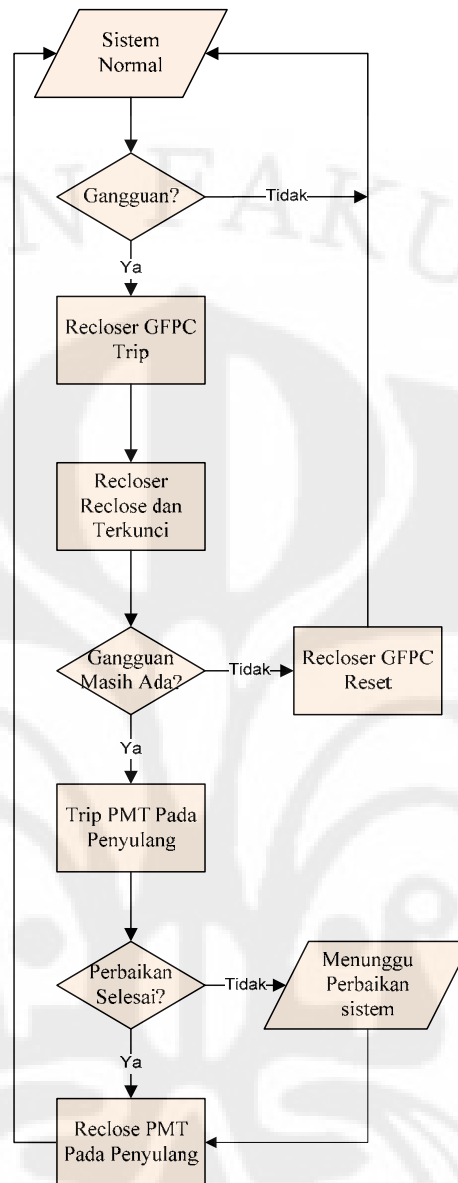


Gambar 3.1 Gambar dua dimensi *GFPC*

Gambar 3.1 dan 3.2 menunjukkan instalasi *GFPC* dengan deteksi arus gangguan pada hubungan netral trafo ke tanah. Metode instalasi *GFPC* dengan deteksi ini hanya bisa diaplikasikan pada sistem yang disuplai oleh satu trafo saja atau oleh beberapa trafo yang tidak saling terhubung. Sedangkan pada sistem yang disuplai oleh beberapa trafo yang saling terhubung, instalasi harus dilakukan dengan deteksi arus pada setiap penyulang.

Untuk membedakan gangguan 1 fasa ke tanah sementara dan permanen maka PBO pentanahan disetel 1 kali membuka rangkaian dan 1 kali menutup balik. Jika dalam 1 kali membuka rangkaian dan 1 kali menutup balik gangguan masih ada, maka gangguan tersebut adalah akan dikategorikan sebagai gangguan permanen dan proteksi konvensional yang bekerja untuk mengisolasi gangguan selanjutnya.

Jadi PBO pada sistem *GFPC* ini didesain kondisi terakhirnya selalu dalam posisi tertutup, hal ini bertujuan untuk menghindari kondisi sistem tanpa pentanahan yang bisa mengakibatkan bertambahnya tegangan lebih pada peralatan dan terjadinya tegangan langkah dan tegangan sentuh pada manusia saat terjadi gangguan 1 fase ke tanah.



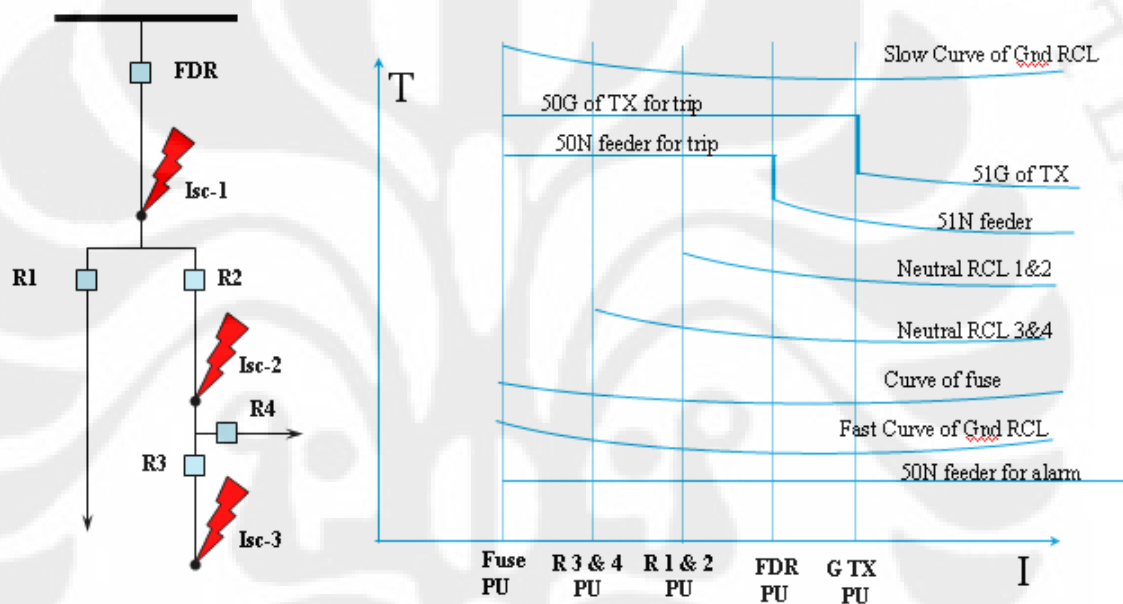
Gambar 3.3 Algoritma Sistem Proteksi dengan *GFPC*

3.1.3 Koordinasi Proteksi Arus Lebih Sistem Dengan *GFPC*

Jika terjadi gangguan tanah, maka rele 50N akan mendeteksi adanya gangguan dalam magnitudo yang cukup rendah dan menghidupkan alarm serta memberitahukan hal ini ke *SCADA*, kemudian jika magnitudo gangguannya sudah mencapai level yang lebih besar dan terdeteksi oleh sensor *GFPC* (kurva cepat), maka *PBO GFPC* akan membuka sehingga arus gangguan akan terputus. Kemudian jika gangguan ini mencapai peralatan listrik seperti trafo distribusi maka pelebur yang akan bekerja mengatasi gangguan. Jika gangguannya lebih

lama atau juga permanen dan terjadi di wilayah proteksi PBO, maka yang bekerja selanjutnya adalah PBO. Jika gangguan terletak di dekat PMT, maka gangguan akan dideteksi oleh rele 50N atau 51N yang memerintahkan PMT pada penyulang untuk membuka rangkaian. Jika PMT pada penyulang gagal bekerja maka PMT pada Trafo Daya dengan sensor rele 50G atau 51G yang akan membuka rangkaian sebagai proteksi cadangan.

Gambar 3.4 menunjukkan koordinasi proteksi gangguan tanah dengan *GFPC* sebagai proteksi pertama:



Gambar 3.4 Koordinasi proteksi pada sistem dengan *GFPC*

3.1.4 Prosedur Standar Operasi *GFPC*

3.1.4.1 Pada operasi Normal

Operasi normal yaitu ketika ketika grounding PBO mengalami membuka rangkaian dan dapat menutup balik kembali. Maka langkah yang harus dilakukan adalah:

- Mengecek Alarm Penyulang di Scada / Gardu.
- Mengecek penyulang yang memunculkan alarm.

Operasi normal ini meliputi :

- PBO pentanahan T/R dan PMT pada penyulang tetap dalam keadaan tertutup.

- PBO pentanahan T/R dan PMT pada penyulang juga mengalami T/R.
- PBO pentanahan T/R dan PMT pada penyulang mengalami T/LO.

3.1.4.2 Pada operasi abnormal

Operasi abnormal biasanya ditandai dengan kondisi PBO pentanahan yang tidak dapat menutup kembali setelah mengalami membuka rangkaian, maka tindakan yang perlu diambil adalah :

- Menutup PBO pentanahan dari SCADA
- Jika gagal, SCADA menginformasikan petugas untuk menuju PBO pentanahan
- Menutup PBO dengan menekan tombol “tutup” pada panel.
- Jika PBO gagal menutup, tutup dari sakelar bypass dari PBO pentanahan
- Cek Alarm penyulang di SCADA / Gardu
- Menutup penyulang yang terbuka
- Memeriksa penyulang yang memunculkan alarm / terbuka
- Informasikan ke penanggung jawab rele dan sistem

Operasi abnormal ini meliputi :

- PBO pentanahan T/O dan PMT pada penyulang dalam keadaan tertutup sehingga sistem berada pada kondisi tidak ditanahkan.
- PBO Pentanahan T/O dan PMT pada penyulang dalam keadaan terbuka

3.2 Kondisi Sistem Ketika PBO Pentanahan Bekerja

Sebelum sistem PBO pentanahan bekerja, sistem berada dalam kondisi ditanahkan, sedangkan ketika PBO pentanahan bekerja, maka untuk sesaat sistem akan berubah menjadi sistem yang tidak ditanahkan [2].

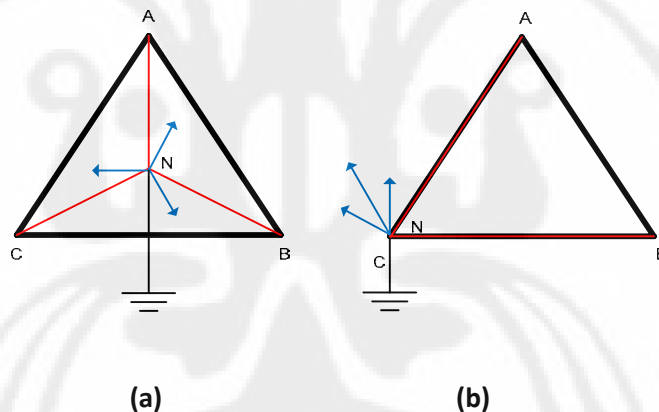
Tabel 3.1 Perbandingan sistem tanpa dan dengan pentanahan

No	Sistem dengan pentanahan	Sistem tanpa pentanahan
1	Terdapat arus hubung singkat ketika terjadi gangguan fasa - tanah	Tidak terdapat arus hubung singkat ketika terjadi gangguan fasa - tanah
2	Sistem dapat mendeteksi adanya gangguan fasa - tanah	Sistem tidak dapat mendeteksi adanya gangguan fasa – tanah.
3	Pada saat gangguan fasa – tanah	Pada saat gangguan fasa – tanah

	maka tegangan pada netral trafo akan bervariasi dengan nilai maksimum sebesar tegangan fasa – netral.	maka tegangan pada netral trafo akan selalu memiliki nilai sebesar tegangan fasa – netral.
4	Pada saat gangguan fasa – tanah maka tegangan pada arester, pin dan isolator akan bervariasi dengan nilai maksimum sebesar tegangan fasa – fasa.	Pada saat gangguan fasa – tanah maka tegangan pada arester, pin dan isolator akan selalu memiliki nilai sebesar tegangan fasa – fasa.

3.2.1 Konsep GFPC Terhadap Perubahan Tegangan Sistem

Pada sistem dengan GFPC terpasang, sistem akan menjadi tidak ditanahkan ketika terjadi gangguan. Pada kasus ini, gangguan yang akan diteliti adalah gangguan satu fasa ke tanah yaitu sebagai berikut:



Gambar 3.5 (a) Kondisi sistem dengan pentanahan sebelum terjadi gangguan; (b) Kondisi sistem tanpa pentanahan ketika terjadi gangguan.

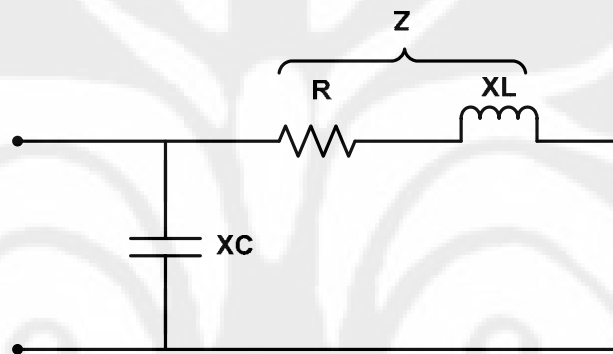
Gambar 3.5(a) menunjukkan diagram fasor dari arus dan tegangan pada sistem wye dengan netral yang ditanahkan pada kondisi normal.

Ketika terjadi gangguan satu fasa ke tanah, maka PBO akan memutuskan hubungan netral ke tanah untuk selama 1 detik. Dalam keadaan ini, tegangan pada fasa yang mengalami gangguan ke tanah (fasa C) akan memiliki nilai potensial yang sama dengan potensial tanah karena titik netral sebagai titik referensi juga

akan bergeser mendekati potensial tanah. Pergeseran titik netral tersebut akan mengakibatkan perubahan besar tegangan pada fasa A dan B ke tanah menjadi sebesar tegangan fasa – fasa yang dapat dilihat pada gambar 3.5(b).

3.2.2 Konsep GFPC Terhadap Tegangan Lebih Transien.

Seperti diketahui, selain petir, switsing pada rangkaian juga dapat menyebabkan timbulnya tegangan lebih transien. Transien oleh switsing rangkaian terutama disebabkan oleh komponen induktif dan kapasitif dari jaringan distrirelu itu sendiri. Rangkaian ekivalen sebuah saluran transmisi dapat dilihat pada gambar 3.6.

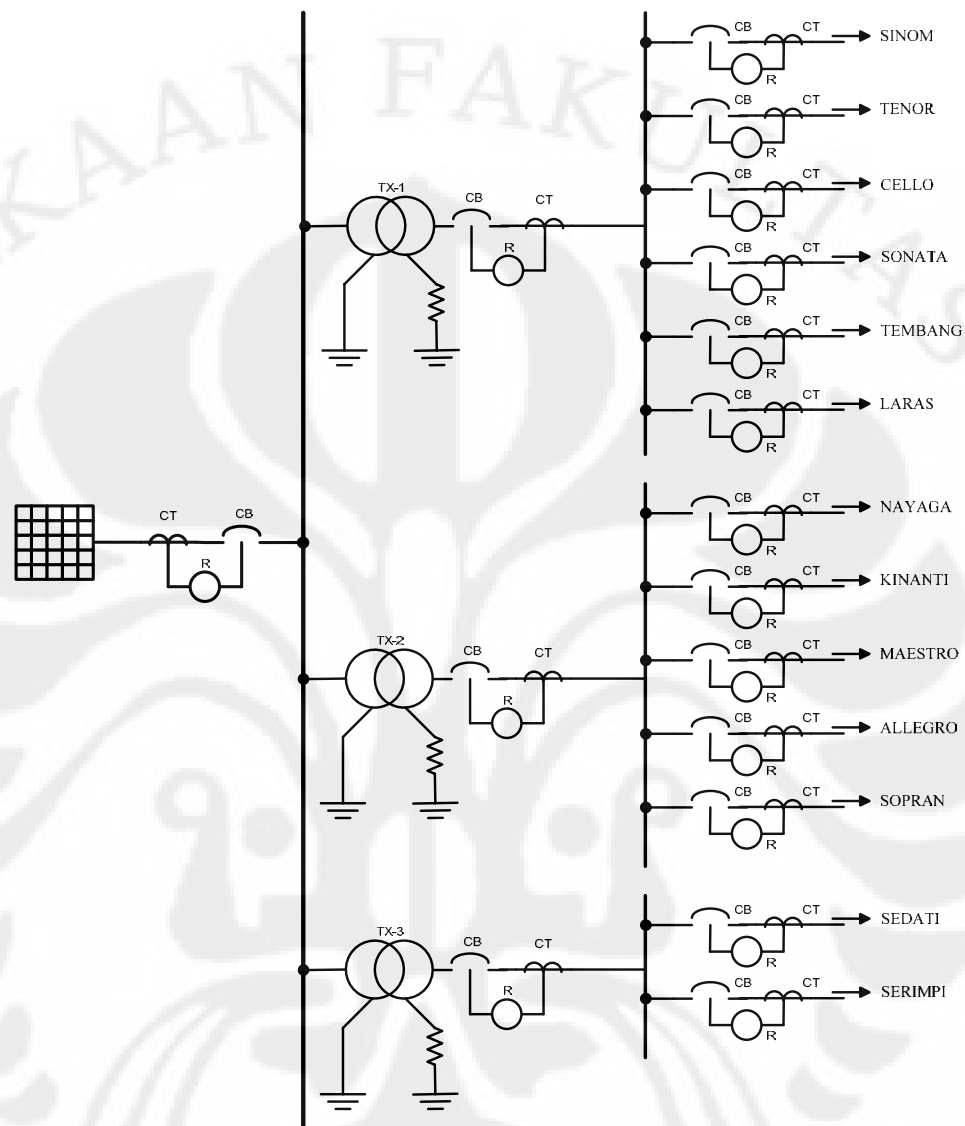


Gambar 3.6 Rangkaian Ekivalen Saluran Transmisi.

Nilai dari tegangan transien oleh switsing sangat sulit untuk dipastikan karena sifat dari PMT yang memutus tegangan pada waktu yang acak (kecuali PMT khusus yang dirancang untuk memutuskan pada saat tegangan mendekati nol). Sehingga nilai dari tegangan lebih transien akan selalu variasi pada kisaran 1-2.5pu pada setiap proses switsing oleh alat yang sama. Tegangan lebih transien akibat oleh switsing fasa akan memiliki nilai yang lebih kecil dari switsing 3 fasa[1].

3.3 Sistem Terpasang Pada GI Depok Baru

3.3.1 Diagram Satu Garis Sistem Proteksi Terpasang



Gambar 3.7 Diagram Satu Garis Dari GI Depok Baru.

Seperti tergambar di atas, GI Depok baru menyuplai jaringan tegangan menengah dengan tiga buah trafo utama dengan koneksi Y-Y, yaitu dua trafo dengan daya 30 MVA dan sebuah trafo dengan daya 10 MVA. Trafo 1 dan 2 menyuplai 11 penyulang melalui rel tipe terbuka sehingga memungkinkan tiap penyulang tersebut untuk dialihkan pada sumber alternatif ketika terjadi gangguan atau perawatan. Sedangkan Trafo 3 saat ini hanya menyuplai 2 penyulang.

Untuk proteksi arus lebih, GI Depok Baru memiliki rele arus setiap trafo yang berfungsi sebagai proteksi cadangan gangguan fasa maupun gangguan tanah. Pada trafo 1, digunakan transformator arus dengan rasio 2000:5, sedangkan pada trafo 2 dan 3 digunakan transformator arus dengan rasio 1000:5. Dan pada setiap penyulang juga dilengkapi rele arus lebih MICOM P122 yang berfungsi sebagai proteksi utama gangguan fasa maupun gangguan tanah. Rele pada setiap penyulang mendapat masukan dari transformator arus dengan rasio 300:5.

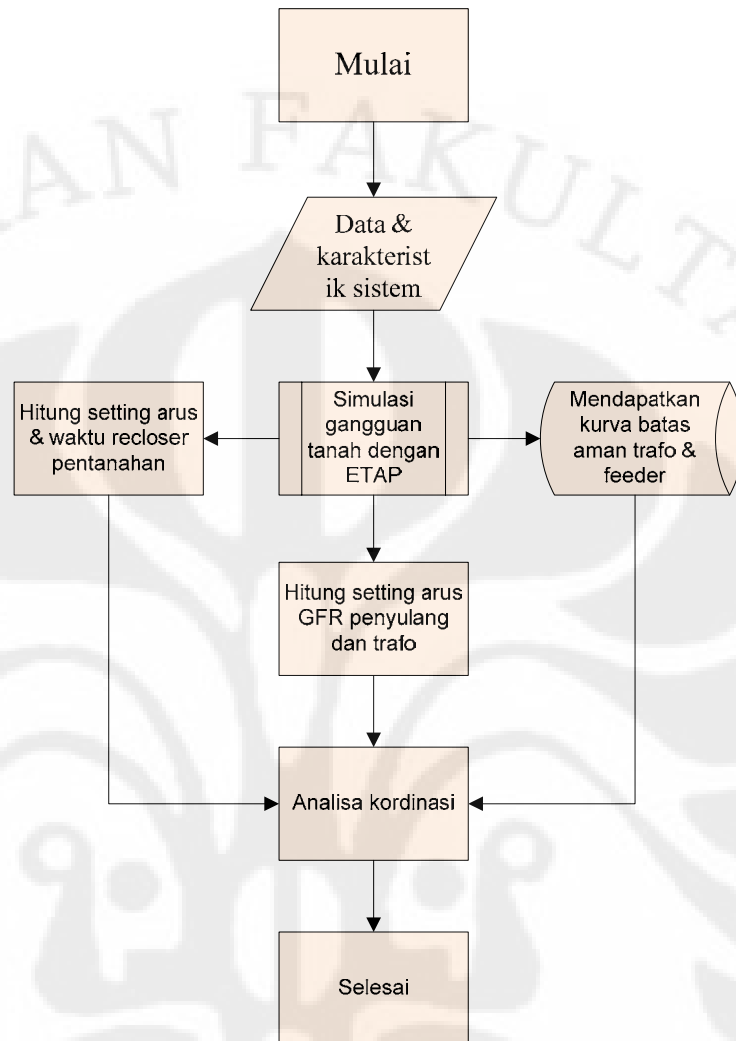
3.3.2 Sistem Pentanahan pada GI Depok Baru

Ketiga trafo 70/20kV pada GI Depok Baru memiliki koneksi Y-Y. Masing-masing trafo ditanahkan melalui tahanan pentanahan rendah pada sisi tegangan rendah, sedangkan pada sisi tegangan tinggi ditanahkan secara langsung. Hal ini dimaksudkan untuk membatasi besarnya arus gangguan tanah yang terjadi untuk memudahkan kordinasi dalam proteksi gangguan tanah. Tapi di sisi lain memiliki kekurangan dengan terjadinya pemutusan suplai daya setiap terjadinya gangguan.

Dalam hal ini GI Depok Baru menggunakan tahanan pentanahan Z_N sebesar 12Ω . Dengan demikian, nilai arus netral maksimum adalah ketika Z_F adalah nol maka arus gangguan maksimum yang kembali melalui netral trafo adalah :

$$I_N = \frac{V_{LL}}{Z_N \cdot \sqrt{3}} = \frac{20kV}{12\Omega \cdot \sqrt{3}} = 962,2 A$$

3.3.3 Diagram Alir Pemasangan *GFPC* di GI Depok Baru



Gambar 3.8 Diagram Alir Pemasangan *GFPC* di GI Depok Baru.

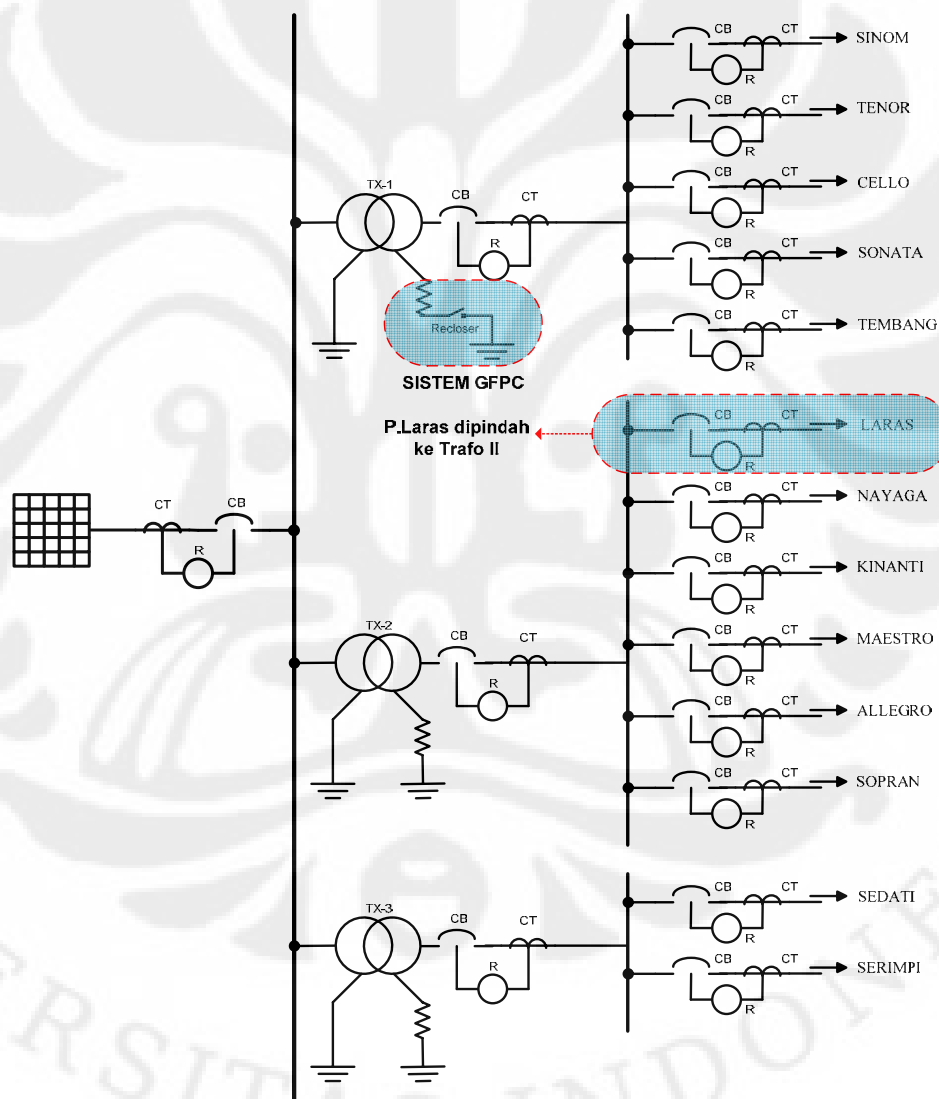
3.3.4 Konsep *GFPC* sebagai proteksi pertama gangguan satu fasa ke tanah pada GI Depok Baru.

Seperti telah dinyatakan sebelumnya, sistem *GFPC* hanya bekerja efektif pada gangguan satu fasa ke tanah yang bersifat sementara. Sedangkan dari data yang didapatkan, penyulang-penyulang pada GI Depok Baru secara garis besar terbagi menjadi 2 jenis yaitu jaringan SUTM dan jaringan SKTM.

Jika ditinjau dari probabilitas dan data yang tercatat, gangguan pada jaringan SKTM terhitung jarang dan cenderung bersifat permanen karena letaknya yang di bawah tanah. Sedangkan pada jaringan SUTM frekuensi gangguan cukup

banyak dan yang paling sering terjadi adalah gangguan satu fasa ke tanah sementara.

Sehingga akan sangat tepat jika sistem *GFPC* hanya membawahi penyulang dengan jaringan SUTM. Hal ini didukung dengan rel dengan tipe terbuka (Trafo 1 & 2) yang dengan memungkinkan semua penyulang dengan jaringan SUTM untuk ditempatkan pada trafo yang berbeda dengan penyulang dengan jaringan SKTM. Sehingga penyulang yang dijangkau oleh sistem *GFPC* hanya 5 yaitu penyulang Sonata, Cello, Tembong, Tenor dan Sinom.



Gambar 3.9 Diagram Satu Garis Sistem *GFPC* Pada GI Depok Baru

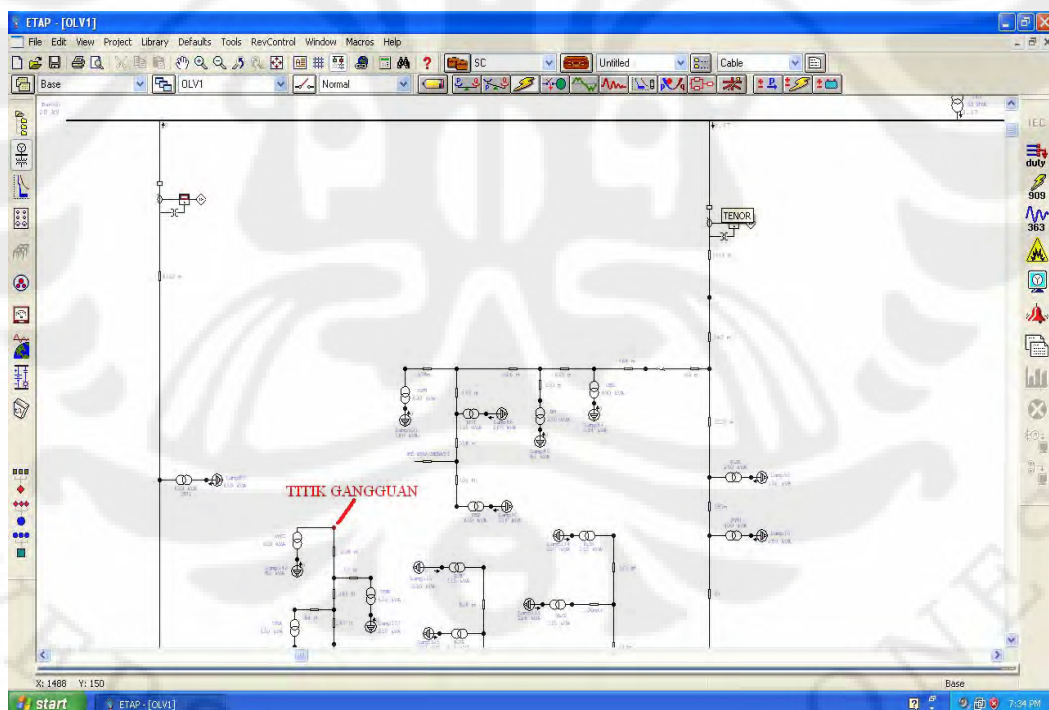
3.3.5 Simulasi Gangguan Aatu Fasa ke Tanah Pada Setiap Penyulang

Sebelum menjalankan simulasi, parameter-parameter seperti impedansi saluran kabel dan saluran udara sampai dengan besarnya arus gangguan akan didapatkan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak ETAP. Ini adalah dengan pertimbangan :

- Dalam satu penyulang terdapat berbagai macam jenis kabel dengan panjang dengan temperatur operasi yang berbeda-beda sehingga perhitungan impedansi total saluran dengan persamaan Carson dianggap tidak efisien.
- Terdapat berbagai beban dengan kapasitas yang berbeda-beda.

Dalam kasus ini gangguan diasumsikan terletak pada titik terjauh dari penyulang dengan tahanan gangguan Z_F senilai 40Ω [3]. Hal ini dimaksudkan untuk memperoleh nilai I_N minimum untuk kemudian digunakan untuk menghitung I_{PU} dari GFR pada tiap penyulang.

Berikut adalah contoh simulasi gangguan tanah pada penyulang Tenor.



Gambar 3.10 Simulasi Gangguan Tanah Pada Penyulang Tenor

Dari simulasi di atas maka didapatkan nilai I_{Nmin} :

$$I_{Nmin} = \frac{3VLN}{Z1+Z2+Z0 + 3(ZN+ZF)}$$

Maka didapat I_{Nmin} pada titik terjauh dari penyulang sonata adalah sebesar 213A seperti terlihat di bawah.

Project:	ETAP	Page:	1
Location:	5.0.3Z	Date:	14-06-2009
Contract:		SN:	850TI30125
Engineer:		Revision:	Base
Filename: GIDB_DONE	Study Case: SC	Config.:	Normal

SHORT- CIRCUIT REPORT																
Fault at bus: Bus346																
Nominal kV = 20.000 Voltage c Factor = 1.00 (Minimum If)																
Contribution		% Voltage at From Bus						Current at From Bus (kA)								
From Bus ID	To Bus ID	Va		Vb		Vc		Ia		Ib		Ic		Sequence Current (kA)		
		Mag.	Ang.	Mag.	Ang.	Mag.	Ang.	Mag.	Ang.	Mag.	Ang.	Mag.	Ang.	I1	I2	I0
Bus346	Total	73.91	-5.5	115.14	-129.6	111.82	131.0	0.213	-5.5	0.000	0.0	0.000	0.0	0.071	0.071	0.071
Bus358	Bus346	74.03	-5.5	115.09	-129.5	111.81	130.9	0.213	-5.5	0.000	-9.5	0.000	-9.5	0.071	0.071	0.071
Bus360	Bus346	99.92	-31.9	97.10	-150.9	100.00	90.0	0.000	-9.5	0.000	170.5	0.000	170.5	0.000	0.000	0.000

Gambar 3.11 Hasil Simulasi Gangguan Tanah Pada Penyulang Tenor.

Demikian seterusnya hingga didapatnya I_{Nmin} untuk setiap penyulang sebagai berikut :

Tabel 3.2 Arus Gangguan Minimum Pada Setiap Penyulang

Trafo	Penyulang	I_{Nmin} 40 (A)
1 (SUTM)	Sinom	213
	Sonata	202
	Tembang	209
	Tenor	213
	Cello	208
2 (SKTM)	Sopran	219
	Laras	217
	Allegro	218
	Kinanti	216
	Nayaga	206
	Maestro	216
3 (SKTM)	Serimpi	214
	Sedati	202

BAB 4

KOORDINASI RELE GANGGUAN TANAH DAN GFPC PADA GI DEPOK BARU

4.1 Karakteristik JTM GI Depok Baru

4.1.1 Kurva Batas Kerusakan Penyulang

Merupakan kurva karakteristik arus terhadap waktu dari saluran ketika terjadi gangguan. Nilai arus yang digunakan adalah arus maksimum yang melalui konduktor ketika terjadi gangguan yaitu I_N .

$$\left(\frac{I_N}{A}\right)^2 t_{bc} = K \cdot \log_{10} \left(\frac{T_2 + \lambda}{T_1 + \lambda}\right)$$

Di mana t_{bc} dihitung berdasarkan arus gangguan hubung singkat maksimum gangguan tanah. Di mana komponen dari sistem akan rusak akibat gangguan maksimum selama waktu tersebut. Arus maksimum akan didapatkan jika gangguan terjadi di pangkal saluran.

Pada SUTM, PLN menggunakan konduktor aluminium A3CS dengan luas penampang bervariasi mulai dari 35 s.d. 150mm². Konduktor tanpa insulasi sehingga diasumsikan temperatur operasi normal 50°C dan temperatur batas kerusakan 250°C dan arus maksimum adalah $I_N = 962.2A$. Sehingga didapat t_{bc} :

Tabel 4.1 Batas Kerusakan Konduktor SUTM

A (mm ²)	d(in)	A(mil)	t _{bc} (s)
150	544.2232412	296178.9363	278.7809597
70	371.7752506	138216.8369	60.71229788
50	314.2074348	98726.3121	30.97566218
35	262.8848008	69108.41847	15.17807447

Sedangkan pada SKTM PLN menggunakan kabel dengan insulasi XLPE dengan luas penampang 240 dan 150 mm². Konduktor memiliki insulasi XLPE sehingga diasumsikan temperatur operasi normal 20°C (bawah tanah) dan temperatur batas kerusakan 150°C dan arus maksimum adalah $I_N = 962.2A$. Sehingga didapat t_{bc} :

Tabel 4.2 Batas Kerusakan Konduktor SKTM

A (mm ²)	d(in)	A(mil)	t _{bc} (s)
240	688.3939992	473886.2981	554.9752538
150	544.2232412	296178.9363	216.7872085

4.1.2 Kurva Batas Kerusakan Trafo

Ketiga trafo yang terpasang pada GI Depok Baru tergolong trafo kategori III (5-30MVA) dengan kurva kerusakan sesuai:

$$I_N^2 t_{bt} = K$$

Dengan Nilai K sebagai berikut[4] :

Tabel 4.3 Batas Kerusakan Trafo Kategori III

Waktu (sec.)	Arus (A p.u.)	K
1800	2	7200
300	3	2700
60	4.75	1354
30	6.3	1192
10	11.3	1277
2	25	1250

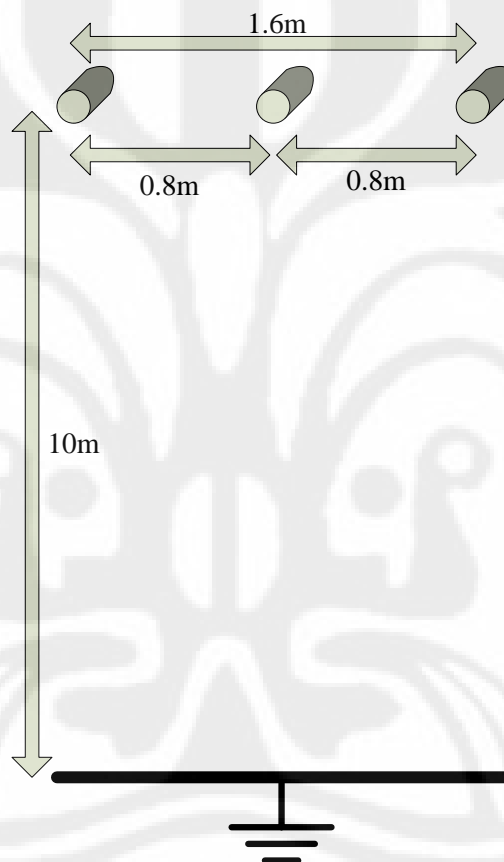
Arus gangguan tanah maksimum yang melewati trafo adalah I_N yaitu 962.2A yang tidak jauh berbeda dari arus base, arus beban penuh dari trafo itu sendiri yaitu 866A.

Dengan ketahanan saluran jauh lebih kecil daripada ketahanan trafo. Sehingga dalam menentukan t_{PU} yang akan diperhatikan hanyalah faktor ketahanan saluran.

4.1.3 Arus Kapasitansi Saluran

Faktor lain yang harus dipertimbangkan dalam menentukan I_{set} dari *GFR* adalah arus kapasitansi dari saluran yang berbanding lurus dengan panjang saluran. Kapasitansi tersebut akan mengakibatkan mengalirnya arus kapasitif $3I_{CO}$. *GFR* harus diset lebih besar dari $3I_{CO}$ untuk menghindari trip pada *GFR* karena mendeteksi arus kapasitansi.

Besarnya kapasitansi dari saluran (F/m/fasa) dapat dihitung dengan persamaan (2.12)



Gambar 4.1 Konfigurasi SUTM Penyulang GI Depok Baru

Gambar 4.1 menunjukkan konfigurasi konduktor dari SUTM pada penyulang. Sehingga dengan perhitungan manual didapatkan arus kapasitif dari berbagai jenis konduktor yang digunakan pada JTM.

Tabel 4.4 Data Kapasitansi Konduktor SUTM GI Depok Baru

A (mm ²)	r (m)	Co(uF/m)	Xco (Ω /m)	Ico (A/m)	3Ico (A/m)
150	0.006911635	1.11586E-05	285403852	4.0742E-05	0.000122226
70	0.004721546	1.03656E-05	307239808.9	3.7846E-05	0.000113539
50	0.003990434	1.00502E-05	316880022.9	3.6695E-05	0.000110085
35	0.003338637	9.73624E-06	327099061.6	3.5549E-05	0.000106646

Tabel 4.5 Data Kapasitansi Konduktor SKTM GI Depok Baru

A (mm ²)	Co(uF/1000ft)	Co(uF/m)	Xco (Ω /m)	Ico (A/m)	3Ico (A/m)
240	0.0725	0.000212735	14970349.22	0.00077673	0.002330186
150	0.064	0.000187793	16958598.73	0.00068566	0.002056992

Dari simulasi sebelumnya dengan ETAP dan perhitungan manual arus kapasitif didapat:

Tabel 4.6 Arus Netral Minimum dan Kapasitif Penyulang Trafo I Depok Baru

Trafo	Penyulang	INmin (A) ZF = 40 Ω	3Ico (A)
1 (SUTM)	Sinom	213	8.88
	Sonata	202	9.4
	Tembang	209	5.67
	Tenor	213	6.33
	Cello	208	4.1
2 (SKTM)	Sopran	219	15.61
	Laras	217	12.25
	Allegro	218	13.3
	Kinanti	216	15.4
	Nayaga	206	35.95
	Maestro	216	12.97
3 (SKTM)	Serimpi	214	21.66
	Sedati	202	14.38

4.2 Karakteristik Proteksi Gangguan Tanah Pada Trafo I GI Depok Baru

4.2.1 Setelan Arus dan Waktu PBO Pentanahan

Setelah didapatkan data seperti pada tabel 4.6 di atas maka dapat ditentukan batasan maksimum dan minimum dari Setelan Arus trip PBO pentanahan pada netral trafo 1. Arus kapasitif acuan diambil nilai terbesar yaitu pada penyulang Nayaga yaitu 35.95. Dan I_{Nmin} diambil nilai terkecil yaitu pada penyulang Sonata yaitu 202A. Maka besar tetapan arus pada PBO adalah:

$$1.25 \times 3I_{co} < Trip\ Rating < 30\% \times I_{Nmin}$$

$$44.93A < Trip\ Rating < 60.6A$$

Sesuai dengan pertidaksamaan di atas, dengan tujuan agar *GFPC* mampu mendeteksi gangguan tanah yang sangat kecil sekalipun namun tidak terpengaruh arus kapasitif maka ditetapkan Setelan Arus dari kurva cepat PBO sebesar 45A. Sedangkan untuk slow curve dapat dinonaktifkan. Waktu penutupan kembali diset selama 1 detik.

Prinsip utama *GFPC* adalah memutuskan hubungan netral ke tanah dalam waktu yang cepat dan tidak terlalu bergantung pada besarnya sehingga dapat digunakan kurva karakteristik yang memiliki waktu tunda yang kecil seperti seketika atau *extremely inverse* (dapat disesuaikan dengan fitur dan kemampuan PBO). Dalam perhitungan kali ini digunakan karakteristik instantaneus tanpa waktu tunda.

4.2.2 Setelan Arus dan Waktu *GFR* Penyulang Trafo I

Rele gangguan tanah yang digunakan pada GI Depok Baru adalah Alstom Micom P122 yang dapat diset pada 3 karakteristik arus dan waktu yang berbeda yaitu $ie>$, $ie>>$, dan $ie>>>$. Dalam studi konsep *GFPC* ini. Ketiga setelan tersebut akan diaktifkan dan memiliki fungsi sebagai berikut :

Tabel 4.7 Fungsi Arus dan Waktu Rele Pada Penyulang Trafo I

Setelan Micom P122	Karakteristik I vs T	Fungsi
$ie>>$	IEC Standard Inverse Time	Buka PMT
$ie>>>$	Momen	Buka PMT
$ie>$	Sesuai <i>GFPC</i>	Alarm

4.2.2.1 Setelan Arus dan Waktu $ie>$ *GFR* Penyulang Trafo I

Setelan Arus dan waktu $ie>$ dari *GFR* utama dibuat sedemikian rupa identik dengan Setelan Arus dan waktu dari PBO pentanahan. Hal tersebut dengan maksud ketika terjadi gangguan tanah, PBO trip dan rele pada penyulang yang mengalami gangguan dapat mengindikasikan gangguan tersebut pada operator. Karena jika PBO trip, maka sistem akan berada pada kondisi tidak ditanahkan sehingga deteksi gangguan tanah akan menjadi sulit.

4.2.2.2 Setelan Arus momen $ie>>>$ *GFR* Penyulang Trafo I

Setelan Arus $ie>>>$ dari *GFR* utama harus memenuhi beberapa faktor antara lain

$$\text{Arus inrush dari trafo} < I_{PU} < \text{Arus jenuh CT}$$

Pada GI Depok Baru rele Micom P122 memiliki fitur inrush blocking sehingga I_{PU} dapat diset $<$ arus inrush trafo karena untuk beberapa saat awal arus inrush trafo tidak akan terdeteksi. Sedangkan arus saturasi CT adalah 10x arus primer CT yaitu 3000A. Pada GI depot baru I_{PU} seketika akan diset pada :

$$\text{Arus Saturasi CT} \geq I_{PU} \geq 1.25 \cdot I_N$$

$$3000A \geq I_{PU} \geq 1202.75A$$

Sehingga arus pickup :

$$I_{\text{set}} = \frac{I_{PU}}{\text{CTratio. In}} = \frac{1202.75A}{60.5} = 4.009A \sim 4A$$

4.2.2.3 Setelan Arus dan Waktu $ie>>$ *GFR* Penyulang Trafo I

Setelan Arus dan waktu $ie>>$ dari *GFR* utama harus terkoordinasi dengan Setelan Arus dan waktu dari PBO pentanahan. Koordinasi yang akan digunakan di sini adalah koordinasi secara konvensional yaitu koordinasi berdasarkan arus dan waktu.

$$\text{Setelan Arus PBO} < I_{PU} < 30\% \times I_{Nmin}$$

Tabel 4.8 Setelan Arus dan Waktu $i_{e \gg} GFR$ Penyulang Trafo I

Trafo	Penyulang	INmin 40 (A)	30%.INmin (A)
1 (SUTM)	Sinom	213	63.9
	Sonata	202	60.6
	Tembang	209	62.7
	Tenor	213	63.9
	Cello	208	62.4

Untuk menghindari PBO dan CB trip bersamaan, maka arus pickup dari rele ditentukan lebih besar dari arus pickup pada PBO.

Dengan nilai yang tidak terlalu jauh berbeda, maka dapat dipilih nilai I_{PU} seragam sebesar 60A. Dengan CT 300:5 dan I_n sebesar 5A maka didapat arus pick-up :

$$I_{set} = \frac{I_{PU}}{\text{Rasio CT. } I_n} = \frac{60A}{60.5} = 0.2A$$

Setelan waktu dari rele juga harus terkoordinasi dengan setelan waktu dari PBO. Rele harus menyediakan waktu tunda yang cukup bagi PBO untuk bekerja. Waktu tunda sebesar minimal 0.5 detik harus diperhitungkan dengan pertimbangan :

- Waktu kerja PBO : 0.05 - 0.15s
 - Overtravel pada kontrol PBO : 0.05 - 0.10s
 - Faktor keamanan untuk CT jenuh dan kesalahan setelan : 0.10 – 0.20s
- Total : 0.20 – 0.45s ~ 0.5s

Perbedaan waktu sebesar minimal 0.5 detik ini harus terjaga dalam daerah kerja rele yaitu pada nilai arus gangguan yang berbeda-beda. Untuk itu digunakan karakteristik arus vs waktu standar inverse IEC

$$Td = TMS \times \left[\frac{K}{(I_F / \text{Rasio CT})^\alpha - 1} + L \right]$$

Setelan TMS dari rele dapat ditentukan dengan persamaan di atas dengan catatan bahwa waktu tunda rele bernilai ≥ 0.5 ketika arus gangguan mencapai $\leq I_{PU}$ momen yaitu 1200A. Dengan bergitu maka rele dapat diset pada TMS 0.25.

4.2.3 Setelan Arus dan Waktu *GFR* Cadangan pada trafo I

Rele gangguan tanah cadangan yang digunakan pada trafo I adalah Alstom MCGG-82H dengan I_n 5A. Rele ini dapat diset pada 2 karakteristik arus dan waktu yang berbeda $i_{e>}$ dan $i_{e>>}$. Dalam studi konsep *GFPC* ini, akan diaktifkan keduanya yaitu $i_{e>}$ pada IDMT dan $i_{e>>}$ pada karakteristik momen.

4.2.3.1 Setelan Arus dan Waktu $i_{e>>}$ *GFR* Cadangan pada trafo I

Karakteristik seketika diaktifkan untuk mengantisipasi kegagalan rele utama karena saturasi CT, CT pada rele utama akan mengalami saturasi pada saat arus gangguan mencapai 10x arus primer yaitu 3000A.

$$\text{Batas Saturasi CT Penyulang} \geq I_{PUtrafo}$$

$$3000A \geq I_{PUtrafo}$$

$$I_{set} = \frac{I_{PU}}{CTratio \cdot I_n} = \frac{3000A}{400.5} = 1.5A$$

4.2.3.2 Setelan Arus dan Waktu $i_{e>}$ *GFR* Cadangan pada trafo I

Koordinasi yang digunakan adalah koordinasi arus dan waktu yang disesuaikan dengan daerah kerja rele-rele pada penyulang.

Setelan Arus yang digunakan adalah :

$$1.25 \times I_{PUpenyulang} < I_{PUtrafo}$$

$$75A < I_{PUtrafo}$$

Maka dapat diambil nilai I_{PU} sebesar 80A. Sehingga dengan CT 2000:5 dan I_n 5A, didapat besar I_{set} yaitu :

$$I_{set} = \frac{I_{PU}}{\text{Rasio CT} \cdot I_n} = \frac{80A}{400.5} = 0.04A$$

Tetapi pada relay ini rentang Setelan Arus terendah adalah $0.05 \times I_n$. Sehingga I_{set} yang dipakai adalah 0.05s.

Setelan waktu dari rele ini juga harus terkoordinasi dengan setelan waktu dari rele pada penyulang. Rele ini harus menyediakan waktu tunda yang cukup bagi PBO pentanahan dan rele pada penyulang untuk bekerja.

Grading margin sebesar minimal 0.5 detik harus terjaga dalam daerah kerja rele trafo terhadap rele pada penyulang yaitu pada nilai arus gangguan yang berbeda-beda. Untuk itu digunakan karakteristik arus vs waktu standar inverse IEC .

$$Td = TMS \times \left[\frac{K}{(If / \text{Rasio CT})^\alpha - 1} + L \right]$$

Setelan TMS dari rele trafo dapat ditentukan dengan persamaan di atas dengan catatan bahwa waktu tunda rele bernilai ≥ 0.5 detik ketika arus gangguan mencapai $\leq I_{PU}$ momen dari rele penyulang yaitu 1200A. Dengan bergitu maka rele dapat diset pada TMS 0.4.

4.2.4 Analisa Koordinasi Proteksi Gangguan tanah pada trafo I GI Depok Baru

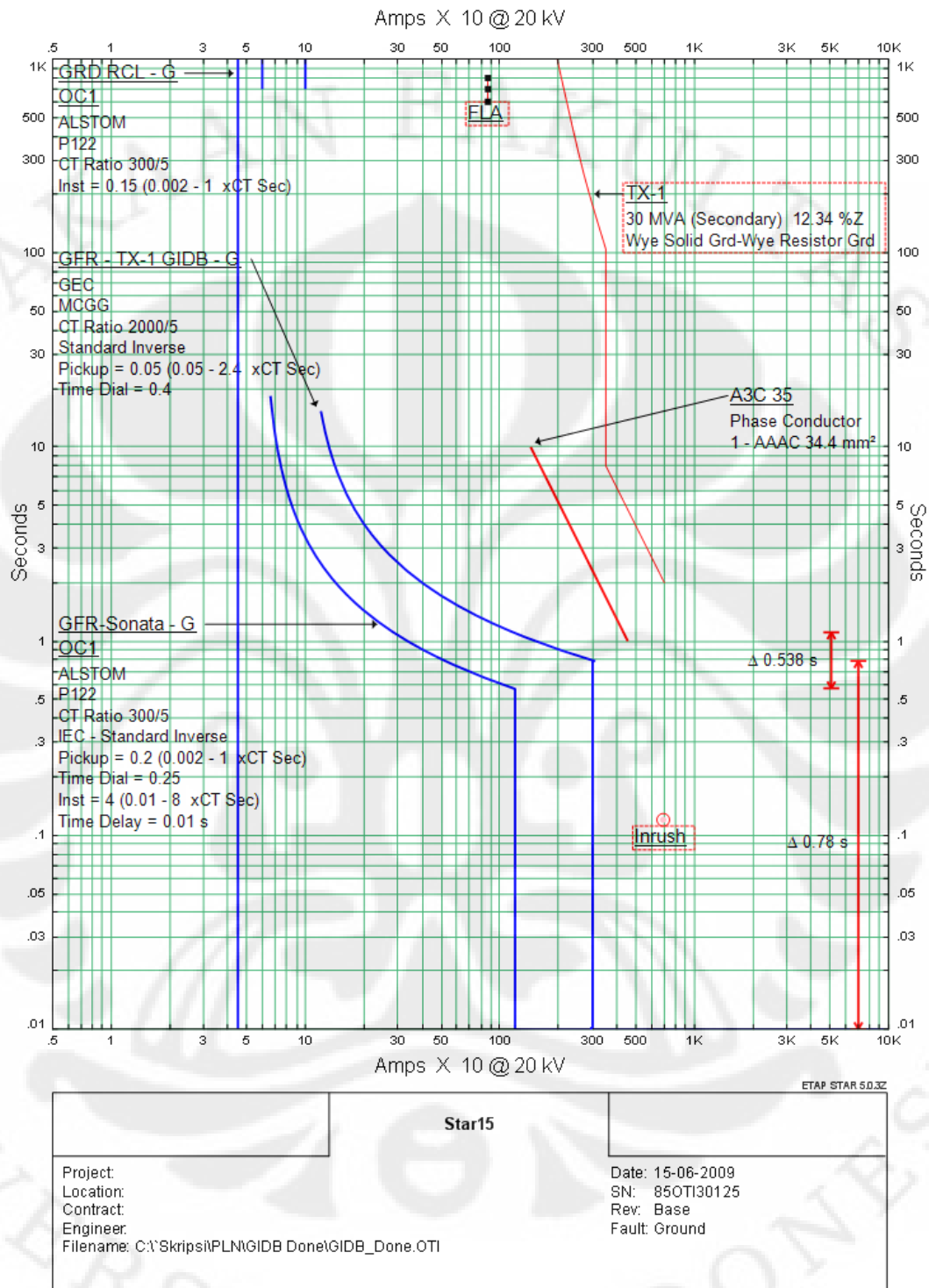
Tabel 4.9 Keseluruhan Setelan Proteksi Utama Pada Trafo I

Prot. Utama	PBO Pentanahan		GFR Micom P122					
Kurva Karakteristik	Seketika		Seketika		Standar Invers IEC		Seketika	
Fungsi	Trip PBO		Alarm		Buka PMT		Buka PMT	
Parameter	Trip Rating	t	I>	t>	I>>	t>>	I>>>	t>>>
Nominal	45A	0	0.15	0	0.2	0.25	4	0

Tabel 4.10 Keseluruhan Setelan Proteksi Cadangan Pada Trafo I

Prot.Cadangan	Rele GEC Alsthom MCGG-82H			
Rasio CT	2000/5			
Kurva Karakteristik	Standar Invers IEC		Seketika	
Parameter	I>	t>	ie>>	t>>
Nominal	0.05	0.4	0.75	0

4.2.4.1 Plot TCC Proteksi Arus Lebih Pada Trafo I



Gambar 4.2 Plot TCC Proteksi Arus Lebih Trafo I GI Depok Baru

4.2.5 Analisa Tegangan Lebih Transien Karena Switsing PBO

Seperti telah disebutkan sebelumnya, proses switsing pada netral trafo ketika terjadi gangguan akan menimbulkan tegangan lebih transien. Besarnya tegangan lebih transien ini akan ditentukan oleh impedansi surja pada sistem. Sistem yang dianalisa hanyalah sistem dengan *GFPC* yaitu pada trafo I.

Maka akan didapat besarnya tegangan surja [5]:

Tabel 4.11 Tegangan Lebih Transien Pada Trafo I

Penyulang	a	ω (rad/s)	ω_0 (rad/s)	V (kV) (0.001s)	V (kV) (0.002s)	V (kV) (0.003s)
Sonata	469.21	15770.01	15776.99	32.51	27.82	24.89
Tembang	1015.12	39191.83	39204.98	27.25	22.63	20.95
Celo	397.62	10997.18	11004.37	33.44	29.03	26.07
Sinom	474.47	15942.33	15949.39	32.44	27.74	24.82
Tenor	479.89	16233.15	16240.24	32.38	27.66	24.74

V (kV) (0.004s)	V (kV) (0.005s)	V (kV) (0.006s)	V (kV) (0.007s)	V (kV) (0.008s)	V (kV) (0.009s)	V (kV) (0.01s)
23.06	21.91	21.20	20.75	20.47	20.29	20.18
20.34	20.12	20.05	20.02	20.01	20.00	20.00
24.08	22.74	21.84	21.24	20.83	20.56	20.38
23.00	21.87	21.16	20.72	20.45	20.28	20.17
22.93	21.82	21.12	20.70	20.43	20.27	20.16

Dengan nilai tegangan sebesar 1.6 p.u maka sistem ini dapat dinyatakan aman mengingat TID peralatan yang berkisar pada 5-6 p.u. Berikut adalah data tegangan lebih transien dalam bentuk grafik.



Gambar 4.3 Tegangan Lebih Transien Pada Trafo I

4.3 Karakteristik Proteksi Gangguan Tanah Pada Trafo II & III GI Depok Baru

4.3.1 Setelan Arus dan Waktu *GFR* Penyulang Trafo II & III

Rele gangguan tanah yang digunakan pada penyulang Trafo II & III GI Depok Baru hanya akan diaktifkan pada 2 karakteristik arus dan waktu yang berbeda saja yaitu $ie>$ dan $ie>>$.

Tabel 4.12 Fungsi Arus dan Waktu Rele Pada Penyulang Trafo II & III

Setelan Micom P122	Karakteristik I vs T	Fungsi
$ie>$	Standar Invers IEC	Buka PMT
$ie>>$	Seketika	Buka PMT

4.3.1.1 Setelan Arus momen $ie>>$ *GFR* Penyulang Trafo II & III

Setelan Arus $ie>>$ dari Rele gangguan tanah yang digunakan pada penyulang Trafo II & III GI Depok Baru adalah sama dengan setelan pada trafo I yaitu :

$$I_{PU} \geq 1.25 \cdot I_N$$

$$I_{PU} \geq 1202.75A$$

Sehingga Iset:

$$I_{set} = \frac{I_{PU}}{CTratio \cdot In} = \frac{1202.75A}{60.5} = 4.009A \sim 4A$$

4.3.1.2 Setelan Arus dan Waktu $ie > GFR$ Penyulang Trafo II & III

GFR pada setiap penyulang pada trafo II & III merupakan pengamanan pertama pada JTM sehingga Setelan Arus hanya berdasarkan arus gangguan minimum setiap penyulang saja.

$$I_{set} < 30\% \times I_{Nmin}$$

Tabel 4.13 Arus Netral Minimum dan Kapasitif SKTM Penyulang GI Depok Baru

Trafo	Penyulang	INmin 40Ω (A)	30%.INmin (A)
2 (SKTM)	Sopran	219	65.7
	Laras	217	65.1
	Allegro	218	65.4
	Kinanti	216	64.8
	Nayaga	206	61.8
	Maestro	216	64.8
3 (SKTM)	Serimpi	214	64.2
	Sedati	202	60.6

Sama halnya dengan penyulang pada trafo I, arus gangguan minimum yang terjadi pada tiap penyulang tidak berbeda jauh, sehingga memungkinkan dipilihnya Setelan Arus yang sama pada tiap penyulang yaitu 60A.

Dengan CT 300:5 dan In sebesar 5A maka didapat Setelan Arus Iset :

$$I_{set} = \frac{I_{PU}}{CTratio \cdot In} = \frac{60A}{60.5} = 0.2A$$

Rele pada penyulang pada trafo II dan III merupakan proteksi pertama pada JTM tersebut sehingga setelan waktunya hanya perlu dikordinasikan dengan proteksi cadangan pada trafo. Dengan begitu TMS dapat diset pada nilai terkecil sekalipun. Setelan terkecil pada rele alstom micom P122 adalah 0.05.

4.3.2 Setelan Arus dan Waktu *GFR* Cadangan pada trafo II & III

Rele gangguan tanah cadangan pada trafo II adalah GE-MDP dengan In 1A, sedangkan pada trafo III adalah ABB SPAJ-140C dengan In 5A. Kedua rele ini dapat diset pada 2 karakteristik arus dan waktu yang berbeda $ie>$ dan $ie>>$.

4.3.2.1 Setelan Arus dan Waktu $ie>>$ *GFR* Cadangan pada trafo II & III

Sama seperti pada trafo 1, karakter seketika diaktifkan untuk mengantisipasi saturasi CT pada pengaman utama yaitu pada arus gangguan 3000A.

$$\text{Batas Saturasi CT Penyulang} \geq I_{PUtrafo}$$

$$3000A \geq I_{PUtrafo}$$

$$I_{set} = \frac{I_{PU}}{CTratio. In} = \frac{3000A}{400.5} = 1.5A$$

4.3.2.2 Setelan Arus dan Waktu $ie>$ *GFR* Cadangan pada trafo II & III

Koordinasi yang digunakan adalah koordinasi arus dan waktu yang disesuaikan dengan daerah kerja rele-rele pada penyulang.

Setelan Arus yang digunakan adalah :

$$1.25 \times I_{PUpenyulang} < I_{PUtrafo}$$

$$75A < I_{PUtrafo}$$

Maka dapat diambil nilai I_{PU} sebesar 80A. Sehingga dengan CT 1000:5 dan In 5A, didapat besar Iset pada trafo II :

$$I_{set} = \frac{I_{PU}}{\text{Rasio CT. In}} = \frac{80A}{200.1} = 0.4A$$

Sedangkan untuk trafo III diperoleh setelan :

$$I_{set} = \frac{I_{PU}}{\text{Rasio CT. In}} = \frac{80A}{200.5} = 0.08A$$

Tetapi pada rele ini tap Setelan Arus terendah adalah $0.1 \times In$. Sehingga Iset yang dipakai adalah 0.1s

Setelan waktu dari kedua rele ini juga harus terkoordinasi dengan setelan waktu dari rele –rele pada penyulang. Rele ini harus menyediakan waktu tunda yang rele-rele pada penyulang untuk bekerja.

Grading margin sebesar minimal 0.5 detik harus terjaga dalam daerah kerja rele trafo terhadap rele-rele pada. Untuk itu digunakan karakteristik arus vs waktu standar inverse IEC .

Setelan TMS dari rele trafo dapat ditentukan dengan persamaan di atas dengan catatan bahwa waktu tunda rele selama $\geq 0.5s$ terhitung dari daerah kerja rele-rele pada penyulang.

4.3.3 Analisa Koordinasi Proteksi Gangguan tanah pada trafo II & III GI Depok Baru

Tabel 4.14 Keseluruhan Setelan Proteksi Utama Pada Trafo II & III

Prot. Utama	GFR Micom P122			
Kurva Karakteristik	Standar Invers IEC		Seketika	
Fungsi	Buka PMT		Buka PMT	
Parameter	I>	t>	I>>	t>>
Nominal	0.2	0.05	4	0

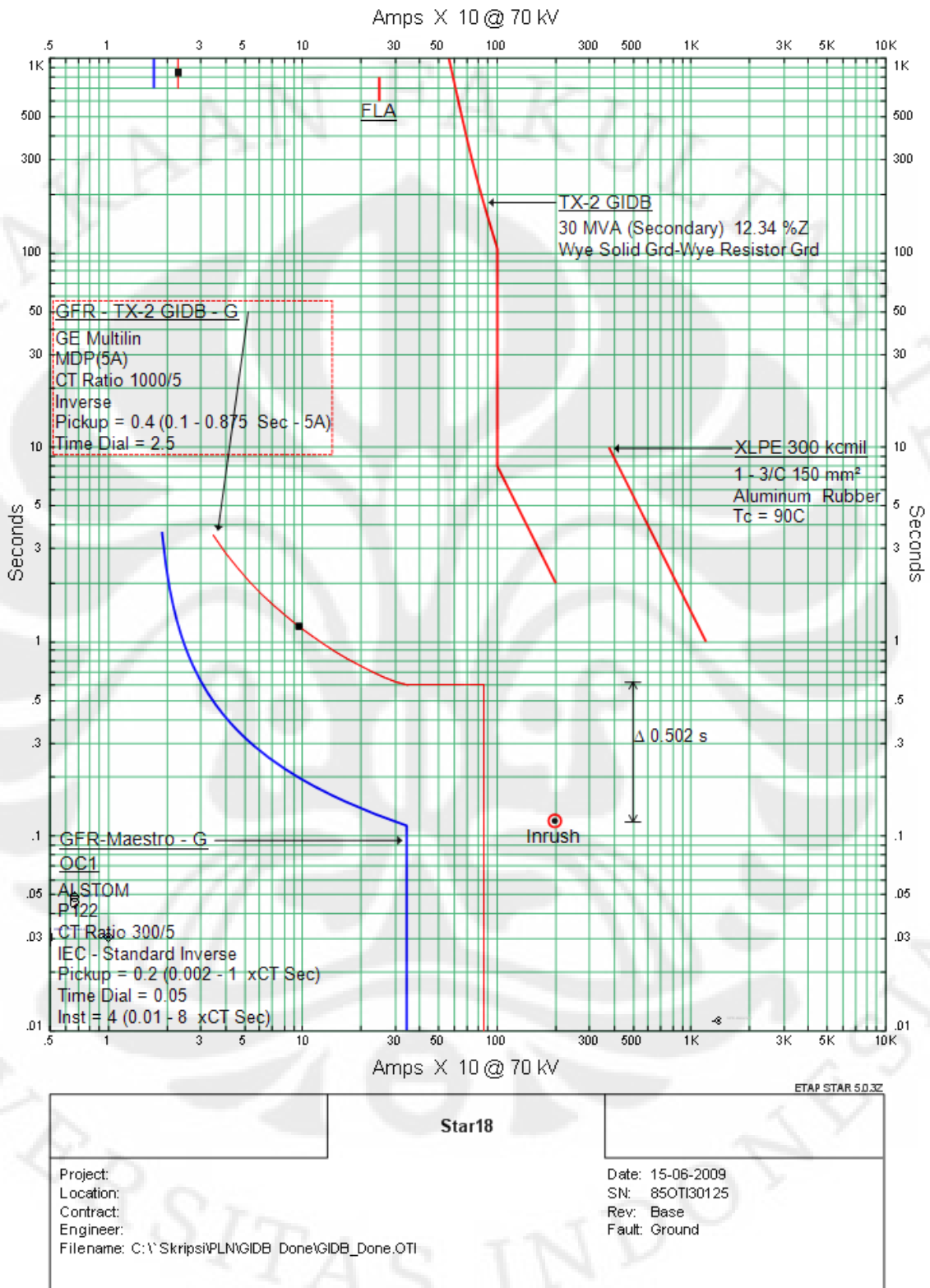
Tabel 4.15 Keseluruhan Setelan Proteksi Cadangan Pada Trafo II

Prot.Cadangan	Rele GE Multilin MDP			
Rasio CT	1000/5			
Kurva Karakteristik	Invers		Seketika	
Parameter	I>	t>	ie>>	t>>
Nominal	0.4	2.5	1.5	0

Tabel 4.16 Keseluruhan Setelan Proteksi Cadangan Pada Trafo III

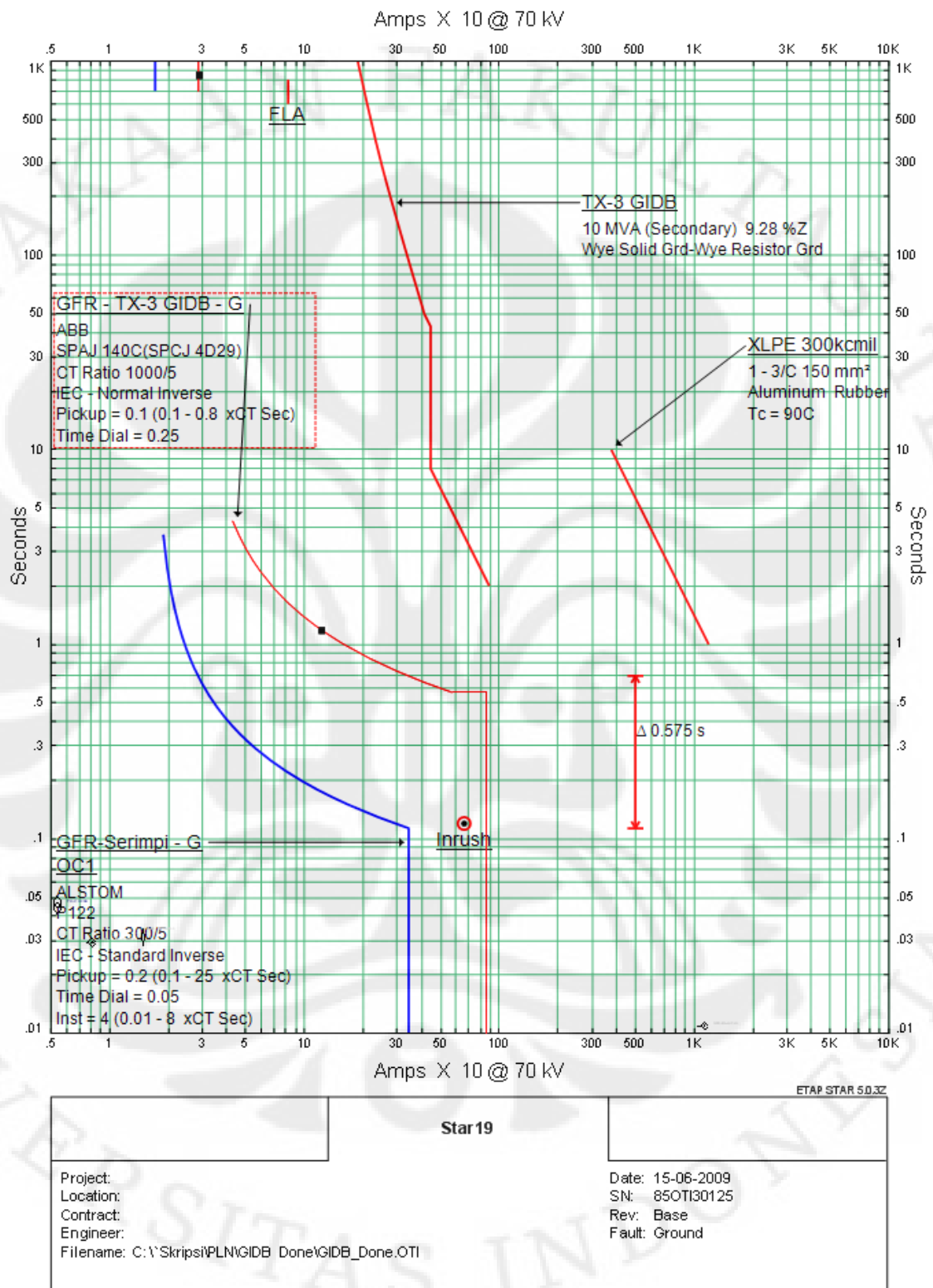
Prot.Cadangan	Rele ABB SPAJ-140C			
Rasio CT	1000/5			
Kurva Karakteristik	Normal Invers IEC		Seketika	
Parameter	I>	t>	ie>>	t>>
Nominal	0.1	0.25	1.5	0

4.3.3.1 Plot TCC Proteksi Arus Lebih Pada Trafo II



Gambar 4.4 Plot TCC Proteksi Arus Lebih Trafo II GI Depok Baru

4.3.3.2 Plot TCC Proteksi Arus Lebih Pada Trafo III



Gambar 4.5 Plot TCC Proteksi Arus Lebih Trafo III GI Depok Baru

BAB 5

KESIMPULAN

- Waktu dari pengamanan gangguan tanah harus memperhatikan dan terkoordinasi dengan waktu maksimum yang dapat diberikan konduktor dan trafo ketika dilewati arus gangguan. Selain itu, waktu pengamanan harus terkoordinasi dengan pengamanan lain minimal selama 0,5 detik.
- Pada GI Depok Baru, sistem pentanahan peralihan atau GFPC hanya diaplikasikan pada trafo I dengan setelan arus sebesar 45A. Setelan PBO pentanahan ini mengacu pada arus kapasitif sistem dan arus gangguan minimum. Ditetapkan batas bawah 125% dari arus kapasitif maksimum sistem (35,95A) dan batas atas adalah 30% dari arus gangguan minimum (202A).
- Proses switsing pada netral trafo dapat mengakibatkan tegangan lebih transien pada sistem. Pada trafo I diperoleh tegangan lebih transien maksimal sebesar 1.6 p.u. Pada kurva tegangan lebih transien, didapat kurva yang menunjukkan sistem yang teredam, redaman ini salah satunya adalah karena penggunaan tahanan pentanahan sebesar 12Ω .
- Karakteristik seketika dari rele gangguan tanah cadangan diaktifkan pada setelan 3000A. Setelan ini mengacu pada batas saturasi transformator arus pada pengamanan utama yaitu 10 kali dari nilai arus primer.

DAFTAR ACUAN

- [1] Grigsby, L.L., *The Electric Power Engineering Handbook* (Boca Raton : CRC Press, 2001).
- [2] Institute of Electrical and Electronics Engineers, *IEEE Guide for Application of Transformer Connections in Three-Phase Distribution Systems*, New York : IEEE, 1992.
- [3] Faulkenberry, Lucus M., Coffey, Walter., *Electrical Power Distribution and Transmission.*, Prentice-Hall Inc, New Jersey, 1996..
- [4] Institute of Electrical and Electronics Engineers, *IEEE Guide for Liquid-immersed Transformer Through-Fault-Current Duration*, New York : IEEE, 1992.
- [5] Weedy, B.M., Cory, B.J., *Electric Power System.*, John Wiley & Son, Chichester, 1999.

DAFTAR PUSTAKA

- Areva, “*MiCOM P120/P121/P122/P123 Overcurrent Relays Technical Guide*”
- Chapman, Stephen J., *Electric Machinery And Power System Fundamentals*, New York : Mcgraw Hill, 1999.
- Faulkenberry, Lucus M., Coffey, Walter., *Electrical Power Distribution and Transmission.*, New Jersey : Prentice-Hall Inc, 1996.
- Institute of Electrical and Electronics Engineers, *IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power System*, New York : IEEE, 2007.
- Weedy, B.M., Cory, B.J., *Electric Power System.*, John Wiley & Son, Chichester, 1999.
- O&TC Modul 3 PG&T PT.Chevron Pacific Indonesia, *GFPC*, Pekanbaru : PT.CPI, 2006.

Lampiran 1 Foto GFPC Terpasang Pada Gardu Induk



Lampiran 2 Rating Trafo GI Depok Baru

Trafo	Tipe	MVA	FLA (A)	Koneksi	Impedansi (Ω)
I	Unindo TTUB 70/30000	70/20kV 30MVA	866	YGyg	12.34
II	Unindo TTUB 70/30000	70/20kV 30MVA	866	YGyg	12.34
III	Hyundai RP-8010	70/20kV 30MVA	288	YGyg	9.28

Lampiran 3 Setelan Rele GI Depok Baru

GARDU INDUK	Penyulang	Karakter	Type	CT		Ratio	In / tap	OCR				In / tap	GFR				AKTUAL SETTING	
				P	S			I >	t >	I >>	t >>		lo >	to >	lo >>	to >>	OCR (A)	GFR (A)
Depok Baru	Trafo-1, 30MVA 12.34Ω																	
	INCOMING	Inverse	MCGG-82H	2000	5	400	5	0.5	0.15	Blcok	-	5	0.05	0.15	Block	-	1000	100
	SINOM	Inverse	MICOM P122	300	5	60	5	1	0.1	10 x In	0	5	0.2	0.1	3 x In	0	300	60
	TENOR	Inverse	MICOM P122	300	5	60	5	1.2	0.05	10 x In	0	5	0.2	0.05	BLOCK	-	360	60
	CELLO	Inverse	MICOM P122	300	5	60	5	1	0.05	10 x In	0	5	0.2	0.1	3 x In	0	300	60
	SONATA	Inverse	MICOM P122	300	5	60	5	1.2	0.05	12 x In	0	5	0.2	0.05	BLOCK	-	360	60
	TEMBANG	Inverse	MICOM P122	300	5	60	5	1	0.05	10 x In	0	5	0.2	0.05	BLOCK	-	300	60
LARAS	Inverse	MICOM P122	300	5	60	5	1	0.05	12 x In	0	5	0.2	0.05	3 x In	0	300	60	
Depok Baru	Trafo-2, 30MVA 12.34Ω																	
	INCOMING	Inverse	GE-MDP	1000	5	200	5	0.975	2.5	Blcok	-	5	0.2	0.125	Block	-	975	200
	NAYAGA	Inverse	MICOM P122	300	5	60	5	1	0.05	10 x In	0	5	0.2	0.05	3 x In	0	300	60
	KINANTI	Inverse	MICOM P122	300	5	60	5	1	0.05	10 x In	0	5	0.2	0.05	3 x In	0	300	60
	MAESTRO	Inverse	MICOM P122	300	5	60	5	1	0.05	10 x In	0	5	0.2	0.05	2 x In	0	300	60
	ALEGRO	Inverse	MICOM P122	300	5	60	5	1	0.05	10 x In	0	5	0.2	0.05	3 x In	0	300	60
SOPRAN	Inverse	MICOM P122	300	5	60	5	1	0.05	12 x In	0	5	0.2	0.05	BLOCK	0	300	60	
Depok Baru	Trafo 3,10MVA 9.28Ω																	

INCOMING	Inverse	SPAJ-140C	1000	5	200	5	1.12	0.25	Blcok	-	5	0.15	0.2	Block	-	1120	150
SAMBA	Inverse	MICOM P122	300	5	60	5	1	0.05	10 x ln	0	5	0.2	0.05	3 x ln	0	300	60
SERIMPI	Inverse	MICOM P122	300	5	60	5	1	0.05	10 x ln	0	5	0.2	0.05	3 x ln	0	300	60
KECAK	Inverse	MICOM P122	300	5	60	5	1	0.05	10 x ln	0	5	0.2	0.05	3 x ln	0	300	60
SEDATI	Inverse	MICOM P122	300	5	60	5	1.2	0.05	10 x ln	0	5	0.2	0.05	3 x ln	0	360	60
SAMAN	Inverse	MICOM P122	300	5	60	5	1	0.05	10 x ln	0	5	0.2	0.05	3 x ln	0	300	60
JANGER	Inverse	MICOM P122	300	5	60	5	1	0.05	10 x ln	0	5	0.2	0.05	3 x ln	0	300	60
LENONG	Inverse	MICOM P122	300	5	60	5	1	0.05	10 x ln	0	5	0.2	0.05	3 x ln	0	300	60

Lampiran 4 Data Konduktor JTM GI Depok Baru

GARDU INDUK	PENYULANG				PANJANG PENYULANG (MS)			Apr-09	
	NAMA	SKTM	SUTM	KHA	SKTM	SUTM	TOTAL	A	%
2	12	13	14	15	16	17	18	20	21
DEPOK BARU								550	63
	SONATA	AL 240	A3C 70	240	45	7,198	22,168	130	54
		AL 150	A3C 50		3,490	269			
			A3CS 70			10,265			
			A3CS			901			
	CELLO	AL 240	A3C 70	240	91	22,614	27,754	230	95
		AL 150	A3C 50		395	4,654			
			A3CS 70						
			A3CS 50						
			A3C 150						
	SOPRAN	AL 150		240	7,591		7,591	195	81
	ALEGRO	AL. 150		240	6,395		6,459	85	35
		AL 240			64				
	MAESTRO	AL. 150	A3CS 70	240	278		5,600	195	81
		AL 240			5,322				

								645	74
	LARAS	AL 240		240	5,259		5,259	165	68
	TEMBANG	AL. 240	A3C 50	240	1,000	4,480	9,873	190	79
		AL 150	A3C 35		1,222	3,171			
	TENOR	AL 240	A3C 70	240	1,737	18,474	20,301	170	70
		AL 150			90				
	SINOM	AL 240	A3C 70	240	910	18,811	21,968	100	41
		AL 150			2,247				
	KINANTI	AL 240	A3C 70	240	6,332	227	7,682	50	20
		AL 150	A3C 50		255	738			
			A3C 35			130			
	NAYAGA	AL. 150		240			15,430	150	62
		AL 240			15,430				
								250	86
	SERIMPI	AL. 240		320	9,297		9,297	155	48
	SEDATI	AL. 240		320	6,170		6,170	10	3

Lampiran 5 Konstanta Karakteristik Rele

Type of curve	Standard	K factor	α factor	L factor
Short time inverse	AREVA	0.05	0.04	0
Standard inverse	IEC	0.14	0.02	0
Very inverse	IEC	13.5	1	0
Extremely inverse	IEC	80	2	0
Long time inverse	AREVA	120	1	0
Short time inverse	C02	0.02394	0.02	0.01694
Moderately Inverse	ANSI/IEEE	0.0515	0.02	0.114
Long time inverse	C08	5.95	2	0.18
Very inverse	ANSI/IEEE	19.61	2	0.491
Extremely inverse	ANSI/IEEE	28.2	2	0.1217
Rectifier protection	RECT	45900	5.6	0