



UNIVERSITAS INDONESIA

**PERHITUNGAN WAKTU KERJA RELE
KARENA GANGGUAN SIMPATETIK**

SKRIPSI

NUR EDI PRASETYO

06 06 04 2815

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
JUNI 2009**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PERHITUNGAN WAKTU KERJA RELE
KARENA GANGGUAN SIMPATETIK**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana

NUR EDI PRASETYO

06 06 04 2815


**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI 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 : Nur Edi Prasetyo

NPM : 0606042815

Tanda Tangan : 

Tanggal : 29 Juni 2009

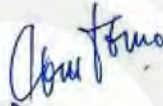
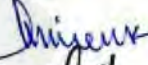
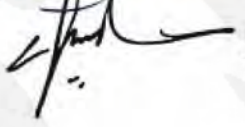
HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Nur Edi Prasetyo
NPM : 0606042815
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Perhitungan Waktu Kerja Rele Karena Gangguan Simpatetik

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Agus R. Utomo, MT ()
Penguji : Ir. Amien Rahardjo, MT ()
Penguji : Ir. I Made Ardita Y, MT ()

Ditetapkan di : Ruang Gatrik LT. 1 DTE Depok
Tanggal : 29 Juni 2009

KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah Swt, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik 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. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Ir. Agus R. Utomo, MT, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (2) PT. PLN (Persero) Distribusi Jakarta Dan Raya Area Pengatur Distribusi yang telah banyak membantu dalam usaha memperoleh data yang saya perlukan;
- (3) Orang tua dan keluarga yang telah memberikan bantuan dukungannya.

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

Depok, 29 Juni 2009

Penulis

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

=====

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

Nama : Nur Edi Prasetyo
NPM : 0606042815
Program Studi : Tenaga 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 :

Perhitungan Waktu Kerja Rele Karena Gangguan Simpatetik

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 mempublikasikan 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 : 29 Juni 2009
Yang menyatakan

(**Nur Edi Prasetyo**)

ABSTRAK

Nama : Nur Edi Prasetyo

Program Studi : S1 Ekstensi Teknik Elektro

Judul : Perhitungan Waktu Kerja Rele Karena Gangguan Simpatetik

Dalam usaha meningkatkan kehandalan penyediaan energi listrik diperlukan sistem proteksi yang handal juga. Sistem proteksi harus memenuhi syarat diantaranya Sensitif (dalam mendeteksi gangguan), Handal, Selektif (mampu memisahkan jaringan yang terganggu), Bekerja cepat. Jenis gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik adalah gangguan 1 fasa tanah. Gangguan ini dapat menyebabkan gangguan simpatetik, yaitu gangguan yang menyebabkan salah satu relai pada penyulang lain yang berdekatan turut bekerja. Salah satu cara mengatasinya yaitu dengan menggunakan relai yang berkarakteristik inverse. Studi kasus dalam pembahasan ini difokuskan pada Gardu Induk Ancol (4 Penyulang : Buih, Artika, Nusa, dan Tanjung) dimana dengan menggunakan inverse relai, gangguan simpatetik dapat dihilangkan.

Kata kunci : gangguan 1 fasa tanah, gangguan simpatetik, invers.

ABSTRACT

Name : Nur Edi Prasetyo

Study Program : S1 Extension Electrical Engineering

Title : Calculation of Working Time Relay because Symphatetic Fault

In effort to increase relay on supplying electrical energy needful protection system rely on too. Protection system must fill condition in other thing. Sensitive (in detected fault), relay on, selective (can separate disturbed network), leaped a bounds. Kinds of fault often occurs at electrical energy system is 1 phase eath fault. This fault can engender symphatetic fault. It is fault causing one of relay in other feeder neighboring can works. One of manner solve this problem by use of inverse relay. Study case under consideration focused at Ancol Substation (4 feeder : Buih, Artika, Nusa, and Tanjung) where with inverse relay, symphatetic fault can be avoided.

Key words : 1 phase earth fault, symphatetic fault, inverse.

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
UCAPAN TERIMA KASIH.....	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1.Latar Belakang.....	1
1.2.Tujuan Penulisan	1
1.3.Pembatasan Masalah	1
1.4.Sistematika Penulisan.....	1
BAB II GARDU INDUK.....	3
2.1 GARDU INDUK.....	3
2.1.1.Bagian- bagian Gardu Induk	3
a. Transformator daya.....	3
b. Trafo Pemakaian Sendiri (PS).....	4
c. Trafo arus (Current Transformer).....	4
d. Trafo tegangan (Potential Transformator).....	6
e. Pemutus Tenaga (PMT).....	6
f. Pemisah (PMS)	7
g. Sel 20 kV.....	7
h. Busbar (Rel).....	7
I. PENYULANG 20 KV.....	8
2.2 Pengamanan Sistem Jaringan Tegangan Menengah 20 KV.....	9
2.2.1 Fungsi Proteksi	9
2.2.2.Fungsi relai sebagai pengaman.....	9

2.3. Relai Arus lebih.....	9
1. Relai Arus Lebih Waktu Seketika (Instanteous).....	9
2. Relai Arus Lebih Waktu Tertentu (Definite).....	10
3. Relai Arus Lebih Waktu Terbalik (Invers).....	10
2.4. Kriteria Penyetelan Relai Arus Lebih.....	11

BAB III GANGGUAN PADA JARINGAN LISTRIK TEGANGAN MENENGAH.....

3.1 Komponen – komponen Simetris.....	13
3.1.1 Sintesis Fasor Tak Simetris dari Komponen- Komponen Simetrisnya.....	13
3.1.2. Operator-Operator.....	14
3.1.3. Simetris Fasor Tak Simetris.....	15
3.1.4. Daya dengan Komponen Simetris sebagai Sukunya.....	18
3.1.5. Impedansi Seri Tak Simetris.....	19
3.1.6. Impedansi Urutan dan Jaringan Urutan.....	20
3.2. Jenis – jenis gangguan Jaringan Tegangan Menengah.....	21
3.2.1. Gangguan fasa tiga (<i>Three phase faults</i>).....	21
3.2.2 Gangguan fasa ke fasa (<i>line to line fault</i>).....	22
3.2.3. Gangguan satu fasa ke tanah.....	22
3.2.4 Gangguan Simpatetik.....	22
3.2.4.1. Hubungan antara Gangguan 1 Fasa – Tanah dan Simpatetik Trip.....	25
3.2.4.1.1. Arus kapasitif dari fasa yang sehat secara vektoris yang masuk ke Relai gangguan tanah Penyulang terganggu.....	25
3.3 Sistem Proteksi.....	27
3.3.1. Syarat –syarat relai proteksi.....	27
1. Kecepatan Bereaksi.....	27
2. Kepekaan Operasi (sensitivity).....	30
3. Selektif (selectivity).....	30
4. Keandalan (reliability).....	30

5.Ekonomis.....	30
3.4 Relai Proteksi.....	30
3.4.1 Relai inverse.....	30
3.4.2. Komponen Relai Invers.....	30
3.5 Relai Ground Fault.....	30
BAB IV PERHITUNGAN GANGGUAN SIMPATETIK PADA	
PENYULANG 20 kV GARDU INDUK ANCOL.....	33
4.1. Gardu Induk Ancol.....	33
4.2. Data Teknik.....	34
4.2.1. Trafo	34
4.2.2. Hubung Singkat 3 fasa pembangkitan maksimum.....	34
4.2.3. Kabel SKTM XLPE 20 kV.....	34
4.2.4. Panjang Kabel Penyulang 20 KV Gardu Induk Ancol untuk Penyulang Buih, Artika, Nusa, Tanjung.....	38
4.3. Perhitungan Hubung Singkat Busbar 150 KV dalam MVA , Impedansi Sumber, dan Reaktansi Transformator.....	35
4.3.1. Impedansi Sumber.....	35
4.3.2. Reaktansi Transformator	35
4.4. Perhitungan Impedansi Penyulang.....	36
4.4.1. Impedansi equivalen.....	38
4.5. Perhitungan Arus Hubung Singkat	41
4.6. Perhitungan Arus Kapasitansi.....	42
4.7. Perhitungan Waktu Kerja Relai Invers.....	45
4.8. Analisa.....	50
BAB V KESIMPULAN.....	51
DAFTAR ACUAN.....	52
DAFTAR PUSTAKA.....	53
LAMPIRAN.....	54

Daftar Tabel

Tabel 2.1. Kelas Ketelitian CT.....	6
Tabel 2.2. Kelas Ketelitian CT.....	6
Tabel 4.1 Data teknis trafo.....	34
Tabel 4.2. Hubung singkat 3 fasa pembangkitan maksimum GI Ancol.....	34
Tabel 4.3 Kabel SKTM XLPE 20 KV.....	34
Tabel 4.4 Panjang kabel penyulang	35
Tabel 4.5 a. Impedansi Urutan Positif dan Negatif Buih.....	36
Tabel 4.5 b. Impedansi Urutan Nol Buih.....	36
Tabel 4.6 a. Impedansi Urutan Positif dan Negatif Artika.....	37
Tabel 4.6 b. Impedansi Urutan Nol Artika.....	37
Tabel 4.7 a. Impedansi Urutan Positif dan Negatif Nusa.....	37
Tabel 4.7 b. Impedansi Urutan Nol Nusa.....	38
Tabel 4.8 a. Impedansi Urutan Positif dan Negatif Tanjung.....	38
Tabel 4.8 b. Impedansi Urutan Nol Tanjung.....	38
Tabel 4.9 a. Z1 equivalen Buih.....	39
Tabel 4.9 b. Zo equivalent Buih.....	39
Tabel 4.10 a. Z1 equivalen Artika.....	39
Tabel 4.10 b. Zo equivalent Artika.....	40
Tabel 4.11 a. Z1 equivalen Nusa.....	40
Tabel 4.11 b. Zo equivalen Nusa.....	40
Tabel 4.12 a. Z1 equivalen Tanjung.....	40
Tabel 4.12 b. Zo equivalen Tanjung.....	41
Tabel 4.13 a. Arus hubung Singkat 1 fasa tanah Penyulang Buih.....	41
Tabel 4.13 b. Arus hubung Singkat 1 fasa tanah Penyulang Artika.....	41
Tabel 4.13 c. Arus hubung singkat Penyulang Nusa.....	42
Tabel 4.13 d. Arus hubung singkat Penyulang Tanjung.....	42
Tabel 4.14. Besar kapasitansi kabel XLPE untuk tegangan 20 kV.....	42
Tabel 4.15. Arus kapasitansi.....	44
Tabel 4.16. a. Seting relai OC/GF di Incoming Trafo 1.....	45
Tabel 4.16. b. Seting relai OC/GF di Penyulang Buih.....	45
Tabel 4.16. c. Seting relai OC/GF di Penyulang Tanjung dan Nusa.....	45
Tabel 4.16. d. Seting relai OC/GF di Penyulang Artika.....	45
Tabel 4.17. Identifikasi kurva menurut jenisnya.....	46
Tabel 4.18 a. Tms buih	46
Tabel 4.18 b. Tms Artika.....	46
Tabel 4.18 c. Tms Nusa.....	46
Tabel 4.18 d. Tms Tanjung.....	47
Tabel 4.19 a. tms simpatetik penyulang buih.....	47
Tabel 4.19 b. tms simpatetik penyulang artika.....	48
Tabel 4.19 c. tms simpatetik penyulang nusa.....	48
Tabel 4.19 d. tms simpatetik penyulang tanjung.....	49

Daftar Gambar

Gambar 2.1 Trafo Daya.....	3
Gambar 2.2. Trafo Pemakaian sendiri.....	4
Gambar 2.3. Current Transformator.....	4
Gambar.2.4.Kesalahan Sudut.....	5
Gambar.2.5.Pengaruh Kesalahan Sudut.....	5
Gambar 2.6.PMT dengan pemadam busur api media vacum.....	7
Gambar 2.7.Busbar Tunggal.....	8
Gambar 2.8.Busbar Ganda.....	8
Gambar 2.9 .Karakteristik waktu seketika (waktu – arus).....	10
Gambar 2.10.Karakteristik waktu tertentu (waktu – arus).....	10
Gambar 2.11.Karakteristik Waktu Terbalik (waktu – arus).....	11
Gambar 3.1. Tiga himpunan fasor seimbang yang merupakan komponen simetris dari tiga fasor tak-seimbang.....	14
Gambar.3.2. Penjumlahan secara grafis komponen-komponen pada Gambar 3.1. untuk mendapatkan tiga fasor tak seimbang.....	14
Gambar 3.3. Diagram fasor berbagai pangkat dari operator a.....	15
Gambar 3.4 Bagian sistem tiga-fasa yang menunjukkan tiga impedansi seri yang tidak sama.....	20
Gambar 3.5. Diagram rangkaian suatu generator tanpa-beban yang ditanahkan melalui suatu reaktansi. Emf masing-masing fasa ini adalah E_a , E_b , E_c	20
Gambar 3.6 Penyulang 20 kV.....	23
Gambar 3.7 Penyulang 20 kV pada kondisi gangguan 1 fasa ketanah.....	24
Gambar 3.8. Vektor arus gangguan 1fasa ke tanah untuk penyulang yang terganggu.....	25
Gambar 3.9 Vektor Arus I_R dan I_{C_e} pada penyulang 1 yang terganggu satu fasa ketanah.....	26
Gambar 3.10 Vektor I_{C_e} pada penyulang 2 pada gangguan satu fasa ketanah di penyulang 1.....	27
Gambar 3.11 relai inverse (merk MVTD).....	29
Gambar 3.12 karakteristik inverse.....	29
Gambar 3.13 Komponen relai invers Type MVTD 11.....	30
Gambar 3.14 <i>Direct method</i> GFR.....	30
Gambar 3.15 <i>Zero Sequencing method</i> GFR.....	31
Gambar 3.16 <i>Residual method</i> GFR.....	32
Gambar 3.17 GFR.....	32
Gambar 4.1 Posisi Penyulang.....	33
Gambar 4.2 Panjang Saluran.....	36
Gambar 4.3. Perbedaan tms antara gangguan 1 fasa tanah dan gangguan simpatetik pada penyulang Buih.....	47
Gambar 4.4. Perbedaan tms antara gangguan 1 fasa tanah dan gangguan simpatetik pada penyulang Artika.....	48
Gambar 4.5. Perbedaan tms antara gangguan 1 fasa tanah dan gangguan simpatetik pada penyulang Nusa.....	49
Gambar 4.6. Perbedaan tms antara gangguan 1 fasa tanah dan gangguan simpatetik pada penyulang Tanjung.....	49

BAB I

PENDAHULUAN

1.1.Latar Belakang

Pada saat ini kebutuhan energi di Indonesia semakin meningkat hal tersebut diakibatkan oleh pertumbuhan pembangunan yang disertai dengan konsumsi energi yang besar. Tak terkecuali dengan kebutuhan energi listrik.

Dalam usaha meningkatkan kehandalan penyediaan energi listrik kebutuhan sistem proteksi yang memadai tidak dapat dihindarkan. Sistem proteksi harus memenuhi syarat diantaranya Sensitif (dalam mendeteksi gangguan), Handal , Selektif (mampu memisahkan jaringan yang terganggu) , Bekerja cepat.

Terdapat beberapa jenis gangguan yang terdapat pada jaringan diantaranya gangguan simpatetik yang disebabkan oleh gangguan 1 fasa ke tanah. Oleh karena itu diperlukan pemilihan karakteristik relai pengaman yang tepat untuk menanggulangi gangguan tersebut diantaranya karakteristik inverse. Dalam hal ini penulisan akan difokuskan dalam perhitungan waktu kerja relai karena gangguan simpatetik tersebut.

1.2.Tujuan Penulisan

Tujuan dari penulisan skripsi ini adalah :

1. Menghitung mengenai gangguan 1 fasa tanah
2. Menghitung waktu kerja relai karena gangguan simpatetik.
3. Menghitung *time multiple setting* gangguan 1 fasa tanah.
4. Menghitung *time multiple setting* gangguan simpatetik.

1.3.Pembatasan Masalah

Pembahasan dalam penyusunan skripsi ini dipersempit pada :

Menghitung arus gangguan 1 fasa tanah , arus gangguan akibat gangguan simpatetik, menghitung tms akibat gangguan 1 fasa tanah dan tms akibat gangguan simpatetik pada 4 buah penyulang yang disuplai oleh Trafo 1 pada Gardu Induk 150/20 kV yaitu Buih, Artika, Nusa, dan Tanjung.

1.4.Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini adalah

BAB I PENDAHULUAN

Berisi tentang Latar belakang, Tujuan Penulisan, Pembatasan masalah, dan Sistematika penulisan.

BAB II GARDU INDUK

Difokuskan pada Landasan teori, tentang Gardu Induk dan komponen didalamnya khususnya sisi 20 kV dan Pengamanan Sistem Jaringan Tegangan Menengah 20 kV.

BAB III GANGGUAN PADA JARINGAN LISTRIK TEGANGAN MENENGAH

Menjelaskan mengenai gangguan pada jaringan listrik tegangan menengah.

BAB IV PERHITUNGAN GANGGUAN SIMPATETIK PADA PENYULANG 20 kV GARDU INDUK ANCOL

Berisi tentang perhitungan arus gangguan 1 fasa tanah, arus gangguan simpatetik, waktu kerja relai pada gangguan 1 fasa tanah dan gangguan simpatetik.

BAB V KESIMPULAN

berisi kesimpulan

BAB II

GARDU INDUK

2.1. GARDU INDUK

Gardu induk merupakan bagian (sub sistem) dari sistem transmisi, berfungsi untuk :

- Mentransformasikan tenaga listrik tegangan tinggi yang satu ke tegangan lainnya (500 kV/ 150 kV, 150 kV / 70 kV) atau dari tegangan tinggi ke tegangan menengah (150 kV / 20 kV, 70 kV / 20 kV).
- Pengukuran, pengawas operasi serta pengaturan pengamanan sistem tenaga listrik.
- Pengaturan pelayanan beban (daya) ke gardu – gardu induk lainnya melalui tegangan tinggi dan ke gardu gardu distribusi setelah melalui proses penurunan tegangan melalui penyulang (feeder) tegangan menengah.

2.1.1. Bagian- bagian Gardu Induk :

a. Transformator daya

Berfungsi untuk menyalurkan besaran daya tertentu dengan merubah besaran tegangannya, Transformator daya dilengkapi dengan trafo pentanahan atau disebut Neutral Current Transformer (NCT), berfungsi untuk mendapatkan titik neutral dari trafo tenaga.



Gambar 2.1 Trafo Daya

b. Trafo Pemakaian Sendiri (PS)

Trafo PS berfungsi sebagai alat listrik untuk menurunkan tegangan tinggi (biasanya 20 kV) menjadi tegangan rendah (220/380 Volt).

Trafo PS ini berguna sebagai sumber AC 3 phase – 220/380 Volt untuk kebutuhan listrik di suatu Gardu Induk misalnya : untuk penerangan, AC-AC, Rectifier dan peralatan lain yang memerlukan tenaga listrik.



Gambar 2.2. Trafo Pemakaian sendiri

c. Trafo arus (Current Transformer), berfungsi :

- Memperkecil besaran arus listrik (amper) pada sistem tenaga listrik menjadi besaran arus untuk sistem pengukuran dan sistem proteksi.
- Mengisolasi rangkaian sekunder terhadap rangkaian primer yaitu memisahkan instalasi pengukuran dengan proteksi terhadap tegangan tinggi.



Gambar 2.3. Current Transformator.

Kelas Ketelitian CT (IEC 185 /1987)

Untuk menunjukkan ketelitian C.T. dinyatakan dengan kesalahannya.

Suatu alat semakin kecil kesalahannya semakin teliti alat tersebut.

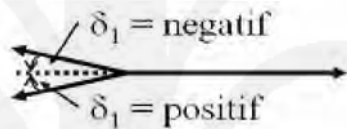
Pada C.T. dikenal 2 macam kesalahan yaitu

a. Kesalahan perbandingan ε

$$\varepsilon = \frac{K_T I_S - I_P}{I_P} * 100 \% \quad (2.1.)$$

K_T : perbandingan transformasi nominal

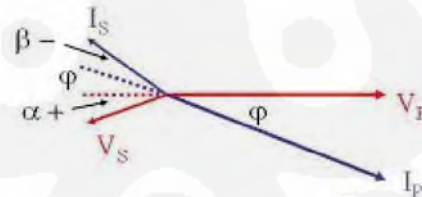
b. Kesalahan sudut δ



Gambar.2.4.Kesalahan Sudut

Pengaruh kesalahan sudut fase

Kesalahan sudut fase berpengaruh bila pengukuran menyangkut besaran arus dan tegangan misalnya pengukuran daya aktif maupun reaktif, pengukuran energi dan relai arah.



Gambar.2.5.Pengaruh Kesalahan Sudut

$$P = V_P \times I_P \times \cos \varphi$$

$$= K_{PT} \times K_{CT} \times V_S \times I_S \times \cos \varphi$$

$$\text{Pembacaan meter} = K_{PT} \times K_{CT} \times V_S \times I_S \times \cos (\varphi + \alpha + \beta)$$

Kesalahan pengukuran tergantung kesalahan rasio dan kesalahan sudut

Kelas ketelitian trafo arus untuk meter dapat dilihat pada Tabel 2.1. dan Tabel 2.2

Tabel 2.1.Kelas Ketelitian CT

Klas	+/- % kesalahan rasio				+/- pergeseran fase pada			
	arus pada % dari arus pengenal				% dari arus pengenal menit (1/60 derajat)			
Ketelitian	5	20	100	120	5	20	100	120
0,1	0,4	0,2	0,1	0,1	15	8	5	5
0,2	0,75	0,35	0,2	0,2	30	15	10	10
0,5	1,5	0,75	0,5	0,5	90	45	30	30
1,0	3,0	1,5	1,0	1,0	180	90	60	60

Tabel 2.2.Kelas Ketelitian CT

Klas	+/- % kesalahan rasio				+/- pergeseran fase pada					
	arus pada % dari arus pengenal				% dari arus pengenal menit (1/60 derajat)					
Ketelitian	1	5	20	100	120	1	5	20	100	120
0,2S	0,75	0,35	0,2	0,2	0,2	30	15	10	10	10
0,5S	1,5	0,75	0,5	0,5	0,5	90	45	30	30	30

d. Trafo tegangan (Potential Transformator), berfungsi :

- Memperkecil besaran tegangan pada sistem tenaga listrik menjadi besaran tegangan untuk sistem pengukuran dan sistem proteksi.
- Mengisolasi rangkaian sekunder terhadap rangkaian primer yaitu memisahkan instalasi pengukuran dan proteksi terhadap tegangan tinggi.

e. Pemutus Tenaga (PMT)

PMT merupakan saklar yang dapat digunakan untuk menghubungkan atau memutuskan arus / daya listrik sesuai dengan ratingnya. Pada saat menghubungkan atau menghubungkan arus akan timbul busur listrik, untuk memadamkan busur listrik maka PMT dilengkapi bahan pemadam seperti minyak , gas, dan media vacuum.



Gambar 2.6.PMT dengan pemadam busur api media vacum

f. Pemisah (PMS)

Pemisah berfungsi sebagai pemisah tegangan pada instalasi tegangan tinggi.

Dilihat dari penempatannya dibedakan atas:

- PMS Rel : Pemisah yang dipasang pada sisi rel
- PMS Kabel : Pemisah yang dipasang pada sisi kabel.
- PMS Seksi : Pemisah yang dipasangkan pada rel sehingga rel dapat dipisahkan.
- PMS Tanah : Pemisah yang dipasangkan pada kabel dan dapat dihubungkan / dibuka ke tanah.

g. Sel 20 kV

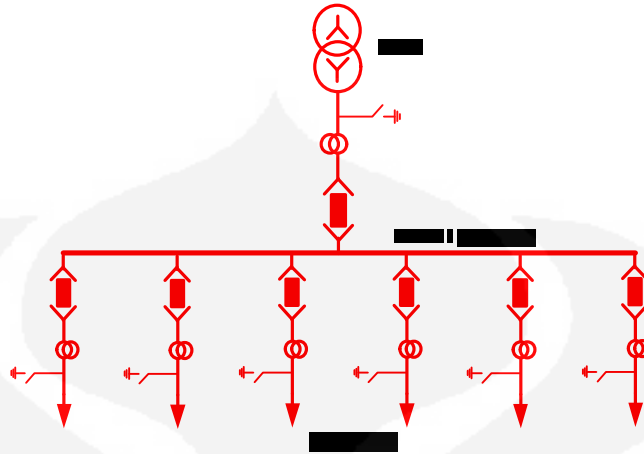
Suatu ruangan bagian dari Gardu induk yang terdiri dari Incoming Trafo dan feeder (penyulang).

h. Busbar (Rel)

Busbar merupakan tempat pertemuan / hubungan incoming trafo dan penyulang ataupun seksi (pada sisi 20 kV).

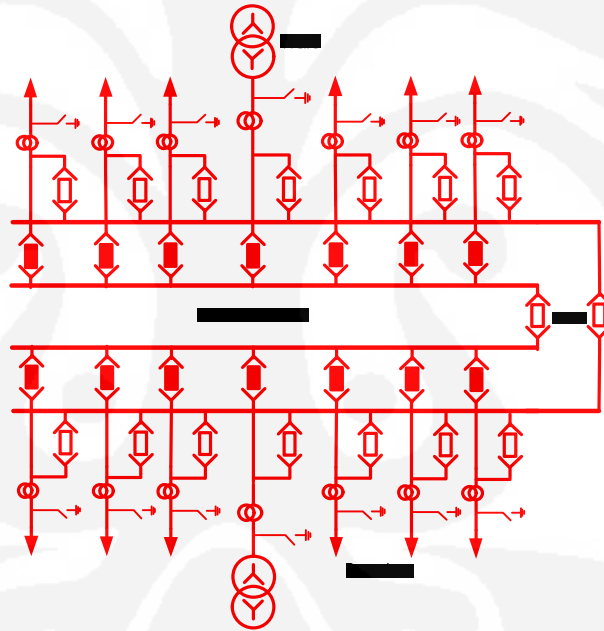
Busbar dibagi menjadi dua sistem :

1. Busbar/ Rel tunggal , semua peralatan dihubungkan dengan satu rel.



Gambar 2.7. Busbar Tunggal

2. Busbar / Rel Ganda , peralatan dihubungkan dengan dua rel.



Gambar 2.8. Busbar Ganda

I. PENYULANG 20 KV.

Instalasi pembagi beban sehingga energi listrik dapat tersalurkan sesuai kebutuhan konsumen. Jumlah penyulang disesuaikan dengan kapasitas penyulang dengan bebannya serta kapasitas trafo pemasok yang ada di gardu induk. Setiap penyulang lengkap dengan fasilitas proteksi dan meter terutama meter energi (kwh), sehingga dapat dihitung rendemen dari trafo tersebut.

2.2 Pengamanan Sistem Jaringan Tegangan Menengah 20 KV

Dengan bertambahnya kebutuhan listrik dimasyarakat dan usaha meningkatkan mutu pengadaan listrik maka diperlukan kehandalan sistem untuk menjaga jaringan listrik tersebut. Diantaranya memerhatikan pengamanan pada sistem tersebut dengan memaksimalkan keefektifan dari peralatan pengaman itu sendiri.

2.2.1 Fungsi Proteksi :

- Mengurangi atau menghindari kerusakan akibat gangguan pada peralatan yang terganggu atau peralatan yang dilalui arus gangguan.
- Melokalisir atau mengisolasi daerah menjadi sekecil mungkin sehingga bagian sistem yang tidak terganggu masih dapat memberikan

2.2.2.Fungsi relai sebagai pengaman

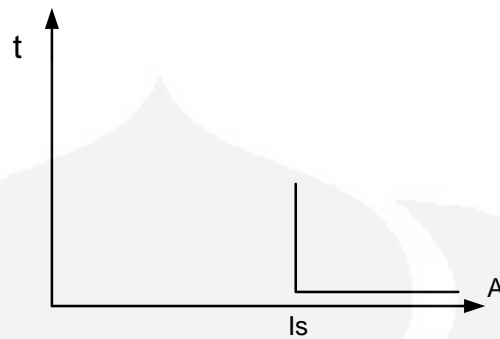
Relai merupakan peralatan yang direncanakan dapat merasakan ataupun mendeteksi dan mengukur adanya suatu gangguan yang ada di jaringan dan memerintahkan Pemutus Tenaga untuk membuka sehingga dapat memisahkan daerah gangguan itu sendiri.

2.3.Relai Arus lebih

Relai arus lebih bekerja jika arus yang mengalir melewati batas tertentu yang telah ditetapkan atau disebut arus kerja / arus pick up. Pada relai arus lebih terdapat beberapa karakteristik waktu yang dikelompokkan menjadi 4, yaitu :

1.Relai Arus Lebih Waktu Seketika (Instanteous)

Relai ini akan memberikan perintah kepada PMT pada saat terjadi gangguan bila besar arus gangguan melampaui batas penyetelan (Is) dan jangka waktu kerja mulai pick-up sampai kerja relai sangat singkat (20 – 60 milidetik).



Gambar 2.9 .Karakteristik waktu seketika (waktu – arus)

2. Relai Arus Lebih Waktu Tertentu (Definite)

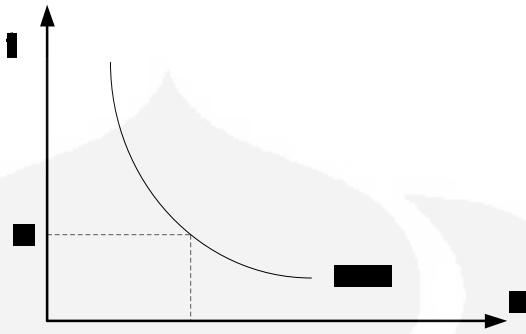
Relai akan memberikan perintah kepada PMT saat terjadi gangguan bila besar gangguannya melampaui batas penyetelan (I_s) dan jangka waktu kerja relai mulai pick-up sampai diperpanjang dengan waktu tertentu tidak tergantung besarnya arus.



Gambar 2.10.Karakteristik waktu tertentu (waktu – arus)

3. Relai Arus Lebih Waktu Terbalik (Invers)

Relai akan memberi perintah kepada PMT pada saat terjadi gangguan, bila besar arus gangguannya melampaui penyetelan (I_s) dan jangka waktu relai mulai pick-up sampai kerja relai diperpanjang waktunya berbanding terbalik dengan besarnya arus gangguan.



Gambar 2.11. Karakteristik Waktu Terbalik (waktu – arus)

2.4. Kriteria Penyetelan Relai Arus Lebih.

Untuk gangguan antar fasa :

a. Batas minimum

Relai arus lebih tidak boleh bekerja pada beban maksimum, batas penyetelan arus pick up minimum adalah :

$$I_{Smin} = (K_s / K_d) \cdot I_{maks} \quad (2.2.)$$

Dimana : I_{Smin} = arus setting minimum

I_{maks} = arus beban maksimum

K_s = faktor keamanan (1,1 – 1,2)

K_d = faktor arus kembali (arus kembali), untuk relai dengan karakteristik waktu terbalik (relai jenis induksi) dan relai statis mendekati 1,0

Umumnya I_s disetting 1,2 – 1,5 kali pengenal trafo arus.

b. Batas maksimum

Relai arus lebih selain sebagai pengaman utama juga sebagai pengaman cadangan untuk seksi hilir berikutnya. Sehingga relai ini harus dapat menjangkau ujung seksi hilir berikutnya pada arus gangguan yang minimum.

$$I_{maks} = k_s \times I_{hmin} \quad (2.3.)$$

Dimana : I_{maks} = penyetelan arus kerja maksimum.

k_s = faktor keamanan dalam hal ini 0,7 – 0,8.

I_{hmin} = arus gangguan 2 fasa pada pembangkitan minimum satu seksi dihilirnya.

c. Penyetelan waktu kerja

Pertimbangan penyetelan waktu diusahakan relai secara keseluruhan bekerja cepat dan selektif.



BAB III GANGGUAN PADA JARINGAN LISTRIK TEGANGAN MENENGAH

3.1 Komponen – komponen Simetris

3.1.1 Sintesis Fasor Tak Simetris dari Komponen-Komponen Simetrisnya

Tiga fasor tak seimbang dari sistem tiga fasa dapat di uraikan menjadi tiga sistem fasor yang seimbang. Himpunan seimbang komponen tersebut adalah

1. Komponen urutan-positif (*positive sequence components*) yang terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya, terpisah satu dengan yang lain dalam fasa sebesar 120° , dan mempunyai urutan fasa yang sama seperti fasor aslinya.
2. Komponen urutan-negatif yang terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya terpisah satu dengan yang lain dalam fasa sebesar 120° , dan mempunyai urutan fasa yang berlawanan dengan fasor aslinya.
3. Komponen urutan nol yang terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya dan dengan penggeseran fasa nol antara fasor yang satu dengan yang lain.

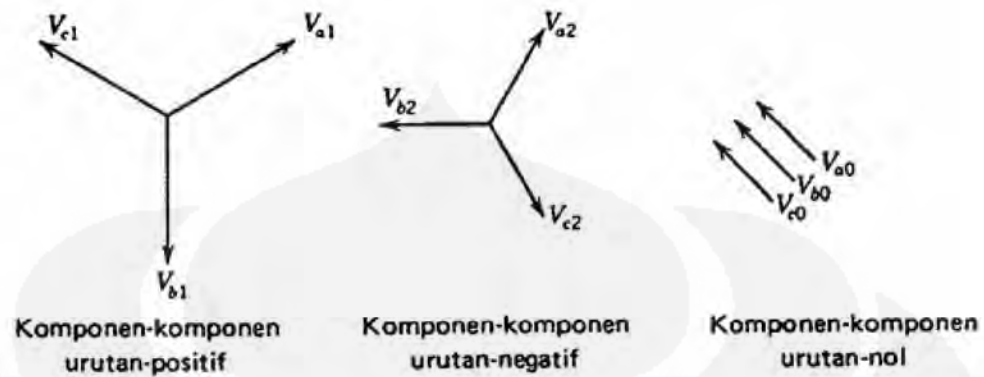
Dalam memecahkan permasalahan dengan menggunakan komponen simetris ketiga fasa dari sistem dinyatakan sebagai a, b, c dengan cara yang demikian sehingga urutan fasa tegangan dan arus dalam sistem adalah abc. Jadi, urutan fasa komponen urutan positif dari fasor tak seimbang itu adalah abc sedangkan urutan fasa dari komponen urutan negatif adalah acb. Jika fasor aslinya adalah tegangan, maka tegangan tersebut dapat dinyatakan dengan V_a, V_b, V_c . Ketiga himpunan komponen simetris dinyatakan dengan subskrip tambahan 1 untuk komponen urutan-positif, 2 untuk, komponen urutan-negatif, dan 0 untuk komponen urutan nol. Komponen urutan positif dari V_a, V_b, V_c adalah V_{a1}, V_{b1}, V_{c1} . Demikian pula, komponen urutan negatif adalah V_{a2}, V_{b2}, V_{c2} , sedangkan komponen urutan nol adalah V_{a0}, V_{b0}, V_{c0} . Karena setiap fasor tak seimbang, yang asli adalah jumlah komponen, fasor asli yang dinyatakan dalam suku-suku komponennya adalah

$$V_a = V_{a1} + V_{a2} + V_{a0} \quad (3.1)$$

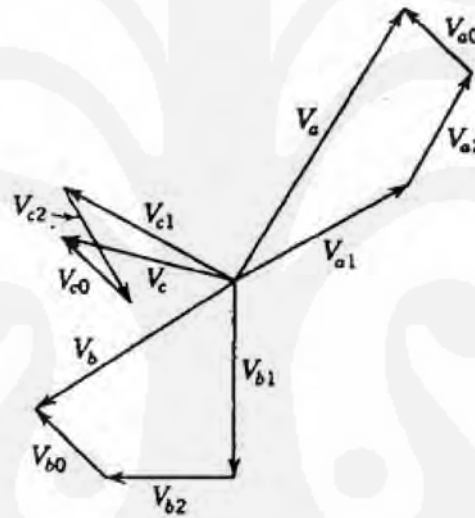
$$V_b = V_{b1} + V_{b2} + V_{b0} \quad (3.2)$$

$$V_c = V_{c1} + V_{c2} + V_{c0} \quad (3.3)$$

Sintesis himpunan tiga fasor tak seimbang dari ketiga himpunan komponen simetris ditunjukkan oleh gambar 3.1.



Gambar 3.1. Tiga himpunan fasor seimbang yang merupakan komponen simetris dari tiga fasor tak-seimbang



Gambar.3.2. Penjumlahan secara grafis komponen-komponen pada Gambar 3.1. untuk mendapatkan tiga fasor tak seimbang

3.1.2. Operator-Operator

Karena adanya pergeseran fasa pada komponen simetris tegangan dan arus dalam sistem tiga-fasa, akan sangat memudahkan bila mempunyai metoda penulisan untuk menunjukkan perputaran fasor dengan 120° . Hasil-kali dua buah bilangan kompleks adalah hasil-kali besarannya dan jumlah sudut fasanya. Jika bilangan kompleks yang menyatakan fasor dikalikan dengan bilangan kompleks yang besarnya satu dan sudutnya θ , bilangan kompleks yang dihasilkan adalah fasor yang sama besar dengan fasor aslinya tetapi fasanya tergeser dengan sudut θ . Bilangan kompleks dengan besar satu dan sudut θ merupakan operator yang

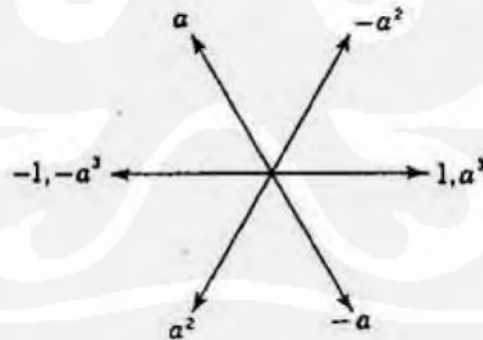
memutar fasor yang dikenakannya melalui sudut θ . Kita mengenal dengan operator j , yang menyebabkan perputaran sebesar 90° , dan operator -1 , yang menyebabkan perputaran sebesar 180° . Penggunaan operator j sebanyak dua kali berturut-turut akan menyebabkan perputaran melalui $90^\circ + 90^\circ$ yang membawa pada kesimpulan bahwa $j \times j$ menyebabkan perputaran sebesar 180° , dan karena perlu diingat kembali bahwa j^2 adalah sama dengan -1 . Pangkat-pangkat yang lain dari operator j dapat diperoleh dengan analisis yang serupa. Huruf a biasanya digunakan untuk menunjukkan operator yang menyebabkan perputaran sebesar 120° dalam arah yang berlawanan dengan arah jarum jam. Operator semacam ini adalah bilangan kompleks yang besarnya satu dan sudutnya 120° dan didefinisikan sebagai

$$a = 1 \angle 120^\circ = 1e^{j2\pi/3} = -0,5 + j0,866$$

Jika operator a dikenakan pada fasor dua kali berturut-turut, maka fasor itu akan diputar dengan sudut sebesar 240° . Untuk peneanaan tiga kali berturut-turut fasor akan diputar dengan 360° . Jadi

$$a^2 = 1 \angle 240^\circ = -0,5 - j0,866$$

$$a^3 = 1 \angle 360^\circ = 1 \angle 0^\circ = 1$$



Gambar 3.3. Diagram fasor berbagai pangkat dari operator a

3.1.3. Simetris Fasor Tak Simetris

Pada Gambar 3.2. sintesis tiga fasor tak simetris dari tiga himpunan fasor simetris. Sintesis itu telah dilakukan sesuai dengan Persamaan (3.1) sampai dengan (3.3). Menentukan cara menguraikan ketiga fasor tak simetris diatas

menjadi komponen simetrisnya. Dengan memperhatikan banyaknya kuantitas yang diketahui dapat dikurangi dengan menyatakan masing-masing komponen V_b , V_c , sebagai hasil kali fungsi operator a dan komponen V_a . Dengan menggunakan pedoman gambar 3.1. hubungan dibawah ini dapat diperiksa kebenarannya

$$\begin{aligned} V_{b1} &= a^2 V_{a1} & V_{c1} &= a V_{a1} \\ V_{b2} &= a V_{a2} & V_{c2} &= a^2 V_{a2} \\ V_{b0} &= V_{a0} & V_{c0} &= V_{a0} \end{aligned} \quad (3.4)$$

Dengan mengulangi Persamaan (3.1) dan memasukkan Persamaan (3.4) ke dalam Persamaan (3.2) dan (3.3) dihasilkan

$$V_a = V_{a1} + V_{a2} + V_{a0} \quad (3.5)$$

$$V_b = a^2 V_{a1} + a V_{a2} + V_{a0} \quad (3.6)$$

$$V_c = a V_{a1} + a^2 V_{a2} + V_{a0} \quad (3.7)$$

atau dalam bentuk matriks

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

Contoh:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

Maka dapat dibuktikan

$$\mathbf{A}^{-1} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

dan dengan memperkalikan kedua sisi Persamaan (3.8) dengan \mathbf{A}^{-1} diperoleh:

$$\begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

menunjukkan bahwa bagaimana menguraikan tiga fasor tak simetris menjadi komponen simetrisnya. Hubungan ini penting sehingga dapat ditulis masing-masing persamaan tersebut dalam bentuk yang biasa. Dari Persamaan 3.11, dapat

diperoleh:

$$V_{a0} = \frac{1}{3}(V_a + V_b + V_c) \quad (3.12)$$

$$V_{a1} = \frac{1}{3}(V_a + aV_b + a^2V_c) \quad (3.13)$$

$$V_{a2} = \frac{1}{3}(V_a + a^2V_b + aV_c) \quad (3.14)$$

Persamaan (3.12) menunjukkan bahwa tidak akan ada komponen urutan-nol jika jumlah fasor tak seimbang itu sama dengan nol. Karena jumlah fasor tegangan antar saluran pada sistem tiga- fasa selalu nol, maka komponen urutan-nol tidak pernah terdapat dalam tegangan saluran itu, tanpa memandang besarnya ketidak seimbangannya. Jumlah ketiga fasor tegangan saluran ke netral tidak selalu harus sama dengan nol, dan tegangan ke netral dapat mengandung komponen urutan-nol.

$$I_a = I_{a1} + I_{a2} + I_{a0} \quad (3.15)$$

$$I_b = a^2I_{a1} + aI_{a2} + I_{a0} \quad (3.16)$$

$$I_c = aI_{a1} + a^2I_{a2} + I_{a0} \quad (3.17)$$

$$I_{a0} = \frac{1}{3}(I_a + I_b + I_c) \quad (3.18)$$

$$I_{a1} = \frac{1}{3}(I_a + aI_b + a^2I_c) \quad (3.19)$$

$$I_{a2} = \frac{1}{3}(I_a + a^2I_b + aI_c) \quad (3.20)$$

Dalam sistem tiga- fasa, jumlah arus saluran sama dengan arus I_n dalam jalur kembali lewat netral. Jadi,

$$I_a + I_b + I_c = I_n \quad (3.21)$$

Dengan membandingkan Persamaan (3.18) dan (3. 21) diperoleh

$$I_n = 3I_{a0} \quad (3.22)$$

Jika tidak ada jalur yang melalui netral dari sistem tiga fasa adalah nol dan arus saluran tidak mengandung komponen urutan-no 1. Suatu beban dengan hubungan tidak menyediakan jalur ke netral, dan karena itu arus saluran yang mengalir ke beban yang dihubungkan tidak dapat mengandung komponen urutan-nol.

3.1.4. Daya dengan Komponen Simetris sebagai Sukunya

Jika komponen simetris arus dan tegangan diketahui, maka daya yang terpakai pada rangkaian tiga-fasa dapat langsung dihitung dari komponen tersebut. Peragaan pernyataan ini merupakan contoh dari manipulasi matriks komponen simetris. Daya kompleks total yang mengalir ke dalam rangkaian tiga-fasa melalui tiga saluran a, b, c adalah

$$S = P + jQ = V_a I_a^* + V_b I_b^* + V_c I_c^* \quad (3.23)$$

Dimana V_a, V_b, V_c adalah tegangan ke netral pada terminal Ia, Ib, serta Ic. adalah arus yang mengalir ke dalam rangkaian pada ketiga saluran tersebut. Di sini, sambungan netral boleh ada atau diabaikan. Dalam notasi matriks

$$S = [V_a \ V_b \ V_c] \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix}^* = \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix}^* \quad (3.24)$$

di mana pasangan (conjugate) matriks diartikan terdiri dari beberapa unsur yang merupakan pasangan unsur yang bersesuaian pada matriks aslinya Untuk memperlihatkan komponen simetris tegangan dan arus, dapat digunakan Persamaan (3.8) dan (3.9) untuk mendapatkan

$$S = [AV]^T [AI]^* \quad (3.25)$$

Dimana

$$V = \begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} \quad \text{dan} \quad I = \begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix} \quad (3.26)$$

Aturan pembalikan (*reversal rule*), pada aljabar matriks menyatakan bahwa transpose hasil-kali dua buah matriks sama dengan hasil-kali transpose-transpose matriks tersebut dengan urutan yang terbalik. Jadi sesuai dengan aturan ini

$$[AV]^T = V^T A^T \quad (3.27)$$

Dan juga

$$S = V^T A^T [AI]^* = V^T A^T A^* I^* \quad (3.28)$$

Dengan memperhatikan bahwa $A = A$ dan a dan a^* adalah pasangan, maka didapat

$$S = [V_{a0} \ V_{a1} \ V_{a2}] \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix}^* \quad (3.29)$$

atau, karena $A = A^*$ sama dengan

$$3 \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix}^* \quad (3.30)$$

Jadi, daya kompleks adalah

$$V_a I_a^* + V_b I_b^* + V_c I_c^* = 3V_0 I_0^* + 3V_1 I_1^* + 3V_2 I_2^* \quad (3.31)$$

yang menunjukkan bagaimana daya kompleks dapat dihitung dari komponen simetris tegangan dan arus rangkaian tiga-fasa seimbang.

3.1.5. Impedansi Seri Tak Simetris

Jika ada induktansi bersama (tidak ada gandengan) antara ketiga impedansi tersebut jatuh tegangan pada bagian sistem yang diperlihatkan itu diberikan oleh persamaan matriks :

$$\begin{bmatrix} V_{aa'} \\ V_{bb'} \\ V_{cc'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_a & 0 & 0 \\ 0 & Z_b & 0 \\ 0 & 0 & Z_c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad (3.32)$$

dan dengan suku-suku komponen simetris tegangan dan arus

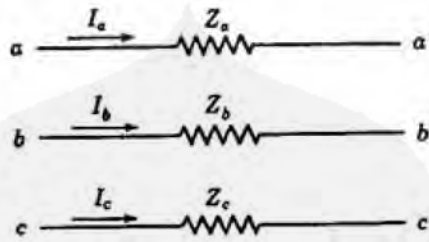
$$A \begin{bmatrix} V_{aa'0} \\ V_{aa'1} \\ V_{aa'2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_a & 0 & 0 \\ 0 & Z_b & 0 \\ 0 & 0 & Z_c \end{bmatrix} A \begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix} \quad (3.33)$$

di mana A adalah matriks yang didefinisikan dengan Persamaan (3.9). Dengan memperkalikan kedua sisi persamaan itu dengan A^{-1} dihasilkan persamaan matriks

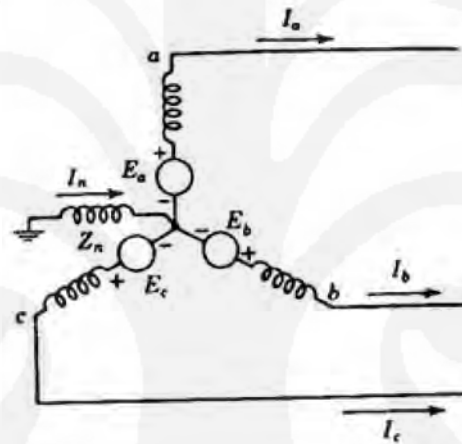
$$\begin{aligned} V_{aa'1} &= \frac{1}{3} I_{a1} (Z_a + Z_b + Z_c) + \frac{1}{3} I_{a2} (Z_a + a^2 Z_b + a Z_c) \\ &\quad + \frac{1}{3} I_{a0} (Z_a + a Z_b + a^2 Z_c) \\ V_{aa'2} &= \frac{1}{3} I_{a1} (Z_a + a Z_b + a^2 Z_c) + \frac{1}{3} I_{a2} (Z_a + Z_b + Z_c) \\ &\quad + \frac{1}{3} I_{a0} (Z_a + a^2 Z_b + a Z_c) \\ V_{aa'0} &= \frac{1}{3} I_{a1} (Z_a + a^2 Z_b + a Z_c) + \frac{1}{3} I_{a2} (Z_a + a Z_b + a^2 Z_c) \\ &\quad + \frac{1}{3} I_{a0} (Z_a + Z_b + Z_c) \end{aligned} \quad (3.34)$$

Jika impedansi-impedansi dibuat sama (yaitu bila $Z_a = Z_b = Z_c$), Persamaan 3.34 menjadi

$$V_{a'1} = I_{a1}Z_a \quad V_{a'2} = I_{a2}Z_a \quad V_{a'0} = I_{a0}Z_a \quad (3.35)$$



Gambar 3.4 Bagian sistem tiga-fasa yang menunjukkan tiga impedansi seri yang tidak sama



Gambar 3.5. Diagram rangkaian suatu generator tanpa-beban yang ditanahkan melalui suatu reaktansi. Emf masing-masing fasa ini adalah E_a , E_b , E_c

Jadi dapat disimpulkan bahwa komponen simetris dari arus tak seimbang yang mengalir pada beban Y seimbang atau pada impedansi seri seimbang akan menghasilkan tegangan jatuh dengan urutan yang sama, asalkan tidak terdapat gandengan di antara fasa-fasa itu tetapi jika impedansinya tidak sama.

3.1.6. Impedansi Urutan dan Jaringan Urutan

Dalam setiap bagian rangkaian, jatuh tegangan yang disebabkan oleh arus dengan urutan tertentu tergantung pada impedansi bagian rangkaian itu terhadap arus dengan urutan tersebut. Impedansi setiap bagian suatu jaringan yang seimbang terhadap arus salah satu urutan dapat berbeda dengan impedansi terhadap arus dari urutan yang lain. Impedansi suatu rangkaian yang hanya mengalir arus urutan-positif disebut *impedansi terhadap arus urutan-positif*. Demikian pula, bila hanya

ada arus urutan-negatif, impedansinya dinamakan *impedansi terhadap arus urutan-negatif*. Jika hanya ada arus urutan nol, impedansinya dinamakan *impedansi terhadap arus urutan-nol*. Sebutan impedansi rangkaian terhadap arus dari urutan yang berbeda, ini biasanya disingkat menjadi *impedansi urutan-positif*, *impedansi urutan-negatif* dan *impedansi urutan-nol*. Analisis gangguan tak simetris pada sistem yang simetris terdiri dari penentuan komponen simetris dari arus tak seimbang yang mengalir. Karena arus komponen dari salah satu urutan fasa menimbulkan tegangan jatuh dengan urutan yang sama dan tidak tergantung pada arus dari urutan yang lain, dalam suatu sistem yang seimbang arus dari salah satu urutan dapat dianggap mengalir dalam jaringan bebas yang terdiri hanya dari impedansi terhadap arus dari urutan itu saja. Rangkaian ekuivalen fasa tunggal yang hanya terdiri dari impedansi terhadap arus salah satu urutan saja dinamakan *jaringan urutan* untuk urutan tertentu jaringan. Jaringan urutan ini meliputi setiap emf yang dibangkitkan pada urutan yang sama. Jaringan urutan yang mengalirkan arus I_{a1} , I_{a2} , I_{a0} . diantarhubungkan untuk menggambarkan berbagai keadaan gangguan tak seimbang.

3.2. Jenis – jenis gangguan Jaringan Tegangan Menengah

3.2.1. Gangguan fasa tiga (*Three phase faults*)

Gangguan fasa tiga merupakan gangguan yang seimbang pada fasa-fasanya, dimana tidak terdapat arus-arus urutan nol dan negatifnya. Bila impedansi titik gangguannya $Z_f = 0$, maka arus gangguan fasa tiga adalah

$$I_{gg.3} = I_{gg.R} = I_{gg.S} = I_{gg.T}$$

$$|I| = |I_{gg.3\phi}| = |V_f / Z| \quad (3.36)$$

Dan bila impedansi titik gangguan Z_f tidak sama dengan nol, maka besar arus gangguan fasa tiganya menjadi

$$|I| = |I_{gg.3\phi}| = |V_f / Z_1 + Z_f| \quad (3.37)$$

Dimana $I_{gg.3}$ = arus fasa tiga [A]

Z_1 = jumlah impedansi urutan positif

Z_f = impedansi titik gangguan

V_f = tegangan fasa netral [V]

$I_{gg.R}$, $I_{gg.S}$, $I_{gg.T}$ = arus gangguan pada fasa R, S, T

3.2.2 Gangguan fasa ke fasa (*line to line fault*)

Gangguan yang terjadi antara fasa ke fasa, misalkan terjadi antara fasa R dan S.

Bila impedansi titik gangguan $Z_f = 0$ maka besar arus gangguan adalah

$$I_{gg.R} = 0$$

$$|I| = |I_{gg.2\phi}| = \left| \pm j \frac{\sqrt{3} \times V_f}{Z_1 + Z_2} \right| \quad (3.38)$$

Jika impedansi titik Z_f tidak sama dengan nol, maka besarnya arus gangguan adalah

$$|I| = |I_{gg.2\phi}| = \left| \pm j \frac{\sqrt{3} \times V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_f} \right| \quad (3.39)$$

Dimana Z_2 = jumlah impedansi urutan negatif

3.2.3. Gangguan satu fasa ke tanah

Gangguan satu fasa ke tanah merupakan gangguan yang terjadi pada salah satu fasa yang terhubung singkat dengan tanah, bila impedansi titik gangguan $Z_f = 0$, maka besarnya arus gangguan adalah

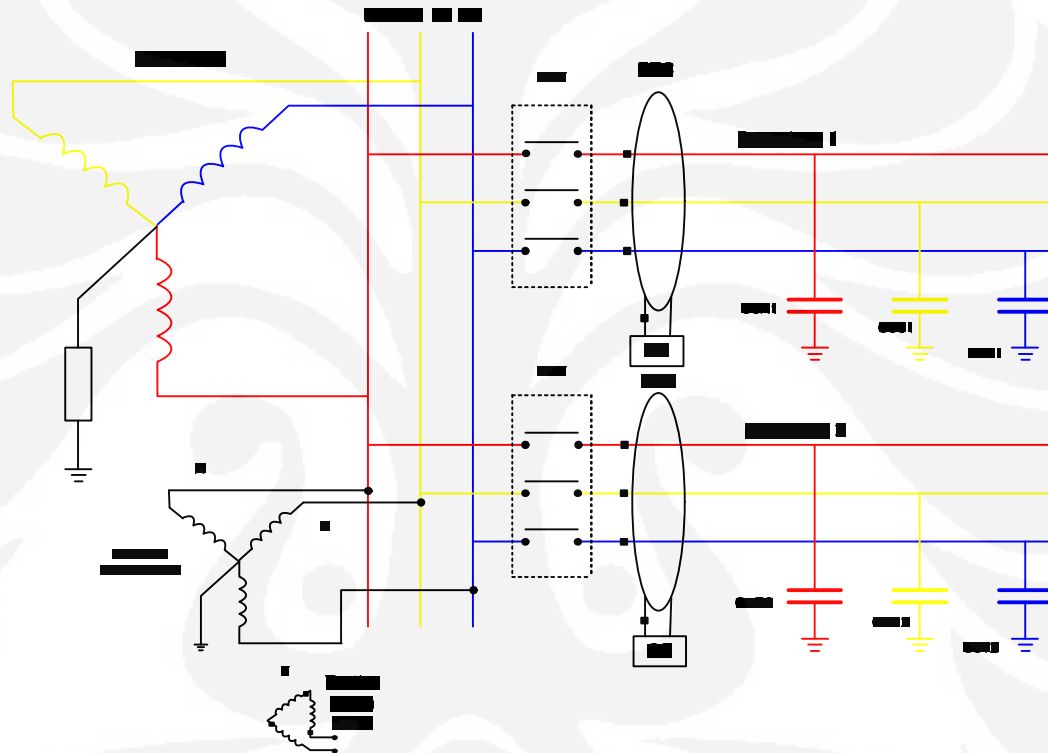
$$|I| = |I_{gg.1\phi}| = \left| \pm j \frac{3 \times V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \right| \quad (3.40)$$

3.2.4 Gangguan Simpatetik

Gangguan Simpatetik adalah terbukanya PMT dari penyulang-penyulang yang tidak terganggu oleh relai gangguan tanah akibat gangguan tanah yang dialami oleh penyulang lain. Umumnya gangguan simpatetik ini terjadi pada penggunaan Relai gangguan tanah dari jenis definite time. Karena adanya kapasitansi antara konduktor fasa dan tanah pada jaringan itu masing-masing, arus kapasitif yang tidak tidak seimbang sewaktu terjadi gangguan 1 fasa ketanah akan mengalir kembali kesumber melalui konduktor fasa yang terganggu tersebut di titik gangguan, tetapi karena ada beberapa penyulang yang terhubung pada bus yang sama di Gardu Induk, maka ketidak seimbangan arus kapasitif dari penyulang yang lain juga akan kembali kesumber melalui konduktor fasa di penyulang yang terganggu, sehingga arus kapasitif di Penyulang terganggu ini

menjadi lebih besar lagi menuju ke sumber, yang kemudian mentriapkan PMT penyulang yang terganggu oleh Relai gangguan tanah.

Jika arus kapasitif di penyulang lain (yang sehat) lebih besar dari setelan arus Relai gangguan tanah (GFR) dan Relai yang dipakai dari jenis definite time, maka arus kapasitif di penyulang yang sehat ini dapat membuat GFR bekerja (pick up) yang kemudian juga mentriapkan PMT penyulang yang tidak terganggu.



Gambar 3.6 Penyulang 20 kV

Keterangan:

$C_{eR1}, C_{eS1}, C_{eT1}$ = Kapasitansi ketanah masing-masing fasa penyulang 1

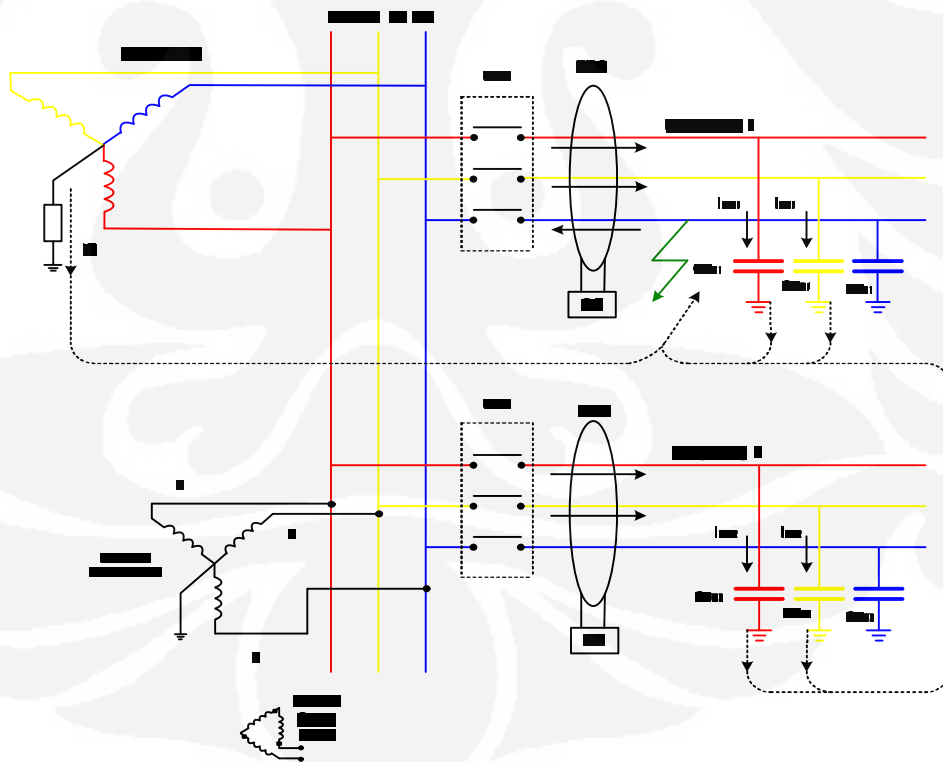
$C_{eR2}, C_{eS2}, C_{eT2}$ = Kapasitansi ketanah masing-masing fasa penyulang 2

ZCT = Zero Sequence CT

■ = Tanda polaritas yang sefasa antara belitan primer dan sekunder

Pada gambar 3.6 menunjukkan bahwa antara konduktor fasa dan tanah akan mempunyai nilai kapasitansi yang dianggap sama pada masing-masing fasanya, walaupun jarak antara konduktor fasa tersebut ketanah belum tentu sama.

Jika terjadi gangguan satu fasa ketanah pada salah satu penyulang (misalkan terjadi di fasa T), maka kapasitansi konduktor fasa yang terganggu menjadi terhubung singkat oleh gangguan tanah tersebut, sedangkan fasa yang tidak terganggu (fasa R dan fasa S) tegangannya naik $\sqrt{3}$ kali sehingga arus kapasitif hanya mengalir di fasa yang sehat saja mengalir kembali ke sumber melalui titik yang terganggu di fasa T (karena fasa T sedang terhubung ke tanah yang sementara gangguan tanah berfungsi sebagai common dari sumber fasa R dan fasa S dengan beban kapasitansi fasa R dan S ke tanah). Arus kapasitif ini di ZCT menghasilkan resultante = 0 (nol). Jika penyulang di Gardu Induk lebih dari satu, maka arus kapasitif di Penyulang yang terganggu, pada Penyulang lainnya (penyulang yang sehat) juga akan mengalirkan arus kapasitif ke tanah dan akan kembali ke sumber melalui titik gangguan di penyulang yang terganggu. Arus kapasitif dari penyulang yang sehat ini yang dideteksi oleh Relai Gangguan tanah penyulang yang terganggu melalui ZCT, selanjutnya dapat dijelaskan pada gambar 3.7.



Gambar 3.7 Penyulang 20 kV pada kondisi gangguan 1 fasa ketanah

3.2.4.1. Hubungan antara Gangguan 1 Fasa – Tanah dan Simpatetik Trip

Simpatetik sangat berkaitan dengan gangguan 1 fasa ketanah karena gangguan tersebut sering kali mengakibatkan terjadinya gangguan simpatetik. Sebagai contoh bila terdapat gangguan tanah yang terjadi pada fasa T di penyulang 1 akan mengakibatkan kapasitansi C_{T1} terhubung singkat oleh gangguan tanah, sehingga tegangan fasa R dan fasa S ke tanah diseluruh sistem distribusi naik sebesar $\sqrt{3}$ kali E_{phase} . Tegangan pada kumparan primer PT fasa R dan fasa S naik $\sqrt{3}$ kali dengan vektor tegangan. Titik netral trafo tenaga naik sebesar E_{ph} terhadap tanah. Pada Penyulang yang terganggu dalam contoh ini, arus di titik gangguan adalah arus komponen resistif (+ arus induktif jaringan) dan arus kapasitif yang kembali kesumber yang besarnya:

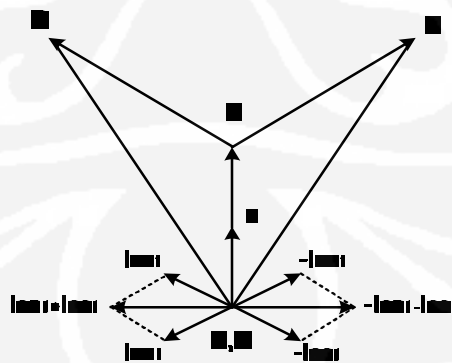
$$3 I_0 = I_F + \underbrace{I_{CeR1} + I_{CeS1}}_{I_{Ce} \text{ Peny.1}} + \underbrace{I_{CeR2} + I_{CeS2}}_{I_{Ce} \text{ Peny.2}} \quad (3.41)$$

dimana :

$$I_F = \frac{E_{ph}}{R_N + R_L + j(X_T + X_L)} \text{ Amp} \quad (3.42)$$

I_F maksimum didapat bila gangguan tanah terjadi di Bus (20 kV), arus I_{Ce} penyulang yang terganggu yang masuk ke Relai gangguan tanah (GFR) akan sama dengan nol karena saling terkompensir di ZCT.

3.2.4.1.1. Arus kapasitif dari fasa yang sehat secara vektoris yang masuk ke Relai gangguan tanah Penyulang terganggu.



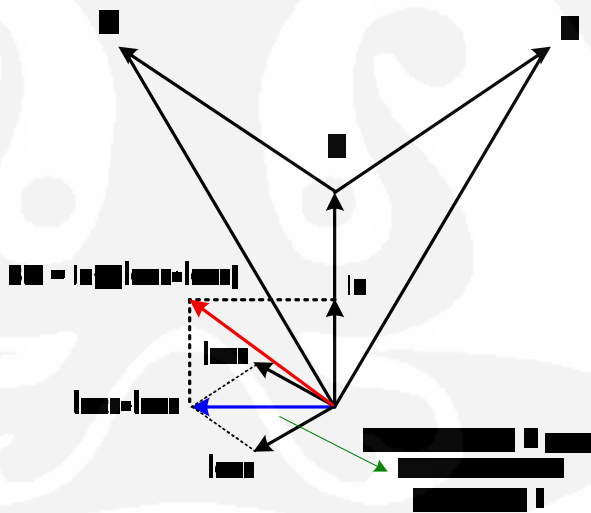
Gambar 3.8. Vektor arus gangguan 1 fasa ke tanah untuk penyulang yang terganggu

Dari gambar 3.7 & 3.8 diatas terlihat bahwa Arus I_F mengalir dari Netral (gambar 3.7), Fasa T menjadi berpotensi tanah karena sedang terganggu ketanah. Arus kapasitif fasa R (I_{CR1} dan I_{CR2} di Penyulang sehat) leading 90^0 dengan tegangan V_{RT} . Arus kapasitif fasa S (I_{CS1} dan I_{CS2} di Penyulang sehat) leading 90^0 dengan tegangan V_{ST} ($V_{RT} = V_{RG}$, $V_{ST} = V_{SG}$). Arus kapasitif kembali kesumbernya lewat titik gangguan di Penyulang 1 fasa T dan melalui ZCT, khusus I_{CR1} dan I_{CS1} di fasa T ini didalam ZCT arahnya berlawanan dengan vektor arus I_{CR1} dan I_{CS1} di fasa R dan S. Arus residu yang dihasilkan oleh ZCT pada penyulang 1 yang masuk ke relai adalah:

§ I_F dengan arah kembali ke sumber (terminal fasa T Trafo) melalui titik gangguan.

§ I_{CR2} dan I_{CS2} (arus kapasitif penyulang 2) kembali ke Sumber juga melalui fasa T (penyulang 1) yang sedang terganggu ke tanah.

Uraian vektor arus yang masuk ke Relai gangguan tanah penyulang 1 terganggu seperti terlihat pada gambar 3.9.

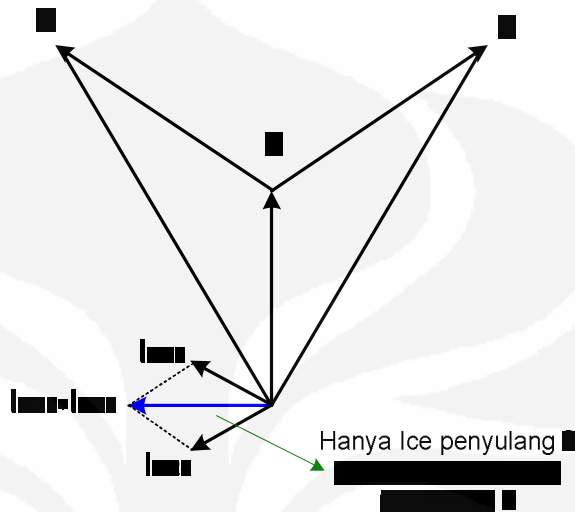


I_F yang dominan I_R sefasa dengan V_{NT} , ($I_{CR2} + I_{CS2}$) leading 90^0 terhadap V_{NT} . Resultante I_R dan ($I_{CR2} + I_{CS2}$) yang mengerjakan relai gangguan tanah.

Gambar 3.9 Vektor Arus I_R dan I_{Ce} pada penyulang 1 yang terganggu satu fasa ketanah

Sementara di Penyulang 2 (penyulang sehat), arus kapasitif I_{CR2} dan I_{CS2} juga mengalir masuk ke Relai gangguan tanah penyulang 2, dan setelah Relai gangguan tanah ini di set rendah (sensitif) untuk menampung R_{ARC} (tahanan

gangguan), sehingga jika Relai gangguan tanah dari jenis definite, arus kapasitif ini dapat mentripkan PMT Penyulang yang tidak terganggu satu fasa ketanah.



Gambar 3.10 Vektor I_{Ce} pada penyulang 2 pada gangguan satu fasa ketanah di penyulang 1

Fasa T berpotensi tanah, kumparan primer dari potensial transformer (PT) fasa T terhubung singkat oleh gangguan, sehingga tidak menginduksikan tegangan ke tersier fasa T dalam rangkaian open delta, tetapi kumparan PT fasa R dan fasa S menjadi terkena tegangan $\sqrt{3}$ kalinya dan sudut tegangan antara V_R dan V_S tidak lagi 120° tetapi menjadi 60° .

3.3 Sistem Proteksi

Sistem proteksi terdiri dari peralatan CT, PT, relai proteksi, yang diintegrasikan dalam satu kesatuan. Relai proteksi merupakan elemen peralatan proteksi yang sangat penting pada sistem proteksi. Fungsi peralatan proteksi yaitu mengidentifikasi gangguan dan memisahkan bagian jaringan yang terganggu dari bagian jaringan yang normal serta mengamankan bagian yang normal dari kerusakan atau kerugian yang lebih besar.

3.3.1. Syarat –syarat relai proteksi

1. Kecepatan Bereaksi

Saat mulai ada gangguan sampai pelepasan pemutus (CB), dimana kadang-kadang diperlukan kelambatan waktu :

$$t_{op} = t_p + t_{cb}$$

$$t_{op} = \text{waktu total}$$

t_p = waktu bereaksi dari unit rele

t_{cb} = waktu pelepasan CB

Kecepatan pemutus arus gangguan dapat mengurangi kerusakan serta menjaga stabilitas operasi peralatan.

2. Kepekaan Operasi (sensitivity)

Kemampuan rele pengaman untuk memberikan respon bila merasakan gangguan.

3. Selektif (selectivity)

Kemampuan rele pengaman untuk menentukan titik dimana gangguan muncul dan memutuskan rangkaian dengan membuka CB terdekat.

4. Keandalan (reliability)

Jumlah rele yang bekerja atau mengamankan terhadap jumlah gangguan yang terjadi. Keandalan rele yang baik adalah 90-99 %

5. Ekonomis

Penggunaan rele selain memenuhi syarat diatas, juga harus disesuaikan dengan harga peralatan yang diamankan.

3.4 Relai Proteksi

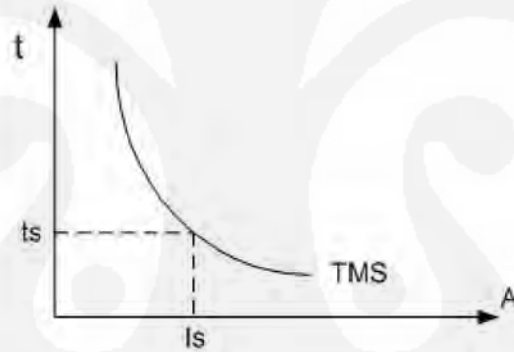
Peralatan listrik yang dirancang untuk mulai pemisahan bagian sistem tenaga listrik atau untuk mengoperasikan signal bila terjadi gangguan

3.4.1 Relai inverse

Relai akan memberi perintah kepada PMT pada saat terjadi gangguan, bila besar arus gangguannya melampaui penyetelan (I_s) dan jangka waktu relai mulai pick-up sampai kerja relai waktunya berbanding terbalik dengan besarnya arus gangguan.

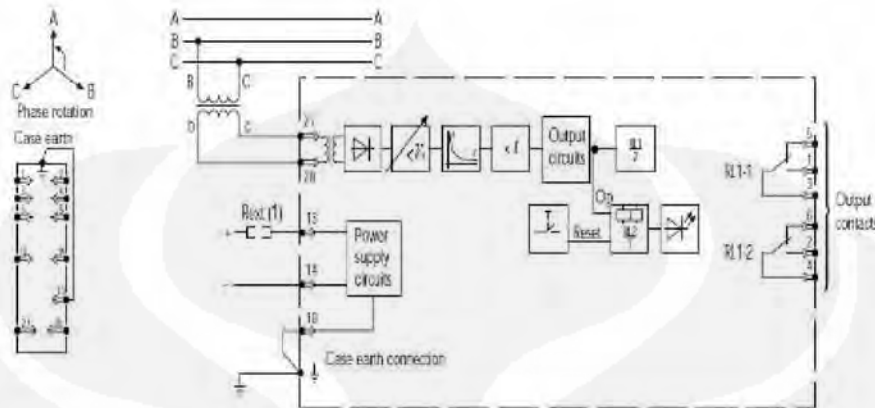


Gambar 3.11 relai inverse (merk MVTD)



Gambar 3.12 karakteristik inverse

3.4.2. Komponen Relai Invers

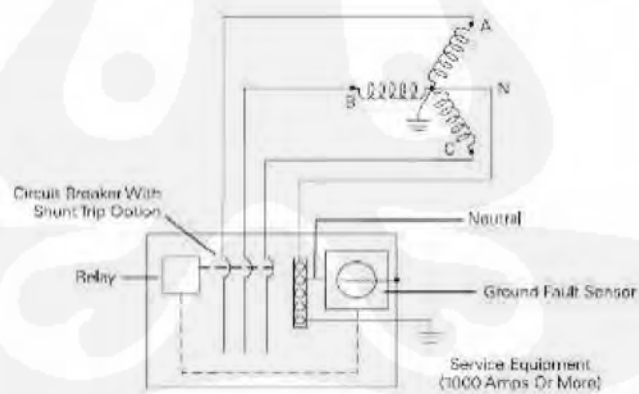


Gambar 3.13 Komponen relai invers Type MVTD 11

3.5 Relai Ground Fault

Relai ground fault bekerja dengan 3 metode yaitu :

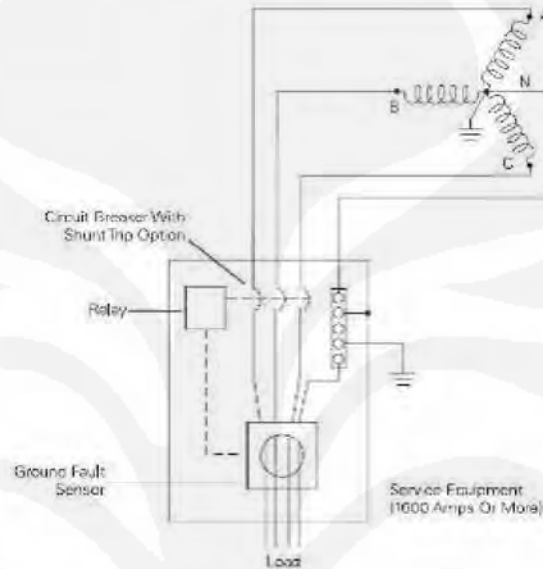
- *Direct method* : ketika terjadi ketidak seimbangan arus dari gangguan fasa tanah, arus akan mengalir dari ground ke netral. Ketika arus melampaui dari groundfault sensor, maka sensor memberi perintah ke breaker untuk membuka.



Gambar 3.14 *Direct method* GFR

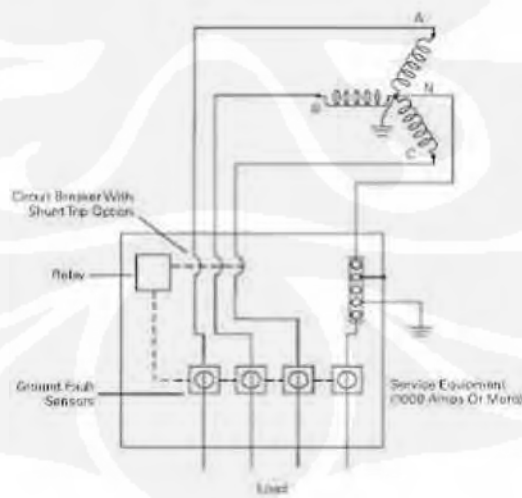
- *Zero Sequencing method* : sebuah ground fault protektor akan bekerja dengan sensor yang terpasang diseluruh sirkuit konduktor, termasuk netral pada sistem 4 kabel disebut zero sequencing. Selama arus normal mengalir,

jumlah dari seluruh arus dideteksi dengan sensor sebagai nol. Meskipun sebuah gangguan groundfault akan menyebabkan ketidak seimbangan arus yang mengalir pada individual konduktor. Ketika arus mencapai seting maka breaker akan terbuka.

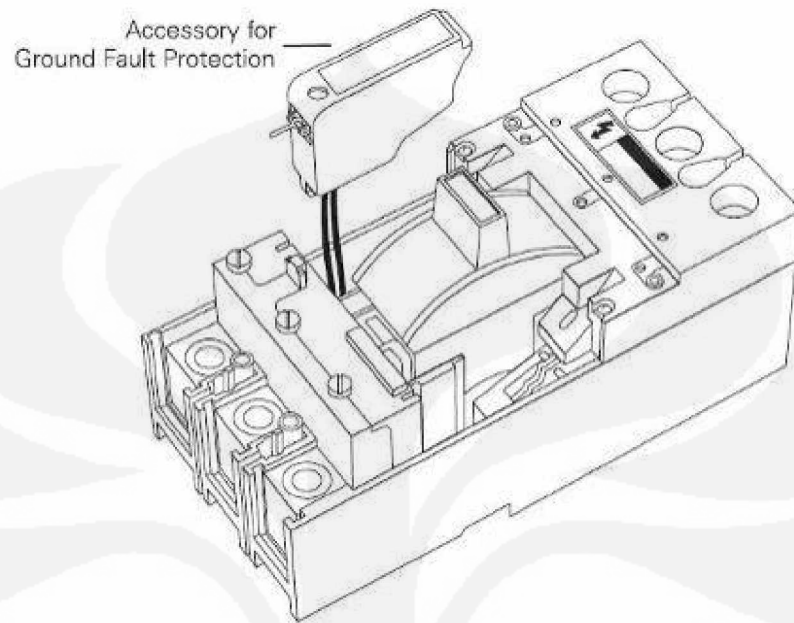


Gambar 3.15 *Zero Sequencing method GFR*

- *Residual method* : sensor yang terpasang terpisah memonitor arus pada setiap fasanya. Jika jumlah vektorial dari arus terdapat pada sekunder sensor tidak sama dengan nol maka breaker akan terbuka.



Gambar 3.16 *Residual method GFR*

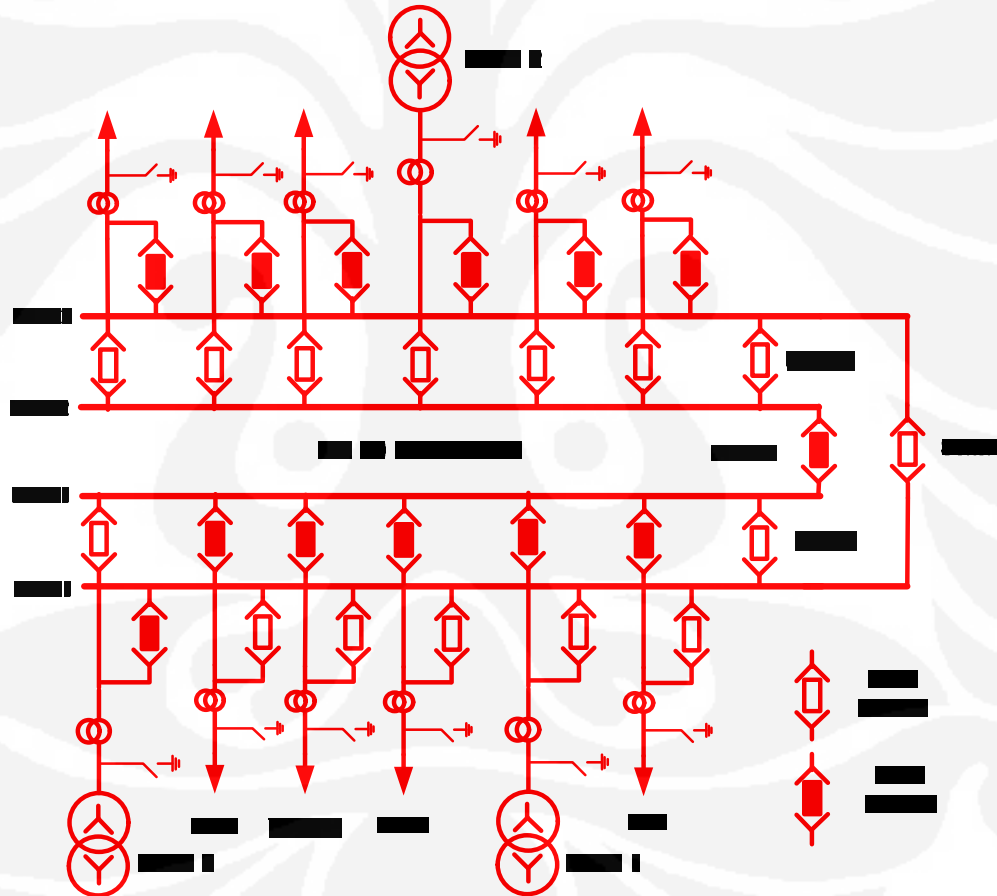


Gambar 3.17 GFR

BAB IV
PERHITUNGAN GANGGUAN SMPATETIK
PADA PENYULANG 20 kV GARDU INDUK ANCOL

4.1. Gardu Induk Ancol

GI Ancol merupakan gardu induk yang memiliki 3 buah trafo tenaga dengan daya masing- masing 60 MVA. Disisi 20 Kv gardu induk ancol memiliki 42 penyulang yang menyuplai listrik ke konsumen ataupun terhubung dengan Gardu induk lainnya. Dalam hal ini pengamatan difokuskan pada 4 penyulang yaitu penyulang Buih, Artika, Nusa, dan Tanjung. Keempat penyulang tersebut berada pada rel yang sama dan disuplai oleh trafo I. Pemilihan penyulang berdasarkan pada intensitas gangguan yang terjadi pada setiap penyulang.



Gambar 4.1 Posisi Penyulang

4.2. Data Teknik

Dalam menganalisis gangguan simpatetik pada penyulang 20 KV dibutuhkan beberapa data teknis diantaranya Trafo, Kapasitas Hubung singkat Busbar , Impedansi kabel yang digunakan dan panjang saluran penyulang.

4.2.1. Trafo

Tabel.4.1 Data teknis trafo

No	GI	Trafo	Data Teknis								CT			
			Merk	Type	MVA	Teg.	Thn	Thn Op	Vektor Group	Z %	PRIMER		SEKUNDER	
											Phase	Netral	Phase	Netral
1	ANCOL	I	ASEA	TBA 43	60	150/20	1979	1981	YNynO	13.1 / 12.6	300/5		2000/5	
2	ANCOL	II	ASEA	TBA 43	60	150/20	1979	1981	YNynO	12.6	300/5			
3	ANCOL	III	UNINDO	TTUB 150/6000	60	150/20	1993	1993	YNynO(+d)	12.5				

4.2.2. Hubung Singkat 3 fasa pembangkitan maksimum

Tabel. 4.2. Hubung singkat 3 fasa pembangkitan maksimum GI Ancol

Reg	Lokasi	Teg (kV)	Bay	KAExis	SC07	SC08	SC09	SC10	SC11
1	Ancol	150	Angke 1	50	33.4132	32.3611	33.4238	53.3614	52.9799
1	Ancol	150	Trafo 3	40	33.4132	32.3611	33.4238	53.3614	52.9799
1	Ancol	150	Kopel	40	33.4132	32.3611	33.4238	53.3614	52.9799
1	Ancol	150	Priok Timur 1	50	33.4132	32.3611	33.4238	53.3614	52.9799
1	Ancol	150	Trafo 2	50	33.4132	32.3611	33.4238	53.3614	52.9799
1	Ancol	150	Priok Timur 2	50	33.4132	32.3611	33.4238	53.3614	52.9799
1	Ancol	150	Trafo 1	50	33.4132	32.3611	33.4238	53.3614	52.9799
1	Ancol	150	Angke 2	50	33.4132	32.3611	33.4238	53.3614	52.9799

4.2.3. Kabel SKTM XLPE 20 KV

Tabel 4.3 Kabel SKTM XLPE 20 KV

Size			KHA	Rac	X	Y	Ro	Xo	Yo	Rdc20C
			A	Ohm/km	Ohm/km	Ohm/km	Ohm/km	Ohm/km	Ohm/km	Ohm/km
3x	35	Al	132	1.18000	0.1185	0.00004	1.8880	0.30218	0.00004	0.85900
3x	50	Al	154	0.81900	0.1138	0.00004	1.3104	0.29019	0.00004	0.62800
3x	70	Al	191	0.56600	0.1081	0.00005	0.9056	0.27566	0.00005	0.43500
3x	150	Al	292	0.26300	0.0974	0.00007	0.4208	0.24837	0.00007	0.20200
3x	240	Al	385	0.16000	0.0908	0.00008	0.2560	0.23154	0.00008	0.12200
3x	300	Al	437	0.12800	0.0883	0.00009	0.2048	0.22517	0.00009	0.09760
3x	400	Al	517	0.09900	0.0858	0.00010	0.1584	0.21879	0.00010	0.07630

4.2.4. Panjang Kabel Penyulang 20 KV Gardu Induk Ancol untuk Penyulang Buih, Artika, Nusa, Tanjung.

Tabel 4.4 Panjang kabel penyulang

No	GI	Spindel	Penyulang	Panjang Kabel		Jumlah
				3 x 300 mm (Kms)	3 x 240 mm (Kms)	
1	Ancol	SP. 023	Buih	0.200	8.202	8.402
2		SP. 114	Artika	0.200	2.007	2.207
3		SP. 210	Nusa	0.200	2.880	3.080
4		SP. 210	Tanjung	0.200	2.841	3.041

4.3. Perhitungan Hubung Singkat Busbar 150 KV dalam MVA , Impedansi Sumber, dan Reaktansi Transformator.

Diketahui bahwa hubung singkat busbar GI Ancol pada tahun 2009 yaitu 33,4238 KA. Maka MVA hubung singkatnya adalah
 $150.000 \text{ V} \times 33,4238 \text{ KA} = 5013,57 \text{ MVA}$
 Jadi MVA hubung Singkat Busbar 150 KV untuk GI Ancol yaitu 5013,57 MVA.

4.3.1. Impedansi Sumber

Impedansi sumber dapat dihitung dengan:

$$Z_s = V^2 / S$$

Dimana S = Daya hubung singkat (MVA)

V = Basis Tegangan (KV)

- Impedansi sumber dapat dihitung :

$$Z_s = \frac{20^2}{5013,57} = 0.0797 \Omega$$

4.3.2. Reaktansi Transformator

Reaktansi Transformator dapat dihitung dengan:

$$X_t = Z_t \times V^2 / S$$

Dimana Zt = Impedansi Trafo (%)

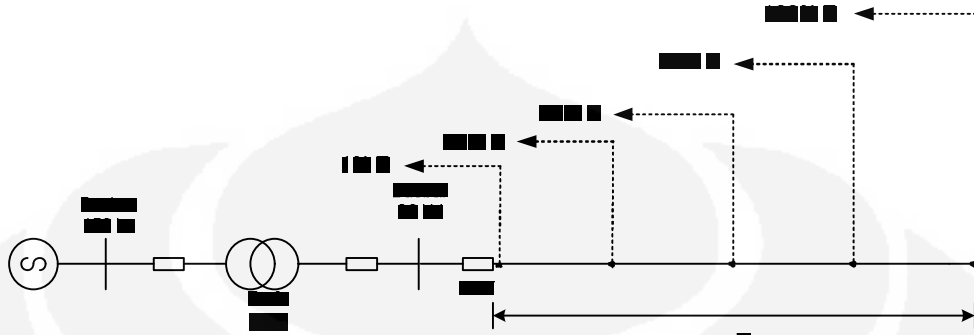
S = Daya Nominal Trafo (MVA)

- Reaktansi dapat dihitung :

$$X_t = 12,6\% \times 20^2 / 60 \\ = 0,840 \Omega$$

Karena Trafo tidak memiliki belitan delta maka reaktansi urutan nol (Xto) berkisar 9 sampai dengan 14 kali Xt. Maka kita ambil nilai Xto = 10 x Xt.
 Jadi Xto = 10 x 0.840 = 8,4 Ω.

4.4. Perhitungan Impedansi Penyulang



Gambar 4.2 Panjang Saluran

1. Penyulang Buih

a. Impedansi Urutan Positif dan Negatif

Tabel 4.5a. Impedansi Urutan Positif dan Negatif Buih

Panjang Saluran	Impedansi Z1, Z2
1%	$0,01 \times (8,202(0,16 + j 0.09) + 0.2 \times (0.12800 + j 0.0883))$ Ohm / km = (0,0133 + j 0,0075) Ohm
25%	$0,25 \times (8,202(0,16 + j 0.09) + 0.2 \times (0.12800 + j 0.0883))$ Ohm / km = (0.3344 + j 0.1889) Ohm
50%	$0,5 \times (8,202(0,16 + j 0.09) + 0.2 \times (0.12800 + j 0.0883))$ Ohm / km = (0.668 + j 0.337) Ohm
75%	$0.75 \times (8,202(0,16 + j 0.09) + 0.2 \times (0.12800 + j 0.0883))$ Ohm / km = (1.0032 + j 0.5667) Ohm
100%	$1 \times (8,202(0,16 + j 0.09) + 0.2 \times (0.12800 + j 0.0883))$ Ohm / km = (1.3376 + j 0.7556) Ohm

b. Impedansi Urutan Nol

Tabel 4.5 b. Impedansi Urutan Nol Buih

Panjang Saluran	Impedansi Z1,Z2
1%	$0,01 \times (8,202(0,2560 + j 0.2315) + 0.2 \times (0.2048 + j 0.22517))$ Ohm / km = (0,0214 + j 0,0194) Ohm
25%	$0,25 \times (8,202(0,2560 + j 0.2315) + 0.2 \times (0.2048 + j 0.22517))$ Ohm / km = (0.5351 + j 0.4859) Ohm
50%	$0,5 \times (8,202(0,2560 + j 0.2315) + 0.2 \times (0.2048 + j 0.22517))$ Ohm / km = (1.0702 + j 0.9718) Ohm
75%	$0.75 \times (8,202(0,2560 + j 0.2315) + 0.2 \times (0.2048 + j 0.22517))$ Ohm / km = (1.6053 + j 1.4577) Ohm
100%	$1 \times (8,202(0,2560 + j 0.2315) + 0.2 \times (0.2048 + j 0.22517))$ Ohm / km = (2.1404 + j 1.9436) Ohm

2. Penyulang Artika

a. Impedansi Urutan Positif dan Negatif

Tabel 4.6 a. Impedansi Urutan Positif dan Negatif Artika

Panjang Saluran	Impedansi Z1, Z2
1%	$0,01 \times (2.007(0,16 + j 0.09) + 0.2 \times (0.12800 + j 0.0883)) \text{ Ohm / km}$ $= (0.03464 + j 0.0198) \text{ Ohm}$
25%	$0,25 \times (2.007(0,16 + j 0.09) + 0.2 \times (0.12800 + j 0.0883)) \text{ Ohm / km}$ $= (0.0866 + j 0.0495) \text{ Ohm}$
50%	$0,5 \times (2.007(0,16 + j 0.09) + 0.2 \times (0.12800 + j 0.0883)) \text{ Ohm / km}$ $= (0.1732 + j 0.099) \text{ Ohm}$
75%	$0,75 \times (2.007(0,16 + j 0.09) + 0.2 \times (0.12800 + j 0.0883)) \text{ Ohm / km}$ $= (0.2598 + j 0.1485) \text{ Ohm}$
100%	$1 \times (2.007(0,16 + j 0.09) + 0.2 \times (0.12800 + j 0.0883)) \text{ Ohm / km}$ $= (0.3464 + j 0.198) \text{ Ohm}$

b. Impedansi Urutan Nol

Tabel 4.6 b. Impedansi Urutan Nol Artika

Panjang Saluran	Impedansi Z1, Z2
1%	$0,01 \times (2.007(0,2560 + j 0.2315) + 0.2 \times (0.2048 + j 0.22517)) \text{ Ohm / km}$ $= (0.05544 + j 0.05096) \text{ Ohm}$
25%	$0,25 \times (2.007(0,2560 + j 0.2315) + 0.2 \times (0.2048 + j 0.22517)) \text{ Ohm / km}$ $= (0.1386 + j 0.1274) \text{ Ohm}$
50%	$0,5 \times (2.007(0,2560 + j 0.2315) + 0.2 \times (0.2048 + j 0.22517)) \text{ Ohm / km}$ $= (0.2772 + j 0.2548) \text{ Ohm}$
75%	$0,75 \times (2.007(0,2560 + j 0.2315) + 0.2 \times (0.2048 + j 0.22517)) \text{ Ohm / km}$ $= (0.4158 + j 0.3822) \text{ Ohm}$
100%	$1 \times (2.007(0,2560 + j 0.2315) + 0.2 \times (0.2048 + j 0.22517)) \text{ Ohm / km}$ $= (0.5544 + j 0.5096) \text{ Ohm}$

3. Penyulang Nusa

a. Impedansi Urutan Positif dan Negatif

Tabel 4.7a. Impedansi Urutan Positif dan Negatif Nusa

Panjang Saluran	Impedansi Z1, Z2
1%	$0,01 \times (2.880(0,16 + j 0.09) + 0.2 \times (0.12800 + j 0.0883)) \text{ Ohm / km}$ $= (0.04864 + j 0.02766) \text{ Ohm}$
25%	$0,25 \times (2.880(0,16 + j 0.09) + 0.2 \times (0.12800 + j 0.0883)) \text{ Ohm / km}$ $= (0.1216 + j 0.0691) \text{ Ohm}$
50%	$0,5 \times (2.880(0,16 + j 0.09) + 0.2 \times (0.12800 + j 0.0883)) \text{ Ohm / km}$ $= (0.2432 + j 0.1383) \text{ Ohm}$
75%	$0,75 \times (2.880(0,16 + j 0.09) + 0.2 \times (0.12800 + j 0.0883)) \text{ Ohm / km}$ $= (0.3648 + j 0.2074) \text{ Ohm}$
100%	$1 \times (2.880(0,16 + j 0.09) + 0.2 \times (0.12800 + j 0.0883)) \text{ Ohm / km}$ $= (0.4864 + j 0.2766) \text{ Ohm}$

b. Impedansi Urutan Nol

Tabel 4.7 b. Impedansi Urutan Nol Nusa

Panjang Saluran	Impedansi Z1, Z2
1%	$0,01 \times (2.880(0,2560 + j 0.2315) + 0.2 \times (0.2048 + j 0.22517))$ Ohm / km = (0.0778 + j 0.07116) Ohm
25%	$0,25 \times (2.880(0,2560 + j 0.2315) + 0.2 \times (0.2048 + j 0.22517))$ Ohm / km = (0.1945 + j 0.1779) Ohm
50%	$0,5 \times (2.880(0,2560 + j 0.2315) + 0.2 \times (0.2048 + j 0.22517))$ Ohm / km = (0.389 + j 0.3558) Ohm
75%	$0,75 \times (2.880(0,2560 + j 0.2315) + 0.2 \times (0.2048 + j 0.22517))$ Ohm / km = (0.5835 + j 0.5337) Ohm
100%	$1 \times (2.880(0,2560 + j 0.2315) + 0.2 \times (0.2048 + j 0.22517))$ Ohm / km = (0.778 + j 0.7116) Ohm

4. Penyulang Tanjung

a. Impedansi Urutan Positif dan Negatif

Tabel 4.8a. Impedansi Urutan Positif dan Negatif Tanjung

Panjang Saluran	Impedansi Z1, Z2
1%	$0,01 \times (2.841(0,16 + j 0.09) + 0.2 \times (0.12800 + j 0.0883))$ Ohm / km = (0.048 + j 0,02733) Ohm
25%	$0,25 \times (2.841(0,16 + j 0.09) + 0.2 \times (0.12800 + j 0.0883))$ Ohm / km = (0.1200 + j 0.0683) Ohm
50%	$0,5 \times (2.841(0,16 + j 0.09) + 0.2 \times (0.12800 + j 0.0883))$ Ohm / km = (0.24 + j 0,1366) Ohm
75%	$0,75 \times (2.841(0,16 + j 0.09) + 0.2 \times (0.12800 + j 0.0883))$ Ohm / km = (0.36 + j 0,2049) Ohm
100%	$1 \times (2.841(0,16 + j 0.09) + 0.2 \times (0.12800 + j 0.0883))$ Ohm / km = (0.48 + j 0,2733) Ohm

b. Impedansi Urutan Nol

Tabel 4.8 b. Impedansi Urutan Nol Tanjung

Panjang Saluran	Impedansi Z1, Z2
1%	$0,01 \times (2.841(0,2560 + j 0.2315) + 0.2 \times (0.2048 + j 0.22517))$ Ohm / km = (0.0768 + j 0.07024) Ohm
25%	$0,25 \times (2.841(0,2560 + j 0.2315) + 0.2 \times (0.2048 + j 0.22517))$ Ohm / km = (0.1920 + j 0.1756) Ohm
50%	$0,5 \times (2.841(0,2560 + j 0.2315) + 0.2 \times (0.2048 + j 0.22517))$ Ohm / km = (0.384 + j 0.3512) Ohm
75%	$0,75 \times (2.841(0,2560 + j 0.2315) + 0.2 \times (0.2048 + j 0.22517))$ Ohm / km = (0.576 + j 0.5268) Ohm
100%	$1 \times (2.841(0,2560 + j 0.2315) + 0.2 \times (0.2048 + j 0.22517))$ Ohm / km = (0.768 + j 0.7024) Ohm

4.4.1. Impedansi equivalen

a. Z1 equivalen dan Z2 Equivalen

$$Z1_{eq} = Z2_{eq} = Z_s + Z_t + Z1_{penyulang}$$

$$= j 0.0.97 + j 0.84 + Z1 \text{ penyulang}$$

$$= j 0.9197 + Z1 \text{ penyulang}$$

b. Zo equivalen

Zo dihitung dari :

- Impedansi urutan nol trafo
- Tahanan Netral ground trafo (Rn)
- Impedansi penyulang

$$\text{Maka } Z_o = Z_{to} + 3R_n + Z_o \text{ penyulang}$$

$$= 8,4 + 3.12 + Z_o \text{ penyulang}$$

1.Penyulang Buih

a. Z1 equivalen

Tabel 4.9 a. Z1 equivalen Buih

Panjang Saluran	Impedansi Z1, Z2
1%	$j 0.9197 + (0,13376 + j 0.07556) = 0,13376 + j 0,99526$
25%	$j 0.9197 + (0.3344 + j 0.1889) = 0.3344 + j 1.1086$
50%	$j 0.9197 + (0.668 + j 0.3778) = 0.668 + j 1.2975$
75%	$j 0.9197 + (1.0032 + j 0.5667) = 1.0032 + j 1.4864$
100%	$j 0.9197 + (1.3376 + j 0.7556) = 1.3376 + j 1.6753$

b. Zo equivalent

Tabel 4.9b. Zo equivalent Buih

Panjang Saluran	Impedansi Z0
1%	$j 8.4 + 36 + (0,21404 + j 0,19436) = 36,21404 + j 8,59436$
25%	$j 8.4 + 36 + (0.5351 + j 0.4859) = 36.5351 + j 8.8859$
50%	$j 8.4 + 36 + (1.0702 + j 0.9718) = 37.0702 + j 9.3718$
75%	$j 8.4 + 36 + (1.6053 + j 1.4577) = 37.6053 + j 9.8577$
100%	$j 8.4 + 36 + (2.1404 + j 1.9436) = 38.1404 + j 10.3436$

2.Penyulang Artika

a. Z1 equivalen

Tabel 4.10 a. Z1 equivalen Artika

Panjang Saluran	Impedansi Z1, Z2
1%	$j 0.9197 + (0.02598 + j 0.01485) = 0,02598 + j 0,93455$
25%	$j 0.9197 + (0.0866 + j 0.0495) = 0.0866 + j 0.9692$
50%	$j 0.9197 + (0.1732 + j 0.09) = 0.1732 + j 1.0187$
75%	$j 0.9197 + (0.2598 + j 0.1485) = 0.2598 + j 1.0682$
100%	$j 0.9197 + (0.3464 + j 0.198) = 0.3464 + j 1.1177$

b.Zo equivalent

Tabel 4.10 b. Zo equivalent Artika

Panjang Saluran	Impedansi Z0
1%	$j 8.4 + 36 + (0.05544 + j 0.05096) = 36.05544 + j 8.45096$
25%	$j 8.4 + 36 + (0.1386 + j 0.1274) = 36.1386 + j 8.5274$
50%	$j 8.4 + 36 + (0.2772 + j 0.2548) = 36.2772 + j 8.6548$
75%	$j 8.4 + 36 + (0.4158 + j 0.3822) = 36.4158 + j 8.7822$
100%	$j 8.4 + 36 + (0.5544 + j 0.5096) = 36.5544 + j 8.9096$

3.Penyulang Nusa

a.Z1 equivalen

Tabel 4.11 a. Z1 equivalen Nusa

Panjang Saluran	Impedansi Z1, Z2
1%	$j 0.9197 + (0.04864 + j 0.02766) = 0.04864 + j$
25%	$j 0.9197 + (0.1216 + j 0.0691) = 0.1216 + j 0.9888$
50%	$j 0.9197 + (0.2432 + j 0.1383) = 0.2432 + j 1.058$
75%	$j 0.9197 + (0.3648 + j 0.2074) = 0.3648 + j 1.1271$
100%	$j 0.9197 + (0.4864 + j 0.2766) = 0.4864 + j 1.1963$

b.Zo equivalen

Tabel 4.11b. Zo equivalen Nusa

Panjang Saluran	Impedansi Z0
25%	$j 8.4 + 36 + (0.1945 + j 0.1779) = 36.1945 + j 8.5779$
50%	$j 8.4 + 36 + (0.389 + j 0.3558) = 36.389 + j 8.7556$
75%	$j 8.4 + 36 + (0.5835 + j 0.5337) = 36.5835 + j 8.9337$
100%	$j 8.4 + 36 + (0.778 + j 0.7116) = 36.778 + j 9.1116$

4. Penyulang Tanjung

a. Z1 equivalen

Tabel 4.12a. Z1 equivalen Tanjung

Panjang Saluran	Impedansi Z1, Z2
1%	$j 0.9197 + (0.048 + j 0.02733) = 0.048 + j 0,94703$
25%	$j 0.9197 + (0.1200 + j 0.0683) = 0.1200 + j 0.988$
50%	$j 0.9197 + (0.24 + j 0,1366) = 0.24 + j 1,0563$
75%	$j 0.9197 + (0.36 + j 0,2049) = 0.36 + j 1,1246$
100%	$j 0.9197 + (0.48 + j 0.2733) = 0.48 + j 1,193$

b.Zo equivalen

Tabel 4.12b. Zo equivalen Tanjung

Panjang Saluran	Impedansi Z0
1%	$j 8.4 + 36 + (0.0768 + j 0.07024) = 36.0768 + j 8.47024$
25%	$j 8.4 + 36 + (0.1920 + j 0.1756) = 36.1920 + j 8.5756$
50%	$j 8.4 + 36 + (0.384 + j 0.3512) = 36.384 + j 8.7512$
75%	$j 8.4 + 36 + (0.576 + j 0.5268) = 36.576 + j 8.9268$
100%	$j 8.4 + 36 + (0.768 + j 0.7024) = 36.768 + j 9.1024$

4.5. Perhitungan Arus Hubung Singkat

Untuk menghitung arus hubung singkat penyulang buih pada panjang saluran

25 % dengan 1 fasa ke tanah adalah

- Gangguan 1 fasa ke tanah :

$$I = \frac{3 \times 20000 / \sqrt{3}}{2 (0.3344 + j 0,1889) + (36.5351 + j 8.8859)}$$

$$= 850,04 \text{ A}$$

Dengan cara yang sama dilakukan untuk menghitung arus hubung singkat pada panjang saluran 1%,50%, 75%,100% terhadap penyulang buih maupun penyulang lainnya. Maka didapat tabel 4.13 a-d. dibawah ini.

1. Arus hubung Singkat 1 fasa tanah Penyulang Buih

Tabel 4.13 a. Arus hubung Singkat 1 fasa tanah Penyulang Buih

Lokasi Gangguan	I f
1% Panjang Saluran	865,21 A
25% Panjang Saluran	850,04 A
50% Panjang Saluran	834,56 A
75% Panjang Saluran	819,42 A
100%PanjangSaluran	804,64 A

2. Arus hubung Singkat 1 fasa tanah Penyulang Artika

Tabel 4.13 b. Arus hubung Singkat 1 fasa tanah Penyulang Artika

Lokasi Gangguan	I f
1% Panjang Saluran	925,18 A
25% Panjang Saluran	916,67 A
50% Panjang Saluran	907,96 A
75% Panjang Saluran	899,40 A
100%PanjangSaluran	890,99 A

3. Arus hubung singkat Penyulang Nusa

Tabel 4.13 c. Arus hubung singkat Penyulang Nusa

Lokasi Gangguan	I f
1% Panjang Saluran	925,03 A
25% Panjang Saluran	919,59 A
50% Panjang Saluran	907,43 A
75% Panjang Saluran	895,50 A
100% Panjang Saluran	883,80 A

4. Arus hubung singkat Penyulang Tanjung

Tabel 4.13 d. Arus hubung singkat Penyulang Tanjung

Lokasi Gangguan	I f
1% Panjang Saluran	925,04 A
25% Panjang Saluran	919,75 A
50% Panjang Saluran	907,74 A
75% Panjang Saluran	895,96 A
100% Panjang Saluran	884,80 A

4.6. Perhitungan Arus Kapasitansi

Tabel 4. 14. Besar kapasitansi kabel XLPE untuk tegangan 20 kV

Luas Penampang (mm ²)	Ce (mikroFarad/km)
3 x 150	0.21
3 x 240	0.25
3 x 300	0.28

1. Penyulang Buih

- Mempunyai 8,202 km panjang kabel 3 x 240 mm²
- Mempunyai 0,2 km panjang kabel 3 x 300 mm²

Dengan mengetahui panjang kabel dan jenis kabel maka dapat dihitung :

- $8,202 \times 0,25 \mu\text{F}/\text{Km} = 0,00000205 \text{ F}$
- $0,2 \times 0,28 \mu\text{F}/\text{Km} = 0,000000056 \text{ F}$

$$X_{\text{total saluran}} : 1 / \omega C = 1 / 2 \times 3.14 \times 50 \times (0,00000205 + 0,000000056)$$

$$= 1512,218 \Omega$$

$$I_{\text{cbuih}} = \frac{3 \times 20000 / \sqrt{3}}{1512,218 \Omega}$$

$$= 22,90 \text{ A}$$

2. Penyulang Artika

- Mempunyai 2,007 km panjang kabel 3 x 240 mm²
- Mempunyai 0,2 km panjang kabel 3 x 300 mm²

Dengan mengetahui panjang kabel dan jenis kabel maka dapat dihitung :

- $2,007 \times 0,25 \mu\text{F}/\text{Km} = 0,000000501 \text{ F}$
- $0,2 \times 0,28 \mu\text{F}/\text{Km} = 0,000000056 \text{ F}$

$$X_{\text{total saluran}} : 1 / \omega C = 1 / 2 \times 3.14 \times 50 \times (0,000000501 + 0,000000056) \\ = 5720,82 \Omega$$

$$I_{\text{ceArtika}} = \frac{3 \times 20000 / \sqrt{3}}{5720,82 \Omega} \\ = 6,05 \text{ A}$$

3. Penyulang Nusa

- Mempunyai 2,880 km panjang kabel 3 x 240 mm²
- Mempunyai 0,2 km panjang kabel 3 x 300 mm²

Dengan mengetahui panjang kabel dan jenis kabel maka dapat dihitung :

- $2,880 \times 0,25 \mu\text{F}/\text{Km} = 0,00000072 \text{ F}$
- $0,2 \times 0,28 \mu\text{F}/\text{Km} = 0,000000056 \text{ F}$

$$X_{\text{total saluran}} : 1 / \omega C = 1 / 2 \times 3.14 \times 50 \times (0,00000072 + 0,000000056) \\ = 4105,09 \Omega$$

$$I_{\text{ceNusa}} = \frac{3 \times 20000 / \sqrt{3}}{4105,09 \Omega} \\ = 8,438 \text{ A}$$

4. Penyulang Tanjung

- Mempunyai 2,841 km panjang kabel 3 x 240 mm²
- Mempunyai 0,2 km panjang kabel 3 x 300 mm²

Dengan mengetahui panjang kabel dan jenis kabel maka dapat dihitung :

- $2,841 \times 0,25 \mu\text{F}/\text{Km} = 0,00000071 \text{ F}$
- $0,2 \times 0,28 \mu\text{F}/\text{Km} = 0,000000056 \text{ F}$

$$X_{\text{total saluran}} : 1 / \omega C = 1 / 2 \times 3.14 \times 50 \times (0,00000071 + 0,000000056) \\ = 4156,275 \Omega$$

$$I_{ceTanjung} = \frac{3 \times 20000 / \sqrt{3}}{4156,275 \ \Omega}$$

$$= 8,33 \text{ A}$$

Dari semua perhitungan Ice keempat penyulang didapat tabel dibawah ini

Tabel 4.15. Arus kapasitansi

Penyulang	Ice
Buih	22,90 A
Artika	6,05 A
Nusa	8.438 A
Tanjung	8,33 A

Nilai-nilai arus kapasitif diatas, akan kembali kesumber melalui titik di salah satu penyulang yang terganggu sehingga jika gangguan satu fasa ketanah terjadi pada salah penyulang, maka arus kapasitif penyulang-penyulang yang lain kembali ke sumber seolah memberi sumbangan arus gangguan di Penyulang terganggu, sehingga dapat dijelaskan sebagai berikut :

- a. Gangguan 1 fasa ke tanah pada penyulang Buih, arus kapasitif dari penyulang Artika, Nusa dan Tanjung akan mengalir di penyulang Buih melalui titik gangguan tanah kembali ke sumber dan dirasakan oleh relai gangguan tanah di penyulang Buih, arus kapasitifnya sebesar 22,818 A.
- b. Gangguan 1 fasa ke tanah pada penyulang Artika, arus kapasitif dari penyulang Buih, Nusa dan Tanjung akan mengalir di penyulang Artika melalui titik gangguan tanah kembali ke sumber dan dirasakan oleh relai gangguan tanah di penyulang Artika, arus kapasitifnya sebesar 39,668 A.
- c. Gangguan 1 fasa ke tanah pada penyulang Nusa, arus kapasitif dari penyulang Buih, Artika dan Tanjung akan mengalir di penyulang Nusa melalui titik gangguan tanah kembali ke sumber dan dirasakan oleh relai gangguan tanah di penyulang Nusa, arus kapasitifnya sebesar 37,28 A.
- d. Gangguan 1 fasa ke tanah pada penyulang Tanjung, arus kapasitif dari penyulang Buih, Artika dan Nusa akan mengalir di penyulang Tanjung melalui titik gangguan tanah kembali ke sumber dan dirasakan oleh relai gangguan tanah di penyulang Tanjung, arus kapasitifnya sebesar 37,388 A.

4.7. Perhitungan Waktu Kerja Relai Invers

1. Seting relai OC/GF di Incoming Trafo 1

Tabel 4.16. a. Seting relai OC/GF di Incoming Trafo 1

Relai	Karakteristik (Inverse)	
	I set	ts
OC	5	0,27
GF	0,5	0,24

2. Seting relai OC/GF di Penyulang Buih

Tabel 4.16. b. Seting relai OC/GF di Penyulang Buih

Relai	Karakteristik (Inverse)	
	I set	ts
OC	5	0,05
GF	1	0,03

3. Seting relai OC/GF di Penyulang Tanjung dan Nusa

Tabel 4.16. c. Seting relai OC/GF di Penyulang Tanjung dan Nusa

Relai	Karakteristik (Inverse)	
	I set	ts
OC	5	0,15
GF	1,35	0,21

4. Seting relai OC/GF di Penyulang Artika

Tabel 4.16. d. Seting relai OC/GF di Penyulang Artika

Relai	Karakteristik (Inverse)	
	I set	ts
OC	2,5	0,05
GF	0.6	0,08

Keempat penyulang menggunakan relai berkarakteristik normal inverse.

Penyulang Tanjung dan Nusa menggunakan tipe relai yang sama.

Maka dengan Rumus¹⁾ :

$$t(I) = \left[\frac{A}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^a - 1} + B \right] \bullet K \bullet T_s \quad (4.1)$$

Dimana :

t (I) = waktu Aktual Trip delay ketika input arus sama dengan I

I = Maksimum input arus

I_s = Seting arus

K = 0.336632 (normal inverse)

T_s = Seting waktu delay

Berdasarkan tabel 4.17 maka dapat dihitung

Tabel 4.17. Identifikasi kurva menurut jenisnya²⁾

Curve Name	Curve Identifier	A	B	a
IEC A Inverse	A	0.14	0	0.02
IEC B Very Inverse	B	13.5	0	1
IEC C Extremely Inverse	C	80	0	2
IEEE Moderate Inverse	MI	0.0104	0.0226	0.02
IEEE Short Inverse	SI	0.00342	0.00262	0.02
IEEE Very Inverse	VI	3.88	0.0963	2
IEEE Inverse	I	5.95	0.18	2
IEEE Extremely Inverse	EI	5.67	0.0352	2

Dari rumus diatas didapat tms untuk setiap penyulang.

1. Penyulang Buih

Tabel 4.18 a. Tms buih

Lokasi Gangguan	tms
1% Panjang Saluran	0,0257
25% Panjang Saluran	0,0259
50% Panjang Saluran	0,0261
75% Panjang Saluran	0,0263
100% Panjang Saluran	0,0265

2. Penyulang Artika

Tabel 4.18 b. Tms Artika

Lokasi Gangguan	tms
1% Panjang Saluran	0,0562
25% Panjang Saluran	0.0563
50% Panjang Saluran	0.0565
75% Panjang Saluran	0.0567
100% Panjang Saluran	0.0568

3. Penyulang Nusa

Tabel 4.18 c. Tms Nusa

Lokasi Gangguan	tms
1% Panjang Saluran	0,1982
25% Panjang Saluran	0.1993
50% Panjang Saluran	0.2004
75% Panjang Saluran	0.2015
100% Panjang Saluran	0.2027

1) Microprocessor Over Current and Earth fault Relay type MC 30 Operation Manual page 8

2) Microprocessor Over Current and Earth fault Relay type MC 30 Operation Manual page 7

4. Penyulang Tanjung

Tabel 4.18 d. Tms Tanjung

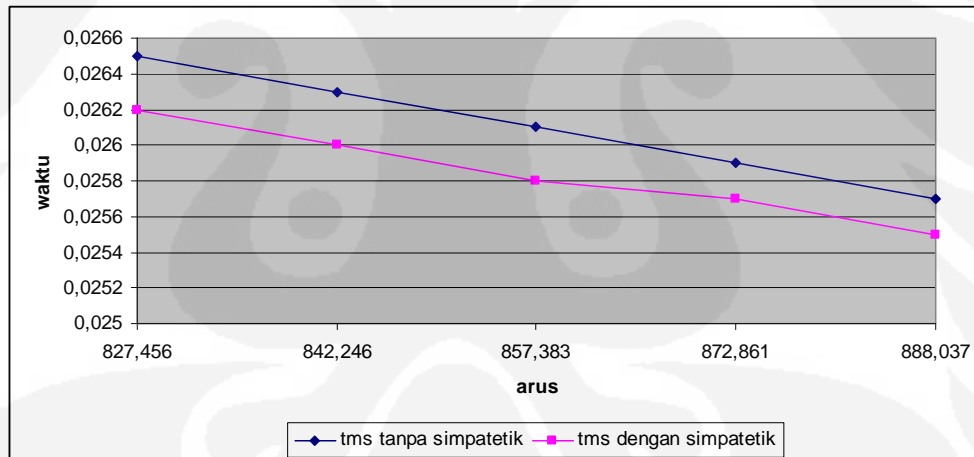
Lokasi Gangguan	tms
1% Panjang Saluran	0,1982
25% Panjang Saluran	0.1993
50% Panjang Saluran	0.2004
75% Panjang Saluran	0.2015
100% Panjang Saluran	0.2026

Karena gangguan simpatetik maka Ice pada penyulang lain ikut menyumbang arus atau menambahkan arus dengan arus gangguan 1 fasa tanah.

1. Penyulang Buih

Tabel 4.19a. tms simpatetik penyulang buih

Lokasi Gangguan	If 1 fasa tanah	Ice penyulang lain	tms
1%	865,21 A	22.818	0,0255
25%	850,04 A	22.818	0,0257
50%	834,56 A	22.818	0,0258
75%	819,42 A	22.818	0,0260
100%	804,64 A	22.818	0,0262

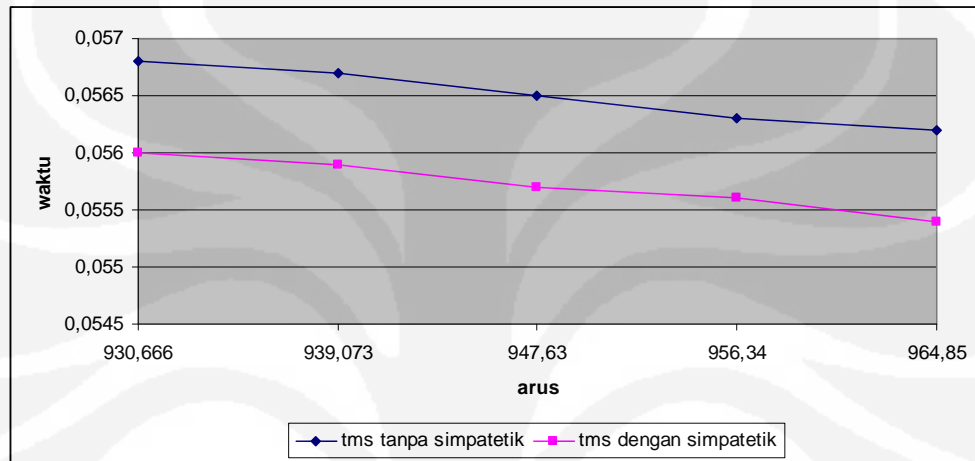


Gambar 4.3. Perbedaan tms antara gangguan 1 fasa tanah dan gangguan simpatetik pada penyulang Buih

2. Penyulang Artika

Tabel 4.19b.tms simpatetik penyulang artika

Lokasi Gangguan	If 1fasa tanah	Ice penyulang lain	Tms
1%	925,18 A	39.668	0,554
25%	916,67 A	39.668	0,0556
50%	907,96 A	39.668	0,0557
75%	899,40 A	39.668	0,0559
100%	890,99 A	39.668	0,0560

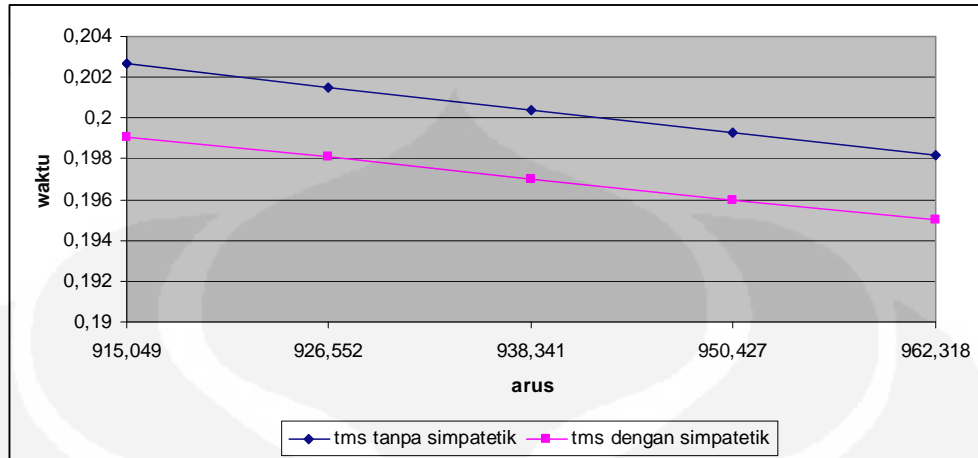


Gambar 4.4. Perbedaan tms antara gangguan 1 fasa tanah dan gangguan simpatetik pada penyulang Artika

3. Penyulang Nusa

Tabel 4.19c. tms simpatetik penyulang nusa

Lokasi Gangguan	If 1fasa tanah	Ice penyulang lain	tms
1%	925,03 A	37.28	0,1950
25%	919,59 A	37.28	0.1960
50%	907,43 A	37.28	0.1970
75%	895,50 A	37.28	0.1981
100%	883,80 A	37.28	0.1991

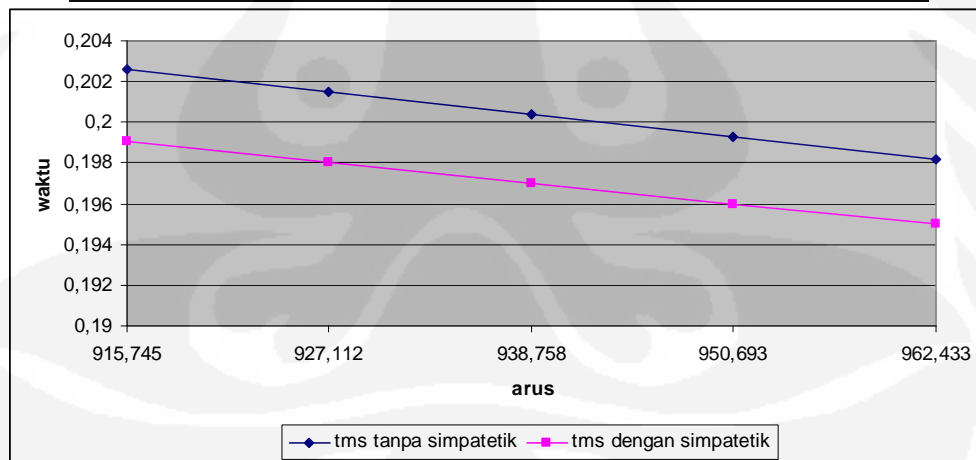


Gambar 4.5. Perbedaan tms antara gangguan 1 fasa tanah dan gangguan simpatetik pada penyulang Nusa

4. Penyulang Tanjung

Tabel 4.19d. tms simpatetik penyulang tanjung

Lokasi Gangguan	If 1fasa tanah	Ice penyulang lain	tms
1%	925,04 A	37.388	0,1950
25%	919,75 A	37.388	0.1960
50%	907,74 A	37.388	0.1970
75%	895,96 A	37.388	0.1980
100%	884,80 A	37.388	0.1991



Gambar 4.6. Perbedaan tms antara gangguan 1 fasa tanah dan gangguan simpatetik pada penyulang Tanjung

4.8 Analisa

- Pengaruh simpatetik terhadap tms gangguan 1 fasa tanah normal dapat mempercepat waktu relai bekerja. Hal ini dapat dibuktikan pada keempat penyulang diatas. Untuk penyulang Buih pada titik gangguan 1 %, gangguan simpatetik dapat mempercepat kerja relai yaitu 0,77 %, atau (1%; 0,77%), (25%; 0,77 %), (50%; 1,15%), (75%; 1,14%), (100%; 1,13%). Dari hasil tersebut dipadat rata-rata pada Penyulang buih adalah 0,99 %. Dengan cara yang sama pada penyulang Artika 1,36 % ; Nusa 1,68% ; Tanjung 1,67%. Perbedaan persentase pada masing –masing penyulang sangat dipengaruhi faktor panjang saluran.
- Pada setiap gangguan 1 fasa tanah selalu menimbulkan arus kapasitif
- Tms relai pada saat gangguan simpatetik akan lebih kecil dari pada gangguan non simpatetik karena pengaruh penambahan arus kapasitansi penyulang lain sehingga menambah jumlah arus gangguan yang mengakibatkan relai inverse bekerja lebih cepat.
- Time seting pada relai (T_s) didasarkan pada besarnya titik gangguan yang terdekat dari keseluruhan panjang saluran yang mempengaruhi besarnya arus gangguan maksimal sehingga dicapai seting time relai yang efektif.
- Apabila digunakan nilai T_s yang sama diterapkan pada relai berkarakteristik Definite (seting dengan karakteristik waktu tetap) maka akan mempengaruhi penyulang lainnya.
- Pada relai karakteristik definite time dapat menyebabkan gangguan simpatetik maka dengan relai berkarakteristik inverse dapat mencegah penyulang lain tidak trip terlebih dahulu.
- Gangguan simpatetik terjadi akibat keterlambatan respon relai dalam hal ini yaitu relai berkarakteristik definite time.

BAB V

KESIMPULAN

1. Pengaruh simpatetik terhadap tms gangguan 1 fasa tanah normal dapat mempercepat waktu relai bekerja.
2. Tms relai pada saat gangguan simpatetik akan lebih kecil dari pada gangguan non simpatetik karena pengaruh penambahan arus kapasitansi penyulang lain sehingga menambah jumlah arus gangguan yang mengakibatkan relai inverse bekerja lebih cepat.
3. Time seting pada relai (T_s) didasarkan pada besarnya titik gangguan yang terdekat dari keseluruhan panjang saluran yang mempengaruhi besarnya arus gangguan maksimal sehingga dicapai seting time relai yang efektif.
4. Perlu digunakan relai invers karena relai definite tidak mampu menanggulangi gangguan simpatetik.
5. Pada relai karakteristik definite time dapat menyebabkan gangguan simpatetik maka dengan relai berkarakteristik inverse dapat mencegah penyulang lain tidak trip terlebih dahulu.
6. Gangguan simpatetik terjadi akibat keterlambatan respon respon relai dalam hal ini yaitu relai berkarakteristik definite time.

DAFTAR ACUAN

Types MVTD 11, 12, 13 Inverse Time Delayed Voltage Relays, Tutorial
Microprocessor Over Current and Earth fault Relay type MC 30 Operation

Manual.

2008, Modul Mata Kuliah Analisa Sistem Tenaga Listrik.

<http://matakulastl.files.wordpress.com/2008/01/komponen-komponen-simetris.pdf>.

2009, Pengujian relai GI Ancol, PT. PLN (Persero) Disjaya APD.

DAFTAR PUSTAKA

Hasan Basri, 1997. "Sistem Distribusi Daya Listrik", ISTN.

Pribadi & Wahyudi, " Simpatetik Trip". PT. PLN (Persero) Jasa Pendidikan dan Pelatihan.

Sistem Distribusi Tenaga Listrik, PT PLN (Persero) Jasa Pendidikan dan Pelatihan.



Tim pelatihan Operator Gardu Induk ,2005. "Peralatan Gardu Induk" . PT. PLN (Persero) Penyaluran Dan Pusat Pengatur Beban Jawa-Bali.

LAMPIRAN

1. Setting rele Penyulang Tanjung

	PT. PLN (PERSERO) DISTRIBUSI JAYA & TANGERANG AREA PENGATUR DISTRIBUSI		GARDU INDUK : ANCOL			
			PENYULANG : TANJUNG			
DESKRIPSI			OVER CURRENT RELAY TEST			
1. Technical Data						
Manufacture	: MS		Rating :	Over current		
Type	: MC 30			Ground Fault		
Serial No	: 3197/807/1/035		Batasan Setting	Is : 5 Is : 1.35		
Characteristic	: SI			Tms : 0.15 Tms : 0.21		
Ratio CT	: 300/5			Im : 40 Im : 8.35		
2. Current Sensitivity Operating						
Phasa	Setting Current (Ampere)	Pick Up Current (Ampere)	Drop Off Current (Ampere)	Ratio Id / Ip	Remark	
R	5	5.00	4.97	0.99		
S	5	5.05	4.97	0.98		
T	5	5.09	4.99	0.98		
N	1.35	1.36	1.28	0.94		
3. Operating Time Characteristic						
Phasa	Setting Time (Tms)	Operating Time (Sec)				
		2 X Is	3 X Is	5 X Is		
R	0.15	0.493	0.345	0.243		
S	0.15	0.491	0.346	0.246		
T	0.15	0.495	0.348	0.242		
N	0.21	0.721	0.474	0.344		
4. Instantaneous Operating Check						
Phasa	Setting Current (Im) (Tms)	Injection Current (Ampere)		Operating Time (m. Sec)		
R	40	-	-	-		
S	40	-	-	-		
T	40	-	-	-		
N	8.35	8.5	-	0.088		
5. Function Test						
Phasa	Setting Current (Ampere)	Injection Current		Indication alarm	Time (Sec)	CB Trip
		Prim	Sec			
R-S	5	-	25	-	0.286	
S-T	5	-	25	-	0.286	
T-R	5	-	25	-	0.286	
N	1.35	-	6.75	-	0.385	

2. Seting rele Penyulang Nusa

	PT. PLN (PERSERO) DISTRIBUSI JAYA & TANGERANG AREA PENGATUR DISTRIBUSI		GARDU INDUK : ANCOL			
			PENYULANG : TANJUNG			
DESKRIPSI			OVER CURRENT RELAY TEST			
1. Technical Data						
Manufacture	: MS	Rating	: Over current	Ground Fault		
Type	: MC 30		Is : 5	Is : 1.35		
Serial No	: 3197/807/1/035	Batasan Setting	Tms : 0.15	Tms : 0.21		
Characteristic	: SI		Im : 40	Im : 8.35		
Ratio CT	: 300/5					
2. Current Sensitivity Operating						
Phasa	Setting Current (Ampere)	Pick Up Current (Ampere)	Drop Off Current (Ampere)	Ratio Id / Ip	Remark	
R	5	5.00	4.97	0.99		
S	5	5.05	4.97	0.98		
T	5	5.09	4.99	0.98		
N	1.35	1.36	1.28	0.94		
3. Operating Time Characteristic						
Phasa	Setting Time (Tms)	Operating Time (Sec)				
		2 X Is	3 X Is	5 X Is		
R	0.15	0.493	0.345	0.243		
S	0.15	0.491	0.346	0.246		
T	0.15	0.495	0.348	0.242		
N	0.21	0.721	0.474	0.344		
4. Instantaneous Operating Check						
Phasa	Setting Current (Im) (Tms)	Injection Current (Ampere)		Operating Time (m. Sec)		
R	40	-	-	-		
S	40	-	-	-		
T	40	-	-	-		
N	8.35	8.5	-	0.088		
5. Function Test						
Phasa	Setting Current (Ampere)	Injection Current		Indication alarm	Time (Sec)	CB Trip
		Prim	Sec			
R-S	5	-	25	-	0.286	
S-T	5	-	25	-	0.286	
T-R	5	-	25	-	0.286	
N	1.35	-	6.75	-	0.385	

2.2.3 - Time Current Curves IEC (TU1029 Rev.0)

