



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI KONSEP ADAPTIF RELE JARAK TERHADAP
KEGAGALAN JARINGAN SALURAN TRANSMISI GANDA
MUARA TAWAR-CIBATU (500 KV)**

SKRIPSI

**Cristof Naek Halomoan
04 04 03 024 5**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
DESEMBER 2008**



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI KONSEP ADAPTIF RELE JARAK TERHADAP
KEGAGALAN JARINGAN SALURAN TRANSMISI GANDA
MUARA TAWAR-CIBATU (500 KV)**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar

Sarjana Teknik

Cristof Naek Halomoan

04 04 03 024 5

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

DEPOK

DESEMBER 2008

HALAMAN PERNYATAAN ORISINILITAS

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

Nama : Cristof Naek Halomoan

NPM : 04 04 03 024 5

Tanda tangan :

Tanggal : 30 Desember 2008

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Cristof Naek Halomoan
NPM : 04 04 03 024 5
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Studi konsep adaptif rele jarak terhadap kegagalan jaringan saluran transmisi ganda Muara Tawar-Cibatu (500 KV)

Telah berhasil dipertahankan dihadapan 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. I Made Ardita Y, MT ()
Penguji 1 : Dr. Ir. Iwa Garniwa M K, MT ()
Penguji 2 : Budi Sudiarto, ST, MT ()

Ditetapkan di : Kampus UI Depok
Tanggal : 30 Desember 2008

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus atas berkat dan anugerah-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini 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. Ir. I Made Ardita Y, MT, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
2. Pihak PLN yang telah membantu dalam usaha memperoleh data yang saya perlukan;
3. Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral; dan
4. Sahabat-sahabat yang telah banyak membantu dukungan moral saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 30 Desember 2008

Cristof N.H.

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

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

Nama : Cristof Naek Halomoan
NPM : 04 04 03 024 5
Program Studi : Teknik Elektro
Departemen : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

demikian 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 Konsep Adaptif Rele Jarak Terhadap Kegagalan Jaringan
Saluran Transmisi Ganda Muara Tawar-Cibatu (500 KV)**

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 : Desember 2008
Yang menyatakan

(Cristof Naek Halomoan)

ABSTRAK

Nama : Cristof Naek Halomoan
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : Studi konsep adaptif rele jarak terhadap kegagalan jaringan saluran transmisi ganda Muara Tawar - Cibatu (500 KV)

Sistem proteksi adaptif merupakan salah satu alternatif koordinasi rele yang dapat disesuaikan dengan perubahan keadaan sistem transmisi (*on-line*) memungkinkan pengamanan yang lebih efektif dan efisien. Konsep adaptif dapat mencegah rele dari kegagalan operasi yang disebabkan oleh efek reaktansi. Konsep ini dibuat sebagai pengukuran standar dari saluran ganda, misalnya adanya tegangan dan arus tiga fasa dari saluran yang terganggu dan penambahan arus urutan nol dari saluran yang baik digunakan sebagai sinyal masukan rele. Konsep ini berdasarkan perubahan posisi dari karakteristik rele jarak sehingga diperlukan kompensasi terhadap efek dari reaktansi. Oleh karena itu diperlukan sebuah vektor geser yang ditetapkan pada perhitungannya.

Kata kunci:

Saluran transmisi ganda, rele jarak, pola adaptif

ABSTRACT

Name : Cristof Naek Halomoan
Study Program : Electrical Engineering
Title : Study on adaptive concept distance relay toward fault on double-circuit transmission line Muara Tawar-Cibatu (500 KV)

An adaptive distance protection system is an alternative coordination relay that can be appropriated with the changes of condition transmission system which can make more effective and efficient. An Adaptive algorithm allowing one to prevent the relay from mis- or mal-operation caused by the reactance effect. The algorithm is designed for a standard availability of measurements from one-end of the double-circuit line, in example, when three-phase voltage and current from the faulted line circuit, and additionally zero-sequence current from the healthy line circuit, are provided as the relay input signals. The algorithm is based on changing the position of the distance relay characteristic in such way that the reactance effect is effectively compensated for. For this purpose the shift vector is determined in on-line relatively simple calculations.

Key words:

Double-circuit transmission line, distance relay, adaptive characteristic.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
DAFTAR SINGKATAN	xv
DAFTAR ISTILAH / SIMBOL	xvi
1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penulisan	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Sistematika Penulisan	2
2 KARAKTERISTIK SALURAN TRANSMISI DAN PROTEKSIYA.....	3
2.1 Pengertian Saluran Transmisi	3
2.2 Gangguan pada Saluran Transmisi	4
2.3 Sistem Proteksi	7
2.4 Komponen Proteksi	8
2.4.1 Trafo Instrumen	10
2.4.2 Rele / <i>Relay</i>	10
2.4.3 Circuit Breaker (CB)	11
2.4.4 <i>DC System Power Supply</i>	12
2.5 Rele Jarak	12
2.6 Prinsip Kerja Rele Jarak	13
2.7 Karakteristik Kerja Rele Jarak	14
2.7.1 Karakteristik Impedansi	15
2.7.2 Karakteristik Mho atau Admitansi	15
2.7.3 Karakteristik Reaktansi	16
2.7.4 Karakteristik Quadrilateral	16
2.8 Pengaturan Rele Jarak	17
2.9 Pola Dasar Koordinasi Rele Jarak	18
3 KONSEP ADAPTIF RELE JARAK	22
3.1 Kontrol Rele Jarak	22
3.2 Konsep Adaptif Koordinasi Rele Jarak	23
3.2.1 Trip Seketika Sekuensial dengan Konsep Adaptif.....	24
3.2.2 Rele Jarak Multi Terminal	25

3.2.3	Proteksi Adaptif Terhadap Gangguan Tanah	27
3.2.4	Konsep Adaptif Terhadap Pengaruh Perubahan Frekuensi	28
3.2.3	Konsep Adaptif Terhadap Pengaruh Ayunan Daya	26
3.3	Dasar Algoritma Konsep Adaptif	29
3.4	Menentukan vektor geser	32
4	ANALISA KOORDINASI RELE JARAK PADA JARINGAN SALURAN TRANSMISI GANDA MUARA TAWAR - CIBATU	36
4.1	Diagram Garis Tunggal GITET 500 KV Muara Tawar - Cibatu	36
4.1.1	Data Percobaan	37
4.1.2	Konfigurasi Sistem Tenaga Listrik	37
4.1.3	Arus Hubung Singkat	37
4.2	Perhitungan Proteksi Saluran Transmisi Ganda Muara Tawar - Cibatu	38
4.3	Proteksi zona 1 Transmisi Muara Tawar - Cibatu	43
4.4	Analisa Konsep Adaptif Rele Jarak	45
V	KESIMPULAN	48
	DAFTAR REFERENSI	49
	DAFTAR PUSTAKA	50
	LAMPIRAN	51

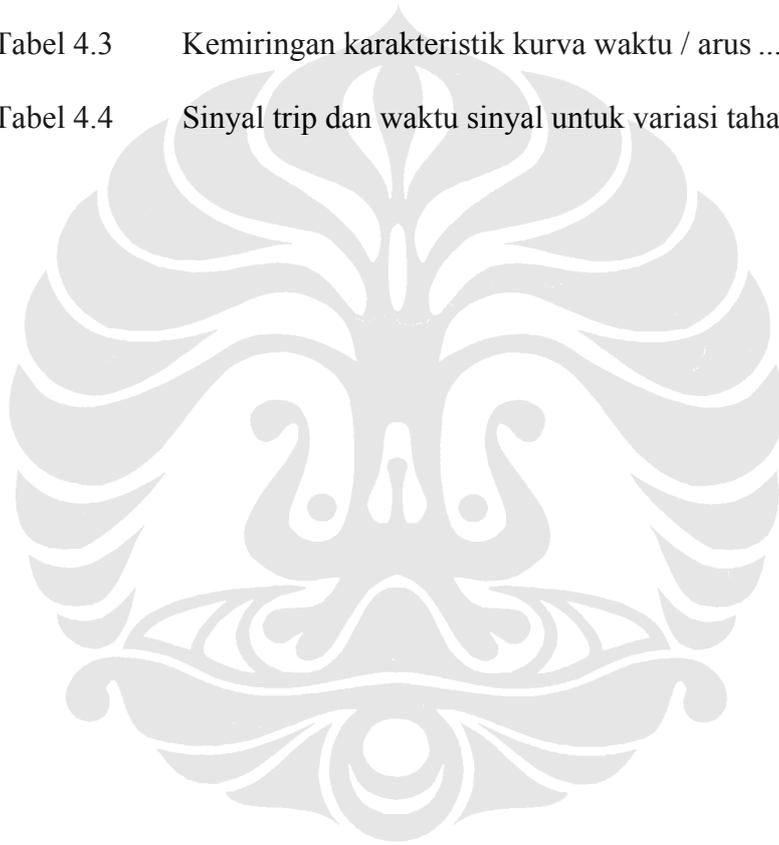
DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Ilustrasi Sistem Tenaga Listrik.....	3
Gambar 2.2	Ilustrasi Gangguan Satu Fasa ke Tanah.....	4
Gambar 2.3	Ilustrasi Gangguan Dua Fasa.....	5
Gambar 2.4	Ilustrasi Gangguan Dua Fasa ke Tanah.....	5
Gambar 2.5	Ilustrasi Gangguan Tiga Fasa.....	7
Gambar 2.6	Elemen Proteksi Sistem Tenaga Listrik.....	9
Gambar 2.7	Komponen Proteksi Sistem Tenaga Listrik.....	9
Gambar 2.8	Balance Beam Distance Relay.....	13
Gambar 2.9	Prinsip Kerja Rele Jarak Terhadap Adanya Gangguan.....	14
Gambar 2.10	Karakteristik Kerja Impedansi.....	15
Gambar 2.11	Karakteristik Kerja Mho.....	15
Gambar 2.12	Karakteristik Kerja Reaktansi.....	16
Gambar 2.13	Karakteristik Kerja Quadrilateral.....	17
Gambar 2.14	Pembagian Tiga Zona Pengamanan.....	21
Gambar 2.15	Skema Logika Pengamanan Dasar Rele Jarak.....	21
Gambar 3.1	Skema Kontrol Rele Jarak.....	22
Gambar 3.2	Skema Kontrol Rele Jarak dengan Mekanisme Adaptif.....	22
Gambar 3.3	Trip Sekuensial pada Saluran Tunggal.....	24
Gambar 3.4	Trip Sekuensial pada Saluran Ganda.....	25
Gambar 3.5	Rangkaian Tiga Terminal.....	26
Gambar 3.6	Pengaruh Tahanan pada Gangguan Satu Fasa ke Tanah.....	27

Gambar 3.7	Karakteristik Kuadrilateral Terhadap Adanya Tahanan Gangguan.....	28
Gambar 3.8	Gelombang Arus pada Kondisi Normal, Ayunan Daya dan Adanya Gangguan	29
Gambar 3.9	Skema dari Saluran Transmisi Ganda	30
Gambar 3.10	Gambar dari Sudut Sebagai Fungsi dari Jarak ke Gangguan	35
Gambar 4.1	Diagram Satu Garis Gardu Induk Muara Tawar - Cibatu	36
Gambar 4.2	Proteksi SUTET di GITET Muara Tawar	38
Gambar 4.3	Skema Jaringan Saluran Transmisi Ganda Muara Tawar - Cibatu .	39
Gambar 4.4	Sinyal trip Muara Tawar – Cibatu pada berbagai besar tahanan gangguan dengan perngaturan zona 1 85 %.....	44
Gambar 4.5	Sinyal Trip pada Jaringan Saluran Transmisi Ganda Muara Tawar - Cibatu	46
Gambar 4.6	Waktu Trip pada Jaringan Saluran Transmisi Ganda Muara Tawar - Cibatu	47

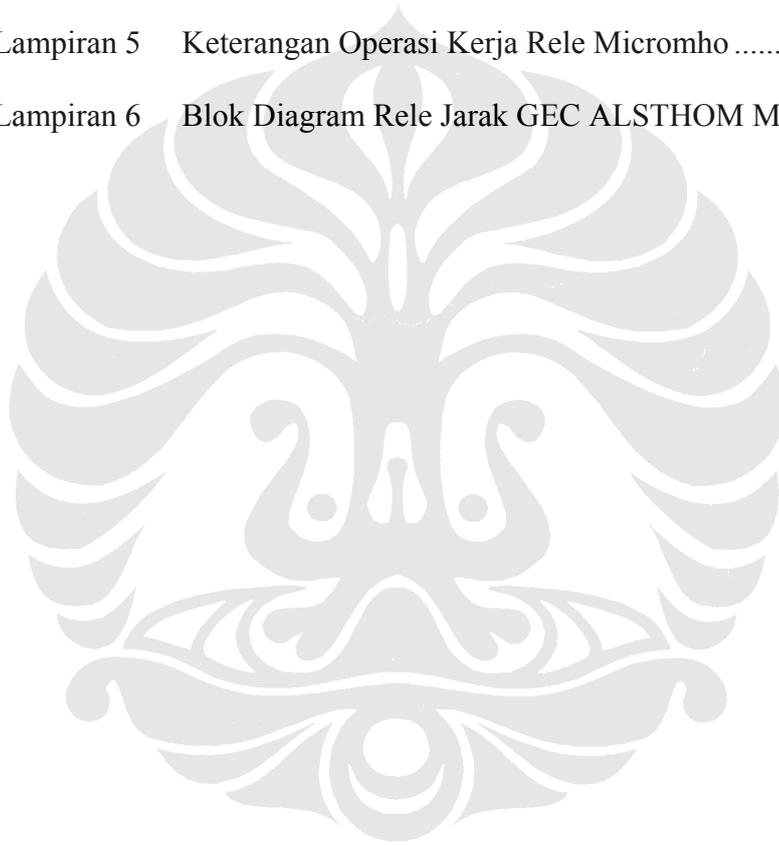
DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Koefisien \bar{a}_i	31
Tabel 3.2	Alternatif Koefisien \bar{a}_{Fi} untuk Nilai $\bar{a}_{F0} = 0$	31
Tabel 4.1	Data Saluran Transmisi	40
Tabel 4.2	Parameter dari Jaringan Transmisi	40
Tabel 4.3	Kemiringan karakteristik kurva waktu / arus	42
Tabel 4.4	Sinyal trip dan waktu sinyal untuk variasi tahanan nilai gangguan	43



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Data Impedansi SUTET Muara Tawar - Cilaku.....	53
Lampiran 2	Data Impedansi Konduktor.....	53
Lampiran 3	Diagram Satu Garis GITET Muara Tawar	53
Lampiran 4	Blok Diagram Rele Jarak.....	53
Lampiran 5	Keterangan Operasi Kerja Rele Micromho	53
Lampiran 6	Blok Diagram Rele Jarak GEC ALSTHOM Micromho	53



DAFTAR SINGKATAN

CB	Circuit breaker
CCC	Current Carrying Capacity
CT	Current Transformer
PT	Potential Transformer
OCR	Overcurrent Relay
PLC	Power Line Carrier
PMT	Pemutus Tenaga
GITET	Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi
SUTET	Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi
PLTG	Pembangkit Listrik Tenaga Gas
PLTGU	Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap
SKTT	Saluran Kabel Tegangan Tinggi
TMS	Time Multiplier Setting

DAFTAR ISTILAH / SIMBOL

Simbol	Keterangan	Satuan
\bar{a}	Operator fasor	
I_{A1}	Arus urutan positif	Ampere
I_{A2}	Arus urutan negatif	Ampere
I_{A0}	Arus urutan nol	Ampere
V_{Aa}	Tegangan fasa a	Volt
V_{Ab}	Tegangan fasa b	Volt
V_{Ac}	Tegangan fasa c	Volt
I_r	Arus residu	Ampere
k	faktor infeed	
t	Waktu	second
[p.u.]	Nilai per unit	
k_F	Faktor distribusi arus gangguan	
R_{AP}	Resistansi kegagalan yang terukur oleh rele	ohm
\bar{a}_{Fi}	weighting coefficients	
ΔZ	Vektor geser dari impedansi	ohm
ΔR	Vektor geser dari resistansi	ohm
ΔX	Vektor geser dari reaktansi	ohm

BAB 1

PENDAHULUAN

I.1 LATAR BELAKANG

Sistem transmisi memegang peranan yang sangat penting dalam proses penyaluran daya. Oleh karena itu pengamanan pada saluran transmisi perlu mendapat perhatian yang serius dalam perencanaannya. Rele sebagai salah satu bagian penting dalam sistem pengamanan saluran transmisi harus mempunyai kemampuan mendeteksi adanya gangguan pada semua keadaan dan kemudian memisahkan bagian sistem yang terganggu tersebut sehingga dapat meminimalkan kerusakan pada bagian yang terganggu dan mencegah gangguan meluas ke saluran lain yang tidak terganggu.

Rele jarak digunakan sebagai pengamanan pada saluran transmisi karena kemampuannya dalam menghilangkan gangguan (*fault clearing*) dengan cepat dan penyetelannya yang relatif mudah. Pada prinsipnya rele jarak adalah mengukur nilai arus dan nilai tegangan pada suatu titik tertentu dan kemudian membandingkannya dengan suatu nilai pengaturan tertentu untuk menentukan apakah rele harus bekerja atau tidak. Supaya rele dapat berfungsi dengan baik, dalam kapasitasnya sebagai pengamanan saluran transmisi maka perlu adanya koordinasi antara satu rele dengan rele di terminal lawannya dan juga dengan rele pada seksi-seksi berikutnya. Koordinasi rele jarak selama ini berdasarkan parameter saluran transmisi dengan kompensasi perkiraan besarnya gangguan yang dihitung secara *off-line*. Tetapi dengan keadaan sistem yang berubah-ubah yang mengakibatkan parameter saluran transmisi juga berubah serta adanya gangguan yang tidak bisa diperkirakan besarnya, maka pengaturan rele yang ada bisa menjadi tidak selektif. Oleh karena itu diperlukan koordinasi rele yang lebih baik yang dapat menyesuaikan dengan keadaan sistem tersebut. Dengan cara ini dimungkinkan untuk memperbaiki kinerja pengamanan.

I.2 TUJUAN PENULISAN

Tujuan penulisan skripsi ini adalah untuk melakukan studi perbandingan antara metode standar dengan metode adaptif rele jarak terhadap kegagalan jaringan saluran transmisi ganda 500 KV yang menghubungkan gardu induk tegangan ekstra tinggi Muara Tawar – Cibatu.

I.3 BATASAN 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.
2. Perbandingan antara rele jarak metode standar dengan metode adaptif hanya dilakukan pada zona 1.
3. Perhitungan arus hubung singkat menggunakan bantuan aplikasi *software Microsoft Office Excel 2007* dengan asumsi konfigurasi adalah kondisi normal operasi.
4. Perhitungan setelan rele mengacu pada tipe dan jenis rele yang digunakan.
5. Faktor daya beban diasumsikan 0.85.

I.4 SISTEMATIKA PENULISAN

Penulis menyusun skripsi ini dalam lima bab, yang sistematika penulisannya terangkum sebagai berikut:

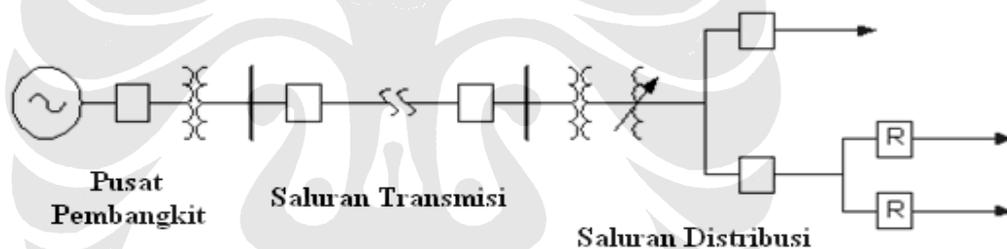
1. Bab pertama merupakan pendahuluan yang berisi latar belakang, tujuan yang hendak dicapai dalam penulisan, pembatasan masalah yang akan dibahas, dan sistematika penulisan.
2. Bab kedua membahas karakteristik saluran transmisi dan pengamannya.
3. Bab ketiga membahas mengenai konsep adaptif rele proteksi.
4. Bab keempat membahas mengenai analisa konsep adaptif rele jarak terhadap kegagalan jaringan saluran transmisi ganda 500 KV yang menghubungkan gardu induk tegangan ekstra tinggi Muara Tawar – Cibatu.
5. Bab kelima berisi kesimpulan-kesimpulan yang dapat diperoleh dari penulisan skripsi ini.

BAB 2

KARAKTERISTIK SALURAN TRANSMISI DAN PROTEKSINYA

2.1 PENGERTIAN SALURAN TRANSMISI

Sistem transmisi adalah suatu sistem penyaluran energi listrik dari satu tempat ke tempat lain, seperti dari stasiun pembangkit ke *substation* (gardu induk). Pemakaian sistem transmisi didasarkan atas besarnya daya yang harus disalurkan dari pusat-pusat pembangkit ke pusat beban dan jarak penyaluran yang cukup jauh antara pusat pembangkit dengan pusat beban tersebut. Sistem transmisi menyalurkan daya dengan tegangan tinggi yang digunakan untuk mengurangi adanya rugi-rugi akibat jatuh tegangan.



Gambar 2.1 Ilustrasi Sistem Tenaga Listrik

Saluran transmisi mempunyai suatu sistem yang kompleks yang mempunyai karakteristik yang berubah-ubah secara dinamis sesuai keadaan sistem itu sendiri. Adanya perubahan karakteristik ini dapat menimbulkan masalah jika tidak segera dapat diantisipasi. Dalam hubungannya dengan sistem pengamanan suatu sistem transmisi, adanya perubahan tersebut harus mendapat perhatian yang besar mengingat saluran transmisi memiliki arti yang sangat penting dalam proses penyaluran daya. Masalah-masalah yang timbul pada saluran transmisi, diantaranya yang terutama adalah:

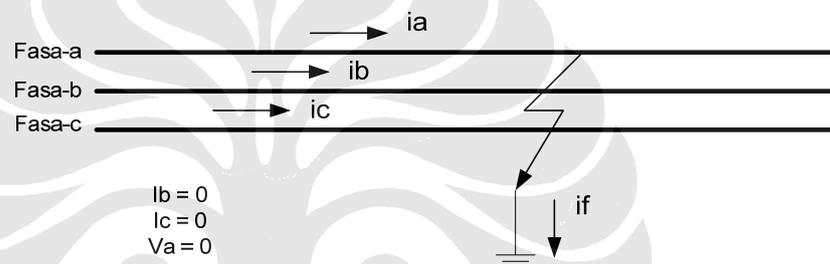
1. Pengaruh perubahan frekuensi sistem
2. Pengaruh dari ayunan daya pada sistem
3. Pengaruh gangguan pada sistem transmisi

2.2 GANGGUAN PADA SALURAN TRANSMISI

Gangguan pada rangkaian adalah semua kegagalan yang berhubungan dengan aliran arus ke beban. Berikut ini adalah gangguan di saluran transmisi:

- Gangguan satu fasa ke tanah

Gangguan satu fasa ke tanah merupakan jenis gangguan yang sering terjadi. Gangguan ini merupakan 85% dari total gangguan pada transmisi saluran udara. Contoh gangguan satu fasa ke tanah adalah gangguan akibat adanya pohon yang menimpa salah satu fasa pada saluran transmisi tenaga listrik. Pada saat terjadi gangguan satu fasa ke tanah pada fasa a maka $I_b = 0$, $I_c = 0$ dan $V_a = 0$, jika digambar menjadi :



Gambar 2.2 Ilustrasi Gangguan satu fasa ke tanah

sehingga persamaan arus dan tegangannya menjadi seperti berikut :

maka diperoleh $I_{a1} = I_{a2} = I_{a0}$

$$V_a = V_{a0} + V_{a1} + V_{a2} = -I_{a1} Z_0 + E_a - I_{a1} Z_1 - I_{a1} Z_2 = 0$$

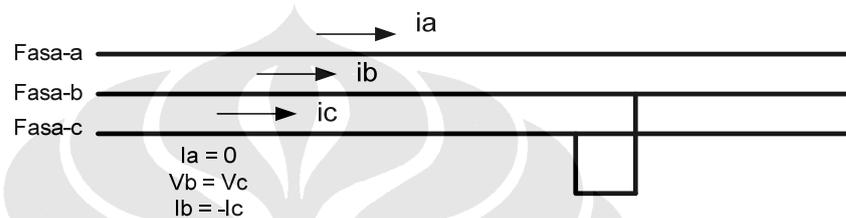
sehingga diperoleh

$$I_{a1} = \frac{E_a}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \dots\dots\dots (2.1)$$

Karena terdapat hubungan dengan tanah maka pada gangguan satu fasa ke tanah mengalir arus I_{a0} . Sedangkan bila tidak terdapat hubungan dengan tanah seperti gangguan dua fasa maka arus I_{a0} tidak ada atau $I_{a0} = 0$.

- Gangguan dua fasa

Gangguan dua fasa biasanya disebabkan oleh adanya kawat putus dan mengenai fasa lain. Pada gangguan ini, fasa yang terganggu adalah fasa b dan fasa c. Tetapi pada gangguan dua fasa ini tidak terhubung dengan tanah sehingga arus urutan nol I_0 bernilai nol. Pada gangguan dua fasa yaitu fasa b dan fasa c yang terganggu berlaku hubungan sebagai berikut $V_b = V_c$, $I_a = 0$, dan $I_b = -I_c$, jika digambar menjadi:



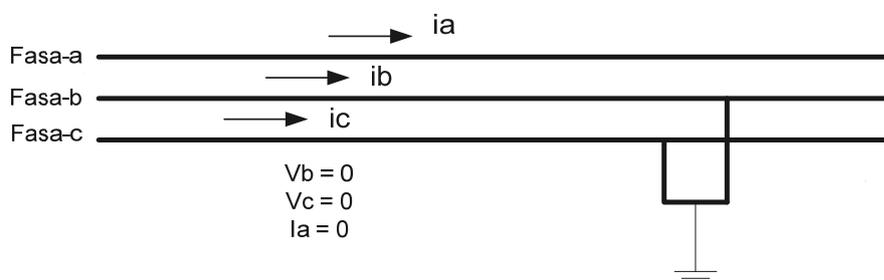
Gambar 2.3 Ilustrasi Gangguan dua fasa

Dengan generator dihubungkan dengan tanah maka Z_0 bernilai tertentu sehingga $V_{a0} = 0$. Dengan menggunakan persamaan $V_{a1} = V_{a2}$ diperoleh $0 = E_a - I_{a1} Z_1 - I_{a1} Z_2$ sehingga dengan penyelesaian untuk I_{a1} diperoleh:

$$I_{a1} = \frac{E_a}{Z_1 + Z_2} \dots\dots\dots(2.2)$$

- Gangguan dua fasa ke tanah

Pada gangguan dua fasa ke tanah dengan fasa yang terganggu adalah fasa b dan fasa c maka $V_b = 0$, $V_c = 0$ dan $I_a = 0$,



Gambar 2.4 Ilustrasi Gangguan dua fasa ke tanah

Persamaannya menjadi sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

sehingga diperoleh $V_{a1} = V_{a2} = V_{a0}$.

$$\begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ E_a \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} Z_0 & 0 & 0 \\ 0 & Z_1 & 0 \\ 0 & 0 & Z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix}$$

$$I_{a1} + I_{a2} + I_{a0} = I_a = 0$$

$$\frac{E_a}{Z_0} - I_{a1} \frac{Z_1}{Z_0} + \frac{E_a}{Z_1} - I_{a1} + \frac{E_a}{Z_2} - I_{a1} \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{E_a}{Z_1}$$

sehingga diperoleh

$$I_{a1} = \frac{E_a}{Z_1 + Z_2 Z_0 / (Z_2 + Z_0)} \dots \dots \dots (2.3)$$

Pada gangguan dua fasa ke tanah mengalir arus I_{a0} karena terdapat hubungan dengan tanah.

- Gangguan gangguan tiga fasa.

Gangguan tiga fasa merupakan gangguan simetris, karena kesimetrisan tegangan dan arus pada saat terjadinya gangguan. Jenis gangguan ini dapat disebabkan oleh kegagalan isolasi pada peralatan atau adanya *flashover* pada saluran yang disebabkan oleh petir atau kesalahan operasi dari petugas. Gangguan ini merupakan jenis gangguan yang paling jarang terjadi namun harus diperhitungkan dalam perencanaan, karena gangguan ini mengakibatkan mengalirnya arus yang sangat tinggi pada peralatan proteksi sehingga harus dapat dideteksi oleh rele.

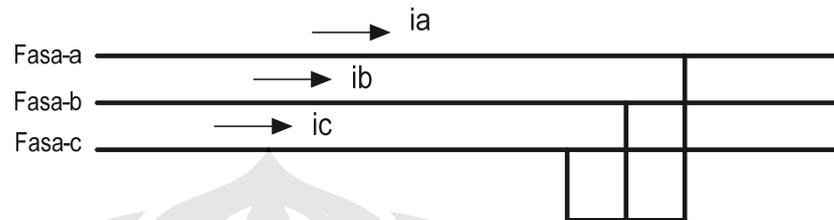
Sifat arus gangguan simetris ialah transien, artinya arus gangguan akan menuju ke keadaan *steady state*, tetapi tetap terganggu. Pada gangguan tiga fasa, karena kesimetrisannya maka secara teori tidak akan terdapat arus I_0 dan I_2 , sehingga persamaan arusnya menjadi :

$$I_A = I_{A1} \dots\dots\dots(2.4)$$

$$I_B = \alpha^2 I_{A1} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$I_C = \alpha I_{A1} \dots\dots\dots(2.6)$$

Untuk lebih jelasnya perhatikan gambar berikut :



Gambar 2.5 Ilustrasi Gangguan tiga fasa

Berdasarkan gambar 2.5 maka kita bisa mengambil kesimpulan bahwa :

$$I_a + I_b + I_c = 0 \dots\dots\dots(2.7)$$

$$V_a = V_b = V_c \dots\dots\dots(2,8)$$

2.3 SISTEM PROTEKSI

Proteksi sistem tenaga listrik adalah pengisolasian kondisi abnormal pada sistem tenaga listrik untuk meminimalkan pemadaman dan kerusakan yang lebih lanjut. Kerja dari sistem proteksi membutuhkan dua hal yang saling berkaitan yaitu :

- Sistem tenaga listrik harus mempunyai Circuit Breaker (CB) dengan jumlah yang cukup untuk melaksanakan tugas pengisolasian
- Setiap CB dilengkapi alat pengendali yang dapat mendeteksi keadaan abnormal, dan hanya mengaktifkan CB yang diperlukan untuk mengisolasi kondisi abnormal, hal ini dikenal dengan “*selective fault clearance*”.

Untuk dapat melakukan *selective fault clearance*, rele proteksi harus diberi informasi yang memungkinkan untuk membedakan antara kondisi abnormal yang berada di dalam zona tanggung jawabnya (dimana harus terjadi *tripping*), dan gangguan eksternal atau arus beban normal (dimana tidak boleh terjadi *tripping*).

Rele proteksi sebagai komponen utama sistem proteksi tenaga listrik dalam melaksanakan tugasnya yaitu untuk mengidentifikasi gangguan, harus memenuhi beberapa persyaratan keandalan (*reliability*), yaitu:

1) Sensitivitas

Merupakan kemampuan sistem proteksi untuk mengidentifikasi adanya ketidaknormalan atau gangguan yang berada di dalam daerah yang diproteksinya.

2) Selektivitas

Koordinasi dari sistem proteksi, dimana jika terjadi gangguan, rele hanya membuka pemutus tenaga yang diperlukan saja (tidak menyebabkan pemutusan/pemadaman jaringan yang lebih luas).

3) Keamanan

Kemampuan sistem proteksi untuk menjamin peralatan proteksi akan bekerja jika terjadi suatu gangguan dan tidak akan bekerja jika tidak terjadi gangguan.

4) Kecepatan

Ketika terjadi gangguan, komponen proteksi harus dapat memberikan respon waktu yang tepat, sesuai dengan koordinasi yang diinginkan.

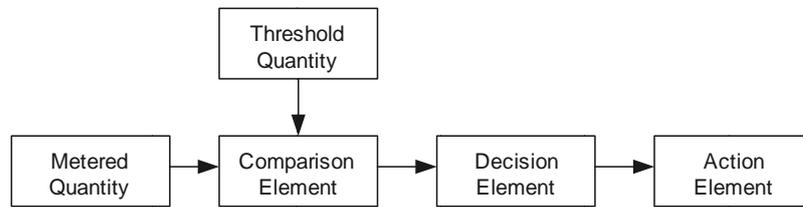
5) Stabil

Proteksi yang ada tidak mempengaruhi sistem pada kondisi normal.

2.4 KOMPONEN - KOMPONEN PROTEKSI

Sistem proteksi tenaga listrik pada umumnya terdiri dari beberapa komponen yang di rancang untuk mengidentifikasi kondisi sistem tenaga listrik dan bekerja berdasarkan informasi yang diperoleh dari sistem tersebut seperti arus, tegangan, atau sudut fasa antara keduanya. Informasi yang diperoleh dari sistem tenaga listrik akan digunakan untuk membandingkan besarnya dengan besaran ambang-batas (*threshold setting*) pada peralatan proteksi. Apabila besaran yang diperoleh dari sistem melebihi pengaturan ambang batas peralatan proteksi, maka sistem proteksi akan bekerja untuk mengamankan kondisi tersebut. Peralatan proteksi pada umumnya terdiri dari beberapa elemen yang dirancang

untuk mengamati kondisi sistem dan melakukan suatu tindakan berdasarkan kondisi sistem yang diamatinya (gambar 2.6).



Gambar 2.6 Elemen proteksi sistem tenaga listrik

Waktu pemutusan gangguan merupakan waktu total yang dibutuhkan peralatan proteksi sampai terbukanya pemutus tenaga atau disebut juga *fault clearing time* [2].

$$T_c = T_p + T_d + T_a \dots \dots \dots (2.9)$$

Keterangan :

T_c = waktu pemutusan

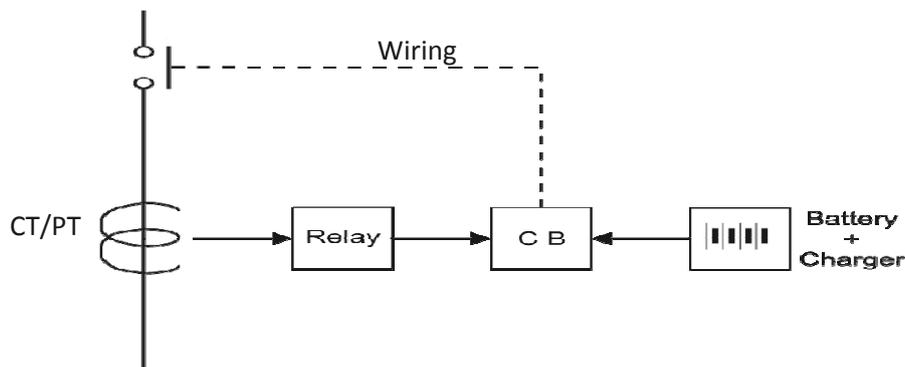
T_p = waktu perbandingan

T_d = waktu mengambil keputusan

T_a = waktu mengambil tindakan, termasuk waktu operasi CB

Waktu pemutusan gangguan merupakan salah satu faktor yang sangat penting dalam menentukan suatu skema proteksi. Hal ini dikarenakan suatu peralatan proteksi harus dikoordinasikan waktunya dengan peralatan proteksi yang lain agar hanya peralatan proteksi yang paling dekat dengan gangguan saja yang bekerja (prinsip selektivitas).

Berikut adalah gambar sistematis dari komponen-komponen proteksi tenaga listrik:



Gambar 2.7 Komponen proteksi sistem tenaga listrik

2.4.1 Trafo instrumen

a. *Current Transformer* (CT) / Trafo Arus

Current Transformer adalah suatu perangkat listrik yang berfungsi menurunkan arus yang besar menjadi arus dengan ukuran yang lebih kecil. CT digunakan karena dalam pengukuran arus tidak mungkin dilakukan langsung pada arus beban atau arus gangguan, hal ini disebabkan arus sangat besar dan bertegangan sangat tinggi. Karakteristik CT ditandai oleh *Current Transformer Ratio* (CTR) yang merupakan perbandingan antara arus yang dilewatkan oleh sisi primer dengan arus yang dilewatkan oleh sisi sekunder.

b. *Potential Transformer* (PT) / Trafo Tegangan

Potential Transformer adalah suatu peralatan listrik yang berfungsi menurunkan tegangan yang tinggi menjadi tegangan yang lebih rendah yang sesuai dengan pengaturan relay. Trafo ini juga memiliki angka perbandingan lilitan/tegangan primer dan sekunder yang menunjukkan kelasnya.

2.4.2 Rele / Relay

Rele / *Relay* berasal dari teknik telegrafi, dimana sebuah inti diisi oleh arus lemah, dan inti ini menarik medan untuk menutup kontak. Rele merupakan jantung dari proteksi sistem tenaga listrik, dan telah berkembang menjadi peralatan yang rumit. Rele dibedakan dalam dua kelompok :

1. Komparator: Mendeteksi dan mengukur kondisi abnormal, dan membuka/menutup kontak (trip).
2. Auxiliary relays: dirancang untuk dipakai di *auxiliary circuit* yang dikontrol oleh rele komparator, dan membuka/menutup kontak-kontak lain (yang umumnya berarus kuat).

Berdasarkan fungsinya, rele dapat diklasifikasikan menjadi:

1. Overcurrent relay

Rele ini berfungsi mendeteksi kelebihan arus yang mengalir pada zona proteksinya.

2. Differential relay

Rele ini bekerja dengan membandingkan arus sekunder transformator arus (CT) yang terpasang pada terminal-terminal peralatan listrik dan rele ini aktif jika terdapat perbedaan pada arus sirkulasi.

3. Directional relay

Rele ini berfungsi mengidentifikasi perbedaan fasa antara arus yang satu dengan yang lain atau perbedaan fasa antar tegangan. Rele ini dapat membedakan apakah gangguan yang terjadi berada di belakang (*reverse fault*) atau di depan (*forward fault*).

4. Distance relay

Rele ini berfungsi membaca impedansi yang dilakukan dengan cara mengukur arus dan tegangan pada suatu zona apakah sesuai atau tidak dengan batas pengaturannya

5. Ground fault relay

Rele ini digunakan untuk mendeteksi gangguan ke tanah atau lebih tepatnya mengukur besarnya arus residu yang mengalir ke tanah.

Terdapat beberapa keadaan operasi rele, yaitu:

Operate: Kondisi dimana relay tersebut memerintahkan peralatan proteksi untuk bekerja

Pick-up: Kondisi saat relay mulai mendeteksi adanya kenaikan arus atau tegangan pada sistem

Drop-out: Kondisi dimana relay tidak merasakan gangguan lagi. Pada kondisi ini, relay membuka *normally open contact*

Reset: Kondisi dimana relay di-kembalikan ke keadaan semula (*reset relay flag*). Pada kondisi ini rele menutup kontak dari rele *closed contact*.

2.4.3 Circuit Breaker (CB)

Circuit Breaker (CB) adalah salah satu peralatan pemutus daya yang berguna untuk memutuskan dan menghubungkan rangkaian listrik dalam kondisi terhubung ke beban secara langsung dan aman, baik pada kondisi normal maupun saat terdapat gangguan. Berdasarkan media pemutus listrik / pemadam bunga api, terdapat empat jenis CB sbb:

1. *Air Circuit Breaker* (ACB), menggunakan media berupa udara.
2. *Vacuum Circuit Breaker* (VCB), menggunakan media berupa vakum.
3. *Gas Circuit Breaker* (GCB), menggunakan media berupa gas SF₆.
4. *Oil Circuit Breaker* (OCB), menggunakan media berupa minyak.

Berikut ini adalah syarat-syarat yang harus dipenuhi oleh suatu peralatan untuk menjadi pemutus daya :

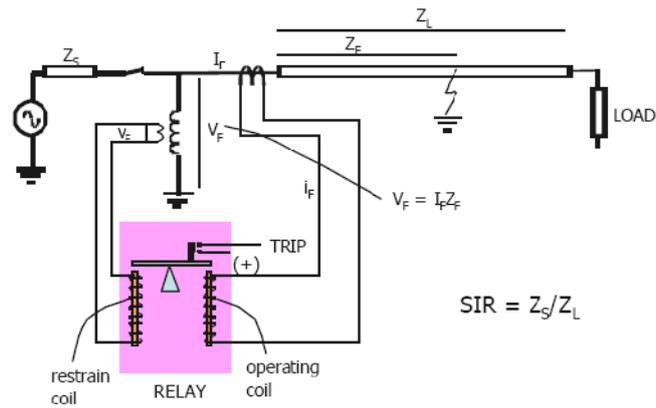
- a. Mampu menyalurkan arus maksimum sistem secara kontinu.
- b. Mampu memutuskan atau menutup jaringan dalam keadaan berbeban ataupun dalam keadaan hubung singkat tanpa menimbulkan kerusakan pada pemutus daya itu sendiri.
- c. Mampu memutuskan arus hubung singkat dengan kecepatan tinggi.

2.4.4 *DC System Power Supply*

DC System Power Supply merupakan pencatu daya cadangan yang terdiri dari *Battery Charger*, sebagai peralatan yang mengubah tegangan AC ke DC, dan *Battery*, sebagai penyimpan daya cadangan. Sebagai peralatan proteksi, *DC System Power Supply* merupakan peralatan yang sangat vital karena jika terjadi gangguan dan kontak telah terhubung, maka *DC System Power Supply* akan bekerja yang menyebabkan CB membuka. *Charger* sebenarnya adalah sumber utama dari *DC power supply*, karena *charger* adalah alat untuk merubah *AC power* menjadi *DC power* (rectifier).

2.5 RELE JARAK

Rele jarak (*distance relay*) merupakan proteksi yang paling utama pada saluran transmisi. Rele jarak menggunakan pengukuran tegangan dan arus untuk mendapatkan impedansi saluran yang harus diamankan. Jika impedansi yang terukur di dalam batas pengaturannya, maka rele akan bekerja. Disebut rele jarak, karena impedansi pada saluran besarnya akan sebanding dengan panjang saluran. Oleh karena itu, rele jarak tidak tergantung oleh besarnya arus gangguan yang terjadi, tetapi tergantung pada jarak gangguan yang terjadi terhadap rele proteksi. Impedansi yang diukur dapat berupa Z, R saja ataupun X saja, tergantung jenis rele yang dipakai.



Gambar 2.8 Balance beam distance relay

Rele jarak pada umumnya telah dilengkapi elemen *directional* untuk menentukan arah atau letak gangguan sehingga membuat rele menjadi lebih selektif. Gambar 2.8 menjelaskan secara sederhana prinsip kerja rele jarak elektromekanis yang didisain agar torsi operasi (*operating torque*) sebanding dengan arus yang terukur dan torsi penyeimbang (*restraint torque*) sebanding dengan tegangan yang terukur. Ketika terjadi gangguan akan timbul arus yang besarnya relatif terhadap tegangannya sehingga rasio V/I (impedansi) menjadi lebih kecil dan torsi operasi yang dihasilkan akan lebih besar daripada torsi penyeimbang. Kondisi ini akan menyebabkan kontak rele tertutup (trip).

2.6 Prinsip Kerja Rele Jarak

Rele jarak mengukur tegangan pada titik relai dan arus gangguan yang terlihat dari rele, dengan membagi besaran tegangan dan arus, maka impedansi sampai titik terjadinya gangguan dapat ditentukan. Perhitungan impedansi dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

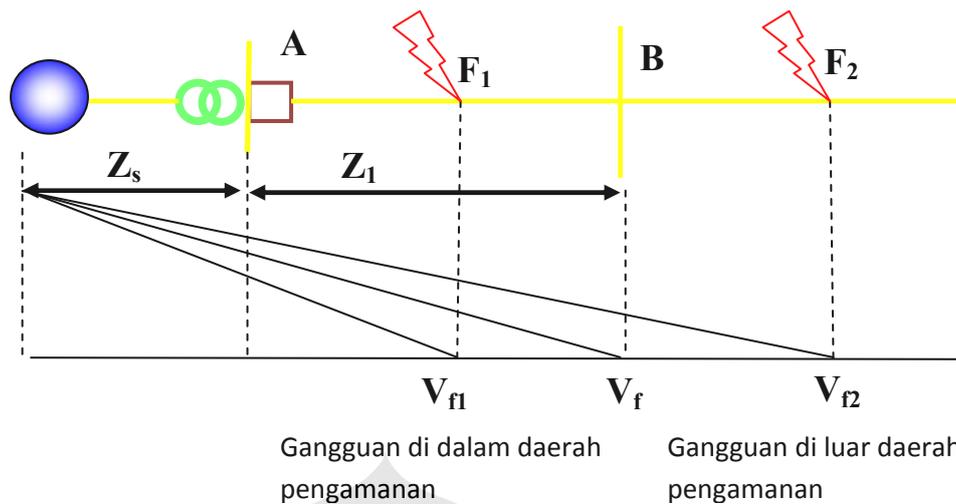
$$Z_f = V_f / I_f \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana: Z_f = Impedansi (ohm)

V_f = Tegangan (Volt)

I_f = Arus gangguan (Ampere)

Rele jarak didesain untuk bekerja jika impedansi yang dilihat oleh rele lebih kecil dari impedansi pengaturannya.



Gambar 2.9 Prinsip kerja rele jarak terhadap adanya gangguan

Untuk gangguan di B (daerah batas pengamanan) tegangan yang terukur oleh rele adalah: $V_f = I_f \cdot Z_1$. Sehingga perbandingan antara tegangan dan arus gangguan di A adalah: $(V_f / I_f) = (I_f \cdot Z_1) / I_f = Z_1$. Untuk daerah gangguan di:

- a. di F1 (di dalam daerah pengamanan), tegangan yang terukur oleh rele A adalah: $V_{f1} = I_{f1} \cdot Z_{11}$ dan perbandingan tegangan dan arus gangguan di A

adalah:
$$\frac{V_{f1}}{I_{f1}} = \frac{I_{f1} \cdot Z_{11}}{I_{f1}} = Z_{11} \dots\dots\dots(2.11)$$

Karena $V_{f1} < V_f$ dan $I_{f1} > I_f$ maka $Z_{11} \leq Z_1$ sehingga rele akan bekerja.

➤ restrain < operating = operate (rele bekerja)

- b. di F2 (di luar daerah pengamanan), tegangan yang terukur oleh rele A adalah: $V_{f2} = I_{f2} \cdot Z_{12}$ dan perbandingan tegangan dan arus gangguan di A adalah:

$$\frac{V_{f2}}{I_{f2}} = \frac{I_{f2} \cdot Z_{12}}{I_{f2}} = Z_{12} \dots\dots\dots(2.12)$$

Karena $V_{f2} > V_f$ dan $I_{f2} > I_f$ maka $Z_{12} > Z_1$ sehingga rele tidak akan bekerja.

➤ restrain > operating = restrain (rele tidak bekerja)

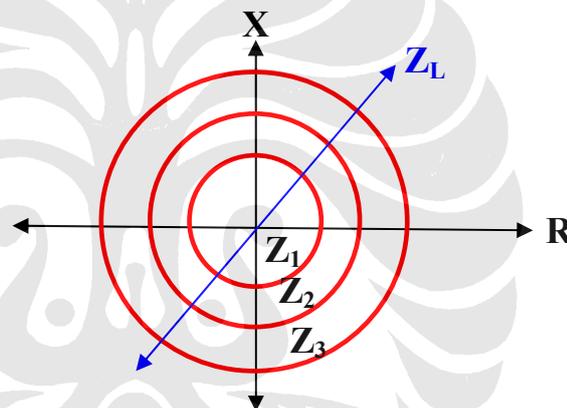
2.7 KARAKTERISTIK KERJA RELE JARAK

Rele jarak dapat diklasifikasi berdasarkan karakteristik impedansi (R-X) di dalam koordinat polar, jumlah input atau masukan rele, dan metode yang digunakan untuk membandingkan input tersebut. Umumnya metode yang

digunakan adalah dengan membandingkan dua input (dapat berupa besaran atau sudut fasa) untuk menentukan apakah gangguan yang terjadi berada di dalam atau di luar daerah kerja rele. Rele jarak memiliki beberapa karakteristik kerja, diantaranya adalah mho, impedansi, reaktansi dan quadrilateral.

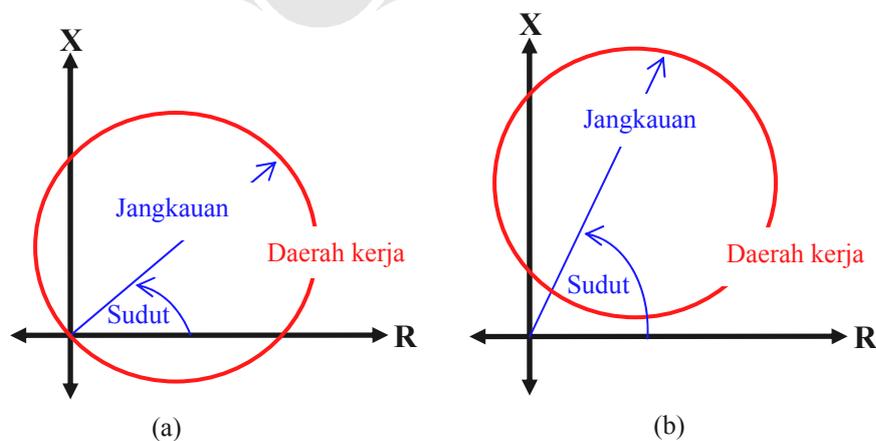
2.7.1 Karakteristik Impedansi

Karakteristik rele ini mempunyai lingkaran dengan titik pusatnya di tengah-tengah. Kelemahan rele ini yaitu tidak berarah, karena kedua besaran yang dibandingkan yaitu arus dan tegangan dibangkitkan secara mekanis, masing-masing kopel yang dibangkitkan tidak tergantung fasanya. Rele akan bekerja untuk gangguan di depan dan di belakang rele. Oleh karena itu rele ini harus dilengkapi dengan rele arah untuk digunakan sebagai rele pengukur.



Gambar 2.10 Karakteristik kerja Impedansi

2.7.2 Karakteristik Mho atau admitansi

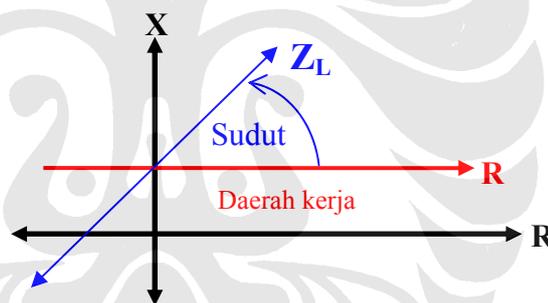


Gambar 2.11 Karakteristik kerja Mho

Karakteristik rele jarak ini dapat digambarkan dalam diagram R-X merupakan suatu lingkaran yang melalui titik pusat yang ditunjukkan pada gambar 2.11(a). Dari diagram tersebut terlihat karakteristik rele ini sudah berarah, sehingga pada rele jenis ini tidak perlu ditambahkan elemen penyearah karena rele hanya akan mengamankan gangguan didepannya. Rele jarak jenis Mho ini dapat digeser karakteristik kerjanya dengan memasukan faktor arus pada trafo arus pembantu dan impedansi pada kumparan tegangan sehingga karakteristiknya menjadi seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.11 (b).

2.7.3 Karakteristik Reaktansi

Pada karakteristik rele jarak ini, impedansi yang dilihat rele tidak memperhatikan adanya tahanan busur, karena dianggap tahanan busur untuk berbagai gangguan hampir sama. Rele ini hanya untuk mengukur komponen reaktif dari impedansi jaringan. Berikut gambar dari Karakteristik reaktansi:



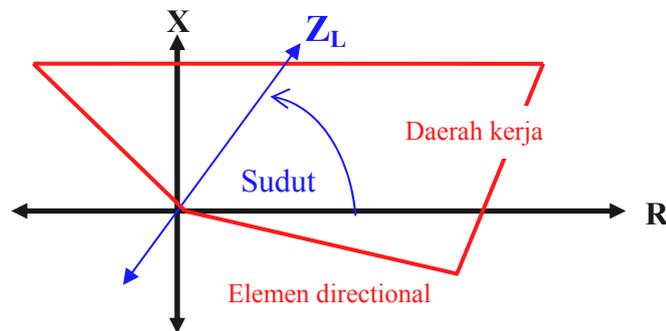
Gambar 2.12 Karakteristik kerja Reaktansi

Rele akan bekerja jika reaktansi yang dilihat rele lebih kecil dari reaktansi yang diatur. Karakteristik rele ini kurang dipengaruhi adanya tahanan busur sewaktu terjadinya gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah sehingga baik digunakan untuk pengamanan gangguan tanah.

2.7.4 Karakteristik Quadrilateral

Karakteristik kerja quadrilateral dapat dibentuk dengan menentukan setelan *forward reach* dan *resistive reach* yang masing-masing dapat di setel independen. Gambar 2.13 menunjukkan 4 pengaturan batasan atau jangkauan karakteristik kerja quadrilateral. Empat pengaturan batas rele yaitu batas paling atas menunjukkan pengaturan jangkauan reaktansi, kemudian batas kiri dan kanan

yaitu pengaturan jangkauan resistansi positif dan resistansi negatif serta batas bawah menunjukkan elemen *directional*.



Gambar 2.13 Karakteristik kerja Quadrilateral

Rele dengan karakteristik quadrilateral akan bekerja apabila impedansi yang terukur oleh rele berada di dalam bidang yang dibatasi oleh empat garis yang telah disebutkan di atas. Quadrilateral mempunyai jangkauan resistansi yang lebih luas daripada karakteristik mho. Karakteristik kerja quadrilateral mempunyai kelebihan dalam hal pengukuran impedansi untuk gangguan ke tanah atau *ground fault*. Gangguan ke tanah, mempunyai resistansi yang cukup tinggi yang di akibatkan oleh busur api (*resistive arc*) dan impedansi ke tanah itu sendiri sehingga menyebabkan resistansi gangguan ke tanah mempunyai nilai yang cukup signifikan.

2.8 PENGATURAN RELE JARAK

Pengaturan rele jarak berdasarkan pada daerah atau zona dari saluran transmisi yang akan diproteksi. Zona ini menggambarkan seberapa panjang saluran yang diproteksi oleh pengaman jarak. Secara umum, zona pada proteksi rele jarak terdiri dari tiga zona, yaitu:

- a. Zona 1 : mengamankan saluran yang diproteksi (*protected line*)
Pengaturannya adalah 80-85 % impedansi saluran yang diproteksi.
- b. Zona 2 : mengamankan saluran yang diproteksi (*protected line*) dan saluran sebelahnya (*adjacent line*)
Pengaturannya adalah 115-120 % impedansi saluran yang diproteksi.

- c. Zona 3: mengamankan saluran sebelahnya (*adjacent line*)
Pengaturannya adalah saluran yang diproteksi ditambah 115-120 persen saluran sebelahnya (*adjacent line*).

Ada dua hal yang harus dikoordinasikan dalam penyetelan rele jarak yaitu:

1. Koordinasi antara rele salah satu ujung dengan rele ujung lainnya dalam satu saluran yang diamankan sehingga jika rele pada salah satu ujung saluran yang diamankan bekerja seketika, maka rele pada ujung yang lain akan bekerja seketika pula.
2. Koordinasi antara suatu rele dengan rele seksi berikutnya, sehingga tidak terjadi tumpang tindih (*overlapping*) dengan pengamanan seksi berikutnya ataupun jika terjadi tumpang tindih dilakukan perlambatan waktu untuk rele yang bukan pada daerah pengamanannya.

2.9 POLA DASAR KOORDINASI RELE JARAK

Pola dasar koordinasi rele merupakan basis perhitungan pengaturan rele yang digunakan untuk semua koordinasi rele. Pada metoda ini daerah kerja rele dibagi menjadi 3 zona pengamanan.

a. Pengamanan zona 1

Daerah ini harus dapat menjangkau sejauh mungkin dari saluran yang diamankan tetapi tidak boleh melampauinya supaya tidak terjadi tumpang tindih dengan pengamanan seksi berikutnya. Berdasarkan perkiraan kesalahan-kesalahan dari trafo arus, trafo tegangan atau kesalahan relenya sendiri maka zona 1 ini diatur untuk mengamankan sekitar 80 - 85 % dari daerah yang diamankan.

$$z_1 = \alpha \cdot Z_{11} \dots\dots\dots(2.13)$$

dengan $\alpha = 0,8 - 0,5$

Pengamanan zona 1 merupakan pengamanan utama sehingga rele harus bekerja cepat, teliti dan dapat menentukan arah dengan betul. Waktu kerja rele zona ini adalah seketika tanpa perlambatan waktu. Biasanya kecepatan pada daerah ini adalah 20 ms - 80 ms.

b. Pengamanan zona 2

Tujuan pengamanan zona 2 adalah:

- Mengamankan sisa saluran yang tidak dapat diamankan oleh zona 1 sehingga zona 2 harus dipastikan dapat mencapai rele ujung saluran yang diamankan walaupun misalnya terjadi kesalahan yang menyebabkan rele menjangkau kurang. Batasan ini menentukan pengaturan minimum rele untuk zona 2 yaitu : $Z_{2 \min} = \beta \cdot Z_{11}$ dengan β antara 1,15 - 1,2.
- Merupakan pengaman cadangan untuk zona 1 seksi berikutnya sehingga zona 2 ini sejauh mungkin menjangkau zona 1 saluran seksi berikutnya tetapi tidak tumpang tindih dengan zona 2 seksi berikutnya. Sehingga pengaturan maksimum dari zona 2 adalah: $Z_{2 \max} = \alpha (Z_{11} + \alpha \cdot k \cdot Z_{12})$. Dengan $\alpha = 0,8 - 0,85$ dan k menyatakan faktor *infeed*. Jika pada seksi berikutnya terdapat beberapa cabang maka pengaturan impedansi $Z_{2 \max}$ diambil saluran transmisi dengan impedansi terkecil yang dilihat rele.

Karena penyetelan zona 2 ini tumpang tindih dengan zona 1 seksi berikutnya maka waktu kerja rele diperlambat dengan waktu tertentu. Jika terjadi $Z_{2 \min}$ lebih besar dari $Z_{2 \max}$ atau bila saluran transmisi yang diamankan jauh lebih panjang dari saluran seksi berikutnya maka supaya pengamanan tetap selektif diambil pengaturan minimum tetapi perlambatan waktunya ditambah menjadi satu tingkat diatas perlambatan waktu normal.

Untuk mengecek apakah jangkauan zona 2 tidak mencapai rele sisi tegangan rendah transformator daya diujung sisi saluran yang diamankan maka Z_2 harus dibandingkan dengan $Z_{2 \text{ TR}}$, dimana $Z_{2 \text{ TR}} = \alpha \cdot (Z_{11} + \alpha \cdot k \cdot Z_T)$:

- Jika $Z_2 < Z_{2 \text{ TR}}$ artinya zona 2 rele tidak menjangkau sisi tegangan rendah, maka diambil pengaturan zona 2 adalah Z_2 .
- Jika $Z_2 > Z_{2 \text{ TR}}$ artinya zona 2 rele menjangkau sisi tegangan rendah maka terdapat dua kemungkinan:
 1. Jika zona 2 diharuskan menjadi pengaman cadangan seluruh zona 1 saluran seksi berikutnya maka pengaturan zona 2 diambil Z_2 tetapi waktunya harus dikoordinasikan dengan pengaman pada sisi tegangan rendah transformator daya.

2. Jika zona 2 tidak harus menjadi pengaman cadangan seluruh zona 1 saluran seksi berikutnya karena sudah ada pengaman cadangan lain maka pengaturan zona 2 diambil Z_{2TR} dan tidak perlu ada koordinasi waktu dengan pengaman sisi tegangan rendah transformator daya.

c. Pengamanan zona 3

Merupakan pengamanan cadangan untuk seluruh seksi berikutnya sehingga jangkauan zona 3 ini harus dapat mencapai ujung saluran seksi berikutnya tetapi tidak boleh tumpang tindih dengan zona 3 seksi berikutnya. Disamping itu jangkauan zona 3 diusahakan tidak mencapai rele yang terletak setelah trafo daya pada rel diujung saluran yang diamankan. Sehingga pengaturan rele zona 3 adalah sebagai berikut:

$$\triangleright Z_{3\min} = \beta \cdot (Z_{11} + Z_{12}) \dots\dots\dots(2.14)$$

$$\triangleright Z_{3\max} = \alpha \cdot [Z_{11} + k \cdot \alpha \cdot (Z_{12} + k \cdot \alpha \cdot Z_{13})] \dots\dots\dots(2.15)$$

$$\triangleright Z_{3TR} = \alpha \cdot (Z_{11} + k \cdot Z_T) \dots\dots\dots(2.16)$$

Karena pengaturan zona 3 ini tumpang tindih dengan pengamanan seksi berikutnya maka kerja rele juga diperlambat dengan waktu tertentu yang lebih lama dari perlambatan zona 2. Seperti pada pengaturan zona 2 jika terjadi $Z_{3\min}$ lebih besar dari $Z_{3\max}$, maka diambil pengaturan $Z_{3\min}$, dan perlambatan waktu t_3 dinaikkan satu tingkat dari perlambatan waktu normal.

seperti pada zona 2 untuk mengecek apakah jangkauan zona 3 tidak mencapai rele sisi tegangan rendah transformator daya diujung sisi saluran yang diamankan jika Z_3 lebih besar dari Z_{3TR} dan zona 3 rele harus dipastikan menjangkau sisi ujung saluran seksi berikutnya maka pengaturan zona 3 diambil Z_3 dan pengaturan waktunya (t_3) harus dikoordinasikan dengan rele di sisi tegangan rendah transformator dayanya.

d. Kompensasi gangguan tanah:

Terdapatnya resistansi yang besar pada waktu terjadi gangguan hubung singkat ke tanah harus diperhitungkan dalam pengaturan rele. Besarnya kompensasi tersebut adalah:

$$K_N = \frac{Z_{10} - Z_{11}}{3 \cdot Z_{11}} \dots\dots\dots(2.17)$$

dengan Z_{10} merupakan irmpedansi saluran urutan nol dan Z_{11} adalah impedansi saluran urutan positif. Faktor kompensasi tersebut dijadikan pengali terhadap penyetelan zona 1, zona 2, dan zona 3 jika terjadi gangguan tanah yang dideteksi oleh pendeteksi gangguan tanah (*ground fault detector*).

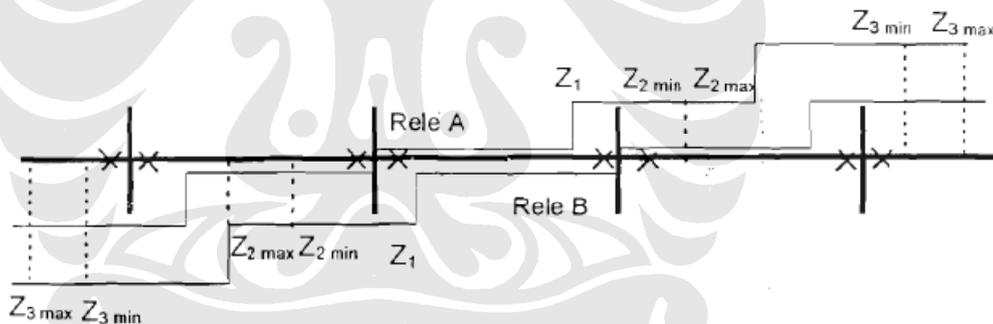
e. Jangkauan resistif

Jangkauan resistif harus diatur untuk mengantisipasi adanya gangguan tanah, yang terdiri dari tahanan busur dan tahanan pentanahan sehingga jangkauan resistif ini merupakan penjumlahan tahanan lup pada gangguan tanah dan asumsi tahanan gangguan, dimana tahanan lup pada gangguan tanah yaitu sebesar:

$$R_m = \frac{\alpha \cdot (R_0 + 2 \cdot R_1)}{3} \dots \dots \dots (2.18)$$

sehingga jangkauan resistif $R = R_m + R_f$.

Koordinasi ketiga zona pengamanan dasar dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2.14 Pembagian tiga zona pengamanan

Skema logika untuk pengamanan dasar adalah sebagai berikut:

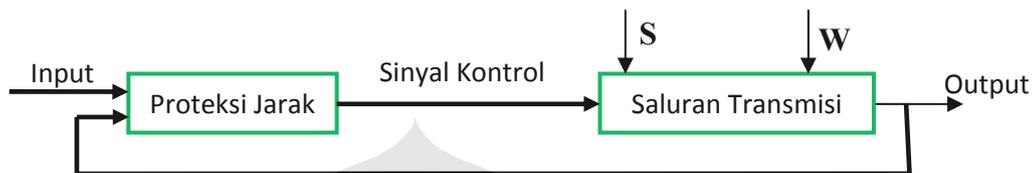


Gambar 2.15 Skema logika pengamanan dasar rele jarak

BAB 3

KONSEP ADAPTIF RELE JARAK

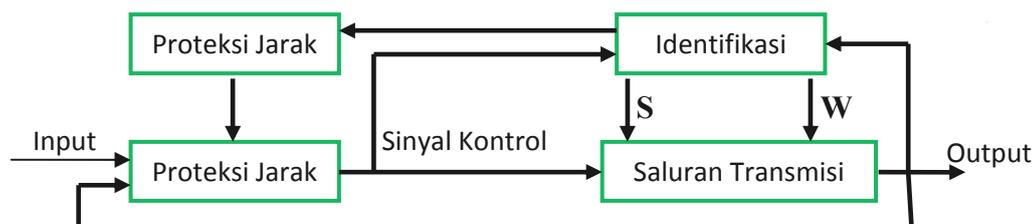
3.1 KONTROL RELE JARAK



Gambar 3.1 Skema kontrol rele jarak

Sistem kontrol untuk proteksi jarak dapat diilustrasikan seperti gambar 3.1. Input pengaturan merupakan set parameter yang menentukan karakteristik kerja dari peralatan proteksi. Sinyal kontrol mengoperasikan terbuka atau tertutupnya pemutus pada saluran transmisi. Output merupakan sinyal tegangan atau arus dari saluran yang akan digunakan sebagai masukan bagi rele. S merupakan masukan yang menyatakan keadaan gangguan pada saluran seperti jarak gangguan, jenis gangguan dan resistansi gangguan. W merupakan faktor-faktor lain yang mempengaruhi sistem daya. Kedua masukan ini memberikan pengaruh yang penting pada kinerja dari peralatan proteksi.

Tetapi adanya interferensi kadang-kadang membuat keadaan saluran yang diproteksi berubah drastis sehingga sulit untuk mengontrolnya hanya dengan lup utama dari sistem kontrol, sehingga diperlukan suatu pengontrolan proteksi yang secara otomatis menyesuaikan dengan perubahan keadaan saluran yang disebabkan adanya interferensi. Sebuah mekanisme adaptif perlu ditambahkan pada sistem kontrol gambar 3.1, sehingga sistem pengontrolannya menjadi sebagai berikut:



Gambar 3.2 Skema kontrol rele jarak dengan mekanisme adaptif

Penambahan mekanisme adaptif (identifikasi-keputusan-perubahan) pada sistem kontrol proteksi dimaksudkan untuk keperluan faktor-faktor yang tidak dapat diperkirakan atau tidak dapat ditentukan sehingga akan memperbaiki kinerja kontrol proteksi. Sistem ini dinamakan sistem proteksi jarak adaptif (ADPS).

3.2 KONSEP ADAPTIF KOORDINASI RELE JARAK

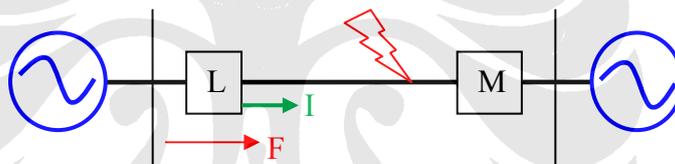
Dengan makin meningkatnya penggunaan saluran transmisi multi terminal dan tap maka kebutuhan akan perencanaan pola sistem proteksi yang dapat diandalkan semakin besar. Pemakaian pola transfer trip yang menggunakan kabel pilot dan saluran gelombang mikro telah banyak dikembangkan untuk mengatasi masalah dalam sistem proteksi ini. Penggunaan pembawa saluran tenaga (*power line carrier*, PLC) juga telah dicoba belakangan ini, walaupun hasilnya masih dalam perdebatan. Ada yang mengatakan hasilnya memuaskan dan sebagian lagi menyatakan kegagalan.

Pada penggunaan konsep pembawa saluran tenaga (PLC) dimana terdapat dua pola yaitu pola *transfer trip* dan pola *blocking*, kedua konsep ini mempunyai kelebihan dan kekurangannya. Masalah yang utama dalam pengiriman sinyal dari kedua konsep ini adalah bahwa sinyal trip ini akan dikirimkan setelah terjadinya gangguan. Sedangkan besarnya sinyal yang didapat dari adanya gangguan ini tergantung kepada karakteristik peredaman (*attenuation*) dari gangguan yang terjadi. Apakah besarnya sinyal yang dihasilkan ini mencukupi untuk mengoperasikan rele penerima tergantung kepada sensitivitas dari peralatan pembawanya. Adanya peredaman dari sinyal trip ini dapat menyebabkan informasi trip yang harus disampaikan kepada rele di terminal lawannya tidak sampai sehingga mengakibatkan rele tidak bekerja atau informasi tersebut mengalami perlambatan waktu. Apalagi jika digunakan peralatan penutup balik otomatis berkecepatan tinggi, sebelum zona 2 dari terminal lawan *pick-up* sinyal trip yang dikirimkan oleh rele ujung yang lain sudah berhenti karena adanya penghilangan gangguan yang cepat oleh penutup balik tersebut. Biasanya hal ini diatasi dengan memakai perlambatan (*delay*) dari sinyal yang dikirimkan tersebut sehingga informasi trip tetap sampai ke terminal lawan. Tetapi resikonya waktu penghilangan gangguan (*clearing time*) bertambah lama.

Dari uraian diatas masih diperlukannya koordinasi yang lebih dapat diandalkan mengingat saluran transmisi sangat penting perannya. Salah satu alternatif adalah penggunaan konsep adaptif yang dapat menghilangkan penggunaan kabel pilot tanpa mengurangi keandalan koordinasi rele. Beberapa konsep adaptif diperkenalkan disini.

3.2.1 Trip Seketika Sekuensial dengan Konsep Adaptif

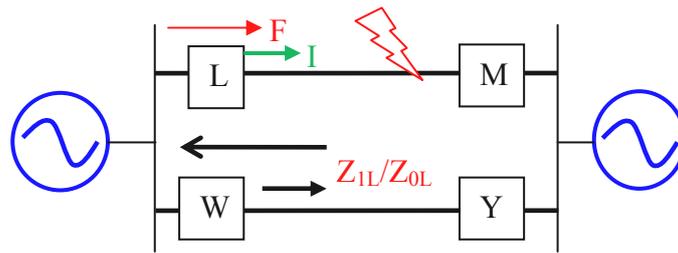
Yang dimaksud dengan trip seketika sekuensial adalah tripnya pemutus pada suatu terminal dengan kecepatan tinggi (seketika) karena terbukanya pemutus pada terminal lawannya. Prinsip kerja dari trip seketika sekuensial ini dengan mendeteksi adanya perubahan arus pada terminal, dipasangnya rele, karena terbukanya pemutus pada ujung terminal lawan yang digunakan sebagai sinyal masukan untuk trip seketika. Misalnya untuk model sistem sederhana sebagai berikut :



Gambar 3.3 Trip Sekuensial pada saluran tunggal

Pada kondisi adanya gangguan dekat terminal M maka pemutus M yang akan pertama bekerja (*open*) sehingga arus yang dirasakan oleh rele pada terminal L akan berubah dari I menjadi F. Perubahan ini dijadikan dasar bagi trip seketika pemutus L. Jika perubahan ini konsisten maka respon trip seketika akan diperoleh dengan pengurangan waktu penghilangan gangguan dari sekitar 0.35 detik menjadi 0,15 detik. Pada kasus ini penggunaan skema pilot dapat dihilangkan dan memungkinkan digunakannya peralatan penutup balik dengan kecepatan tinggi.

Untuk sistem transmisi dengan saluran ganda atau lebih seperti gambar 3.4, dasar trip seketika tidak hanya berdasarkan perubahan arus pada terminal L tetapi juga dengan melihat adanya arus balik pada pemutus (CB) disaluran yang lain.



Gambar 3.4 Trip Sekuensial pada saluran ganda

Pada gambar 3.4 untuk mendeteksi adanya trip pada pemutus M adalah dengan mendeteksi perubahan besar arus pada saluran L-M dan adanya perubahan arah arus pada saluran W-Y untuk gangguan internal. Untuk adanya gangguan diluar saluran L-M misalnya di dekat terminal Y sehingga saluran W-Y terbuka, rele di L tidak akan trip karena walaupun mendeteksi adanya perubahan arus pada saluran L-M tetapi sinyal dari perubahan arah arus saluran W-Y tidak ada.

Dengan adanya perubahan dari keadaan sistem daya maka logika pemutusan rele juga menyesuaikan dengan perubahan tersebut untuk mendapatkan pengamanan yang baik. Untuk sistem yang lebih kompleks maka logika yang digunakan juga mempertimbangkan banyak sinyal perubahan arus dari saluran-saluran yang lain.

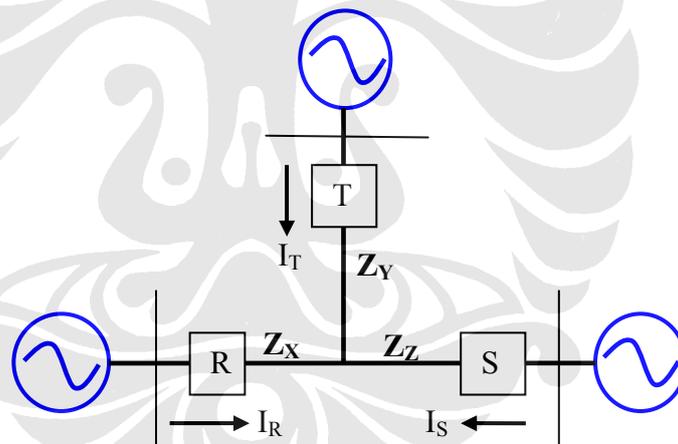
3.2.2 Rele Jarak Multi Terminal

Pengaturan rele jarak untuk saluran dengan banyak terminal dihasilkan dengan memerlukan lebih banyak pertimbangan dibandingkan dengan saluran dua terminal. Salah satu tujuan dari penggunaan sistem proteksi adaptif adalah untuk mendapatkan keandalan rele yang tinggi pada saluran multi-terminal seperti yang diperoleh, pada proteksi saluran dua terminal.

Arus yang mengalir dari terminal ketiga dari saluran transmisi dapat memberikan pengaruh yang besar kepada jangkauan rele. Kontribusi arus ini dapat berupa arus yang masuk ke saluran (*infeed*) atau yang ke luar saluran transmisi (*outfeed*). Pengaruh dari *infeed* yaitu akan memperbesar nilai impedansi yang dilihat oleh rele sehingga rele menjadi:

- Jangkauan kurang (*underreach*), yaitu impedansi yang dilihat rele seolah-olah lebih besar sehingga letak gangguan seolah-olah lebih jauh dari keadaan sebenarnya.
- Jangkauan lebih (*overreach*), yaitu impedansi yang dilihat rele seolah-olah lebih kecil sehingga letak gangguan seolah-olah lebih dekat dari keadaan sebenarnya.

Sementara zona 1 diatur untuk tidak *overreach* maka dengan adanya infeed ini jangkauan rele akan semakin berkurang. Cakupan dapat diperbaiki dengan menaikkan jangkauan rele ketika adanya *infeed* dengan memasukkan faktor *infeed* dalam pengaturan rele. Pengaturan rele juga dapat disesuaikan dengan perubahan distribusi arus yang dihasilkan dari perubahan sistem daya eksternal. Setiap waktu sistem berubah, model impedansi akan disesuaikan dan rasio *infeed* diperhitungkan sesuai letak gangguan. Misal untuk sistem tiga terminal sebagai berikut:



Gambar 3.5 Rangkaian Tiga Terminal

Zona 1 rele pada pemutus T diatur secara adaptif pada basis gangguan di 1 90% dari saluran yang diamankan untuk dua keadaan:

- a. Untuk pemutus S *open* maka zona 1 = $0,9 (Z_Y + Z_X)$
- b. Untuk pemutus R dan S *close* zona 1 = $0,9 (Z_Y + Z_X + Z_X I_S/I_T)$

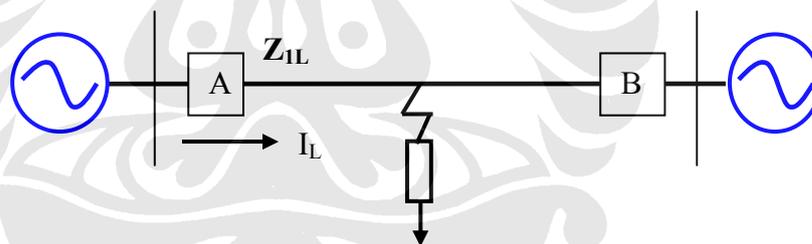
Sedang pengaturan zona 2 untuk basis gangguan di 2 adalah sebagai berikut:

- a. Untuk pemutus R *open* maka zona 2 = $1,2 (Z_Y + Z_Z)$
- b. Untuk pemutus R dan S *closed* zona 2 = $1,2 (Z_Y + Z_Z + Z_Z I_R/I_T)$

Dengan memperhitungkan adanya *infeed* ini pengaturan jangkauan zona 1 diperluas untuk rasio *infeed* yang tinggi, dan mencegah kelebihan jangkauan zona 2 untuk rasio *infeed* yang rendah. Metoda ini sama dengan penggunaan pola *underreaching transfertrip* sehingga penggunaan kabel pilot dapat dihilangkan.

3.2.3 Proteksi Adaptif Terhadap Gangguan Tanah

Salah satu masalah yang cukup sulit untuk diatasi dalam penyetelan rele jarak adalah adanya resistansi yang cukup besar waktu terjadinya gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah. Hal ini disebabkan besarnya arus gangguan yang tidak bisa diperkirakan besarnya. Pada koordinasi rele biasanya dilakukan pengaturan kompensasi terhadap gangguan tanah dengan acuan perkiraan tahanan yang akan timbul jika terjadi gangguan hubung singkat ke tanah, tetapi ini menjadi kurang efektif karena besarnya arus gangguan yang tidak bisa diperkirakan dengan tepat. Salah satu alternatif yang bisa dilakukan untuk mengatasi hal ini prinsip adaptif dapat digunakan untuk menghindari salah kerja akibat adanya tahanan gangguan tersebut. Misalnya terjadi hubung singkat ke tanah pada F:

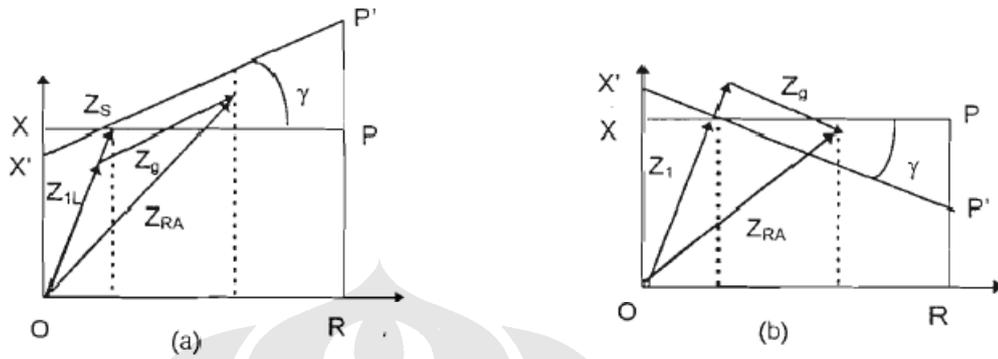


Gambar 3.6 Pengaruh Tahanan pada gangguan satu fasa ke tanah

Rele yang digunakan mempunyai karakteristik kuadrilateral (segiempat) seperti ditunjukkan pada gambar 3.7. Dua pengaruh yang disebabkan adanya tahanan gangguan ini adalah:

- a. Jika terjadi gangguan pada daerah yang diamankan, adanya Z_g yang bersifat induktif dapat menyebabkan tahanan yang terlihat rele menjadi lebih besar, $Z_{RA} = Z_{IL} + Z_g$. Sehingga impedansi yang terukur berada diatas karakteristik kuadrilateral yang menyebabkan rele tidak bekerja.

- b. Jika terjadi gangguan diluar daerah pengamanan dan Z_g bersifat kapasitif impedansi yang terukur oleh rele $Z_{RA} = Z_{IL} + Z_g$ akan terdapat di daerah karakteristik kuadrilateral sehingga rele akan bekerja.



Gambar 3.7 Karakteristik kuadrilateral terhadap adanya tahanan gangguan

Untuk membuat pengamanan tetap selektif, karakteristik rele harus disesuaikan dengan mengukur sudut fasa gangguan γ sehingga karakteristik rele diputar sebesar sudut γ tersebut dengan pengaturan impedansi Z_s , sebagai poros. Pada gambar terlihat karakteristik rele mula-mula XPRO setelah adanya gangguan menjadi X'P'RO sehingga rele masih bisa bekerja selektif.

3.2.4 Konsep Adaptif Terhadap Pengaruh Perubahan Frekuensi

Pengaruh yang disebabkan oleh perubahan frekuensi ini terhadap proteksi jarak adalah pengaruh pada reaktansi. Dengan perubahan frekuensi dari ω_1 ke ω_1' dengan kenaikan $\Delta\omega_1$ reaktansi dari saluran, akan berubah dari X ke X' dengan kenaikan ΔX . Perubahan reaktansi ini akan mempengaruhi impedansi yang terukur oleh rele dan akan menyebabkan rele menjadi *underreach* atau *overreach*. Adanya *underreach* atau *overreach* ini akan berpengaruh pada sensitivitas rele terutama pada daerah batas (zona 1 dan zona 2 rele).

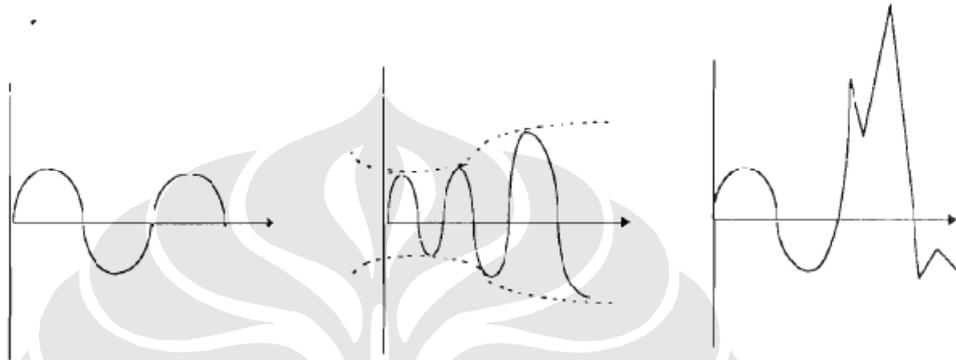
Pengaturan rele perlu disesuaikan dengan adanya perubahan frekuensi tersebut, berdasarkan persamaan:

$$X_Y' = \frac{X_Y \cdot \omega_1'}{\omega_1} = \frac{X_Y \cdot T_{s0}}{T_{s'}} \dots\dots\dots(3.1)$$

Dengan adanya perubahan dari pengaturan tersebut perubahan reaktansi akan dikompensasi sehingga nilai yang terukur akan sesuai dengan nilai sebenarnya.

3.2.5 Konsep Adaptif Terhadap Pengaruh Ayunan Daya

Ayunan daya terjadi pada sistem paralel pembangkitan (generator) akibat hilangnya sinkronisasi sehingga sebagian generator menjadi motor dan sebagian berbeban lebih dan ini terjadi bergantian/berayun. Gangguan ini harus segera diatasi dengan melepas generator yang terganggu, tetapi pada salurannya sendiri, rele jarak tidak boleh bekerja. Dengan pengaturan jarak yang tetap rele bisa bekerja karena arus yang terjadi cukup besar.



Gambar 3.8 Gelombang arus pada kondisi normal, ayunan daya dan adanya gangguan

Untuk mengatasi hal itu maka rele diatur untuk bekerja jika terjadi perubahan arus yang mendadak. Untuk gelombang arus normal dimana gelombang arusnya berbentuk sinusoidal perubahan arusnya tetap menurut waktu. Hal yang sama terjadi untuk gelombang ayunan daya, walaupun besar arusnya berubah tetapi perubahannya teratur. Sedangkan jika terjadi gangguan terjadi perubahan arus yang mendadak sehingga rele bekerja.

3.3 DASAR ALGORITMA KONSEP ADAPTIF

Prinsip dari rele impedansi adalah membandingkan impedansi gangguan saluran yang terukur dengan impedansi yang dengan batas pengaturan relenya. Hal ini dapat menimbulkan masalah pada kasus kegagalan akibat reaktansi yang besar. Terlebih lagi bila kegagalan tersebut dipengaruhi oleh aliran daya sebelum kegagalan yang mengakibatkan rele tidak trip pada zona yang diproteksinya. Efek ini selanjutnya disebut sebagai efek reaktansi^[7]. Untuk mengkompensasi dampak dari efek reaktansi, maka konsep adaptif dapat digunakan. Dasarnya adalah dengan menghitung kompensasi dari vektor geser, ΔZ , berdasarkan tegangan dan

Sedangkan koefisien \bar{a}_i menunjukkan tipe-tipe dari kegagalan yang besarnya ditunjukkan pada tabel 3.1. Tipe dari kegagalan ditunjukkan dengan fasa kegagalan (a, b, c) dan hubungan ke tanah (g).

Tabel 3.1 Koefisien \bar{a}_i

Tipe Kegagalan	\bar{a}_0	\bar{a}_1	\bar{a}_2
a-g	1	1	1
b-g	1	\bar{a}^2	\bar{a}
c-g	1	\bar{a}	\bar{a}^2
a-b, a-b-g, a-b-c, a-b-c-g	0	$1 - \bar{a}^2$	$1 - \bar{a}$
b-c, b-c-g	0	$\bar{a}^2 - \bar{a}$	$\bar{a} - \bar{a}^2$
c-a, c-a-g	0	$\bar{a} - 1$	$\bar{a}^2 - 1$
$\bar{a} = \exp(j2\pi/3), j = (\sqrt{-1})$			

Salah satu langkah untuk menentukan tegangan jatuh pada kegagalan resistansi yaitu dengan menentukan *weighting coefficients*, \bar{a}_{Fi} . Koefisien ini didapat dengan mempertimbangkan kondisi batas dari masing-masing tipe kegagalan. Ada beberapa alternatif dalam menentukan urutan nilai dari koefisien \bar{a}_{Fi} . Nilai dari *weighting coefficients* yang digunakan dapat dilihat di tabel 3.2. Dari tabel 3.2, nilai dari $\bar{a}_{Fi} = 0$ dapat digunakan sebagai parameter yang berguna yaitu diabaikan dari perhitungan^[6].

Tabel 3.2 Alternatif Koefisien \bar{a}_{Fi} untuk nilai $\bar{a}_{F0} = 0$

Tipe Kegagalan	\bar{a}_{F0}	\bar{a}_{F1}	\bar{a}_{F2}
a-g	0	3	0
b-g	0	$3\bar{a}^2$	0
c-g	0	$3\bar{a}$	0
a-b	0	$1 - \bar{a}^2$	0
b-c	0	$\bar{a}^2 - \bar{a}$	0
c-a	0	$\bar{a} - 1$	0
a-b-g	0	$1 - \bar{a}^2$	$1 - \bar{a}$
b-c-g	0	$\bar{a}^2 - \bar{a}$	$\bar{a} - \bar{a}^2$
c-a-g	0	$\bar{a} - 1$	$\bar{a}^2 - 1$
a-b-c (a-b-c-g)	0	$1 - \bar{a}^2$	0
$\bar{a} = \exp(j2\pi/3), j = (\sqrt{-1})$			

Rele jarak yang sering dipakai karena kegunaannya adalah rele jarak tipe Mho. Karakteristik tipe Mho zona 1 yang diatur untuk mengamankan 85% daerah yang diamankan ($s=0,85$ p.u.) ditunjukkan dengan pertidaksamaan berikut:

$$(R_{AP} - 0,5sR_{IL})^2 + (X_{AP} - 0,5sX_{IL})^2 \leq (0,5s|Z_{IL}|)^2 \dots\dots\dots(3.3)$$

Dimana :

R_{AP} = resistansi kegagalan yang terukur oleh rele

X_{AP} = reaktansi kegagalan yang terukur oleh rele

R_{IL} = resistansi urutan positif dari seluruh saluran yang diamankan

X_{IL} = reaktansi urutan positif dari seluruh saluran yang diamankan

Z_{IL} = impedansi urutan positif dari seluruh saluran yang diamankan

Pertidaksamaan (3.3) mendefinisikan daerah bagian dalam dari karakteristik lingkaran, dimana bagian tengahnya terletak pada posisi $(0,5sR_{IL}, 0,5sX_{IL})$ dan mempunyai radius sebesar $0,5s|Z_{IL}|$. Karakteristik standar ini dapat dimodifikasi dengan memperkenalkan komponen vektor geser, ΔZ . Vektor geser ini selanjutnya dapat dimasukkan ke dalam pertidaksamaan (3.3) yang menghasilkan pertidaksamaan baru yaitu pertidaksamaan adaptif karakteristik Mho:

$$[R_{AP} - (0,5sR_{IL} + \Delta R)]^2 + [X_{AP} - (0,5sX_{IL} + \Delta X)]^2 \leq [0,5s|Z_{IL}|]^2 \dots\dots\dots(3.4)$$

Dimana ΔR dan ΔX menunjukkan vektor geser komponen resistif dan reaktif dari karakteristik rele. Hasil ini dapat mengkompensasi efek dari reaktansi yang membuat rele lebih baik bekerja walaupun adanya kegagalan akibat resistansi. Cara untuk menghitung komponen dari vektor geser dari karakteristik rele akan diberikan pada sub-bab 3.4.

3.4 Menentukan Vektor Geser

Persamaan (3.2) dapat ditulis kembali ke dalam parameter impedansi dengan mengalikannya dengan \bar{I}_{AP} sehingga di dapat:

$$\bar{Z}_{AP} - d\bar{Z}_{IL} - R_F \frac{\bar{I}_F}{\bar{I}_{AP}} = 0 \dots\dots\dots(3.5)$$

Dimana

$$\bar{Z}_{AP} \text{ (Impedansi lup gangguan)} = \frac{\bar{V}_{AP}}{\bar{I}_{AP}} = R_{AP} + jX_{AP}$$

Tiga komponen di ruas kiri persamaan (3.2) dapat menimbulkan kesalahan dalam mengukur impedansi lup gangguan. Oleh karena itu diperlukan suatu kompensasi untuk kesalahan ini, yaitu dengan menuliskan kembali persamaan (3.2) menjadi:

$$\bar{Z}_{AP} = d\bar{Z}_{1L} + \Delta\bar{Z} \dots\dots\dots(3.6)$$

dimana

$$\Delta\bar{Z} = \Delta R + j\Delta X = R_F \cdot \frac{\bar{I}_F}{\bar{I}_{AP}}$$

adalah kesalahan yang terjadi akibat dari kegagalan resistansi.

Berdasarkan persamaan (3.6), impedansi lup gangguan adalah jumlah dari nilai kebenaran $d\bar{Z}_{1L}$ dan nilai kesalahan $\Delta\bar{Z}$. Untuk mengkompensasi kesalahan ini maka diperlukan suatu adaptasi dalam membuat algoritma dari rele. Hal ini dapat dilakukan dengan menggeser posisi dari karakteristik rele di bidang impedansi dengan menggunakan vektor geser yaitu untuk ΔR resistansi dan ΔX untuk reaktansi.

Dalam menentukan vektor geser, $\Delta\bar{Z}$, diperlukan perhitungan total arus kegagalan \bar{I}_F . Untuk tujuan ini *weighting coefficients* dengan $\bar{a}_{F0} = 0$ (sesuai dengan tabel 4.2) diperlukan dalam perhitungan sehingga didapat persamaan:

$$\bar{I}_F : \bar{a}_{F1}\bar{I}_{F1} + \bar{a}_{F2}\bar{I}_{F2} \dots\dots\dots(3.7)$$

Komponen yang tak diketahui dari total arus \bar{I}_{F1} dan \bar{I}_{F2} dapat diperoleh dari diagram rangkaian yang berpadanan untuk urutan positif dan negatif. Untuk jaringan pada gambar 3.9 menghasilkan persamaan :

$$\bar{I}_{F1} = \frac{\Delta\bar{I}_{A1}}{\bar{k}_F} \dots\dots\dots(3.8)$$

$$\bar{I}_{F2} = \frac{\bar{I}_{A2}}{\bar{k}_F} \dots\dots\dots(3.9)$$

dimana :

$\Delta\bar{I}_{A1}$ = kenaikan arus urutan positif

\bar{I}_{A2} = arus urutan negatif

\bar{k}_F = Faktor distribusi arus gangguan (sama untuk dua urutan)

$$\bar{k}_F = \frac{d\bar{Z}_{1L}(\bar{Z}_{1SA} + \bar{Z}_{1SB} + \bar{Z}_{1LB}) + \bar{Z}_{1L}(\bar{Z}_{1SA} + \bar{Z}_{1SB} + \bar{Z}_{1LB}) + \bar{Z}_{1LB}\bar{Z}_{1SB}}{\bar{Z}_{1L}\bar{Z}_{1LB} + (\bar{Z}_{1L} + \bar{Z}_{1LB})(\bar{Z}_{1SA} + \bar{Z}_{1SB})} \dots\dots\dots(3.10)$$

Pada khususnya, faktor distribusi arus gangguan adalah fungsi dari jarak yang tidak diketahui dengan kegagalan (d , [p.u]) dan nilai yang tidak dapat diukur dari impedansi sumber jauh \bar{Z}_{ISB} . Akan tetapi, akan ditunjukkan bahwa pada perhitungan selanjutnya tidak diperlukan untuk menentukan nilai dari \bar{k}_F .

Dengan memperhatikan persamaan (3.7), (3.8), dan (3.9) maka persamaan (3.2) dapat dituliskan kembali:

$$\bar{V}_{AP} - d\bar{Z}_{IL}\bar{I}_{AP} - R_F \frac{\bar{a}_{F1}\Delta\bar{I}_{A1} + \bar{a}_{F2}\bar{I}_{A2}}{\bar{k}_F} = 0 \quad \dots\dots\dots(3.11)$$

Pada umumnya, faktor distribusi arus gangguan \bar{k}_F adalah fungsi kompleks dan dapat di tuliskan sebagai berikut:

$$\bar{k}_F = k_F e^{j\gamma} = k_F (\cos \gamma + j \sin \gamma) \quad \dots\dots\dots(3.12)$$

dimana k_F adalah besarnya dan γ adalah sudut faktor distribusi arus gangguan.

Subtitusikan persamaan (3.11) ke (3.10) dan kemudian bagi dengan arus lup gangguan, \bar{I}_{AP} , sehingga didapatkan persamaan:

$$\bar{Z}_{AP} - d\bar{Z}_{IL} - R_F \frac{\bar{N}_{12}e^{-j\gamma}}{K_F} = 0 \quad \dots\dots\dots(3.13)$$

dimana $\bar{N}_{12} = N_{12}^{real} + jN_{12}^{imag} = \frac{\bar{a}_{F1}\Delta\bar{I}_{A1} + \bar{a}_{F2}\bar{I}_{A2}}{\bar{I}_{AP}}$ adalah perbandingan dari total arus gangguan (3.7) dan arus lup gangguan, \bar{I}_{AP} .

Setelah memecahkan \bar{N}_{12} menjadi dua bagian yaitu bagian riil dan imajiner, maka persamaan (3.12) dapat dimodifikasi menjadi:

$$\bar{Z}_{AP} - d\bar{Z}_{IL} - R_F \frac{N_{12}^{real}.e^{-j\gamma} + jN_{12}^{imag}.e^{-j\gamma}}{K_F} = 0$$

$$\bar{Z}_{AP} - d\bar{Z}_{IL} - R_F \frac{N_{12}^{real} (\cos \gamma - j \sin \gamma) + jN_{12}^{imag} (\cos \gamma - j \sin \gamma)}{K_F} = 0$$

$$\bar{Z}_{AP} - d\bar{Z}_{IL} - R_F \frac{N_{12}^{real} \cos \gamma - jN_{12}^{real} \sin \gamma + N_{12}^{imag} \sin \gamma + jN_{12}^{imag} \cos \gamma}{K_F} = 0$$

$$\bar{Z}_{AP} = d\bar{Z}_{IL} + R_F \frac{G_{12}^{real} + jG_{12}^{imag}}{K_F} \quad \dots\dots\dots(3.14)$$

dimana:

$$G_{12}^{real} = N_{12}^{real} \cos \gamma + N_{12}^{imag} \sin \gamma$$

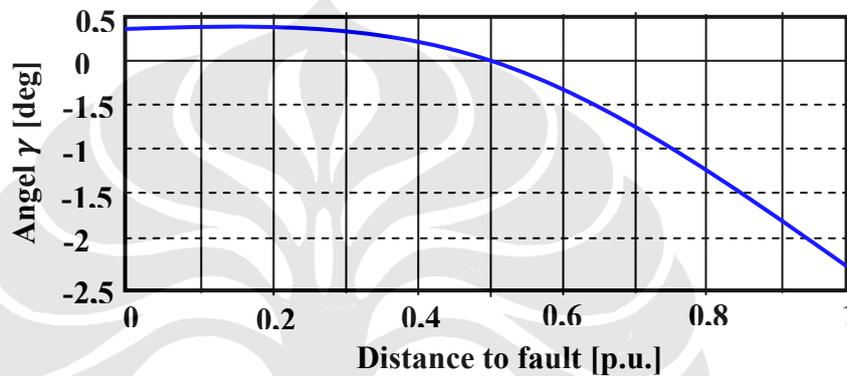
$$G_{12}^{imag} = N_{12}^{imag} \cos \gamma - N_{12}^{real} \sin \gamma$$

Persamaan (3.13) selanjutnya kita bandingkan dengan persamaan (3.6) untuk menghitung vektor geser, $\Delta\bar{Z}$:

$$\Delta\bar{Z} = \Delta R + j\Delta X = \frac{R_F}{K_F} (G_{12}^{real} + jG_{12}^{imag})$$

sehingga menghasilkan perbandingan dari komponen-komponen dari vektor geser, yaitu:

$$\frac{\Delta R}{\Delta X} = \frac{G_{12}^{real}}{G_{12}^{imag}} = \frac{N_{12}^{real} \cos \gamma + N_{12}^{imag} \sin \gamma}{N_{12}^{imag} \cos \gamma - N_{12}^{real} \sin \gamma} \dots\dots\dots(3.15)$$



Gambar 3.10 Gambar dari sudut sebagai fungsi dari jarak ke gangguan

Karena pada jaringan transmisi yang sebenarnya sudut dari faktor distribusi arus gangguan mendekati nol (gambar 3.10) dan jarang melebihi 10^0 [2], maka dapat dibenarkan untuk mengambil asumsi $\gamma = 0$. Sebagai hasilnya, persamaan (3.14) dapat disederhanakan menjadi:

$$\frac{\Delta R}{\Delta X} = \frac{N_{12}^{real}}{N_{12}^{imag}} \dots\dots\dots(3.16)$$

Dari persamaan (3.6) dan (3.15) maka dapat diperoleh komponen-komponen dari vektor geser, yaitu:

$$\Delta R = \frac{N_{12}^{real} (R_{AP}X_{1L} - X_{AP}R_{1L})}{N_{12}^{real}X_{1L} - N_{12}^{imag} R_{1L}} \dots\dots\dots(3.17)$$

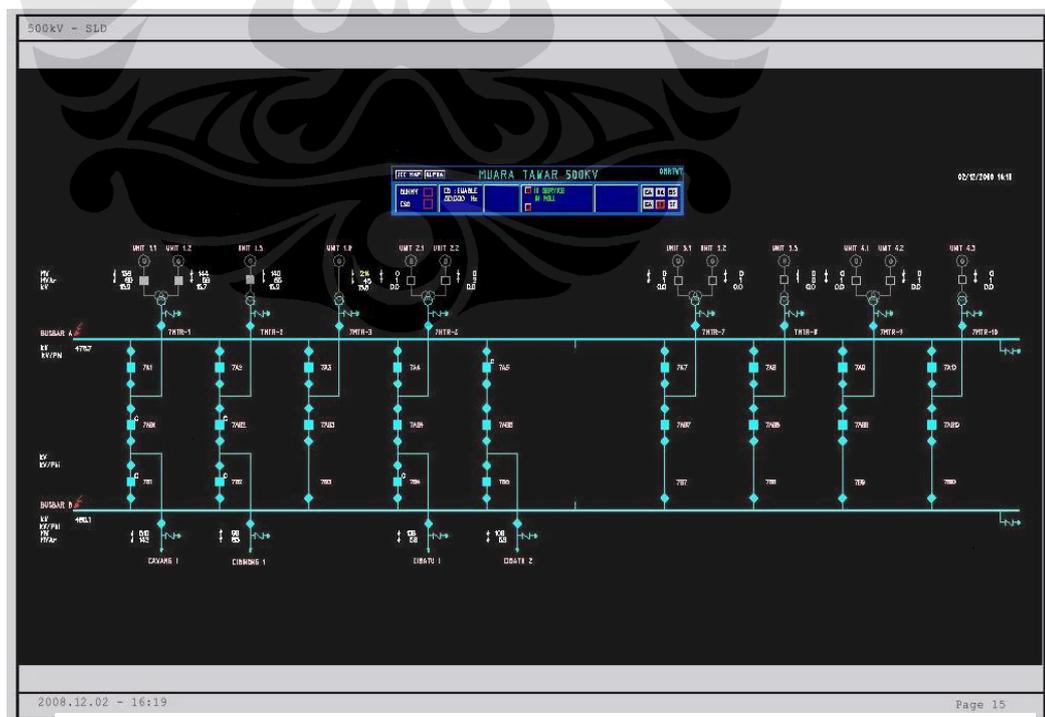
$$\Delta X = \frac{N_{12}^{imag} (R_{AP}X_{1L} - X_{AP}R_{1L})}{N_{12}^{real}X_{1L} - N_{12}^{imag} R_{1L}} \dots\dots\dots(3.18)$$

BAB 4

ANALISA KONSEP ADAPTIF RELE JARAK PADA JARINGAN SALURAN TRANSMISI GANDA MUARA TAWAR - CIBATU

4.1 DIAGRAM GARIS TUNGGAL GITET 500 KV MUARA TAWAR

Unit Pembangkitan Muara Tawar adalah sebuah Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) yang dikelola oleh PT Pembangkitan Jawa-Bali di Kabupaten Bekasi, Jawa Barat. Pembangkit Listrik ini dulunya merupakan bagian dari Pembangkit Listrik Muara Karang, yang kemudian dipisah pada tanggal 1 April 2003. Pembangkit listrik ini mengoperasikan 2 unit PLTG 280 MW dan 3 unit PLTGU 640 MW dengan total kapasitas 920 MW. Rata-rata energi yang dibangkitkan per tahun 3.130,50 GWh. Seluruh energi yang dibangkitkan disalurkan melalui transmisi tegangan ekstra tinggi 500 / 150 kV ke sistem interkoneksi Jawa-Madura-Bali.



Gambar 4.1 Diagram satu garis gardu induk Muara Tawar

Pada sistem proteksi Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) Muara Tawar, rele jarak digunakan sebagai proteksi utama sekaligus sebagai proteksi cadangan jauh untuk GITET didepannya. Data-data yang diperlukan untuk menghitung setelan rele proteksi baik sebagai pengaman utama maupun sebagai pengaman cadangan pada SUTET akan dijelaskan pada sub bab berikut.

4.1.1 Data peralatan

Berikut ini adalah beberapa data-data dari peralatan yang diperlukan dalam perhitungan:

- Spesifikasi teknis rele proteksi
- Rasio trafo arus (CT) dan trafo tegangan (PT)
- Impedansi, rasio dan kapasitas trafo daya
- Impedansi penghantar atau saluran transmisi

4.1.2 Konfigurasi sistem tenaga listrik

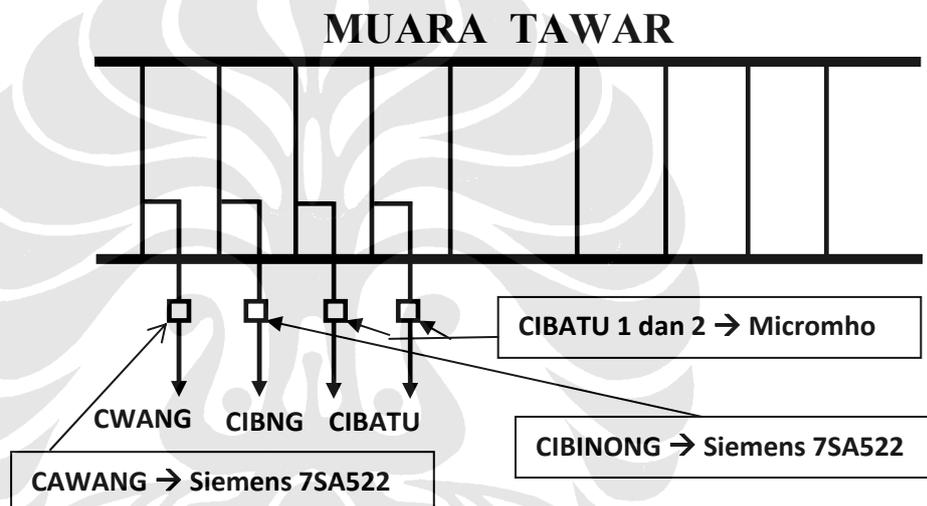
Konfigurasi sistem tenaga listrik yang digunakan untuk koordinasi setelan rele proteksi pada SUTET adalah berdasarkan konfigurasi sistem 500 kV PLN P3B JB per Oktober 2008.

4.1.3 Arus hubung singkat

Perhitungan arus hubung singkat untuk koordinasi setelan rele jarak digital pada saluran transmisi dilakukan menggunakan bantuan aplikasi *software Microsoft Office Excel 2007* dengan asumsi konfigurasi sistem adalah kondisi normal operasi untuk tahun 2008. Simulasi ini digunakan untuk melihat perbedaan waktu trip dan jaraknya sinyal trip antara rele standar dan rele adaptif. Arus hubung singkat maksimum adalah kondisi pada saat komposisi unit pembangkit yang masuk/sinkron ke sistem Jawa – Bali terbanyak. Asumsi yang digunakan dalam perhitungan ini adalah:

1. Impedansi gangguan yang digunakan adalah sebesar 10Ω dan 20Ω untuk resistansi.
2. Kecepatan Pemutusan gangguan (*Fault clearing time*):

- a. *Fault clearing time* pengaman utama pada SPLN 52-1 2002, sistem 500 KV ≤ 90 ms.
 - b. *Fault clearing time* pengaman cadangan yaitu 500 ms
 - c. Breaker time yaitu 10
3. Gangguan hubung singkat disimulasikan pada saluran udara tegangan ekstra tinggi yang menghubungkan GITET Muara Tawar ke arah GITET Cibatu.
 4. Rele yang terpasang pada GITET Muara Tawar ke arah GITET Cibatu adalah rele GEC ALSTHOM Micromho. Berikut ini adalah ilustrasi proteksi SUTET di GITET Muara Tawar.

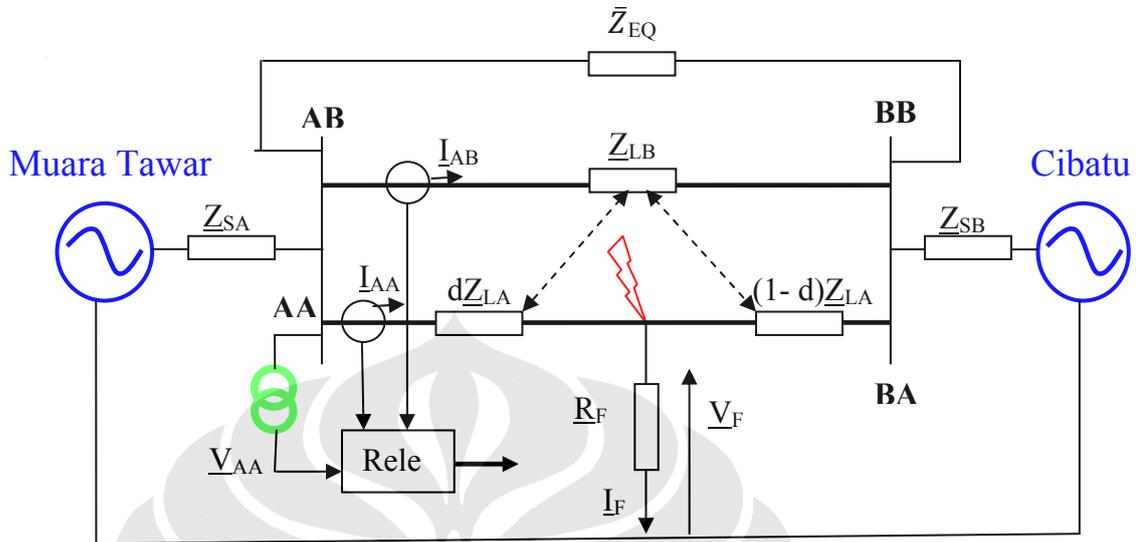


Gambar 4.2 Proteksi SUTET di GITET Muara Tawar

4.2 PERHITUNGAN PROTEKSI SALURAN TRANSMISI GANDA MUARA TAWAR - CIBATU

Untuk mengetahui perbedaan antara rele dengan metode standar dan dengan menggunakan metode adaptif dilakukan dengan menggunakan perhitungan manual berdasarkan rumus yang telah dijelaskan di bab sebelumnya dengan menggunakan kelengkapan data-data yang telah dikumpulkan. Perhitungan dilakukan dengan menentukan perkiraan lokasi gangguan yang diuji pada sistem yang diperoleh dari standar IEEE, yaitu untuk saluran ganda, dimana pada kasus ini diambil kasus untuk jaringan saluran transmisi ganda Muara Tawar-Cibatu (500 KV). Sistem ini terdiri dari dua buah pembangkit yang terhubung secara

interkoneksi. Dibawah ini adalah diagram skematik dari jaringan saluran transmisi ganda Muara Tawar – Cibatu:



Gambar 4.3 Skema jaringan saluran transmisi ganda Muara Tawar - Cibatu

Pengujian perkiraan lokasi gangguan dilakukan dengan menggunakan program komputer, program hubung singkat untuk menghitung tegangan dan arus serta memperkirakan besar impedansi dari lokasi rele terhadap lokasi gangguan. Data tersebut akan dipakai sebagai input ke program perhitungan selanjutnya yaitu menghitung lamanya waktu rele untuk bekerja (*tripping time*). Dari data sistem dan dari dari gambar 4.3, lokasi gangguan berada di antara saluran AA dan BA pada jaringan saluran transmisi ganda Muara Tawar – Cibatu. Gangguan ini selanjutnya dianalisa dengan dua cara yaitu dengan menggunakan karakteristik Mho standar dan dengan karakteristik Mho adaptif. Berikut ini adalah langkah-langkah dalam menganalisa:

1. Menyiapkan data-data yang diperlukan

Data impedansi saluran udara tegangan ekstra tinggi yang digunakan untuk perhitungan setelan proteksi rele jarak adalah berdasarkan data yang didapat dari PLN P3B JB. Jaringan saluan transmisi ganda terdiri saluran transmisi 500 kV dan dua sistem yang ekuivalen. Parameter dari jaringan transmisi tersebut ditunjukkan oleh tabel (4.2).

Tabel 4.1 Data saluran transmisi

Data Teknis	Keterangan
Tegangan fasa ke fasa	500 kV
Arus	1980 A
Jenis Konduktor	ACSR-DOVE 4X327.9mm (1980A)

Tabel 4.2 Parameter dari jaringan transmisi

Elemen sistem	Parameter	
		Panjang, l
Saluran Transmisi Ganda	\bar{Z}_{1LA}	$(0,0293 + j0,2815) \Omega/\text{km}$
	\bar{Z}_{0LA}	$(0,1793 + j0,8445) \Omega/\text{km}$
	\bar{Z}_{1LB}	$(0,0586 + j0,563) \Omega/\text{km}$
	\bar{Z}_{0LB}	$(0,3586 + j1,689) \Omega/\text{km}$
	\bar{L}_{1L}	1,345 mH/km
	\bar{L}_{0L}	3.725 mH/km
	\bar{C}_{1L}	13 nF/km
	\bar{C}_{0L}	8,5 nF/km
	\bar{C}_{0m}	5,5 nF/km
	\bar{Z}_{0m}	$(0,424 + j0,816) \Omega/\text{km}$
	Sistem Ekuivalen A	\bar{Z}_{1SA}
\bar{Z}_{0SA}		$(8,635 + j40,669) \Omega/\text{km}$
Sudut tegangan		-30°
Sistem Ekuivalen B	\bar{Z}_{1SB}	$(1,411 + j13,557) \Omega/\text{km}$
	\bar{Z}_{0SB}	$(8,635 + j40,669) \Omega/\text{km}$
	Sudut tegangan	0°
$\bar{a} = \exp(j2\pi/3), j = (\sqrt{-1})$		

2. Menentukan jenis gangguan yang ingin digunakan

Gangguan yang ingin dievaluasi pada simulasi ini adalah gangguan satu fasa ke tanah. Jenis gangguan ini sering terjadi pada saluran transmisi dan distribusi yaitu minimal sekitar 85% dari total gangguan yang terjadi. tahanan tanah (R_g) dibuat tetap sebesar 5 Ω , untuk tahanan gangguan bervariasi yaitu dari 10 Ω dan 20 Ω . Hal ini untuk menunjukkan efisiensi dari algoritma adaptif yang digunakan.

3. Menentukan jarak gangguan

Dalam menentukan jarak gangguan dari Muara Tawar, dipilih lokasi yang masih berada di dalam pengamanan zona 1 dan bervariasi yaitu dari 0,10 p.u. sampai dengan 0,95 p.u.

4. Memasukkan data-data yang diperoleh dari langkah 1, 2, dan 3 ke dalam karakteristik Mho standar dan karakteristik Mho adaptif.

Berikut contoh dari langkah-langkah perhitungan data yang didapat:

- a. Menentukan tipe gangguan (a-g, b-g, c-g, dll)

Contohnya tipe gangguan satu fasa ke tanah (a-g) maka kita dapat menentukan besar koefisien \bar{a}_i , dan koefisien \bar{a}_{Fi} sesuai pada tabel (3.1) dan (3.2). Tentukan juga jarak gangguannya, pada contoh kali ini diambil jarak gangguannya yaitu sebesar 40,9 km (0,85 [p.u.]) dan mempunyai tahanan gangguan sebesar 20 Ω .

- b. Menentukan \bar{V}_{AP} , \bar{I}_{AP}

Masukkan data-data yang telah didapat dimasukkan ke persamaan-persamaan yang telah dijelaskan pada bab 3. Dari contoh tipe gangguan satu fasa ke tanah akan didapatkan besar:

$$\bar{V}_{AP} \text{ (V)} = 498403,3 + j 20,70141$$

$$\bar{I}_{AP} \text{ (A)} = 1059,688 + j 398,907$$

- c. Menghitung komponen urutan positif (\bar{I}_{F1}) dan negatif (\bar{I}_{F2})

$$\bar{I}_{F1} = \frac{\bar{I}_{AA1} - \frac{\bar{Z}_{1LB}}{\bar{Z}_{1LA}} \bar{I}_{AB1}}{1-d} = 208,0862 - j 1,871064742$$

$$\bar{I}_{F2} = \frac{\bar{I}_{AA2} - \frac{\bar{Z}_{1LB}}{\bar{Z}_{1LA}} \bar{I}_{AB2}}{1-d} = 3537,451 + j 1222,293$$

- d. Menghitung \bar{k}_F , $\Delta \bar{I}_{A1}$, \bar{I}_{A2} , dan total arus gangguan (\bar{I}_F)

$$\bar{k}_F = 12,256 - j 1,566 \times 10^{-6}$$

$$\Delta \bar{I}_{A1} \text{ (A)} = \bar{I}_{F1} \cdot \bar{k}_F = 2550,316 - j 22,932$$

$$\bar{I}_{A2} \text{ (A)} = \bar{I}_{F2} \cdot \bar{k}_F = 43355,19 + j 14980,48$$

$$\bar{I}_F \text{ (A)} = 624,259 - j 5,613$$

- e. Menghitung komponen-komponen \bar{N}_{12}

$$\bar{N}_{12} = N_{12}^{real} + j N_{12}^{imag} = 5,8742 - j 2,25722$$

- f. Menghitung komponen-komponen vektor geser

$$\Delta R = 10,28721 \Omega$$

$$\Delta X = -3,95296 \Omega$$

g. Membandingkan antara karakteristik standar dan adaptif mho

Batas pengamanan = 33,555 Ω

Metode standar = 121.6517 Ω

Metode adaptif = 33.26952 Ω

Berdasarkan contoh perhitungan maka didapatkan hasil bila terjadi gangguan satu fasa ke tanah akan didapatkan perbedaan hasil antara metode standar dan metode adaptif yaitu pada jarak 0,85 [p.u.] rele dengan metode adaptif akan trip sementara rele standar tidak trip.

5. Menghitung waktu trip rele jarak

Pada kasus ini untuk menghitung waktu trip (*tripping time*) rele jarak maka digunakan rumus waktu trip *normal inverse* menurut British Standard yaitu:

$$t = \frac{K \times \beta}{\left\{ \left(\frac{I_F}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right\}} \dots \dots \dots (4.1)$$

dimana:

t = waktu trip rele dalam detik (s)

K = Faktor pengali waktu

I_F = Arus gangguan yang masuk ke rele

I_{set} = Arus pengaturan rele = 0.2 x CC = 396 A

α, β = Konstanta setelan waktu

Tabel 4.3 Kemiringan karakteristik kurva waktu/arus

Karakteristik Waktu	α	β
Normal Inverse	0,02	0,14
Very Inverse	1,0	13,5
Extremely Inverse	2,0	80,0
Long-time Inverse	1,0	120,0

Pada perhitungan kali ini memakai karakteristik waktu normal inverse sehingga didapatkan hasil :

- Rele standar, pada jarak 0,79 [p.u.] mempunyai waktu trip 22,7 ms
- Rele adaptif, pada jarak 0,79 [p.u.] mempunyai waktu trip 14,9 ms

6. Membuat tabel hasil perhitungan

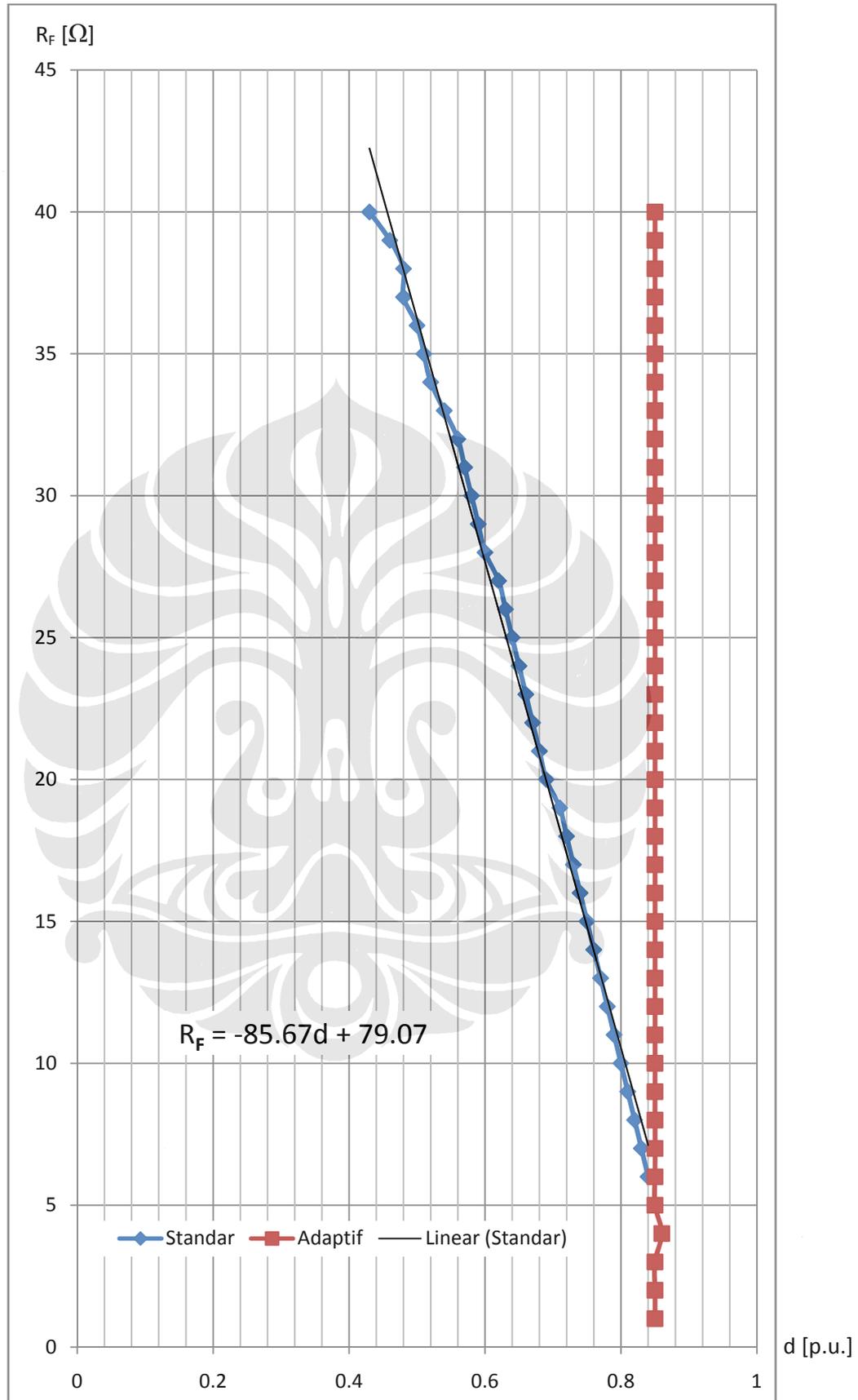
Hasil yang didapat pada langkah 4 dan langkah 5 selanjutnya dibuat tabel ringkasan yang berisi contoh dari beberapa perhitungan yang menunjukkan perbedaan antara rele jarak standar dengan rele jarak adaptif. Pada tabel 4.4 diambil contoh dari tahanan gangguan sebesar 10Ω dan 20Ω dengan jenis gangguannya yaitu satu fasa ke tanah (a-g).

Tabel 4.4 Sinyal trip dan waktu sinyal untuk variasi tahanan nilai gangguan

d [p.u.]	$[0.5s Z_{1L}]^2$	$R_F = 10 \Omega$				$R_F = 20 \Omega$			
		Rele standar		Rele adaptif		Rele standar		Rele adaptif	
		Sinyal trip	Waktu trip (ms)	Sinyal trip	Waktu trip (ms)	Sinyal trip	Waktu trip (ms)	Sinyal trip	Waktu trip (ms)
0.1	33.555	1	1,585	1	1,532	1	1,661	1	1,532
0.15	33.555	1	2,218	1	2,127	1	2,352	1	2,128
0.2	33.555	1	2,746	1	2,603	1	2,961	1	2,604
0.25	33.555	1	3,17	1	2,947	1	3,502	1	2,948
0.3	33.555	1	3,496	1	3,137	1	4,002	1	3,138
0.35	33.555	1	3,748	1	3,116	1	4,501	1	3,118
0.4	33.555	1	4,011	1	2,68	1	5,063	1	2,685
0.45	33.555	1	4,461	1	3,003	1	5,752	1	2,997
0.5	33.555	1	5,223	1	4,444	1	6,618	1	4,439
0.55	33.555	1	6,242	1	5,744	1	7,682	1	5,739
0.6	33.555	1	7,434	1	7,067	1	8,957	1	7,062
0.65	33.555	1	8,77	1	8,452	1	10,470	1	8,446
0.7	33.555	1	10,254	1	9,918	0	-	1	9,911
0.75	33.555	1	11,922	1	11,476	0	-	1	11,467
0.8	33.555	1	13,877	1	13,134	0	-	1	13,123
0.85	33.555	0	-	1	14,9	0	-	1	14,882
0.9	33.555	0	-	0	-	0	-	0	-
0.95	33.555	0	-	0	-	0	-	0	-

4.3 PROTEKSI ZONA 1 TRANSMISI MUARA TAWAR – CIBATU

Dari perhitungan yang telah dilakukan maka dapat diperoleh grafik penurunan kemampuan sinyal trip pada metode standar dengan bertambahnya besar tahanan gangguan. Hal itu dapat ditunjukkan pada grafik berikut ini:



Gambar 4.4 Sinyal trip Muara Tawar – Cibatu pada berbagai besar tahanan gangguan dengan pengaturan zona 1 85 %

Grafik 4.4 menunjukkan bahwa rele jarak dengan metode standar mampu mengamankan 85% zona 1 sampai besar tahanan 5Ω , setelah itu mengalami penurunan kemampuan sebesar $R_F = -85.67d + 79.07$. Sedangkan metode adaptif mampu mengamankan 85% zona 1 dengan berbagai besar tahanan seperti yang ditunjukkan grafik 4.4.

Penurunan kemampuan rele metode standar dapat disebabkan oleh adanya efek reaktansi. Metode standar ini tidak memperhitungkan tegangan jatuhnya. Metode adaptif dapat mengkompensasi dampak dari efek reaktansi tersebut dengan ikut memasukkan tegangan jatuh ke dalam perhitungan.

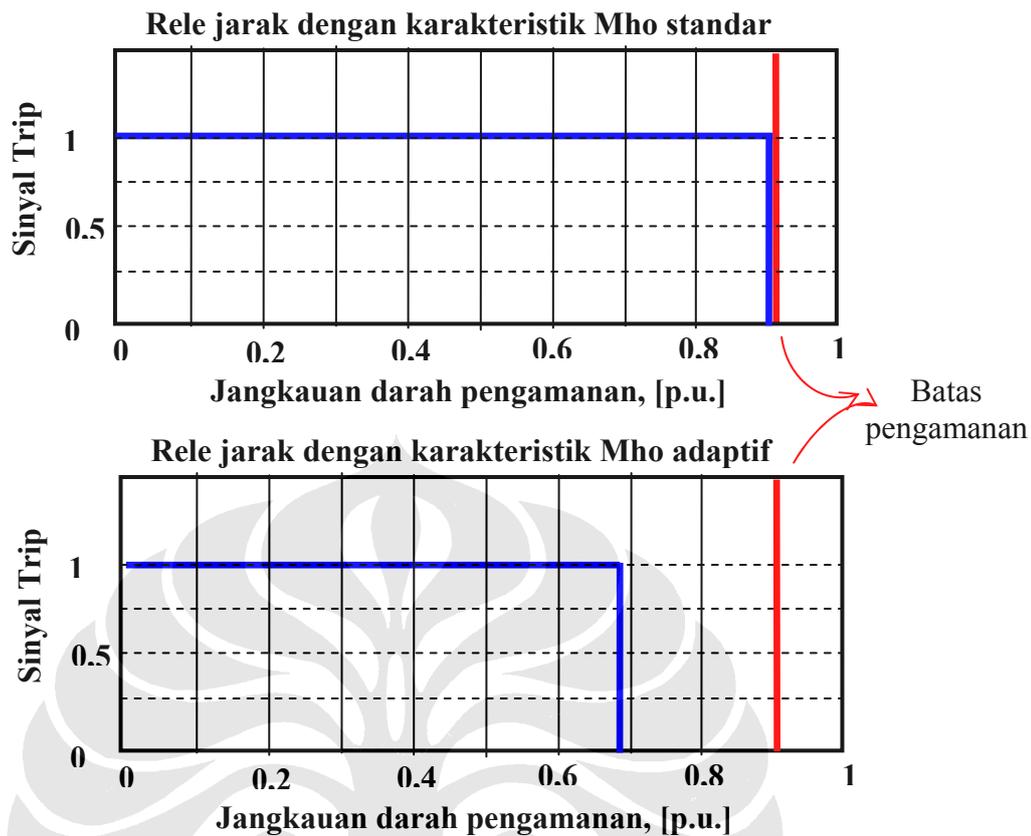
4.4 ANALISA KONSEP ADAPTIF RELE JARAK

Hasil yang didapat pada tabel (4.4) menunjukkan perbandingan antara rele jarak dengan metode standar dan metode adaptif. Terdapat dua hal penting yang didapat dari tabel tersebut yang menunjukkan perbedaan hasil antara metode standar dan metode adaptif yaitu jangkauan daerah pengamanan dan waktu trip rele jarak.

Berdasarkan jangkauan daerah pengamanan pada tabel (4.4) dapat terlihat bahwa rele dengan metode standar mempunyai jangkauan daerah pengamanan yang lebih pendek dibandingkan dengan rele dengan metode adaptif. Hal ini dapat dianalisa berdasarkan pertidaksamaan (3.4), yaitu:

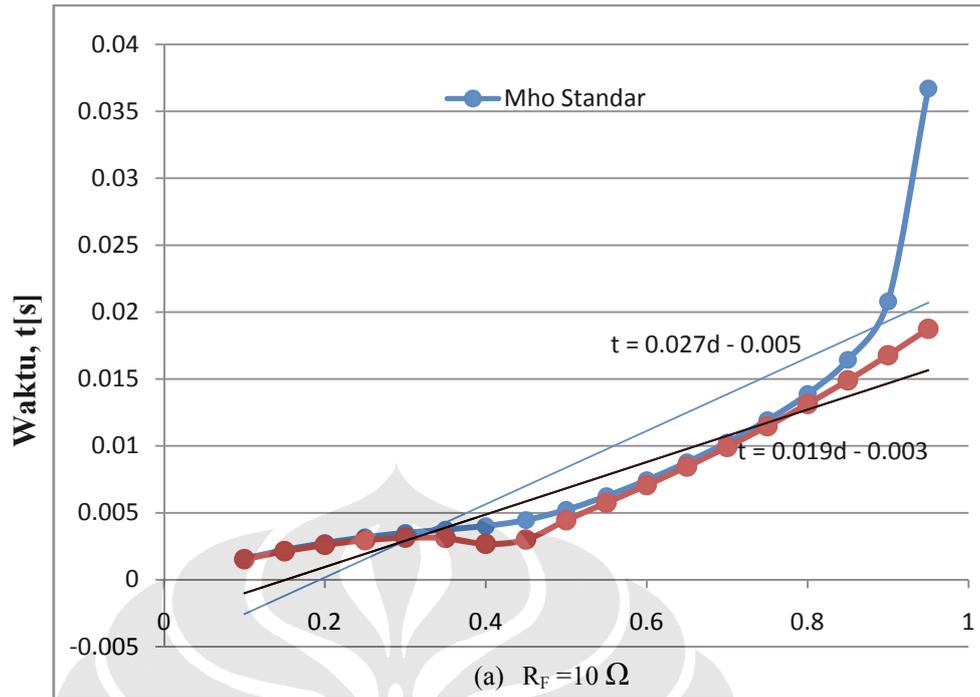
$$\underbrace{\left[R_{AP} - \underbrace{(0.5sR_{IL} + \Delta R)}_a \right]^2 + \left[X_{AP} - \underbrace{(0.5sX_{IL} + \Delta X)}_b \right]^2}_{\text{Daerah Pengamanan Rele Jarak}} \leq [0.5s|Z_{IL}|]^2$$

Dengan adanya komponen vektor geser, $\Delta \vec{Z}$, yaitu ΔR dan ΔX membuat nilai a dan b membesar sehingga komponen p dan q akan mengecil. Hal ini membuat daerah pengamanan rele jarak semakin optimal. Berikut ini adalah ilustrasi dari data yang didapat ($R_F = 20 \Omega$):

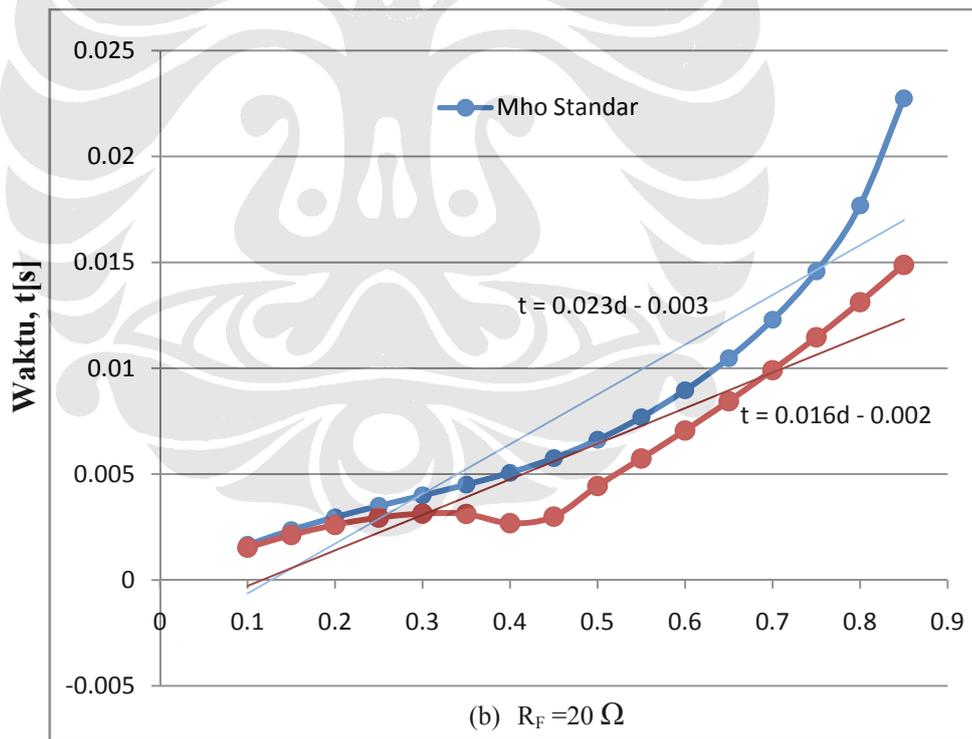


Gambar 4.5 Sinyal trip pada jaringan saluran transmisi ganda Muara Tawar - Cibatu

Berdasarkan waktu trip rele jarak pada tabel (4.4) dapat terlihat bahwa rele dengan metode standar mempunyai waktu yang lebih lama untuk merespon adanya gangguan dibandingkan dengan rele dengan metode adaptif. Hal ini dapat dianalisa dengan menggunakan karakteristik Mho adaptif berdasarkan pertidaksamaan 3.4, yaitu dengan mengecilnya nilai dari p dan q (simbol analisa persamaan 3.4) maka impedansi gangguan yang masuk ke rele menjadi lebih kecil juga sehingga nilai \bar{I}_F menjadi besar. Berdasarkan persamaan 4.1 nilai \bar{I}_F yang membesar membuat waktu trip rele menjadi lebih cepat sehingga rele menjadi lebih optimal. Berikut ini adalah ilustrasi dari perhitungan data yang di dapat:



Jangkauan daerah pengamanan, [p.u.]



Jangkauan daerah pengamanan, [p.u.]

Gambar 4.6 Waktu trip pada jaringan saluran transmisi ganda Muara Tawar - Cibatu

BAB 5

KESIMPULAN

1. Saluran transmisi mempunyai suatu sistem kompleks. Adanya variasi gangguan di saluran transmisi membuat informasi transmisi menjadi tidak tetap. Hal ini ditunjukkan dengan perbedaan besar arus gangguan di zona pengamanan rele jarak.
2. Pada proteksi rele metode standar Muara Tawar – Cibatu terjadi penurunan kemampuan daerah pengamanan (d[p.u.]) seiring dengan besar tahanan gangguan (R_F) yaitu ditunjukkan dengan persamaan $R_F = -85,67 d + 79,07$.
3. Dengan memperhitungkan adanya komponen-komponen dari vektor geser pada proteksi rele jarak untuk saluran udara tegangan ekstra tinggi GITET Muara Tawar – Cibatu, maka rele dengan konsep adaptif akan didapat hasil yang lebih baik dibandingkan dengan rele dengan metode standar.

Untuk $R_F = 20$

- Metode standar :
Batas pengamanan = 0,65 p.u.
Persamaan waktu trip, $t = 0.023d - 0.003$
- Metode adaptif
Batas pengamanan = 0,85 p.u.
Persamaan waktu trip; $t = 0.016d - 0.002$

DAFTAR REFERENSI

- [1] Stephen J. Chapman, *Electric Machinery and Power System Fundamentals* (New York: McGraw-Hill., 2002), hal. 591 – 596
- [2] Halomoan, Cristof Naek., *Analisa Koordinasi Rele Jarak Sebagai Proteksi saluran Transmisi* (Depok: Seminar, 2008), hal 25 - 33
- [3] _____, *Network Protection and Automation Guide* (Paris La Défense: Areva, Inc., 2005), hal 171 – 200
- [4] IEEE Std C37.113-1999, *IEEE Guide for Protective Relay Applications to Transmission Lines* (New York: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 2000), hal. 4
- [5] GEC Measurement, *Protective Relays Application Guide* (London: Balding + Mansell Limited., 1975), hal. 99 – 102
- [6] Saha, MM., Wikstorm, K. Izykowsky, J., and Rosolowsky, E., *New Fault location algorithm for parallel lines* (Amsterdam: Conf. of Developments in Power System Protection, 2001), hal 407-410
- [7] Moore, P.J., Whittard, R, dan Johns, A.T, *A Novel earth fault location technique utilizing single ended measurements* (Sweden: Proc. IEEE, 1995), hal 406-410
- [8] Turk J Elec Engin, Vol.16, NO.23-2008, *Distance Relaying Algorhthm for Double-Circuit Transmission Line with Compensation for Reaktance Effect under Standard Availability of Measurements* (Poland : Wroclaw University of Technology Institute of Electrical Power Engineering., 2008), hal. 2 - 6

DAFTAR PUSTAKA

- Chapman, Stephen J., *Electric Machinery and Power System Fundamentals* (New York : McGraw-Hill., 2002)
- Stevenson, William D., *Analisis Sistem Tenaga Listrik* (Jakarta: Erlangga, 1993)
- GEC Measurement, *Protective Relays Application Guide* (London : Balding + Mansell Limited., 1975)
- Turk J Elec Engin, Vol.16, NO.23-2008, *Distance Relaying Algorithm for Double-Circuit Transmission Line with Compensation for Reactance Effect under Standard Availability of Measurements* (Poland : Wroclaw University of Technology Institute of Electrical Power Engineering., 2008)
- Halomoan, Cristof Naek., *Analisa Koordinasi Rele Jarak Sebagai Proteksi saluran Transmisi* (Depok: Seminar, 2008)
- Puasanto, Iwan., 2006, *Pelatihan O&M Relai Proteksi Jaringan* (PT. PLN Persero P3B, 2006)
- Weedy, B.M., Cory, B.J., *Electric Power Systems 4th ed.*, (England : John Wiley and Sons Ltd., 1998)

LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Impedansi SUTET Muara Tawar - Cibatu

Nama	CBATU-MTWAR	CBATU-MTWAR1	MTWAR - CBNGN	MTWAR - CWANG
Jaringan	500kV	500kV	500kV	500kV
Tipe Konduktor	ACSR-DOVE 4X327.9mm (1980A)	ACSR-DOVE 4X327.9mm (1980A)	ACSR-DOVE 4X327.9mm (1980A)	ACSR-DOVE 4X327.9mm (1980A)
Tipe Tower	500kV	500kV	500kV	500kV
Tipe Geo	OHL	OHL	OHL	OHL
Panjang (km)	48,158	48,158	53	48
I rated (kA)	1980	1980	1980	1980
Z_1 (Ω)	13,62971	13,62971	15,0001	13,585
phi Z_1 (deg)	84,05775	84,05775	84,05775	84,05775
R_1 (Ω)	1,411029	1,411029	1,5529	1,4064
X_1 (Ω)	13,55648	13,55648	14,9195	13,512
R_0 (Ω)	8,634729	8,634729	9,5029	8,6064
X_0 (Ω)	40,66943	40,66943	44,7585	40,536
k_0	0,686216	0,686216	0,686216	0,686216
phi k_0 (deg)	-8,9765	-8,9765	-8,9765	-8,9765

(lanjutan)

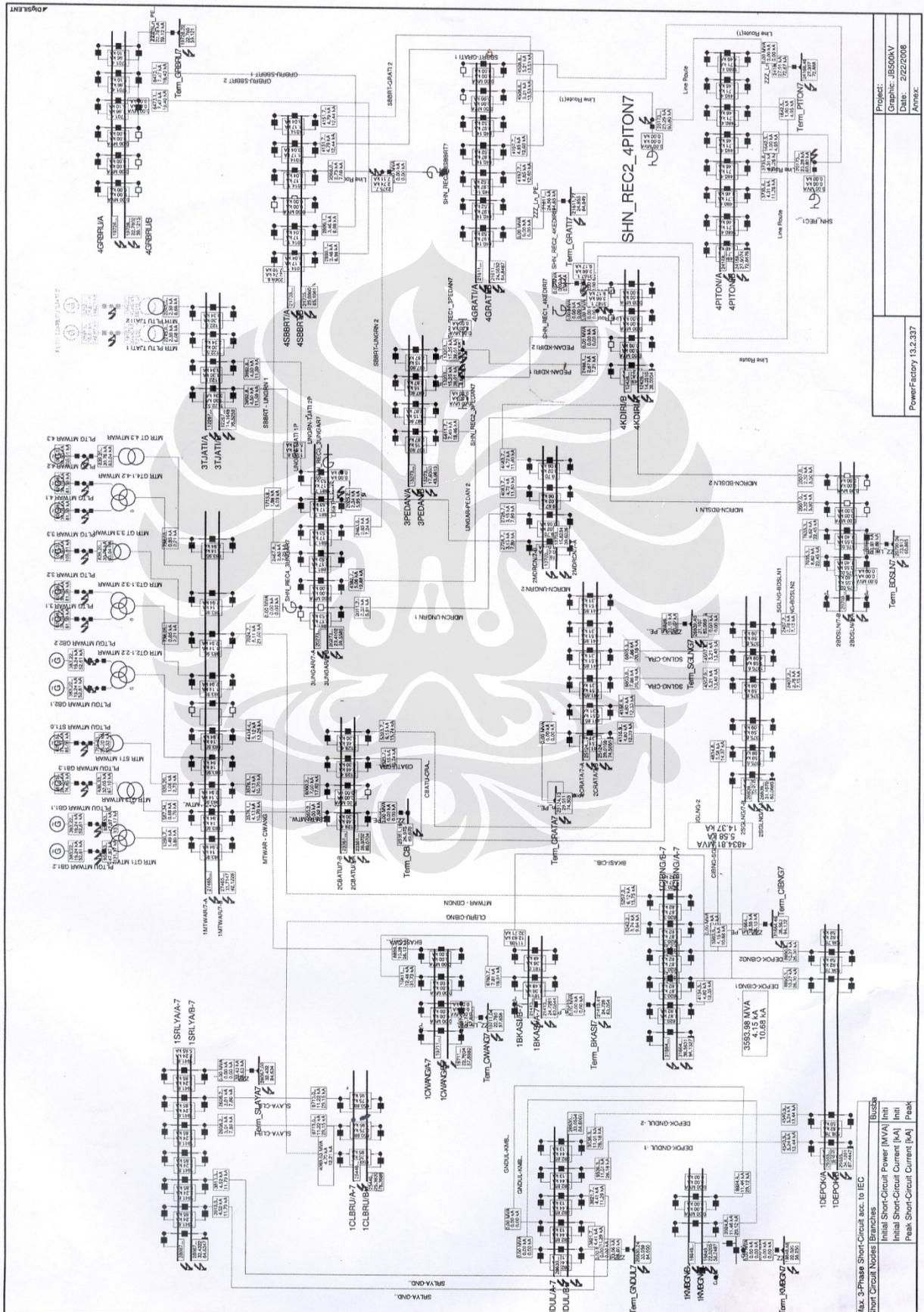
Lampiran 2 Data Impedansi Konduktor

OHL-500kV-ACSR-DOVE 4X327.9mm (1980A)

	Keterangan
<i>V rated</i> (kV)	500
<i>I rated</i> (kA)	1980
R' (Ω/km)	0,0293
X' (Ω/km)	0,2815
L' (Ω/km)	0,896042
R0' (Ω/km)	0,1793
X0' (Ω/km)	0,8445
L0' (Ω/km)	2,689719

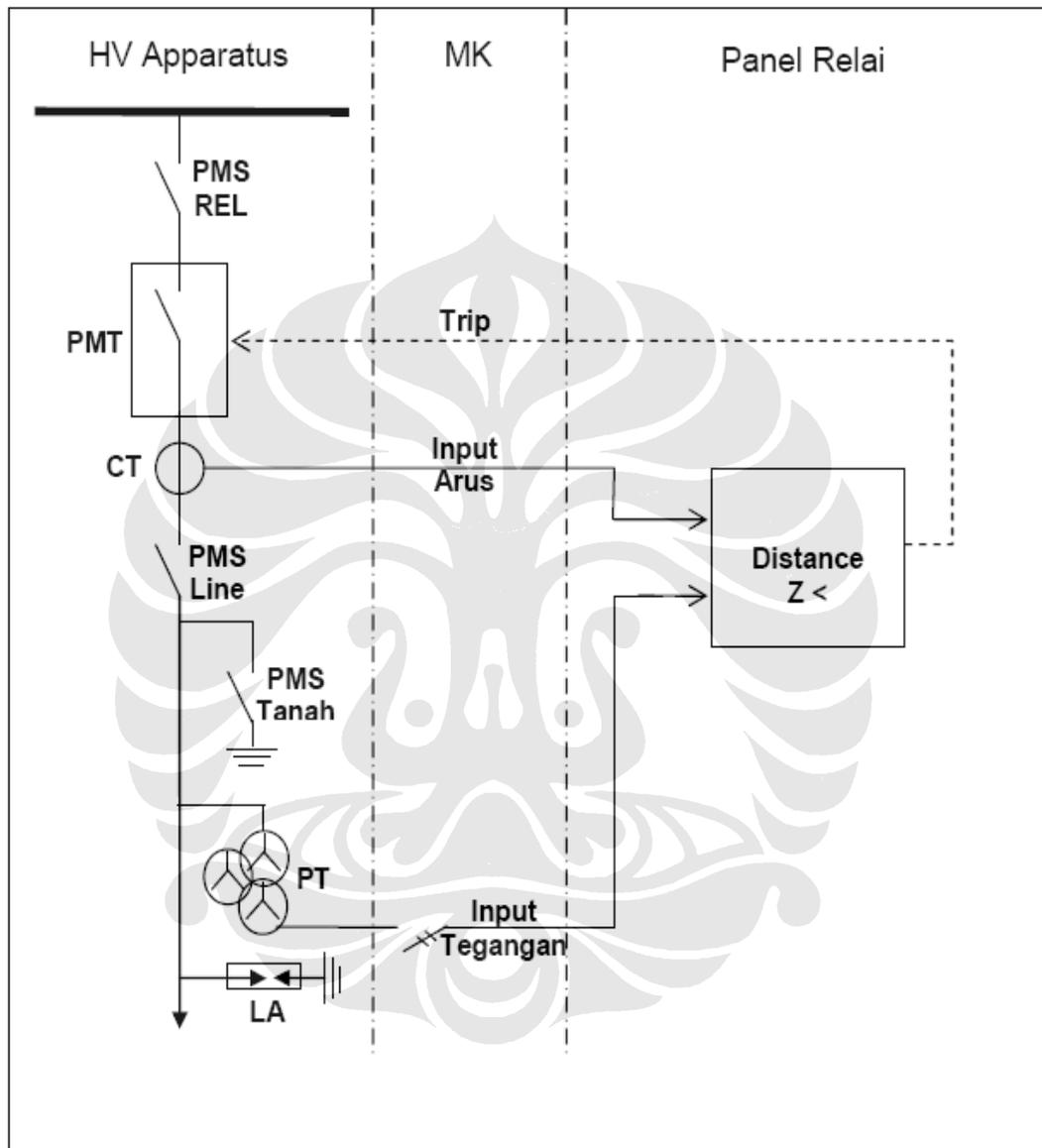
(lanjutan)

Lampiran 3 Diagram Satu Garis GITET Muara Tawar



(lanjutan)

Lampiran 4 Blok Diagram Rele Jarak



Blok Diagram Rele Jarak

(lanjutan)

Lampiran 5 Keterangan Operasi Kerja Rele Micromho



GEC ALSTHOM Micromho

NO	INDIKASI	ARTI INDIKASI	KETERANGAN
1	A	Fasa A (R)	Terjadi gangguan pada fasa R
2	B	Fasa B (S)	Terjadi gangguan pada fasa S
3	C	Fasa C (T)	Terjadi gangguan pada fasa T
4	N	Netral	Terjadi gangguan ke tanah
5	Z1	Zona 1	Gangguan pada Zona 1
6	Z2	Zona 2	Gangguan pada Zona 2
7	Z3	Zona 3	Gangguan pada Zona 3
8	SOTF	Switch On To Fault	Pada saat pemasukan PMT di sistem terjadi gangguan
9	(DIR)	Directional	Terjadi gangguan dengan impedansi tinggi
10	Aided Trip	Terima sinyal	Menerima sinyal (carrier) dari Gardu Induk lawan
11	SOTF	Switch On To Fault	Pada saat pemasukan PMT di sistem terjadi gangguan
12	V~Fail	Tegangan AC hilang	Salah satu atau semua tegangan AC yang menuju rele hilang
13	Power Swing	Ayunan Daya	Terjadi ayunan daya di sistem

(lanjutan)

Lampiran 6 Blok Diagram Rele Jarak GEC ALSTHOM Micromho

