



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE141599

**KOORDINASI PROTEKSI SALURAN UDARA TEGANGAN
TINGGI PADA GARDU INDUK MLIWANG - TUBAN
AKIBAT PENAMBAHAN PENGHANTAR PLTU
TANJUNG AWAR-AWAR**

Henry Haskarya
NRP 2214105032

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Ir. Arif Musthofa, MT.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - TE141599

**COORDINATION OF PROTECTION AT HIGH VOLTAGE
TRANSMISSION LINE OF MLIWANG - TUBAN SUBSTATION
DUE TO ADDITION CONDUCTOR OF TANJUNG
AWAR-AWAR POWER PLANT**

Henry Haskarya
NRP 2214105032

Advisor
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Ir. Arif Musthofa, MT.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty Of Industry Technology
Sepuluh Nopember Institute Of Technology
Surabaya 2016

**KOORDINASI PROTEKSI SALURAN UDARA TEGANGAN
TINGGI PADA GARDU INDUK MLIWANG – TUBAN AKIBAT
PENAMBAHAN PENGHANTAR PLTU TANJUNG
AWAR-AWAR**

TUGAS AKHIR

**Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.
NIP. 196603181990101001

Dosen Pembimbing II

Ir. Arif Musthofa, M.T.
NIP. 196608111992031004



**KOORDINASI PROTEKSI SALURAN UDARA TEGANGAN
TINGGI PADA GARDU INDUK MLIWANG – TUBAN AKIBAT
PENAMBAHAN PENGHANTAR PLTU TANJUNG AWAR-
AWAR**

Nama Mahasiswa : Henry Haskarya
Nrp : 2214105032
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
NIP : 196603181990101001
Dosen Pembimbing : Ir. Arif Musthofa, MT.
NIP : 196608111992031004

ABSTRAK

Salah satu proteksi utama pada sistem proteksi jaringan transmisi 150 KV adalah rele jarak dengan rele arus lebih berarah sebagai proteksi cadangan lokal. Pada penelitian ini di lakukan re-setting koordinasi pengaman SUTT Mliwang – Tuban akibat penambahan jaringan transmisi baru PLTU Tanjung Awar-Awar. Dari hasil penelitian mendapatkan kesimpulan bahwa setting zona 1, zona 2 pada saluran transmisi Mliwang-Tuban mendekati data setting *existing*, sedang zona 3 terdapat perbedaan setting, sehingga perlu dilakukan peninjauan kembali setting proteksi di transmisi.

Kata Kunci : rele jarak, rele arus lebih berarah, koordinasi proteksi saluran transmisi

-Halaman ini sengaja dikosongkan-

**COORDINATION OF PROTECTION AT HIGH VOLTAGE
TRANSMISSION LINE OF
MLIWANG – TUBAN SUBSTATION DUE TO ADDITION
CONDUCTOR OF TANJUNG AWAR – AWAR POWER PLANT**

Student Name : Henry Haskarya
Student ID : 2214105032
Supervisor I : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
NIP : 196603181990101001
Supervisor II : Ir. Arif Musthofa, MT.
NIP : 196608111992031004

ABSTRACT

One of the primary protection in the protection system of 150 KV transmission network is the distance relay with directional overcurrent relays as a local backup protection. In doing this research in re-setting the security coordination SUTT Mliwang - Tuban due to the addition of new transmission lines power plant Tanjung Awar-Awar. From the results of the study came to the conclusion that the setting zone 1, zone 2 on the transmission line Mliwang-Tuban approaching the data existing settings, while zone 3 there are different settings, so that should be a review of protection in the transmission setting.

Keywords: *Distance relay, overcurrent relay, protection coordination at transmission lines*

-Halaman ini sengaja dikosongkan-

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR KEASLIAN	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan dan Manfaat	2
1.5 Metodologi.....	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
1.7 Relevansi.....	4
BAB II PROTEKSI PADA SISTEM KELISTRIKAN.....	5
2.1 Gangguan-Gangguan pada Sistem Tenaga Listrik.....	5
2.2 Gangguan Hubung Singkat pada Sistem Tenaga Listrik..	7
2.3 Perhitungan Arus Hubung Singkat.....	7
2.4 Rele Pengaman.....	9
2.5 Rele Jarak.....	9
2.5.1 Karakteristik Kerja Rele Jarak	10
2.5.2 Karakteristik Mho	11
2.5.3 Karakteristik Quadrilateral	11
2.5.4 Zona Proteksi Rele Jarak	12
2.5.5 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Jangkauan ...	15
2.5.6 Teleproteksi	19
2.6 Rele Arus Lebih Berarah	22
2.6.1 Prinsip Kerja DOCR	22
2.6.2 Penggunaan Rele Arus Lebih.....	22
2.6.3 Rele Arus Lebih Definite	22
2.6.4 Rele Arus Lebih Waktu Invers.....	23
2.6.5 Rele Arus Lebih Waktu Instan.....	24

2.7	Penyetelan Rele Arus Lebih	25
2.7.1	Setting Rele Arus Lebih Waktu Invers.....	25
2.7.2	Setting Rele Arus Lebih Instan	26
BAB III METODE PERHITUNGAN DAN SIMULASI		27
3.1	Langkah Penelitian	27
3.2	<i>Single Line</i> GI 150 kv Mliwang-Tuban	28
3.3	Data Impedansi SUTT 150KV	29
3.4	Data Transmisi SUTT 150KV Mliwang - Tuban	30
3.5	Pertimbangan Perhitungan Setting Rele Jarak.....	33
BAB IV KOORDINASI DAN ANALISA RELE PROTEKSI		
SUTT GI MLIWANG-TUBAN.....		37
4.1	Perhitungan Setelan Rele Jarak Mliwang-Tuban	37
4.2	Hubung Singkat Maksimum (Primer)	39
4.3	Hubung Singkat Maksimum (<i>Back Up</i>)	40
4.4	Perhitungan Setelan Rele Arus Lebih Gangguan Fasa....	41
4.5	Koordinasi Waktu Rele Jarak dan Rele Arus Lebih.....	44
4.6	Faktor Kompensasi Urutan Nol (K_0).....	48
4.7	Batasan Jangkauan Resistif Terhadap Beban	48
4.8	Skema Teleproteksi	49
BAB V PENUTUP.....		51
5.1	Kesimpulan.....	51
5.2	Saran.....	51
DAFTAR PUSTAKA		liii
BIOGRAFI PENULIS		

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Koefisien invers time dial.....	26
Tabel 3.1	Data impedansi SUTT 150 KV	30
Tabel 4.1	Setting primer Tuban arah Kerek 1 dan 2.....	37
Tabel 4.2	Setting sekunder Tuban arah Kerek 1.....	37
Tabel 4.3	Setting sekunder Tuban arah Kerek 2.....	37
Tabel 4.4	Setting <i>existing</i> Tuban arah Kerek 1.....	38
Tabel 4.5	Setting <i>existing</i> Tuban arah Kerek 2.....	38
Tabel 4.6	Setting primer Mliwang arah Kerek 1 dan 2	38
Tabel 4.7	Setting sekunder Mliwang arah Kerek 1 dan 2.....	39
Tabel 4.8	Setting <i>existing</i> Mliwang arah Kerek 1 dan 2.....	39
Tabel 4.9	Data hubung singkat maksimum (primer)	39
Tabel 4.10	Data hubung singkat maksimum (sekunder)	40
Tabel 4.11	Setting DOCR	43
Tabel 4.12	Waktu trip DOCR gangguan 3 fasa	44
Tabel 4.13	Waktu trip DOCR gangguan fasa-fasa	44
Tabel 4.14	Waktu trip DOCR gangguan 1 fasa-ground	44
Tabel 4.15	Waktu trip DOCR gangguan 3 fasa.....	46
Tabel 4.16	Waktu trip DOCR gangguan fasa-fasa	46
Tabel 4.17	Waktu tripping DOCR gangguan 1 fasa-ground	46

-Halaman ini sengaja dikosongkan-

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Prinsip kerja rele jarak	10
Gambar 2.2	Karakteristik mho	11
Gambar 2.3	Karakteristik quadrilateral	12
Gambar 2.4	Setelan zona proteksi rele jarak	13
Gambar 2.5	Pengaruh resistansi gangguan pada rele jarak.....	16
Gambar 2.6	Pembangkit di ujung saluran.....	16
Gambar 2.7	Saluran transmisi ganda ke tunggal	17
Gambar 2.8	Saluran transmisi ganda ke ganda.....	17
Gambar 2.9	Saluran transmisi ganda ke ganda.....	18
Gambar 2.10	Pola dasar	19
Gambar 2.11	Rangkaian logika skema PUTT	20
Gambar 2.12	Rangkaian logika skema POTT	20
Gambar 2.13	Rangkaian logika skema blocking	21
Gambar 2.14	Karakteristik rele arus lebih waktu tertentu	23
Gambar 2.15	Karakteristik <i>standard inverse, very inverse dan extremely inverse</i>	24
Gambar 2.16	Karakteristik rele arus lebih instant	24
Gambar 2.17	Kombinasi IDMT dengan rele arus lebih waktu instan.....	25
Gambar 3.1	<i>Flowchart</i> pengerjaan Tugas Akhir	27
Gambar 3.2	Skema SUTT Mliwang - Tuban.....	29
Gambar 3.3	Konfigurasi sistem saluran udara tegangan tinggi 150 KV Mliwang – Tuban.	33
Gambar 3.4	Zona-1	33
Gambar 3.5	Zona-2.....	34
Gambar 3.6	Zona-2.....	34
Gambar 4.1	Koordinasi waktu 3 fasa	45
Gambar 4.2	Koordinasi waktu fasa-fasa	45
Gambar 4.3	Koordinasi waktu 1 fasa - tanah	45
Gambar 4.4	Koordinasi waktu 3 fasa	46
Gambar 4.5	Koordinasi waktu fasa-fasa	47
Gambar 4.6	Koordinasi waktu 1 fasa - tanah	47

-Halaman ini sengaja dikosongkan-

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dengan pertumbuhan penduduk, perumahan, dan industri, dan juga untuk meningkatkan kapasitas penyediaan energi listrik dimasa mendatang maka perlu ditambah adanya pembangkit baru untuk mengatasi kebutuhan listrik tersebut. Karena alasan tersebut maka di bangunlah PLTU Tanjung Awar-awar sebagai unit pembangkit baru di PLN-APP Madiun. Pembangunan PLTU Tanjung Awar-Awar menyebabkan perubahan konfigurasi jaringan tenaga listrik, khususnya dalam jaringan transmisi tegangan tinggi.

Konfigurasi Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) yang berubah akibat adanya PLTU ini salah satunya adalah SUTT Mliwang-Tuban. Umumnya setiap perubahan konfigurasi jaringan tentunya akan disertai dengan perubahan setting pengamanannya. Untuk itu perlu di adakan re-setting ulang koordinasi pengaman pada jaringan yang baru.

Fungsi sistem proteksi adalah untuk memutus arus gangguan yang muncul dengan cepat dan selektif. Ketika arus gangguan muncul maka sistem proteksi harus dapat memutus arus gangguan tersebut dengan cepat sebelum terjadi kerusakan pada peralatan serta membatasi dampak gangguan agar tidak meluas ke seluruh sistem. Oleh sebab itu, sistem proteksi harus di-setting sedemikian rupa agar sistem proteksi tersebut dapat melakukan fungsinya dengan baik.

Penambahan pembangkit tersebut dapat menyebabkan setting proteksi yang ada tidak sesuai lagi dengan kondisi yang baru. Pada Tugas Akhir ini akan membahas mengenai koordinasi proteksi SUTT antara GI Mliwang-Tuban akibat adanya penambahan pembangkit Tanjung Awar-Awar. Analisa koordinasi proteksi SUTT antara GI Mliwang-Tuban yang meliputi perhitungan resetting proteksi (rele jarak, relai arus lebih). Sehingga dengan adanya desain dan setting yang tepat maka diharapkan sistem proteksi menjadi efisien dan dapat bekerja dengan cepat dan selektif memutus arus gangguan.

Sistem proteksi tenaga listrik karena bebrbagai macam factor dapat mengalami kegagalan operasi sehingga diperlukan proteksi cadangan atau *back-up protection* yang akan bekerja jika proteksi utama gagal bekerja. Saluran udara tegangan tinggi menggunakan rele jarak sebagai proteksi utama dan dilengkapi proteksi cadangan lokal serta proteksi

cadangan jauh. Sistem proteksi cadangan local menggunakan rele arus lebih berarah (DOCR), sedangkan proteksi cadangan jauh menggunakan zona dua rele jarak dari gardu induk yang lain. Sistem proteksi utama dan proteksi cadangan harus dikoordinasikan agar dapat bekerja secara selektif.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana prinsip kerja dan pemasangan rele jarak dan rele arus lebih yang tepat dalam mengamankan saluran transmisi.
2. Apakah pengaruh adanya penghantar baru pada koordinasi pengaman penghantar?
3. Bagaimana melakukan setting ulang rele proteksi (proteksi transmisi) pada SUTT Mliwang-Tuban?
4. Bagaimana melakukan koordinasi proteksi setelah pemasangan rele jarak dan rele arus lebih pada saluran transmisi?

1.3 Batasan Masalah

1. Gangguan yang ditinjau hanya gangguan hubung singkat.
2. Setelah rele jarak tidak memperhitungkan pengaruh mutual induktansi antar saluran transmisi paralel.
3. Perhitungan arus hubung singkat 3 fasa, dua fasa dan satu fasa ke tanah menggunakan bantuan aplikasi *software ETAP* versi 12.6 per Maret 2016 dengan asumsi konfigurasi adalah kondisi normal operasi.
4. Setting dan pemasangan *distance relay* dan *directional overcurrent relay* untuk mengamankan saluran transmisi.
5. Transmisi yang digunakan adalah penghantar Gardu Induk Mliwang - Tuban

1.4 Tujuan dan Manfaat

Tugas Akhir ini memiliki tujuan sebagai berikut :

1. Memodelkan, mensimulasikan, mendesain, dan menganalisis setting ulang proteksi pada GI Mliwang-Tuban akibat penambahan pembangkit Tanjung Awar-Awar.
2. Mendapatkan setting proteksi yang tepat sehingga rele proteksi tersebut dapat bekerja dengan baik.

1.5 Metodologi

Metode yang digunakan dalam penyusunan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Pengumpulan Data

Pengumpulan data rating kabel, transformator, generator, motor, bus, rele dan sistem pentanahan akan digunakan dalam pemodelan sistem pada simulasi. Data rating yang dibutuhkan berupa manufaktur, kV rating, PF rating, *Full Load Ampere* (FLA), impedansi, daya.

2. Studi Literatur

Mempelajari sistem proteksi rele jarak dan arus lebih fasa yang baru dengan adanya penambahan pembangkit Tanjung-Awar-Awar.

3. Pemodelan Sistem dan Simulasi

Pemodelan pada sistem kelistrikan ini dilakukan dengan menggunakan program simulasi dalam bentuk single line diagram. Selanjutnya dilakukan simulasi hubung singkat, desain ulang, dan koordinasi proteksi.

4. Analisa Data

Melakukan evaluasi dan analisa dalam koordinasi sistem proteksi yang baru serta melakukan penyetelan ulang (resetting rele) serta memplotkan hasil dari resetting rele.

5. Pembuatan Laporan Tugas akhir

Pada pembuatan laporan Tugas Akhir ini akan diberikan saran dan rekomendasi tentang koordinasi rele jarak, rele arus lebih gangguan fasa yang tepat pada SUTT Mliwang-Tuban.

1.6 Sistematika Penulisan

Untuk memudahkan pembahasan yang akan dilakukan, Tugas Akhir ini dibagi menjadi lima bab dengan sistematika sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini meliputi latar belakang, perumusan masalah, tujuan dan manfaat, metodologi, dan sistematika pembahasan.

BAB II : PROTEKSI PADA SISTEM KELISTRIKAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai teori-teori yang digunakan dalam tugas akhir ini.

BAB III : METODE PERHITUNGAN DAN SIMULASI

Bab ini menjelaskan mengenai rele proteksi saluran udara tegangan tinggi..

BAB IV : KOORDINASI SETELAN RELE PROTEKSI SALURAN UDARA TEGANGAN TINGGI GI MLIWANG - TUBAN

Dalam bab ini akan dibahas mengenai perhitungan perhitungan dan hasil simulasi yang telah dilakukan. Bab ini menyajikan analisis terhadap koordinasi setelan rele yang baru ketika terjadi hubung singkat serta beberapa rekomendasi untuk setelan rele baru sehingga menghasilkan koordinasi yang baik.

BAB V: PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dan saran dari hasil simulasi, studi literatur dan analisis yang telah dilakukan.

1.7 Relevansi

Hasil yang diperoleh dari Tugas Akhir ini diharapkan dapat membawa manfaat sebagai berikut:

1. Dapat dijadikan sebagai acuan pada pembuatan koordinasi proteksi rele jarak, rele arus lebih pada sistem kelistrikan yang baru akibat penambahan pembangkit.
2. Dapat menjadi referensi mahasiswa lain yang hendak mengambil masalah serupa pada tugas akhirnya.
3. Memberikan kontribusi terhadap pengetahuan tentang sistem proteksi pada sistem kelistrikan.
4. Memberikan kontribusi bagi orang lain yang hendak mempelajari tentang sistem proteksi.

BAB II

PROTEKSI PADA SISTEM KELISTRIKAN

Sistem tenaga harus didesain agar rele proteksi dapat beroperasi untuk merasakan dan mengisolasi gangguan secepatnya. Rele proteksi penting dalam industri sistem tenaga karena dapat mencegah kerugian produksi yang besar akibat padamnya peralatan atau kerusakan peralatan yang tidak perlu yang disebabkan oleh adanya gangguan atau *overload*. Arus gangguan yang mengalir pada sistem tenaga listrik menyebabkan beroperasinya rele proteksi dan menggerakkan pemutus tenaga (*Circuit Breaker*) sehingga aliran daya yang mengalir terputus.

Pemilihan rele proteksi harus mempertimbangkan hal-hal sebagai berikut: Proteksi maksimum, biaya peralatan minimum, proteksi yang handal, operasi cepat, desain simpel, sensitivitas tinggi terhadap gangguan, dan tidak sensitif terhadap arus beban normal.

Zona proteksi diklasifikasikan sebagai primer atau *back up*. Rele proteksi primer adalah pertahanan pertama terhadap gangguan sistem dan beroperasi pertama untuk mengisolasi gangguan. Umumnya, rele kecepatan-tinggi (misal, waktu operasi *breaker 1 cycle* hingga *3 cycle*). Jika gangguan tidak terisolasi setelah beberapa waktu *delay*, proteksi *backup* akan bekerja dengan melakukan *trip circuit breaker* utama atau dengan melakukan *trip circuit breaker* pada zona yang berdekatan.

2.1 Gangguan-Gangguan pada Sistem Tenaga Listrik

Di dalam setiap system, tidak terkecuali sistem tenaga listrik, gangguan adalah hal yang harus dihindari. Berbagai macam piranti pengaman terintegrasi dan dikoorinasikan dengan peralatan lain (*Circuit Breaker*) yang mana diharapkan apabila terjadi gangguan dapat sesegera mungkin dihilangkan sehingga tidak mempengaruhi kontinuitas penyaluran daya listrik. Sebelum membahas lebih lanjut mengenai peralatan pengaman dalam system tenaga listrik, ada baiknya mengetahui tentang berbagai macam gangguan yang sering terjadi.

Definisi gangguan dalam sistem tenaga listrik adalah tidak normal dimana keadaan ini dapat mengakibatkan terganggunya kontinuitas pelayanan tenaga listrik. Secara umum gangguan pada system tenaga listrik disebabkan oleh 2 faktor, yaitu :

1. Gangguan yang berasal dari dalam sistem.

Gangguan ini biasanya disebabkan oleh :

- Tegangan dan arus abnormal yang menyebabkan terjadinya kenaikan level tegangan dan arus yang sangat besar, sehingga menghasilkan panas yang berlebih pada komponen dalam system tenaga listrik.
 - Instalasi peralatan yang kurang baik.
 - Kesalahan mekanis karena usia peralatan yang mengalami penuaan.
 - Kerusakan material seperti isolator pecah, kawat putus, atau kabel cacat isolasiya.
2. Gangguan yang berasal dari luar sistem.
- Gangguan yang berasal dari luar sistem disebabkan antara lain :
1. Pengaruh cuaca seperti hujan angin, serta surja petir. Pada gangguan surja petir dapat mengakibatkan gangguan tegangan lebih dan dapat menyebabkan gangguan hubung singkat karena tembus isolasi peralatan (*breakdown*).
 2. Gangguan-gangguan mekanis karena pekerjaan galian saluran lain (air, gas, telekomunikasi). Gangguan ini terjadi terutama pada sistem kelistrikan bawah tanah.
 3. Pengaruh lingkungan seperti pohon, binatang, dan benda-benda asing serta kibat kecerobohan manusia.

Bila ditinjau dari segi lamanya waktu gangguan, maka dapat dikelompokkan menjadi :

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

Untuk gangguan yang bersifat sementara setelah arus gangguannya terputus misalnya karena terbukanya *Circuit Breaker* (CB) oleh rele pengamannya, peralatan atau saluran yang terganggu tersebut siap dioperasikan kembali. Sedangkan pada gangguan permanen terjadi kerusakan yang bersifat permanen sehingga baru bisa dioperasikan kembali setelah bagian yang rusak diganti atau diperbaiki.

Pada saat terjadi gangguan akan mengalir arus yang sangat besar pada fasa yang terganggu menuju titik gangguan, dimana arus gangguan

tersebut mempunyai harga yang jauh lebih besar dari rating arus maksimum yang diijinkan, sehingga terjadi kenaikan temperature yang dapat mengakibatkan kerusakan pada peralatan listrik yang digunakan.

2.2 Gangguan Hubung Singkat pada Sistem Tenaga Listrik

Gangguan hubung singkat merupakan gangguan yang sangat berbahaya karena dapat menyebabkan arus yang mengalir menjadi sangat besar di sekitar titik gangguan. Seperti dijelaskan sebelumnya bahwa gangguan hubung singkat dalam system tenaga dibagi menjadi dua macam yaitu: gangguan hubung singkat simetri dan asimetri. Gangguan hubung singkat simetri terdiri dari gangguan hubung singkat tiga fasa (L-L-L) dan tiga fasa ke tanah (L-L-L-G). gangguan hubung singkat tidak simetri terdiri dari gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah (L-G), dua fasa ke tanah (L-L-G) dan antar fasa (L-L).

Hampir semua gangguan yang terjadi pada system tenaga listrik merupakan gangguan tidak simetri. Seperti disebutkan diatas, gangguan ini disebabkan oleh gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, dua fasa ke tanah, dan gangguan antar fasa. Gangguan-gangguan tidak simetri akan menyebabkan mengalirnya arus tidak seimbang dalam sistem, sehingga untuk analisis gangguan digunakan metode komponen simetri. Hal ini digunakan untuk menentukan arus maupun tegangan di semua bagian sistem setelah terjadi gangguan.

2.3 Perhitungan Arus Hubung Singkat

Berdasarkan ANSI/IEEE Std. 100-1992 gangguan didefinisikan sebagai suatu kondisi fisis yang disebabkan kegagalan suatu perangkat, komponen, atau suatu elemen untuk bekerja sesuai dengan fungsinya. Gangguan hampir selalu ditimbulkan oleh hubung singkat antar fase atau hubung singkat fase ke tanah. Suatu gangguan hampir selalu berupa hubung langsung atau melalui impedansi. Istilah gangguan identik dengan hubung singkat, sesuai standart ANSI/IEEE Std. 100-1992.

Hubung singkat merupakan suatu hubungan abnormal (termasuk busur api) pada impedansi yang relatif rendah terjadi secara kebetulan atau disengaja antara dua titik yang mempunyai potensial yang berbeda. Istilah gangguan atau gangguan hubung singkat digunakan untuk menjelaskan suatu hubungan singkat. Untuk mengatasi gangguan tersebut, perlu dilakukan analisis hubung singkat sehingga sistem Proteksi yang tepat pada Sistem Tenaga Listrik dapat ditentukan. Analisis hubung singkat adalah analisis yang mempelajari kontribusi arus

gangguan hubung singkat yang mungkin mengalir pada setiap cabang didalam sistem (di jaringan distribusi, transmisi, trafo tenaga atau dari pembangkit) sewaktu gangguan hubung singkat yang mungkin terjadi di dalam sistem tenaga listrik.

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

- **Hubung Singkat Tiga Fasa**

Hubung singkat ini melibatkan ketiga fasa. Arus hubung singkat tiga fasa (I_{sc3}) diberikan oleh persamaan berikut :

$$I_{sc} = \frac{VLN}{X1}$$

Di mana VLN adalah tegangan nominal *line to neutral*, dan X1 adalah reaktansi urutan positif.

- **Hubung Singkat Antar Fasa**

Hubung singkat ini terjadi antara dua fasa tanpa terhubung ke tanah. Arus hubung singkat antar fasa (I_{sc2}) diberikan oleh persamaan berikut :

$$I_{sc2} = \frac{VLL}{X1+X2} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{sc3} = 0,866 I_{sc3}$$

- **Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah**

Hubung singkat ini melibatkan impedansi urutan nol (Z_0), dan besarnya arus hubung singkat ini tergantung sistem pentanahan yang digunakan. Arus hubung singkat antar fasa (I_{sc0}) diberikan oleh persamaan berikut :

$$I_{sc} = \frac{3VLN}{x1+x2+x0}$$

2.4 Rele Pengaman

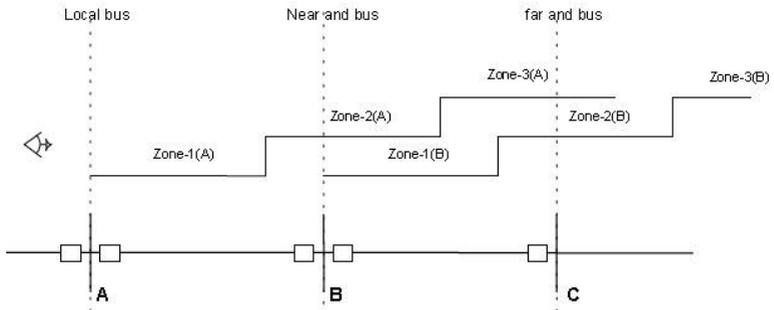
Seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa dalam sistem tenaga listrik banyak sekali terjadi gangguan yang sebenarnya adalah peristiwa hubung singkat. Gangguan ini dapat mengakibatkan kerusakan pada peralatan. Untuk melindungi peralatan terhadap gangguan yang terjadi dalam sistem diperlukan alat-alat pengaman. Alat-alat pengaman tersebut antara lain rele. Rele merupakan bagian dari peralatan sistem tenaga listrik yang digunakan untuk memerikan sinyal kepada CB, supaya dapat memutuskan atau menghubungkan pelayanan penyaluran pada elemen sistem tenaga listrik. Rele ini akan memberikan sinyal kepada CB untuk memutuskan sistem tenaga listrik jika terjadi gangguan.

Rele pengaman mempunyai beberapa fungsi sebagai berikut :

1. Membunyikan alarm, menutup rangkaian trip dari pemutus rangkaian, untuk membebaskan peralatan dari gangguan yang terjadi.
2. Membebaskan bagian yang bekerja tidak normal.
3. Membebaskan dengan segera bagian yang terganggu.
4. Melokalisasi akibat dari gangguan.
5. Memberikan petunjuk atas lokasi serta macam dari gangguan.

2.5 Rele Jarak

Pada proteksi saluran udara tegangan tinggi, rele jarak digunakan sebagai pengaman utama sekaligus sebagai pengaman cadangan untuk saluran transmisi yang berdekatan. Hal ini didasarkan bahwa impedansi saluran transmisi berbanding lurus dengan jaraknya sehingga memungkinkan dilakukan pengukuran impedansi berdasarkan panjang salurannya. Prinsip dasar dari rele jarak atau distance relay adalah berdasarkan rasio perbandingan tegangan dan arus gangguan yang terukur pada lokasi rele terpasang (apparent impedance), untuk menentukan apakah gangguan yang terjadi berada di dalam atau di luar zona yang diproteksinya. Rele jarak hanya bekerja untuk gangguan yang terjadi antara lokasi rele dan batas jangkauan (reach setting) yang telah ditentukan. Rele jarak juga dapat bekerja untuk mendeteksi gangguan antar fasa (phase fault) maupun gangguan ke tanah (ground fault). Skema kerja rele jarak di tunjukan pada gambar 2.1



Gambar 2.1 Prinsip kerja rele jarak

Rele jarak pada umumnya telah dilengkapi elemen directional untuk menentukan arah atau letak gangguan sehingga membuat rele menjadi lebih selektif. Gambar dibawah ini menjelaskan secara sederhana prinsip kerja rele jarak elektro-mekanis 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 besar 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).

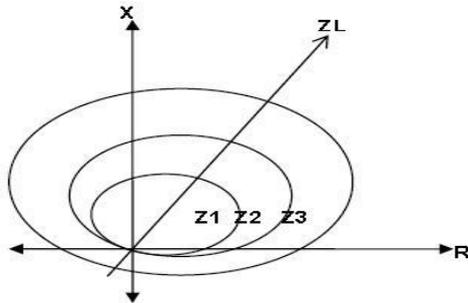
1. Lokasi gangguan jauh (di luar daerah jangkauan setting relay) :
 $I <, V > \text{restrain} > \text{operating} = \text{restrain}$ (rele tidak bekerja)
2. Lokasi gangguan dekat (di dalam daerah jangkauan setting relay) :
 $I >, V < \text{restrain} < \text{operating} = \text{operate}$ (rele bekerja)

2.5.1 Karakteristik Kerja Rele Jarak

Rele jarak dapat diklasifikasi berdasarkan karakteristik impedansi ($R-X$) didalam 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 dan quadrilateral.

2.5.2 Karakteristik Mho

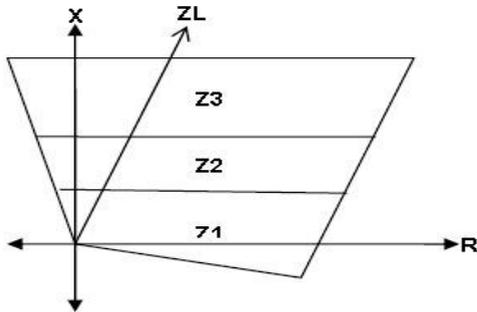
Karakteristik mho ketika digambar dalam diagram impedansi R-X merupakan lingkaran dimana diameter lingkaran tersebut memotong titik pusat dari sistem koordinat dan besarnya diameter tersebut menggambarkan setelan jangkauan dan sudut fasa dari karakteristik mho. Setelan jangkauan dan sudut fasa karakteristik mho dapat di atur sama dengan impedansi saluran transmisi yang diproteksinya. Rele jarak dengan karakteristik mho akan bekerja apabila impedansi yang terukur berada didalam lingkaran. Rele jarak karakteristik mho seperti gambar 2.2.



Gambar 2.2 Karakteristik kerja mho

2.5.3 Karakteristik Quadrilateral

Karakteristik kerja quadrilateral seperti ditunjukkan gambar 2.3 dapat dibentuk dengan menentukan setelan forward reach dan resistive reach yang masing-masing dapat di setel independen. Empat setelan batas rele yaitu batas paling atas menunjukkan setelan jangkauan reaktansi, kemudian batas kiri dan kanan yaitu setelan jangkauan resistansi positif dan resistansi negatif serta batas bawah menunjukkan elemen *directional*.



Gambar 2.3 Karakteristik kerja quadrilateral

Keterangan :

ZL = Impedansi saluran transmisi

ZR = Setelan jangkauan reaktansi rele jarak

RF = Setelan jangkauan resistansi rele jarak

32Q = Elemen arah (directional)

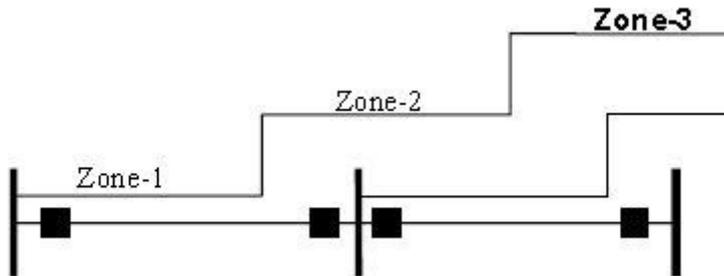
Rele dengan karakteristik quadrilateral akan bekerja apabila impedansi yang terukur oleh rele berada di dalam bidang yang dibatasi oleh empat garis yang telah disebutkan di atas. Quadrilateral mempunyai jangkauan resistansi yang lebih luas daripada karakteristik mho. Karakteristik kerja quadrilateral 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

2.5.4 Zona Proteksi Rele Jarak

Telah disebutkan bahwa rele jarak dapat digunakan sebagai proteksi utama maupun sebagai proteksi cadangan jauh (remote back-up protection) untuk saluran transmisi yang berdekatan. Daerah kerja rele jarak pada umumnya dibagi menjadi tiga zona yang dikoordinasikan dengan zona proteksi saluran transmisi seksi berikutnya agar tidak terjadi kondisi overlapping. Dasar pemilihan zona pengamanan rele jarak yang diaplikasikan adalah sebagai berikut :

1. Zone 1 Setting

Pemilihan daerah atau zona satu harus mencakup daerah sejauh mungkin dari saluran yang diamankan tetapi tidak boleh melampaui saluran di depannya. Setelan jangkauan yang digunakan adalah sebesar 80 % dari impedansi saluran transmisi yang diproteksinya. Adanya margin sebesar 20 % dari saluran transmisi adalah untuk menjamin bahwa zona satu rele tidak akan melebihi (over-reaching) saluran transmisi yang diproteksinya. Over-reaching rele dapat disebabkan kesalahan-kesalahan pengukuran dari CT, PT, data saluran dan lain-lain, seperti gambar 2.4 di bawah ini.



Gambar 2.4 Setelan zona proteksi rele jarak

$$\text{Zone 1} = 0.8 \times \text{ZL1}$$

Keterangan :

ZL1 = Impedansi saluran transmisi yang diamankan

2. Zone 2 Setting

Daerah zona dua harus dapat menjangkau sisa saluran transmisi yang tidak dapat diamankan oleh zona satu, tetapi tidak boleh overlapping dengan jangkauan zona dua dari saluran transmisi seksi berikutnya. Zona dua harus di setel dengan waktu tunda atau time delayed agar dapat dikoordinasikan dengan rele di ujung terminal yang lain. Waktu tunda ini diperlukan untuk menjaga agar rele tidak trip secara langsung (instantaneous) untuk gangguan di luar saluran transmisi yang

diproteksinya. Dengan mengasumsikan adanya kesalahan-kesalahan seperti pada penyetelan zona satu (CT error atau PT error), maka didapat penyetelan minimum dan maksimum untuk zona dua adalah:

$$\text{Zone 2 min} = 1.2 \times \text{ZL}$$

$$\text{Zone 2 max} = \text{ZL1} + 50\% \times \text{ZL2} \times k$$

Keterangan :

ZL1 = Impedansi saluran transmisi yang diamankan

ZL2 = Impedansi saluran transmisi seksi berikutnya yang terpendek

k = faktor infeed

Jika pada saluran transmisi seksi berikutnya terdapat beberapa cabang, untuk mendapatkan selektivitas yang baik maka setting zone-2max diambil pada saluran transmisi seksi berikutnya yang terpendek (ZL2), hal ini dimaksudkan agar jangkauan zona dua maksimum tidak melebihi jangkauan minimum zona dua dari saluran transmisi seksi berikutnya. Jika pada gardu induk di depannya terdapat trafo daya, maka jangkauan zona dua sebaiknya tidak melebihi impedansi trafo. Hal ini dimaksudkan jika terjadi gangguan pada sisi tegangan yang lebih rendah, rele tidak akan bekerja.

$$\text{ZTR} = 0.8(\text{ZL1} + K \cdot \text{ZTR})$$

keterangan :

K = bagian trafo yang diproteksi, nilai k direkomendasikan sebesar 0.5

3. Zone 3 Setting

Zona tiga rele dapat berfungsi sebagai pengaman cadangan untuk saluran transmisi seksi berikutnya, sehingga di set agar dapat meliputi seluruh saluran transmisi seksi berikutnya yang terpanjang (ZL3). Penyetelan jangkauan zona tiga adalah :

$$\text{Zone 3 min} = \text{ZL1} + 1.2 \text{ ZL3}$$

$$\text{Zone 3 max} = 1.2(\text{ZL1} + k \cdot \text{ZL3})$$

Keterangan :

ZL1 = Impedansi saluran transmisi yang diamankan

ZL3 = Impedansi saluran transmisi seksi berikutnya yang terpanjang

K = faktor infeed

Untuk pemilihan zona tiga dipilih nilai terbesar antara Zone-3min dan Zone-3max. Jika pada gardu induk di depannya terdapat trafo daya, maka jangkauan zona-3 sebaiknya tidak melebihi impedansi trafo. Jika terjadi kondisi overlapping dengan zona tiga seksi berikutnya maka waktu tunda zona tiga dapat dikoordinasikan waktunya dengan waktu tunda zona tiga seksi berikutnya.

$$ZTR = 0.8(ZL1 + K .ZTR)$$

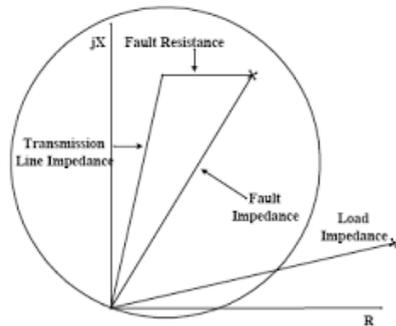
Keterangan :

K = bagian trafo yang diproteksi, nilai k direkomendasikan sebesar 0.8

2.5.5 Faktor Yang Mempengaruhi Jangkauan Resistansi Gangguan

Rele jarak harus dapat membedakan antara kondisi normal berbeban dan kondisi saat terjadinya gangguan. Rele dengan karakteristik kerja mho seperti ditunjukkan pada gambar 2.5 akan bekerja apabila impedansi yang terukur oleh rele berada di dalam lingkaran. Jika resistansi gangguan meningkat, rele jarak akan sulit untuk membedakan antara impedansi gangguan (ditambah resistansi) dengan impedansi beban. Dalam menentukan jangkauan setelan rele jarak, salah satu hal yang harus diperhatikan adalah impedansi saat beban maksimum harus berada di luar daerah kerja rele jarak.

Salah satu pengaruh resistansi gangguan terhadap operasi rele jarak adalah pergeseran impedansi yang terukur oleh rele ketika terjadi gangguan. Hal ini dapat menyebabkan rele menjadi underreaching, yaitu untuk gangguan yang seharusnya terdeteksi zona satu rele menjadi terdeteksi di zona dua rele atau gangguan dizona dua rele menjadi terdeteksi di zona tiga rele. Resistansi gangguan yang timbul pada saat gangguan ke tanah pada umumnya mempunyai resistansi yang lebih tinggi daripada gangguan antar fasa. Impedansi gangguan pada saat gangguan ke tanah dapat disebabkan impedansi menara (tower impedance and tower footing resistance) dan resistansi arc. Resistansi arc dipengaruhi oleh besarnya arus gangguan dan panjang dari arc itu sendiri.

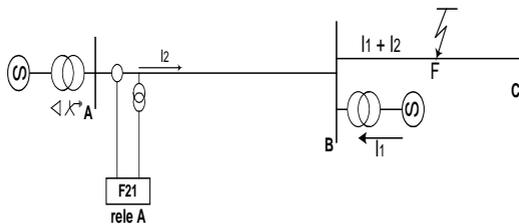


Gambar 2.5 Pengaruh resistansi gangguan pada rele jarak.

Arus Infeed

Infeed adalah pengaruh penambahan atau pengurangan arus yang melalui titik terminal terhadap arus yang melalui rele yang ditinjau. Secara umum infeed dapat disebabkan adanya pembangkit antara rele dengan titik gangguan atau dapat juga disebabkan adanya perubahan konfigurasi saluran dari saluran transmisi ganda ke tunggal atau sebaliknya. Adanya pengaruh infeed ini akan membuat impedansi yang dilihat rele menjadi lebih besar (overreaching) atau menjadi lebih kecil (underreaching).

Pembangkit pada Ujung Saluran yang Diamankan



Gambar 2.6 Pembangkit di ujung saluran

Pada konfigurasi saluran transmisi dengan pembangkit di ujung saluran pada gambar 2.6, jika terjadi gangguan di titik f, maka impedansi yang terlihat oleh rele A adalah:

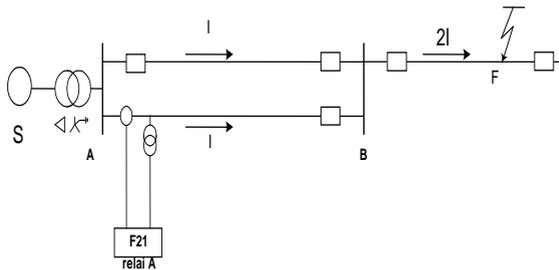
$$V_{Af} = V_{AB} + V_{Bf}$$

$$V_{Af} = I_1 \cdot Z_1 + I_1 \cdot Z_{Bf}$$

Sehingga impedansi yang terukur oleh rele A adalah

- $ZRA = V_{Af} / I_1 = (I_1 \cdot Z_{AB} + I_1 \cdot Z_{Bf}) / I_1$
- $ZRA = V_{Af} = I_1 \cdot Z_{AB} + (I_1 + I_2) \cdot Z_{Bf}$
- $ZRA = Z_{AB} + (I_1 + I_2) Z_{Bf} / I_1$
- $ZRA = Z_{AB} + k \cdot Z_{Bf}$
- Jadi, faktor infeed $\rightarrow k = (I_1 + I_2) / I_1$

Saluran Transmisi Ganda ke Tunggal

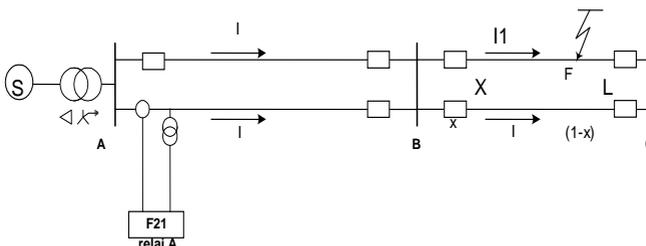


Gambar 2.7 Saluran transmisi ganda ke tunggal

Pada konfigurasi saluran transmisi ganda ke tunggal pada gambar 2.7, jika terjadi gangguan di titik f, maka impedansi yang terlihat oleh rele A adalah:

- $ZRA = V_{RA} / I_{RA} = (I \cdot Z_{AB} + 2I \cdot Z_{BF}) / I$
- $ZRA = Z_{AB} + 2 \cdot Z_{BF}$
- Jadi faktor infeed, $\rightarrow k = 2$

Saluran Transmisi Ganda ke Ganda



Gambar 2.8 Saluran transmisi ganda ke ganda

Pada konfigurasi saluran transmisi ganda ke ganda pada gambar 2.8, jika terjadi gangguan di titik f, maka impedansi yang terlihat oleh rele A adalah:

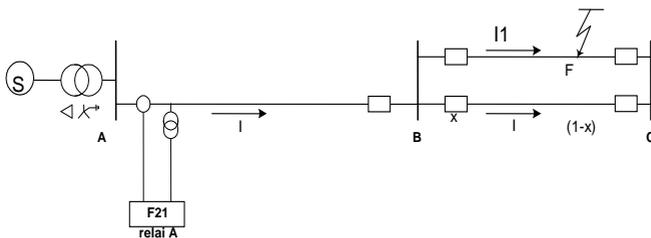
$$Z_{RA} = \frac{IZ_{AB} + IZ_{Bf}}{I} = Z_{AB} + \frac{I_1}{I} Z_{Bf}$$

$$I_1 = \frac{2L-X}{l} 2I$$

$$Z_{RA} = Z_{AB} + \frac{2L-X}{l} Z_{Bf}$$

- Faktor infeed, $\rightarrow K = (2L-X)/L$
- Untuk gangguan F dekat rel B ($X = 0$) faktor infeed $k = 2$
- Untuk gangguan F dekat rel C ($X = l$) faktor infeed $k = 1$
- Untuk gangguan F diantara rel B dan rel C, infeed antara $1 \leq k \leq 2$

Saluran Transmisi Tunggal ke Ganda



Gambar 2.9 Saluran transmisi ganda ke ganda

Pada konfigurasi saluran transmisi tunggal ke ganda pada gambar 2.9, jika terjadi gangguan di titik f, maka impedansi yang terlihat oleh rele A adalah:

$$Z_{RA} = \frac{IZ_{AB} + IZ_{Bf}}{I} = Z_{AB} + \frac{I_1}{I} Z_{Bf}$$

$$I_1 = \frac{2L-X}{l} I$$

$$Z_{RA} = Z_{AB} + \frac{2L-X}{2l} Z_{Bf}$$

- Faktor infeed $\rightarrow K = (2L-X) / 2L$
- Untuk gangguan F dekat rel B ($X = 0$) faktor infeed $k = 1$
- Untuk gangguan F dekat rel C ($X = l$) faktor infeed $k = 0.5$
- Untuk gangguan F diantara rel B dan rel C, infeed antara $0.5 \leq k \leq 1$

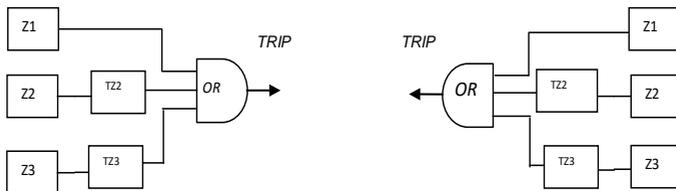
2.5.6 Teleproteksi

Agar dapat bekerja selektif dan seketika pada daerah unit proteksi, *distance relay* dilengkapi dengan teleproteksi. Teleproteksi merupakan rangkaian peralatan yang berfungsi untuk mengirim dan

menerima sinyal dari gardu induk yang satu ke gardu induk lain didepannya atau yang berhadapan, untuk dapat memberikan perintah *trip* seketika. Pola teleproteksi yang umumnya digunakan adalah sebagai berikut.

Pola Dasar (Basic Scheme)

- Tidak ada fasilitas sinyal PLC / komunikasi.
- Untuk lokasi gangguan antara 80 – 100 % relai akan bekerja zone-2 yang waktunya lebih lambat (tertunda).



Gambar 2.10 Pola dasar

Pola PUTT (Permissive Underreach Transfer Trip)

Pada pola ini peralatan TP akan mengirim sinyal (carrier send) ke peralatan TP pada gardu induk didepannya apabila distance relay mendeteksi gangguan pada zona 1. Pada gardu induk yang menerima sinyal (carrier receive), apabila distance relay mendeteksi gangguan pada zona 2 dan menerima sinyal TP, maka relai akan memberikan perintah trip waktu zona 1. Rangkaian logika pola ini sebagaimana terlihat pada Gambar 2.11

- Pengiriman sinyal trip (carrier send) oleh relai jarak zone-1.
- Trip seketika oleh teleproteksi akan terjadi bila relai jarak zone-2 bekerja disertai dengan menerima sinyal. (carrier receipt).
- Bila terjadi kegagalan sinyal PLC maka relai jarak kembali ke pola dasar.

Dapat menggunakan berbeda type dan relai jarak

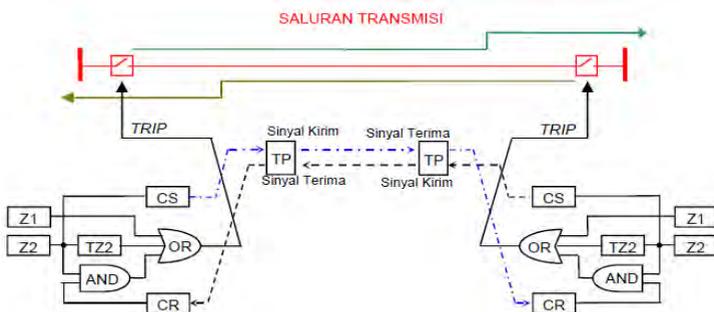


Gambar 2.11 Rangkaian logika skema PUTT

Permissive Overreach Transfer Trip (POTT)

Pada pola ini peralatan TP akan mengirim sinyal (*carrier send*) ke peralatan TP pada gardu induk didepannya apabila mendeteksi gangguan zona 2. Pada gardu induk yang menerima sinyal (*carrier receive*), apabila *distance relay* mendeteksi gangguan pada zona 2, maka memberikan perintah *trip* pada waktu zona 1. Rangkaian logika pola ini sebagaimana terlihat pada Gambar 2.12

- Pengiriman sinyal trip (*carrier send*) oleh relai jarak zone-2.
- Trip seketika oleh teleproteksi akan terjadi bila relai jarak zone-2 bekerja disertai dengan menerima sinyal (*carrier receipt*).
- Bila terjadi kegagalan sinyal PLC maka relai jarak kembali ke pola dasar.
- Dapat menggunakan berbeda type dan relai jarak

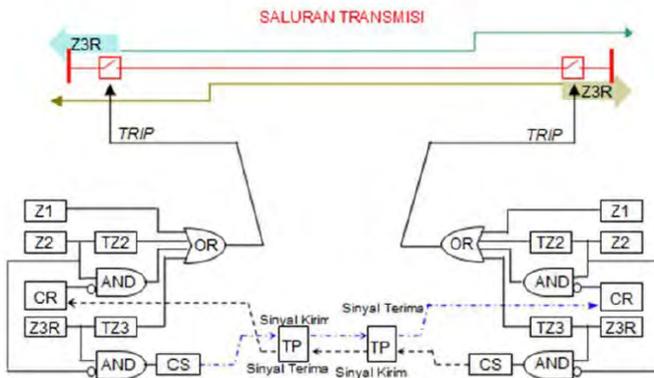


Gambar 2.12 Rangkaian logika skema POTT

Blocking Scheme

Pada pola ini peralatan TP akan mengirim sinyal ke peralatan TP pada gardu induk didepannya apabila *distance relay* mendeteksi gangguan pada daerah belakang (*reverse zone*). Pada gardu induk yang menerima sinyal, apabila *distance relay* mendeteksi gangguan pada daerah depan (*forward zone*) Zona 2 maka relai akan memberikan perintah blok (*blocking*). Apabila relai tidak menerima sinyal namun mendeteksi gangguan pada daerah depan (zona 2), maka relai akan memberikan perintah trip seketika. Rangkaian logika pola ini sebagaimana terlihat pada Gambar 2.13

- Pengiriman sinyal block (carrier send) oleh relai jarak zone-3 reverse.
- Trip seketika oleh teleproteksi akan terjadi bila relai jarak zone-2 bekerja disertai dengan tidak ada penerimaan sinyal block. (carrier receipt).
- Bila terjadi kegagalan sinyal PLC maka relai jarak akan mengalami mala kerja.
- Membutuhkan sinyal PLC cukup half duplex.
- Relai jarak yang dibutuhkan merk dan typenya sejenis.



Gambar 2.13 Rangkaian logika skema blocking

2.6 Rele Arus Lebih Arah (*Directional Over Current Relay*)

2.6.1 Prinsip Kerja DOCR

Rele arus lebih merupakan suatu jenis rele yang bekerja berdasarkan besarnya arus masukan, dan apabila besarnya arus msukn melebihi suatu harga tertentu yang dapat diatur (I_p) maka rele harus arus lebih bekerja. Dimana I_p merupakan arus kerja yang dinytakan menurut gulungan sekunder dari trafo arus (CT). Bila suatu gangguan terjadi di dalam daerah perlindungan rele, besarnya arus gangguan I_f yang juga dinyatakan terhadap gulungan sekunder CT juga. Sehingga, rele arus lebih beroperasi ketika arus yang mengalir melebihi batas yang diizinkan. Rele akan bekerja apabila memenuhi keadaan sebagai berikut:

$I_f > I_p$	rele bekerja	(<i>trip</i>)
$I_f < I_p$	tidak bekerja	(blok)

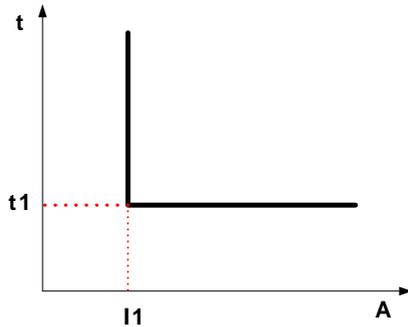
Dimana I_p merupakan arus kerja yang dinyatakan menurut gulungan sekunder dari trafo arus (CT). Dan I_f merupakan arus gangguan yang juga dinyatakan terhadap gulungan sekunder CT. Rele arus lebih ini hampir melindungi semua bagian pada sistem tenaga listrik misalnya jaringan transmisi, trafo, generator, dan motor. Rele arus lebih dapat berupa Rele arus lebih waktu tertentu, Rele arus lebih waktu *invers*, Rele arus lebih waktu instan.

2.6.2 Penggunaan Rele Arus Lebih

- Sistem tenaga listrik yang relative kecil dengan jaringan distribusi radial.
- Jaringan tegangan mencegah (jaringan distribusi).
- Generator, motor, transformator dengan kapasitas daya kecil.
- Generator, motor, transformator dengan kapasitas daya besar sebagai pengaman cadangan.

2.6.3 Rele Arus Lebih Definite

Rele arus lebih ini dapat diatur waktu operasi yang bervariasi berdasarkan *level* arus yang berbeda. Sehingga dengan menggunakan rele arus lebih ini gangguan yang paling dekat dapat diputus dengan cepat sesuai dengan *time delay* yang *disetting*. Semua *level* arus yang melebihi *pickup setpoint*-nya akan diputuskan dalam waktu yang sama (*definite*). Gambar 2.14 menunjukkan karakteristik dari rele arus lebih waktu tertentu.

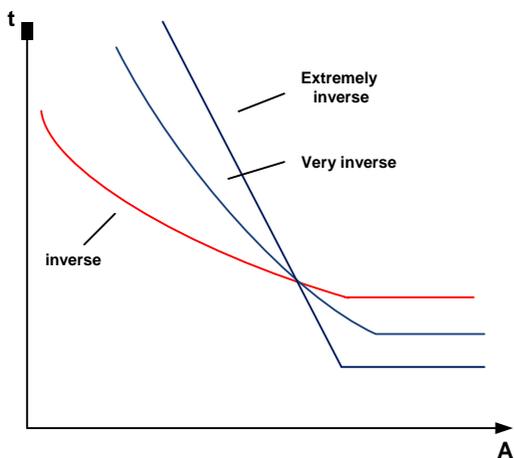


Gambar 2.14 Karakteristik rele arus lebih waktu tertentu

2.6.4 Rele Arus Lebih Waktu Invers

Rele arus lebih ini memiliki waktu operasi yang berbanding terbalik dengan besarnya arus gangguan. Jadi, semakin besar arus gangguan maka rele akan beroperasi dalam waktu yang semakin cepat, dan juga sebaliknya jika arus gangguan kecil maka waktu operasi rele akan lebih lama. TCC (*time-current characteristic*) adalah kurva dengan skala dalam *time dial*. Semakin besar *time dial*, maka semakin lama waktu operasi dari rele tersebut.

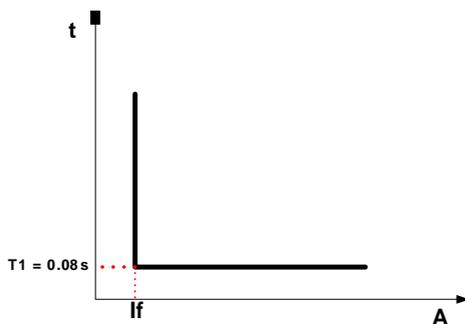
Karakteristik invers ini dijelaskan dalam standar IEC 60255-3 dan BS 142. Standar-standar ini mendefinisikan beberapa jenis perlindungan waktu invers yang dibedakan oleh gradien kurvanya, yaitu *standard inverse*, *very inverse* dan *extremely inverse* seperti pada Gambar 2.15 Standar lain, misalnya standar IEEE juga memberikan karakteristik kurva yang lain, seperti *moderately inverse*, *long time inverse*, dan *short time inverse*. Kurva invers ini sering dijumpai dengan *inverse definite minimum time* (IDMT). Karena seiring dengan arus yang bertambah besar, waktu operasi turun semakin cepat seolah mendekati waktu *definite* minimumnya.



Gambar 2.15 Karakteristik *standard inverse*, *very inverse* dan *extremely inverse*

2.6.5 Rele Arus Lebih Waktu Instan

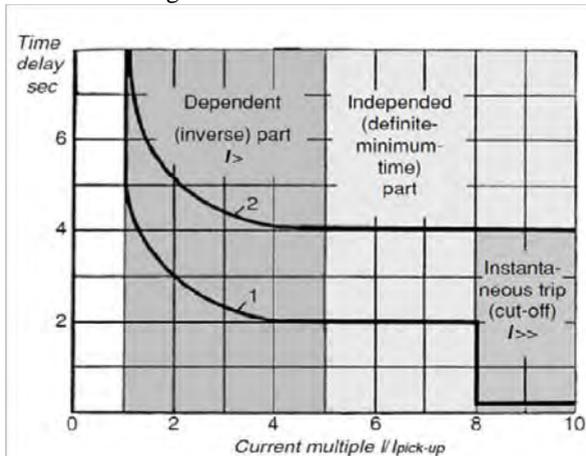
Prinsip kerja rele jenis ini adalah tanpa penundaan waktu, tapi masih bekerja dengan waktu cepat sebesar 0.1 detik, pada umumnya kurang dari 0.08 detik, seperti terlihat pada Gambar 2.16.



Gambar 2.16 Karakteristik rele arus lebih *instant*

Bekerjanya rele ini didasarkan besarnya arus gangguan hubung singkat yang dipilih dan membukanya CB dalam waktu cepat sekali (80

ms). Gambar 2.17 menunjukkan penggunaan IDMT yang dikombinasikan dengan rele arus lebih waktu instan



Gambar 2.17 Kombinasi IDMT dengan rele arus lebih waktu instan

2.7 Penyetelan Rele Arus Lebih

2.7.1 Setting Rele Arus Lebih Waktu Invers

Batas penyetelan rele arus lebih adalah rele tidak bekerja pada saat beban maksimum. Oleh karena itu, *setting* arusnya harus lebih besar dari arus beban maksimum. Rele arus lebih memiliki setelan *pickup* dan setelan *time dial*. Pada rele arus lebih, besarnya arus *pickup* ini ditentukan dengan pemilihan *tap*. Adapun untuk menentukan besarnya *tap* yang digunakan dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\text{Tap} = \frac{I_{\text{set}}}{\text{CT}_{\text{primary}}}$$

I_{set} adalah arus *pickup* dalam Ampere. Menurut standart *British BS 142* batas penyetelannya adalah 1.05-1.3 I_{set} .

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

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

Di mana :

- td = waktu operasi (detik)
 T = *time dial*
 I = nilai arus (Ampere)
 I_{set} = arus *pickup* (Ampere)
 k = koefisien invers 1 (lihat tabel 2.1)
 α = koefisien invers 2 (lihat tabel 2.1)
 β = koefisien invers 3 (lihat tabel 2.1)

Tabel 2.1 Koefisien *invers time dial*

Tipe Kurva	Koefisien		
	k	α	β
<i>Standard Inverse</i>	0,14	0,02	2,970
<i>Very Inverse</i>	13,50	1,00	1,500
<i>Extremely Inverse</i>	80,00	2,00	0,808

2.7.2 *Setting Rele Arus Lebih Instan*

Rele arus lebih instan akan bekerja seketika jika ada arus lebih yang mengalir melebihi batas yang diijinkan. Dalam menentukan setelan *pickup* instan ini digunakan $I_{sc \text{ min}}$ yaitu arus hubung singkat 2 fasa pada pembangkitan minimum. Sehingga *setting* ditetapkan:

$$I_{set} \leq 0,8 I_{sc \text{ min}}$$

Untuk Pertimbangan khusus untuk pengaman *feeder* yang dipisahkan oleh transformator, koordinasi pengaman dibedakan menjadi dua daerah, yakni daerah *low voltage* (LV) dan daerah *high voltage* (HV). Untuk menentukan *setting pickup* dengan syarat sebagai berikut:

$$I_{sc \text{ max B}} \leq I_{set} \leq 0,8 I_{sc \text{ min A}}$$

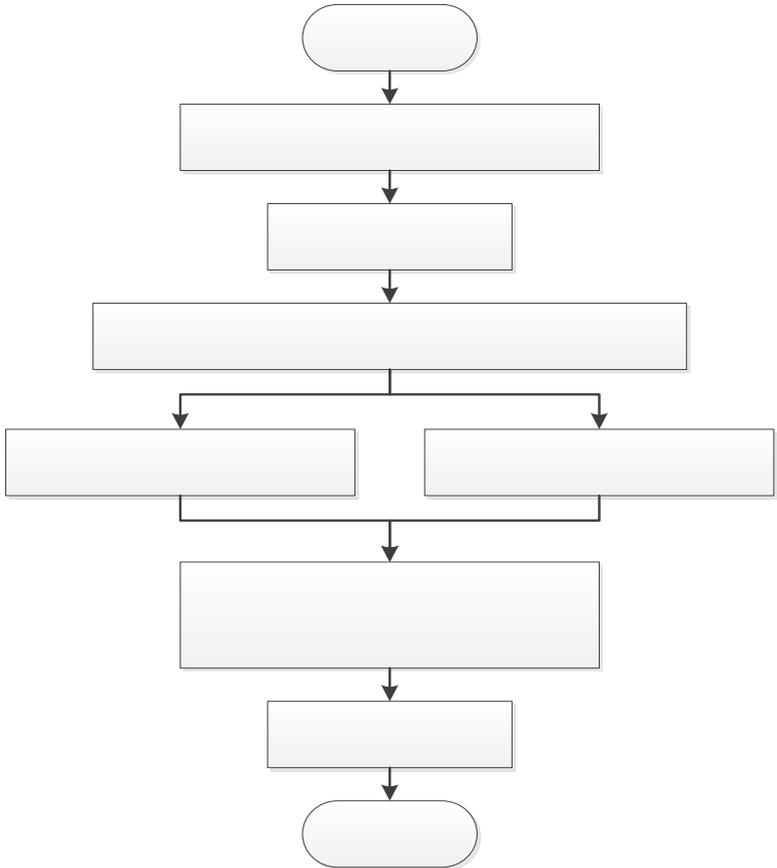
Di mana $I_{sc \text{ max bus B}}$ merupakan arus hubung singkat tiga fasa maksimum pada titik B, sedangkan $I_{sc \text{ min bus A}}$ adalah arus hubung singkat minimum pada titik A.

BAB III

METODE PERHITUNGAN DAN SIMULASI

3.1 Langkah Penelitian

Berikut ini langkah-langkah yang dilakukan untuk melakukan perhitungan dan simulasi pada rele jarak , rele arus lebih.



Gambar 3.1 *Flowchart* pengerjaan Tugas Akhir

3.2 *Single Line GI 150 KV Mliwang -Tuban*

Berikut ini adalah data-data yang diperlukan untuk menghitung setelan rele proteksi baik sebagai pengaman utama maupun sebagai pengaman cadangan pada saluran udara tegangan tinggi.

1. Data peralatan

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

2. Konfigurasi sistem tenaga listrik

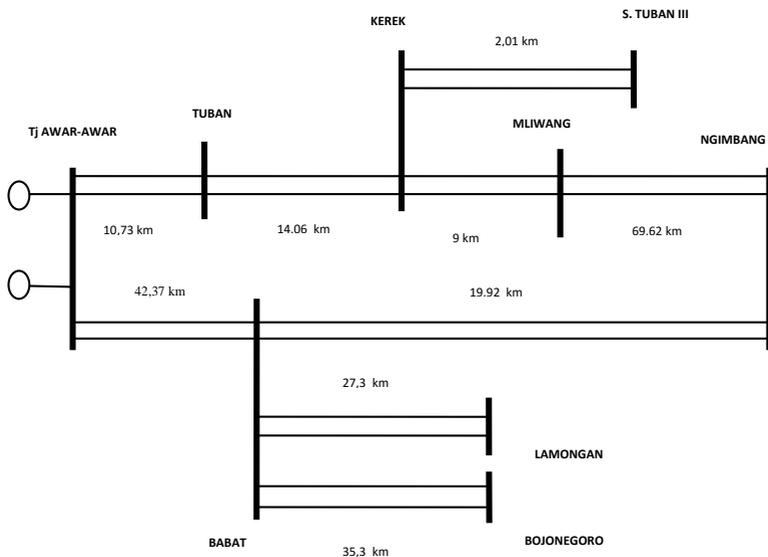
Konfigurasi sistem tenaga listrik yang digunakan untuk koordinasi setelan rele proteksi pada saluran udara tegangan tinggi adalah berdasarkan konfigurasi sistem 150 kV PLN P3B JB per Januari 2016.

3. Arus hubung singkat

Setelah melakukan analisis load flow, maka langkah selanjutnya adalah analisis hubung singkat (short circuit) menggunakan software ETAP 12.6 Analisis ini digunakan untuk menentukan setting rele arus lebih. Untuk perhitungan arus hubung singkat digunakan 2 parameter, yaitu hubung singkat maksimum dan hubung singkat minimum. Hubung singkat minimum adalah hubung singkat 2 fasa pada saat 30 cycle. Sedangkan hubung singkat maksimum adalah hubung singkat 3 fasa pada saat 1/2 cycle, 4 cycle dan 30 cycle. Pada analisis ini dilakukan pada bus-bus tipikal yang dipilih.

Hubung singkat maksimum 1/2 cycle digunakan untuk setting rele diferensial, hubung singkat ini digunakan karena rele diferensial bekerja pada saat 1-3 cycle. Hubung singkat maksimum 4 cycle digunakan untuk setting rele dengan setting kelambatan waktu 0.08s-0.5s. Sedangkan hubung singkat maksimum 30 cycle digunakan untuk setting kelambatan waktu 0.6s dan seterusnya. Hubung singkat maksimum ini digunakan sebagai batasan arus hubung singkat terbesar yang mungkin terjadi

Gangguan hubung singkat disimulasikan pada saluran udara tegangan tinggi yang menghubungkan GI Mliwang dengan GI Tuban seperti pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Skema SUTT Mliwang - Tuban

3.3 Data Impedansi SUTT 150 KV

Data impedansi saluran udara tegangan tinggi dan panjang salurannya yang digunakan untuk perhitungan setelan proteksi rele jarak adalah berdasarkan data yang didapat dari PLN P3B JB. Data saluran udara tegangan tinggi yang digunakan untuk setelan rele proteksi pada GI Mliwang arah Tuban dan arah sebaliknya seperti pada tabel 3.1 berikut:

Tabel 3.1 Data impedansi SUTT 150 KV

SUTT 150 kV	Tipe Konduktor	Kapasitas Arus (CCC)	Panjang Saluran (L)	Impedansi Saluran (Z) per km
Tanjung Awar-Awar - Tuban	TACSR 2 X 410/67 mm ²	2730 A	10,7393 km	0.038 + j0.279
Tuban - Kerek	TACSR 240 mm ²	973 A	14,06 km	0.12669 + j0.3877
Kerek - Mliwang	TACSR 240 mm ²	973 A	9 km	0.12669 + j0.3877
Kerek -S. Tuban III	TACSR 240 mm ²	973 A	2,012 km	0.12669 + j0.3877
Mliwang - Ngimbang	ZEBRA 2 X 484.5 mm ²	1620 A	69,62 km	0,0387 + j0.28070

3.4 Data Transmisi SUTT 150 KV Mliwang – Tuban

1.Data Relay

GI Tuban - Kerek

Merk/Tipe : GEC-QUADRAMHO / SHPM 101

Arus Nominal : 1 A

Pola TP : PUTT

2. Data – Data Transmisi

Tanjung Awar-Awar - Tuban

Konduktor TACSR 2 X 410/67 mm²; CCC1 = 2730A

Imp. urutan positif (Z1) = 0.038 + j0.279 Ω /km

Imp. urutan negatif (Z2) = 0.038 + j0.279 Ω /km

Imp. urutan nol (Z0) = 0.168+ j10.8095 Ω/km

Panjang Penghantar = 10,7393 km

Imp. urutan positif (Z1) = 0,4080 +j 2,9962 Ω (nilai primer)

Imp. urutan negatif (Z2) = 0,4080 +j 2,9962 Ω (nilai primer)

Imp. urutan nol (Z10) = 1.804+j 8.693 Ω (nilai primer)

Tuban - Kerek

Konduktor TACSR 240 mm²; CCC1 = 973 A

$$\text{Imp. urutan positif (Z1)} = 0.12669 + j0.3877 \text{ } \Omega / \text{km}$$

$$\text{Imp. urutan negatif (Z2)} = 0.12669 + j0.3877 \text{ } \Omega / \text{km}$$

$$\text{Imp. urutan nol (Z0)} = 0.31 + j0.7173 \text{ } \Omega / \text{km}$$

$$\text{Panjang Penghantar} = 14,06 \text{ km}$$

$$\text{Imp. urutan positif (Z1)} = 1,78126 + j 5,45106 \text{ } \Omega \text{ (nilai primer)}$$

$$\text{Imp. urutan negatif (Z2)} = 1,78126 + j 5,45106 \text{ } \Omega \text{ (nilai primer)}$$

$$\text{Imp. urutan nol (Z10)} = 4.35 + j 10.085 \text{ } \Omega \text{ (nilai primer)}$$

Kerek - Mliwang

Konduktor TACSR 240 mm²; CCC1 = 973 A

$$\text{Imp. urutan positif (Z1)} = 0.12669 + j0.3877 \text{ } \Omega / \text{km}$$

$$\text{Imp. urutan negatif (Z2)} = 0.12669 + j0.3877 \text{ } \Omega / \text{km}$$

$$\text{Imp. urutan nol (Z0)} = 0.31 + j0.7173 \text{ } \Omega / \text{km}$$

$$\text{Panjang Penghantar} = 9 \text{ km}$$

$$\text{Imp. urutan positif (Z1)} = 1,14021 + j 3,48930 \text{ } \Omega \text{ (nilai primer)}$$

$$\text{Imp. urutan negatif (Z2)} = 1,14021 + j 3,48930 \text{ } \Omega \text{ (nilai primer)}$$

$$\text{Imp. urutan nol (Z10)} = 2.79 + j 6.455 \text{ } \Omega \text{ (nilai primer)}$$

Kerek – Semen Tuban III

Konduktor TACSR 240 mm²; CCC1 = 973 A

$$\text{Imp. urutan positif (Z1)} = 0.12669 + j0.3877 \text{ } \Omega / \text{km}$$

$$\text{Imp. urutan negatif (Z2)} = 0.12669 + j0.3877 \text{ } \Omega / \text{km}$$

$$\text{Imp. urutan nol (Z0)} = 0.31 + j0.7173 \text{ } \Omega / \text{km}$$

$$\text{Panjang Penghantar} = 2,021 \text{ km}$$

$$\text{Imp. urutan positif (Z1)} = 0,2549 + j 0,78005 \text{ } \Omega \text{ (nilai primer)}$$

$$\text{Imp. urutan negatif (Z2)} = 0,2549 + j 0,78005 \text{ } \Omega \text{ (nilai primer)}$$

$$\text{Imp. urutan nol (Z10)} = 0.626 + j 1.449 \text{ } \Omega \text{ (nilai primer)}$$

Mliwang - Ngimbang

Konduktor ZEBRA 2 X 484.5 mm²; CCC1 = 1620 A

$$\text{Imp. urutan positif (Z1)} = 0,0387 + j0.28070 \text{ } \Omega / \text{km}$$

$$\text{Imp. urutan negatif (Z2)} = 0,0387 + j0.28070 \text{ } \Omega / \text{km}$$

$$\text{Imp. urutan nol (Z0)} = 0.367 + j1.161 \text{ } \Omega / \text{km}$$

Panjang Penghantar = 69,62 km
 Imp. urutan positif (Z1) = 2,6943 +j 19,5426 Ω (nilai primer)
 Imp. urutan negatif (Z2) = 2,6943 +j 19,5426 Ω (nilai primer)
 Imp. urutan nol (Z10) = 25.550+j 80.828 Ω (nilai primer)

3. Data Rasio CT & PT

Tuban – Kerek 1

Rasio CT : 800 / 5 A
 Rasio PT : 154 Kv /110 Volt

$$n1 = \frac{CT}{PT}, \quad n1 = 0.114$$

Tuban – Kerek 2

Rasio CT : 1000 / 5 A
 Rasio PT : 154 Kv /110 Volt

$$n2 = \frac{CT}{PT}, \quad n2 = 0.142$$

Mliwang – Kerek 1 dan 2

Rasio CT : 800 / 5 A
 Rasio PT : 154 Kv /110 Volt

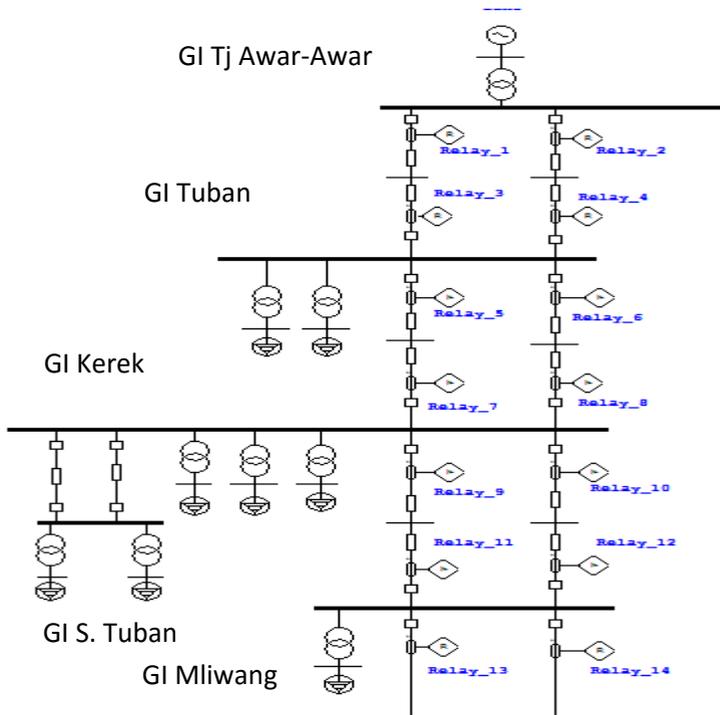
$$n1 = \frac{CT}{PT}, \quad n1 = 0.114$$

4. Data Trafo GI Kerek

Trafo 1, 2, 3 150/20 kV

S1 = 50 MVA, Z% = 12.50

$$XT1 = \frac{0,125 \cdot 150^2}{50}, \quad XT1 = 56.25 \Omega$$

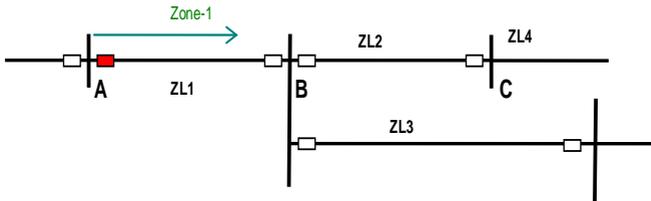


Gambar 3.3 Konfigurasi sistem saluran udara tegangan tinggi 150 KV Mliwang – Tuban.

3.5 Pertimbangan Perhitungan Setting Rele Jarak

Parameter rele jarak adalah impedansi. Distance akan membaca impedansi berdasarkan besaran arus dan tegangan yang dirasakannya. Data Teknis Single line diagram, Merk, type Distance relay dan karakteristik yang dipilih, Data ratio CT & PT, Data parameter jaringan (imp urutan), Data impedansi trafo pada GI remote (GI depan), Impedansi sumber pada GI lokal, Data hubung singkat, dll.

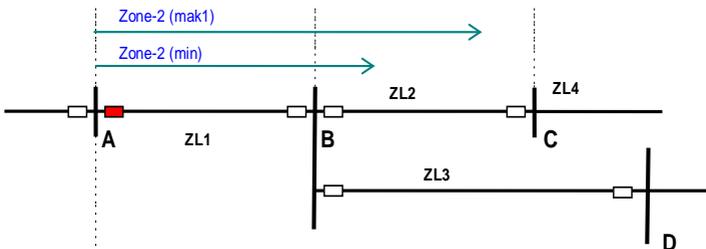
Jangkauan impedansi zone-1



Gambar 3.4 Zona-1

$Z1 = 0.8 \times ZL1$ (80 ~ 85% Z line, tapi untuk penghantar yang mensuplai GI Ujung radial 1 sirkuit, diset 95%)

Jangkauan impedansi zone-2



Gambar 3.5 Zona-2

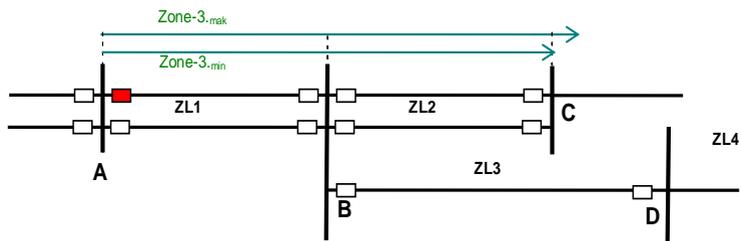
$$\text{Zone-2}_{\min} = 1,2 \cdot Z_{L1}$$

$$\text{Zone-2}_{\text{mak1}} = Z_{L1} + 0,5 \cdot K \cdot Z_{LY}, \text{ dipilih nilai terkecil}$$

$$\text{Zone-2}_{\text{mak2}} = 0,8 (Z_{L1} + 0,5 \cdot X_{tB})$$

Jangkauan zone-2 dipilih nilai yang terbesar antara Z2 min dan Zone-2 mak1, akan tetapi tidak boleh melebihi impedansi zone-2 mak2.

Jangkauan impedansi zone-3



Gambar 3.6 Zona-3

$$\text{Zone-3}_{.min} = Z_{L1} + 1.2 Z_{Lx}$$

$$\text{Zone-3}_{.mak1} = 1.2(Z_{L1} + k. Z_{Lx})$$

$$\text{Zone-3}_{.mak2} = 0,8 (Z_{L1} + 0,5. X_{tB})$$

Jangkauan impedansi zone-3 reverse Dipakai untuk back-up proteksi busbar, disetel maksimum 10% dari impedansi line terkecil. Kecuali pada pola blocking sebesar 20~25% ZL1.

Setelan Waktu Kerja

Zone-1	: Instantaneous
Zone-2	: 0,3 – 0.8 detik (sesuai kebutuhan)
Zone-3	: 0,8 –1,6 detik (sesuai kebutuhan)
Zone-3 Reverse	: 0,8 –1,6 detik (sesuai kebutuhan)

-Halaman Ini Sengaja Dikosongkan-

BAB IV

KOORDINASI DAN ANALISA RELE PROTEKSI SUTT GI MLIWANG - TUBAN

4.1 Perhitungan Setelan Rele Jarak Mliwang – Tuban

Setelah di lakukan perhitungan maka di dapatkan hasil setting rele jarak saluran Tuban arah Mliwang seperti pada table 4.1, 4.2, 4.3.

Tabel 4.1 Setting primer Tuban arah Kerek 1 dan 2

	Setting $ \Omega $		Setting Ω		Waktu (detik)
Zona 1	4,58	$<71,90^0$	1,4250	j4,3608	0
Zona 2	6,88	$<71,90^0$	2,1375	j6,5412	0,4
Zona 3	15,69	$<71,90^0$	4,874	j14,915	1,2

Tabel 4.2 Setting sekunder Tuban arah Kerek 1

	Setting $ \Omega $		Setting Ω		Waktu (detik)
Zona 1	0,524	$<71,90^0$	0,1628	j0,49838	0
Zona 2	0,78	$<71,90^0$	0,2442	j0,7475	0,4
Zona 3	1,79	$<72,09^0$	0,557	j1,704	1,2

Tabel 4.3 Setting sekunder Tuban arah Kerek 2

	Setting $ \Omega $		Setting Ω		Waktu (detik)
Zona 1	0,66	$<72,09^0$	0,2035	j0,6229	0
Zona 2	0,98	$<71,90^0$	0,3053	j0,9344	0,4
Zona 3	2,24	$<71,90$	0,696	j2,13	1,2

Setting rele jarak *existing* PT PLN (Persero) Tuban arah Kerek 1 dan 2 pada table 4.4 dan 4.5

Tabel 4.4 Setting *existing* Tuban arah Kerek 1

	Setting $ \Omega $	Waktu (detik)
Zona 1	0,5	0
Zona 2	0,77	0,4
Zona 3	1,254	1,2

Tabel 4.5 Setting *existing* Tuban arah Kerek 2

	Setting $ \Omega $	Waktu (detik)
Zona 1	0,67	0
Zona 2	0,96	0,4
Zona 3	1,666	1,2

Hasil setting rele jarak Mliwang arah Tuban seperti pada table 4.6, 4.7.

Tabel 4.6 Setting primer Mliwang arah Kerek 1 dan 2

	Setting $ \Omega $		Setting Ω		Waktu (detik)
Zona 1	2,93	$<71,90^0$	0,91217	j2,7914	0
Zona 2	4,49	$<71,84^0$	1,40	j4,27	0,4
Zona 3	18,167	$<71,89^0$	5,643	j17,269	1,2

Tabel 4.7 Setting sekunder Mliwang arah Kerek 1 dan 2

	Setting		Setting		Waktu (detik)
	$ \Omega $	Ω	$ \Omega $	Ω	
Zona 1	0,33	$<71,90^0$	0,10425	$j0,31902$	0
Zona 2	0,51	$<71,91^0$	0,16	$j0,49$	0,4
Zona 3	2,075	$<71,89^0$	0,64495	$j1,973$	1,2

Setting rele jarak existing PT PLN (Persero) Mliwang arah Kerek 1 dan 2 pada table 4.8

Tabel 4.8 Setting *existing* Mliwang arah Kerek 1 dan 2

	Setting $ \Omega $	Waktu (detik)
Zona 1	0,3456	0
Zona 2	0,512	0,4
Zona 3	1,32	1,2

4.2 Hubung Singkat Maksimum (Primer)

Hubung singkat maksimum digunakan untuk setting rele dengan setting kelambatan waktu 0,08s-0,5s. Hubung singkat maksimum ini digunakan sebagai batasan arus hubung singkat terbesar yang mungkin terjadi. Sehingga hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Data hubung singkat maksimum (primer)

No	Id Bus	Tegangan	Arus Hubung Singkat
1	GI Tuban – Kerek 1	150 kV	2.22 KA
2	GI Tuban - Kerek 2	150 kV	2.12 KA

3	GI Kerek 1-Tuban	150 KV	3.52 KA
4	GI Kerek 2-Tuban	150 KV	3.36 KA
5	GI Mliwang-Kerek1	150 KV	3.45 KA
6	GI Mliwang-Kerek2	150 KV	3.45 KA

4.3 Hubung Singkat Maksimum (*Back Up*)

Hubung singkat minimum ini digunakan sebagai batasan *pickup* (setting) rele arus lebih *low set* yang telah ditentukan. hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.10

Tabel 4.10 Data hubung singkat maksimum (*Back Up*)

No	Id Bus	Tegangan	Arus Hubung Singkat
1	GI Tuban –Kerek 1	150 KV	3.52 KA
2	GI Tuban -Kerek 2	150 KV	3.36 KA
3	GI Kerek 1- Tuban	150 KV	2.22 KA
4	GI Kerek 2- Tuban	150 KV	2.12 KA
5	GI Mliwang – Kerek1	150 KV	1.88 KA
6	GI Mliwang – Kerek2	150 KV	1.88 KA

4.4 Perhitungan Setelan Rele Arus Lebih Gangguan Fasa

Rele 5 (Tuban)

Manufacture : Siemens
Type : 7SJ551
Kurva : Standart Inverse
Rasio CT : 800/5, nCT = 160
In : 5 A
CCC : 973 A

Pemilihan referensi arus setelan :

CC = CCC jika $CCC < nCT \times In$

CC = CT jika $nCT \times In < CCC$

OC1

Reverse

- *Low Set Current Setting*

$$1,05 \times CC \leq I_{set} \leq 1,4 \times CC$$

$$1,05 \times 973 \leq I_{set} \leq 1362,2$$

$$\frac{1021}{800/5} In \leq I_{set} \leq \frac{1362,1}{800/5} In$$

$$1,27 In \leq I_{set} \leq 1,70 In$$

Dipilih Tap 1,46 In

Iset = Tap x CT Primary

$$= 1,46 \times 800 = 1168 \text{ A}$$

Iset = 1168 A

- *Time Dial*

Dipilih waktu operasi (t_d) = 0,4s

$$TDS = \left[\left(\frac{2120}{1168} \right)^{0,02} - 1 \right] \frac{0,4}{0,14}$$

$$TDS = 0,036$$

OC2

Forward

- *Low Set Current Setting*

$$\begin{aligned}
 1,05 \times CC &\leq I_{set} \leq 1,4 \times CC \\
 1,05 \times 973 &\leq I_{set} \leq 1362,2 \\
 \frac{1021}{800/5} I_n &\leq I_{set} \leq \frac{1362,1}{800/5} I_n \\
 1,27 I_n &\leq I_{set} \leq 1,70 I_n
 \end{aligned}$$

Dipilih Tap 1,46 In

$$\begin{aligned}
 I_{set} &= \text{Tap} \times \text{CT Primary} \\
 &= 1,46 \times 800 = 1168 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$I_{set} = 1168 \text{ A}$$

- *Time Dial*

Dipilih waktu operasi (t_d) = 0,6s

$$TDS = \left[\left(\frac{3360}{1168} \right)^{0,02} - 1 \right] \frac{0,6}{0,14}$$

$$TDS = 0,093$$

Rele 11 (Mliwang)

Manufacture : Siemens
 Type : 7SJ551
 Kurva : Standart Inverse
 Rasio CT : 800/5, nCT = 160
 In : 5 A
 CCC : 973 A

Pemilihan referensi arus setelan :

CC = CCC jika CCC < nCT x In

CC = CT jika nCT x In < CC

OC1

Forward

- *Low Set Current Setting*

$$\begin{aligned}
 1,05 \times CC &\leq I_{set} \leq 1,4 \times CC \\
 1,05 \times 973 &\leq I_{set} \leq 1362,2 \\
 \frac{1021}{800/5} I_n &\leq I_{set} \leq \frac{1362,1}{800/5} I_n \\
 1,27 I_n &\leq I_{set} \leq 1,70 I_n
 \end{aligned}$$

Dipilih Tap 1,46 In

$$\begin{aligned} I_{set} &= \text{Tap} \times \text{CT Primary} \\ &= 1,46 \times 800 = 1168 \text{ A} \end{aligned}$$

$$I_{set} = 1168 \text{ A}$$

- *Time Dial*

Dipilih waktu operasi (t_d) = 0,4 s

$$TDS = \left[\left(\frac{3450}{1168} \right)^{0.02} - 1 \right] \frac{0,4}{0,14}$$

$$TDS = 0,063$$

OC2

Reverse

- *Low Set Current Setting*

$$1,05 \times \text{CC} \leq I_{set} \leq 1,4 \times \text{CC}$$

$$1,05 \times 973 \leq I_{set} \leq 1362,2$$

$$\frac{1021}{800/5} \text{ In} \leq I_{set} \leq \frac{1362,1}{800/5} \text{ In}$$

$$1,27 \text{ In} \leq I_{set} \leq 1,70 \text{ In}$$

Dipilih Tap 1,46 In

$$I_{set} = \text{Tap} \times \text{CT Primary}$$

$$= 1,46 \times 800 = 1168 \text{ A}$$

$$I_{set} = 1168 \text{ A}$$

- *Time Dial*

Dipilih waktu operasi (t_d) = 0,6 s

$$TDS = \left[\left(\frac{1880}{1168} \right)^{0.02} - 1 \right] \frac{0,6}{0,14}$$

$$TDS = 0,041$$

Tabel 4.11 Setting DOCR

Lokasi	Iset OC1	Iset OC2	TDS OC1	TDS OC2
Tuban	1168	1168	0,036	0,093
Mliwang	1168	1168	0,063	0,041

4.5 Koordinasi Waktu Rele Jarak Dan Rele Arus Lebih

Untuk mendapatkan setting yang tepat, maka koordinasi waktu antara rele jarak sebagai proteksi utama dan rele arus lebih sebagai proteksi cadangan lokal pada saluran transmisi harus di atur. Waktu trip antar rele harus memenuhi kaidah proteksi transmisi.

a. Koordinasi Waktu Tuban

Dari simulasi di dapatkan lamanya waktu kerja rele arus lebih pada tiap jarak gangguan, seperti pada tabel 4.12, 4.13, 4.14

Tabel 4.12 Waktu trip DOCR gangguan 3 fasa

Jarak (%)	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Waktu (s)	0,299	0,325	0,35	0,375	0,4	0,425	0,45	0,5	0,55	0,6

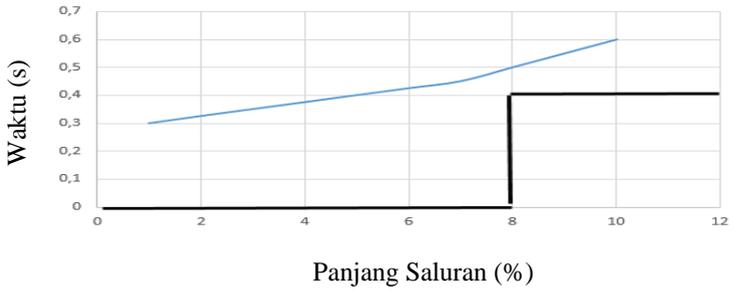
Tabel 4.13 Waktu trip DOCR gangguan fasa-fasa

Jarak (%)	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Waktu (s)	0,357	0,4	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,7	0,76	0,82

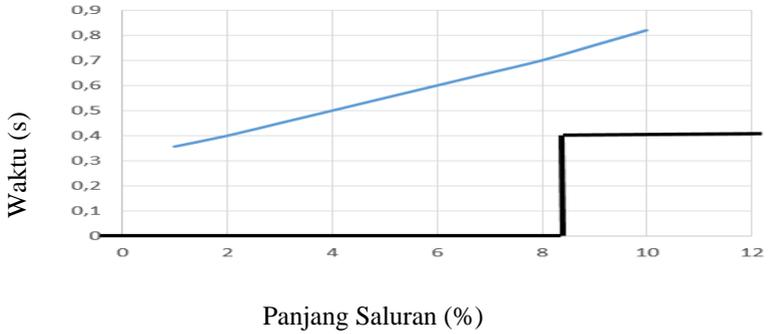
Tabel 4.14 Waktu trip DOCR gangguan 1 fasa-ground

Jarak (%)	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Waktu (s)	0,325	0,375	0,425	0,525	0,576	0,612	0,676	0,7	0,74	0,75

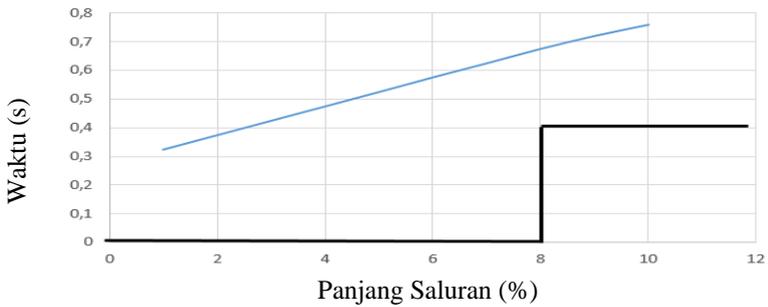
Waktu kerja rele arus lebih untuk selanjutnya akan di koordinasikan dengan waktu kerja rele jarak seperti pada gambar 4.1, 4.2, 4.3.



Gambar 4.1 Koordinasi waktu 3 fasa



Gambar 4.2 Koordinasi waktu fasa-fasa



Gambar 4.3 Koordinasi waktu 1 fasa - tanah

b. Koordinasi Waktu Mliwang

Dari simulasi di dapatkan lamanya waktu kerja rele arus lebih pada tiap jarak gangguan, seperti pada tabel 4.14, 4.15, 4.16

Tabel 4.15 Waktu trip DOCR gangguan 3 fasa

Jarak (%)	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Waktu (s)	0,3	0,345	0,35	0,39	0,4	0,45	0,49	0,55	0,58	0,62

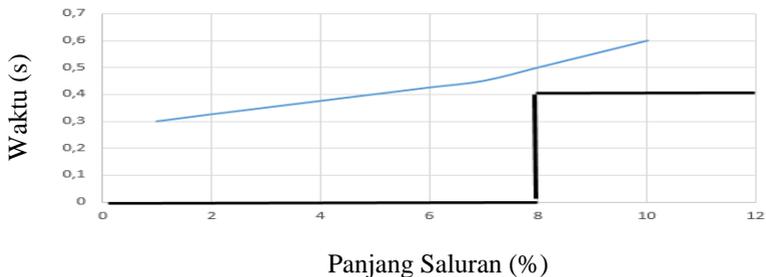
Tabel 4.16 Waktu trip DOCR gangguan fasa-fasa

Jarak (%)	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Waktu (s)	0,34	0,39	0,48	0,56	0,63	0,67	0,71	0,75	0,79	0,82

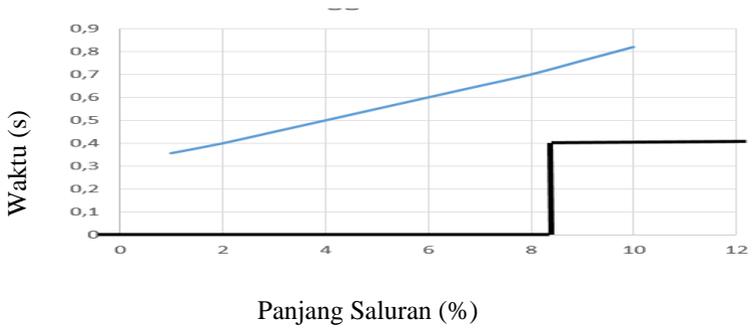
Tabel 4.17 Waktu tripping DOCR gangguan 1 fasa-ground

Jarak (%)	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Waktu (s)	0,31	0,383	0,43	0,563	0,599	0,634	0,687	0,7	0,73	0,75

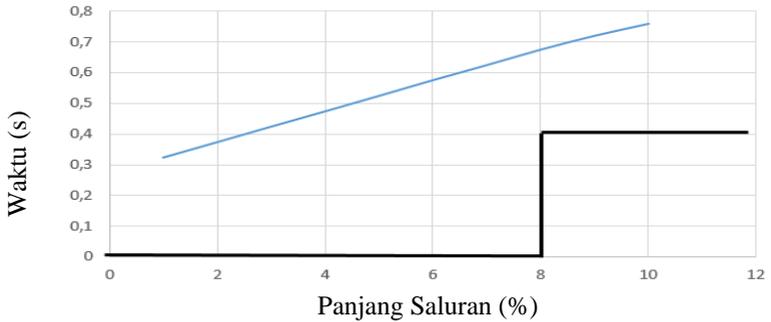
Waktu kerja rele arus lebih untuk selanjutnya akan di koordinasikan dengan waktu kerja rele jarak seperti pada gambar 4.4, 4.5, 4.6.



Gambar 4.4 Koordinasi waktu 3 fasa



Gambar 4.5 Koordinasi waktu fasa-fasa



Gambar 4.6 Koordinasi waktu 1 fasa-tanah

Dari gambar di atas dapat disimpulkan bahwa semakin mendekati Bus yang di proteksi, maka arus gangguan semakin besar sehingga rele arus lebih bekerja dengan waktu lebih cepat.

Rele jarak sebagai pengaman utama saluran transmisi akan bekerja lebih dulu saat berfungsi sebagai proteksi cadangan jauh pada gangguan di 100% zona proteksi dalam 0,4 s, maka karena itu rele arus lebih sebagai

back-up di setting waktunya 0,6 s sehingga tidak overlapping dengan rele jarak.. Pada gangguan zona 1 proteksi rele jarak, maka rele jarak akan bekerja instan dan rele arus lebih sebagai back-up akan bekerja lebih lambat 0,3 detik.

Maka koordinasi waktu rele jarak dan rele arus lebih sudah sesuai kaidah proteksi transmisi

4.6 Faktor Kompensasi Urutan Nol (K_0)

Prinsip kerja rele jarak adalah berdasarkan impedansi urutan positif dari saluran transmisi. Akan tetapi pada gangguan satu fasa atau dua fasa ke tanah, pengukuran impedansi akan mencakup pula impedansi urutan nol. Hal ini dapat menyebabkan terjadinya kesalahan pengukuran (underreach) untuk gangguan satu fasa maupun dua fasa ke tanah.

Untuk gangguan fasa ke tanah, dengan menambahkan faktor kompensasi urutan nol pada pengukuran arus maka impedansi yang diukur adalah impedansi urutan positif penghantar.

$$K_0 = \left(\frac{Z_0 - Z_1}{3Z_1} \right)$$

$$K_0 = 0,3050 < -8,1^0$$

Keterangan :

K_0 = faktor kompensasi gangguan ke tanah

4.7 Batasan Jangkauan Resistif Terhadap Beban

Rele jarak juga harus dapat membedakan antara impedansi pada saat kondisi berbeban dengan impedansi pada saat terjadi gangguan, sehingga setelan jangkauan rele jarak harus dibatasi tidak boleh menjangkau daerah impedansi beban (*load area*)

1. Relay Tuban arah kerek 1

$$\begin{aligned} Z_{\text{load}} &= 0.5 \frac{V_{LL}}{\sqrt{3} I} n \\ &= 0.5 \frac{150 \text{ Kv}}{\sqrt{3} 973} 0,114 \\ &= 5 \text{ Ohm} < 36,86^0 \end{aligned}$$

2. Relay Tuban arah kerek 2

$$\begin{aligned} Z_{\text{load}} &= 0.5 \frac{V_{LL}}{\sqrt{3} I} n \\ &= 0.5 \frac{150 \text{ Kv}}{\sqrt{3} 973} 0,142 \\ &= 6,319 \text{ Ohm} < 36,86^0 \end{aligned}$$

3. Relay Mliwang arah kerek 1&2

$$\begin{aligned} Z_{\text{load}} &= 0.5 \frac{V_{LL}}{\sqrt{3} I} n \\ &= 0.5 \frac{150 \text{ Kv}}{\sqrt{3} 973} 0,114 \\ &= 5 \text{ Ohm} < 36,86^0 \end{aligned}$$

4.8 Skema Teleproteksi

Rele jarak yang tidak menggunakan teleproteksi atau disebut juga step distance relay tidak dapat digunakan untuk mengamankan gangguan secara langsung di kedua ujung saluran transmisi, daerah di kedua ujung saluran transmisi yang akan bekerja dengan perlambatan waktu tunda (Z_2). Agar rele jarak dapat bekerja secara langsung untuk gangguan yang terjadi di kedua ujung saluran transmisi, rele jarak harus dilengkapi dengan peralatan teleproteksi (signalling channel). Dengan menggunakan peralatan teleproteksi maka rele jarak dapat digunakan untuk mengirim dan menerima sinyal (data or logic status) ke rele di ujung terminal yang lain sehingga ke dua rele dapat diatur untuk bekerjasecara langsung atau instantaneous.

Ada dua faktor utama yang menjadipertimbangan digunakannya peralatan teleproteksi pada rele jarak yaitu :

- Gangguan yang tidak diamankan secara langsung (time delay) seperti pada zona dua rele jarak, dapat menyebabkan sistem menjadi tidak stabil.
- Jika pada saluran transmisi yang diamankan menggunakan peralatan *auto reclose*, perbedaan waktu trip di kedua ujung saluran tranmisi dapat mengganggu kinerja *auto reclose*.

Pola teleproteksi rele yang dipilih adalah pola PUTT (*Permissive Underreach Transfer Trip*), pemilihan pola ini dikarenakan pertimbangan faktor keamanan yaitu jika terjadi kegagalan atau gangguan pengiriman sinyal, gangguan yang terjadi tetap dapat diamankan menggunakan skema rele jarak konvensional (*step distance*). Prinsip kerja pola PUTT adalah :
Zone 1 operation → Instantaneous trip + signal transmit
Zone 2 operation + signal receive → Instantaneous trip

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari analisa dan pembahasan pada Tugas Akhir ini, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Setting impedansi zona 1 dan zona 2 relai jarak baik dari data di PLN (Persero) APP Madiun dengan analisa perhitungan yang di lakukan perbedaanya tidak terlalu jauh. Sehingga setting yang terpasang masih bisa di pakai
2. Setting impedansi zona 3 antara hasil analisa dan dari data setting dari PLN (Persero) APP Madiun terdapat perbedaan sehingga perlu peninjauan setting kembali untuk mendapatkan setting relai jarak yang tepat.
3. Besarnya *infeed* relay sebanding dengan jarak lokasi gangguan dari relay dan berpengaruh pada unjuk kerja relay jarak karena *infeed* relay menentukan besarnya tahanan gangguan yang dilihat oleh relay jarak .
4. Semakin kecil nilai arus hubung singkat maka waktu operasi relay arus lebih berarah (DOCR) semakin besar.
5. Koordinasi waktu antara relay jarak sebagai pengaman utama dan DOCR sebagai pengaman cadangan lokal sudah tepat karena grafik waktu operasi masing-masing relay tidak saling berpotongan

5.2 Saran

Untuk keperluan pengembangan tugas akhir ini, maka dapat diberikan saran-saran sebagai berikut:

1. Dilakukan pembahasan unjuk kerja relay jarak untuk karakteristik yang lain untuk mengetahui pemilihan karakteristik relay jarak yang tepat untuk mengatasi tipe gangguan hubung singkat yang terjadi.
2. Menambah pembahasan koordinasi waktu relay jarak sebagai pengaman cadangan jauh (remote backup protection) dari saluran lain.

-Halaman ini sengaja dikosongkan-

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Christopoulos, C, Wright, A. "*Electrical Power System Protection*", Chapman & Hall : London : 1993
- [2] Das J.C. "*Power System Anayisis Short-Circuit Load Flow And Harmonic* " Marcel Dekker Inc. Newyork : 2002
- [3] Gonen, Turan. "*Modern Power System Analysis*". John Wiley & Son, Inc. 1988
- [4] Alstom. "*Network Protection & Automation Guide*". Alstom Grid : 2011
- [5] Wahyudi, Ir. "*Buku Pegangan Kuliah Proteksi Sistem Tenaga* " Elektro ITS: 2016
- [6] Paithankar, Y.G. Bhide, S.R." *Fundamental Of Power System Protection*", Prentice-Hall of INDIA. New Delhi.2003.
- [7] Saadat, Hadi. 1999. "*Power System Analysis* ". New York : The McGraw-Hill Companies.
- [8] Lazar irwin "*Electrical System Analysis and Design for Industrial Plant*", McGraw-Hill Inc., USA, Ch, 1, 1980
- [9] Stevenson, Jr, William, D. "*Analisa sistem tenaga listrik* " edisi keempat, Erlangga: Jakarta : 1994
- [10] Zuhail, "*Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*", PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta:1992
- [11] PT. PLN (Persero) P3B. "*Pelatihan O&M Relai Proteksi Jaringan*" September 2005.
- [12] PT. PLN (Persero) P3B "*Diklat Kursus Rele Proteksi*" Semarang : 2007

-Halaman ini sengaja dikosongkan-

BIODATA PENULIS



Henry Haskarya, lahir di Madiun pada 27 Februari 1992. Penulis menyelesaikan studinya dari TK-SMA di Madiun, Setelah Lulus dari SMAN 1 Geger, pada 2011 penulis meneruskan pendidikannya di Diploma III Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Kemudian setelah lulus penulis bekerja di bagian Maintenance PT. UBS dan bagian R&D PT Penta Global Technology. Tahun 2014 penulis melanjutkan studi di S1 Teknik Elektro ITS bidang studi Teknik Sistem Tenaga. Penulis dapat di hubungi di *email*: henryhaskarya@yahoo.com