

TUGAS AKHIR

ANALISA PROTEKSI *OVER CURRENT RELAY* PADA JARINGAN TEGANGAN MENENGAH 20kV DI PELINDO 1 CABANG BELAWAN

*Diajukan Untuk Melengkapi Tugas-Tugas dan Sebagai Persyaratan Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik (S.T) Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Oleh:

**FAISAL AKBAR SITOMPUL
NPM: 1507220091**



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2020**

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Faisal Akbar Sitompul

NPM : 1507220091

Program Studi : Teknik Elektro


Judul Skripsi : Analisa Proteksi Over Current Relay pada Jaringan Tegangan Menengah 20kV di Pelindo 1 Cabang Belawan

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, November 2020

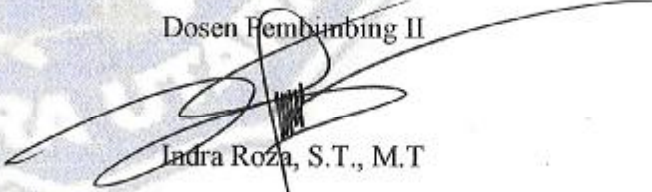
Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I

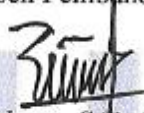

Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T

Dosen Pembimbing II

Dosen Pembimbing II


Indra Roza, S.T., M.T

Dosen Pembimbing I



Rohana, S.T., M.T

Dosen Pembimbing II


M. Syafril, S.T., M.T

Program Studi Teknik Elektro

Ketua,


Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T



SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Faisal Akbar Sitompul
Tempat /Tanggal Lahir : Sibolga/ 18 Maret 1994
NPM : 1507220091
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

“Analisa Proteksi Over Current Relay pada Jaringan Tegangan Menengah 20kV di Pelindo 1 Cabang Belawan”,

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Sipil/Mesin/Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 03 November 2020



Saya yang menyatakan,

Faisal Akbar Sitompul

ABSTRAK

Pada sebuah sistem kelistrikan seringkali terjadi gangguan yang menyebabkan pemadaman aliran listrik bahkan kerusakan pada alat-alat kelistrikan. Gangguan ini bisa terjadi di bagian mana saja misalnya jaringan distribusi listrik. Adapun skripsi ini dibuat dikarenakan pada PT. Pelindo 1 Cabang Belawan sering mengalami pemadaman dikarenakan faktor perawatan dan juga gangguan yang di sebabkan oleh orang yang tidak bertanggung jawab. Maka dari itu analisis proteksi ini diangkat untuk meminimalisir kerusakan pada peralatan - peralatan distribusi akibat gangguan hubung singkat yang terjadi. Ruang lingkup dari penulisan ini pun untuk menentukan nilai arus hubung singkat dan menentukan nilai *setting* peralatan proteksi menggunakan *over current relay* agar dapat mengetahui dan memahami arus hubung singkat serta penentuan nilai peralatan proteksi yang tepat sehingga dapat diterapkan nilai arus *setting* pada peralatan proteksi yang menjangkau relay lain agar peralatan – peralatan distribusi milik PT. Pelindo 1 Cabang Belawan dapat bekerja dengan baik. Penelitian ini dilakukan untuk menentukan lama waktu relay bekerja saat terjadi gangguan arus hubung singkat serta mengetahui koordinasi relay incoming dan outgoing dan perbandingan besar nilai arus gangguan 1 fasa dilapangan dengan hasil analisa. Dari hasil penelitian, didapat bahwa arus gangguan hubung singkat terbesar 1 fasa adalah sebesar 603, 2 A. Sedangkan untuk koordinasi *over current relay* tidak dalam kondisi baik yang dimana hasil perhitungan kecepatan waktu kerja relay di sisi *incoming* sebesar 0, 117 detik dan sisi *outgoing* BICT sebesar 0, 119 detik. Hasil perhitungan dengan data yang ada dilapangan tidak dalam kondisi yang sesuai (terdapat perbedaan), sehingga dapat di simpulkan bahwa nilai *setting over current relay* PT. Pelindo 1 dilakukan penyettingan ulang, dan setelah dilakukannya penyettingan ulang, hingga saat ini relay proteksi masih dalam keadaan baik.

Kata Kunci: Sistem Proteksi, *Over Current Relay*, Jaringan Tegangan Menengah , Koordinasi Relay.

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Analisa Proteksi Overcurrent Relay pada Jaringan Tegangan Menengah 20kV di Pelindo 1 Cabang Belawan” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis mengucapkan rasa terima kasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Faisal Irsan Pasaribu, S.T, M.T, selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, sekaligus sebagai ketua program studi teknik elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
2. Bapak Indra Roza, S.T, M.T, selaku Dosen Pembimbing II dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Ibu Rohana, S.T, M.T, selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak M. Syafril, S.T, M.T, selaku Dosen Pembimbing II dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu dibidang elektro kepada penulis.

7. Orang tua penulis, yang telah bersusah payah membesarkan dan merawat penulis.
8. Istri penulis, yang selalu mendukung saya dalam penulisan skripsi.
9. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
10. Sahabat - sahabat penulis yang tidak mungkin namanya disebut satu per satu.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia konstruksi teknik sipil/Mesin/Elektro.

Medan, November 2020

Faisal Akbar Sitompul

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	ii
ABSTRAK	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	ix
BAB 1	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Ruang Lingkup	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Metode Penelitian	4
1.7 Sistematika Penulisan	4
BAB II	6
TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Tinjauan Pustaka Relevan	6
2.2 Sistem Proteksi	8
2.2.1 Tujuan sistem proteksi	8
2.3 Persyaratan Sistem Proteksi	9
2.4 Gangguan Arus Hubung Singkat	13
2.4.1 Gangguan hubung singkat tiga fasa	18
2.4.2 Gangguan hubung singkat 2 fasa	19
2.4.3 Gangguan hubung singkat 1 fasa	20
2.5 Relay Arus Lebih (Over Current Relay)	21

2.5.1	Macam-Macam Karakteristik Relay	23
2.5.2	Koordinasi Relay Arus Lebih (<i>Over Current Relay</i>)	25
2.5.3	Setelan <i>OCR</i>	26
2.5.4	Selektifitas Kerja <i>OCR</i>	28
2.6	Gangguan Hubung Singkat Tanah (<i>Ground Fault Relay</i>)	29
2.6.1	Penyetelan <i>GFR</i> pada Sistem Tanpa Pentanahan.	30
2.6.2	Penyetelan <i>GFR</i> pada Sistem Pentanahan Langsung	30
2.6.3	Penyetelan <i>GFR</i> pada Sistem Pentanahan Melalui Tahanan Rendah	30
2.6.4	Penyetelan <i>GFR</i> pada Sistem Pentanahan Melalui Tahanan Tinggi	31
BAB 3		32
METODOLOGI PENELITIAN		32
3.1	Tempat dan lokasi penelitian	32
3.2	Jadwal Penelitian	32
3.3	Data Penelitian	32
3.4	Metode Penelitian	34
3.5	Flow Chart	35
4.1	Koordinasi setting <i>OCR</i> antara Incoming dan Outgoing	43
4.1.1	Perhitungan Waktu Kerja Relay	36
4.1.2	Analisis	43
4.2	Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat	44
4.2.1	Menghitung Impedansi Sumber	44
4.2.2	Menghitung Reaktansi Trafo	45
4.2.3	Menghitung Impedansi Penyulang	45
4.2.4	Menghitung Impedansi Ekuivalen Jaringan	46
4.2.5	Menghitung Arus Gangguan Hubung Singkat	47
BAB V		49
PENUTUP		49
DAFTAR PUSTAKA		51
LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 single diagram gardu induk impedansi sumber	15
Gambar 2.2 Rangkaian pengawatan relay arus lebih (OCR) [14]	21
Gambar 2.3 Over Curret Relay dan Ground Fault Relay tipe sepam	22
Gambar 2.4 Over Curret Relay dan Ground Fault Relay tipe micom P123	23
Gambar 2.5 Karakteristik Relay	25

DAFTAR TABEL

Table 3.1 Data kabel penghantar	32
Table 3.2 Data sistem proteksi pada sisi	33
Table 3.3 Data sistem proteksi pada sisi outgoing	33
Table 3.4 Data arus gangguan	34

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada sebuah sistem kelistrikan seringkali terjadi gangguan yang menyebabkan pemadaman aliran listrik bahkan kerusakan pada alat-alat kelistrikan. Gangguan ini bisa terjadi di bagian mana saja misalnya jaringan distribusi listrik. Gangguan ini bisa disebabkan oleh binatang, sambaran petir bahkan *setting* dari sistem proteksi yang salah dan tentu saja hal ini akan mempengaruhi keandalan sistem penyalurannya.

Adapun skripsi ini dibuat dikarenakan pada jaringan distribusi PT. Pelindo1 Cabang Belawan sering mengalami pemadaman dikarenakan faktor perawatan dan juga gangguan yang di sebabkan oleh orang yang tidak bertanggung jawab. Maka dari itu analisis proteksi ini diangkat untuk meminimalisir kerusakan pada peralatan - peralatan distribusi akibat gangguan hubung singkat yang terjadi. Dalam hal ini bisa saja terjadi ketidak handalan suatu proteksi ataupun perbedaan nilai *setting* proteksi *Over current relay*. Sehingga saat ada perubahan nilai beban menyebabkan sistem proteksi aktif dan mendeteksi kenaikan beban yang juga menaikkan nilai arus sebagai gangguan, maka jaringan distribusi akan otomatis padam.

Over current Relay merupakan relay yang bekerja saat mengalami arus lebih. Saat terjadi arus lebih relay akan menerima sinyal dan sinyal ini akan

mengaktifkan PMT (pemutus) untuk memutus arus di jaringan. *Overcurrent relay* biasanya terpasang pada jaringan transmisi sampai ke distribusi. Seiring dengan bertambahnya jumlah beban maka nilai *setting* pada *overcurrent relay* juga perlu diperbaharui. Terkadang hal ini jarang diperhatikan karena penambahan jumlah beban yang hanya sedikit. Namun lama kelamaan beban akan menumpuk dan menyebabkan nilai *setting Overcurrent relay* sudah tidak relevan lagi. Sehingga diperlukan nilai *setting* relay yang memenuhi syarat yakni selektivitas, sensitivitas, reliabilitas dan kecepatan. [1]

Dengan *setting* relay yang tepat maka tidak akan ada relay yang bekerja secara bersamaan. Dimana apabila itu terjadi relay yang seharusnya tidak bekerja akan memadamkan jaringan yang tidak mengalami gangguan. Maka apabila koordinasi antar sistem proteksi sudah bekerja dengan baik dapat meningkatkan kehandalam jaringan transmisi dan distribusi listrik.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang diuraikan di atas, penulis dapat merumuskan masalah sebagai berikut:

1. Berapa lama waktu relay bekerja saat terjadi gangguan arus hubung singkat?
2. Bagaimana mengetahui koordinasi relay incoming dan outgoing sudah tepat saat terjadi gangguan arus hubung singkat?

3. Berapa perbandingan besar nilai arus gangguan 1 fasa dilapangan dengan hasil analisa pada jaringan tegangan menengah ?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis lama waktu relay bekerja saat terjadi gangguan arus hubung singkat.
2. Menganalisis koordinasi relay incoming dan outgoing saat terjadi gangguan arus hubung singkat.
3. Membandingkan besar nilai arus gangguan 1 fasa yang ada dilapangan dengan hasil analisis.

1.4 Ruang Lingkup

1. Waktu relay bekerja saat terjadi gangguan arus hubung singkat.
2. Koordinasi relay incoming dan outgoing saat terjadi gangguan arus hubung singkat.
3. Membandingkan besar nilai gangguan arus hubung singkat 1 fasa hasil analisa dan realisasi di lapangan.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Untuk Mahasiswa : Sebagai pedoman untuk menentukan waktu relay dan koordinasi relay saat bekerja bila terjadi gangguan arus hubung singkat.

2. Untuk Universitas : Sebagai referensi pembelajaran untuk pemahaman tentang relay proteksi.
3. Untuk Perusahaan : Sebagai panduan perusahaan dalam melakukan koordinasi relay proteksi pada jaringan distribusi 20 kV.

1.6 Metode Penelitian

Dalam penulisan skripsi ini, penulis melakukan pengumpulan data dan bahan pembahasan dengan cara sebagai berikut :

1. Study kepustakaan : Mengumpulkan bahan pembahasan melalui jurnal dan website yang menyangkut dengan skripsi.
2. Konsultasi : Melakukan tanya jawab dengan dosen pembimbing dan teman-teman yang berpengalaman dibidang proteksi.

1.7 Sistematika Penulisan

Skripsi ini tersusun atas beberapa bab pembahasan tentang proteksi jaringan distribusi, yaitu :

BAB I : PENDAHULUAN

Pada bab ini menguraikan secara singkat latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah dan metodologi penelitian.

BAB II : TINJAUN PUSTAKA

Pada bab ini berisikan teori-teori pendukung dalam penulisan skripsi ini.

BAB III : METODOLOGI

Pada bab ini akan menerangkan tentang waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan yang digunakan dan hal-hal yang berhubungan dengan penelitian.

BAB IV : ANALISA DAN PENGUJIAN

Pada bab ini berisikan hasil analisa parameter proteksi jaringan distribusi dan prinsip kerja PMT (Pemutus Tenaga).

BAB V : PENUTUP

Pada bab ini berisikan kesimpulan dan saran dari penulisan skripsi.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

Komponen distribusi dalam jaringan distribusi listrik PLN memiliki peranan yang sangat penting, disamping itu harus bisa menyalurkan tenaga listrik ke pelanggan, sistem distribusi juga harus mampu memberikan indikasi adanya gangguan dalam jaringan, antara lain terjadinya gangguan hubung pendek (*short circuit*) baik antar fasa maupun fasa ke tanah.[2]

Besarnya arus hubung singkat bergantung pada jarak titik gangguan dari sumber, semakin jauh letak gangguan hubung singkat dari sumber, maka semakin kecil pula arus yang ditimbulkan.[3]

Untuk menghitung setting waktu relay digunakan arus hubung singkat, sedangkan untuk menghitung arus setting digunakan arus nominal/arus beban puncak.[4]

Jika terjadi arus hubung singkat antar fasa maka yang merasakan adalah relay *OCR (Over Current Relay)*, dimana relay ini aktif jika merasakan adanya gangguan arus lebih yang melebihi dari *setting* atau batas yang ditentukan. Sedangkan jika terjadi gangguan hubung singkat fasa ke tanah maka mengaktifkan relay *GFR (Ground Fault Relay)* dan men-tripkan sistem jaringan. Waktu kerja relay antara relay sisi penyulang dan sisi *incoming* berbeda dimana waktu kerja relay sisi penyulang lebih cepat dibandingkan relay sisi *incoming* selisih antara keduanya rata-rata 0,4detik. Perbedaan waktu ini dipengaruhi oleh panjang pendeknya titik lokasi

gangguan dimana semakin panjang atau jauh titik lokasi gangguan maka selisih waktu kerja relay semakin besar pula.[5]

Berdasarkan hasil perhitungan *setting* arus pada relay arus lebih tipe sepam di feeder A08 pada jaringan 20kV besaran arus *setting* arus untuk feeder A08 = 529,8 A dengan besaran ratio trafo arus 250/5A dan *setting* waktu kerja relay arus lebih 0,384 ms hal ini terdapat perbedaan antara data hasil perhitungan dengan realisasi *setting* sepam relay yang ada di lapangan, hal ini mungkin disebabkan dalam penentuan *setting* relay sepam tidak diperhitungkan parameter – parameter dalam menentukan tipe jaringan, impedansi sumber, impedansi trafo dan impedansi saluran sehingga realisasi *setting* di lapangan terdapat perbedaan dengan perhitungan.[6]

Untuk menentukan jenis penghantar baik itu kawat berisolasi maupun kabel, harus ditentukan berdasarkan pertimbangan teknis yang meliputi tegangan nominalnya, konstruksi (ukuran), dan KHA (kuat hantar arusnya). Konstruksi atau luas penampang dari penghantar juga dapat ditentukan dengan melihat rapat arus nominal suatu penghantarnya. Pada dasarnya, penentuan rapat arus ini berhubungan dengan suhu maksimum penghantar yang akan ditimbulkan oleh aliran arus.[7]

Dari lokasi gangguan juga mempengaruhi selisih waktu kerja (*grading time*) bekerjanya relay, semakin jauh jarak gangguan, maka semakin besar selisih waktu kerja relay di *incoming* 20kV, hal ini bertujuan memberi kesempatan pada relay *outgoing* untuk bekerja terlebih dahulu sebagai pengaman utama apabila terjadi gangguan hubung singkat di jaringan dan relay *incoming* bekerja sebagai cadangan apabila relay *outgoing* tidak bekerja.[8]

2.2 Sistem Proteksi

Secara umum pengertian sistem proteksi ialah cara untuk mencegah atau membatasi kerusakan peralatan terhadap gangguan, sehingga kelangsungan penyaluran tenaga listrik dapat dipertahankan. Sistem proteksi penyulang tegangan menengah ialah pengamanan yang terdapat pada sel-sel tegangan menengah di Gardu Induk dan pengamanan yang terdapat pada jaringan tegangan menengah.[9]

Penyulang tegangan menengah ialah penyulang tenaga listrik yang berfungsi untuk mendistribusikan tenaga listrik tegangan menengah (3.3 kV – 20 kV), yang terdiri dari:

1. Saluran udara tegangan menengah (SUTM)
2. Saluran kabel tegangan menengah (SKTM)

2.2.1 Tujuan sistem proteksi

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

Adapun tujuan dari sistem proteksi antara lain:

- a. Untuk menghindari atau mengurangi kerusakan akibat gangguan pada peralatan yang terganggu atau peralatan yang dilalui oleh arus gangguan.
- b. Untuk melokalisir (mengisolir) daerah gangguan menjadi sekecil mungkin.
- c. Untuk dapat memberikan pelayanan listrik dengan keandalan yang tinggi kepada konsumen. Serta memperkecil bahaya bagi manusia.

2.3 Persyaratan Sistem Proteksi

Tujuan utama sistem proteksi yaitu:

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

Persyaratan terpenting dari sistem proteksi yaitu:

A. Kepekaan Proteksi (*sensitivity*)

Pada prinsipnya relay harus cukup peka sehingga dapat mendeteksi gangguan di kawasan pengamanannya, termasuk kawasan pengamanan cadangan-jauhnya, meskipun dalam kondisi yang memberikan deviasi yang minimum. Untuk relay arus-lebih hubung-singkat yang bertugas pula sebagai pengaman cadangan jauh bagi seksi berikutnya, relay itu harus dapat mendeteksi arus gangguan hubung singkat dua fasa yang terjadi diujung akhir seksi berikutnya dalam kondisi pembangkitan minimum.

Sebagai pengaman peralatan seperti motor, generator atau trafo, relay yang peka dapat mendeteksi gangguan pada tingkatan yang masih dini sehingga dapat membatasi kerusakan. Bagi peralatan seperti tsb diatas hal ini sangat penting karena

jika gangguan itu sampai merusak besi laminasi stator atau inti trafo, maka perbaikannya sangat sukar dan mahal.

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

B. Keandalan Proteksi (*Reliability*)

Ada 3 aspek dalam keandalan sistem proteksi, yaitu:

1) *Dependability*

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

2) *Security*

Yaitu tingkat kepastian untuk tidak melakukan kesalahanbekerja (keandalan untuk tidak melakukan kesalahanbekerja). Kesalahanbekerja adalah kerja yang semestinya tidak harus dilakukan, misalnya karena lokasi gangguan di luar kawasan pengamanannya atau sama sekali tidak ada gangguan atau kerja yang

terlalu cepat atau terlalu lambat. Kesalahan bekerja mengakibatkan pemadaman yang sebenarnya tidak perlu terjadi. Jadi pada prinsipnya pengaman tidak boleh salah kerja, dengan lain perkataan *security*-nya harus tinggi.

3) *Availability*

Yaitu perbandingan antara waktu di mana pengaman dalam keadaan berfungsi/siap kerja dan waktu total dalam operasinya. Dengan relay elektromekanis, jika rusak/tidak berfungsi, tidak diketahui segera. Baru diketahui dan diperbaiki atau diganti. Disamping itu, sistem proteksi yang baik juga dilengkapi dengan kemampuan mendeteksi terputusnya sirkit trip, sirkit sekunder arus, dan sirkit sekunder tegangan serta hilangnya tegangan serta hilangnya tegangan searah (*DC voltage*), dan memberikan alarm sehingga bisa diperbaiki, sebelum kegagalan proteksi dalam gangguan yang sesungguhnya, benar-benar terjadi. Jadi *availability* dan keandalannya tinggi.

C. Selektifitas Proteksi (*Selectivity*)

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

Jadi relay harus dapat membedakan apakah:

- a. Gangguan terletak di kawasan pengamanan utamanya dimana ia harus bekerja cepat.

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

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

Untuk itulah relay dibuat dengan bermacam-macam jenis dan karakteristiknya. Dengan pemilihan jenis dan karakteristik relay yang tepat, spesifikasi trafo arus yang benar, serta penentuan *setting* relay yang terkoordinir dengan baik, selektifitas yang baik dapat diperoleh. Pengaman utama yang memerlukan kepekaan dan kecepatan yang tinggi, seperti pengaman transformator tenaga, generator, dan busbar pada sistem Tegangan Ekstra Tinggi (TET) dibuat berdasarkan prinsip kerja yang mempunyai kawasan pengaman yang batasnya sangat jelas dan pasti, dan tidak sensitif terhadap gangguan diluar kawasannya, sehingga sangat selektif, tapi tidak bisa memberikan pengaman cadangan bagi seksi berikutnya. Contohnya pengaman differensial.

D. Kecepatan Proteksi (*speed*)

Untuk memperkecil kerugian/kerusakan akibat gangguan, maka bagian yang terganggu harus dipisahkan secepat mungkin dari bagian sistem lainnya. Waktu total pembebasan sistem dari gangguan adalah waktu sejak munculnya gangguan, sampai bagian yang terganggu benar-benar terpisah dari bagian sistem lainnya.

Kecepatan itu penting untuk:

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

Untuk menciptakan selektifitas yang baik, mungkin saja suatu pengaman terpaksa diberi waktu tunda (td) namun waktu tunda tersebut harus sesingkat mungkin (seperlunya saja) dengan memperhitungkan resikonya. [10]

2.4 Gangguan Arus Hubung Singkat

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

1. Gangguan hubung singkat 3 fasa
2. Gangguan hubung singkat 2 fasa, dan
3. Gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah

Dari ketiga macam gangguan hubung singkat di atas, arus gangguannya dihitung dengan menggunakan rumus umum (hukum *ohm*) yaitu:

$$I = \frac{V}{Z} \quad (2.1)$$

Dimana:

I = Arus yang mengalir pada hambatan Z (A)

V = Tegangan sumber (V)

Z = Impedansi jaringan, nilai ekivalen dari seluruh impedansi di dalam jaringan dari sumber tegangan sampai titik gangguan (Ω)

Yang membedakan antara gangguan hubung singkat 3 fasa, 2 fasa dan 1 fasa ke tanah adalah impedansi yang terbentuk sesuai dengan macam gangguan itu sendiri dan tegangan yang memasok arus ke titik gangguan, impedansi yang terbentuk dapat ditunjukkan seperti berikut :

Z untuk gangguan tiga fasa, $Z = Z_1$

Z untuk gangguan dua fasa, $Z = Z_1 + Z_2$

Z untuk gangguan satu fasa, $Z = Z_1 + Z_2 + Z_0$

Dimana:

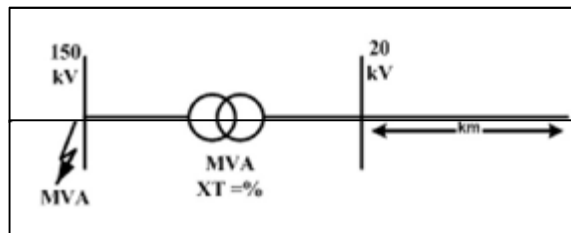
Z_1 = Impedansi urutan positif (Ω)

Z_2 = Impedansi urutan negatif (Ω)

Z_0 = Impedansi urutan nol (Ω)[11]

A. Impedansi Sumber

Untuk menghitung arus hubung singkat pada sistem diatas, pertama – tama hitung impedansi sumber (reaktansi) dalam hal ini diambil dari data hubung singkat pada bus $150kV$, kedua menghitung reaktansi trafo tenaga, ketiga menghitung impedansi penyulang.



Gambar 2.1 single diagram gardu induk impedansi sumber

Untuk menghitung impedansi sumber maka data yang diperlukan adalah data hubung singkat pada bus *primer* trafo.

$$X_s = \frac{kV^2}{MVA} \quad (2.2)$$

Dimana:

X_s = Impedansi sumber (Ω)

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

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

Perlu diingat bahwa impedansi sumber ini adalah nilai ohm pada sisi 150 kV, karena arus gangguan hubung singkat yang akan dihitung adalah gangguan hubung singkat di sisi 20 kV, maka impedansi sumber tersebut harus dikonversikan dulu ke sisi 20 kV, sehingga pada perhitungan arus gangguan nanti sudah menggunakan sumber 20 kV.

Untuk mengkonversikan impedansi yang terletak di sisi 150 kV, dilakukan dengan cara sebagai berikut:

$$X_s(\text{sisi } 20 \text{ kV}) = \frac{20^2}{150^2} \times X_s(\text{sisi } 150 \text{ kV}) \quad (2.3)$$

B. Impedansi transformator

$$X_t(\text{pada } 100\%) = \frac{kV^2}{MVA} \quad (2.4)$$

Dimana:

X_t = Impedansi trafo tenaga (Ω)

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

MVA = Kapasitas daya trafo tenaga (MVA)

1) Nilai reaktansi trafo tenaga :

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

$$X_t = \% \text{ yang diketahui } \times X_t(\text{pada } 100\%) \quad (2.5)$$

2) Reaktansi urutan nol (X_{t0})

Reaktansi urutan nol ini didapat dengan memperhatikan data trafo tenaga itu sendiri yaitu dengan melihat kapasitas belitan delta yang ada dalam trafo itu:

a) Untuk trafo tenaga dengan hubungan belitan Δ/Y dimana kapasitas belitan delta sama besar dengan kapasitas belitan

Y, maka $X_{t0} = X_{t1}$,

b) Untuk trafo tenaga dengan belitan Y_{yd} dimana kapasitas belitan delta (d) biasanya sepertiga dari kapasitas belitan Y (belitan yang dipakai untuk menyalurkan daya, sedangkan belitan delta tetap ada di dalam tetapi tidak dikeluarkan kecuali satu terminal delta untuk ditanahkan), maka nilai $X_{t0} = 3X_{t1}$,

- c) Untuk trafo tenaga dengan hubungan YY dan tidak mempunyai belitan delta di dalamnya, maka besarnya X_{t0} berkisar antara 9 s/d 14 X_{t1} .

C. Impedansi Penyulang

Menghitung impedansi penyulang, impedansi penyulang ini dihitung tergantung dari besarnya impedansi per meter penyulang yang bersangkutan, dimana besar nilainya ditentukan dari konfigurasi tiang yang digunakan untuk jaringan SUTM atau dari jenis kabel tanah untuk jaringan SKTM. Dalam perhitungan disini diambil besarnya nilai impedansi suatu penyulang

$$Z = (R + jX) \Omega/\text{km} \quad (2.6)$$

D. Impedansi Ekuivalen Jaringan

Perhitungan yang akan dilakukan disini adalah perhitungan besarnya nilai impedansi positif ($Z_{1 \text{ eq}}$), negative ($Z_{2 \text{ eq}}$), dan nol ($Z_{0 \text{ eq}}$) dari titik gangguan sampai ke sumber, sesuai dengan urutan di atas.

Karena dari sumber ke titik gangguan impedansi yang terbentuk adalah tersambung seri, maka perhitungan $Z_{1 \text{ eq}}$ dan $Z_{2 \text{ eq}}$ dapat langsung menjumlahkan impedansi-impedansi tersebut. Sedangkan untuk perhitungan $Z_{0 \text{ eq}}$ dimulai dari titik gangguan sampai ke trafo tenaga yang netralnya ditanahkan. Untuk menghitung $Z_{0 \text{ eq}}$ ini, diumpamakan trafo tenaga yang terpasang mempunyai hubungan Yyd, dimana mempunyai nilai $X_{t0} = 3X_{t1}$.

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

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = Z_{s1} + Z_{t1} + Z_1 \text{ penyulang} \quad (2.7)$$

Dimana:

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

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

Z_{s1} = Impedansi sumber sisi 20kV (Ω)

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

Z_1 = Impedansi urutan positif dan negatif (Ω)

Perhitungan Z_{0eq} :

$$Z_{0eq} = Z_{t0} + 3RN + Z_0 \text{ penyulang} \quad (2.8)$$

Dimana:

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

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

RN = Tahanan tanah trafo tenaga (Ω)

Z_0 = Impedansi urutan nol (Ω) [12]

2.4.1 Gangguan hubung singkat tiga fasa

Kemungkinan terjadinya gangguan 3 fasa adalah putusnya salah satu kawat fasa yang letaknya paling atas pada transmisi atau distribusi, dengan konfigurasi kawat antar fasanya disusun secara *vertikal*. Kemungkinan terjadinya memang sangat kecil, tetapi dalam analisisnya tetap harus diperhitungkan.

Kemungkinan lain adalah akibat pohon yang cukup tinggi dan berayun sewaktu angin kencang, kemudian menyentuh ketiga kawat pada transmisi atau distribusi.

Gangguan hubung singkat 3 fasa dapat dihitung dengan menggunakan rumus hukum ohm, sehingga arus gangguan hubung singkat tiga fasa dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$I_{3fasa} = \frac{V_{ph}}{Z_{1eq}} \quad (2.9)$$

Dimana:

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

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

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

2.4.2 Gangguan hubung singkat 2 fasa

Kemungkinan terjadinya gangguan 2 fasa disebabkan oleh putusnya kawat fasa tengah pada transmisi atau distribusi. Kemungkinan lainnya adalah dari rusaknya isolator di transmisi atau distribusi sekaligus 2 fasa. Gangguan seperti ini biasanya mengakibatkan 2 fasa ke tanah.

Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa juga dihitung untuk lokasi gangguan yang diasumsikan terjadi pada panjang penyulang dianggap nilai $Z_{1eq}=Z_{2eq}$, sehingga rumus persamaan arus gangguan hubung singkat 2 fasa di atas dapat di sederhanakan menjadi:

$$I_{2fasa} = \frac{V_{ph-ph}}{2xZ_{1eq}} \quad (2.10)$$

Dimana:

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

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

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

2.4.3 Gangguan hubung singkat 1 fasa

Kemungkinan terjadinya gangguan satu fasa ke tanah adalah *back flashover* antara tiang ke salah satu kawat transmisi dan distribusi. Sesaat setelah tiang tersambar petir yang besar walaupun tahanan kaki tiangnya cukup rendah namun bisa juga gangguan fasa ke tanah ini terjadi sewaktu salah satu kawat fasa transmisi/distribusi tersentuh pohon yang cukup tinggi dll.

Rumus dasar yang digunakan untuk menghitung besarnya arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah juga dengan rumus hukum ohm, sehingga arus hubung singkat satu fasa ke tanah dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$I_{1fasa} = \frac{3xV_{ph}}{2xZ_{1eq} + Z_{0eq}} \quad (2.11)$$

Dimana:

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

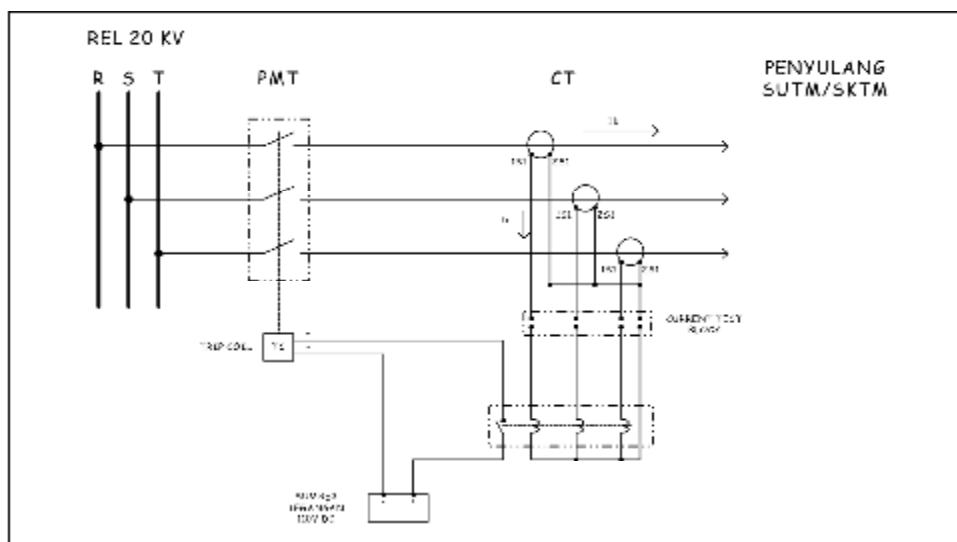
V_{ph} = Tegangan fasa - netral sistem $20kV = \frac{20.000}{\sqrt{3}}$ (V)

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

Z_{0eq} = Impedansi urutan nol (Ω) [13]

2.5 Relay Arus Lebih (Over Current Relay)

Relay Arus Lebih (*OCR*) bekerjanya berdasarkan adanya kenaikan arus yang melebihi suatu nilai pengaman tertentu dalam jangka waktu tertentu, sehingga relay ini dapat dipakai sebagai pola pengaman arus lebih. Prinsip kerja relay arus lebih yang bekerjanya berdasarkan besaran arus lebih akibat adanya gangguan hubung singkat dan memberikan perintah trip ke PMT sesuai dengan karakteristik waktunya sehingga kerusakan alat akibat gangguan dapat dihindari.



Gambar 2.2 Rangkaian pengawatan relay arus lebih (OCR) [14]

Cara kerjanya dapat diuraikan sebagai berikut:

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

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

Adapun bentuk fisik dari *Over Current relay* dan *Ground Fault Relay* yang digunakan adalah sebagai berikut:



Gambar 2.3 Over Curret Relay dan Ground Fault Relay tipe separam



Gambar 2.4 Over Current Relay dan Ground Fault Relay tipe micom P123

2.5.1 Macam-Macam Karakteristik Relay

Arus Lebih (Over Current Relay/OCR) karakteristiknya sebagai berikut:

a. Relay waktu seketika (*Instantaneous relay*)

Relay tersebut bekerja seketika (tanpa waktu tunda), ketika arus yang mengalir melebihi nilai settingnya, relay akan bekerja dalam waktu beberapa mili detik (10 – 20 ms). Relay ini jarang berdiri sendiri tetapi umumnya dikombinasikan dengan relay arus lebih dengan karakteristik yang lain.

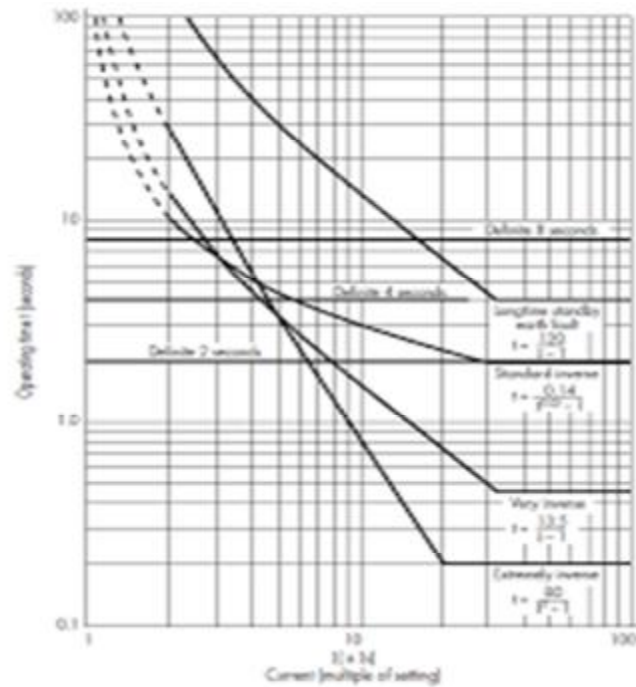
b. Relay dengan waktu tertentu (*Definite time relay*)

Relay ini akan memberikan perintah pada PMT (pemutus tenaga) pada saat terjadi gangguan hubung singkat dan besarnya arus gangguan melampaui settingnya (Iset), dan jangka waktu kerja relay mulai pick up sampai kerja relay diperpanjang dengan waktu tertentu tidak tergantung besarnya arus yang mengerjakan relay.

c. Relay arus lebih waktu terbalik (*Inverse time*)

Relay ini akan bekerja dengan waktutunda yang tergantung dari besarnya arus secara terbalik, makin besar arus makin kecil waktu tundanya. Karakteristik ini bermacam-macam, setiap pabrik dapat membuat karakteristik yang berbeda-beda. Karakteristik waktunya dibedakan dalam empat kelompok yaitu:

1. *Standard Inverse* adalah jenis relai arus lebih yang sangat baik untuk dikoordinasikan karena selain memiliki tunda waktu yang statis dan juga memiliki setelan kurva arus dan waktu sehingga relai arus lebih jenis ini dapat memberikan tunda waktu tergantung dari arus yang terukur. Makin besar arus, maka semakin kecil waktu tundanya.
2. *Very Invers* yaitu rele arus lebih dengan penundaan waktu sangat terbalik.
3. *Extremely Invers* yaitu rele arus lebih dengan penundaan waktu amat sangat terbalik.
4. *Long Time Inverse*. [15]



Gambar 2.5 Karakteristik Relay

2.5.2 Koordinasi Relay Arus Lebih (*Over Current Relay*)

Hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat, pada tahap selanjutnya dipergunakan untuk menentukan nilai setelan arus lebih, terutama nilai setelan Tms (*Time Multiple Setting*) dari *OCR* dari jenis *inverse*. Di samping itu setelah nilai setelan relay didapatkan, nilai-nilai arus gangguan hubung singkat pada setiap lokasi gangguan yang diasumsikan dipakai untuk memeriksa kerja *OCR*, apakah masih dapat dinilai selektif atau nilai setelan harus diubah ke nilai lain yang memberikan kerja relay yang lebih selektif atau didapatkan kerja selektifitas yang optimum (relay bekerja tidak terlalu lama tetapi menghasilkan selektifitas yang baik). Sedangkan untuk setelan relay arus beban lebih dihitung di *incoming* trafo, artinya:

1. Untuk relay arus beban lebih yang terpasang dipenyulang dihitung berdasarkan arus beban maksimum yang mengalir dipenyulang tersebut. Minimum dari relay arus lebih (terutama di penyulang) tidak lebih kecil dari 0.3 detik. Pertimbangan ini diambil agar relay tidak sampai trip lagi akibat arus *inrush* dari trafo – trafo distribusi ketika penyulang PMT penyulang tersebut dimasukan.
2. Untuk *OCR* yang terpasang di *incoming* trafo dihitung berdasarkan arus nominal trafo tersebut. Relay *inverse* diset sebesar $1.05 - 1.1 \times I$ beban, *definit* diset sebesar $1.2 - 1.3 \times I$ beban. Persyaratan lain yang harus dipenuhi adalah bahwa penyetelan waktu minimum dari relay arus lebih (terutama dipenyulang) tidak lebih kecil dari 0.3 detik. Pertimbangan ini diambil agar relay tidak sampai trip lagi akibat arus *inrush* dari trafo.

2.5.3 Setelan *OCR*

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

$$I_{set (prim)} = 1.05 \times I_{nominal \text{ trafo}}$$

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

$$I_{set (sek)} = I_{set (pri)} \times \frac{1}{Ratio CT} \quad (2.12)$$

A. Setelan Waktu/Time Multiple Setting (Tms)

$$t = \frac{0,14 \times tms}{\left(\frac{I_f}{I_s}\right)^{0,02} - 1} \quad (2.13)$$

$$TMS = \frac{t \times \left(\frac{I_f}{I_s}\right)^{0,02} - 1}{0,14} \quad (2.14)$$

Nilai Setelan incoming 20 KV trafo tenaga Arus nominal trafo pada sisi 20kV:

$$In (sisi 20kV) = \frac{kVA}{kV \times \sqrt{3}} \quad (2.15)$$

$$I_{set (primer)} = 1.05 \times I_{beban}$$

$$I_{sekunder} = I_{set (primer)} \times \frac{1}{Ratio CT} \quad (2.16)$$

Besarnya berbeda waktu ini dipengaruhi oleh beberapa hal, yaitu:

Kesalahan relay penyulang : 0.2–0.3 detik

Waktu pembukaan PMT sampai hilangnya bunga api : 0.1 detik

Over Shoot : 0.05 detik

Faktor keamanan : 0.05 detik

Selisih waktu kerja relay di incoming 20 kV (sisi hulu) lebih lama 0.4 detik dari waktu kerja relay di penyulang (sisi hilir) di sebut *grading time*, yang maksudnya agar relay di *incoming* 20 kV memberikan kesempatan relay di penyulang bekerja lebih dahulu.

Untuk itu, nilai Tms yang akan disetkan pada relay arus lebih di *incoming* 20kV dihitung dengan menggunakan rumus yang sama:

$$TMS = \frac{t x \left(\frac{I_f}{I_s}\right)^{0,02} - 1}{0,14} \quad (2.17)$$

Dimana t = waktu set *OCR* penyulang + waktu koordinasi

Nilai setelan Tms yang didapat masih harus diuji lagi dengan arus gangguan yang lain seperti arus gangguan hubung singkat untuk lokasi gangguan 3 fasa yang terjadi di lokasi panjang penyulang. Demikian juga untuk jenis gangguan hubung singkat 2 fasa yang besar arus gangguannya juga sudah dihitung.

Dengan cara yang sama dihitung nilai Tms pada *GFR* yang tentunya berdasarkan hasil perhitungan arus gangguan satu fasa ke tanah, sehingga dengan demikian lengkap sudah setelan relay yang diperlukan di dalam sistem penyaluran distribusi yang dipasang dari trafo tenaga gardu induk. Untuk penyulang lain dapat diulangi perhitungan seperti yang sudah dilakukan tetapi data yang dimasukkan bedanya hanya pada data penyulang, baik nilai impedansi per km nya atau panjangnya.

2.5.4 Selektifitas Kerja *OCR*

Hasil perhitungan setelan *OCR* yang didapat pada bab IV masih harus diperiksa apakah untuk nilai arus gangguan hubung singkat yang lain, waktu kerja *OCR* yang terpasang di penyulang dan yang terpasang di *incoming* trafo tenaga

20kV sudah bekerja selektif, tetapi masih harus diperiksa apakah memberikan beda waktu kerja (*grading time*) yang terlalu lama.

Untuk *Grading Time* yang terlalu lama, bila terjadi kegagalan kerja *OCR* di penyulang, maka *OCR* di *incoming 20kV* dalam hal ini bekerja sebagai pengaman cadangan menjadi terlalu lama mengetrikan PMTnya sehingga bisa merusak trafo.

Pemeriksaan ini dilakukan terutama pada *OCR* jenis *standart inverse*, karena setelan waktu *Tms* pada *OCR* jenis *inverse* bukan menunjukkan lamanya waktu kerja relay tersebut. Lamanya waktu kerja relay ini ditentukan oleh besarnya arus gangguan yang mengalir di relay. Makin besar arus gangguan yang mengalir di relay, makin cepat kerja relay tersebut menutup kontaknya yang kemudian mentrikan PMT.

2.6 Gangguan Hubung Singkat Tanah (Ground Fault Relay)

Gangguan satu fasa ke tanah sangat tergantung dari jenis pentanahan dan sistemnya. Gangguan satu fasa ke tanah umumnya bukan merupakan hubung singkat melalui tahanan gangguan, sehingga arus gangguannya menjadi semakin kecil dan tidak bisa terdeteksi oleh *OCR*. Dengan demikian diperlukan relay pengaman gangguan tanah.

2.6.1 Penyetelan *GFR* pada Sistem Tanpa Pentanahan.

Pada sistem ini arus gangguan satu fasa ke tanah relatif kecil namun terjadi pergeseran tegangan bila sistemnya menggunakan relay tegangan urutan nol. Maka relay ini tidak boleh bekerja bila terjadi pergeseran tegangan pada keadaan normal.

$$V_0 = 30\% \times V$$

V_0 = Penyetelan relay tegangan urutan nol

V = Tegangan nol

2.6.2 Penyetelan *GFR* pada Sistem Pentanahan Langsung

Penyetelan relay gangguan tanah pada sistem ini adalah:

$$I_{set} = k_s \times I_{vb} \quad (2.18)$$

I_{set} = Penyetelan arus gangguan tanah

I_{vb} = Arus tidak seimbang yang mungkin terjadi

k_s = Faktor keamanan, digunakan 1.2 – 1.5.

2.6.3 Penyetelan *GFR* pada Sistem Pentanahan Melalui Tahanan Rendah

1. *Ground Fault Relay (GFR)* pada SUTM

$$I_{set} = 10\% \times I_o \quad (2.19)$$

I_{set} = Penyetelan arus relay

I_o = Arus gangguan terkecil (ujung penyulang)

2. *Ground Fault Relay* (GFR) pada SKTM

$I_{set} = k_s \times I_{sCE}$

I_{set} = Penyetelan arus

I_{sCE} = Arus kapasitif saluran yang terpanjang operasinya

K_s = Faktor keamanan digunakan 1.2 – 1.5.

2.6.4 Penyetelan *GFR* pada Sistem Pentanahan Melalui Tahanan Tinggi

Pada sistem ini arus gangguan satu fasa ke tanah besarnya hanya 23A dan tidak jauh dengan kapasistansi ketanah. Artinya arus kapasistansi ke tanah tidak dapat diabaikan terhadap arus resistif.

Adapun relay yang digunakan adalah relay gangguan tanah berarah. Relay ini sangat sensitif dengan karakteristik waktu tertentu. Relay ini mendapat suplai dari arus urutan nol tegangan urutan nol. Setelan minimum relay gangguan ini adalah 1A.

Jika $I_{sminimum}$ masih bisa menyebabkan relay bekerja adalah $1.25 \times I_{set}$. Maka tahanan gangguan R_f maksimum yang masih menyebabkan relay bekerja sekitar 8500 *ohm*. Jadi akibat sentuhan ranting pohon atau kawat putus menyentuh tanah diharapkan relay bekerja.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan lokasi penelitian

Kegiatan penelitian ini bertempat di PT. Pelindo1 Cabang Belawan, jalan Kapten R. Surlian No.1 Belawan Sumatera Utara 20411.

3.2 Jadwal Penelitian

Adapun jadwal penelitian dilakukan pada PT. Pelindo1 Cabang Belawan dimulai dari penulisan skripsi ini sampai dengan selesai dikarenakan penulis yang termasuk saya sendiri bekerja di perusahaan tersebut.

3.3 Data Penelitian

Data penelitian yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari PT. Pelindo1 Cabang Belawan, yaitu:

- a. Data Kabel Penghantar

Table 3.1 Data kabel penghantar

ITEM	URAIAN	SATUAN
TIPE	N2XSEBY	-
LUAS PENAMPANG	3 x 240	mm ²
IMPEDANSI	0,0980	Ohm/km

b. Data sisi incoming

Table 3.2 Data sistem proteksi pada sisi

Data	OCR	GFR
Merk/Tipe	Micom/P123	Micom/P123
I setting	0.85 In	0.15 Ien
Karakteristik	Definite	Standart Inverse
Tms	90 ms	0.8
Ratio CT	200/5	200/5

c. Data sisi Outgoing

Table 3.3 Data sistem proteksi pada sisi outgoing

Data	OCR	GFR
Merk/Tipe	Micom/P123	Micom/P123
I setting	0.7 In	0.125 Ien
Karakteristik	Definite	Definite
Tms	50 ms	80 ms
Ratio CT	200/5	200/5

d. Data arus gangguan

Table 3.4 Data arus gangguan

Posisi	Tanggal	Arus Gangguan	Keterangan
Outgoing	11/01/2020	$I_{L1,L3} = 304.5 \text{ A}$	OCR
Outgoing	10/01/2020	$I_{L2} = 54.25 \text{ A}$	GFR

3.4 Metode Penelitian

Adapun data – data yang diperlukan dalam proses pembuatan skripsi ini diperoleh dari:

1. Observasi

Pengambilan data yang sesuai dengan lokasi penelitian untuk selanjutnya di analisis.

2. Wawancara

Metode ini dilakukan dengan cara menanyakan hal – hal yang sekiranya belum penulis ketahui kepada pembimbing dilapngan, rekan kerja sesuai dengan materi yang dianalisa.

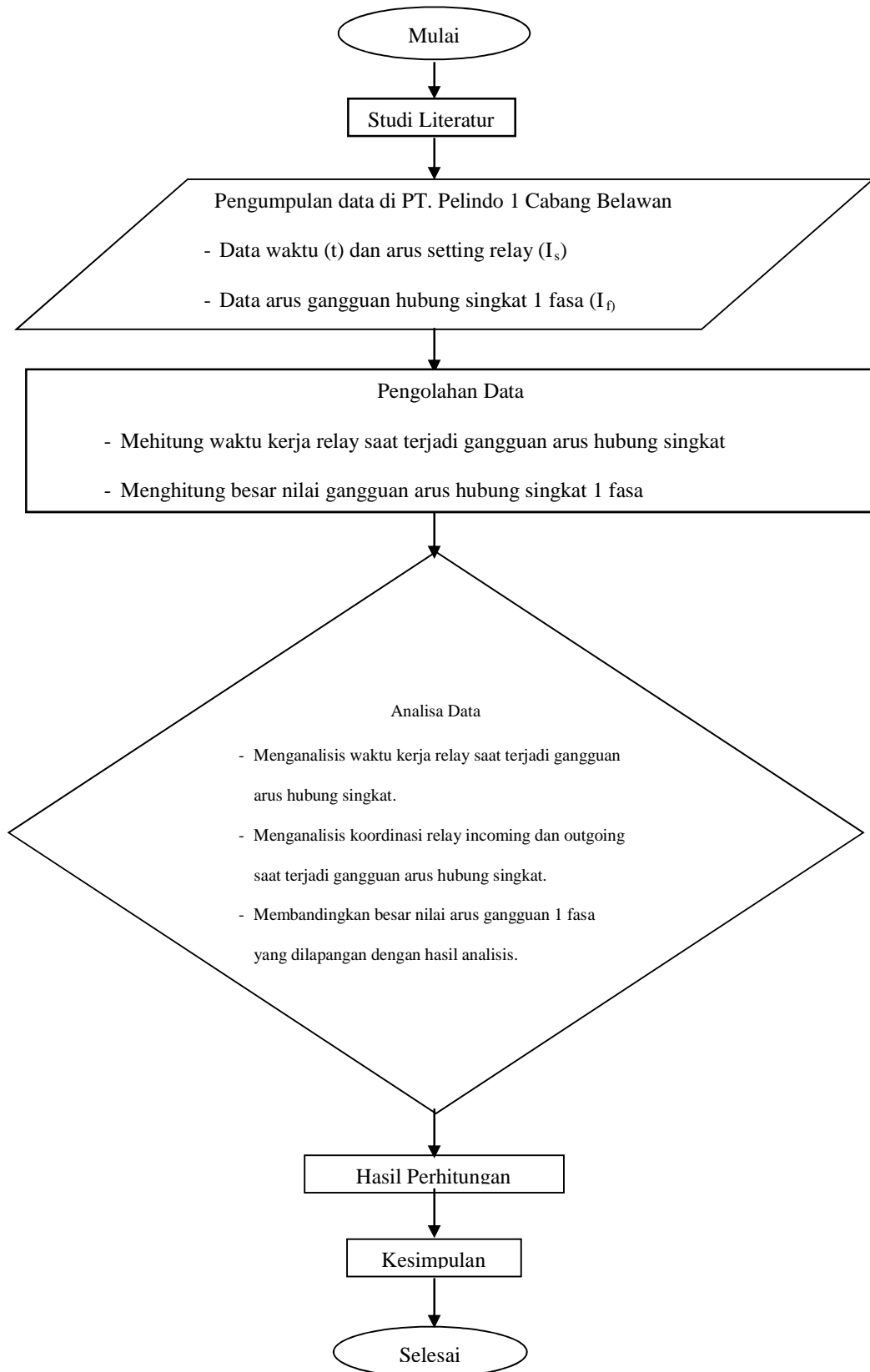
3. Studi Pustaka

Metode ini dilakukan dengan membaca buku – buku dan jurnal sesuai dengan penelitian yang dilakukan atau materi yang dianalisa.

4. Bimbingan

Metode ini dilakukan dengan cara meminta bimbingan untuk hal yang berkaitan dengan materi.

3.5 Flow Chart



BAB 4 ANALISA DAN HASIL PENGUJIAN

4.1 Perhitungan Waktu Kerja Relay

Fungsi perhitungan waktu kerja relay proteksi adalah untuk mengetahui bahwa peralatan proteksi bisa berkoordinasi dengan baik yang satu dengan yang lainnya.

Rumus untuk melakukan perhitungan waktu *trip* relay proteksi tergantung dari kurva yang digunakan, antara lain:

a) *Normaly Invers*

Waktu trip relay proteksi menggunakan kurva *Normaly Invers* adalah:

$$t = \frac{0,14}{I_{hs}^{0,02}-1} \cdot tms$$

b) *Very Invers*

Waktu trip relay proteksi menggunakan kurva *Very Invers* adalah:

$$t = \frac{13,5}{I_{hs}-1} \cdot tms$$

c) *Extremely Invers*

Waktu trip relay proteksi menggunakan kurva *Extremely Invers* adalah:

$$t = \frac{80}{I_{hs}^2-1} \cdot tms$$

d) *Long Time Invers*

Waktu trip relay proteksi menggunakan kurva *Long Time Invers* adalah:

$$t = \frac{120}{I_{hs}-1} \cdot tms$$

Dimana:

t = waktu trip relay (detik)

I_{hs} = Nilai arus gangguan hubung singkat (*ampere*)

T_{ms} = *time multiple setting* pada peralatan proteksi

Perhitungan inipun dihitung menggunakan data arus gangguan dan nilai T_{ms} yang diperoleh dari perusahaan.

e. Data sisi incoming

Tabel 4.1 Data proteksi pada sisi incoming

Data	OCR	GFR
Merk/Tipe	Micom/P123	Micom/P123
I setting	0.85 In	0.15 Ien
Karakteristik	Definite	Standart Inverse
T_{ms}	90 ms	0.8 ms
Ratio CT	200/5	200/5

f. Data sisi Outgoing

Tabel 4.2 Data proteksi pada sisi incoming

Data	OCR	GFR
Merk/Tipe	Micom/P123	Micom/P123

I setting	0.7 In	0.125 Ien
Karakteristik	Definite	Definite
Tms	50 ms	80 ms
Ratio CT	200/5	200/5

g. Data arus gangguan

Tabel 4.3 Data arus gangguan

Posisi	Tanggal	Arus Gangguan	Keterangan
Outgoing	11/01/2020	$I_{L1,L3} = 304.5 \text{ A}$	OCR
Outgoing	10/01/2020	$I_{L2} = 54.2 \text{ A}$	GFR

Untuk menghitung waktu trip relay, kita harus menghitung arus *setting* dan *Time Multiple Setting (TMS)* terlebih dahulu, yaitu:

a. Menghitung arus setting

1. Arus setting OCR pada sisi incoming

$$I_{\text{beban}} = 0,85 \times I_n = 85 \text{ A}$$

$$\begin{aligned}
 I_{\text{set (primer)}} &= 1,05 \times I_{\text{beban}} \\
 &= 1,05 \times 85 \\
 &= 89,25 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{\text{set (sekunder)}} &= I_{\text{set (primer)}} \times \frac{1}{\text{Ratio CT}} \\
 &= 89,25 \times \frac{1}{200} \\
 &= 0,44 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{TMS} &= \frac{t \times \left(\frac{I_f}{I_s}\right)^{0,02} - 1}{0,14} \\
 &= \frac{0,09 \times \left(\frac{304,5}{89,25}\right)^{0,02} - 1}{0,14} \\
 &= 0,0159 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

2. Arus setting GFR pada sisi incoming

Setelan arus gangguan tanah pada incoming harus lebih sensitive, hal ini berfungsi sebagai cadangan bagi relay di penyulang di buat $8\% \times$ arus gangguan tanah terkecil.

$$\begin{aligned}
 I_{\text{set (primer)}} &= 0,08 \times 54,2 \\
 &= 4,336 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{\text{set (sekunder)}} &= I_{\text{set (primer)}} \times \frac{1}{\text{Ratio CT}} \\
 &= 4,336 \times \frac{1}{200} \\
 &= 0,021 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\text{TMS} = \frac{t \times \left(\frac{I_f}{I_s}\right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$= \frac{0,0008 \times \left(\frac{54,2}{4,33}\right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$= 0,00029 \text{ detik}$$

3. Arus setting OCR pada sisi outgoing

$$I_{\text{beban}} = 0,7 \times I_n = 35 \text{ A}$$

$$I_{\text{set (primer)}} = 1,05 \times I_{\text{beban}}$$

$$= 1,05 \times 35$$

$$= 36,75 \text{ A}$$

$$I_{\text{set (sekunder)}} = I_{\text{set (primer)}} \times \frac{1}{\text{Ratio CT}}$$

$$= 36,75 \times \frac{1}{200}$$

$$= 0,18 \text{ A}$$

$$\text{TMS} = \frac{t \times \left(\frac{I_f}{I_s}\right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$= \frac{0,05 \times \left(\frac{304,5}{36,75}\right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$= 0,0154 \text{ detik}$$

4. Arus setting GFR pada sisi outgoing

Setelan arus gangguan tanah di penyulang diset $10\% \times$ arus gangguan tanah terkecil.

Hal ini dilakukan untuk menampung tahanan busur.

$$I_{\text{set (primer)}} = 0,1 \times 54,2$$

$$= 5,42 \text{ A}$$

$$\begin{aligned}
 I_{\text{set (sekunder)}} &= I_{\text{set (primer)}} \times \frac{1}{\text{Ratio CT}} \\
 &= 5,42 \times \frac{1}{200} \\
 &= 0,027 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{TMS} &= \frac{t \times \left(\frac{I_f}{I_s}\right)^{0,02} - 1}{0,14} \\
 &= \frac{0,08 \times \left(\frac{54,2}{5,42}\right)^{0,02} - 1}{0,14} \\
 &= 0,027 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

5. Waktu kerja relay OCR 1 fasa pada sisi incoming

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{0,14}{I_{hs3ph}^{0,02} - 1} \cdot tms \\
 &= \frac{0,14}{304,5^{0,02} - 1} \cdot 0,0159 \\
 &= \mathbf{0,108 \text{ detik}}
 \end{aligned}$$

6. Waktu kerja relay GFR 1 fasa pada sisi incoming

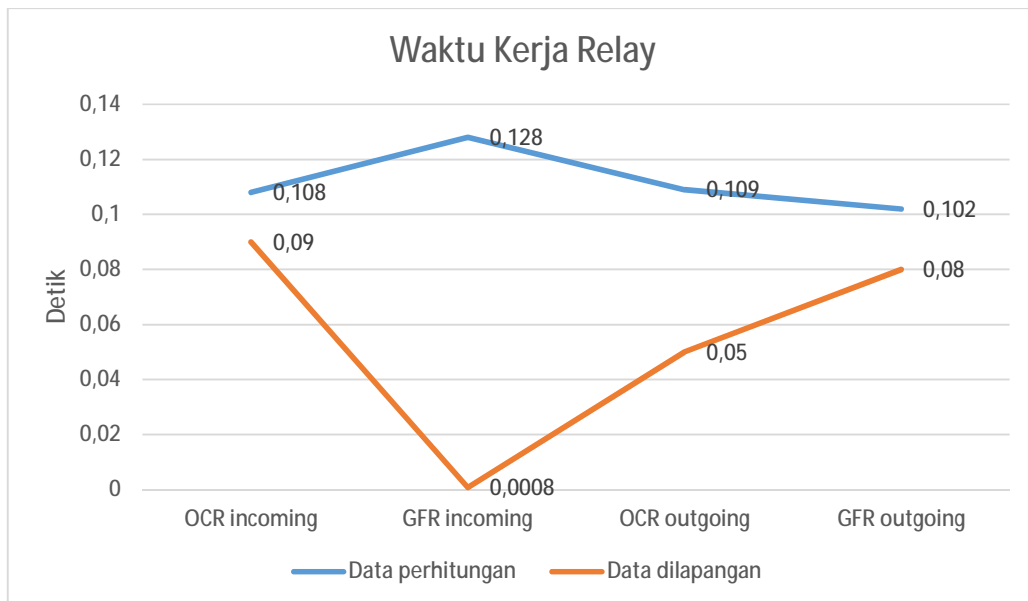
$$\begin{aligned}
 t &= \frac{0,14}{I_{hs3ph}^{0,02} - 1} \cdot tms \\
 &= \frac{0,14}{54,2^{0,02} - 1} \cdot 0,00029 \\
 &= \mathbf{0,128 \text{ detik}}
 \end{aligned}$$

7. Waktu kerja relay OCR 1 fasa pada sisi outgoing

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{0,14}{Ihs3ph^{0,02}-1} \cdot tms \\
 &= \frac{0,14}{304,5^{0,02}-1} \cdot 0,0154 \\
 &= \mathbf{0,109 \text{ detik}}
 \end{aligned}$$

8. Waktu kerja relay GFR 1 fasa pada sisi outgoing

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{0,14}{Ihs3ph^{0,02}-1} \cdot tms \\
 &= \frac{0,14}{54,2^{0,02}-1} \cdot 0,027 \\
 &= \mathbf{0,102 \text{ detik}}
 \end{aligned}$$



Grafik 4.1 Perbandingan waktu kerja relay

4.2 Koordinasi *setting OCR* antara *Incoming* dan *Outgoing*

Koordinasi pengaman merupakan kinerja dua buah pengaman atau lebih pada jaringan listrik yang saling mendukung atau melengkapi dalam melakukan proses tugasnya. Relay arus lebih ini harus di koordinasikan untuk memastikan bahwa peralatan yang berada di titik terdekat dengan gangguan harus dioperasikan terlebih dahulu.

4.2.2 Analisis

Dari perhitungan diatas didapat bahwa koordinasi antara relay *incoming* dan *outgoing* masih belum bekerja dengan baik, karena waktu kerja relay melebihi batas *setting* waktu kerja relay di lapangan. Hal ini akan menyebabkan relay *outgoing* tidak akan bekerja jika arus gangguan terjadi pada sisi *outgoing*. Sehingga relay pada sisi *incoming* yang akan bekerja untuk memerintahkan PMT untuk memutus aliran listrik kearah penyulang, agar peralatan pendistribusian tidak rusak. Dari data yang didapat, penulis harus melakukan penyettingan ulang pada relay proteksi. Ini bertujuan untuk memberi kesempatan pada relay sisi *outgoing* untuk bekerja terlebih dahulu sebagai pengaman utama. Apabila terjadi gangguan hubung singkat di sisi *outgoing* dan relaynya tidak bekerja, maka relay pada sisi *incoming* akan bekerja sebagai pengaman cadangan (*back-up protection*).

4.3 Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat

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

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

Perhitungan arus gangguan hubung singkat ini bertujuan untuk analisa arus terbesar yang terjadi pada jaringan penyulang bila terjadi hubung singkat. Sebelum menghitung arus hubung singkat, pertama – tama di hitung impedansi sumber hingga ke penyulang untuk memenuhi rumus arus gangguan tersebut.

4.3.1 Menghitung Impedansi Sumber

Data Hubung Singkat di bus sisi *primer* (150kV) di Gardu Induk PLN Medan Labuhan adalah sebesar 2,962 MVA. Maka impedansi sumber (X_S) adalah:

$$X_S = \frac{\text{kV sisi primer trafo}^2}{\text{MVA hubung singkat di bus primer}} = \frac{150^2}{2,962} = 7,59 \text{ Ohm}$$

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

$$X_S = \frac{\text{kV sisi sekunder trafo}^2}{\text{kV sisi primer trafo}^2} \times X_S (\text{sisi primer}) = \frac{20^2}{150^2} \times 2,962 = 0,134 \text{ Ohm}$$

4.3.2 Menghitung Reaktansi Trafo

Besarnya reaktansi trafo tenaga satu di Gardu Induk PLN Medan Labuhan adalah 12,50 %, agar dapat mengetahui besarnya nilai reaktansi urutan positif, negatif dan reaktansi urutan nol dalam ohm, maka perlu dihitung dulu besar nilai ohm pada 100 % nya.

Besarnya nilai ohm pada 100 % yaitu:

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

Nilai reaktansi trafo tenaga:

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

$$X_t = 12.50\% \times 6,667 = 0,833 \text{ Ohm}$$

b. Reaktansi urutan nol (X_{t0})

Karena trafo daya yang mensuplai penyulang PLN mempunyai hubungan Ynyn0 yang tidak mempunyai belitan delta di dalamnya, maka besarnya X_{t0} berkisar antara 9 s.d. 1. X_{t1} , dalam perhitungan ini diambil nilai X_{t0} lebihkurang 10. X_{t1} .

$$\text{Jadi } X_{t0} = 10 \times 0,833 = 8.33 \text{ ohm.}$$

4.3.3 Menghitung Impedansi Penyulang

Dari data yang diperoleh bahwa jenis penghantar yang digunakan pada penyulang PT. PELABUHAN INDONESIA I CABANG BELAWAN hanya menggunakan satu buah tipe kabel yaitu XLPE 240 mm².

Tabel 4.1 Data penghantar

Panjang Penyulang	4 km	
XLPE 240 mm ²	R	jX
Z1 ohm/km	0.1344	0.3158
Z0 ohm/km	0.2824	1.6034

Dengan demikian, nilai impedansi penyulang untuk lokasi gangguan sepanjang penyulang, sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Z_1 = Z_2 \text{ (XLPE 240 mm}^2\text{)} &= 100\% \times 4 \text{ km} \times (0.1344 + j0.3158) \Omega \\ &= 0.5376 + j1.2632 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_0 \text{ (XLPE 240 mm}^2\text{)} &= 100\% \times 4 \text{ km} \times (0.2824 + j1.6034) \Omega \\ &= 1.1296 + j6.4136 \Omega \end{aligned}$$

4.3.4 Menghitung Impedansi Ekuivalen Jaringan

Impedansi ekuivalen jaringan dapat diambil data dari tabel 4.2 dan dihitung dengan menggunakan rumus:

c. Urutan Positif dan Negatif

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

$$\begin{aligned} Z_{1eq} = Z_{2eq} &= Z_{iS}(\text{sisi 20 kV}) + Z_{iT} + Z_1 \text{ penyulang} \\ &= j0.134 + j0.833 + Z_1 \text{ penyulang} \\ &= j0.967 + Z_1 \text{ penyulang} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_{1eq} = Z_{2eq} (100\%) &= j0.967 + 0.5376 + j1.2632 \\ &= 0.5376 + j2.2302 \Omega \end{aligned}$$

Perhitungan Z_{0eq} :

$$\begin{aligned} Z_{0eq} (100\%) &= Z_{0t} + 3R_N + Z_0 \text{ penyulang} \\ &= j8.33 + 3 \times 12 + Z_0 \text{ penyulang} \\ &= j8.33 + 36 + Z_0 \text{ penyulang} \\ Z_{0eq} (100\%) &= j8.33 + 36 + 1.1296 + j6.4136 \\ &= 37.1296 + j14.7436 \Omega \end{aligned}$$

4.3.5 Menghitung Arus Gangguan Hubung Singkat

Setelah mendapatkan impedansi ekuivalen selanjutnya perhitungan arus gangguan hubung singkat dapat dihitung dengan menggunakan rumus dasar seperti dijelaskan sebelumnya, hanya saja impedansi ekuivalen mana yang dimasukkan ke dalam rumus dasar tersebut adalah tergantung dari jenis gangguan hubung singkatnya, dimana gangguan hubung singkat yang di analisa adalah gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah.

a. Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa

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

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

Dimana: I = Arus gangguan hubung singkat dua fasa (A)

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

Z = Impedansi urutan positif (Z_{1eq}), urutan negatif (Z_{2eq}) dan urutan nol (Z_{0eq})

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

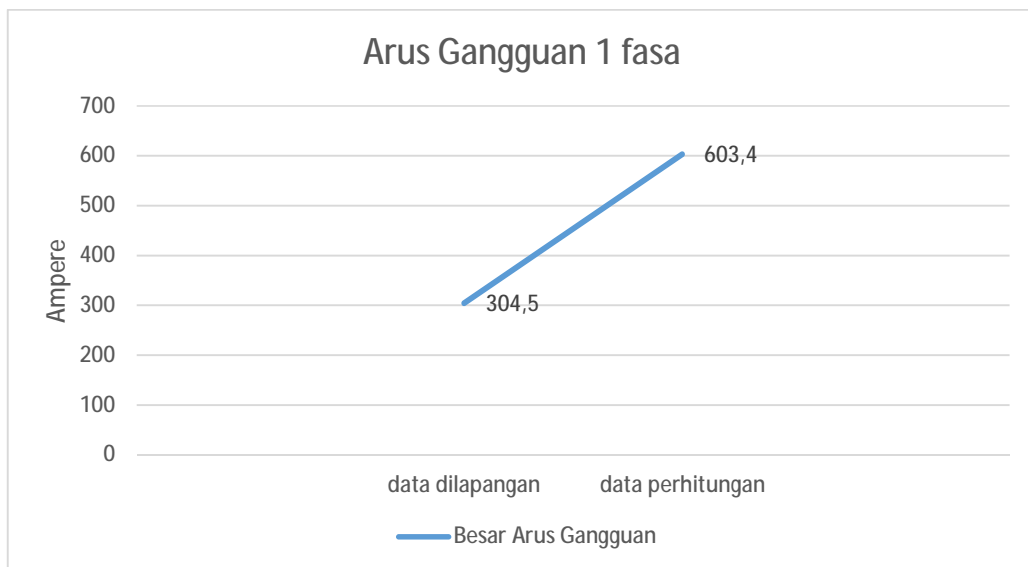
$$I_{1 \text{ fasa}} = \frac{3 \times V_{ph}}{Z_{1eq} + Z_{2eq} + Z_{0eq}} = \frac{3 \times \frac{20000}{\sqrt{3}}}{Z_{1eq} + Z_{2eq} + Z_{0eq}}$$

$$\frac{34641,016}{Z_{1eq} + Z_{2eq} + Z_{0eq}} = \frac{34641,016}{2 \times Z_{1eq} + Z_{2eq} + Z_{0eq}}$$

$$I_{1 \text{ fasa}} = \frac{34641,016}{2 \cdot (0,5376 + 2,2302) + (37,1296 + 14,7436)}$$

$$I_{1 \text{ fasa}} = 603,4 \text{ A}$$

Jadi, arus gangguan hubung singkat terbesar yang terjadi pada penyulang bisa mencapai 603, 4 ampere.



Grafik 4.2 Besar arus gangguan 1 fasa

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Hasil perbandingan waktu trip gangguan OCR di sisi *incoming* adalah sebesar 0, 108 detik dan sisi *outgoing* BICT adalah sebesar 0, 109 detik.

2. koordinasi antara relay *incoming* dan *outgoing* masih belum bekerja dengan baik, karena waktu kerja relay melebihi batas *setting* waktu kerja relay di lapangan. Hal ini akan menyebabkan relay *outgoing* tidak akan bekerja jika arus gangguan terjadi pada sisi *outgoing*. Sehingga relay pada sisi *incoming* yang akan bekerja untuk memerintahkan PMT untuk memutus aliran listrik kearah penyulang, agar peralatan pendistribusian tidak rusak.

3. Dari hasil perhitungan dapat dilihat bahwa nilai arus gangguan hubung singkat 1 fasa terbesar pada penyulang bisa mencapai 603, 2 A.

5.2 Saran

1. Untuk perusahaan : agar proteksi dapat di setting ulang sehingga koordinasi relay dapat bekerja dengan baik.
2. Untuk Universitas : agar suatu saat ada yang menggunakan skripsi maupun jurnal saya menjadi refrensi dengan analisa perhitungan melalui software ETAB.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. S. Nasution *et al.*, “Rele diferensial sebagai proteksi pada transformator daya pada gardu induk,” *Ready Start*, vol. 02, no. 1, pp. 179–186, 2019.
- [2] I. Nurmalasari, Nurwijayanti, and Hindardi, “Analisa Pemilihan Relai Proteksi Pada Panel Listrik Untuk Studi Kasus Tegangan Menengah 20kV,” pp. 1–11, 2016.
- [3] N. P. Putra, H. Purnomo, and T. Utomo, “Analisis Koordinasi Relé Arus Lebih Pda Incoming dan Penyulang 20 kV Gardu Induk Sengkaling Menggunakan Pola Non Kaskade.”
- [4] S. Zulkarnaini, “Analisa Perhitungan Setting Over Current Relay pada Transformator Daya Area Lukit Di Emp Malacca Strait Sa,” *J. Tek. Elektro ITP*, vol. 5, no. 1, pp. 72–79, 2016.
- [5] T. Elektro, F. Teknik, and U. M. Yogyakarta, “ANALISIS KOORDINASI PROTEKSI PENYULANG 20 KV DAN PROTEKSI PELANGGAN KHUSUS TEGANGAN MENENGAH PADA GARDU INDUK BANTUL Ahmad Djailani 1 , Ramadoni Syahputra 1 , M. Yusvin Mustar 1.”

- [6] D. Tetap, P. Studi, T. Elektro, F. Teknik, and U. Palembang, “ANALISA SISTEM PROTEKSI RELAI SEPAM PADA FEEDER A08 DI GARDU INDUK MSS TAL PT . BUKIT ASAM (PERSERO). TBK,” pp. 54–64.
- [7] N. dan I. G. Mudiana and N. Sangka, “ANALISIS PENGARUH PEMASANGAN SISTEM PROTEKSI RELE TERHADAP PROFIL TEGANGAN DAN KEANDALAN JARINGAN I Gusti Putu Arka , Nyoman Mudiana dan I Gde Nyoman Sangka Jurusan Teknik Elektro - Politeknik Negeri Bali Abstrak : Pemasangan sistem proteksi pada sistem t,” vol. 15, no. 3, p. Aryanto, T. (2013) ‘Frekuensi Gangguan Terhadap Ki, 2015.
- [8] A. Nugoho and T. Sukmadi, “Koordinasi Over Current Relay (Ocr) Sisi Incoming 1 Dengan Ocr Sisi Outgoing Kls 03 Pada Gi Kalisari,” *Transmisi*, vol. 19, no. 3, p. 114, 2017, doi: 10.14710/transmisi.19.3.114-119.
- [9] K. J. Aryamantara, I. A. . Giriantari, and I. . Sukerayasa, “Analisis Hubung Singkat Pada Jaringan Tegangan Menengah 20 kV Penyulang Kedonganan,” *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 17, no. 2, p. 213, 2018, doi: 10.24843/mite.2018.v17i02.p08.

- [10] H. Sungkowo, "Kajian Proteksi Motor 200 Kw, 6000 V, 50 Hz Dengan Sepam 1000+ Seri M41," *J. ELTEK*, vol. 12, no. 01, pp. 1693–4024, 2014.
- [11] I. Affandi, "Analisa Setting Relai Arus Lebih Dan Relai," *Univ. Indones.*, pp. 15–37, 2009.
- [12] R. T. Ramadhan, M. Shidiq, and M. Dhofir, "Studi Koordinasi Sistem Pengaman Penyulang Trafo Iv Di Gardu Induk Waru," pp. 1–8, 2015.
- [13] L. Ali, Aksan, and A. R. Sultan, "Analisis Gangguan Hubung Singkat Pada Jaringan Distribusi 20 Kv Di Gardu Induk Daya," vol. 5, no. 1, pp. 16–22, 2019.
- [14] E. Dermawan and D. Nugroho, "Analisa Koordinasi Over Current Relay Dan Ground Fault Relay Di Sistem Proteksi Feeder Gardu Induk 20 kV Jababeka," *Elektum J. Tek. Elektro*, vol. 14, no. 2, pp. 43–48, 2017.
- [15] T. Nova, "Perhitungan Setting Rele OCR dan GFR pada Sistem Interkoneksi Diesel Generator di Perusahaan " X "," vol. 1, no. 1, pp. 76–85, 2013.

ANALISA PROTEKSI *OVER CURRENT RELAY* PADA JARINGAN TEGANGAN MENENGAH 20kV DI PELINDO 1 CABANG BELAWAN

Faisal Akbar Sitompul¹⁾, Faisal Irsan Pasaribu,S.T,M.T²⁾, Indra Roza,S.T,M.T³⁾

¹⁾Mahasiswa Program Sarjana Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah
Sumatera Utara

²³⁾Pengajar dan Pembimbing Program Sarjana Teknik Elektro, Universitas
Muhammadiyah Sumatera Utara

Email : faisalakbr1@gmail.com

ABSTRAK

Pada sebuah sistem kelistrikan seringkali terjadi gangguan yang menyebabkan pemadaman aliran listrik bahkan kerusakan pada alat-alat kelistrikan. Gangguan ini bisa terjadi di bagian mana saja misalnya jaringan distribusi listrik. Adapun skripsi ini dibuat dikarenakan pada PT. Pelindo 1 Cabang Belawan sering mengalami pemadaman dikarenakan faktor perawatan dan juga gangguan yang di sebabkan oleh orang yang tidak bertanggung jawab. Maka dari itu analisis proteksi ini diangkat untuk meminimalisir kerusakan pada peralatan - peralatan distribusi akibat gangguan hubung singkat yang terjadi. Ruang lingkup dari penulisan ini pun untuk menentukan nilai arus hubung singkat dan menentukan nilai *setting* peralatan proteksi menggunakan *over current relay* agar dapat mengetahui dan memahami arus hubung singkat serta penentuan nilai peralatan proteksi yang tepat sehingga dapat diterapkan nilai arus *setting* pada peralatan proteksi yang menjangkau relay lain agar peralatan – peralatan distribusi milik PT. Pelindo 1 Cabang Belawan dapat bekerja dengan baik. Penelitian ini dilakukan untuk menentukan lama waktu relay bekerja saat terjadi gangguan arus hubung singkat serta mengetahui koordinasi relay incoming dan outgoing dan perbandingan besar nilai arus gangguan 1 fasa dilapangan dengan hasil analisa. Dari hasil penelitian, didapat bahwa arus gangguan hubung singkat terbesar 1 fasa adalah sebesar 603, 2 A. Sedangkan untuk koordinasi *over current relay* tidak dalam kondisi baik yang dimana hasil perhitungan kecepatan waktu kerja relay di sisi *incoming* sebesar 0, 117 detik dan sisi *outgoing* BICT sebesar 0, 119 detik. Hasil perhitungan dengan data yang ada dilapangan tidak dalam kondisi yang sesuai (terdapat perbedaan), sehingga dapat di simpulkan bahwa nilai *setting over current relay* PT. Pelindo 1 dilakukan penyettingan ulang, dan setelah dilakukannya penyettingan ulang, hingga saat ini relay proteksi masih dalam keadaan baik.

Kata Kunci: Sistem Proteksi, *Over Current Relay*, Jaringan Tegangan Menengah , Koordinasi Relay.

1. Pendahuluan

Pada sebuah sistem kelistrikan seringkali terjadi gangguan yang menyebabkan pemadaman aliran listrik bahkan kerusakan pada alat-alat kelistrikan. Gangguan ini bisa terjadi di bagian mana saja misalnya jaringan distribusi listrik. Gangguan ini bisa disebabkan oleh binatang, sambaran petir bahkan *setting* dari sistem proteksi yang salah dan tentu saja hal ini akan mempengaruhi keandalan sistem penyalurannya.

Adapun skripsi ini dibuat dikarenakan pada jaringan distribusi PT. Pelindo1 Cabang Belawan sering mengalami pemadaman dikarenakan faktor perawatan dan juga gangguan yang di sebabkan oleh orang yang tidak bertanggung jawab. Maka dari itu analisis proteksi ini diangkat untuk meminimalisir kerusakan pada peralatan - peralatan distribusi akibat gangguan hubung singkat yang terjadi. Dalam hal ini bisa saja terjadi ketidak handalan suatu proteksi ataupun perbedaan nilai *setting* proteksi *Over current relay*. Sehingga saat ada perubahan nilai beban menyebabkan sistem proteksi aktif dan mendeteksi kenaikan beban yang juga menaikkan nilai arus sebagai gangguan, maka jaringan distribusi akan otomatis padam.

Over current Relay merupakan relay yang bekerja saat mengalami arus lebih. Saat terjadi arus lebih relay akan menerima sinyal dan sinyal ini akan mengaktifkan PMT (pemutus) untuk memutus arus di jaringan. *Overcurrent relay* biasanya terpasang pada jaringan transmisi sampai ke

distribusi. Seiring dengan bertambahnya jumlah beban maka nilai *setting* pada *overcurrent relay* juga perlu diperbaharui. Terkadang hal ini jarang diperhatikan karena penambahan jumlah beban yang hanya sedikit. Namun lama kelamaan beban akan menumpuk dan menyebabkan nilai *setting Overcurrent relay* sudah tidak relevan lagi. Sehingga diperlukan nilai *setting* relay yang memenuhi syarat yakni selektivitas, sensitivitas, reliabilitas dan kecepatan. [1]

Dengan *setting* relay yang tepat maka tidak akan ada relay yang bekerja secara bersamaan. Dimana apabila itu terjadi relay yang seharusnya tidak bekerja akan memadamkan jaringan yang tidak mengalami gangguan. Maka apabila koordinasi antar sistem proteksi sudah bekerja dengan baik dapat meningkatkan kehandalam jaringan transmisi dan distribusi listrik.

2. Tinjauan Pustaka

Komponen distribusi dalam jaringan distribusi listrik PLN memiliki peranan yang sangat penting, disamping itu harus bisa menyalurkan tenaga listrik ke pelanggan, sistem distribusi juga harus mampu memberikan indikasi adanya gangguan dalam jaringan, antara lain terjadinya gangguan hubung pendek (*short circuit*) baik antar fasa maupun fasa ke tanah.[2]

Besarnya arus hubung singkat bergantung pada jarak titik gangguan dari sumber, semakin jauh letak gangguan hubung singkat dari sumber, maka semakin kecil pula arus yang ditimbulkan.[3]

Untuk menghitung setting waktu relay digunakan arus hubung singkat, sedangkan untuk menghitung arus setting digunakan arus nominal/ arus beban puncak.[4]

Jika terjadi arus hubung singkat antar fasa maka yang merasakan adalah relay *OCR (Over Current Relay)*, dimana relay ini aktif jika merasakan adanya gangguan arus lebih yang melebihi dari *setting* atau batas yang ditentukan. Sedangkan jika terjadi gangguan hubung singkat fasa ke tanah maka mengaktifkan relay *GFR (Ground Fault Relay)* dan men-tripkan sistem jaringan. Waktu kerja relay antara relay sisi penyulang dan sisi *incoming* berbeda dimana waktu kerja relay sisi penyulang lebih cepat dibandingkan relay sisi *incoming* selisih antara keduanya rata-rata 0,4detik. Perbedaan waktu ini dipengaruhi oleh panjang pendeknya titik lokasi gangguan dimana semakin panjang atau jauh titik lokasi gangguan maka selisih waktu kerja relay semakin besar pula.[5]

2.2 Sistem Proteksi

Secara umum pengertian sistem proteksi ialah cara untuk mencegah atau membatasi kerusakan peralatan terhadap gangguan, sehingga kelangsungan penyaluran tenaga listrik dapat dipertahankan. Sistem proteksi penyulang tegangan menengah ialah pengamanan yang terdapat pada sel-sel tegangan menengah di Gardu Induk dan pengamanan yang terdapat pada jaringan tegangan menengah.[9]

Penyulang tegangan menengah ialah penyulang tenaga listrik yang berfungsi untuk mendistribusikan

tenaga listrik tegangan menengah (3.3 kV – 20 kV), yang terdiri dari:

1. Saluran udara tegangan menengah (SUTM)
2. Saluran kabel tegangan menengah (SKTM)

2.2.1 Tujuan sistem proteksi

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

Adapun tujuan dari sistem proteksi antara lain:

- d. Untuk menghindari atau mengurangi kerusakan akibat gangguan pada peralatan yang terganggu atau peralatan yang dilalui oleh arus gangguan.
- e. Untuk melokalisir (mengisolir) daerah gangguan menjadi sekecil mungkin.
- f. Untuk dapat memberikan pelayanan listrik dengan keandalan yang tinggi kepada konsumen. Serta memperkecil bahaya bagi manusia.

2.3 Persyaratan Sistem Proteksi

Tujuan utama sistem proteksi yaitu:

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

Persyaratan terpenting dari sistem proteksi yaitu:

A. Kepekaan Proteksi (*sensitivity*)

Pada prinsipnya relay harus cukup peka sehingga dapat mendeteksi gangguan di kawasan pengamanannya, termasuk kawasan pengamanan cadangan-jauhnya, meskipun dalam kondisi yang memberikan deviasi yang minimum. Untuk relay arus-lebih-hubung-singkat yang bertugas pula sebagai pengamanan cadangan jauh bagi seksi berikutnya, relay itu harus dapat mendeteksi arus gangguan hubung singkat dua fasa yang terjadi diujung akhir seksi berikutnya dalam kondisi pembangkitan minimum.

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

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

gangguan yang sangat kecil yang mungkin bisa hilang sendiri atau risikonya dapat diabaikan atau dapat diterima.

B. Keandalan Proteksi (*Reliability*)

Ada 3 aspek dalam keandalan sistem proteksi, yaitu:

1) *Dependability*

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

2) *Security*

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

3) *Availabilty*

Yaitu perbandingan antara waktu di mana pengamanan dalam keadaan berfungsi/siap kerja dan waktu total dalam operasinya. Dengan relay elektromekanis, jika rusak/tidak berfungsi, tidak diketahui segera. Baru diketahui dan diperbaiki atau diganti. Disamping itu, sistem proteksi yang baik juga juga dilengkapi dengan

kemampuan mendeteksi terputusnya sirkit trip, sirkit sekunder arus, dan sirkit sekunder tegangan serta hilangnya tegangan serta hilangnya tegangan searah (*DC voltage*), dan memberikan alarm sehingga bisa diperbaiki, sebelum kegagalan proteksi dalam gangguan yang sesungguhnya, benar-benar terjadi. Jadi *availability* dan keandalannya tinggi.

C. Selektifitas Proteksi (*Selectivity*)

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

Jadi relay harus dapat membedakan apakah:

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

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

Untuk itulah relay dibuat dengan bermacam-macam jenis dan karakteristiknya. Dengan pemilihan jenis dan karakteristik relay yang tepat,

spesifikasi trafo arus yang benar, serta penentuan *setting relay* yang terkoordinir dengan baik, selektifitas yang baik dapat diperoleh. Pengaman utama yang memerlukan kepekaan dan kecepatan yang tinggi, seperti pengaman transformator tenaga, generator, dan busbar pada sistem Tegangan Ekstra Tinggi (TET) dibuat berdasarkan prinsip kerja yang mempunyai kawasan pengamanan yang batasnya sangat jelas dan pasti, dan tidak sensitif terhadap gangguan diluar kawasannya, sehingga sangat selektif, tapi tidak bisa memberikan pengamanan cadangan bagi seksi berikutnya. Contohnya pengaman differensial.

D. Kecepatan Proteksi (*speed*)

Untuk memperkecil kerugian/kerusakan akibat gangguan, maka bagian yang terganggu harus dipisahkan secepat mungkin dari bagian sistem lainnya. Waktu total pembebasan sistem dari gangguan adalah waktu sejak munculnya gangguan, sampai bagian yang terganggu benar-benar terpisah dari bagian sistem lainnya.

Kecepatan itu penting untuk:

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

Untuk menciptakan selektifitas yang baik, mungkin saja suatu pengaman terpaksa diberi waktu tunda (td) namun waktu tunda tersebut harus sesingkat mungkin (seperlunya saja) dengan memperhitungkan resikonya. [10]

2.4 Gangguan Arus Hubung Singkat

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

1. Gangguan hubung singkat 3 fasa
2. Gangguan hubung singkat 2 fasa, dan
3. Gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah

Dari ketiga macam gangguan hubung singkat di atas, arus gangguannya dihitung dengan menggunakan rumus umum (hukum *ohm*) yaitu:

$$I = \frac{V}{Z} \quad (2.1)$$

Dimana:

I = Arus yang mengalir pada hambatan Z (A)

V = Tegangan sumber (V)

Z = Impedansi jaringan, nilai ekivalen dari seluruh impedansi di dalam jaringan dari sumber tegangan sampai titik gangguan (Ω)

Yang membedakan antara gangguan hubung singkat 3 fasa, 2 fasa dan 1 fasa ke tanah adalah impedansi yang terbentuk sesuai dengan macam gangguan itu sendiri dan tegangan yang memasok arus ke titik gangguan, impedansi yang terbentuk dapat ditunjukkan seperti berikut :

Z untuk gangguan tiga fasa, $Z = Z_1$

Z untuk gangguan dua fasa, $Z = Z_1 + Z_2$

Z untuk gangguan satu fasa, $Z = Z_1 + Z_2 + Z_0$

Dimana:

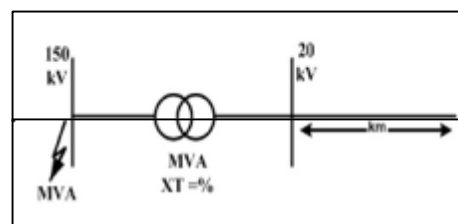
Z_1 = Impedansi urutan positif (Ω)

Z_2 = Impedansi urutan negatif (Ω)

Z_0 = Impedansi urutan nol (Ω) [11]

A. Impedansi Sumber

Untuk menghitung arus hubung singkat pada sistem diatas, pertama – tama hitung impedansi sumber (reaktansi) dalam hal ini diambil dari data hubung singkat pada bus 150kV, kedua menghitung reaktansi trafo tenaga, ketiga menghitung impedansi penyulang.



Gambar 2.6 single diagram gardu induk impedansi sumber

Untuk menghitung impedansi sumber maka data yang diperlukan adalah data hubung singkat pada bus *primer* trafo.

$$X_s = \frac{kV^2}{MVA} \quad (2.2)$$

Dimana:

X_s = Impedansi sumber (Ω)

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

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

Perlu diingat bahwa impedansi sumber ini adalah nilai ohm pada sisi 150 kV, karena arus gagguan hubung singkat yang akan dihitung adalah gangguan hubung singkat di sisi 20 kV, maka

impedansi sumber tersebut harus dikonversikan dulu ke sisi 20 kV, sehingga pada perhitungan arus gangguan nanti sudah menggunakan sumber 20 kV. Untuk mengkonversikan impedansi yang terletak di sisi 150 kV, dilakukan dengan cara sebagai berikut:

$$X_s(\text{sisi } 20 \text{ kV}) = \frac{20^2}{150^2} \times X_s(\text{sisi } 150 \text{ kV}) \quad (2.3)$$

B. Impedansi transformator

$$X_t(\text{pada } 100\%) = \frac{kV^2}{MVA} \quad (2.4)$$

Dimana:

X_t = Impedansi trafo tenaga (Ω)

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

MVA = Kapasitas daya trafo tenaga (MVA)

3) Nilai reaktansi trafo tenaga :

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

$$X_t = \% \text{ yang diketahui} \times X_t(\text{pada } 100\%) \quad (2.5)$$

4) Reaktansi urutan nol (X_{t0})

Reaktansi urutan nol ini didapat dengan memperhatikan data trafo tenaga itu sendiri yaitu dengan melihat kapasitas belitan delta yang ada dalam trafo itu:

a) Untuk trafo tenaga dengan hubungan belitan Δ/Y dimana kapasitas belitan delta sama besar dengan kapasitas belitan

Y, maka $X_{t0} = X_{t1}$.

b) Untuk trafo tenaga dengan belitan Yd dimana kapasitas belitan delta (d) biasanya sepertiga dari kapasitas belitan Y (belitan yang dipakai untuk menyalurkan daya, sedangkan belitan delta tetap ada di dalam tetapi tidak dikeluarkan kecuali satu terminal delta untuk ditanahkan), maka nilai $X_{t0} = 3X_{t1}$,

c) Untuk trafo tenaga dengan hubungan YY dan tidak mempunyai belitan delta di dalamnya, maka besarnya X_{t0} berkisar antara 9 s/d 14 X_{t1} .

C. Impedansi Penyulang

Menghitung impedansi penyulang, impedansi penyulang ini dihitung tergantung dari besarnya impedansi per meter penyulang yang bersangkutan, dimana besar nilainya ditentukan dari konfigurasi tiang yang digunakan untuk jaringan SUTM atau dari jenis kabel tanah untuk jaringan SKTM. Dalam perhitungan disini diambil besarnya nilai impedansi suatu penyulang

$$Z = (R + jX) \Omega/\text{km} \quad (2.6)$$

D. Impedansi Ekuivalen Jaringan

Perhitungan yang akan dilakukan disini adalah perhitungan besarnya nilai impedansi positif ($Z_{1 \text{ eq}}$), negative ($Z_{2 \text{ eq}}$), dan nol ($Z_{0 \text{ eq}}$) dari titik gangguan sampai ke sumber, sesuai dengan urutan di atas.

Karena dari sumber ke titik gangguan impedansi yang terbentuk adalah tersambung seri, maka perhitungan $Z_{1\text{ eq}}$ dan $Z_{2\text{ eq}}$ dapat langsung menjumlahkan impedansi-impedansi tersebut. Sedangkan untuk perhitungan $Z_{0\text{ eq}}$ dimulai dari titik gangguan sampai ke trafo tenaga yang netralnya ditanahkan. Untuk menghitung $Z_{0\text{ eq}}$ ini, diumpamakan trafo tenaga yang terpasang mempunyai hubungan Y_{d0} , dimana mempunyai nilai $X_{t0} = 3X_{t1}$.

Perhitungan $Z_{1\text{ eq}}$ dan $Z_{2\text{ eq}}$:

$$Z_{1\text{ eq}} = Z_{2\text{ eq}} = Z_{s1} + Z_{t1} + Z_1 \text{ penyulang}$$

(2.7)

Dimana:

$Z_{1\text{ eq}}$ = Impedansi ekivalen jaringan urutan positif (Ω)

$Z_{2\text{ eq}}$ = Impedansi ekivalen jaringan urutan negatif (Ω)

Z_{s1} = Impedansi sumber sisi 20kV (Ω)

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

Z_1 = Impedansi urutan positif dan negatif (Ω)

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

$$Z_{0\text{ eq}} = Z_{t0} + 3RN + Z_0 \text{ penyulang} \quad (2.8)$$

Dimana:

$Z_{0\text{ eq}}$ = Impedansi ekivalen jaringan nol (Ω)

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

RN = Tahanan tanah trafo tenaga (Ω)

Z_0 = Impedansi urutan nol (Ω) [12]

2.4.1 Gangguan hubung singkat tiga fasa

Kemungkinan terjadinya gangguan 3 fasa adalah putusnya salah satu kawat fasa yang letaknya paling atas pada transmisi atau distribusi, dengan konfigurasi kawat antar fasanya disusun secara *vertikal*. Kemungkinan terjadinya memang sangat kecil, tetapi dalam analisisnya tetap harus diperhitungkan.

Kemungkinan lain adalah akibat pohon yang cukup tinggi dan berayun sewaktu angin kencang, kemudian menyentuh ketiga kawat pada transmisi atau distribusi.

Gangguan hubung singkat 3 fasa dapat dihitung dengan menggunakan rumus hukum ohm, sehingga arus gangguan hubung singkat tiga fasa dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$I_{3\text{ fasa}} = \frac{V_{ph}}{Z_{1\text{ eq}}} \quad (2.9)$$

Dimana:

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

V_{ph} = Tegangan fasa - netral sistem

$$20\text{kV} = \frac{20.000}{\sqrt{3}} \text{ (V)}$$

$Z_{1\text{ eq}}$ = Impedansi ekivalen urutan positif (Ω)

2.4.2 Gangguan hubung singkat 2 fasa

Kemungkinan terjadinya gangguan 2 fasa disebabkan oleh putusnya kawat fasa tengah pada transmisi atau distribusi. Kemungkinan lainnya adalah dari rusaknya isolator di transmisi atau distribusi sekaligus 2 fasa. Gangguan seperti ini biasanya mengakibatkan 2 fasa ke tanah.

Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa juga dihitung untuk lokasi gangguan yang diasumsikan terjadi pada panjang penyulang dianggap nilai $Z_{1eq}=Z_{2eq}$, sehingga rumus persamaan arus gangguan hubung singkat 2 fasa di atas dapat di sederhanakan menjadi:

$$I_{2fasa} = \frac{V_{ph-ph}}{2xZ_{1eq}} \quad (2.10)$$

Dimana:

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

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

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

2.4.3 Gangguan hubung singkat 1 fasa

Kemungkinan terjadinya gangguan satu fasa ke tanah adalah *back flashover* antara tiang ke salah satu kawat transmisi dan distribusi. Sesaat setelah tiang tersambar petir yang besar walaupun tahanan kaki tiangnya cukup rendah namun bisa juga gangguan fasa ke tanah ini terjadi sewaktu salah satu kawat fasa transmisi/distribusi tersentuh pohon yang cukup tinggi dll.

Rumus dasar yang digunakan untuk menghitung besarnya arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah juga dengan rumus hukum ohm, sehingga arus hubung singkat satu fasa ke tanah dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$I_{1fasa} = \frac{3xV_{ph}}{2xZ_{1eq} + Z_{0eq}} \quad (2.11)$$

Dimana:

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

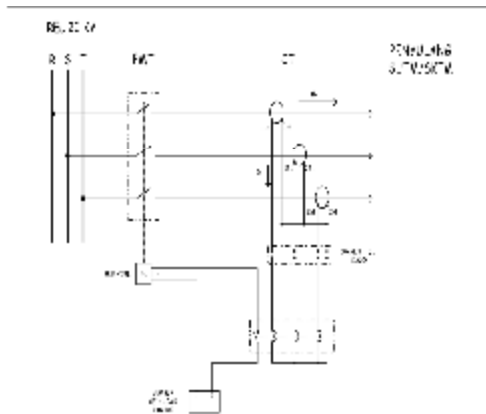
V_{ph} = Tegangan fasa - netral sistem
 $20kV = \frac{20.000}{\sqrt{3}}$ (V)

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

Z_{0eq} = Impedansi urutan nol (Ω) [13]

2.5 Relay Arus Lebih (Over Current Relay)

Relay Arus Lebih (*OCR*) bekerjanya berdasarkan adanya kenaikan arus yang melebihi suatu nilai pengaman tertentu dalam jangka waktu tertentu, sehingga relay ini dapat dipakai sebagai pola pengaman arus lebih. Prinsip kerja relay arus lebih yang bekerjanya berdasarkan besaran arus lebih akibat adanya gangguan hubung singkat dan memberikan perintah trip ke PMT sesuai dengan karakteristik waktunya sehingga kerusakan alat akibat gangguan dapat dihindari.



Gambar 7.2 Rangkaian pengawatan relay arus lebih (OCR) [14]

Cara kerjanya dapat diuraikan sebagai berikut:

- a. Pada kondisi normal arus beban (I_b) mengalir pada SUTM / SKTM dan oleh trafo arus besaran arus ini di transformasikan ke besaran sekunder (I_r). Arus (I_r) mengalir pada kumparan relay tetapi karena arus ini masih lebih kecil dari pada suatu harga yang ditetapkan (*setting*), maka relay tidak bekerja.
- b. Bila terjadi gangguan hubung singkat, arus (I_b) akan naik dan menyebabkan arus (I_r) naik pula, apabila arus (I_r) naik melebihi suatu harga yang telah ditetapkan (diatas *setting*), maka relay akan bekerja dan memberikan perintah trip pada *tripping coil* untuk bekerja dan membuka PMT, sehingga SUTM / SKTM yang terganggu dipisahkan dari jaringan.

Adapun bentuk fisik dari *Over Current relay* dan *Ground Fault Relay* yang digunakan adalah sebagai berikut:



Gambar 2.8 Over Curret Relay dan Ground Fault Relay tipe sepam



Gambar 2.9 Over Curret Relay dan Ground Fault Relay tipe micom P123

2.5.1 Macam-Macam Karakteristik Relay

Arus Lebih (Over Current Relay/OCR) karateristiknya sebagai berikut:

- a. Relay waktu seketika (*Instantaneous relay*)

Relay tersebut bekerja seketika (tanpa waktu tunda), ketika arus yang mengalir melebihi nilai settingnya, relay akan bekerja dalam waktu beberapa mili detik (10 – 20 ms). Relay ini jarang berdiri sendiri tetapi umumnya dikombinasikan dengan relay arus lebih dengan karakteristik yang lain.

b. Relay dengan waktu tertentu (*Definite time relay*)

Relay ini akan memberikan perintah pada PMT (pemutus tenaga) pada saat terjadi gangguan hubung singkat dan besarnya arus gangguan melampaui settingnya (Iset), dan jangka waktu kerja relay mulai pick up sampai kerja relay diperpanjang dengan waktu tertentu tidak tergantung besarnya arus yang mengerjakan relay.

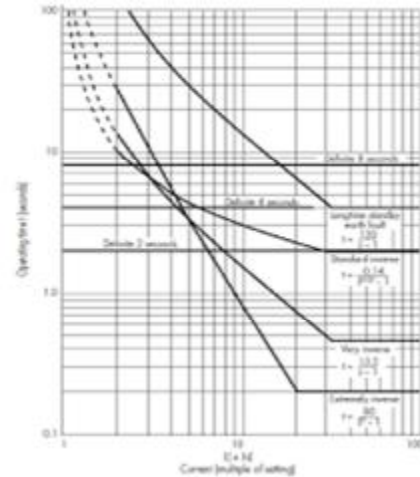
c. Relay arus lebih waktu terbalik (*Inverse time*)

Relay ini akan bekerja dengan waktutunda yang tergantung dari besarnya arus secara terbalik, makin besar arus makin kecil waktu tundanya. Karakteristik ini bermacam-macam, setiap pabrik dapat membuat karakteristik yang berbeda-beda. Karakteristik waktunya dibedakan dalam empat kelompok yaitu:

1. Standard Inverse adalah jenis relai arus lebih yang sangat baik untuk dikoordinasikan karena selain memiliki tunda waktu yang statis dan juga memiliki setelan kurva arus dan waktu sehingga relai arus lebih jenis ini dapat memberikan tunda waktu tergantung dari arus yang terukur. Makin besar arus, maka semakin kecil waktu tundanya.
2. *Very Invers* yaitu rele arus lebih dengan penundaan waktu sangat terbalik.

3. *Extremely Invers* yaitu rele arus lebih dengan penundaan waktu amat sangat terbalik.

4. *Long Time Inverse*. [15]



Gambar 2.10 Karakteristik Relay

2.5.2 Koordinasi Relay Arus Lebih (*Over Current Relay*)

Hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat, pada tahap selanjutnya dipergunakan untuk menentukan nilai setelan arus lebih, terutama nilai setelan *Tms* (*Time Multiple Setting*) dari *OCR* dari jenis *inverse*. Di samping itu setelah nilai setelan relay didapatkan, nilai-nilai arus gangguan hubung singkat pada setiap lokasi gangguan yang diasumsikan dipakai untuk memeriksa kerja *OCR*, apakah masih dapat dinilai selektif atau nilai setelan harus diubah ke nilai lain yang memberikan kerja relay yang lebih selektif atau didapatkan kerja selektifitas yang optimum (relay bekerja tidak terlalu lama tetapi menghasilkan selektifitas yang baik). Sedangkan untuk setelan relay arus beban lebih dihitung di *incoming* trafo, artinya:

1. Untuk relay arus beban lebih yang terpasang dipenyulang dihitung berdasarkan arus beban maksimum yang mengalir dipenyulang tersebut. Minimum dari relay arus lebih (terutama di penyulang) tidak lebih kecil dari 0.3 detik. Pertimbangan ini diambil agar relay tidak sampai trip lagi akibat arus *inrush* dari trafo – trafo distribusi ketika penyulang PMT penyulang tersebut dimasukkan.
2. Untuk *OCR* yang terpasang di *incoming* trafo dihitung berdasarkan arus nominal trafo tersebut. Relay *inverse* diset sebesar 1.05 – 1.1 x I beban, *definit* diset sebesar 1.2 – 1.3 x I beban. Persyaratan lain yang harus dipenuhi adalah bahwa penyetelan waktu minimum dari relay arus lebih (terutama dipenyulang) tidak lebih kecil dari 0.3 detik. Pertimbangan ini diambil agar relay tidak sampai trip lagi akibat arus *inrush* dari trafo.

2.5.3 Setelan OCR

Penyetelan relay *OCR* pada sisi primer dan sisi sekunder transformator tenaga terlebih dahulu harus dihitung arus nominal *transformator* tenaga. Arus setting untuk relay *OCR* baik pada sisi primer maupun pada sisi sekunder *transformator* tenaga adalah:
 $I_{set (prim)} = 1.05 \times I_{nominal \text{ trafo}}$

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

maupun sisi sekunder *transformator* tenaga.

$$I_{set (sek)} = I_{set (pri)} \times \frac{1}{Ratio \ CT} \quad (2.12)$$

A. Setelan Waktu/Time Multiple Setting (*Tms*)

$$t = \frac{0,14 \times tms}{\left(\frac{I_f}{I_s}\right)^{0,02} - 1} \quad (2.13)$$

$$TMS = \frac{t \times \left(\frac{I_f}{I_s}\right)^{0,02} - 1}{0,14} \quad (2.14)$$

Nilai Setelan *incoming* 20 KV trafo tenaga Arus nominal trafo pada sisi 20kV:

$$I_n (\text{sisi } 20kV) = \frac{kVA}{kV \times \sqrt{3}} \quad (2.15)$$

$$I_{set (primer)} = 1.05 \times I_{beban}$$

$$I_{sekunder} = I_{set (primer)} \times \frac{1}{Ratio \ CT} \quad (2.16)$$

Besarnya berbeda waktu ini dipengaruhi oleh beberapa hal, yaitu:

Kesalahan relay penyulang : 0.2–0.3 detik

Waktu pembukaan PMT sampai hilangnya bunga api : 0.1 detik

Over Shoot : 0.05 detik

Faktor keamanan : 0.05 detik

Selisih waktu kerja relay di *incoming* 20 kV (sisi hulu) lebih lama 0.4 detik dari waktu kerja relay di penyulang (sisi hilir) di sebut *grading time*, yang maksudnya agar

relay di *incoming* 20 kV memberikan kesempatan relay di penyulang bekerja lebih dahulu.

Untuk itu, nilai *Tms* yang akan disetkan pada relay arus lebih di *incoming* 20kV dihitung dengan menggunakan rumus yang sama:

$$TMS = \frac{t \times \left(\frac{I_f}{I_s}\right)^{0,02} - 1}{0,14} \quad (2.17)$$

Dimana t = waktu set *OCR* penyulang + waktu koordinasi

Nilai setelan *Tms* yang didapat masih harus diuji lagi dengan arus gangguan yang lain seperti arus gangguan hubung singkat untuk lokasi gangguan 3 fasa yang terjadi di lokasi panjang penyulang. Demikian juga untuk jenis gangguan hubung singkat 2 fasa yang besar arus gangguannya juga sudah dihitung.

Dengan cara yang sama dihitung nilai *Tms* pada *GFR* yang tentunya berdasarkan hasil perhitungan arus gangguan satu fasa ke tanah, sehingga dengan demikian lengkap sudah setelan relay yang diperlukan di dalam sistem penyaluran distribusi yang dipasok dari trafo tenaga gardu induk. Untuk penyulang lain dapat diulangi perhitungan seperti yang sudah dilakukan tetapi data yang dimasukkan bedanya hanya pada data penyulang, baik nilai impedansi per km nya atau panjangnya.

2.5.4 Selektifitas Kerja *OCR*

Hasil perhitungan setelan *OCR* yang didapat pada bab IV masih harus diperiksa apakah untuk nilai arus gangguan hubung singkat yang lain, waktu kerja *OCR* yang terpasang di penyulang dan yang terpasang di *incoming* trafo tenaga 20kV sudah bekerja selektif, tetapi masih harus diperiksa apakah memberikan beda waktu kerja (*grading time*) yang terlalu lama.

Untuk *Grading Time* yang terlalu lama, bila terjadi kegagalan kerja *OCR* di penyulang, maka *OCR* di *incoming* 20kV dalam hal ini bekerja sebagai pengaman cadangan menjadi terlalu lama mengetrikan PMTnya sehingga bisa merusak trafo.

Pemeriksaan ini dilakukan terutama pada *OCR* jenis *standart inverse*, karena setelan waktu *Tms* pada *OCR* jenis *inverse* bukan menunjukkan lamanya waktu kerja relay tersebut. Lamanya waktu kerja relay ini ditentukan oleh besarnya arus gangguan yang mengalir di relay. Makin besar arus gangguan yang mengalir di relay, makin cepat kerja relay tersebut menutup kontaknya yang kemudian mentrikan PMT.

2.6 Gangguan Hubung Singkat Tanah (Ground Fault Relay)

Gangguan satu fasa ke tanah sangat tergantung dari jenis pentanahan dan sistemnya. Gangguan satu fasa ke tanah umumnya bukan merupakan hubung singkat melalui tahanan gangguan, sehingga arus gangguannya menjadi semakin kecil

dan tidak bisa terdeteksi oleh *OCR*. Dengan demikian diperlukan relay pengaman gangguan tanah.

2.6.1 Penyetelan *GFR* pada Sistem Tanpa Pentanahan.

Pada sistem ini arus gangguan satu fasa ke tanah relatif kecil namun terjadi pergeseran tegangan bila sistemnya menggunakan relay tegangan urutan nol. Maka relay ini tidak boleh bekerja bila terjadi pergeseran tegangan pada keadaan normal.

$$V_0 = 30\% \times V$$

V_0 = Penyetelan relay tegangan urutan nol

V = Tegangan nol

2.6.2 Penyetelan *GFR* pada Sistem Pentanahan Langsung

Penyetelan relay gangguan tanah pada sistem ini adalah:

$$I_{set} = k_s \times I_{vb} \quad (2.18)$$

I_{set} = Penyetelan arus gangguan tanah

I_{vb} = Arus tidak seimbang yang mungkin terjadi

k_s = Faktor keamanan, digunakan 1.2 – 1.5.

2.6.3 Penyetelan *GFR* pada Sistem Pentanahan Melalui Tahanan Rendah

3. *Ground Fault Relay (GFR)* pada SUTM

$$I_{set} = 10\% \times I_o \quad (2.19)$$

I_{set} = Penyetelan arus relay

I_o = Arus gangguan terkecil (ujung penyulang)

4. *Ground Fault Relay (GFR)* pada SKTM

$$I_{set} = k_s \times I_{sCE}$$

I_{set} = Penyetelan arus

I_{sCE} = Arus kapasitif saluran yang terpanjang operasinya

k_s = Faktor keamanan digunakan 1.2 – 1.5.

2.6.4 Penyetelan *GFR* pada Sistem Pentanahan Melalui Tahanan Tinggi

Pada sistem ini arus gangguan satu fasa ke tanah besarnya hanya 23A dan tidak jauh dengan kapasistansi ketanah. Artinya arus kapasistansi ke tanah tidak dapat diabaikan terhadap arus resistif.

Adapun relay yang digunakan adalah relay gangguan tanah berarah. Relay ini sangat sensitif dengan karakteristik waktu tertentu. Relay ini mendapat suplai dari arus urutan nol tegangan urutan nol. Setelan minimum relay gangguan ini adalah 1A.

Jika $I_{s\text{minimum}}$ masih bisa menyebabkan relay bekerja adalah $1.25 \times I_{set}$. Maka tahanan gangguan R_f maksimum yang masih menyebabkan relay bekerja sekitar 8500 *ohm*. Jadi akibat sentuhan ranting pohon atau kawat putus menyentuh tanah diharapkan relay bekerja.

3. Metodologi Penelitian

3.1 Tempat dan lokasi penelitian

Kegiatan penelitian ini bertempat di PT. Pelindo1 Cabang Belawan, jalan Kapten R. Surlian No.1 Belawan Sumatera Utara 20411.

3.2 Jadwal Penelitian

Adapun jadwal penelitian dilakukan pada PT. Pelindo1 Cabang Belawan dimulai dari penulisan skripsi ini sampai dengan selesai dikarenakan penulis yang termasuk saya sendiri bekerja di perusahaan tersebut.

3.3 Data Penelitian

Data penelitian yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari PT. Pelindo1 Cabang Belawan, yaitu:

a. Data Kabel Penghantar

Table 3.5 Data kabel penghantar

ITEM	URAIAN	SATUAN
TIPE	N2XSEBY	-
LUAS PENAMPANG	3 x 240	mm ²
IMPEDANSI	0,0980	Ohm/km

b. Data sisi incoming

Table 3.6 Data sistem proteksi pada sisi

Data	OCR	GFR
Merk/Tipe	Micom/P1 23	Micom/P1 23
I setting	0.85 In	0.15 Ien

Karakteristik	Definite	Standart Inverse
Tms	90 ms	0.8
Ratio CT	200/5	200/5

c. Data sisi Outgoing

Table 3.7 Data sistem proteksi pada sisi outgoing

Data	OCR	GFR
Merk/Tipe	Micom/P1 23	Micom/P1 23
I setting	0.7 In	0.125 Ien
Karakteristik	Definite	Definite
Tms	50 ms	80 ms
Ratio CT	200/5	200/5

d. Data arus gangguan

Table 3.8 Data arus gangguan

Posisi	Tanggal	Arus Gangguan	Keterangan
Outgoing	11/01/2020	I _{L1,L3} = 304.5 A	OCR
Outgoing	10/01/2020	I _{L2} = 54.25 A	GFR

3.4 Metode Penelitian

Adapun data – data yang diperlukan dalam proses pembuatan skripsi ini diperoleh dari:

1. Observasi

Pengambilan data yang sesuai dengan lokasi penelitian untuk selanjutnya di analisis.

2. Wawancara

Metode ini dilakukan dengan cara menanyakan hal – hal yang sekiranya belum penulis ketahui kepada pembimbing dilapngan, rekan kerja sesuai dengan materi yang dianalisa.

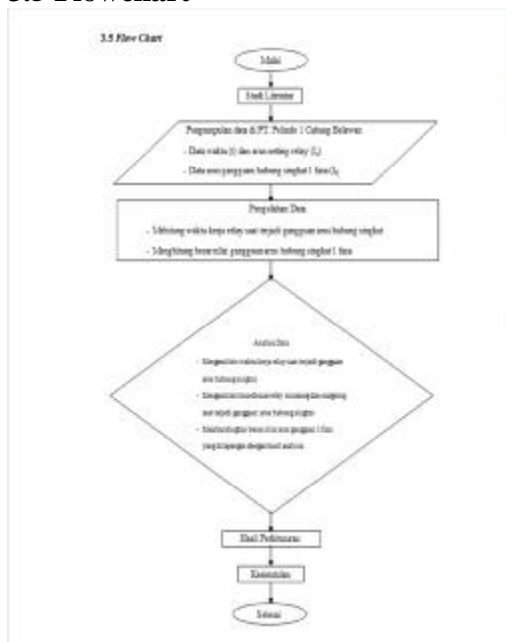
3. Studi Pustaka

Metode ini dilakukan dengan membaca buku – buku dan jurnal sesuai dengan penelitian yang dilakukan atau materi yang dianalisa.

4. Bimbingan

Metode ini dilakukan dengan cara meminta bimbingan untuk hal yang berkaitan dengan materi.

3.5 Flowchart



4. Analisa dan Hasil Pengujian

4.1 Perhitungan Waktu Kerja Relay

Fungsi perhitungan waktu kerja relay proteksi adalah untuk mengetahui bahwa peralatan proteksi bisa berkoordinasi dengan baik yang satu dengan yang lainnya.

Rumus untuk melakukan perhitungan waktu *trip* relay proteksi tergantung dari kurva yang digunakan, antara lain:

e) *Normaly Invers*

Waktu trip relay proteksi menggunakan kurva *Normaly Invers* adalah:

$$t = \frac{0,14}{I_{hs}^{0,02-1}} \cdot t_{ms}$$

f) *Very Invers*

Waktu trip relay proteksi menggunakan kurva *Very Invers* adalah:

$$t = \frac{13,5}{I_{hs}-1} \cdot t_{ms}$$

g) *Extremely Invers*

Waktu trip relay proteksi menggunakan kurva *Extremely Invers* adalah:

$$t = \frac{80}{I_{hs}^2-1} \cdot t_{ms}$$

h) *Long Time Invers*

Waktu trip relay proteksi menggunakan kurva *Long Time Invers* adalah:

$$t = \frac{120}{I_{hs}-1} \cdot t_{ms}$$

Dimana:

t = waktu trip relay (detik)

I_{hs} = Nilai arus gangguan hubung singkat (*ampere*)

T_{ms} = *time multiple setting* pada peralatan proteksi

Perhitungan inipun dihitung menggunakan data arus gangguan dan nilai T_{ms} yang diperoleh dari perusahaan.

e. Data sisi incoming

Tabel 4.1 Data proteksi pada sisi incoming

Data	OCR	GFR
Merk/Tipe	Micom/P1 23	Micom/P1 23
I setting	0.85 In	0.15 Ien
Karakteristik	Definite	Standart Inverse
Tms	90 ms	0.8 ms
Ratio CT	200/5	200/5

2. Data sisi Outgoing

Tabel 4.2 Data proteksi pada sisi incoming

Data	OCR	GFR
Merk/Tipe	Micom/P1 23	Micom/P1 23
I setting	0.7 In	0.125 Ien
Karakteristik	Definite	Definite
Tms	50 ms	80 ms
Ratio CT	200/5	200/5

3. Data arus gangguan

Tabel 4.3 Data arus gangguan

Posisi	Tanggal	Arus Gangguan	Keterangan
Outgoing	11/01/2020	$I_{L1,L3} = 304.5 \text{ A}$	OCR
Outgoing	10/01/2020	$I_{L2} = 54.2 \text{ A}$	GFR

Untuk menghitung waktu trip relay, kita harus menghitung arus *setting* dan *Time Multiple Setting (TMS)* terlebih dahulu, yaitu:

b. Menghitung arus setting

1. Arus setting OCR pada sisi incoming

$$\begin{aligned}
 I_{\text{beban}} &= 0,85 \times I_n = 85 \text{ A} \\
 I_{\text{set (primer)}} &= 1,05 \times I_{\text{beban}} \\
 &= 1,05 \times 85 \\
 &= 89,25 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{\text{set (sekunder)}} &= I_{\text{set (primer)}} \times \frac{1}{\text{Ratio CT}} \\
 &= 89,25 \times \frac{1}{200} \\
 &= 0,44 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{TMS} &= \frac{t \times \left(\frac{I_f}{I_s}\right)^{0,02} - 1}{0,14} \\
 &= \frac{0,09 \times \left(\frac{304,5}{89,25}\right)^{0,02} - 1}{0,14} \\
 &= 0,0159 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

2. Arus setting GFR pada sisi incoming

Setelan arus gangguan tanah pada incoming harus lebih sensitive, hal ini berfungsi sebagai cadangan bagi relay di penyulang di buat 8% × arus gangguan tanah terkecil.

$$\begin{aligned}
 I_{\text{set (primer)}} &= 0,08 \times 54,2 \\
 &= 4,336 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{\text{set (sekunder)}} &= I_{\text{set (primer)}} \times \frac{1}{\text{Ratio CT}} \\
 &= 4,336 \times \frac{1}{200} \\
 &= 0,021 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{TMS} &= \frac{t \times \left(\frac{I_f}{I_s}\right)^{0,02} - 1}{0,14} \\
 &= \frac{0,0008 \times \left(\frac{54,2}{4,33}\right)^{0,02} - 1}{0,14} \\
 &= 0,00029 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

3. Arus setting OCR pada sisi outgoing

$$I_{\text{beban}} = 0,7 \times I_n = 35 \text{ A}$$

$$\begin{aligned} I_{\text{set (primer)}} &= 1,05 \times I_{\text{beban}} \\ &= 1,05 \times 35 \\ &= 36,75 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{\text{set (sekunder)}} &= I_{\text{set (primer)}} \times \frac{1}{\text{Ratio CT}} \\ &= 36,75 \times \frac{1}{200} \\ &= 0,18 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{TMS} &= \frac{t \times \left(\frac{I_f}{I_s}\right)^{0,02} - 1}{0,14} \\ &= \frac{0,05 \times \left(\frac{304,5}{36,75}\right)^{0,02} - 1}{0,14} \\ &= 0,0154 \text{ detik} \end{aligned}$$

4. Arus setting GFR pada sisi outgoing

Setelan arus gangguan tanah di penyulang diset 10% × arus gangguan tanah terkecil. Hal ini dilakukan untuk menampung tahanan busur.

$$\begin{aligned} I_{\text{set (primer)}} &= 0,1 \times 54,2 \\ &= 5,42 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{\text{set (sekunder)}} &= I_{\text{set (primer)}} \times \frac{1}{\text{Ratio CT}} \\ &= 5,42 \times \frac{1}{200} \\ &= 0,027 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{TMS} &= \frac{t \times \left(\frac{I_f}{I_s}\right)^{0,02} - 1}{0,14} \\ &= \frac{0,08 \times \left(\frac{54,2}{5,42}\right)^{0,02} - 1}{0,14} \\ &= 0,027 \text{ detik} \end{aligned}$$

5. Waktu kerja relay OCR 1 fasa pada sisi incoming

$$\begin{aligned} t &= \frac{0,14}{I_{hs3ph}^{0,02} - 1} \cdot t_{ms} \\ &= \frac{0,14}{304,5^{0,02} - 1} \cdot 0,0159 \\ &= 0,108 \text{ detik} \end{aligned}$$

6. Waktu kerja relay GFR 1 fasa pada sisi incoming

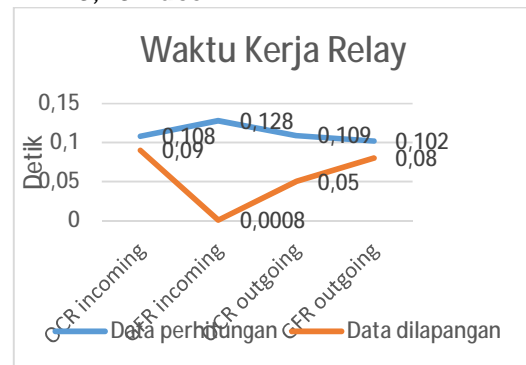
$$\begin{aligned} t &= \frac{0,14}{I_{hs3ph}^{0,02} - 1} \cdot t_{ms} \\ &= \frac{0,14}{54,2^{0,02} - 1} \cdot 0,0029 \\ &= 0,128 \text{ detik} \end{aligned}$$

7. Waktu kerja relay OCR 1 fasa pada sisi outgoing

$$\begin{aligned} t &= \frac{0,14}{I_{hs3ph}^{0,02} - 1} \cdot t_{ms} \\ &= \frac{0,14}{304,5^{0,02} - 1} \cdot 0,0154 \\ &= 0,109 \text{ detik} \end{aligned}$$

8. Waktu kerja relay GFR 1 fasa pada sisi outgoing

$$\begin{aligned} t &= \frac{0,14}{I_{hs3ph}^{0,02} - 1} \cdot t_{ms} \\ &= \frac{0,14}{54,2^{0,02} - 1} \cdot 0,027 \\ &= 0,102 \text{ detik} \end{aligned}$$



Grafik 4.1 Perbandingan waktu kerja relay

4.2 Koordinasi setting OCR antara Incoming dan Outgoing

Koordinasi pengaman merupakan kinerja dua buah pengaman atau lebih pada jaringan listrik yang saling mendukung atau melengkapi dalam melakukan proses tugasnya. Relay arus lebih ini harus di koordinasikan untuk memastikan bahwa peralatan yang berada di titik terdekat dengan gangguan harus dioperasikan terlebih dahulu.

4.2.2 Analisis

Dari perhitungan diatas didapat bahwa koordinasi antara relay *incoming* dan *outgoing* masih belum bekerja dengan baik, karena waktu kerja relay melebihi batas *setting* waktu kerja relay di lapangan. Hal ini akan menyebabkan relay *outgoing* tidak akan bekerja jika arus gangguan terjadi pada sisi *outgoing*. Sehingga relay pada sisi *incoming* yang akan bekerja untuk memerintahkan PMT untuk memutus aliran listrik kearah penyulang, agar peralatan pendistribusian tidak rusak. Dari data yang didapat, penulis harus melakukan penyettingan ulang pada relay proteksi. Ini bertujuan untuk memberi kesempatan pada relay sisi *outgoing* untuk bekerja terlebih dahulu sebagai pengaman utama. Apabila terjadi gangguan hubung singkat di sisi *outgoing* dan relaynya tidak bekerja, maka relay pada sisi *incoming* akan bekerja sebagai pengaman cadangan (*back-up protection*).

4.3 Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat

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

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

Perhitungan arus gangguan hubung singkat ini bertujuan untuk analisa arus terbesar yang terjadi pada jaringan penyulang bila terjadi hubung singkat. Sebelum menghitung arus hubung singkat, pertama – tama di hitung impedansi sumber hingga ke

penyulang untuk memenuhi rumus arus gangguan tersebut.

4.3.1 Menghitung Impedansi Sumber

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

$$X_s = \frac{\text{kV sisi primer trafo}^2}{\text{MVA hubung singkat di bus primer}} = \frac{150^2}{2,962} = 7,59 \text{ Ohm}$$

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

$$X_s = \frac{\text{kV sisi sekunder trafo}^2}{\text{kV sisi primer trafo}^2} \times X_s (\text{sisi primer}) = \frac{20^2}{150^2} \times 2,962 = 0,134 \text{ Ohm}$$

4.3.2 Menghitung Reaktansi Trafo

Besarnya reaktansi trafo tenaga satu di Gardu Induk PLN Medan Labuhan adalah 12,50 %, agar dapat mengetahui besarnya nilai reaktansi urutan positif, negatif dan reaktansi urutan nol dalam ohm, maka perlu dihitung dulu besar nilai ohm pada 100 % nya.

Besarnya nilai ohm pada 100 % yaitu:

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

Nilai reaktansi trafo tenaga:

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

$$X_t = 12.50\% \times 6,667 = 0,833 \text{ Ohm}$$

d. Reaktansi urutan nol (X_{t0})

Karena trafo daya yang mensuplai penyulang PLN mempunyai hubungan Y_{nyn0} yang tidak mempunyai belitan delta di dalamnya, maka besarnya X_{t0} berkisar antara 9 s.d. $1 \cdot X_{t1}$, dalam perhitungan ini diambil nilai X_{t0} lebihkurang 10. X_{t1} .

$$\text{Jadi } X_{t0} = 10 \times 0,833 = 8.33 \text{ ohm.}$$

4.3.3 Menghitung Impedansi Penyulang

Dari data yang diperoleh bahwa jenis penghantar yang digunakan pada penyulang PT. PELABUHAN INDONESIA I CABANG BELAWAN hanya menggunakan satu buah tipe kabel yaitu XLPE 240 mm².

Tabel 4.1 Data penghantar

Panjang Penyulang	4 km	
XLPE 240 mm ²	R	jX
Z1 ohm/km	0.1344	0.3158
Z0 ohm/km	0.2824	1.6034

Dengan demikian, nilai impedansi penyulang untuk lokasi gangguan sepanjang penyulang, sebagai berikut :

$$Z_1 = Z_2 (\text{XLPE } 240 \text{ mm}^2) = 100\% \times 4 \text{ km} \times (0.1344 + j0.3158) \Omega = 0.5376 + j1.2632 \Omega$$

$$Z_0 (\text{XLPE } 240 \text{ mm}^2) = 100\% \times 4 \text{ km} \times (0.2824 + j1.6034) \Omega = 1.1296 + j6.4136 \Omega$$

4.3.4 Menghitung Impedansi Ekvivalen Jaringan

Impedansi ekivalen jaringan dapat diambil data dari tabel 4.2 dan dihitung dengan menggunakan rumus:

c. Urutan Positif dan

Negatif

Perhitungan Z_{1eq} dan

Z_{2eq} :

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = Z_i S (\text{sisi } 20 \text{ kV}) + Z_i T + Z_1 \text{ penyulang} = j0.134 + j0.833 + Z_1$$

penyulang

$$= j0.967 + Z_1 \text{ penyulang}$$

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} (100\%) = j0.967 + 0.5376 + j1.2632$$

$$= 0.5376 +$$

$j2.2302 \Omega$

Perhitungan Z_{0eq} :

$$Z_{0eq} (100\%) = Z_{0t} + 3R_N + Z_0 \text{ penyulang} = j8.33 + 3 \times 12 + Z_0$$

penyulang

$$= j8.33 + 36 + Z_0$$

penyulang

$$Z_{0eq} (100\%) = j8.33 + 36 + 1.1296 + j6.4136$$

$$= 37.1296 + j14.7436 \Omega$$

4.3.5 Menghitung Arus Gangguan Hubung Singkat

Setelah mendapatkan impedansi ekivalen selanjutnya perhitungan arus gangguan hubung singkat dapat dihitung dengan menggunakan rumus dasar seperti dijelaskan sebelumnya, hanya saja impedansi ekivalen mana yang dimasukkan ke dalam rumus dasar tersebut adalah tergantung dari jenis gangguan hubung singkatnya, dimana gangguan hubung singkat yang di

analisa adalah gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah.

a. Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa

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

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

Dimana: I = Arus gangguan hubung singkat dua fasa (A)

V = Tegangan fasa - netral sistem

$$20kV = \frac{20.000}{\sqrt{3}} = V_{ph}$$

Z = Impedansi urutan positif (Z_{1eq}), urutan negatif (Z_{2eq}) dan urutan nol (Z_{0eq})

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

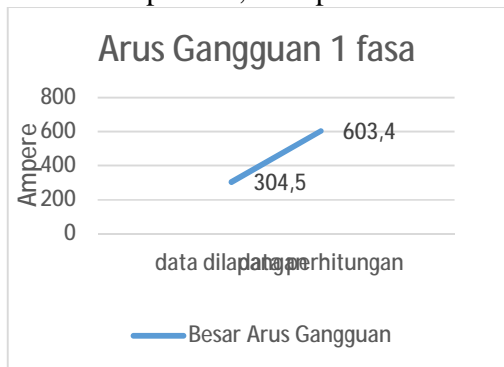
$$I_{1 \text{ fasa}} = \frac{3 \times V_{ph}}{Z_{1eq} + Z_{2eq} + Z_{0eq}} = \frac{3 \times \frac{20000}{\sqrt{3}}}{34641,016}$$

$$= \frac{34641,016}{2 \times Z_{1eq} + Z_{2eq} + Z_{0eq}}$$

$$I_{1 \text{ fasa}} = \frac{34641,016}{2 \cdot (0,5376 + 2,2302) + (37,1296 + 14,7436)}$$

$$I_{1 \text{ fasa}} = 603,4 \text{ A}$$

Jadi, arus gangguan hubung singkat terbesar yang terjadi pada penyulang bisa mencapai 603, 4 ampere.



Grafik 4.2 Besar arus gangguan 1 fasa

5. Penutup

5.1 Kesimpulan

- Hasil perbandingan waktu trip gangguan OCR di sisi *incoming* adalah sebesar 0, 108 detik dan sisi *outgoing* BICT adalah sebesar 0, 109 detik.
- koordinasi antara relay *incoming* dan *outgoing* masih belum bekerja dengan baik, karena waktu kerja relay melebihi batas *setting* waktu kerja relay di lapangan. Hal ini akan menyebabkan relay *outgoing* tidak akan bekerja jika arus gangguan terjadi pada sisi *outgoing*. Sehingga relay pada sisi *incoming* yang akan bekerja untuk memerintahkan PMT untuk memutus aliran listrik kearah penyulang, agar peralatan pendistribusian tidak rusak.
- Dari hasil perhitungan dapat dilihat bahwa nilai arus gangguan hubung singkat 1 fasa terbesar pada penyulang bisa mencapai 603, 2 A.

5.2 Saran

- Untuk perusahaan : agar proteksi dapat di setting ulang sehingga koordinasi relay dapat bekerja dengan baik.
- Untuk Universitas : agar suatu saat ada yang menggunakan skripsi maupun jurnal saya menjadi refrensi dengan analisa perhitungan melalui software ETAB

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. S. Nasution *et al.*, “Rele diferensial sebagai proteksi pada transformator daya pada gardu induk,” *Ready Start*, vol. 02, no. 1, pp. 179–186, 2019.
- [2] I. Nurmalasari, Nurwijayanti, and Hindardi, “Analisa Pemilihan Relai Proteksi Pada Panel Listrik Untuk Studi Kasus Tegangan Menengah 20kV,” pp. 1–11, 2016.
- [3] N. P. Putra, H. Purnomo, and T. Utomo, “Analisis Koordinasi Rele Arus Lebih Pda Incoming dan Penyulang 20 kV Gardu Induk Sengkaling Menggunakan Pola Non Kaskade.”
- [4] S. Zulkarnaini, “Analisa Perhitungan Setting Over Current Relay pada Transformator Daya Area Lukit Di Emp Malacca Strait Sa,” *J. Tek. Elektro ITP*, vol. 5, no. 1, pp. 72–79, 2016.
- [5] T. Elektro, F. Teknik, and U. M. Yogyakarta, “ANALISIS KOORDINASI PROTEKSI PENYULANG 20 KV DAN PROTEKSI PELANGGAN KHUSUS TEGANGAN MENENGAH PADA GARDU INDUK BANTUL Ahmad Djailani 1 , Ramadoni Syahputra 1 , M. Yusvin Mustar 1.”
- [6] D. Tetap, P. Studi, T. Elektro, F. Teknik, and U. Palembang, “ANALISA SISTEM PROTEKSI RELAI SEPAM PADA FEEDER A08 DI GARDU INDUK MSS TAL PT . BUKIT ASAM (PERSERO). TBK,” pp. 54–64.
- [7] N. dan I. G. Mudiana and N. Sangka, “ANALISIS PENGARUH PEMASANGAN SISTEM PROTEKSI RELE TERHADAP PROFIL TEGANGAN DAN KEANDALAN JARINGAN I Gusti Putu Arka , Nyoman Mudiana dan I Gde Nyoman Sangka Jurusan Teknik Elektro - Politeknik Negeri Bali Abstrak : Pemasangan sistem proteksi pada sistem t,” vol. 15, no. 3, p. Aryanto, T. (2013) ‘Frekuensi Gangguan Terhadap Ki, 2015.
- [8] A. Nugoho and T. Sukmadi, “Koordinasi Over Current Relay (Ocr) Sisi Incoming 1 Dengan Ocr Sisi Outgoing Kls 03 Pada Gi Kalisari,” *Transmisi*, vol. 19, no. 3, p. 114, 2017, doi: 10.14710/transmisi.19.3.114-119.
- [9] K. J. Aryamantara, I. A. . Giriantari, and I. . Sukerayasa, “Analisis Hubung Singkat Pada Jaringan Tegangan Menengah 20 kV Penyulang Kedonganan,” *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 17, no. 2, p. 213, 2018, doi: 10.24843/mite.2018.v17i02.p08.
- [10] H. Sungkowo, “Kajian Proteksi Motor 200 Kw,6000 V, 50 Hz Dengan Sepam 1000+ Seri M41,” *J. ELTEK*, vol. 12, no. 01, pp. 1693–4024, 2014.
- [11] I. Affandi, “Analisa Setting Relai Arus Lebih Dan Relai,” *Univ. Indones.*, pp. 15–37, 2009.
- [12] R. T. Ramadhan, M. Shidiq, and M. Dhofir, “Studi Koordinasi Sistem Pengaman Penyulang Trafo Iv Di Gardu Induk Waru,” pp. 1–8, 2015.
- [13] L. Ali, Aksan, and A. R. Sultan, “Analisis Gangguan Hubung Singkat Pada Jaringan Distribusi 20 Kv Di Gardu Induk Daya,” vol. 5, no. 1, pp. 16–22, 2019.
- [14] E. Dermawan and D. Nugroho, “Analisa Koordinasi Over Current Relay Dan Ground Fault Relay Di Sistem Proteksi Feeder Gardu Induk 20 kV Jababeka,” *Elektum J. Tek. Elektro*, vol. 14, no. 2, pp. 43–48, 2017.

- [15] T. Nova, "Perhitungan Setting Rele OCR dan GFR pada Sistem Interkoneksi Diesel Generator di Perusahaan " X "," vol. 1, no. 1, pp. 76–85, 2013.



LEMBAR ASISTENSI

NAMA : Faisal Akbar Sitompul
NPM : 1507220091
JUDUL : Analisa Proteksi *Overcurrent Relay* Pada Jaringan Tegangan Menengah di Pelindo 1 Cabang Pelabuhan Belawan
ASISTENSI : Dosen Pembimbing I

No	Tanggal	Uraian	Paraf
1.		Perbaiki Rumus masalah 2 Feary Lingley	
2.		Perbaiki teori bab II, Gambar, rumus tambahkan gambar file OCR & GFR.	
3.		— Lanjut bab 3, tambahkan data real dari Pelindo (data Kabel, proteksi dll).	
4.	2-7-2020.	Perbaiki flowchart bab 3 sesuai dengan apa yg ditanyakan — Prosedur Penelitian.	
5.	14-7-2020	Lanjut Bab IV.	
6.	22-7-2020	Perbaiki kesimpulan dan Abstrak.	
7.	27-7-2020	Data dari perusahaan ditampirkan	
8.	30-7-2020	ACE utk diteminikan.	

Dosen Pembimbing I

(Faisal Irsan Pasaribu, ST. MT)



LEMBAR ASISTENSI

NAMA : FAISAL AKBAR SITOMPUL

NPM : 1507220091

JUDUL : ANALISA PROTEKSI OVERCURRENT RELAY PADA JARINGAN
TEGANGAN MENENGAH 20kV DI PELINDO 1 CABANG BELAWAN

ASISTENSI : Dosen Pembimbing II

No	Tanggal	Uraian	Paraf
1.	06 - 03 - 2020	- Perbaiki Rumusan Masalah dan Ruang Lingkup	
	12 - 03 - 2020	- Perbaiki teori Bab II, Lengkapi rumus - Lanjut BAB III - Tambahkan Tabel data - Perbaiki flowchart	
	17 - 03 - 2020	- Lanjutkan BAB IV.	
	10 - 06 - 2020	- Tambahkan grafik - perbaiki kesimpulan dan Abstrak.	
	11 - 06 2020	All Bisa mengikuti Seminar hasil	

Dosen Pembimbing II

(Indra Roza, ST. MT)

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Suryawan Udadi Nugrahan

NIPP : 188042987

Selaku pegawai PT Pelindo 1 (PERSERO) menerangkan bahwa data yang diberikan untuk keperluan kelengkapan penyusunan tugas akhir mahasiswa yang bernama :

Nama : Faisal Akbar Sitompul

NPM : 1507220091

Judul : "Analisa Proteksi Over Current Relay Pada Jaringan Tegangan Menengah 20 kV di Pelindo 1 Cabang Belawan"

Merupakan data yang valid dan otentik, Berikut data-data yang diberikan :

1. *Data Proteksi Incoming dan Outgoing BICT.*
2. *Data Kondisi Fisik Kabel Penyulang dari Power House ke SS2 BICT.*

Demikian lah surat pernyataan ini di buat agar dapat di gunakan dengan seperlunya dan dengan sebaik-baiknya, Terima kasih.

Suryawan Udadi Nugrahan
Survei Instalasi Listrik dan Air





DATA PROTEKSI RELAY

Incoming feeder 3465 kVA	Over Current Relay	Ground Fault Relay
Merk / Tipe	Micom P123	Micom P123
Arus Setting (I_n)	0.85 In	0.15 Ien
Karakteristik	Definite	Standar Inverse
Waktu Setting (t_s)	90 ms	0.8 ms
Ratio CT	200/5	200/5

Outgoing to BICT	Over Current Relay	Ground Fault Relay
Merk / Tipe	Micom P123	Micom P123
Arus Setting (I_n)	0.7 In	0.125 Ien
Karakteristik	Definite	Definite
Waktu Setting (t_s)	50 ms	80 ms
Ratio CT	200/5	200/5

Tanggal	Posisi	Arus Gangguan (I ₀)	Keterangan
11/01/2020	Outgoing BICT	L ₁ ,L ₃ – 304.5 A	Over Current Relay
10/01/2020	Outgoing BICT	L ₂ = 54.25	Ground Fault Relay

PERSENTASE BOBOT PERALATAN PELABUHAN

JENIS PERALATAN	: JARINGAN LISTRIK BAWAH TANAH
LOKASI	: POWER HOUSE KE GARDU SS2 BICT
NAMA ALAT	: KABEL TANAH
MERK	: KABEL METAL
JENIS KABEL	: XLPE
KAPASITAS	: 20 KV
UKURAN	: 3 x 240 mm ²
VOLUME	: 4000 m

POWER HOUSE KE GARDU SS2 BICT

NO.	URAIAN FISIK PERALATAN PELABUHAN	% BOBOT KOMPONEN	KONDISI FISIK TAHUN 2014		KONDISI FISIK s.d MEI 2015		KETERANGAN
			% KONDISI KOMPONEN	KONDISI FISIK RATA-RATA (3x4)/100	% KONDISI KOMPONEN	KONDISI FISIK RATA-RATA (3x6)/100	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	CABLE	55.00	79.00	43.45	78.00	42.90	
2	SEAL END	25.00	79.00	19.75	78.00	19.50	
3	CONNECTOR	5.00	80.00	4.00	79.00	3.95	
4	PELINDUNG CABLE	10.00	79.00	7.90	78.00	7.80	
5	GROUNDING	5.00	79.00	3.95	78.00	3.90	
TOTAL KONDISI FISIK		100.00		79.05		78.05	

Adapun lampiran spesifikasi kabel yang digunakan

Electrical Data

Nom. Cross Sect. (mm ²)	Conductor		Inductance (mH/km)	Current-Carrying Capacity at 30° C*		Short circuit current at 1 sec	
	DC Resistance at 20°C	AC Resistance at 90°C		In air	In ground	Conductor	Screen
	Max. (Ω/km)	Max. (Ω/km)		Max. (A)	Max. (A)	Max. (kA)	Max. (kA)
25	0.727	0.927	0.342	152	146	3.58	1.03
35	0.524	0.668	0.325	184	175	5.01	1.03
50	0.387	0.494	0.313	218	208	7.15	1.03
70	0.268	0.342	0.298	273	251	10.01	1.03
95	0.193	0.247	0.285	330	299	13.59	1.03
120	0.153	0.198	0.278	379	329	17.18	1.03
150	0.124	0.160	0.268	430	380	21.45	1.03
185	0.0991	0.128	0.262	491	427	26.48	1.03
240	0.0754	0.099	0.255	575	492	34.32	1.37
300	0.0601	0.080	0.252	651	549	42.90	1.37

*Further information about rating factor to certain cable arrangement can be found on supplementary technical information

Application :

For installation indoor, in ground direct buried, for power station and switchgear, if there is a risk that fire mechanical damage may occur.

Special Features on Request

- Fire Resistance
- Oil Resistance
- UV Resistance
- Flame Retardant Cat. A, B, C
- Flame Retardant Non Category
- Anti Termite
- Anti Rodent
- Low Smoke Zero Halogen



Belawan, 2 November 2020

Mengetahui :

